

2.3 成果(インパクト)

2.3.5 普及・広報

(1) 技術実証機ミッションの報道実績

- TV: 計3時間25分54秒分の報道
NHK番組「爆笑問題の学問のすすめ」(5/11)、フジTV「めざましテレビ」他
- 新聞記事: 計209件
- その他(ミッション期間中JAXAチャンネル[YouTube]アクセス数)
 - H-II Transfer Vehicle~日本発宇宙ステーション:113,537アクセス
 - For Future Space Transportation Mission-新たなる宇宙ミッションへ:105,685アクセス
 - 「HTV技術実証機/H-IIB試験機クイックレビュー」:25,339アクセス
 - 「HTV宇宙ステーション補給機ミッションダイジェスト」:8,309アクセス



NHKニュース ©NHK

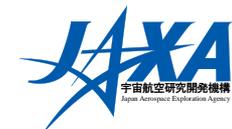


2.3 成果(インパクト)

(2) メーカーのTV CM、広告等

- 三菱電機(株)は企業イメージ向上のため、TV CMにてHTV開発への参加を宣伝。
- パナソニック電工(株)はTV CMにてHTV非与圧キャリア用LED照明装置の開発実績を宣伝。
- その他、下請会社においても下表の広報を実施。

	会社名	担当部品	広報概要
1	日本アビオニクス	HTV非与圧コントローラ用プリント配線板	JPCA Show 2010出展
2	東明工業	非与圧部/推進モジュール構造	NHK取材(TV放送)
3	山梨アビオニクス	電子基盤	HTVイメージ画像会社案内掲載
4	多摩川精機	HTV非与圧部用ホイール子部品	東京国際航空宇宙産業展出展
5	日本アビオニクス	HTV非与圧コントローラ用プリント配線板	JPCA SHOW2009出展
6	タムラ製作所	変圧器	2009年12月プレスリリース)



3. 成否の原因に対する分析

3.1 開発段階における成否の要因

- ロケット・衛星などの事故を踏まえた信頼性向上活動、有人システム技術に関する検証活動などのNASAの経験を適切に反映した結果、設計や製造に起因する大きな不具合がなくミッションを遂行することができた。

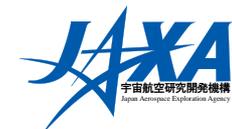
	成否の要因	分析
1. 設計に関する要因	(1) ロケットや人工衛星の事故から得た教訓の忠実な反映	開発初期に、過去のロケットや人工衛星の不具合事例を調査し、そのLessons Learnedをできる限り開発計画へ取り入れた。
	(2) 徹底的に単一故障点を排除した多重化設計を実施	GNC系、電力系、データ処理系、通信系などのサブシステムにおいて、多重化を図るとともに、単一故障点を徹底的に排除して、ロバストなシステムとした。
	(3) 飛行実績のあるコンポーネントの採用	ランデブーセンサ、地球センサ、スラスタ、GPSアンテナ等は飛行実績のあるものを採用した。
	(4) HTV相対航法専用GPS受信機をJEMに搭載	宇宙ステーションが配信するGPSデータを評価して、安定性が不十分で精度不足と判断し採用を中止した。独自のGPS受信機をISS上に保有することで、不具合発生時の対処が容易になった。
2. 試験に関する要因	(1) インタフェース確認試験の重視	<p>HTVは以下の通り多種多様なインターフェース(HW,SW,RF等)を持つが、全て試験を実施することによって、埋もれていた設計ミスなどの不適合を洗い出し、修正を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> • PROXインタフェース • ロケットインタフェース • ISSインタフェース • JEMインタフェース • TDRSインタフェース • GPSインタフェース • クルーインタフェース • カーゴインタフェース

3. 成否の原因に対する分析

3.2 運用段階における成否の要因

- 人工衛星での経験に、JEMなどの有人システムの運用経験を加えることで、確実な運用を進めることができた。

	成否の要因	分析
1.	分散シミュレーション(DIS)の開発	国内のHTVシミュレータと米国のISSシミュレータを接続し、太平洋をまたいでISS/HTV/ロボットアームの同時運用を模擬できる高精度統合シミュレーション環境を構築した。クリティカルな近傍飛行時の統合運用において、実運用環境に近い模擬訓練が可能となった。
2.	運用管制要員の習熟	<p>運用管制要員は計92回のシミュレーション訓練を行い認定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ランデブ・離脱・再突入訓練(合計65回) <ul style="list-style-type: none"> 国内訓練: 26回 (ISS近傍: 16回, 遠方ランデブ: 7回, 再突入: 3回) 日米合同訓練: 39回 HTV1係留運用訓練(合計25回) <ul style="list-style-type: none"> 国内訓練: 14回、日米合同訓練: 11回 HTV1統合訓練 <ul style="list-style-type: none"> 日米合同訓練: 2回(ランデブから係留へ、係留から分離・離脱へ) <p>技術実証機の実運用中に予期せぬ異常事象(GPS航法値精度劣化、スラスト温度上昇、CPUフリーズ等)が発生したが、習熟度の高い運用管制要員によつて的確な対応が取れた。</p>
3.	異常事象対応の手順書準備	発生が想定される故障対応シナリオを約1500件識別し、通常運用のシナリオを含め手順書を事前に合計約1800件準備した。



3. 成否の原因に対する分析

3.4 軌道上で発生した問題への対応

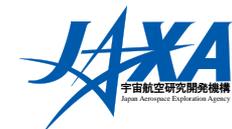
- 機器が使用できなくなる故障は発生しなかったが、想定していた通りに機能しない問題が発生した。しかし、運用で適切に対処してミッションを計画通り成功に導き、2号機の対策も完了している。

問題点	推定原因	運用対処	次号機の対処
HTV のGPS絶対航法値位置誤差が、一時的にスペックを逸脱した。	GPS受信機ソフトウェアの誤りにより、12時間以上経過すると時刻誤差が増え、GPS衛星の観測データを取り込まない事象が一時的に発生した。	12時間の間隔でリセットをかけることで、航法誤差の増大を防いだ。	GPS受信機のソフトウェア(時刻管理モジュール)を修正した。(14日間の耐久試験を実施して改修の妥当性を確認)
最終接近のISS直下300mホールド点で、使用頻度の高かったRCSスラスト噴射器の一つが許容温度近くまで上昇した。	噴射デューティが過渡的に増加したこと、長い配管の影響で前方RCSスラストの作動点が低混合比側にシフトしたこと、高温化した。(本スラストは、低混合比作動点で燃焼室温度が高温化する特性を有する)	最終接近中に、A系からB系、さらにB系からA系に切り替えることで、許容温度内に維持した。	燃焼試験において高温で安定して作動することを確認。(許容温度上限値を変更。)高温耐性の高い白金温度センサへ変更。ホールド点変更(300m→250m)による噴射デューティの軽減、ノミナルホールド時間短縮を実施。
ISS出発後、GCC内のメインの3つのCPUにエラーが発生して、フリーズする事象が発生。その結果、アポート用のCPUに自動的に切替った。	GPS Week更新時、GPS受信機が出力する週番号と週秒が非同期に更新されたため、時刻補正処理が正しく行われず、差分GPS航法で長時間伝搬が発生し、すべてのCPUにエラーが発生した。	ランデブソフトウェアを打上げ時の設定に戻して、復帰した。	ランデブソフトウェアが、GPS Weekの週またぎを検知した場合、ある一定期間は時刻補正処理を停止するよう、ソフトウェアを改修。

4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.1 開発スケジュール

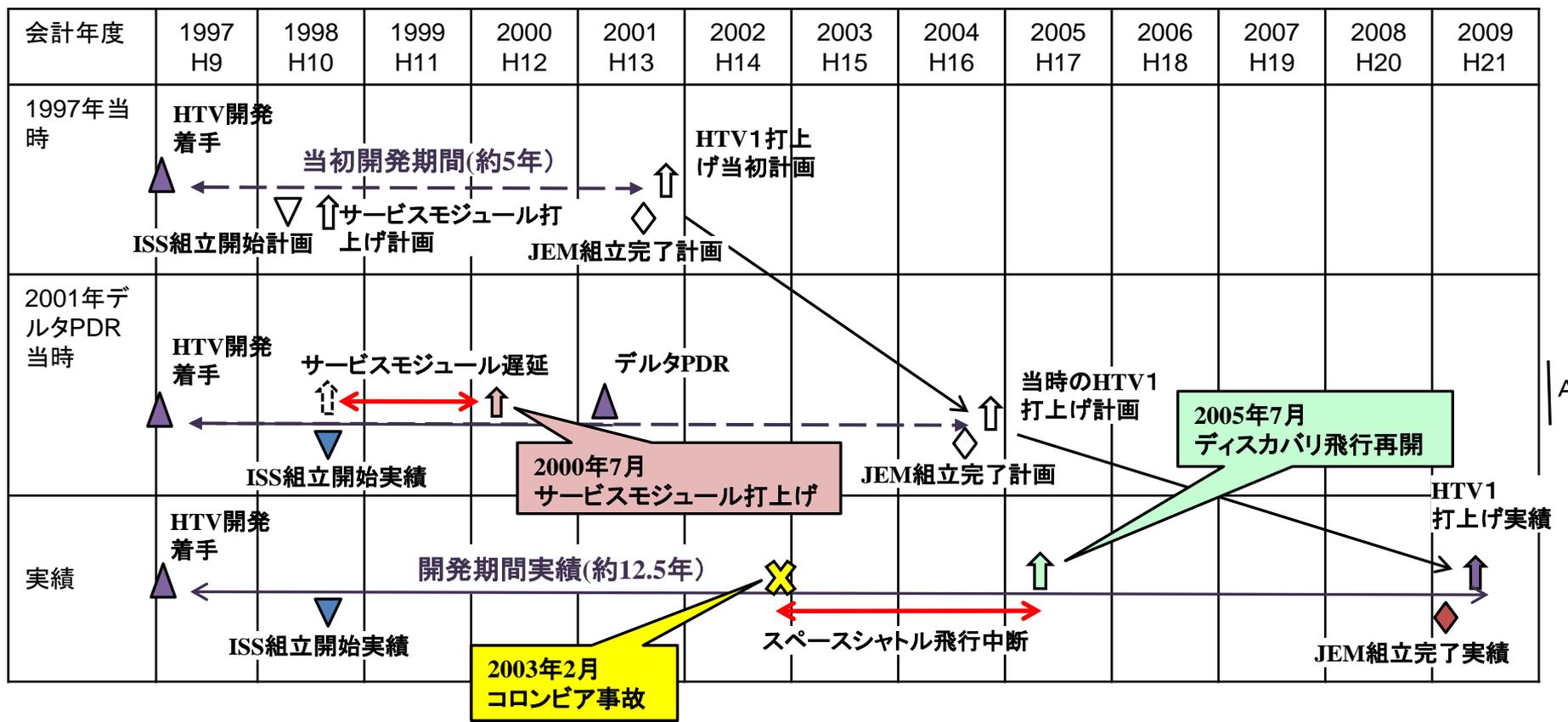
- 平成9年度に開発着手した当時のHTV技術実証機打上げ計画は平成13年度。
 - HTV技術実証機の打上げスケジュールは、JEM組立て完了後3ヶ月程度をターゲットとしていた。
 - 度重なる宇宙ステーション計画の遅延とそれに伴うJEM打上げ延期の変遷は、次ページの通り。
- JEM組立て完了が平成21年度上半期となったことから、最終的にHTV技術実証機は平成21年度打上げとして計画された。
 - HTV技術実証機は必要な時期に遅れることなく、平成21年9月～11月に打上げ・運用を完了した。
- 約8年延長された開発期間を活用して、以下のような要求変更等に適切に対応し、安全・信頼性向上、HTVの位置づけの向上などを図ることができた。
 - ロケット・衛星の事故の水平展開の反映
 - 追加安全要求の対策反映(プログレス事故等)
 - 輸送要求の変更(曝露輸送の追加)



4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.1.1 打上げ/開発スケジュールの変遷

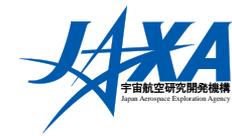
- HTV技術実証機の打上げスケジュールは、JEM組立ての約3カ月後に計画。
- ロシア・サービスモジュールの遅れや米コロムビア号事故の影響などによる宇宙ステーション全体組立の遅延に伴い、開発期間は当初約5年から、約12年半へ延長。



宇宙ステーション/JEM/HTV打上げスケジュールの変遷

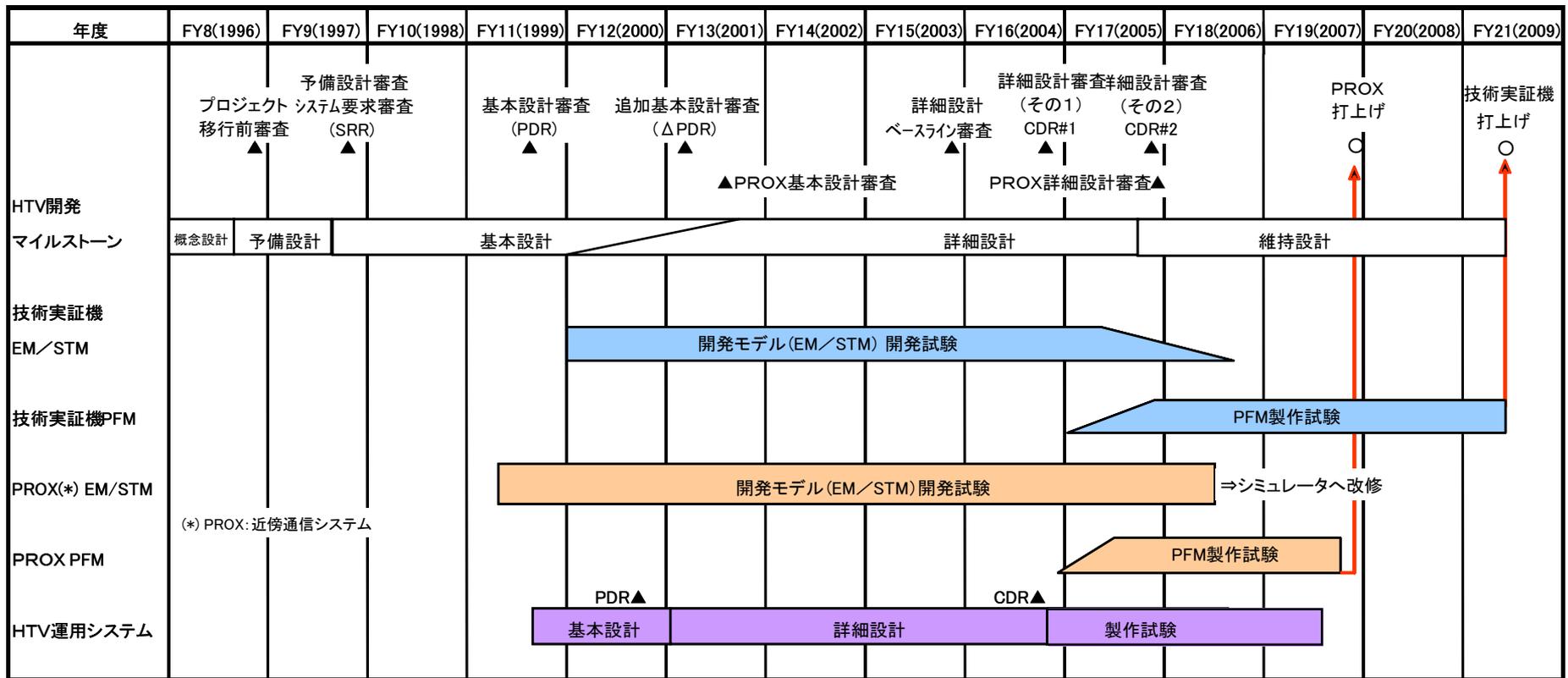


4. プロジェクトの効率性に対する分析



4.1.2 開発スケジュール実績

HTVの開発スケジュール実績は以下の通り。

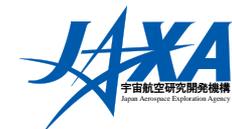


4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.2 開発コスト

- 平成9年度に開発着手した当時の総開発経費は280億円。(打上げ経費を含まず。)
- 平成18年度に開発資金の見直しを行い、総開発経費は677億円(約2.42倍)となった。
 - プロGRESS衝突事故等を反映した追加安全要求の取込み、大型船外物資輸送要求によるコンフィギュレーション変更、打上げ延期に伴う機器価格上昇などにより、開発資金が増加。(詳細は次ページ参照)
 - 総開発経費及びその増加については、同様なシステムであり、同様な追加安全要求が課されたESAのATV以下に抑えられており、結果としては妥当と判断される。またJAXAチーフエンジニアリングオフィスによる評価においても妥当と判断された。
ATV当初開発費4.41億ドル*→ATV開発完了時11.3億ユーロ(=14.3億ドル**) ⇒**3.24倍の増加**
(*1996年ESA発表 **平成19年度支出官レートによる換算 1ユーロ=1.27ドル)
 - 打上げロケットをH-IIB試験機(初号機)に変更して総開発経費の低減を図るとともに、技術実証機で物資を補給することにより共通システム運用経費の我が国負担分へ充てることとした。
- 平成18年度以降は、追加安全要求はなかったものの、マイナーな設計変更や打上げ延期があった。これに対しては強化した体制で適切なコスト管理を実施した。

結果としての総開発経費については十分効率的であると判断される。



4. プロジェクトの効率性に対する分析

コストの経緯

平成9年 開発着手
280億円

- ・ETS-VII等これまでの(無人)人工衛星開発実績を基に開発経費を見積もり
→冗長系は一部のみ。太陽電池無し。近傍通信装置はISSのGPS情報を流用。
- ・計画当初は大きな開発リスクは無いと想定
→開発経費に設計変更やリスク対応等のマージンをほとんど含まず。

- ・NASA要求の見直し 約60億円
→平成9年6月のプログレス衝突事故の反映による追加要求(全方位通信、独立手段による測距・測速機能、ハードウェアコマンドパネルの追加及びそのコマンドによるHTV追加動作)
→ISSに接近する無人機の開発経験がNASAにもなかったため、HTVの開発進捗に合わせて安全要求(GPS、把持機構分離面、ランデブ安全要求詳細化等)が追加されていた。
→船外物資の輸送要求が追加され、曝露パレットと非与圧部が追加となりコンフィギュレーションが大型化した
- ・外部評価の反映 約22億円(ETS-VIIなどの運用実績の反映、軌道上待機時間の向上(太陽電池の追加)など)
- ・信頼性強化 約32億円(ロケット事故等の反映)

平成14年 デルタ基本設計
審査会ベースライン
394億円

- ・NASA安全要求対応設計の取り込み 約178億円(電源バス、誘導制御系センサ、通信系、データ処理系への冗長系追加もしくは変更、それらに伴う重量増などによる構造設計の見直し、熱設計、艀装設計の複雑化)
- ・海外調達品の価格高騰、製造中止対応 約51億円
- ・追加検証試験(NASAインタフェース検証用ハードウェアの追加製作を含む) 約54億円(シミュレータ、モックアップ、近傍通信システムチェックアウト等)

平成18年 プロジェクト資金
の見直し設定
677億円

- ・コスト精査チームによる、開発担当メーカーとの間で内容の**精査及び削減**検討を実施
- ・JAXAチーフエンジニアリングオフィスによる開発費(677億円)の妥当性の評価
- ・国家基幹技術としての「宇宙輸送システム」推進の在り方について(宇宙開発委員会)
- ・H-IIIBロケット試験機による打上げ、技術実証機で物資を補給することを決定

平成21年 プロジェクト完了
677億円

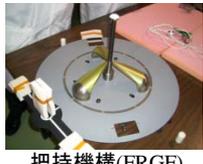
- ・設計、試験計画の確定や管理強化により、18年度に設定したプロジェクト資金からの**超過は無し**。
- ・文部科学省独立行政法人評価委員会による「**S**」評価

4. プロジェクトの効率性に対する分析



プログレスの手動ドッキング試験中にミールへ衝突。太陽電池パネルやラジエータパネルが破損。与圧壁に穴が空いて、減圧が発生した。(平成9年6月)

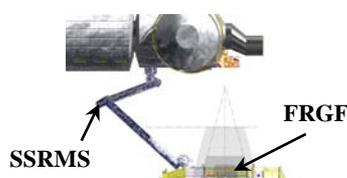
- ・NASA要求の見直し
- ・外部評価の反映
- ・信頼性強化



把持機構(FRGF)



曝露パレット



SSRMS FRGF

平成14年度
394億円

- ・NASA安全要求対応設計の取り込み
- ・部品高騰、製造中止
- ・追加製作



スラスタ



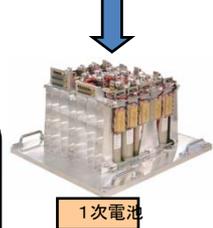
ランデブセンサ



製造中止

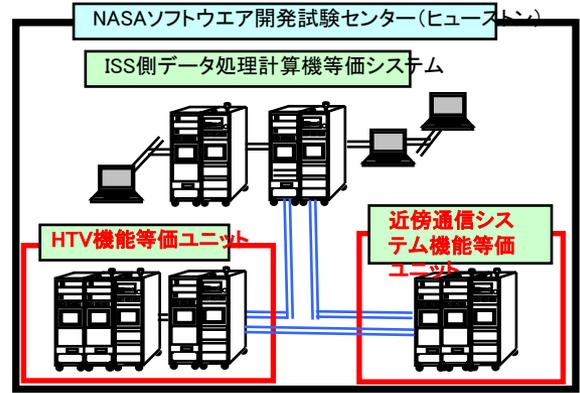


水補給システム

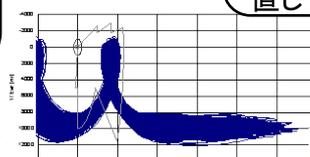


1次電池

- ・曝露パレット、水補給システムの追加
- ・軌道上待機時間確保のため太陽電池追加

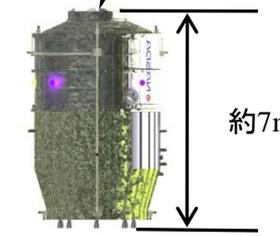


- ・電源バス等冗長系追加。それに伴う艙装、構造、熱設計見直し

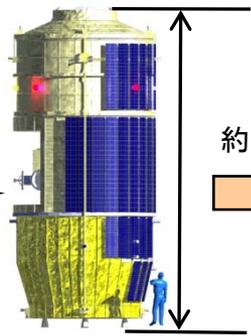


安全確実なランデブーのための軌道見直し、試験追加

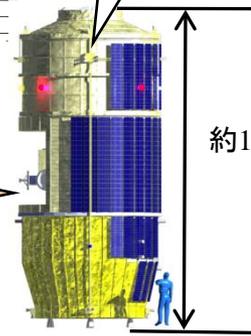
内 訳	コスト (億円)
設計	95
システム試験	86
EM試作試験	242
PFM製作	200
PROX	54



13トン



15トン



16.5トン

4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.2.1 コスト分析 (HTVとATVの特徴と開発費の比較)

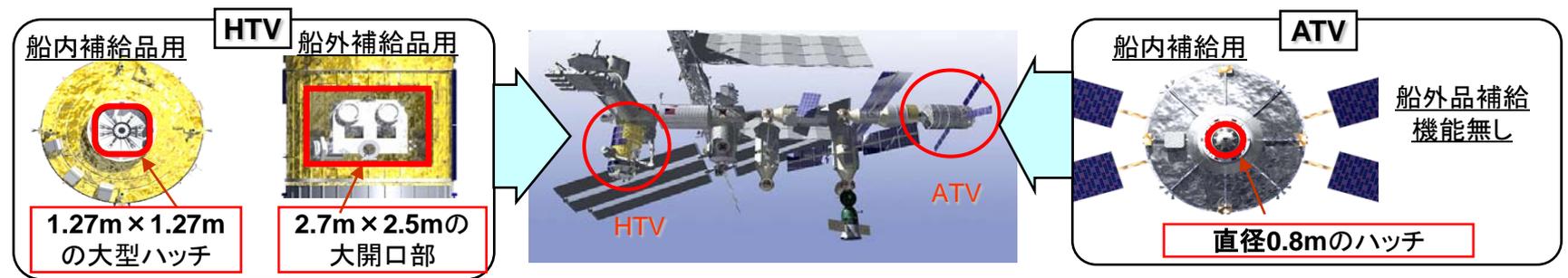
- ATVと比較して半分以下の開発コストを達成した。

(1)HTVの特徴

- ① ISSへの出入り口がATVよりも大きく、ATVでは運べない大型の船内実験装置(ラック)を運ぶことが可能。
- ② ISSの機能維持に不可欠な船外の機器等を運ぶことが可能(ATVにこの機能はない)。
- ③ ISSへのランデブ飛行技術は、我が国が新規開発 (NASAも実績のない、世界初の技術)

(2)ATVの特徴

- ① 出入り口がHTVよりも小さく大型の荷物は運べない。
- ② ATV自身のエンジンを使用し、ISSの高度を上昇させることが可能。また、ISSで使用する燃料をISSに補給可能 (HTVにこれらの機能はない)。
- ③ ISSへのドッキングシステムはロシアの技術を導入。



HTVのみで輸送可能

- 船内実験ラック
- 大型船外実験装置
- 大型船外機器 (ジャイロ等)

HTVでもATVでも輸送可能

- 食料・日用品・水・実験試材など

ATVのみで可能

- ATVによるISSの高度上昇
- 推進薬・空気の補給

HTV初号機開発費
677億円



ATV初号機開発費
11.3億ユーロ (約1700億円)*

*) (推定値) 出典: ESA公式Webサイト: http://www.esa.int/esaCP/SEM2DN9OY2F_index_0.html

13億ユーロからロケット経費1.7億ユーロ差し引き。(ATV開発完了時:平成19年度支出官レート147円/ユーロ)

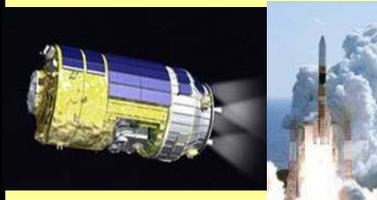
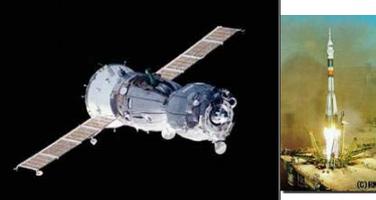


4. プロジェクトの効率性に対する分析

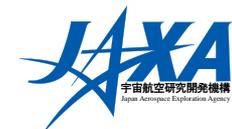


4.2.2 HTVと各国補給機の輸送コストの比較

- 単位カーゴ重量あたりのコストについても、諸外国の輸送機より優位にある。

	HTV (日本)	ATV (欧州)	プログレス (ロシア)	スペースシャトル (米国)	
補給機					
運用期間	2009年～	2008年～	1989年～(プログレスM以降)	1981年～	
ISSへの 物資補給能力	6トン	7.5トン	2トン	補給	9トン
				回収	9トン
総質量	16.5トン	20.5トン	7.2トン	94トン	
打上げロケット	H-II/Bロケット	アリアン5ロケット	ソユーズロケット	スペースシャトルシステム	
輸送コスト単価	約47億円/トン*1	約58億円/トン*2	非公表	約76億円/トン*3	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・1.27m×1.27mの大型ハッチにより大型の船内機器を輸送可能 ・船外機器を輸送可能(現在はシャトル以外で唯一) ・ロボットアーム把持による日本独自のドッキング方式(世界で初めて当該方式のドッキングに成功) 	<ul style="list-style-type: none"> ・プログレスのドッキング技術を導入 ・ハッチ口は小さい(直径0.8m) ・ISSの軌道変更ができる ・ISSへ燃料補給ができる ・船外機器は搭載不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハッチ口は小さい(直径0.8m) ・ISSの軌道変更ができる ・ISSへ燃料補給ができる ・船外機器は搭載不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・2010年で、運用停止予定。 ・有人往還機。ISSからの物資回収も可能。 ・船外機器も搭載可能。 	

*1)280億/6トン、*2)436億/7.5トン(325Mユーロ: July9,2007Space News)、*3)コスト公表値から31機分平均として算出(換算レート:94円/ドル、134円/ユーロ(22年度支出官レート) 48



4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.3 実施体制の分析

- 開発は一貫してプロジェクトチームで実施。管理階層の削減を図って開発を進めたが、開発初期は打上げロケットとの機能分担などを重視して輸送系プログラム内で、実際の運用時期はJEMの運用と協調を重視して有人本部内に組織を置いて、効率化を図った。

国家基幹技術としての「宇宙輸送システム」の推進の在り方について(見解)(平成18年5月24日 宇宙開発委員会)

(2)体制の妥当性

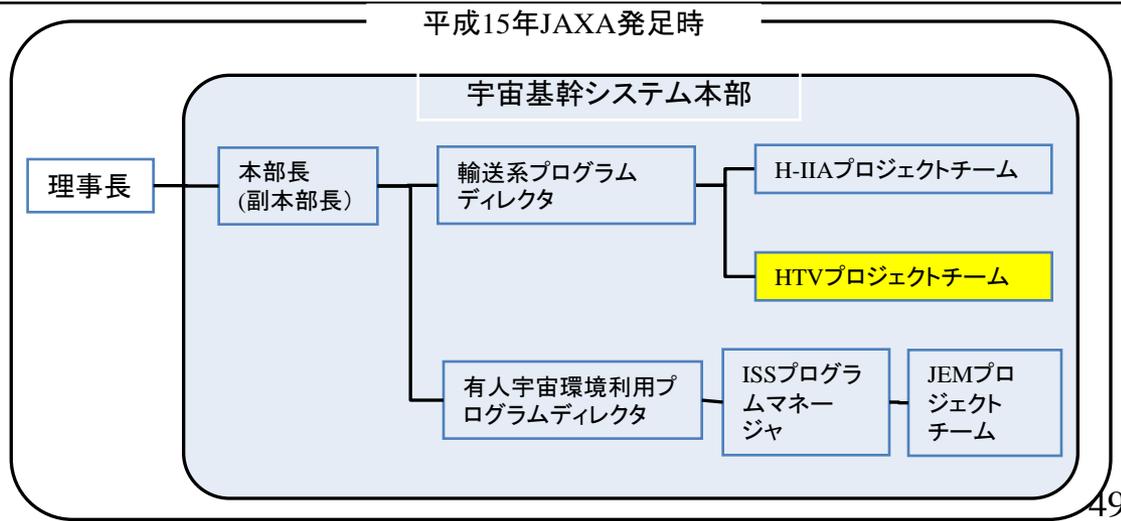
JAXAには、全体の実施責任を担う宇宙基幹システム本部長(理事)の下にH-IIAロケットプロジェクト(H-IIBロケットを含む)及びHTVプロジェクトのプロジェクトマネージャが配置される等、明確な責任分担がなされている。今後は、管理階層の削減による組織の一層の平坦化を進め、担当者の責任と権限を更に明確化するとともに、責任者間の直接対話による情報伝達と意思決定の更なる迅速化を期待する。

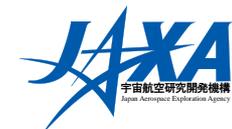
(まとめ部分)

ただし、ISS計画と関連が深いH-IIBロケット及びHTVのコスト管理の強化及び管理階層の削減による組織の平坦化による責任と権限の明確化に対する取組みについては、一層の努力が必要である。

(1) HTVプロジェクト体制の変遷

- 平成15年10月、3機関統合JAXA発足時はHTVプロジェクトは、宇宙基幹システム本部内輸送系プログラム内。



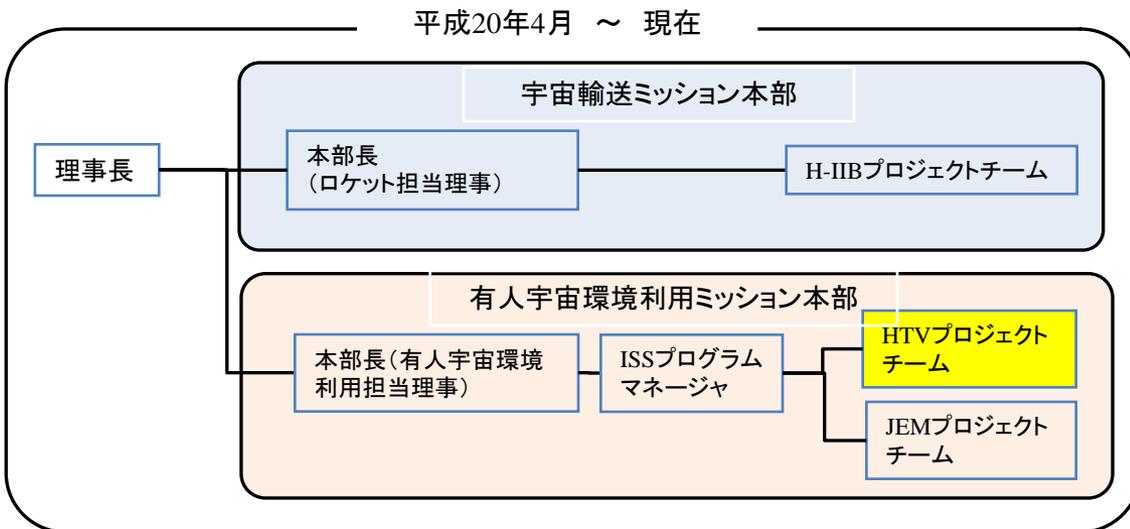
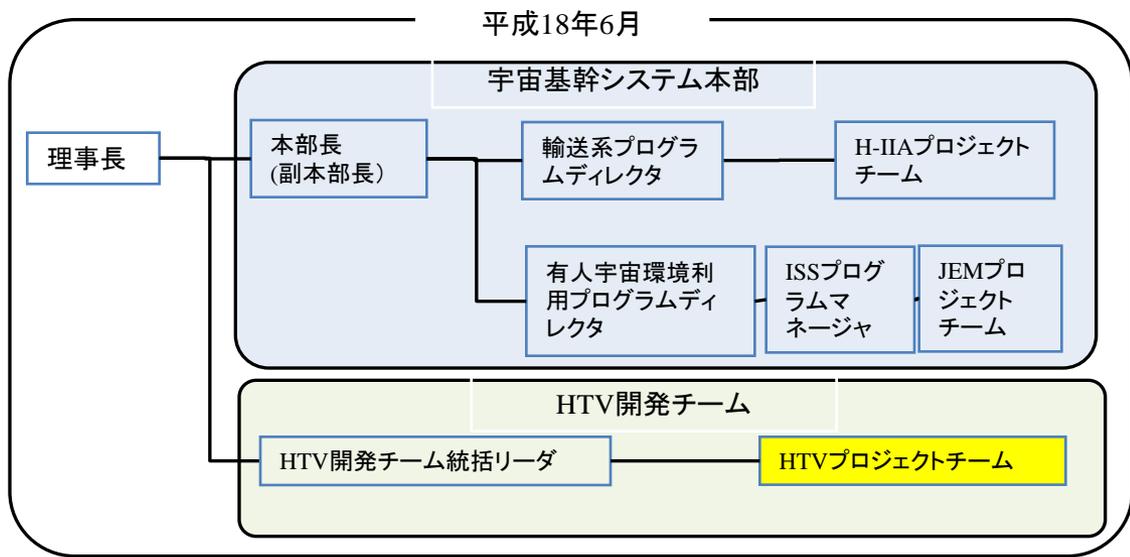


4. プロジェクトの効率性に対する分析

- 平成18年5月、国家基幹技術としての「宇宙輸送システム」の推進の在り方について(見解)宇宙開発委員会
- 平成18年6月、理事長直轄の「HTV開発チーム」を発足。管理階層の削減を図るとともに、責任と権限の明確化を図った。これと同時に、理事長を長とする「HTV統括会議」を新たに設置し、定期的に直接理事長へ課題報告を行うとともに方針決定を行った。



- 平成20年4月、JAXA全体におけるミッション本部制への組織改変に伴い、HTV開発チームは、ISS関連事業の一元化及び効率化のため、有人宇宙環境利用ミッション本部内へ移管。



4. プロジェクトの効率性に対する分析

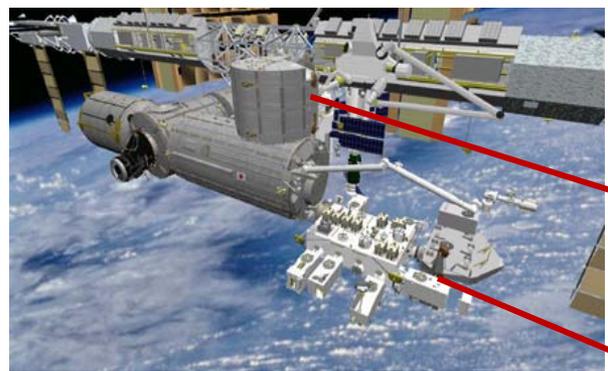
4.3 (2) JAXA内外の実施体制の分析

- 実施体制は1.7章に示す通りであるが、JAXA内外の参加組織はそれぞれ過去の経験と実績を生かした人的リソースを投入し、プロジェクト成功へ貢献できた。

関係機関	経験・実績	貢献分野
JAXA	ロケット開発・打上げ	輸送系システム、推進系、アビオニクス、射場作業、再突入監視
	宇宙往還機	宇宙機システム、再突入運用
	ETS-7開発・運用	ランデブ設計、ランデブ運用、TDRS調整
	JEM開発	有人システム、補給キャリア与圧部、曝露パレット、カーゴ運用
	JEM運用	HTV運用システム、HTV運用準備
	セントリフュージ開発	有人システム、補給キャリア与圧部
	ヒューストン駐在	国際調整
	JEM安全・ミッション保証	HTVの安全・ミッション保証
MHI名誘	ロケットエンジン・推進系システム	システム、補給キャリア非与圧部、推進モジュール
MHI名航	JEM与圧部、補給部与圧区	補給キャリア与圧部
MELCO	ETS-7、人工衛星一般	電気モジュール、ランデブフライトシステム、近傍通信システム、HTV運用システム
IHIエアロスペース	JEM曝露部、補給部曝露区	曝露パレット、機構系
	人工衛星推進系	推進サブモジュール
	与圧実験ラック	HTV補給ラック
SED	ロケット落下域監視装置	HTV再突入監視装置

4. プロジェクトの効率性に対する分析

4.4 過去の実績の活用例



「きぼう」与圧部、補給部与圧区
の設計・製造・運用技術をHTV
与圧キャリアへ応用。

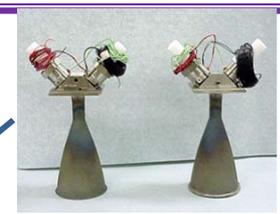
「きぼう」曝露部、補給部曝露区の
設計・製造・運用技術をHTV曝露パ
レットへ応用



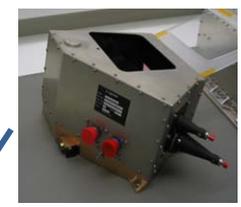
技術試験衛星7号「おりひめ・ひこぼし」
で実証された自動ランデブドッキング技
術をHTVのランデブ技術へ応用



再突入実験機「りゅうせい」に
よる再突入実験結果を応用



シャトルで飛行実績のある
RCSスラスタを採用



ATVと共同開発したランデブ
センサを採用



国際宇宙ステーションで飛行実
績のある宇宙用統合GPS受信
機/慣性計測装置を採用



外国衛星にて飛行実績のあ
るメインエンジンを採用



5. 今後のプロジェクトへの主要な反映事項



(1) 開発着手時のリスク評価

開発着手後に追加安全要求が課され、輸送要求変更に応じるためコンフィギュレーションを大規模化したなど、不可抗力の一面もあったが、結果的に当初設定した開発費を大幅に超過した(4.2章)。

新規性が高く、特に今までに経験の無い大規模なHTVのようなシステムでは、開発着手段階において総開発経費の外的な変動要因を完全に予測することは難しい。要求やスケジュールの確度を上げ、リスクの評価をより一層充実させる努力を行うとともに、十分な予備費の確保が必要である。

(2) 海外調達コンポーネントの特性把握

コスト軽減と信頼性確保のため、飛行実績のある海外調達コンポーネントを採用したが、HTV1実運用時にGPS受信機で異常事象が発生した(3.4章)。海外調達コンポーネント、特に米国製品は、情報開示に制約が大きく、必ずしも内部の設計が開示されない。設計情報を入手していれば、事前に問題を抽出できていたと考えられる。

飛行実績がある調達品であっても、調達先での検証試験データを確認するだけでなく、日本において実運用条件を十分模擬した試験を実施して、その特性を徹底的に把握すべきである。

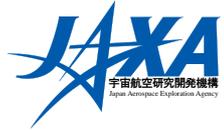
(3) 運用管制要員の確保と訓練

ランデブフライト中のタイムクリティカルな状況の中で発生した異常事象に対し、運用管制要員は的確な判断を行い、ミッションを成功へ導いた(3.4章、3.2章表中2項)。開発担当者を運用管制要員として配置し、かつ訓練環境を整えて事前準備・事前訓練を十分に行った成果と考えられる。

優秀な運用管制要員の確保と十分な訓練を今後も重視していくべきである。



6. まとめ



- (1) HTV技術実証機の開発・運用を行い、エクストラサクセスクライテリアまで達成することが出来た。
- (2) 現在計画されているHTVの打上げ・運用を着実に遂行し、国際宇宙ステーション計画に貢献するとともに、将来の有人宇宙活動に必須となる技術の蓄積を図っていく。