

第 16 章 「きぼう」曝露系システムの開発成果

～船外パレット

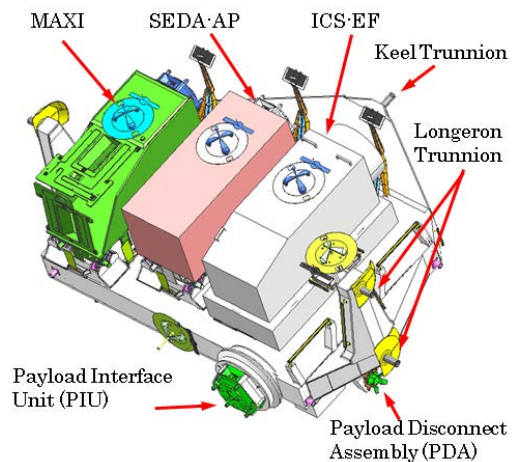
1. 序論

「きぼう」の曝露系システムの 1 つである船外パレット（ELM-ES：Experiment Logistics Module-Exposed Section）は、2009 年 7 月にスペースシャトル STS-127 にて船外実験プラットフォーム（EF：Exposed Facility）と共に打ち上げられ、輸送した船外実験装置（ペイロード）の移設も無事完了し、STS-127 で帰還した。

船外パレットは第 1 図に示す形態で、大きさ約 4.9×2.2×4.1m（ペイロード含む）、質量約 2500 kg（ペイロード含む）であり、船外実験プラットフォームへ取り付け運用される曝露ペイロード 3 個（衛星間通信システム曝露系サブシステム（ICS-EF：Inter-orbit Communication System - Exposed Facility）、全天 X 線監視装置（MAXI：Monitor of All-sky X-ray Image）、宇宙環境計測ミッション装置（SEDA-AP：Space Environment Data Acquisition equipment - Attached Payload））を搭載した。船外パレットは、シャトルの打上げ・飛行中は、ペイロード分離組立（PDA：Payload Disconnect Assembly）を介してシャトルから受電し、アンビリカル接続機構（UCM：Umbilical Connector Mechanism）を通じてペイロードへ保温用電力を供給した。

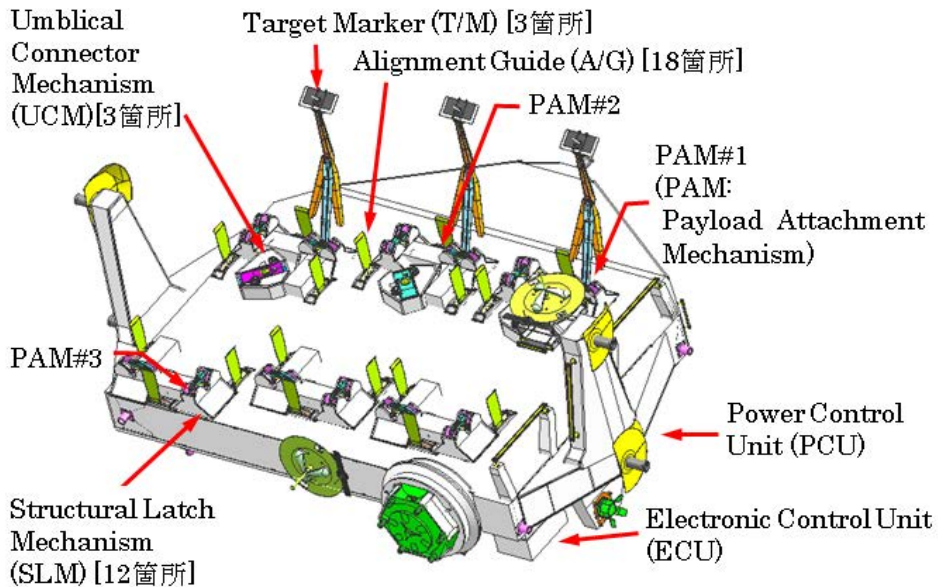
船外パレットは、1980 年代の概念設計によって開発が始まり、基本設計、詳細設計を

経て、フライト品の製作・試験、2008 年のケネディ宇宙センターへの輸送、最終射場点検へと至り、スペースシャトル STS-127 による打上げ、軌道上での曝露ペイロードの移設を完了し、地上へ回収されて、全てのミッションを達成した。



第 1 図（1/2） 船外パレット
（ペイロード搭載状態）

本章では、日本初の国際宇宙ステーションへの船外実験装置打上げキャリアである船外パレットの開発成果について、その実際の運用結果も踏まえ、機能・性能が設計要求を満足したかとの観点で整理を行った。



第 1 図 (2/2) 船外パレット (ペイロード非搭載状態)

2. 船外パレットの開発成果

船外パレットは、ペイロード 3 個を搭載してスペースシャトルにより打上げられ、スペースシャトルおよび ISS のロボットアームによって船外実験プラットフォームに輸送・係留された後、ペイロードの「きぼう」ロボットアームによる船外プラットフォームへの移送を支援するシステムである。具体的な支援としては、ペイロードの着脱機能に加え、ペイロードと通信を行い、電力を供給し、温度を所定温度範囲に維持する機能を有している。

代表的な機能と運用結果を以下の通り整理した。

2.1 機構系

ペイロード取付け機構 (PAM : Payload Attachment Mechanism) は、構造ラッチ機構 (SLM : Structural Latch Mechanism)

を介してペイロードを固定するとともに、軌道上できぼうロボットアームを使ってペイロードを移動させるときにペイロードの取付け・取外しを行う機構である。UCM を通じてペイロードへ保温用の電力を供給する機能も有する。

実際の運用においては、打上げ時／軌道上での環境 (振動や熱) に対して問題なくペイロードを維持すると共に、ロボットアームとの協調運用によりペイロードの取外しを完了することができた。

なお、ペイロードの一つである SEDA-AP を取外す際、ラッチ機構のソフトドック停止状態において、SLM#2-1、SLM#2-2 のモータが回転する事象が発生した。解析の結果、UCM のバネにより生じた反力によって SLM のペイロード把持部 (クロー) が持ち上げられ、モータが回転したことが分かった。

2.2 制御電子装置 (ECU : Electronic Control Unit)

ECU は、電力供給制御機能 (PCU からの一次電源 120VDC から二次電源を供給)、データ管理／通信制御、PAM 制御機能、保温制御機能を有している。

打上げ時と軌道上運用において、全ての機能を問題なく制御することができた。

2.3 電力分配制御装置 (PCU : Power Control Unit)

外部 (スペースシャトルや船外実験プラットフォーム) からの電力供給 (120VDC) を受け、この電力を各機器 (ECU、PAM ドライバ、PAM ヒータ、ペイロードヒータ) へ分配する機能を有している。打上げ時と軌道上運用において、ヒータに電力を供給し、所定の温度範囲に制御すると共に、ECU や PAM へ所定の電力を供給することができた。

2.4 装置交換機構 (PIU : Payload Interface Unit)

PIU は、軌道上で船外パレットを船外実験プラットフォームに結合するための機構であり、結合後は船外実験プラットフォームからの電力供給や両者の双方向通信を可能とする。

軌道上運用においては、所定の機能を満足することができた。

3. 設計変更

以下の各項では、運用計画の変更等に伴い実施した設計変更を紹介する。

3.1 ペイロードの見直し

船外パレットは船外実験プラットフォームに取付けるペイロードを 3 個搭載する機

能を有している。当初、搭載が予定されていたペイロードは、PAM#1 に衛星間通信システム曝露系サブシステム (以下、ICS-EF)、PAM#2 に宇宙環境計測ミッション装置 (以下、SEDA-AP)、PAM#3 に子アーム打上装置 (以下、STC) であったが、これを見直し、STC を全天 X 線監視装置 (以下、MAXI) へ変更した。これに伴い、PAM の機能の見直しを実施した。

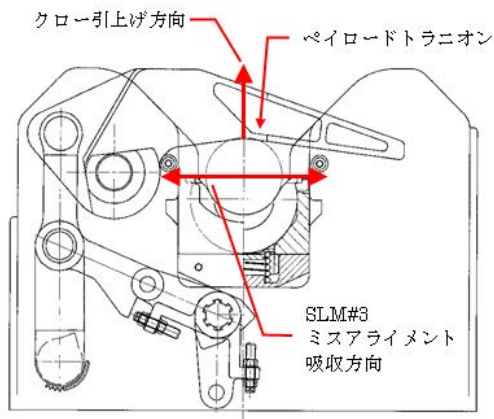
3.2 DCLA・VLA 対応

スペースシャトルによる打上げ・着陸時の振動環境を模擬した柔結合解析 (DCLA : Design Coupled Loads Analysis) において、ペイロード (SEDA-AP、MAXI) と SLM とのインターフェース荷重が当初想定していた荷重を上回ることが判明した。その場合、次の理由により非線形な挙動を示すこととなり、線形挙動を前提とした柔結合解析の有効性が言えなくなるため、これに対応し、SLM ペイロード把持時の結合予圧を増し、摺動抵抗を増加する様にペイロードトラニオンの径を変更することとした。これにより非線形になる可能性を極力抑えることとした。

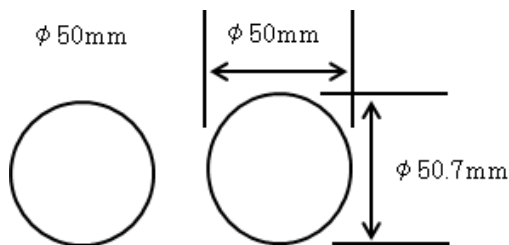
クローを引上げる方向のインターフェース荷重が結合予圧を越えた場合、剛性値が低下し、非線形となる。

ペイロードを把持する SLM4 式のうち 1 式 (SLM#3) は、ペイロードを PAM へ搭載する際のアライメントを吸収するため、他の SLM より自由度が多い機構となっている。クローが締結された状態では、クローの締付け力に伴う摺動抵抗により、この自由度方向には動かない設計としているが、打上げ／着陸振動に伴うインターフェース荷重が摺動抵抗を越えた場合、SLM の機構が滑り、かた当たりすることにより非線形となる。

SLM のペイロードトラニオン把持状態を第 2 図に、トラニオン径の変更を第 3 図に示す。



第 2 図 SLM ペイロードトラニオン
把持状態



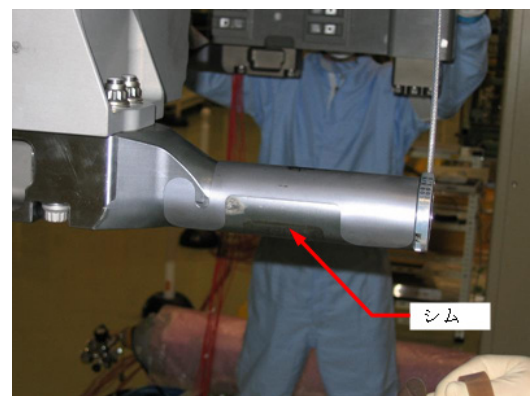
第 3 図 トラニオン径
(クロー締結方向の径) 増加

その後、NASA が実施した打上げ前の最終検証解析（VLA：Verification Loads Analysis）の結果において、ICS-EF と SLM のインターフェース荷重が当初想定していた荷重を上回ることが判明した。この場合、SEDA-AP、MAXI と同様に非線形挙動となる恐れがあるため、結合与圧を上げる為の手段として、シムの追加を実施した。これによ

り、結合予圧・摺動抵抗がインターフェース荷重を上回ることが可能となった。シムの追加を第 4 図、第 5 図に示す。



第 4 図 ペイロードトラニオン（シム追加前）



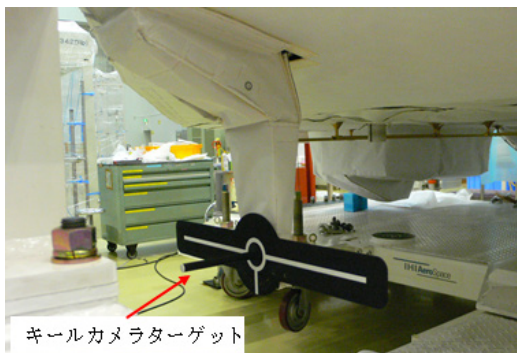
第 5 図 ペイロードトラニオン（シム追加後）

3.3 キールカメラターゲット追加

船外パレットはスペースシャトルによる地上への回収が可能な設計としていたが、具体的な回収計画は開発期間を通じて明らかとなっていなかった。しかし、船外パレットが軌道に留まると国際宇宙ステーションのロボティクス運用への制約となるため、船外パレットを打上げたスペースシャトルで回収することが決定された。

その際、船外パレットをスペースシャトルへ再搭載する際にクルーがカメラでスペースシャトルとの相対位置を確認するため、スペースシャトルのキール部に搭載されたカメラで視認可能なターゲット（キールカメラターゲット）を設けるよう NASA より要求があり、これを追加した。

キールカメラターゲット取付け状態を第 6 図と第 7 図に示す。



第 6 図 キールカメラターゲット取付

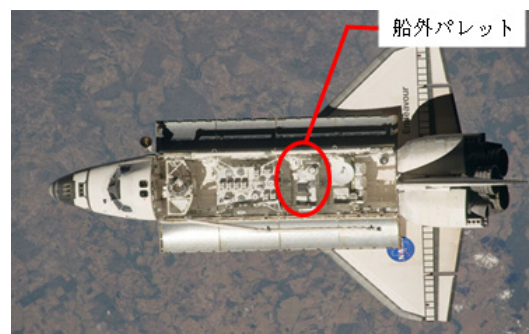


第 7 図 キールカメラターゲット取付(全景)

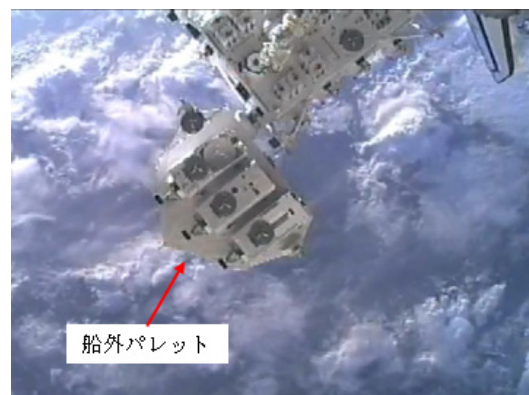
4. 運用

船外パレットは「きぼう」の船外実験プラットフォームと共にスペースシャトル「エンデバー号」(STS-127) によって打上げられた。スペースシャトル打上げ時の搭載状態を第 8 図に示す。

船外パレットが、船外実験プラットフォームに結合された状況を第 9 図に示す。



第 8 図 スペースシャトル打上げ状態



第 9 図 軌道上の船外パレット
(ペイロード移設前)

船外パレットは、軌道上でペイロードの移設を無事完了し、スペースシャトルに搭載されてケネディ宇宙センターに帰還した。

その後、船外パレットは筑波宇宙センター

に移送され、帰還後の点検により機能／性能上問題なく作動することが確認された。帰還後点検の内容と結果は下表の通りである。

第1表 ICS チェックアウト項目実施結果

#	点検内容	結果	評価
1	外観点検 (*1)	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリの衝突痕はなし ・SLM の摺動痕あり ・ベルクロ剥れ (5箇所) あり ・SLM 外観の染み (3箇所) あり 	・ベルクロ剥れは接着剤の劣化によると考えられる。
2	ELM-ES 起 動 確認	・電源投入後の 1553B データフレームにより正常に起動したことを確認	・フライトによる影響無し
3	ペイロード電源供給確認	・On 時ペイロード側受電電流値 0.98～100A	・フライトによる影響無し
4	PAM 保温機能確認	・ヒータ On 時電流上昇値 0.55A	・フライトによる影響無し
5	SLM#1-1 ～ #1-4 機能確認	<ul style="list-style-type: none"> ・動作時間： ソフトドック時 16.7～18.9s オープン時 38.2～410s ・消費電流値：フライト前とほぼ同等 ・リンク隙間確認：フライト前とほぼ同等 	<ul style="list-style-type: none"> ・フライトによる影響無し ・但しフライト中の不具合 (*2) は再発せず。
6	SLM#2-1 ～ #2-4 機能確認	<ul style="list-style-type: none"> ・動作時間： ソフトドック時 18.0～18.9s オープン時 38.2～39.3s ・消費電流値：フライト前とほぼ同等 ・リンク隙間確認：フライト前とほぼ同等 	・フライトによる影響無し
7	SLM#3-1 ～ #3-4 機能確認	<ul style="list-style-type: none"> ・動作時間： ソフトドック時 17.3～19.3s オープン時 38.0～39.3s ・消費電流値：フライト前とほぼ同等 ・リンク隙間確認：フライト前とほぼ同等 	・フライトによる影響無し

(*1)：2月に別途実施した M&P TIM において、PAM ターゲットマーカ及び FRGF ベースプレーット背面の銀メッキナットに原子状酸素または帰還後の環境の影響によるものと考えられる変色が認められたが、現在は曝露環境で使用する機器には銀メッキの使用を禁止している。

(*2)：軌道上での ICS-EF 移設時に、OPEN 状態を示すべきマイクロスイッチが作動しなかった不具合。軌道上で発生した原因は重力の影響、摩擦係数の差などによるものと考えられる。

5. まとめ

船外パレットは、25 年近い開発期間を経て、STS-127 による打上げ、軌道上運用、回収を通じて設計通りの機能・性能を発揮し、日本初の国際宇宙ステーションへの船外実験装置打上げキャリアとしてのミッションを、成功裡に完了した。ELM-ES はシャトルによる複数回の打上げ、回収が可能なシステムとして開発されたが、コロンビア号の事故を踏まえたスペースシャトルの退役により、残念ながら、その再飛行が実現することはなくなった。その任務は HTV の曝露パレット（EP）によって引き継がれることとなったが、ELM-ES の開発及び運用を通じて培われた技術は、EP の開発・運用に活かされている。ELM-ES のフライト品は、一部の構成品（FRGF、PIU、ハンドレールとハンドホールド）が他プロジェクトでの利活用検討のために取り外された状態で、現在、宇宙ステーション試験棟にて保管されている。