

新型宇宙ステーション補給機(HTV-X) 1号機の運用と今後の展望

On-orbit Operation of HTV-X1 and Future Prospects

*鎌倉製作所

要 旨

新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)は国際宇宙ステーション(ISS)への物資補給機であり、宇宙ステーション補給機(HTV)の後継機として開発した。主ミッションである輸送能力の大幅な向上に加えて、物資補給後の軌道上実証プラットフォームとしての活用も可能になっている。三菱電機は、宇宙空間を飛行するために必要な全機能を集約した“サービスモジュール”の開発を担当した。HTV-X 1号機は2025年10月に打ち上げられて、ISSへの物資補給に成功した。現在、2号機以降の開発も進めている。また、HTV-Xを活用し、ポストISSとして民間宇宙ステーションへの物資補給や、月周回有人拠点(Gateway)への物資補給機への発展も検討している。

1. ま え が き

HTVは2009年から2020年にかけて9機を打ち上げて、ISSへの物資補給を行った。HTV-XはHTVの後継機として2017年から開発に着手した。HTVの技術を継承しつつ、輸送能力の大幅な向上や運用性の向上を実現した。また、HTV-Xは物資補給後も軌道上に最長1.5年飛行継続し、将来に向けた開発機器などの軌道上実証を行う“軌道上実証プラットフォーム”としての活用も可能になっている。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、当社はサービスモジュールの開発、製造・試験を担当した。HTV-X 1号機は2025年10月に種子島宇宙センターからH3ロケット7号機で打ち上げられて、ISSへの物資補給に成功した。

本稿では、HTV-X開発の概要、1号機の軌道上運用結果、今後の展望について述べる。

2. HTV-Xサービスモジュールの開発概要

この章では、HTV-Xの概要、及びサービスモジュールの開発概要を述べる。

2.1 HTV-Xの概要

HTV-Xの構成概要を図1に示す。

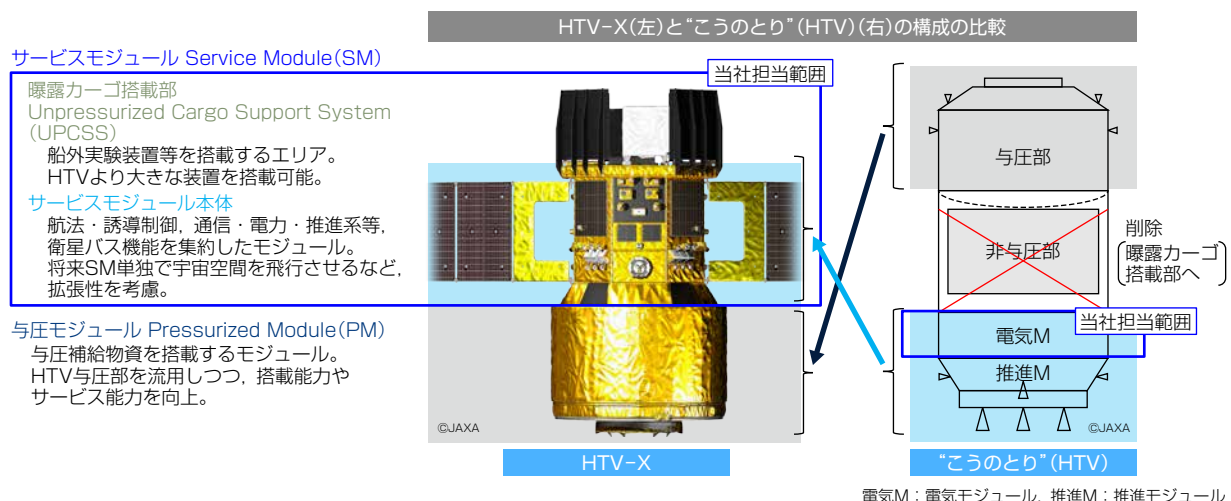


図1 - HTV-Xの構成概要

HTV-Xはサービスモジュールと与圧モジュールから構成される。サービスモジュールの本体部分には航法・誘導制御、通信・電力・推進系等、宇宙空間を飛行するために必要な機能を集約している。サービスモジュールの上段にある“曝露(ばくろ)カーゴ搭載部”は船外実験装置等、宇宙空間に曝露させた状態で使用する機器を搭載可能なエリアである。与圧モジュールは与圧補給物資を搭載するモジュールであり、三菱重工業㈱が担当している。

2.2 サービスモジュールの概要

サービスモジュールの外観を図2に示す。次節以降に、サービスモジュールの開発内容について述べる。

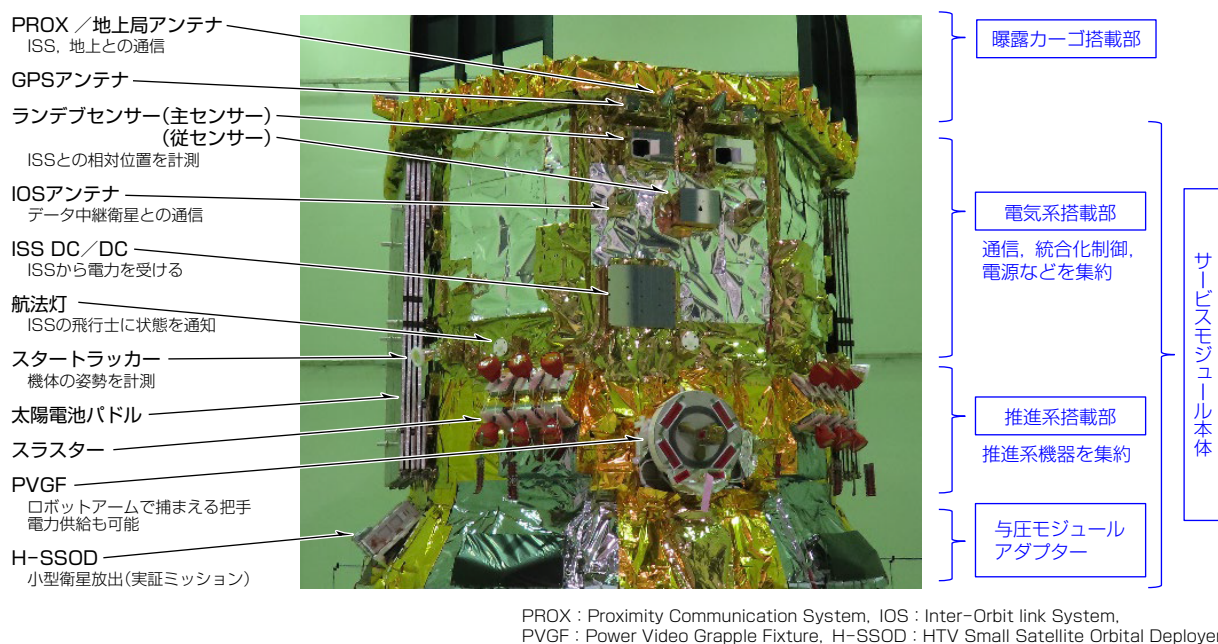


図2-HTV-X1号機サービスモジュールの外観

2.2.1 サービスモジュールへの衛星バス機能集約

サービスモジュールの構体は、図2に示すように、大きく四つのサブモジュールから構成される。“電気系搭載部”には航法・誘導制御、通信、電力などの機器が集約されている。HTVではモジュールを跨(また)いで配置されていた推進系機能を“推進系搭載部”に集約することで、射場での配管接続を不要とするなど、作業効率化を実現した。“曝露カーゴ搭載部”を機体上部に配置することで、ロケットのフェアリング内の空間も最大限に活用し、大型の曝露カーゴや技術実証ミッションを搭載可能とした。将来のモジュール単独利用の拡張性を考慮し、与圧モジュールとサービスモジュールとの間のインターフェースを最小化した。

2.2.2 HTV実績と人工衛星技術の活用

HTV-XではHTVの開発実績をベースとしながら、人工衛星で実績を持つ当社機器を活用し、機能・性能向上を実現した。例として、HTVではボディーマウント型の太陽電池パネルによる電力供給であったが、HTV-Xでは展開型の太陽電池パドルを採用することで、約30%の発電量を向上させた。これによって、カーゴや技術実証ミッション機器への電力供給を可能としながら、一次電池を非搭載とし質量を低減した。展開型太陽電池パドルは当社の人工衛星で実績のある展開構造を最大限活用しながら、ISS要求に対応した改良を反映した。また、HTVでは“航法誘導制御”“データ処理”“システム管理”の複数計算機による分散処理システムであったが、HTV-Xではフライトコンピューター(FC)に機能統合し、機器間インターフェースを簡素化した。統合化制御系の計算機は当社人工衛星で使用している計算機をベースとしながら、3台のFCによる多数決処理等を導入することで、ISS安全要求である2Fail Safe(二つの故障が発生してもISSの安全を確保)を実現する機器構成とした。

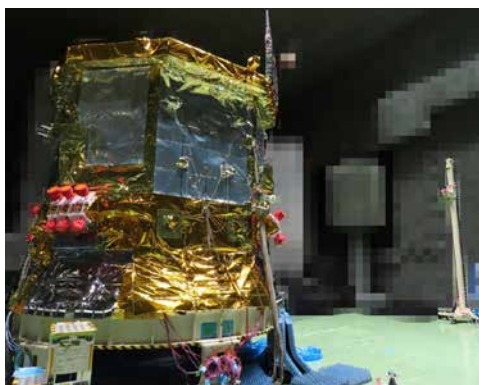
一方、有人安全やISSインターフェース等についてはHTV実績を踏まえた設計を踏襲している。例として、ISSに接近するランデブー誘導制御方式はHTV実績を継承しながら、運用シーケンスを簡略化した。

2.2.3 軌道上実証プラットフォームとしての付加価値向上

HTV-Xは物資補給後も軌道上に最長1.5年飛行継続し、将来に向けた開発機器などの軌道上実証を行う“軌道上実証プラットフォーム”としての活用も可能になっている。サービスモジュールとしては、実証ミッション機器の搭載性の確保(大型ミッション機器も搭載可能)、実証機器への電力やテレメトリー・コマンド等のリソース提供、実証期間中の地上局通信機能の追加、軌道維持機能(自律軌道制御)追加など、技術実証を支援する機能を具備している。

2.3 サービスモジュールの製造・試験

サービスモジュールは2022年2月に詳細設計を完了した。1号機の製造・試験を進めて、2024年12月に開発試験を完了した。開発試験の中では、電磁適合性試験、熱真空試験、音響試験などを実施し、打上げや軌道上環境での動作を検証した(図3)。2025年2月に種子島宇宙センターへ輸送し、カーゴや実証ミッション機器の搭載、サービスモジュールと与圧モジュールの全機結合、結合後の全機機能試験を実施して、2025年10月26日にH3ロケット7号機で打ち上げられた。



電磁適合性試験



熱真空試験

図3-HTV-X1号機サービスモジュールの開発試験

3. HTV-X1号機の軌道上運用

HTV-X1号機は2025年10月26日に打上げ後、太陽電池パドルを展開し、三軸姿勢を確立した。その後、“ランデブーフェーズ”として、GPS(Global Positioning System)絶対航法／差分航法を用いて複数回のマヌーバを実施しながらISSとの高度差及び位相差を調整し、10月29日にはISSと直接通信が可能な領域(近傍域通信領域)に到達した。ISSとの近傍通信を確立後、“ISS統合運用フェーズ”として、ISSのGPS情報と、HTV-XのGPS情報を用いたGPS相対航法(RGPS)を使用し、ISSの下方約500mまで到達させた。LIDAR(LIght Detection And Ranging)を使用した航法に切り替えて、ISSへ徐々に接近し、ISSの下方約10m付近に設定されたキャプチャポイントでISSと相対的に停止させた(図4)。ISSの宇宙飛行士がロボットアームでHTV-X1号機のキャプチャに成功した(図5)。HTV-X1号機の相対位置・姿勢は非常に安定しており、スムーズなキャプチャであり、また、キャプチャ時刻は10月30日0時58分と予定どおりの時刻にISSに到達した。その後、ロボットアームを用いてISSへ結合された。

HTV-X1号機はISSへの物資搬入の後、2026年3月6日にISSから離脱し、技術実証ミッション運用を開始した。HTV-X1号機は超小型衛星放出H-SSOD、軌道上姿勢運動推定実験Mt. FUJI、展開型軽量平面アンテナ軌道上実証DELIGHTの三つの技術実証ミッションを搭載しており、これらの軌道上実証を行った。その後、2026年5月26日に3回の軌道離脱マヌーバを実施して高度を降下させることで、大気圏へ再突入させ、ミッションを完了した。

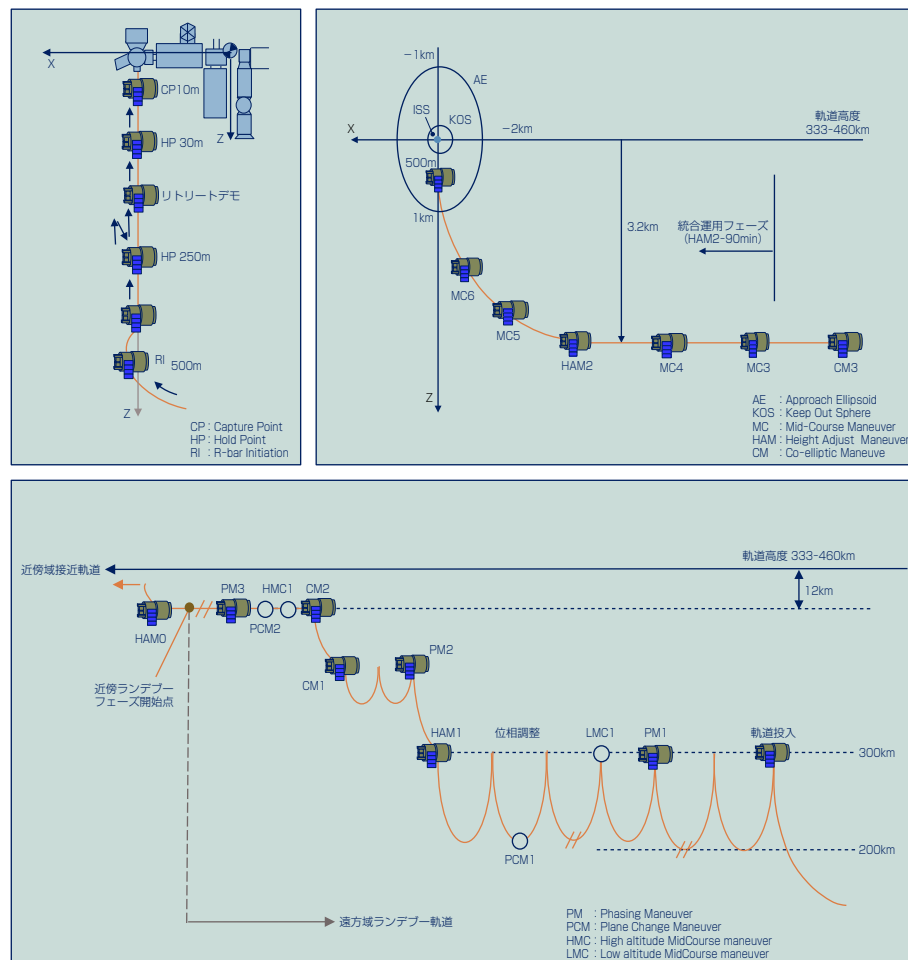


図4-HTV-Xの飛行シーケンス



図5-ISSから撮影されたHTV-X 1号機

4. 今後の展望

この章では、HTV-X後続号機の開発状況、及び今後の展望について述べる。

4.1 HTV-X後続号機の開発状況

HTV-X 2号機はサービスモジュールの試験を完了し、種子島宇宙センターへ輸送済みである。今後、与圧モジュールとの結合・試験を進める計画である。

HTV-X 3号機では自動ドッキング実証を計画している。HTV及びHTV-XではISSのロボットアームで宇宙飛行士がキャプチャして結合する“キャプチャ・バーシング”方式を採用しているが、自動ドッキング実証では、ISSへの結合まで自動で実施する。自動ドッキングでは、HTV-X側のドッキング機構とISS側のドッキングポートが所定の相対位置・相対速度でコンタクトさせるための6自由度の航法誘導制御が必要になる。当社では自動ドッキングの航法誘導制御を担当しており、搭載ソフトウェアや相対航法センサーの開発を進めている。

さらに、HTV-X 4号機及び5号機的设计も開始している。

4.2 商業宇宙ステーション(ポストISS)、国際宇宙探査等への発展

ISS退役後のポストISSでは、米国商業宇宙ステーション(CSS)の開発・運営が計画されている。(株)日本低軌道社を中心に、HTV-Xを活用した、CSSに接続する“日本モジュール”，及びCSSへの物資補給機“HTV-XC”(HTV-X for Commercial)の開発を開始している。また、Gatewayへの物資補給を、HTV-X発展型で対応する構想についてJAXAを中心に検討している。さらには、宇宙空間での様々な物資輸送サービスを担う軌道間輸送機(Orbital Transfer Vehicle：OTV)の検討に着手している(図6)。



図6-OTVのイメージ

5. む す び

HTV-Xサービスモジュールの開発、1号機によるISSへの物資補給及び技術実証ミッションを完遂した。2号機以降の製造・試験も着実に進めるとともに、HTV/HTV-X開発で培ったRPOD(Rendezvous, Proximity Operations and Docking)技術を基に、CSSやGatewayへの物資補給、軌道間輸送機などの開発に積極的に参画し、民間による地球低軌道でのビジネス創出、人類の活動領域の拡大へ貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 堀田成紀：新型宇宙ステーション補給機“HTV-X”サービスモジュール，三菱電機技報，**93**，No.2，149～153（2019）
- (2) 松本達也，ほか：宇宙ステーション補給機(HTV)量産機の成果とHTV後継機開発による将来宇宙機構想の構築，三菱電機技報，**95**，No.2，109～112（2021）