

推進4-1-3

宇宙ステーション補給機 技術実証機(HTV1)  
プロジェクトに係る事後評価について

平成22年 9月21日

宇宙航空研究開発機構  
有人宇宙環境利用ミッション本部  
HTVプロジェクトマネージャ 虎野 吉彦



サブマネ コヤリ 虎野  
佐々木



# 目次



		推進部会評価項目(事後評価)		
		a. 成果	b. 成否の要因に対する分析	c. 効率性
1. 宇宙ステーション補給機 技術実証機の概要	3~18頁			
2.1 成果(アウトプット)	19~22頁	○		
2.2 成果(アウトカム)	23~29頁	○		
2.3 成果(インパクト)	30~35頁	○		
3. 成否の原因に対する分析	36~40頁		○	
4. プロジェクトの効率性に対する分析	41~52頁			○
5. 今後のプロジェクトへの 主要な反映事項	53頁			
6. まとめ	54頁			



# 1. HTV1の概要



## 1.1 ミッションの目的

HTV開発・運用の目的は、「宇宙開発に関する長期的な計画」に示されている通り、以下の2つである。

(国際義務の履行)

○宇宙ステーションにおける補給システムの一環として、国際宇宙基地協力協定に基づく、国際宇宙ステーション共通運用経費の我が国負担義務に相応する米国物資の補給、及び我が国のJEMの運用・利用に必要となる物資の補給を行うために必要な宇宙ステーション補給機(HTV)及び運用システムの開発を行う。

(技術の習得)

○また、有人システムへの無人ランデブー機の開発・運用により、有人システムに必要な安全性・信頼性システム技術、及び今後の宇宙開発活動の展開に重要な軌道間輸送機や有人システムに関する基盤技術の習得を図る。

宇宙開発に関する長期的な計画(平成20年2月22日 総務大臣・文部科学大臣)

2. 宇宙開発利用の戦略的推進 (5)宇宙輸送系の維持・発展

(HTVの開発)

国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)において必要となる我が国の物資輸送と、我が国が国際約束で分担している国際宇宙ステーションへの補給義務の履行のため、宇宙ステーション補給機(HTV)の開発を引き続き進める。HTVは無人輸送機であるが、有人施設である国際宇宙ステーションに接近することから、有人宇宙機に相当する安全性設計がなされており、これを着実に開発、運用することにより、将来の軌道間輸送や有人化に関する基盤技術の習得が図られることとなる。





# 1. HTV1の概要



## 1.2 政策的な位置付け

### (1) 中期目標・中期計画

HTVの開発・運用は総務省及び文部科学省による中期目標とこれを受けた(独)宇宙航空研究開発機構の中期計画において、以下のように定められている。

**(独)宇宙航空研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標(中期目標)**(平成20年4月1日 総務省・文部科学省)

4. 国際宇宙ステーション(ISS)(2)宇宙ステーション補給機(HTV)の開発・運用  
宇宙ステーション補給機(HTV)の開発及び運用を着実にを行うことで、国際宇宙基地協力協定における我が国の責務を果たすとともに、将来の軌道間輸送や有人化に関する基盤技術の修得を図る。

**(独)宇宙航空研究開発機構の中期目標を達成するための計画(中期計画)**(平成20年4月1日(独)宇宙航空研究開発機構)

4. 国際宇宙ステーション(ISS)(2)宇宙ステーション補給機(HTV)の開発・運用  
「第3期科学技術基本計画」における国家基幹技術「宇宙輸送システム」の構成技術である宇宙ステーション補給機(HTV)について、ISS共通システム運用経費の我が国の分担義務に相応する物資及びJEM運用・利用に必要な物資を輸送・補給するとともに、将来の軌道間輸送や有人システムに関する基盤技術の修得を目的として、開発、実証及び運用を行う。



# 1. HTV1の概要



## 1.2 政策的な位置付け

### (2) 国家基幹技術

HTVは総合科学技術推進会議による「分野別推進戦略」において、国家基幹技術としての宇宙輸送システムと位置づけられている。

#### 第3期科学技術基本計画「分野別推進戦略」(平成18年3月 総合科学技術推進会議)

##### VIII フロンティア分野

##### 3. 戦略重点科学技術

##### (国家基幹技術)

##### 宇宙輸送システム

我が国が必要な時に、独自に宇宙空間に必要な人工衛星等を打ち上げる能力を確保・維持するための宇宙輸送システムは、我が国の総合的な安全保障や国際社会における我が国の自律性を維持する上で不可欠である。宇宙輸送システムは、巨大システム技術の統合であり、極めて高い信頼性をもって製造・運用する技術が要求され、幅広い分野に波及効果をもたらすとともに、国が主導する一貫した推進体制の下で進められている。また、世界最高水準のロケットエンジン技術の開発や国際宇宙ステーションへの我が国独自の無人輸送機の開発を通じ、世界をリードする人材育成にも資する長期・大規模プロジェクトである。

(途中省略)

国家基幹技術としての宇宙輸送システムは、基幹ロケットであるH-IIAロケットを中心とした以下の技術等により構成される。

- H-IIAロケットの開発・製作・打上げ
- H-IIBロケット(H-IIAロケット能力向上型)
- 宇宙ステーション補給機(HTV)



# 1. HTV1の概要



## 1.2 政策的な位置付け

### (3) 我が国の国際宇宙ステーションへの補給義務の履行

我が国が国際約束で分担している国際宇宙ステーションへの補給義務の履行及び我が国の補給輸送手段は宇宙基地了解覚書(MOU)に定められている。この中で、「補給運搬容器」はHTVの補給キャリア部分、「H-II打上げ機と連携する軌道上移動機」はHTV全体が該当する。

#### 宇宙基地了解覚書(MOU)(1998年2月24日署名)

##### 【第3条】宇宙基地の要素

##### (3.3項)GOJの宇宙基地飛行要素

GOJは次の飛行要素を設計、開発し及び軌道上に提供する。必要に応じサブシステム、フライトソフトウェア、予備品を含む。

- システム運用を支援し、利用者のために補給を行い及び軌道上において供給を行う補給運搬容器

##### 【第9条】運用経費と活動の責任

##### (9.3項)共通システム運用経費・活動

- 各参加機関は共通システム運用経費又は活動を衡平に分担する。
- GOJの共通経費の分担はJEM与圧部の取付け・装備・検証後に開始する。
- 共通システム運用項目は以下の通り。(①～④省略)
  - ⑤ 補給運搬容器の打上げ前後の処理
  - ⑥ 共通品・搭乗員・搭乗員用補給品等の打上げ・回収

##### 【第12条】輸送、通信その他宇宙基地以外の施設

##### (12.1項)輸送

- 宇宙基地のために打上げ及び回収の輸送業務は、次の政府及び民間部門の宇宙輸送システムにより提供される：
  - 日本のH-II打上げ機及びこれと連携する軌道上移動機



# 1. HTV1の概要



## 1.3 開発経緯(1/2)

国内	国際・国外
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 1985年(昭和60年)我が国の参加について、宇宙開発委員会宇宙基地特別部会で調査審議。</li><li>➤ 1989年(平成元年)6月、国会にてIGAを承認、批准。</li> <li>➤ 1995年(平成7年)より、国際宇宙ステーションへの補給手段提供に向けて、宇宙ステーション補給機(HTV)の概念設計を開始。</li><li>➤ 1996年(平成8年)8月「計画調整部会」(宇宙開発委員会)において、「<u>宇宙ステーション補給機の整備</u>」の着手を要望し、<u>了承された。</u></li><li>➤ 1997年(平成9年)よりHTV開発に着手。</li> <li>➤ 1998年(平成10年)4月、国会にて新IGAを承認、批准。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 1984年(昭和59年)6月のロンドンサミットでレーガン米大統領が宇宙基地計画を提唱し、西側先進国へ計画参加を呼びかけ。</li><li>➤ 1988年(昭和63年)3月、日、米、ESA加盟国、加の政府間で宇宙基地協力協定(IGA)に署名。</li> <li>➤ 1993年(平成5年)ロシアを宇宙ステーション計画へ招聘し、1994年(平成6年)に国際宇宙ステーション(ISS)計画が誕生。</li><li>➤ 1994年(平成6年)7月の宇宙ステーション計画の了解覚書(MOU)協議において、<u>宇宙ステーションへの輸送について、国際パートナーがシャトルの輸送経費を実費支弁する方式から、各パートナーが輸送能力を提供することを原則とする方式への変更がNASAから提案された。</u></li> <li>➤ 1997年(平成9年) 国際パートナー(NASA、CSA)と詳細な技術調整・運用調整等を開始</li><li>➤ 1997年(平成9年)6月 プロGRESS輸送船のミールへの衝突事故発生</li><li>➤ 1997年(平成9年)10月HTVシステム要求審査会(国際パートナー参加)</li><li>➤ 1998年(平成10年)1月 新IGAに署名。</li><li>➤ 1998年(平成10年)2月 新MOUに署名。</li><li>➤ 1998年(平成10年)11月宇宙ステーションの軌道上組立開始。</li><li>➤ 1999年(平成11年)9月 HTV基本設計審査会(国際パートナー参加)</li><li>➤ 2000年(平成12年)宇宙飛行士常時滞在の開始。</li></ul>



# 1. HTV1の概要



## 1.3 開発経緯(2/2)

国内	国際・国外
<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2001年(平成13年)5月、「計画・評価部会」(宇宙開発委員会)において、HTV追加基本設計審査会結果を踏まえて技術実証機基本コンフィギュレーション変更等を報告。</li> <li>➢ 2003年(平成15年)6～8月、「計画・評価部会」(宇宙開発委員会)における、「H-IIAロケット輸送能力向上にかかる評価」の過程において、HTV質量変更の経緯等を報告。</li> <li>➢ 2004年(平成16年)3月、JAXA内にて、詳細設計ベースライン審査会開催。</li>   <li>➢ 2006年(平成18年)3月、総合科学技術推進会議、HTV/H-IIBを国家基幹技術と位置づけ。</li> <li>➢ 2006年(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</li>   <li>➢ 2009年(平成21年)7月、宇宙開発委員会にて、HTV/H-IIB試験機打上げ及び運用管制計画を報告。</li> <li>➢ 2009年(平成21年)9月2日、宇宙開発委員会にて、HTV技術実証機の打上げ準備状況を報告。</li> <li>➢ 2009年(平成21年)9月11日、H-IIAロケット試験機/HTV技術実証機の打上げ。</li> <li>➢ 2009年(平成21年)11月2日、HTV技術実証機の大気圏再突入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2001年(平成13年)5月、HTV追加基本設計審査会(国際パートナー参加)HTV技術実証機の基本コンフィギュレーションを確定。</li> <li>➢ 2003年(平成15年)2月、スペースシャトルコロンビア事故</li> <li>➢ 2004年(平成16年)1月、ブッシュ大統領が新宇宙政策を発表。スペースシャトルを2010年迄に退役させることを決定。</li> <li>➢ 2005年(平成17年)2月 HTV詳細設計審査会(その1)開催。(国際パートナー参加)</li> <li>➢ 2005年(平成17年)7月スペースシャトルディスカバリー飛行再開</li> <li>➢ 2006年(平成18年)3月 HTV詳細設計審査会(その2)開催。(国際パートナー参加)</li>   <li>➢ 2008(平成20年)年3月、スペースシャトルによるJEM打上げ第1便にて、船内保管室とともに、「きぼう」搭載HTV用近傍通信システム(PROX)を打上げ。</li> </ul>

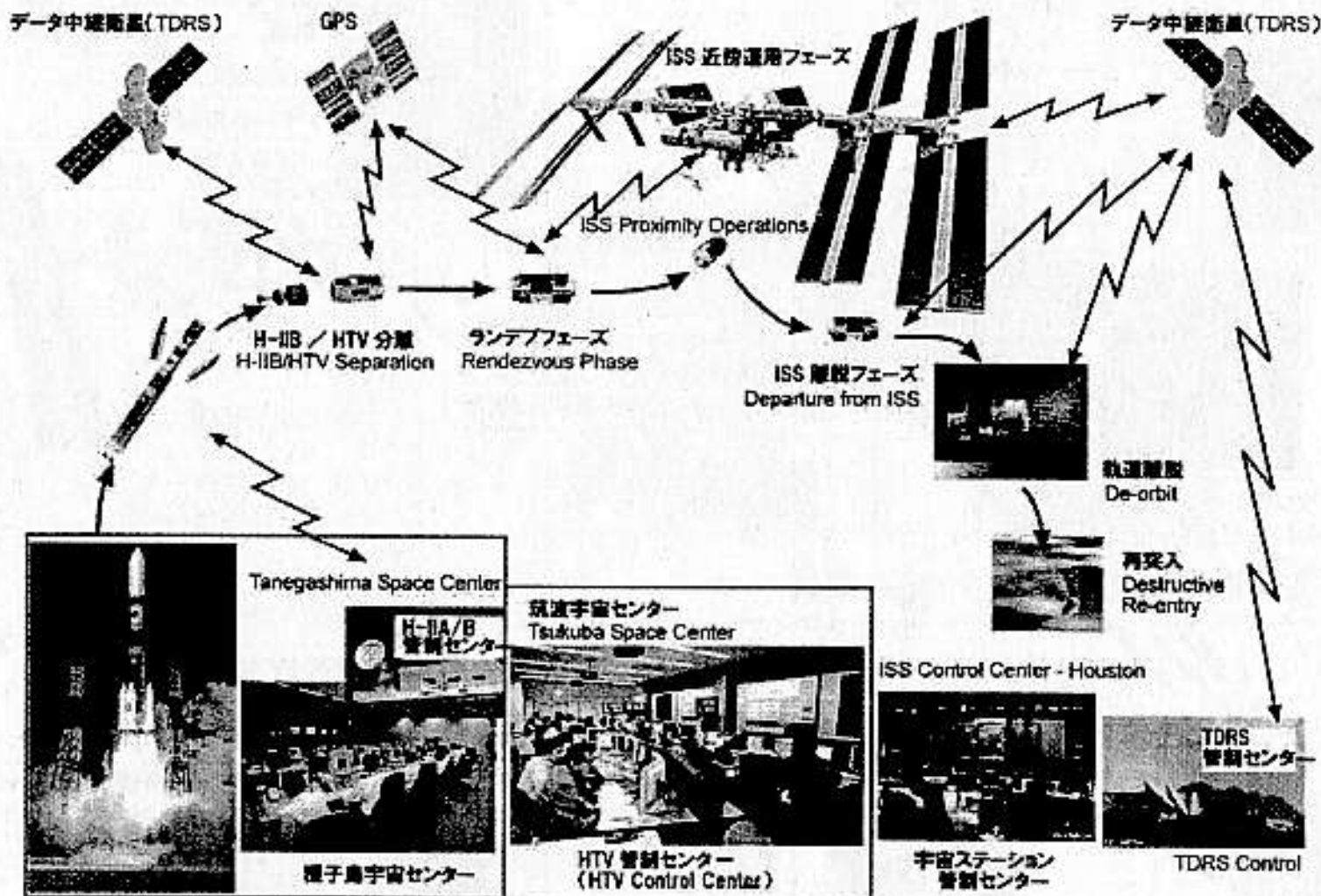




# 1. HTV1の概要



## 1.4 HTVのミッション概要



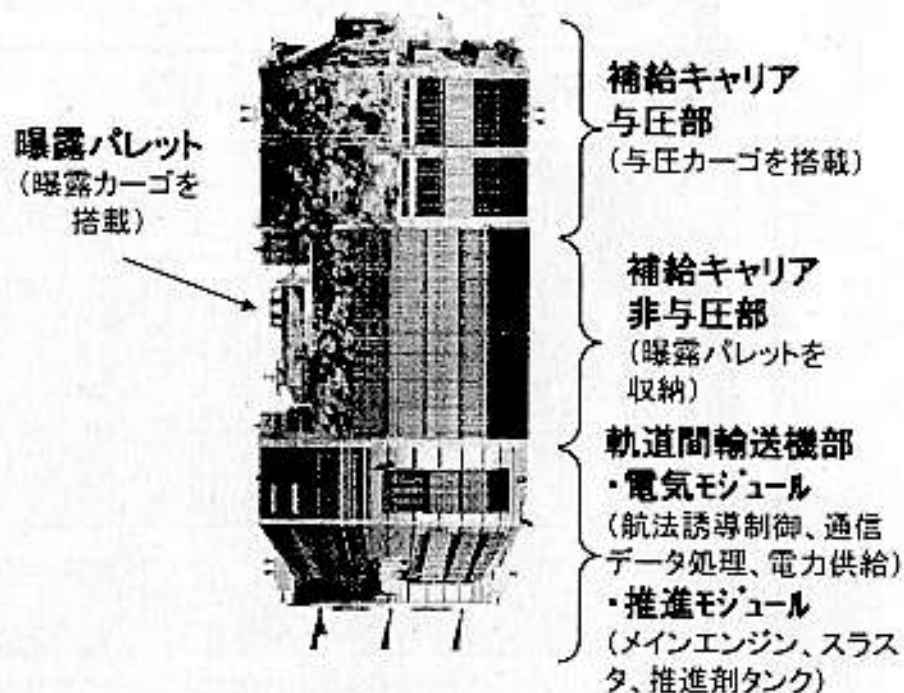


# 1. HTV1の概要



## 1.5 HTV技術実証機の主要諸元・機体構成

		技術実証機飛行実績	運用機仕様
宇宙ステーションへの補給能力			
	合計	4.5 トン*1	6.0 トン
	船内物資	3.6 トン	5.2 トン
	船外物資	0.9 トン	1.5 トン
総質量		16.0トン	16.5トン
目標軌道			
	高度(円軌道)	347km(近地点330km) (設計要求は350km~460km)	350~460km
	軌道傾斜角	51.6度	51.6度
ミッション期間			
	ランデブ飛行時間	8日間*2 (当初計画は7日間)	4日間 (ノミナル高度時)
	軌道上緊急待機期間	なし	7日間
	ISS滞在期間	43日 (設計要求は30日)	30日



- \*1) 技術実証機は、運用機と比較して一次電池4個分と推進薬等を追加で搭載しているため、カーゴ重量は最大4.5トンとなる。
- \*2) 設計要求より低い高度へのランデブ軌道を設定したため、飛行時間を1日延長した。



# 1. HTV1の概要



## 1.6 宇宙ステーション側搭載機器



GPS アンテナ (合計 2 個)



レーザーフレクタ (合計 2 個)

PROX (近傍通信システム)

PROX アンテナ (合計 6 個)

PROXアンテナは全方位通信のため、後方、前方及び上方にあり計3箇所

HTVランデブセンサからのレーザー光を正確に反射。

RFリンク(点検用)

レーザー光

RFリンク



種子島宇宙センター PROX点検用地上局



以下の3装置から構成。

- GPS受信機
- データ処理装置
- 送受信機



搭乗員用

ハードウェアコマンドパネル(HCP)



以下のコマンドを送信。

- 制御停止 (Free Drift)
- 相対位置保持 (Hold)
- 一時後退 (Retreat)
- 強制回避 (Abort)
- アームからの強制分離 (FRGF Separation)



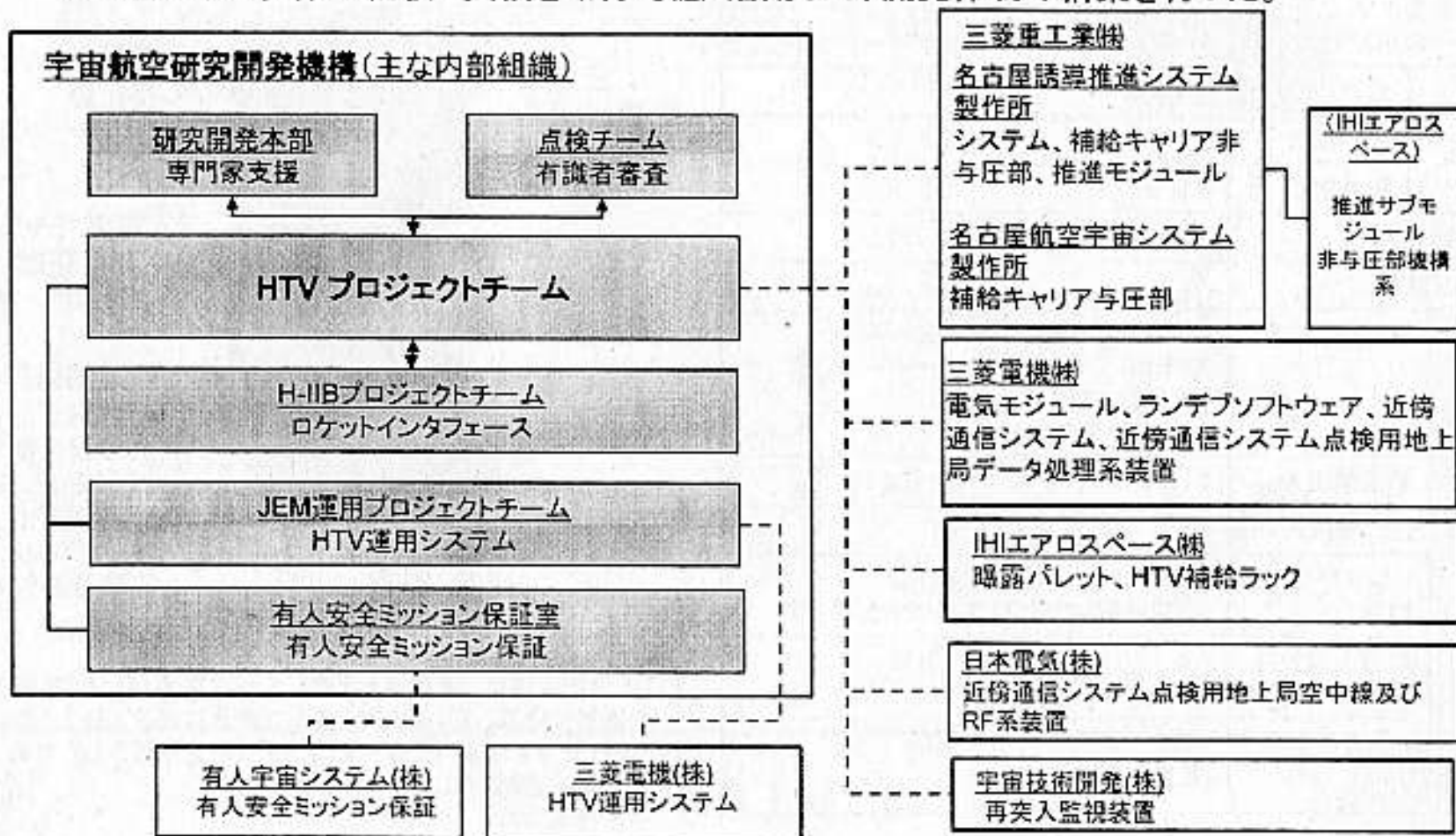
# 1. HTV1の概要



## 1.7 開発体制

### 1.7.1 国内の開発体制

JAXA内外の組織の経験と実績を十分考慮・活用して、開発体制の構築を行った。



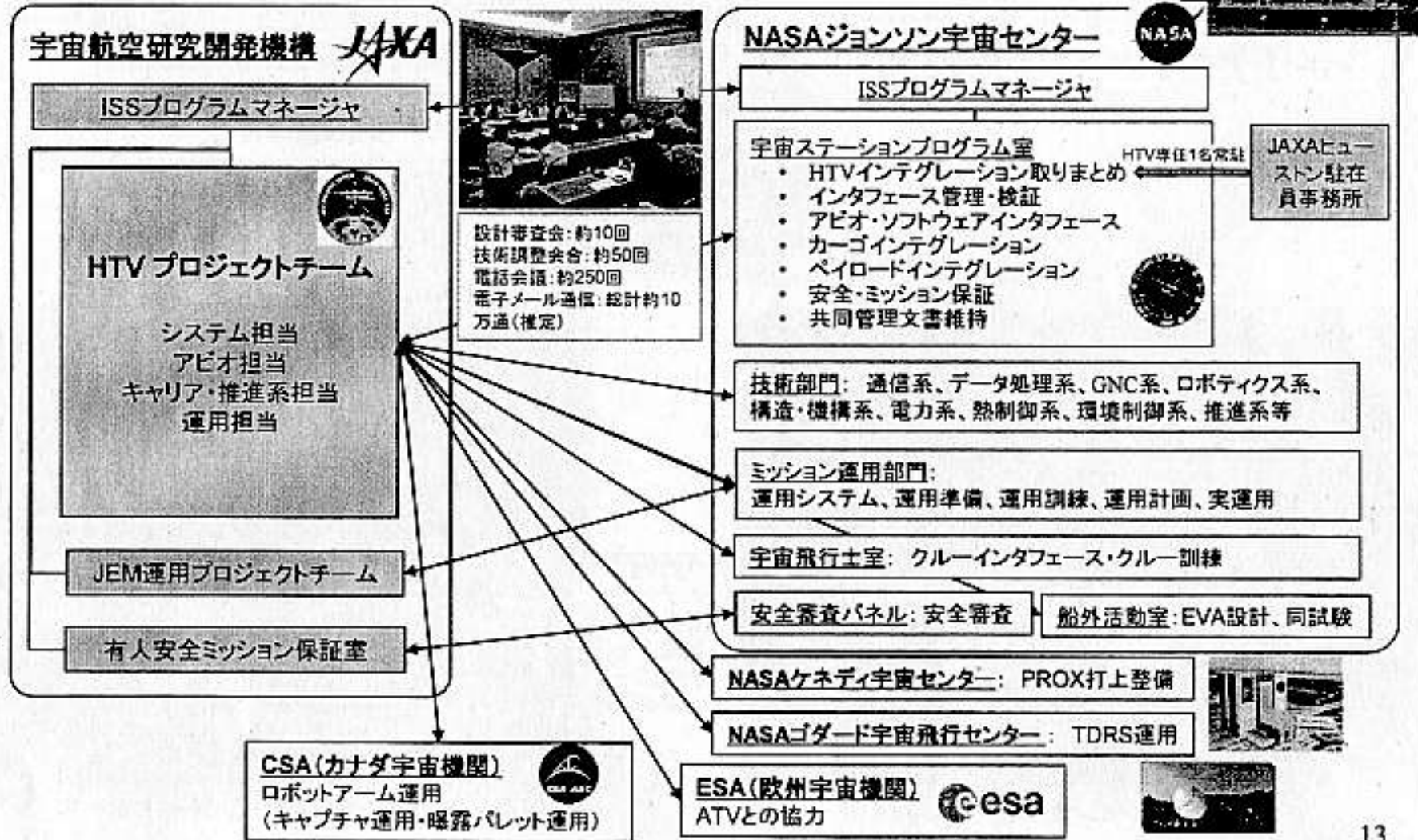


# 1. HTV1の概要



## 1.7.2 JAXAと海外宇宙機関間の開発体制

関係宇宙機関であるNASA・CSA・ESAと密接な連携を取りつつ開発を進めた。





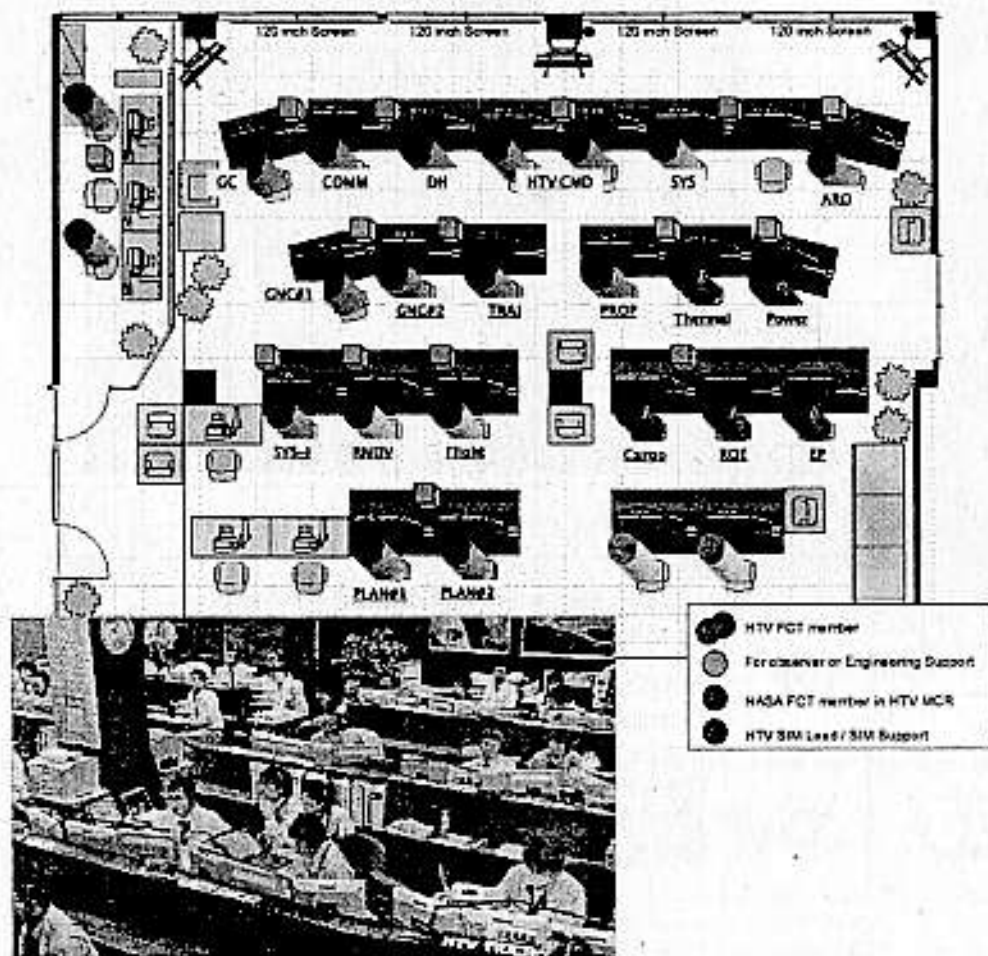
# 1. HTV1の概要



## 1.8 HTVの運用体制

### 1.8.1 筑波宇宙センターにおけるHTV運用管制

67名の運用管制要員を、3交代制19ポジションに配置して技術実証機を運用した。



**HTV-FLIGHT:** HTVFCT全体を統括し、HTV運用全体の最終決定を行う。

**HTVSYS:** HTVのシステム運用状況を把握しNASAとの連絡・調整を行う。

**CMD:** 手順書に従ってコマンド送信運用を行う。

**HTVGC:** HTV運用で使用する設備及びネットワークの管理を行う。

**HTVPLAN:** HTV運用計画立案を行う。実運用中における運用計画の見直しを行う。

**HTVSYS-J:** HTV運用手順の進行管理を行うことでHTV-FLIGHTをサポートする。

**RNDV:** HTVのランデブに関する運用状況を把握し、NASAとの連絡・調整を行う。

**GNC:** HTVの航法誘導制御系運用の状況をモニタし、技術判断を行う。

**TRAJ:** HTVの軌道・マヌーバ状況をモニタし、技術判断を行う。

**POWER:** HTVの電力系の状況をモニタし、技術判断を行う。

**THERMAL:** HTVの熱系の状況をモニタし、技術判断を行う。

**COMM-DH:** HTVの通信データ処理系の状況をモニタし、技術判断を行う。

**PROP:** HTVの推進系の状況をモニタし、技術判断を行う。

**CARGO:** HTVカーゴに関する運用、NASAとの連絡・調整を行う。

**EP:** HTV曝露パレット/非与圧キャリアの状況をモニタし、技術判断を行う。

(**ROE:** 再突入計画の独立評価、再突入状況の独立評価を行う。)



# 1. HTV1の概要



## 1.8.2 対NASA協調運用管制

HTVがISS近傍を飛行しているクリティカルな期間中及び係留期間中は、米国ヒューストンのミッション管制センター及び宇宙ステーション搭乗員と交信しながら、共同で協調運用を行った。



宇宙ステーション搭乗員

- ・リアルタイムデータ
- ・音声
- ・映像
- ・シミュレーションデータ

・音声



HTVミッション管制室(つくば)



NASAミッション管制室センター(ヒューストン)

- ・リアルタイムデータ
- ・音声
- ・映像
- ・シミュレーションデータ



# 1. HTV1の概要



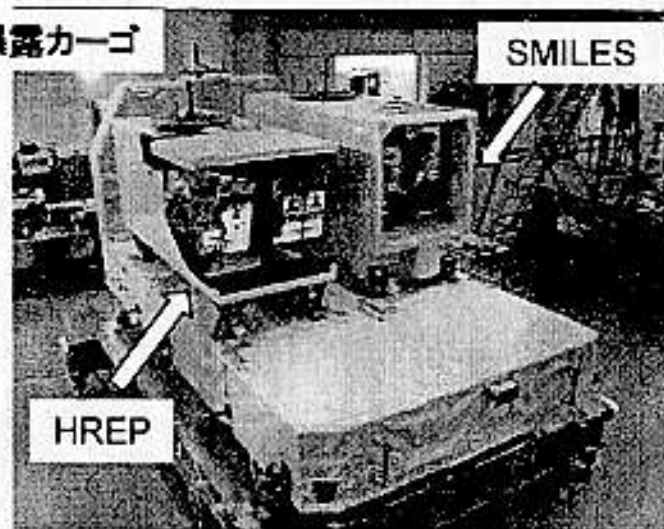
## 1.9 技術実証機の搭載カーゴ

HTV技術実証機は以下に示す与圧カーゴと曝露カーゴを搭載し、宇宙ステーションへ輸送した。

与圧カーゴ



曝露カーゴ



	バッグ数	主要搭載物
HRR1	15	ISS水再生装置用フィルタ, 実験関連機器(ESA)
2	16	食糧(NASA), 実験関連機器(JAXA)
3	12	食糧(NASA), システム補給品(NASA)
4	11	食糧(NASA), ビデオ器材(NASA)
5	12	食糧(NASA), システム補給品(NASA)
6	14	実験関連機器(JAXA), レイトアクセスカーゴ
7	9	食糧(NASA), 実験関連機器(JAXA)
PSRR	9	JEM子アーム, 実験関連機器(JAXA)

略称	正式名称	オーナー
SMILES	超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)	JAXA
HREP	Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean(HICO)&Remote Atmospheric & Ionospheric Detection System (RAIDS) Experimental Payload (沿岸海域用ハイパースペクトル画像装置およ び大気圏/電離圏遠隔探査システム実験装置)	NASA

HRR: HTV Resupply Rack (HTV補給ラック)

PSRR: Pressurized Stowage Resupply Rack (JEM与圧補給ラック)





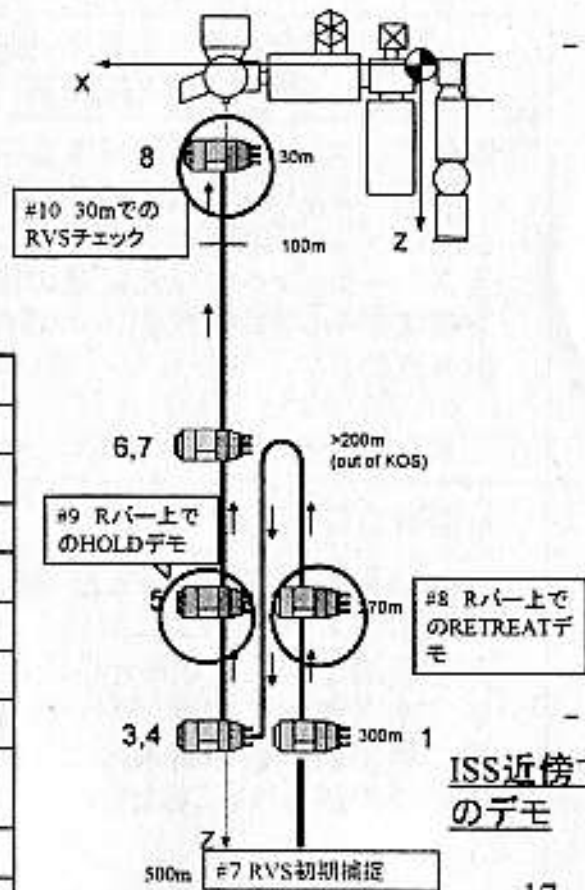
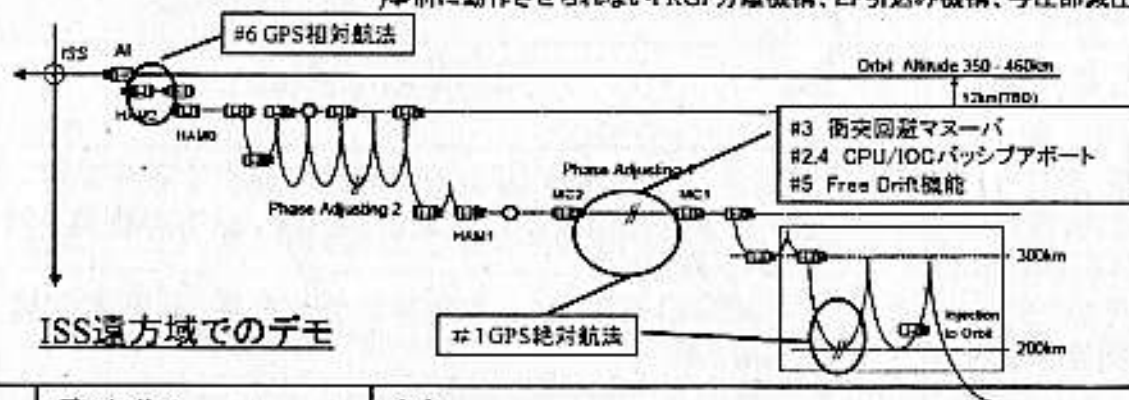
# 1. HTV1の概要



## 1.10 技術実証機の軌道上デモ

技術実証機では、特有のミッションとしてキャプチャ前に10種類の軌道上デモを実施した。基本的にISS安全に関わる機能については、ISS近傍で必要とされる以前に安全な距離で機能実証した。

\*)事前に動作させられないFRGF分離機構、EP引込み機構、与圧部減圧弁については、ISS離脱後に追加でデモを実施した。



デモタイトル	内容
#1 GPS絶対航法	GPS絶対航法評価
#2 CPUパッシブアポート(PA)	並進制御を止めることで軌道運動で安全化するテクニック
#3 衝突回避マヌーバ(CAM)	Collision Avoidance Maneuver:噴射により安全化するテクニック
#4 IOC PA	IO Controllerによるパッシブアポート
#5 Free Drift	キャプチャー時にHTVの制御をすべて停止する機能
#6 GPS相対航法	GPS相対航法評価
#7 RVS初期捕捉	Rendezvous Sensor初期捕捉
#8 Rバー上のRETREATデモ	クルーが故意にHCP(Hardware Command Panel)上のボタンを押し、HTVをRETREATさせる。
#9 Rバー上のHOLDデモ	クルーが故意にHCP上のボタンを押し、HTVをHOLDさせる。
#10 30mでのRVSチェック	RVS測定値評価

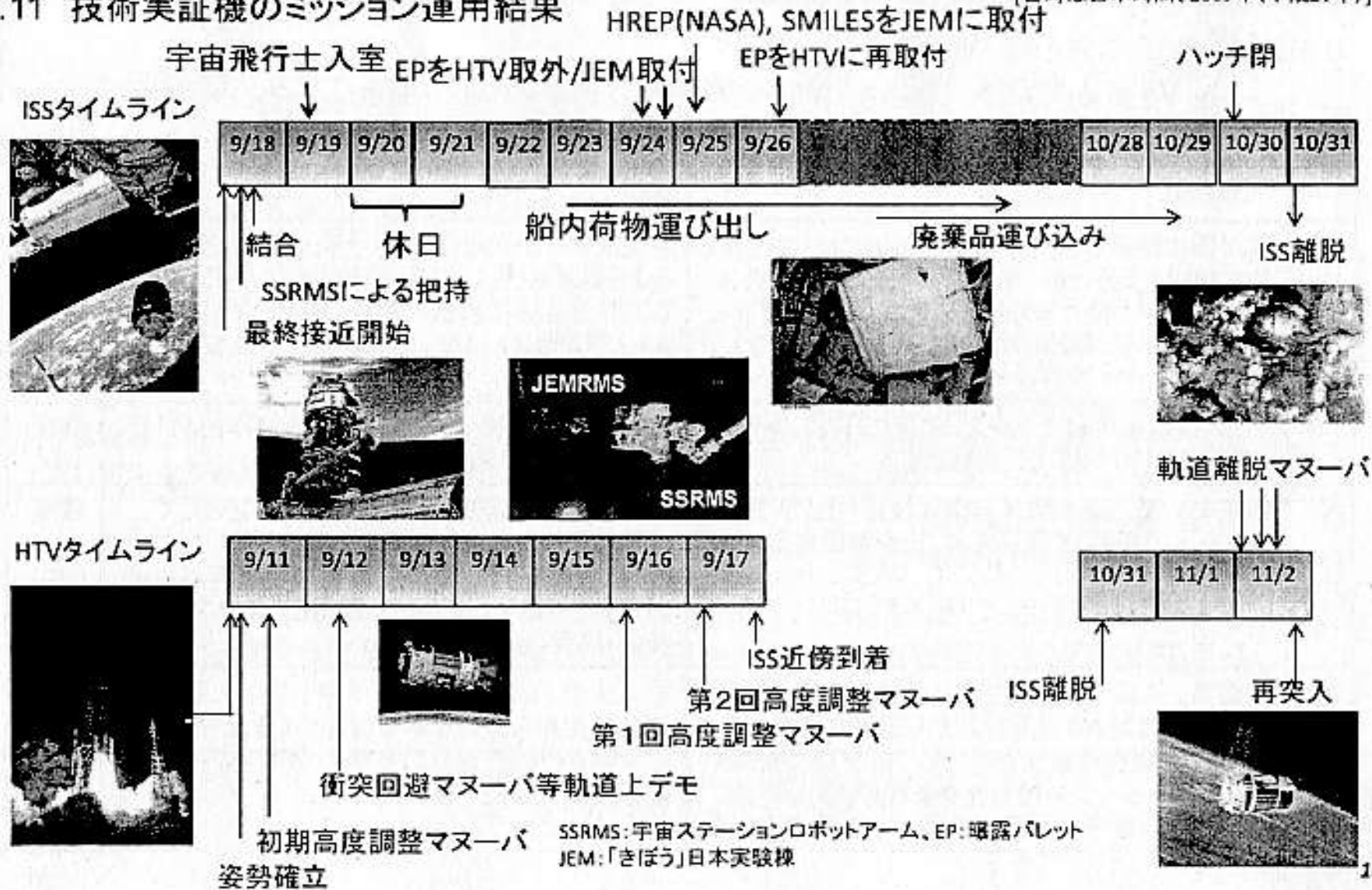


# 1. HTV1の概要



## 1.11 技術実証機のミッション運用結果

[日時は日本時間、2009年(平成21年)]





## 2.1 成果(アウトプット)

### 2.1.1 国からの要求条件に対する達成状況

「宇宙開発に関する長期的な計画」(平成20年2月22日 総務大臣・文部科学大臣)における要求を全て達成した。

「宇宙開発に関する長期的な計画」 (平成20年2月22日)	達成状況
<p>①国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)において必要となる我が国の物資輸送と、我が国が国際約束で分担している国際宇宙ステーションへの補給義務の履行のため、宇宙ステーション補給機(HTV)の開発を引き続き進める。</p> <p>②HTVは無人輸送機であるが、有人施設である国際宇宙ステーションに接近することから、有人宇宙機に相当する安全性設計がなされており、これを着実に開発、運用することにより、将来の軌道間輸送や有人化に関する基盤技術の習得が図られることとなる。</p>	<p>①-a 技術実証機は我が国の補給義務が発生するJEM組立・点検直後の時期に遅れることなく、以下の物資を計4.5トン輸送した。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>i. JEMの子アーム、与圧補給ラック1基、曝露実験装置2基</li><li>ii. 宇宙ステーション共通の食料、衣類等</li></ul> <p>①-b 運用機において、我が国が国際約束で分担している6トンの貨物を輸送できる解析結果を得た。</p> <p>②-a 有人宇宙機に相当する安全性設計として、対2故障安全化要求を満足する設計を行い、これを開発・運用した。</p> <p>②-b HTVの開発と運用を通じて得た経験や技術データによって、将来の軌道間輸送や有人化に関する基盤技術を習得した。</p>



## 2.1 成果(アウトプット)



### 2.1.2 開発基本方針に対する達成状況

JAXAの「有人宇宙環境利用ミッション本部事業計画書(平成20年9月)」(JAXA-2008022)にて設定した開発方針に対する実績・評価を下表に示す。

	開発方針	実績	評価
(1)	我が国の輸送系での宇宙ステーションへの定常的な補給を行うため、宇宙ステーション計画のスケジュールに整合する短期、低コストでの開発と諸外国並の定常運用コストの達成を目指す。	宇宙ステーション計画のスケジュールに整合するよう開発を行い、計画通り2J/AミッションによるJEM建設完了直後に初飛行を行った。開発コスト、運用コスト(4章)とも諸外国よりも安価で達成した。	達成
(2)	HTV 技術実証機を平成21年度にH-IIB ロケットにより打ち上げることを目標とする。	HTV技術実証機は日本時間平成21年9月11日にH-IIBロケット初号機にて打上げた。	達成
(3)	将来の軌道上活動に不可欠な技術(ランデブ技術、有人技術等)を獲得することを考慮する。	PROX及び電気モジュール開発などを通じて、有人システムへのランデブ技術を習得した。また、与圧キャリア、非与圧キャリア、曝露パレットの開発を通じて、JEMにて習得した有人技術を発展・応用した。	達成
(4)	安全性、信頼性、保全性及び品質の確保・向上について、設計の初期段階から適切な基準に基づく安全・開発保証活動を行い、搭乗員の死傷や宇宙ステーションの機能喪失を防ぎ、プログラムのミッション達成の確実化を図っていくものとする。	有人安全ミッション保証室が中心となり、設計の初期段階から適切な基準に基づく安全・開発保証活動を行い搭乗員の死傷や宇宙ステーションの機能喪失を防いだ。	達成



## 2.1 成果(アウトプット)



	開発方針	実績	評価
(5)	国内関係機関との協力及び国際パートナーとの調整・協力を図りながら進める。また、我が国の自主技術による技術基盤の確立等に十分配慮すると共に、他国との技術交流等も考慮して、効率的に開発を行う。	国内関係機関として、地方自治体、警察署、電波監理局、税関、海上保安庁等と調整・協力を図りながら進めた。国際パートナーとして、NASAとISSインタフェース全般、CSAとロボティクス運用、ESAとATVとの情報交換、コンポーネント共同開発等の調整・協力を行った。既開発品コンポの採用によって効率的に開発を進めると共に、ランデブ技術基盤の中核となるソフトウェアは自主技術にて開発した。	達成
(6)	先行するJEM や人工衛星等のプロジェクトの開発成果を活用し効率的な開発を行うと共に、JEM 運用システムとの整合を図る。	補給キャリア開発は技術・人ともにJEMの成果を、ランデブ技術等については、技術・人ともにETS-7の成果を中心に人工衛星技術を、再突入や構造については、輸送系技術を活用。HTV運用システムはJEM運用システムと整合を取って開発した。	達成
(7)	開発での技術成果の移行を円滑に進めるべく、体制等の整備・要員の育成を段階的に進めるとともに、HTV 運用機の運用を考慮した体制を構築する。	開発での技術成果の移行を進めるため、技術実証機では主要開発メンバを運用管制要員としたことが有効であった。運用機においても、体制を継続するべく信頼性推進委員会等に提案をしている。運用体制についても要員の維持に努めるとともに、要員の追加育成を進めている。	達成
(8)	研究開発本部のプロジェクト協力や点検チーム活動など有人宇宙環境利用ミッション本部内外の支援を受けつつ確実な開発・運用に努める。	特に、GNC系、推進系、機構系の分野で研究開発本部の協力を得ながら開発・運用を行った。また、運用管制隊にも多数の参加を得た。点検チーム員の各種審査会への参加を受け、貴重な助言を得た。	達成



## 2.1 成果(アウトプット)



### 2.1.3 ミッションサクセスクライテリアに対する達成状況

ミッションサクセスクライテリアに対し、技術実証機の評価としてエクストラサクセスを達成した。

	ミッションサクセスクライテリア		結果
ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>軌道間輸送の技術実証として、HTV技術実証機がISSにランデブ飛行し、ISSロボットアームで把持可能領域まで最終接近ができ、運用機の運用開始に支障がないことが確認できること。</li> </ul>	達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISSにランデブ飛行し、ISSロボットアームで把持可能領域まで最終接近ができる事を実証し、運用機の運用開始に支障がないことを確認した。</li> </ul>
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>HTV技術実証機がISSロボットアームにより把持された後、ISSとの結合ができること。</li> <li>ISSと結合した後、与圧カーゴ及び曝露カーゴのISSへの移送ができること。</li> <li>ISSからHTV技術実証機が分離・離脱した後、再突入させ、安全に洋上投棄ができること。</li> </ul>	達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISSロボットアームにより把持された後、ISSとの結合を実証した。</li> <li>与圧カーゴ及び曝露カーゴのISSへの移送を完了した。</li> <li>ISSから分離・離脱した後、再突入し、安全に洋上投棄を行った。</li> </ul>
エクストラサクセス	<p>フルサクセスに加え、以下のいずれかを達成すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>実運用結果に基づき、余剰能力を再配分し、運用機的能力向上の見通しが得られること。</li> <li>前提とする運用条件以外での運用実証等を通じて、運用機の運用の柔軟性を拡大できる見通しが得られること。</li> </ul>	達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>実運用結果に基づいて再評価をした結果、ヒータ消費電力削減の可能性があることがわかった。</li> <li>余剰能力として、H-IIBとのインタフェース条件を0.3トン低くすることが出来た。</li> <li>仕様と異なる高度へのランデブ要求にも柔軟に対応することができ*、また係留期間を延長して廃棄品を搭載するなど、運用の柔軟性を拡大できる見通しを得た。</li> <li>打上環境計測を行い、カーゴに対する環境をシャトル相当まで緩和できた。</li> </ul>

\*)ただし、位相調整に必要なランデブ日数を1日延長した。



## 2.2 成果(アウトカム)



### 2.2.1 国際的プレゼンスの向上

- HTV技術実証機によって、我が国が国際宇宙ステーションへの補給義務を履行できた。
- HTVは宇宙ステーションの維持に不可欠な補給手段となった。これを保有することによって、宇宙ステーション計画における我が国の地位が向上している。  
(間近に迫ったスペースシャトルの退役を控えて、宇宙ステーションへの補給手段を安定して確保することが急務となっている。スペースシャトル以外に曝露機器及び大型与圧機器を宇宙ステーションへ輸送できるのはHTVのみ。)

### 2.2.2 我が国の宇宙開発技術の維持発展

- HTVは、人工衛星、ロケット、宇宙ステーションの技術を統合した我が国初めての有人施設対応の輸送機(宇宙船)。
- 今後、HTVの量産を計画しており、宇宙船量産化の技術と経験を蓄積していくことが可能となった。
- HTVを年1機程度定常的に打上げを実施することで、H-II/Bロケット技術の成熟化を図っていくことが可能。



## 2.2 成果(アウトカム)





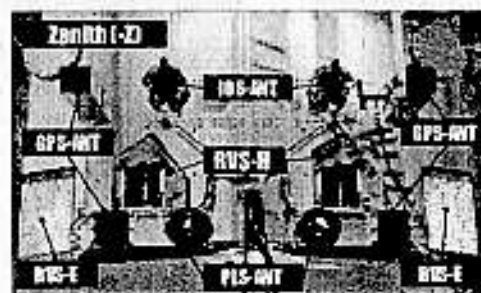


## 2.2 成果(アウトカム)

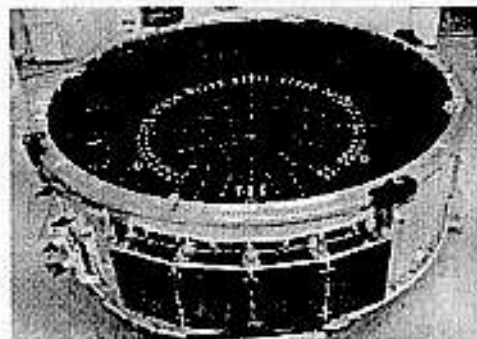


### 無人補給技術(有人安全を考慮した自立飛行)

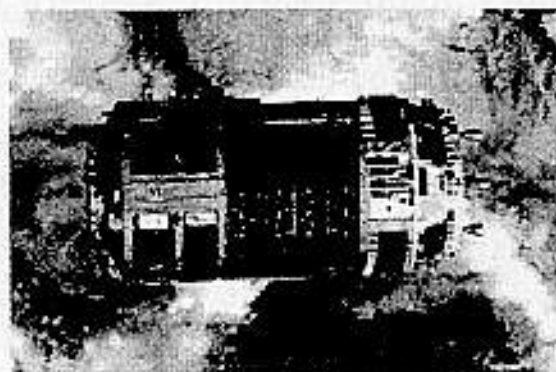
有人安全要求を満足した(信頼性の高い)自立飛行システムを実現  
 如何なる組合せの2個の故障もしくは誤操作が発生しても安全上問題を生じさせない  
 有人安全に配慮した電源、推進薬、完全独立のアビオニクスシステム



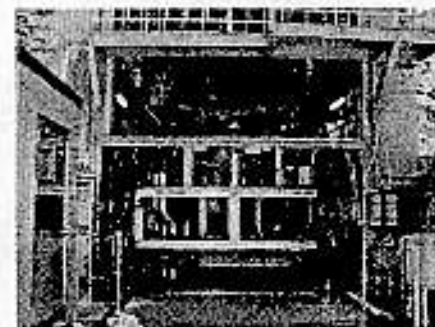
完全冗長通信系・誘導制御系センサ



完全冗長電源バス



技術実証機の飛行



システム燃焼試験  
(ヘリウムサチレーション・動的応答)



不具合に対する冗長性確認試験



電池(リリース機能)



太陽電池(シャープエッジ対策)

電源系安全対策例

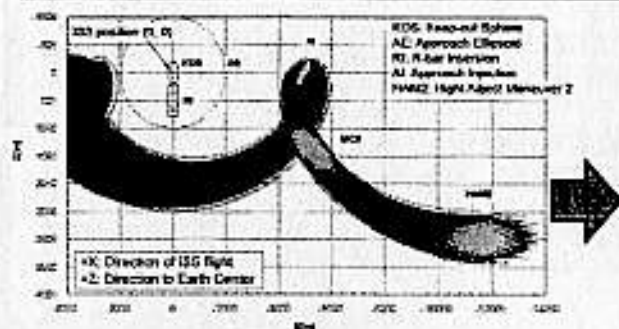


## 2.2 成果(アウトカム)

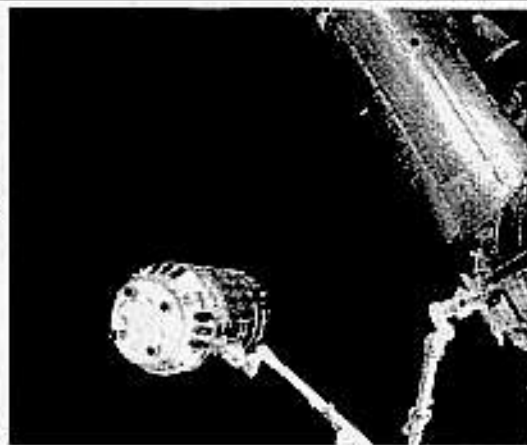


### 無人補給技術(有人対応ランデブ・キャプチャ技術)

有人安全要求を満足したランデブシステムを実現  
 如何なる組合せの2個の故障もしくは誤操作が発生しても、絶対に宇宙ステーションへ衝突しない  
 世界に先駆けてキャプチャ方式によるドッキング(パーシング)を実証  
 ⇒米国企業が追随、技術の購入



膨大な軌道シミュレーション



技術実証機のキャプチャの瞬間



実ハードウェアによる動的シミュレーション試験



不具合を考慮した運用訓練



キャプチャ時緊急分離機構



独立モニタ機能  
(距離・速度計測機能)



ランデブ用近傍通信システム開発  
(マルチパス解析)

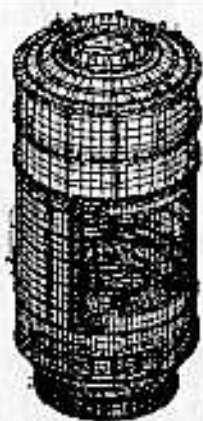


## 2.2 成果(アウトカム)

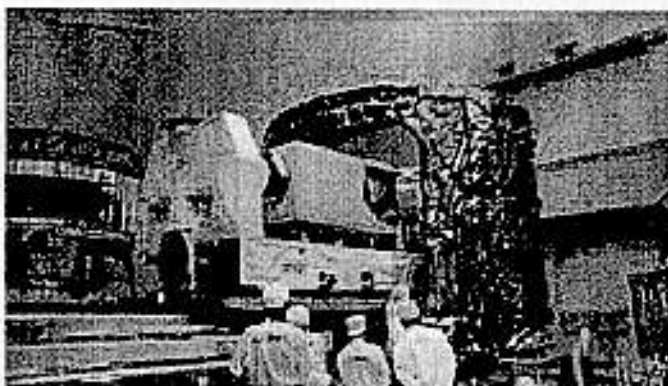


### 無人補給技術(大型物資輸送技術)

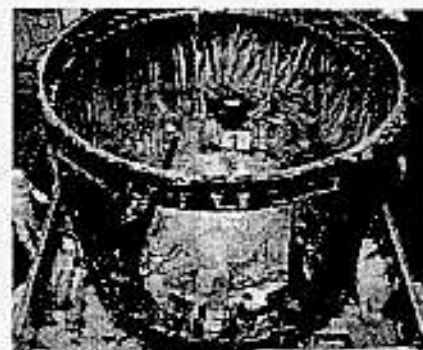
大型船外物資の輸送能力を実現  
⇒国際宇宙ステーションの補給機としては唯一



膨大なカーゴケースの  
計算機シミュレーション



大型物資搭載作業



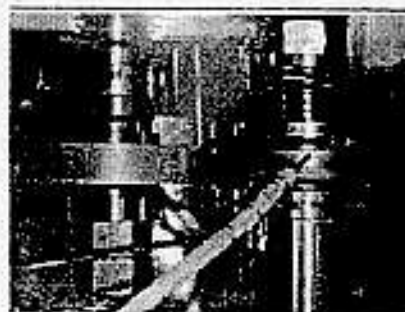
ガイドレール/ホイール開発等機構系開発



(開口部を含む)大型構造物強度試験



低衝撃分離機構



真空高温槽でのホイール試験



## 2.2 成果(アウトカム)



### 2.2.4 人材育成

- JAXA及び各企業の技術者に、極めて高い信頼性を要する有人施設対応輸送機の技術開発を通して宇宙システム技術等を習得させ、今後の宇宙開発に大きな人的資産を形成した。
  - － HTVは、ロケット、衛星、宇宙ステーションの技術の集大成であり、それぞれ独立して育成されてきたJAXA、各企業の技術者が、開発を通して互いの設計思想に触れ、技術を共有することができた。
  - － 国際会議、審査会等において、他国の技術者と設計、検証に関する議論を通して、技術の向上を図るとともに、国際感覚も養うことができた。今後の国際共同プロジェクトや海外展開を主体的に引き受けられる人材を育てた。
  - － HTV1 直接契約企業技術者数： 約350名
- きぼうと同様に、NASAと同等の運用管制要員の育成を行い、我が国初の「宇宙船」の運用を実施し、ミッションの成功に大きく貢献した。その結果、運用管制要員の技量は国際的にも高い評価を獲得し、NASAより今後計画されている他の宇宙船の実運用の支援や運用訓練の協力を求められることとなった。
  - － HTVは複雑なシステムであり、短時間で衝突や喪失のリスクがあり、NASAとの協調した運用が必要であることから、運用管制要員は、技術力、瞬時の判断力、会話力などが必要である。
  - － HTV1での認定者： 67名



## 2.3 成果(インパクト)

### 2.3.1 経済波及効果

#### ○分析結果

経済波及効果: 約1,568億円(概算)

- (1) 開発費(約480億円)による生産誘発効果 約1,214億円
- (2) 製造費(約200億円)による生産誘発効果 約 354億円\*

※輸入分(約60億円)については国内に生産誘発は発生しないため、除外して算出。

#### ○分析手法

- (1) 契約企業に発注がなされることに伴う、契約企業の生産増、原材料の購入、雇用所得・雇用者増に伴う消費増の効果である研究開発投資の直接効果を産業連関分析に基づき算出する方法を適用。
- (2) これまで人工衛星で実施された類似スタディから、波及倍率の概算は可能であり、今回の分析では、簡易的試算によりHTVの波及倍率を2.53\*と設定。

(※出典:「宇宙開発による波及効果の体系化に向けた調査・分析」47～48頁(2006年・三菱総合研究所)による)

#### (参考)他分野との比較

- ①建設投資:1.77～1.99倍 ②住宅建設:2.1倍 ③情報通信:1.65倍  
(産業連関表による波及効果が高い産業:輸送機械、鉄鋼、化学製品など)



## 2.3 成果(インパクト)



### 2.3.2 米国民間輸送機への影響

- 宇宙ステーションにおいて、HTVが初めて実証したキャプチャ・パーシング方式を米  
国商業民間輸送機(COTS/CRS)が採用。
- 米国Orbital Sciences社が、開発中のCygnus輸送機に用いるため、HTVと同等の  
近傍通信機器を三菱電機株から購入(9機分:約60億円(6,600万米国ドル))。  
その他の国産品(電池、スラスタ)も購入。
- NASAがJAXAに対し、同上Cygnus輸送機ミッションの近傍通信システム運用支援  
を有償にて依頼。現在契約手続き中。



- (1) HTV1で習得した我が国の技術の優位性を国内外へ示している。
- (2) 宇宙用国産コンポーネント量産品の米国への販売実績となり、宇宙産業  
活性化へ繋がっている。

### 2.3.3 NASAの期待

- 本年3月、NASA長官が日本政府閣僚表敬時において、  
HTVを発展させた有人輸送機開発を期待している旨、表明。



チャールズ・ボールドンNASA長官  
(本年3月、宇宙機開発会議にて) 31

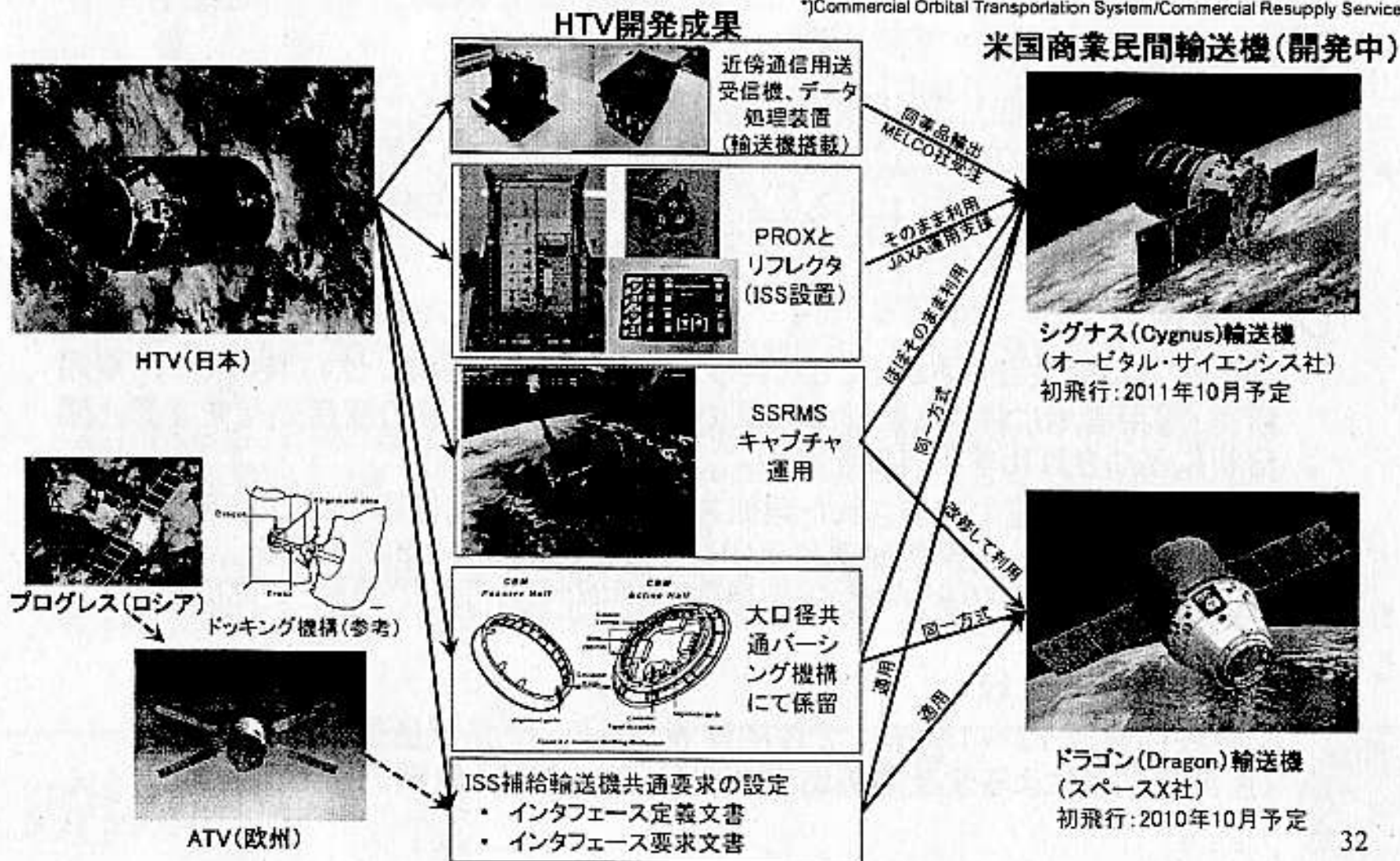


## 2.3 成果(インパクト)



- HTVの開発成果が米国商業民間輸送機(COTS/CRS\*)によって採用されている。

\*Commercial Orbital Transportation System/Commercial Resupply Service





## 2.3 成果(インパクト)



### 2.3.4 外部からの表彰

- (1) 日本産業技術大賞の受賞(日刊工業新聞社主催)  
平成22年4月、第39回日本産業技術大賞において「HTV/H-IIBロケットの開発」として、JAXA及び開発に携わった企業(11社)が文部科学大臣賞を団体受賞。



第39回日本産業技術大賞授賞式

- (2) 科学技術への顕著な貢献2009(ナイスステップな研究者)の受賞(科学技術政策研究所主催)

平成21年12月、高度な安全性・信頼性を満足する宇宙ステーション補給機(HTV)の技術実証に対し、JAXA HTVプロジェクトマネージャ他2名がナイスステップな研究者2009を受賞。



左より、佐々木ファンクションマネージャ、  
虎野プロジェクトマネージャ、  
小藤サブマネージャ





## 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





## 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JEMI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	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。 <ul style="list-style-type: none"><li>・ PROXインターフェース</li><li>・ ロケットインターフェース</li><li>・ ISSインターフェース</li><li>・ JEMインターフェース</li><li>・ TDRSインターフェース</li><li>・ GPSインターフェース</li><li>・ クルーインターフェース</li><li>・ カーゴインターフェース</li></ul>



### 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(つづき)

	成否の要因	分析
2. 試験に関する要因	(2) 検証試験の充実	ランデブシステムのクローズドループ試験、構造試験、熱真空試験など、検証試験を充実させ、試験中に判明した不具合を実機に反映した。また、開発担当者が運用管制要員を兼ねることで、実運用時のシナリオを強く意識した試験を地上で実施した。
	(3) End to End 試験の実施	HTVの飛行フェーズに合わせて、運用システム(地上管制局)とHTV機体を接続した試験を実施した。これにより、EtEでテレメトリとコマンドの疎通に関する不適合を事前に抽出し、実運用時のトラブルを未然に防いだ。
	(4) 軌道上近傍通信システム機能点検用地上局の開発	軌道上の近傍通信システムを機能点検するための地上局を開発した。地上と軌道上の間で直接通信リンクを取り、データ処理系を含めた点検を打上げ前に行い、誤配線を発見・修正した。これにより、HTVの近傍飛行運用時の通信トラブルを未然に防いだ。
3. 審査に関する要因	(1) 点検チームによる審査	ロケット、人工衛星、「きぼう」の有識者によるチェックアンドレビューを受けた。主要な審査会に参加してもらい、有益な助言を受けた。
	(2) 国際パートナーによる審査	基本設計審査会、詳細設計審査会、認定試験後審査会等において、NASA/CSA/ESAの審査を受けた。そのたびに毎回1000件近い指摘票を受け入れて調整を行い、総計約2000件のアクションを設定する等真摯に対応した。こうした国際パートナーとの技術調整を通じて、JAXA担当者の意識と専門能力が高まった。
	(3) 独立検証と立証(IV&V)の実施	宇宙ステーションで実績のある米ドレーパ社等第三者による独立したソフトウェア点検を行い、ソフトウェア設計の妥当性を確認した。 37



### 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"> <li>・ランデブ・離脱・再突入訓練(合計65回) <ul style="list-style-type: none"> <li>国内訓練: 26回 (ISS近傍: 16回, 遠方ランデブ: 7回, 再突入: 3回)</li> <li>日米合同訓練: 39回</li> </ul> </li> <li>・HTV1係留運用訓練(合計25回) <ul style="list-style-type: none"> <li>国内訓練: 14回、日米合同訓練: 11回</li> </ul> </li> <li>・HTV1統合訓練 <ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul> </li> </ul> <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、スラスタ温度上昇、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



#### 3.3 その他の成否の要因

- 確実な開発・運用を進めるために以下の方策を実施。

	成否の要因	分析
1.	HTVプロジェクトチームの体制強化	詳細設計がほぼ完了し、実機製作・試験・運用訓練を開始する時期に、人員をほぼ倍増させ大幅な体制強化を行った。JAXAが複数の場所で並行する開発業務にきめ細かく対応出来るようになった。 (例) 筑波宇宙センター：音響試験、熱真空試験、全機組立て試験、運用訓練 国内メーカ工場：サブシステム試験、モジュール試験 種子島宇宙センター：射場作業 ジョンソン宇宙センター：技術調整会合、ソフトウェア適合性試験、運用訓練、 ケネディ宇宙センター：近傍通信システム打上整備作業 ゴダード宇宙飛行センター：TDRS適合性試験 海外ベンダー：コンポーネント購入品試験
2.	リスク管理の徹底	コスト・スケジュールにインパクトを与える恐れのある要因をリスト化して頻繁にステイタスをチェックことで、チーム員全員でリスクの情報共有を行い解決策を議論した。これにより、特にプロジェクト後半は適切なコスト・スケジュール管理を実施できた。



### 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から、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)



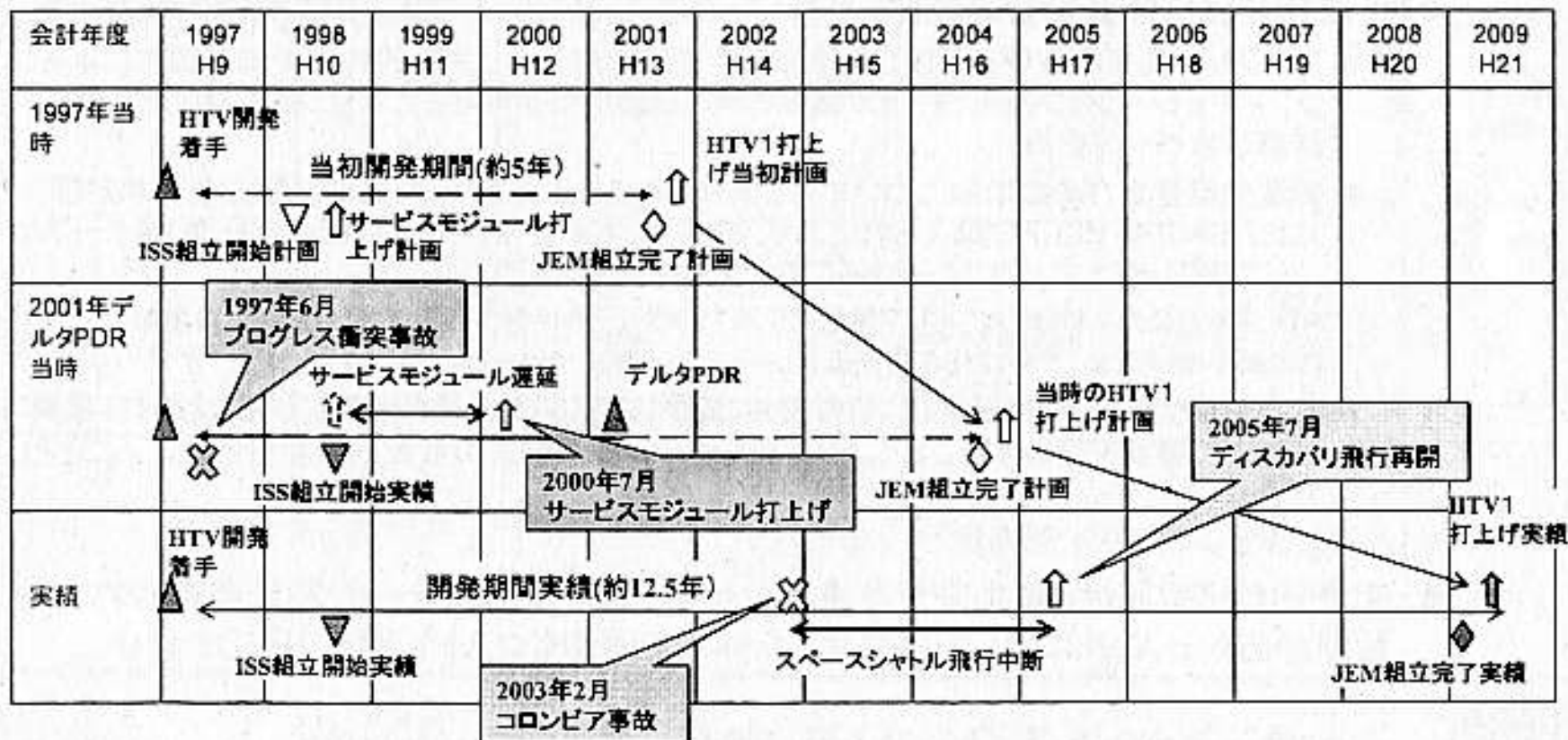


## 4. プロジェクトの効率性に対する分析



### 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か月後に計画。
- ・ ロシア・サービスモジュールの遅れや米コロン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。

年度	FY8(1996)	FY9(1997)	FY10(1998)	FY11(1999)	FY12(2000)	FY13(2001)	FY14(2002)	FY15(2003)	FY16(2004)	FY17(2005)	FY18(2006)	FY19(2007)	FY20(2008)	FY21(2009)
HTV開発	プロジェクト移行期審査 ▲	予備設計審査 システム要求審査 (SRR) ▲		基本設計審査 (PDR) ▲	追加基本設計審査 (ΔPDR) ▲	▲PROX基本設計審査		詳細設計ベースライン審査 ▲	詳細設計審査 CDR#1 ▲	詳細設計審査 CDR#2 ▲		PROX 打上げ ○		技術実証機 打上げ ○
マイルストーン	基本設計	予備設計	基本設計				詳細設計				仕様設計			
技術実証機 EM/STM				開発モデル(EM/STM)開発試験										
技術実証機PFM									PFM製作試験					
PROX(+) EM/STM				開発モデル(EM/STM)開発試験								コシミュレータへ改修		
PROX PFM									PFM製作試験					
HTV運用システム				PDR▲	基本設計			CDR▲	詳細設計		製作試験			



## 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費が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、罐露バ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、機装設計の複雑化)
- ・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

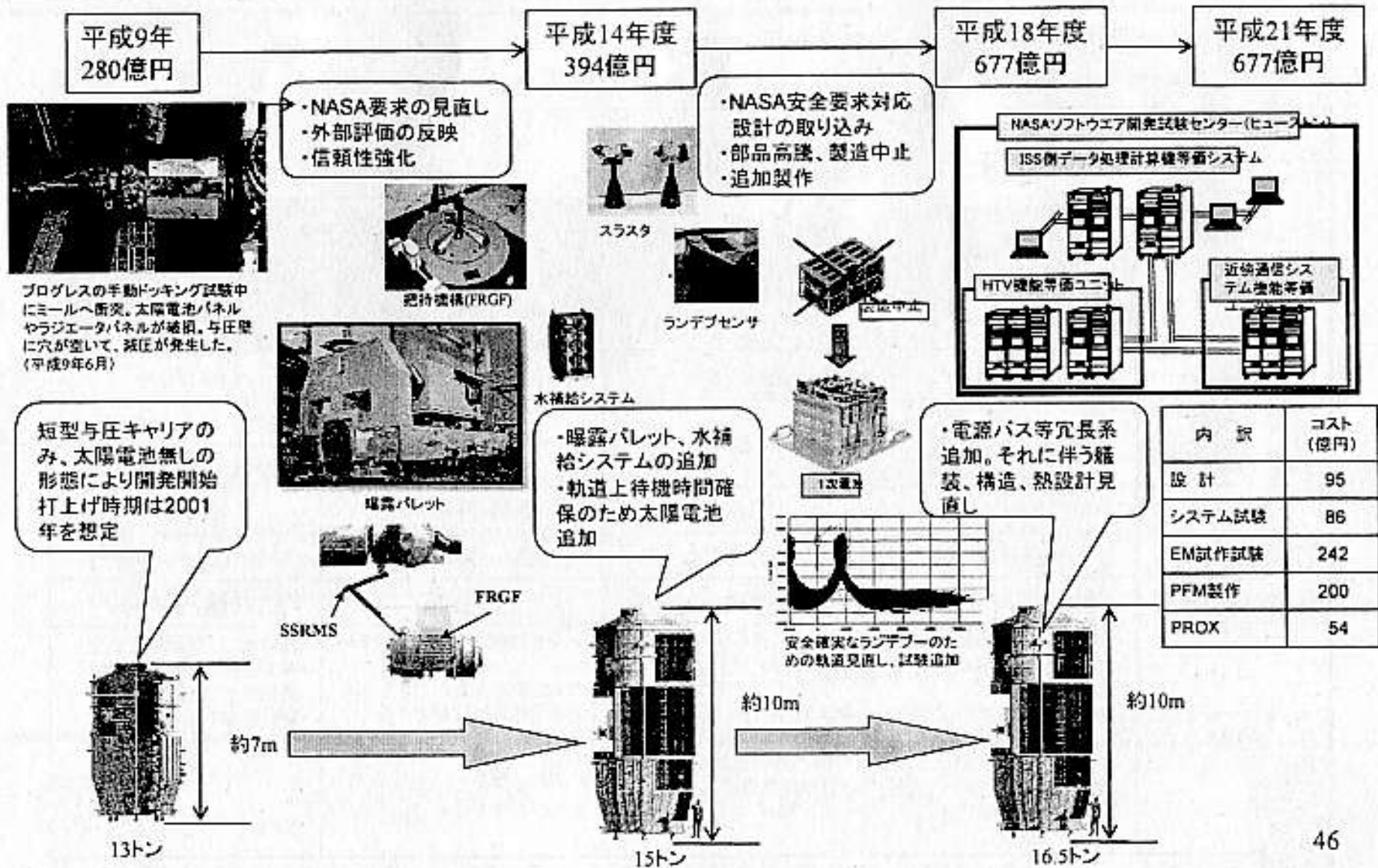
- ・コスト精査チームによる、開発担当メーカーとの間で内容の精査及び削減検討を実施
- ・JAXAチーフエンジニアリングオフィスによる開発費(677億円)の妥当性の評価
- ・国家基幹技術としての「宇宙輸送システム」推進の在り方について(宇宙開発委員会)
- ・H-IIロケット試験機による打上げ、技術実証機で物資を補給することを決定

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





## 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)

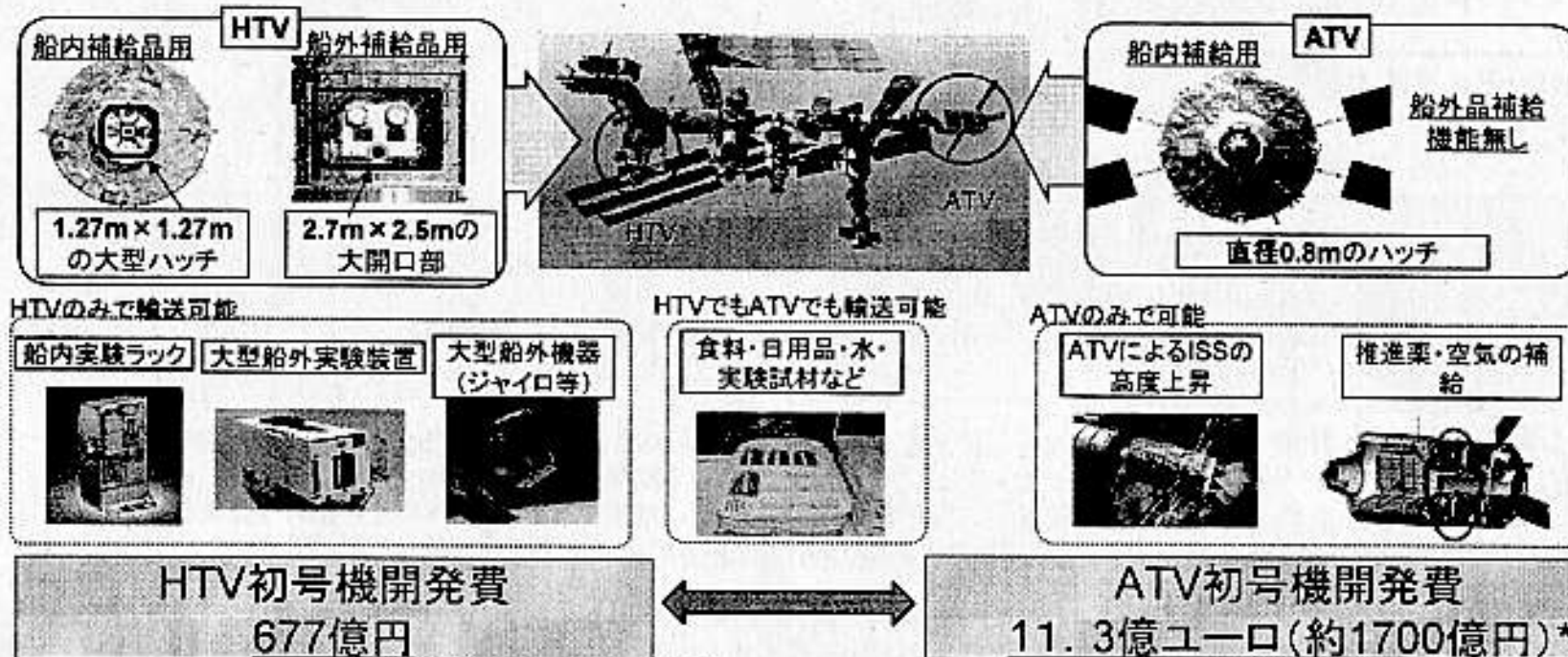
- ATVと比較して半分以下の開発コストを達成した。

#### (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(ATV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。



\*) (推定値) 出典: ESA公式Webサイト: [http://www.esa.int/esaCP/SEM2DN9OY2F\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM2DN9OY2F_index_0.html)  
 13億ユーロからロケット経費1.7億ユーロを引き。(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 <sup>*1</sup>	約58億円/トン <sup>*2</sup>	非公表	約76億円/トン <sup>*3</sup>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・船外機器を輸送可能(現在はシャトル以外で唯一)</li> <li>・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)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プログレスのドッキング技術を導入</li> <li>・ハッチ口は小さい(直径0.8m)</li> <li>・ISSの軌道変更ができる</li> <li>・ISSへ燃料補給ができる</li> <li>・船外機器は搭載不可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハッチ口は小さい(直径0.8m)</li> <li>・ISSの軌道変更ができる</li> <li>・ISSへ燃料補給ができる</li> <li>・船外機器は搭載不可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2010年で、運用停止予定。</li> <li>・有人往還機。ISSからの物資回収も可能。</li> <li>・船外機器も搭載可能。</li> </ul>	

\*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

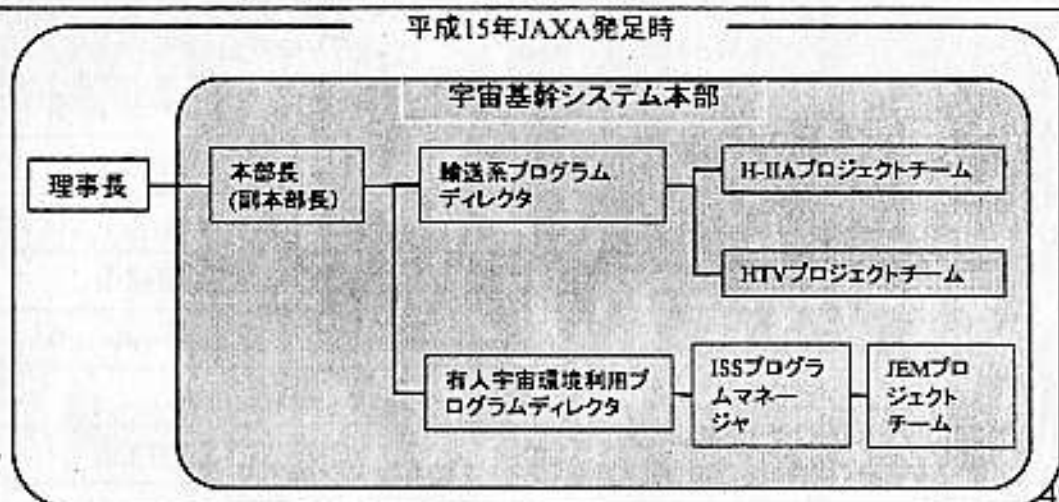
JAXAには、全体の実施責任を担う宇宙基幹システム本部長(理事)の下にH-IIAロケットプロジェクト(H-IIBロケットを含む)及びHTVプロジェクトのプロジェクトマネージャが配置される等、明確な責任分担がなされている。今後は、管理階層の削減による組織の一層の平坦化を進め、担当者の責任と権限を更に明確化するとともに、責任者間の直接対話による情報伝達と意思決定の更なる迅速化を期待する。

(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。







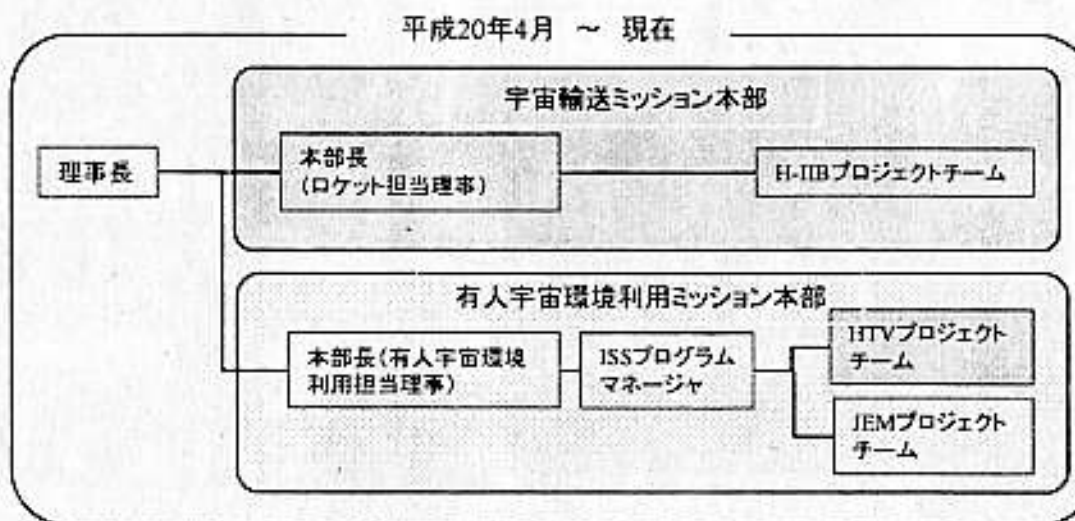
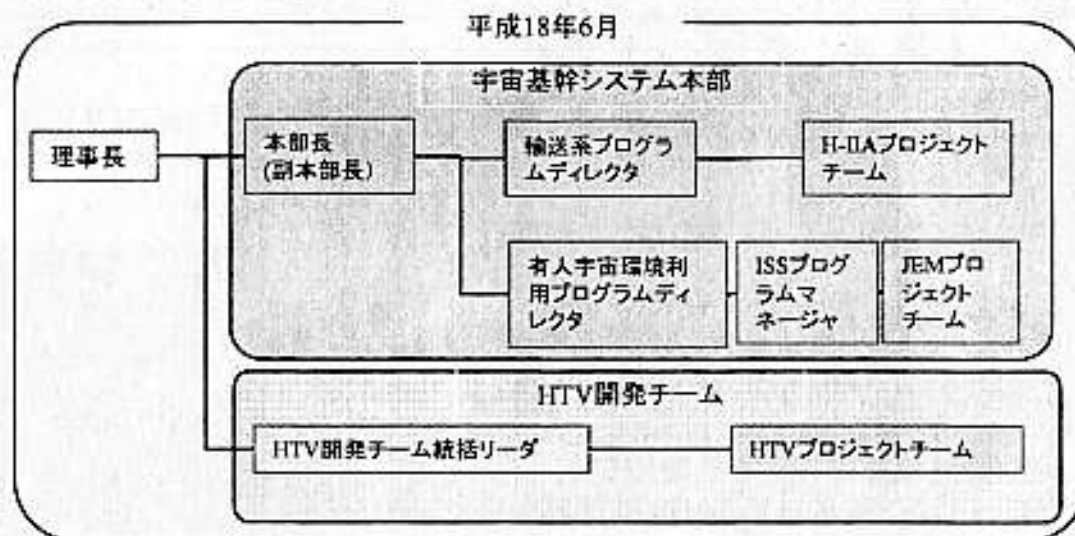
## 4. プロジェクトの効率性に対する分析



- 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、曝露バレット、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	曝露バレット、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



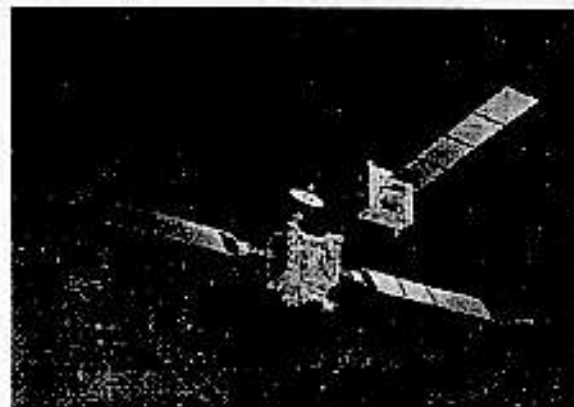
## 4. プロジェクトの効率性に対する分析



### 4.4 過去の実績の活用例

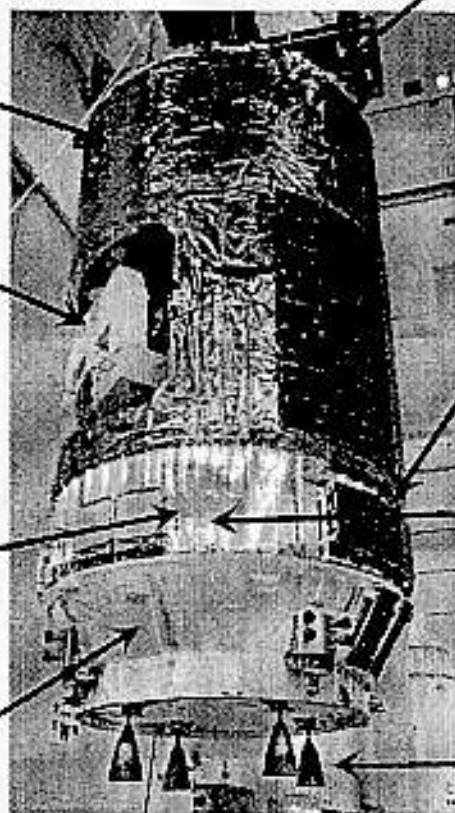


「きぼう」曝露部、補給部曝露区の設計・製造・運用技術をHTV曝露パレットへ応用



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

「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。



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。