

# 新型宇宙ステーション補給機 “HTV-X” サービスモジュール

堀田成紀\*

Improvement of Japanese Cargo Transfer Vehicle "HTV-X" and Service Module

Shigeki Hotta

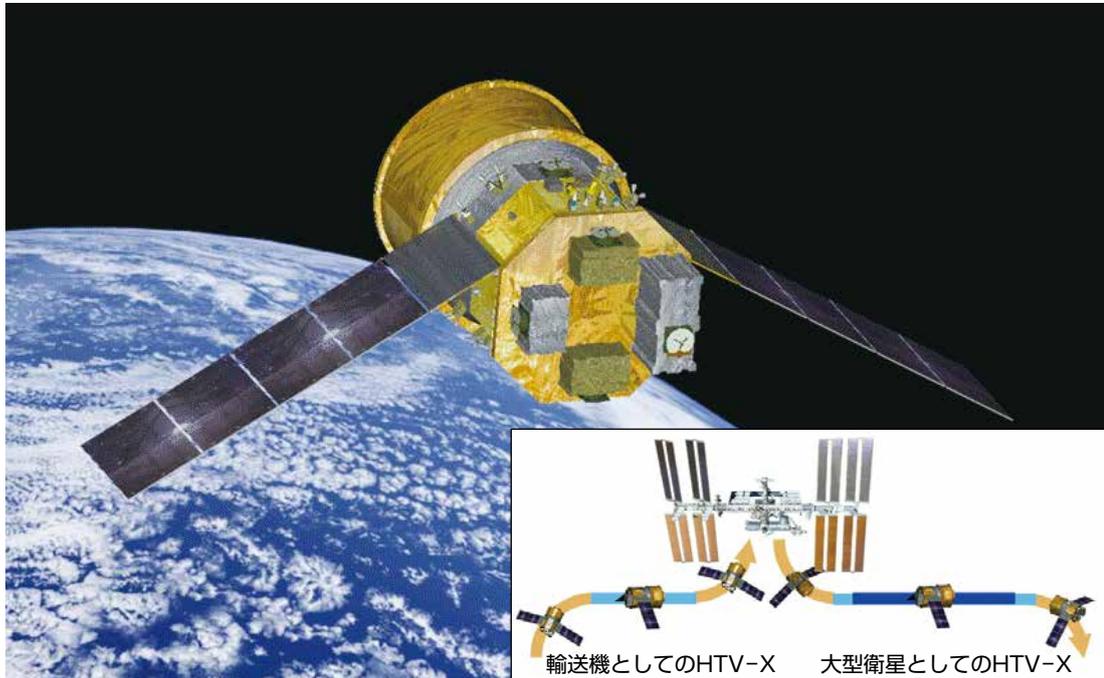
## 要 旨

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(International Space Station : ISS)への物資補給を行うとともに、将来の宇宙活動に対する波及性の高い技術を獲得するための技術実証プラットフォームとして活用することを目的として開発が進められている。7機の飛行実績を持つ宇宙ステーション補給機(H-II Transfer Vehicle : HTV)の開発・運用実績を踏まえて、輸送効率を更に向上させることで国際協力ミッションであるISS運用に寄与する。また、物資補給後の軌道上飛行期間を活用し、技術実証プラットフォームとして利用し、将来宇宙活動の発展に寄与することをもう一つの開発目的としている。

三菱電機では、“ISSへの物資輸送機”と“技術実証プラットフォームとしての大型衛星”の二つの開発目的を実現す

るために、宇宙輸送機・大型衛星の開発実績・技術を最大限に活用してHTV-Xの開発に取り組んでいる。現行HTVからの技術的改良を実現すべく、当社の静止・周回衛星技術を積極的に融合させ、確実かつ効率的な開発を進めている。

HTV-X開発を踏まえた将来への取組みとして、ポストISSの国際動向を踏まえてHTV-Xの技術実証プラットフォームを活用したドッキング実証等の将来技術獲得にも積極的に取り組む方針である。さらには、将来的な月拠点有人活動を支える物資輸送機としての発展も視野に入れてHTV-Xサービスモジュールの開発で得られた技術を活用していく。



## 新型宇宙ステーション補給機“HTV-X”の軌道上飛行イメージとその開発目的

HTV-Xは、国際宇宙ステーションへの物資補給を行うとともに、将来の宇宙活動に対する波及性の高い技術を獲得するための技術実証プラットフォームとして活用することを目的として開発を進めている。輸送機として物資補給ミッションを完了した後、最長1.5年間の軌道上飛行期間を利用して軌道上技術実証を行う。輸送機と軌道上実証プラットフォームとしての大型衛星の両方の機能・性能を具備した宇宙ステーション補給機である。

## 1. ま え が き

当社は、宇宙輸送機としてISSへの物資補給を担うHTVの電気モジュールの開発・製造・運用に20年来携わっている。その実績を踏まえて、HTV-Xサービスモジュールの開発メーカーとして宇宙航空研究開発機構から選定され、2016年度から開発に着手している。HTV-Xは、ISSへの物資補給を行うだけでなく、その貴重な飛行機会を利用して将来宇宙活動に寄与する軌道上実証ミッションを行う軌道上プラットフォームとして活用することも開発目的となっている。

本稿では、物資補給と軌道上プラットフォームの両方の要求を実現する新型宇宙機であるHTV-Xサービスモジュール開発に関する当社の取組みを述べる。

## 2. HTV-X開発の目的と当社の取組み

### 2.1 HTV-X開発の目的

HTV-Xは、ISSへの物資補給を行うとともに、将来の宇宙活動に対する波及性の高い技術を獲得するための技術実証プラットフォームとして活用することを目的として開発を進めている。ISSへの物資補給は、現在、日本が開発したHTV及び米国・ロシアの補給機によって実施されている。HTV-Xでは、HTVの開発・運用実績を踏まえて、輸送効率を更に向上させることで国際協力ミッションであるISS運用に寄与するとともに、国際パートナーに対するプレゼンスをより一層高めることを開発目的の一つとしている。また、物資補給後の軌道上飛行期間を活用し、技術実証プラットフォームとして各種軌道上実証ミッションユーザーに対する軌道上実証サービスを提供し、将来宇宙活動の発展に寄与することをもう一つの開発目的としている。

### 2.2 当社の取組み

当社では、“ISSへの物資輸送機”と“技術実証プラットフォームとしての大型衛星”の二つの主な開発目的(図1)を実現するために宇宙輸送機・大型衛星の開発実績・技術を最大限に活用してHTV-Xの開発に取り組んでいる。HTV-Xはサービスモジュールと与圧モジュールの二つのモジュールから構成される機体であり、当社実績・技術が活用できるサービスモジュールの開発に2016年12月から着手している。HTV-Xサービスモジュールの開発に関しては、次の4点を主要な取組み方針として開発を進めている(図2)。

#### (1) 有人安全要求への対応

HTV電気モジュールの開発及び7機の製造・実運用の経験を最大限に活用し、NASA(National Aeronautics and Space Administration)有人安全要求に適合したシステムの開発を進める。特に、NASA安全審査やNASAとの統合実運用・合同運用訓練での経験・知見・共有情報を最大限に活用して開発を行う。

#### (2) 輸送能力向上と費用削減

衛星開発・運用実績及び最新の技術開発成果を取り込み、

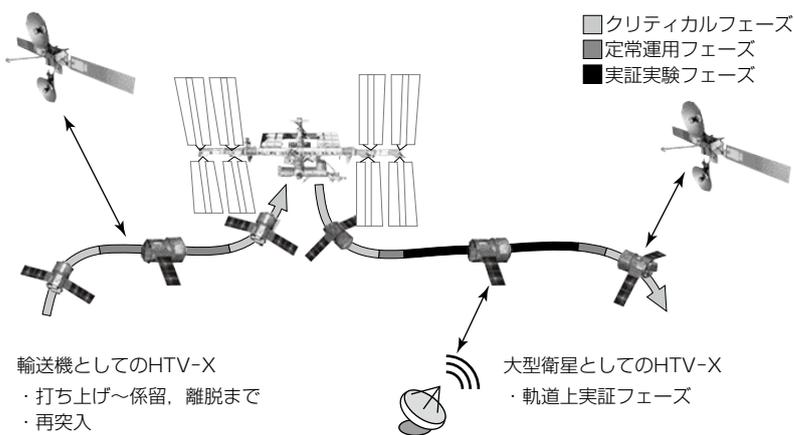
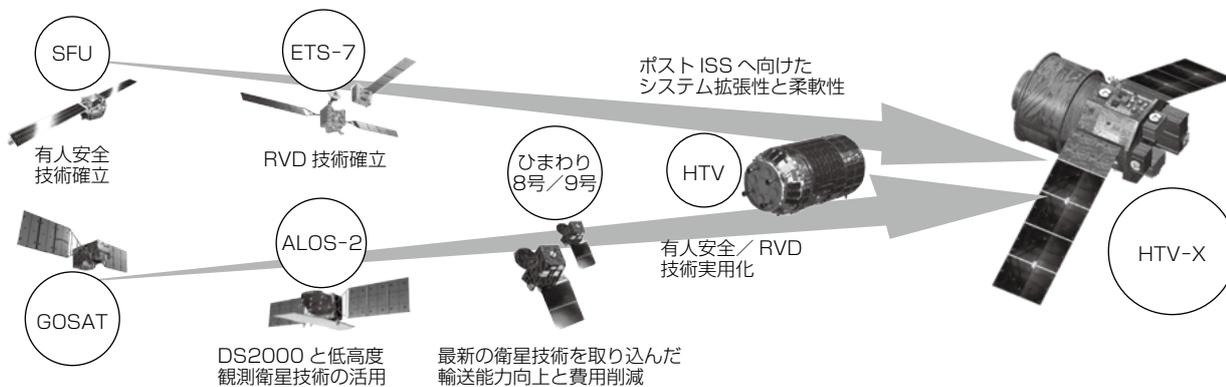


図1. HTV-Xの二つの主な開発目的



SFU : Space Flyer Unit, RVD : RendezVous Docking, ETS : Engineering Test Satellite, GOSAT : Greenhouse gases Observing SATellite, ALOS-2 : Advanced Land Observing Satellite-2

図2. HTV-X開発での当社の取組み方針

輸送能力を向上させつつ、リスク低減と開発費低減を両立させる。当社標準衛星バスでの既存技術を最大限活用してサービスモジュール開発を確実に遂行する。

(3) 拡張性と柔軟性

国際宇宙探査、ポストISSでの新しい宇宙領域での有人活動、各種軌道上実証ミッションユーザーの要望等を踏まえた技術実証へのシステム拡張性と柔軟性を確保する。ISSへの輸送ミッションと技術実証ミッションを両立させる電力・熱・通信等の衛星システムを実現する。

(4) 開発方式と工期遵守

HTV及び衛星開発の実績に基づき、新規技術要素だけエンジニアリングモデル(EM)を用いて要素検証を行う“部分EM⇒PFM(Proto Flight Model)方式”で短期開発を実現する。

3. サービスモジュールとHTVからの改良

3.1 サービスモジュール

HTV-Xは、サービスモジュールと与圧モジュールの二つのモジュールから構成されている(図3)。サービスモジュールは機体バス部に相当し、電力系、太陽電池パドル系、通信系、推進系を持ち、搭載計算機を核とした統合化制御系で機体制御を行う。また、物資輸送として曝露(ばくろ)カーゴを搭載する機能を持っている。与圧モジュールは、ISSへの結合部分を持っており、与圧環境を維持してISSへの輸送物資搭載が可能である。

3.2 HTVの実績を踏まえた改良点

3.2.1 HTV-Xサービスモジュールで実現する改良点

HTV-X開発での当社の取組み方針を踏まえて、現行HTVでのISSへの物資補給ミッション7機連続成功の実績を最大限継承するとともに、当社が持つ衛星技術を積極的に取り込み、効率的かつ付加価値の高い宇宙機の開発を

進め、現行HTVからの技術的改良を実現する。次に主要な改良点について述べる。

3.2.2 HTV実績と衛星システム技術の融合

“ISSへの物資輸送機”と“技術実証プラットフォームとしての大型衛星”の両立のため、現行HTVの開発実績を活用するとともに当社の静止・周回衛星の技術を融合することで確実かつ効率的な開発を進める。ISSへの輸送ミッションに必要な有人安全、ISSインタフェース等については、HTV実績を踏まえた設計を踏襲することで開発リスクを低減する。また、技術実証プラットフォーム衛星としては、当社衛星標準バスで軌道上実績を持つ既存機器(太陽電池パドル・データ処理機器・通信機器等)を活用し、信頼性を確保しつつ効率的な開発を進める。特に、有人安全固有の要求が課せられる機器については、当社標準バス機器を積極的に使用することをベースに、現行HTVで認められた有人安全設計の考え方を取り込むことで、当社既存機器の延長線での機器開発を進めている。

3.2.3 統合化制御系によるアビオニクス機能効率化

HTV-Xサービスモジュールでは、航法誘導制御・データ処理・システム管理を統合的に処理するため統合化制御系を構築している(図4)。統合化制御系では、最適な計算機の機能配分によって機器統合化を実現するとともに、データバス化によって機器間インタフェースを簡素化している。

現行HTVでは、計算機機能が9個のCPU部に分散していたが、CPU部計算機機能の最適化・機器統合によって6個のCPU部に統合した。また、搭載計算機は、同一仕様の計算機3台(図4でFCと表示)で構成され、それぞれに2個のCPU部を実装している。搭載計算機と各種搭載機器間のデータ処理(コマンド・テレメトリ機能)については、標準インタフェース機器(図4でRIMと表示)3台で実現し、当社標準機器を積極的に活用している。データインタフェースは、SpaceWireと1553Bのデータバス導入によって、基幹データインタフェースを統一化して機器間インタフェース数を削減し、簡素化している。

3.2.4 HTV飛行実績を踏まえた電力系の刷新

ISSへの物資輸送を完了して離脱した後、1.5年間の軌道上実証プラットフォームとして飛行を継続するため、現行HTVでの一次電池ベースの電力系を刷新し、太陽電池パドル化の電源構成とする。これによって、飛行中の太陽電池発生電力と負荷消費電力のバランスを維持することで継続的な軌道上実証が可能になる。また、ミッション期間を通して、負荷状態に基づく必要電力と供給可能電力のバランスを最適化し、適正規模の電力系を実現している。特に、電力収支が厳しいISS近傍運用中とISSからの供給電力制約が課せられるISS係留運用中で、現行HTVでの飛行実績を評価の上、過剰規模にならないように電力システム設計を最適化している。また、ミッション期間中の太陽光入

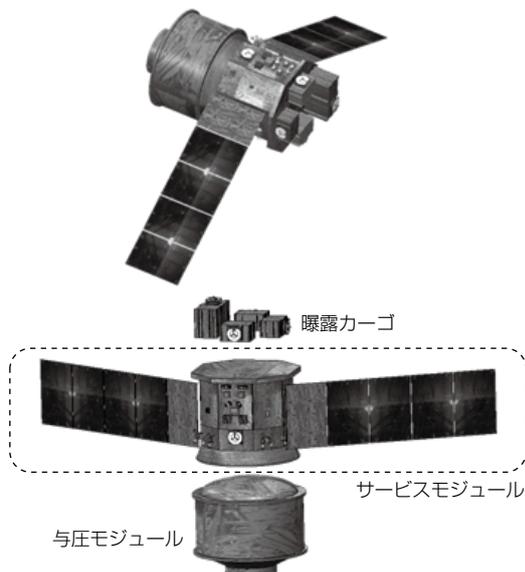


図3. HTV-Xとサービスモジュール

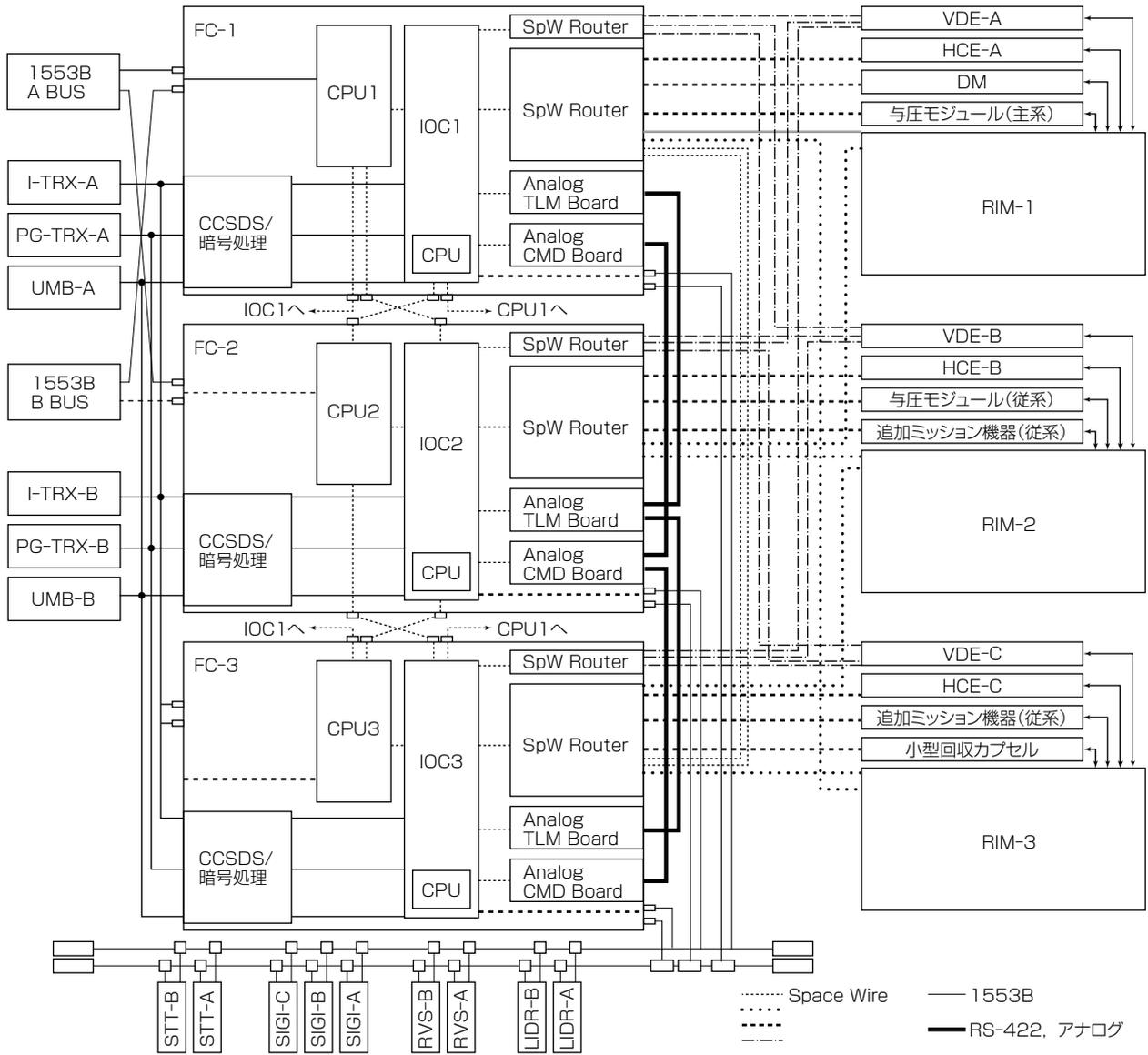


図4. サービスモジュール統合化制御系

射角変動や係留時軌道周回中のISSからの陰の影響を考慮し、太陽電池パドルからの電力供給を最大とするため、電力最大点追尾機能を持つ電力系システムを構築している。

3.2.5 サブモジュール化による製造効率化

サービスモジュールの構体は大きく四つのサブモジュールから構成される。電気系搭載部と推進系搭載部はそれぞれ個別に組立てを行い、サブモジュールとして組立て完了後にサービスモジュールとして組み上げる。これによって、製造を並行実施できるためスケジュール短縮に寄与できる。また、曝露カーゴ搭載部については、打ち上げ号機ごとに

ISSに輸送される曝露カーゴは異なり、各々の曝露カーゴに適合した搭載インタフェースを具備する必要がある。このため、曝露カーゴユーザーの都合に柔軟に対応していく必要から、その他サブモジュールの製造スケジュールより

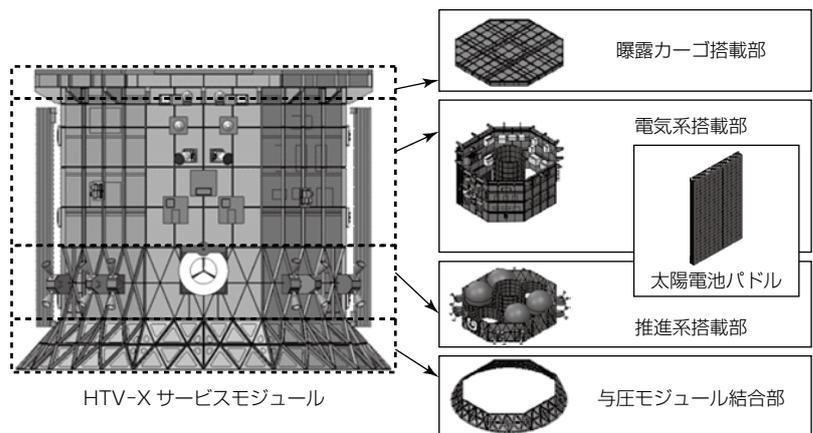


図5. サービスモジュールのサブモジュール構成

も後になる。曝露カーゴ搭載部については、工場ではサービスモジュールには組み込まず、射場に直接搬入して射場での組立てを行う。これは、曝露カーゴユーザーへのサービス向上を意図したものである(図5)。

項目	年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021
開発マイルストーン		▲プロジェクトスタート		▲NASA安全審査#1 ▲システムPDR		▲NASA安全審査#2 ▲システムCDR	HTV-X1打ち上げ▲ ▲NASA安全審査#3
システム設計		予備設計	基本設計	詳細設計		維持設計	
サブシステム設計		予備設計	基本設計	詳細設計		維持設計	
製造/試験				評価試験			
コンポーネント要素試作					製造	試験	
コンポーネント開発モデル							
統合化制御系サブシステム開発試験					ハードウェア 噛合せ試験	航法誘導制御 閉ループ試験	
コンポーネントフライトモデル					製造	試験	試験
サービスモジュールシステム構造モデル				製造	試験		
システムPFM						一次噛合せ	製造 試験 射場 ▲搬出

PDR : Preliminary Design Review, CDR : Critical Design Review, PQR : Post Qualification Review

図6. HTV-Xサービスモジュールの開発スケジュール

4. 開発スケジュールと効率的な開発への取組み

2021年度の初号機打ち上げスケジュールを遵守し、手戻りなく確実に開発を進めるため、開発要素を精査・識別の上、効率的な開発を進めていく必要がある。このため、HTV及び衛星開発実績に基づき、新規技術要素だけEMを用いて要素検証を行う部分EM⇒PFM方式の採用を開発方針としている。多くの搭載機器については、既存の実績ある機器をベースにHTV-X固有の要求に適合するように改修して対応が可能であり、要素試験、部分EMによる開発計画にしている。有人安全性の観点からISSへの衝突ハザード制御の根幹機器となる搭載計算機及び搭載ソフトウェアの開発については、十分な検証が要請されるため、試作モデル(BBM)及びEMによる開発試験に加えて、航法誘導制御系サブシステムとしての開発試験を行い、早期に有人安全性を担保できる開発計画にしている。また、サービスモジュールシステム試験としては、機器間のインタフェース検証を早期に実施し、不備等があった場合でも大きな手戻りが発生しないように、機体組立作業の前に一次噛合せ(かみあわせ)試験を行う。機器本搭載後は、システムPFT(Proto Flight Test)として、機能性能試験、熱真空試験・音響試験等の環境試験を実施する計画である。サービスモジュールとしてのシステムPFT完了後、射場で与圧モジュールとの全機結合を行い、機能性能点検、カーゴ搭載作業等を行い、打ち上げとなる(図6)。

5. 将来に向けた取組み

HTV-Xは将来の宇宙活動に対する波及性の高い技術を獲得するための技術実証プラットフォームとして活用する

ことをミッションの一つとして開発されている。将来の宇宙活動として、ポストISSへの取組みに関して国際的な議論が活発化しており、この枠組みで当社としてもサービスモジュール開発に基づく将来技術獲得に積極的に取り組む計画である。特に、早期の技術獲得が求められるドッキング技術については、サービスモジュール開発の延長として技術開発が可能であると考えられる。ドッキング実証機器として、ドッキング機構やドッキング用センサ等の新規開発品を要するが、ドッキング制御用計算機・搭載ソフトウェア、軌道・姿勢制御用推進系については、サービスモジュール機器を活用することが可能である。

さらに、将来的な月拠点有人活動を支える物資輸送機としての活用も将来ミッションとして想定されるものである。サービスモジュールは、モジュール単独で宇宙輸送機に必要な電力・通信・推進・制御等のバス機能を持っており、月拠点有人活動にも貢献できる要素を兼ね備えている。

6. むすび

ISSへの物資補給と技術実証プラットフォームの両方の要求を実現する新型宇宙ステーション補給機であるHTV-Xサービスモジュール開発への当社の取組みを述べた。2016年度から開発に着手し、2018年度にはシステム・サブシステム・コンポーネントの基本設計を完了し、開発モデルの製作・試験を進めている。2021年度の初号機打ち上げを目指して、HTV-Xサービスモジュールの開発を確実に進めていくとともに、将来の新たな宇宙活動に寄与できる付加価値の高い宇宙機として、JAXA、関係メーカーとも連携して開発を進めていく。