

# 国際宇宙ステーション日本実験モジュール 曝露部システムと運用

## JEM Exposed Facility System and Operation

高田 正治 株式会社 IHI エアロスペース 宇宙技術部 主査

現在、国際宇宙ステーション (ISS) の建設が順次進められている。日本の実験モジュール「きぼう」に関しては、2008 年 3 月に船内保管室、2008 年 6 月に船内実験室、2009 年 7 月に船外実験プラットフォーム (曝露部) および船外パレット (補給部曝露区) が打ち上げられ、「きぼう」が完成した。本稿では、曝露部のシステム概要、特長およびその運用の概要について述べる。

International Space Station (ISS) is currently constructing. For Japanese Experiment Module (JEM) “Kibo”, ELM-PS (Experiment Logistics Module - Pressurized Section) and PM (Pressurized Module) were launched in 2008, and JEM Exposed Facility (EF) and ELM-ES (Experiment Logistics Module - Exposed Section) were launched in 2009. This paper describes the system summary, features, and operation of JEM-EF.

### 1. 緒言

現在、国際宇宙ステーションの建設が順次進められている。日本の実験モジュール「きぼう」に関しては、2008 年 3 月に船内保管室 (補給部与圧区)、2008 年 6 月に船内実験室 (与圧部)、2009 年 7 月に曝露部および補給部曝露区が打ち上げられ、軌道上実験が順次開始されつつある状況である。

曝露部は、1980 年代の概念設計から始まり、1992 年に基本設計を完了、1998 年に詳細設計を完了し、フライト品の製作・試験、そして、ケネディ宇宙センターへの輸送 (2008 年)、最終射場点検・整備が行われ、2009 年 7 月にスペースシャトル STS-127 に搭載され、打ち上げられた。

本稿では、国際宇宙ステーション (ISS) の日本初の船外システムである曝露部の開発成果について述べる。

### 2. システム概要

曝露部は、第 1 図に示すような、大きさ約  $6 \times 5 \times 4$  m の曝露環境実験スペースで、最大 10 個の実験ペイロード ( $0.8 \times 1.0 \times 1.85$  m) をその周囲に取り付けて実験を行うことができる。曝露部からは、実験ペイロードに対し、電力、通信、熱制御用流体などのリソースを供給することができる。

### 3. 開発成果

曝露部は与圧部に取り付けられ、電力、通信、排熱などのサービスを実験ペイロードへ提供するシステムである。その構成は構造系、電力系、通信系、熱制御系、装置交換機構系に分かれる。

いくつかのサブシステムに対し、その概要を説明し、開発において苦労した点などについて以下に述べる。

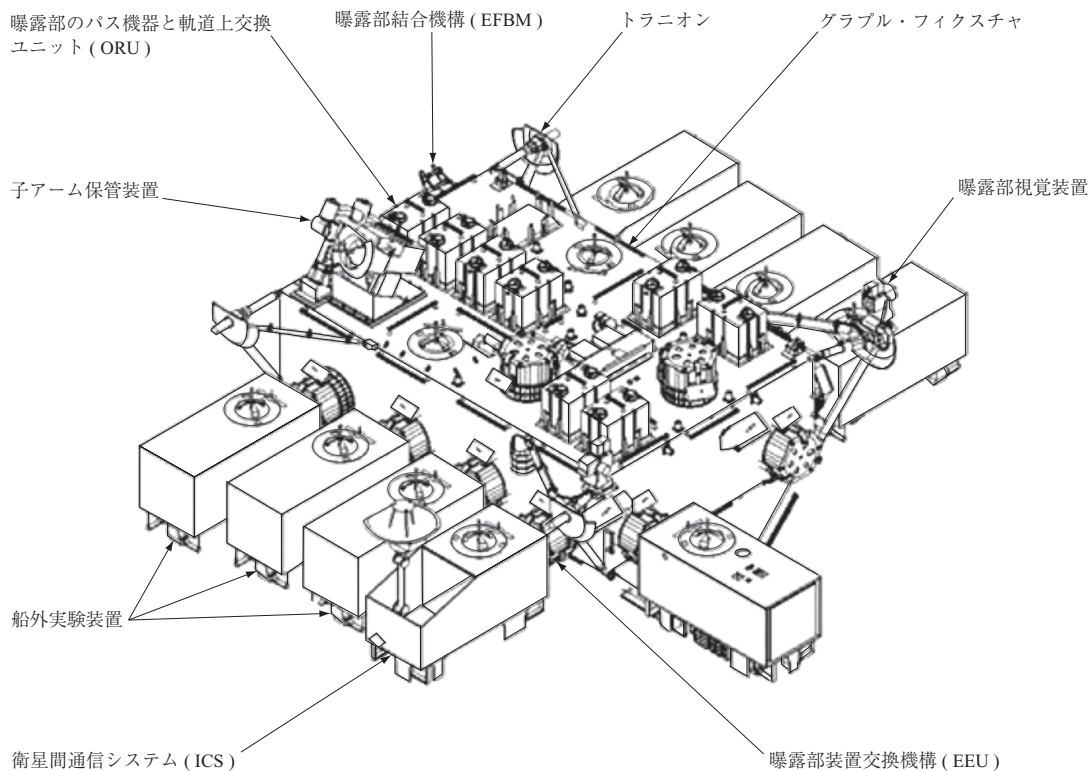
#### 3.1 構造系

構造系の成果としては、さまざまなシステム機器を搭載する大型宇宙構造物をまとめ上げたことが挙げられる。以下に曝露部の構造について説明する。

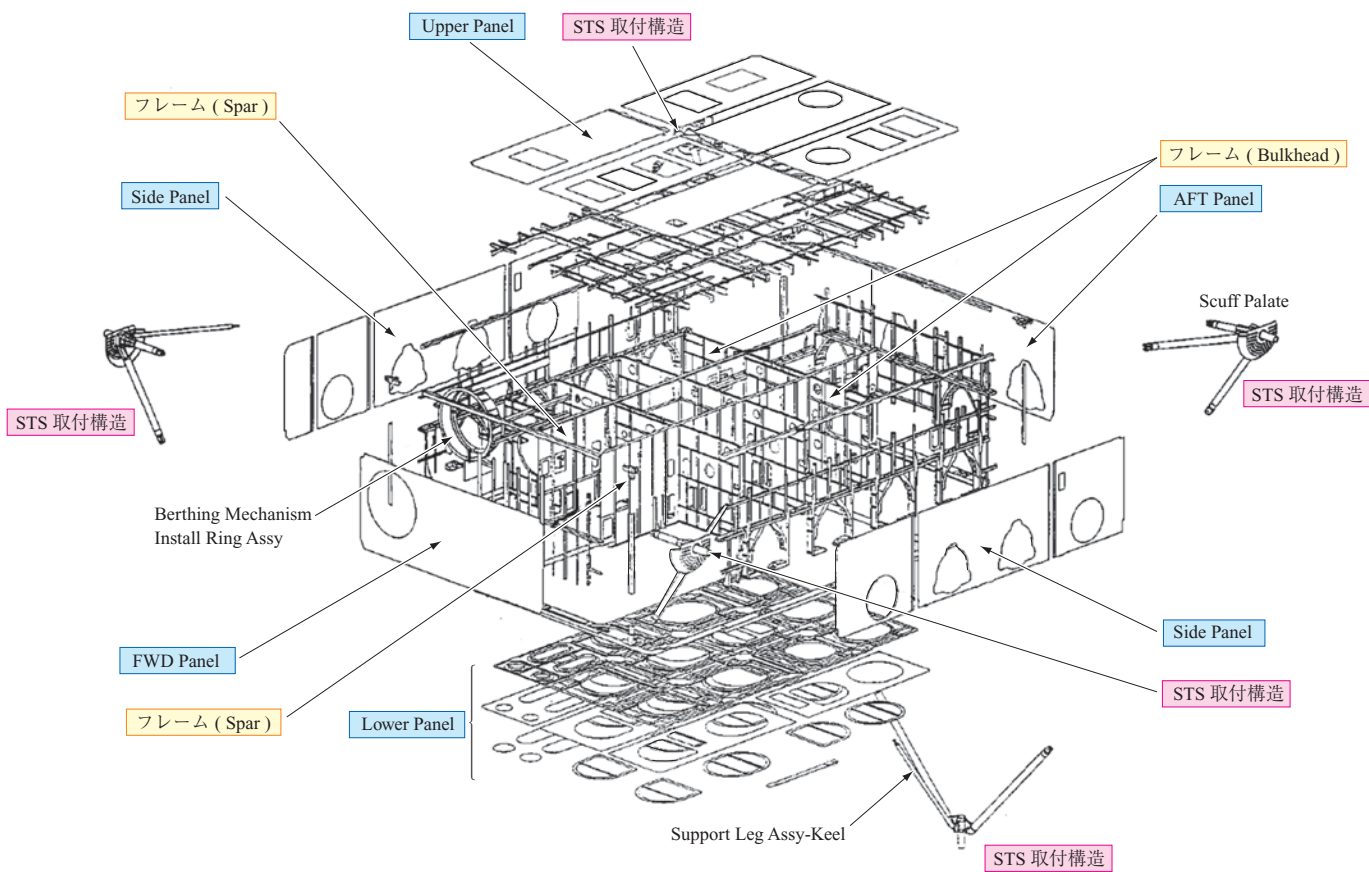
曝露部の構造は、主にパネル、フレーム、STS (Space Transportation System) 取付構造で構成されている (第 2 図)。

構造開発のフェーズは、システム、サブシステムおよびコンポーネントなどの開発フェーズに比べ、先行して進められるため、システム設計などの変更によって、構造インタフェースの設計変更をその都度取り込みながら開発を行った経緯がある。

構造インタフェースの設計変更で主要なものとしては、内部機器の E-ORU 化 (EVA : Extravehicular Activity (船外活動) 対応 ORU : Orbital Replacement Unit (軌道上交換ユニット))、視覚装置の曝露部上の打上げ、EVA 支援具などが挙げられる。



第1図 曝露部外観  
 Fig. 1 Exposed facility configuration



第2図 構造系  
 Fig. 2 Structural subsystem

### 3.2 R-ORU

曝露部のコンポーネントは ORU 化されており、コンポーネントが故障した場合でも ORU 単位で交換することによって、復帰できる信頼性の高いシステムを成立させた点が大きな成果である。

曝露部上面に配置され、子アームまたは EVA によって交換できる機構を R-ORU（ロボティクス対応 ORU）と呼ぶ（第 3 図）。以下のコンポーネントが R-ORU 化されている。

- ・ EF-PDB（曝露部電力分配箱）
- ・ SPB（サバイバル電力分配箱）
- ・ ESC（曝露部制御装置）
- ・ VSW（ビデオスイッチャ）
- ・ FPP（ポンプパッケージ）

この R-ORU の特長は、2 本のボルトで、構造締結とリソース結合を同時に行える点である。リソース結合のための QD（Quick Disconnect）のアライメント精度を維持しつつ、構造締結させることが開発上の技術的ハードルであった。しかし、開発試験などによってアライメント調芯機能の設計・開発・改良を繰り返しながら、技術的課題を克服することができた（第 4 図）。

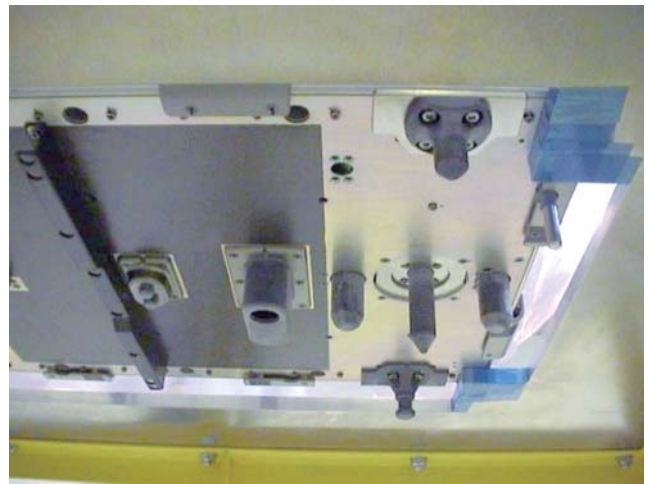
また、EVA 対応として、ボルトが締結状態にあるかどうかを目視で確認できる機能をもつビジュアルインジケータを備えていることも有人宇宙機器の特徴である（第 5 図）。

### 3.3 E-ORU

R-ORU と同様の ORU として曝露部の下面に搭載されている E-ORU があり、R-ORU と同様に ORU 化によ



第 3 図 R-ORU 全体  
Fig. 3 R-ORU configuration



第 4 図 R-ORU 下面  
Fig. 4 Lower side of R-ORU

ビジュアルインジケータ



第 5 図 ビジュアルインジケータ  
Fig. 5 Visual indicator

て、曝露部システムの信頼性を高めることを実現できた。

この E-ORU は、EVA クルーのみで交換可能となっており、以下のコンポーネントが E-ORU 化されている（第 6 図）。

- ・ TIU（熱制御系インタフェースユニット）
- ・ HCE-a（ヒータ制御装置 -a）
- ・ HCE-b（ヒータ制御装置 -b）
- ・ EDU-a/b（EEU（装置交換機構）ドライバユニット）

E-ORU の特徴は、6 本の構造締結ボルトと 2 本のリソース結合ボルトが独立していることにある。

R-ORU の場合は、質量が 20 kg 程度と比較的軽量であることから 2 本のボルトで打上げ荷重などに耐え得る設



第6図 E-ORU 全体  
Fig. 6 E-ORU configuration

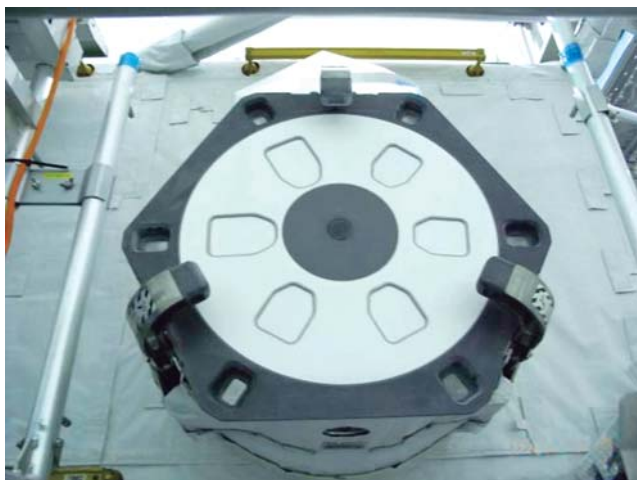
計となっている。しかし、E-ORU の場合、60 kg 程度と質量があるため、6本の構造締結ボルトにて荷重を受け持つ設計となっている。

### 3.4 装置交換機構系

装置交換機構系は、実験ペイロードを結合・分離およびリソース供給するためのサブシステムで、以下で構成されている。

- ・EFU (EF 側結合機構：第7図)
- ・PIU (ペイロード側装置交換機構：第8図)
- ・EDU (EEU ドライバユニット)

EFU はロボットアームによって位置決めされた PIU を捕そくし、ロボットアームの抵抗荷重に打ち勝ってその位置決め誤差を吸収し、PIU と結合（または分離）することができる。そのための、①3本の固定アーム ②3本の



第7図 EF 側結合機構  
Fig. 7 EFU



第8図 ペイロード側装置交換機構  
Fig. 8 PIU

固定アームを同期させて駆動するためのリンク機構 ③ ボールねじ ④ 歯車 ⑤ モータ ⑥ 固定アームの位置検出センサ、などを備えている。

両機構 (EFU, PIU) の結合面には、実験ペイロードに電力、通信、熱制御用流体などのリソースを供給するための電気・光コネクタおよび流体コネクタが搭載されており、これらは装置交換機構の機械的な結合、分離と同時に一括して着脱される。

装置交換機構系の開発上の主要な技術課題とその成果について、以下に述べる。

#### 3.4.1 ロボットアームとのインターフェース

ロボットアームの位置決め性能、抵抗荷重特性を考慮したインターフェース設計とするため、ロボットアームとの組合せ試験を行った。重力環境下ではロボットアームを作動させることができないため、アーム先端の6軸運動を模擬するシミュレータを準備し、基礎データの取得や検証を行った。

#### 3.4.2 小型化・軽量化

曝露部上に EFU を 12 台搭載させるため、位置決めから着脱までの動作を、単一の駆動機構で実現し、アクチュエータ 1 個で機能させるなど、徹底的な小型・軽量化を図った。また、軌道上の荷重・剛性要求を配慮した構造設計を行い、EFU 構体などの大物部品は鍛造アルミ材から削り出しで製造するなどの軽量化を行った。

#### 3.4.3 温度差着脱性能

両機構間に温度差がある場合、熱変形によって必ずしも正常に結合しないことが熱真空試験で判明したため、ガイドピンおよびガイド穴の接触部の形状変更などを行った。

設計変更後は、真空チャンバを用いた温度差試験を実施し、両機構間に存在する温度差として 80℃まで許容可能になった。

また、上記以外に有人安全上の観点から EFU 機構系のジャミング（かみ込み）などの異常が発生した後の安全性について、開発の当初から長期間にわたり検討・調整を NASA（アメリカ航空宇宙局）と行ってきた。最終的には以下の安全対応を取ることで、無事、NASA 安全審査の承認を得ることができた。

#### 3.4.4 船外パレット結合時

- (1) 機構系はミニマムリスク設計とする。
- (2) ジャミング発生後は分離型 PIU（第 9 図）で分離する。

#### 3.4.5 標準実験ペイロード結合時

- (1) 機構系はミニマムリスク設計とする。
- (2) ほとんどの領域で軌道上荷重に耐え得る。  
一部、荷重に耐えられない領域については、以下の対応を取る。

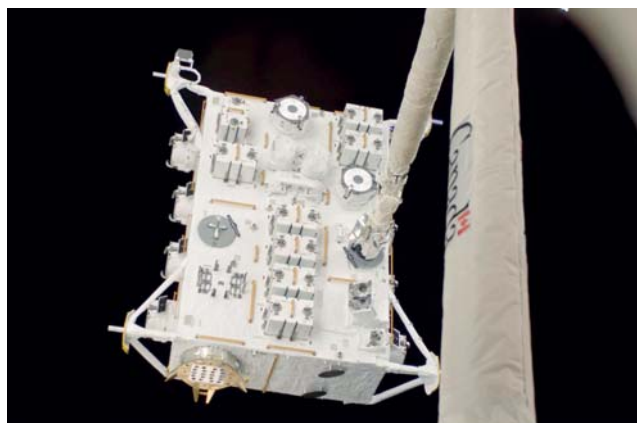
- ① EFU の逆駆動
- ② ロボットアームによる再分離トライ
- ③ EVA による EFU 駆動
- ④ EVA ナビゲーションでのロボットアーム操作

### 4. 運用（軌道上組立シナリオ）

曝露部は、ステーションロボットアーム（以下、SSRMS と呼ぶ）およびシャトルロボットアーム（以下、SRMS と呼ぶ）を用いて、JEM（Japanese Experiment Module）与圧部へ取り付けられる。その直後にシステム機器を起動する（第 10 図）。



第 9 図 分離型 PIU  
Fig. 9 Releasable PIU



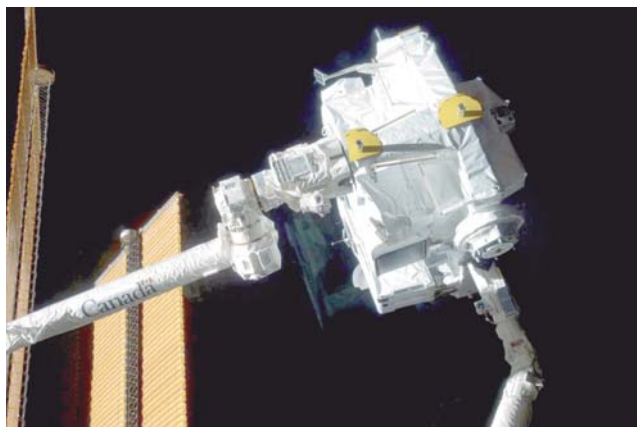
第 10 図 曝露部移設  
Fig. 10 EF transfer

©NASA

当初、これらの移設作業は、SSRMS のみで行われることになっていたが、移設に時間を要することから、ダブルハンドオフ（SSRMS で曝露部をシャトルカーゴベイから引き出し、SRMS へ一度引き渡す。その後、SSRMS は基部を MT トランスレータに移動し、曝露部を受け取る。）という移設手順によって、時間を短縮するように工夫している。

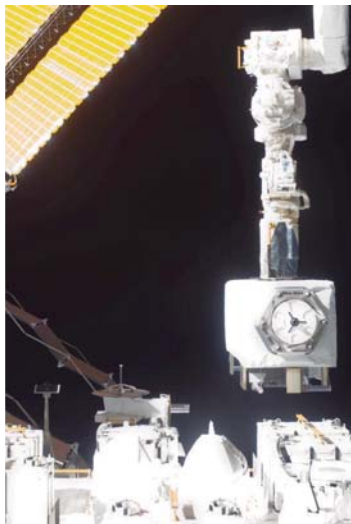
その後、補給部曝露区が曝露部に移設され、こちらも SSRMS および SRMS を用いて、移設が行われる（第 11 図）。

補給部曝露区上のペイロードなど 3 式（MAXI : Monitor of All-sky X-ray Image, SEDA-AP : Space Environment Data Acquisition equipment-Attached Payload, ICS-EF : Inter-orbit Communication System-EF）曝露部に移設される（第 12 図）。



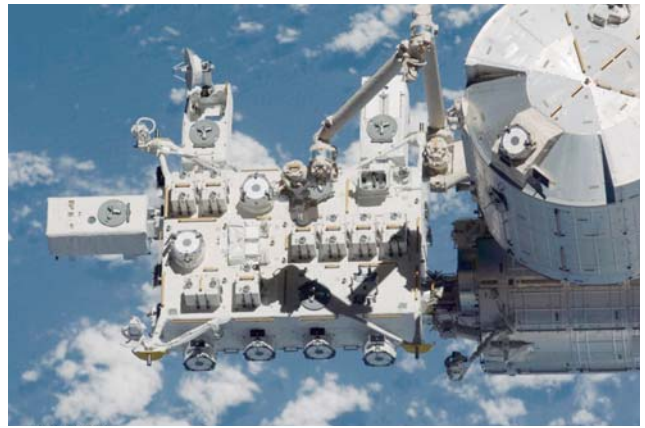
第 11 図 補給部曝露区移設  
Fig. 11 ELM-ES transfer

©NASA



©NASA

第 12 図 曝露部ペイロード移設  
Fig. 12 EF payload transfer



©NASA

第 13 図 軌道上の曝露部コンフィギュレーション  
Fig. 13 On-orbit EF configuration

## 5. 結 言

現在、曝露部は安定した起動を維持しており、衛星間通信システムおよび実験ペイロードへ、電力、通信、熱制御用流体などのサービスを提供している状況である。今後ミッション、曝露部の活躍が期待される（第 13 図）。

## — 謝 辞 —

曝露部の開発に当たっては独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）および関連メーカーの関係各位から多大なご支援を受けました。無事、軌道上運用に移行できたことをここに記し、深く感謝申し上げます。