

京大サマースクール2016

三菱重工の有人宇宙活動への取組み



平成28年8月23日

三菱重工業(株) 防衛・宇宙ドメイン 宇宙事業部 宇宙システム技術部

伊藤 定

(c) NASA

MHIの宇宙事業(主要製品及びサービス)

衛星打上げロケット



衛星打上げ輸送サービス
/ロケットの開発

液体ロケットエンジン



地上設備

宇宙ステーション/HTV



宇宙環境利用実験装置



宇宙ステーション

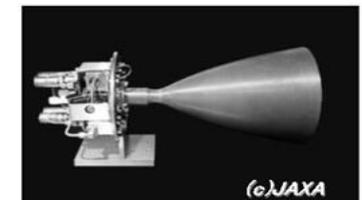


宇宙輸送機

人工衛星

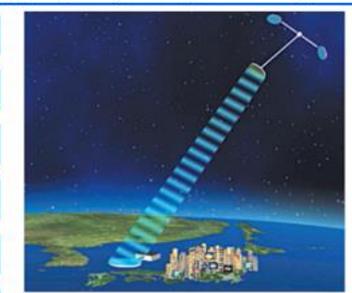


小型衛星



姿勢制御装置

将来宇宙システム



宇宙太陽光発電システム

MHIの宇宙事業(宇宙事業関連の施設)



● 三菱重工 本社・事業所・試験場

○ JAXA殿 事業所・施設

下関造船所



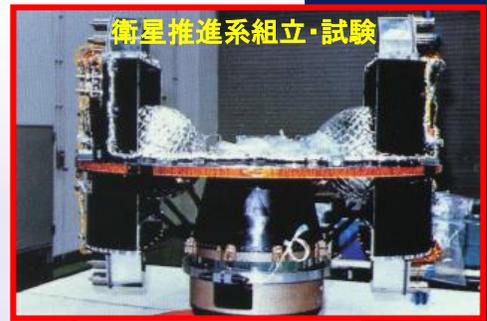
実験装置組立・試験

神戸造船所



燃焼試験

田代試験場



衛星推進系組立・試験

長崎造船所

角田宇宙センター

筑波宇宙センター

三菱重工 本社

宇宙科学研究所

広島製作所

名古屋航空宇宙システム製作所

名古屋誘導推進システム製作所

内之浦宇宙センター
種子島宇宙センター



ロケット1/2段組立・精装・試験



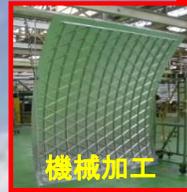
ロケットエンジン組立



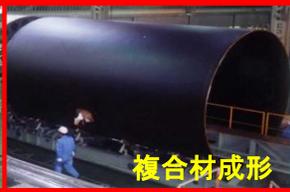
バルブ類



ロケットタンクドーム加工



機械加工

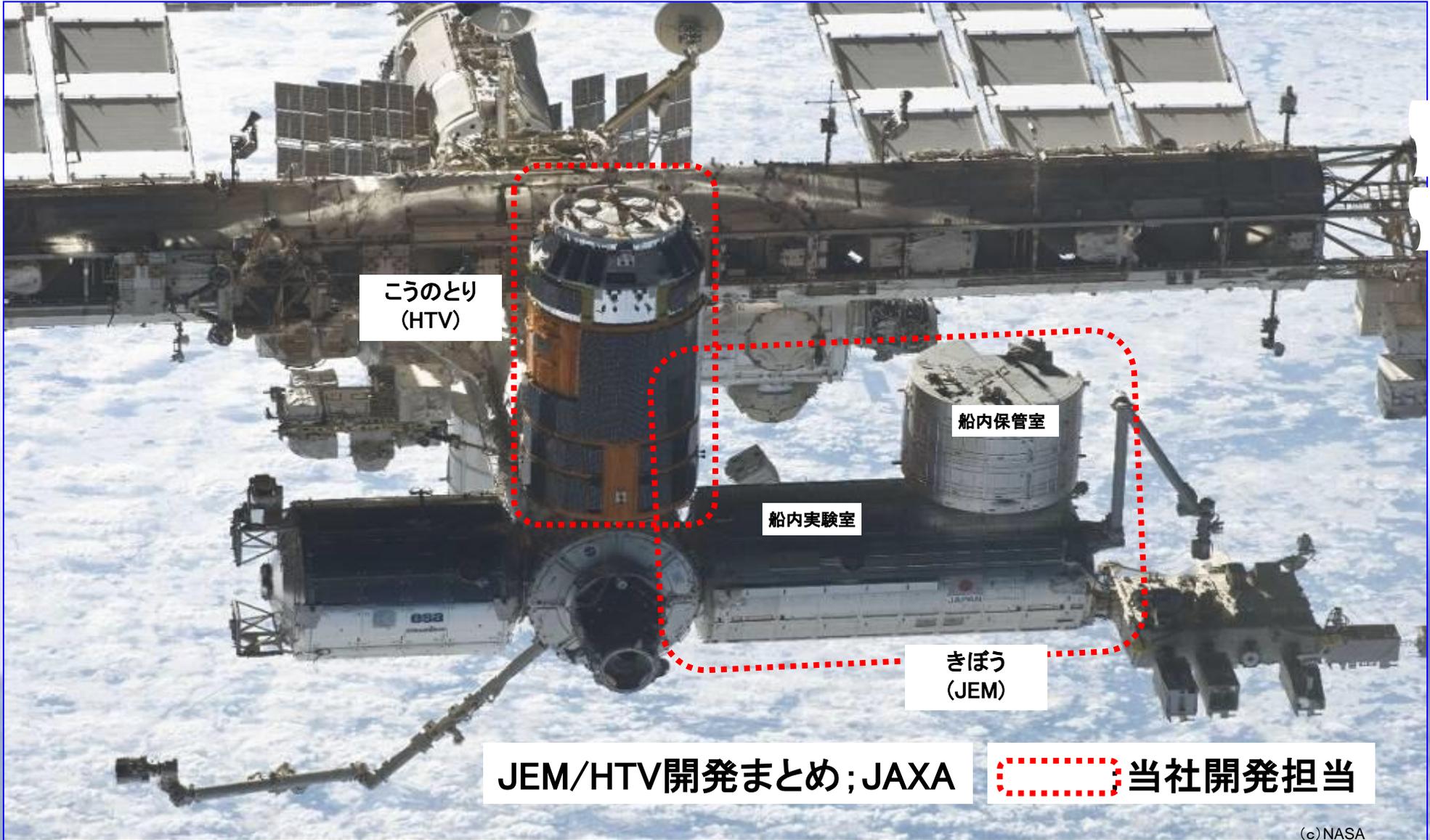


複合材成形

2. MHIの有人宇宙活動への参画実績

打上・運用	略称	製品名	備考
1992	FMPT	第一次材料実験 ライフサイエンス実験装置	スペースシャトル搭載
1994	IML-2	第二次微小重力実験室 水棲生物飼育装置	スペースシャトル搭載
1998	AAEF	海水型水棲動物実験装置	スペースシャトル搭載
2001	BBND	中性子モニタ装置	宇宙ステーション搭載
2008～	JEM	国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟	
2008～	CBEF	細胞培養装置	JEM搭載
2009～	HTV	宇宙ステーション補給機「こうのとり」	
2012	AQH	JEM搭載用水棲生物実験装置	JEM搭載
2012	REXJ	EVA支援ロボット実証実験	JEM搭載
2016～	MHU	小動物飼育装置	JEM搭載

宇宙ステーションの開発・設計・製造



◆宇宙実験装置の例



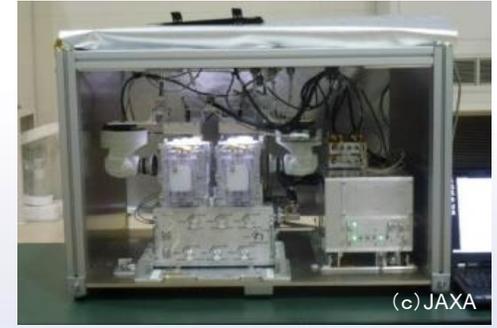
(c) JAXA

宇宙ステーション
米国実験棟搭載用
中性子モニタ装置
(BBND) 2001年



(c) JAXA

「きぼう」搭載用
細胞培養装置
(CBEF) 2008年～



(c) JAXA

「きぼう」搭載用
水棲生物実験装置
(AQH) 2012年



(c) JAXA

曝露部実験装置
EVA支援ロボット
実証実験システム
(REXJ) 2012年



(c) JAXA

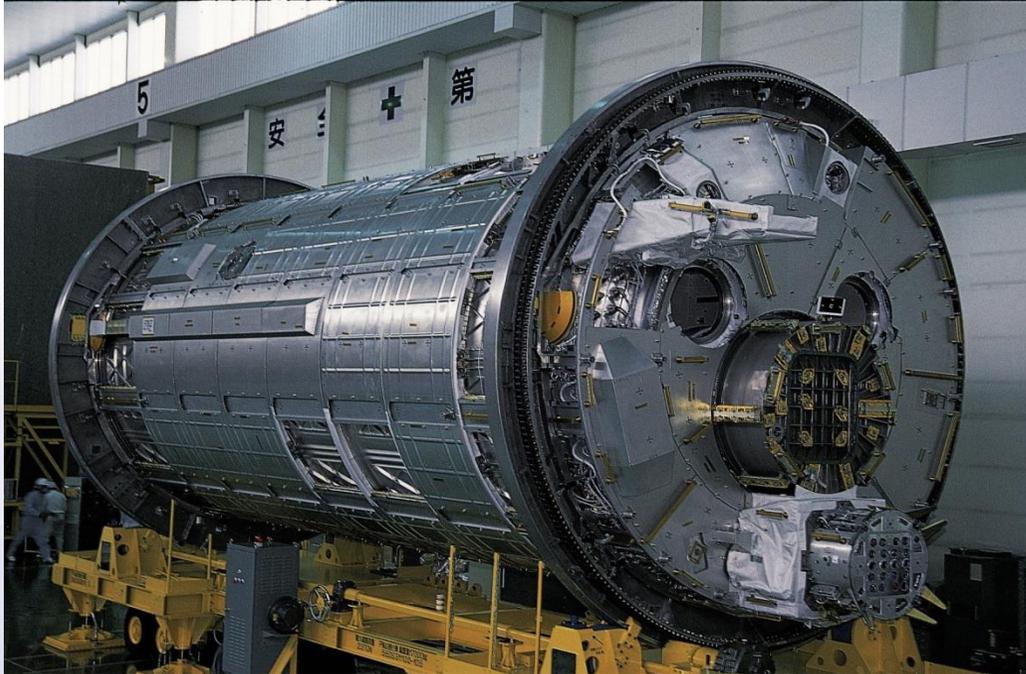
「きぼう」搭載用
小動物飼育装置
(MHU) 2016年～

「きぼう」(JEM)

「きぼう」(JEM)開発への取組み ～「きぼう」とは?～

- ◆ **日本初の有人宇宙施設**
- ◆ **国際共同プロジェクト**
- ◆ **10年以上の長期有人運用システム：安定稼働中**
- ◆ **宇宙での材料/生命科学実験の実施**
- ◆ **地球観測/天体観測の実施**
- ◆ **静かでキレイな仕上がりとの評価**

(c) JAXA/NASA



製造中の船内実験室@MHI名航飛島工場



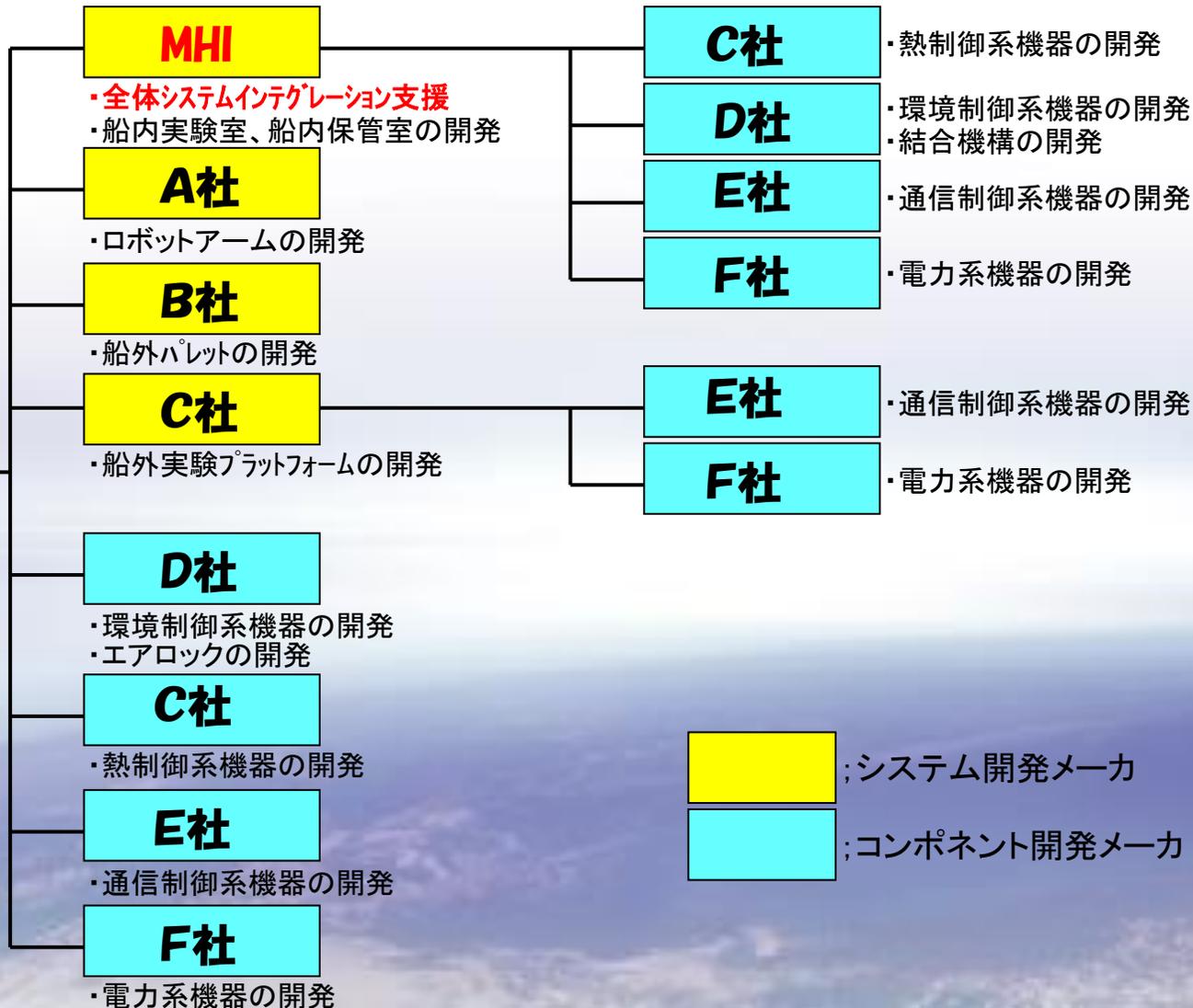
出荷前の船内保管室@MHI名航飛島工場

開発体制

多数の開発メーカーとの調整、インテグレーションが必要

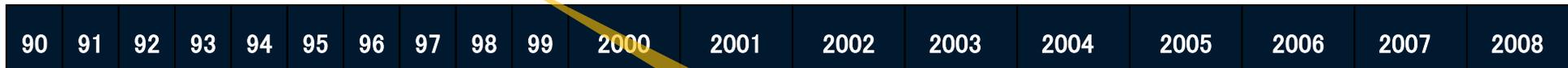
JAXA

・全体とりまとめ



「きぼう」(JEM)

開発スケジュール



PDR

CDR-1,2,3

PDR; Preliminary Design Review (基本設計審査)
 CDR; Critical Design Review (詳細設計審査)
 PQR; Post Qualification Review(開発完了審査)

基本設計／詳細設計

維持設計

開発試験

EM (エンジニアリングモデル)



(c) JAXA

長期に渡る開発期間、
ステップを踏んだ確実な開発



(c) JAXA

Flt 1J

PQR

米国輸送

製作/試験

(@名航/筑波宇宙センター)

射場作業

(@ ケネディ宇宙センター)



PQR

米国輸送

製作/試験

(@名航/筑波宇宙センター)

保管/定期点検

(@筑波宇宙センター)

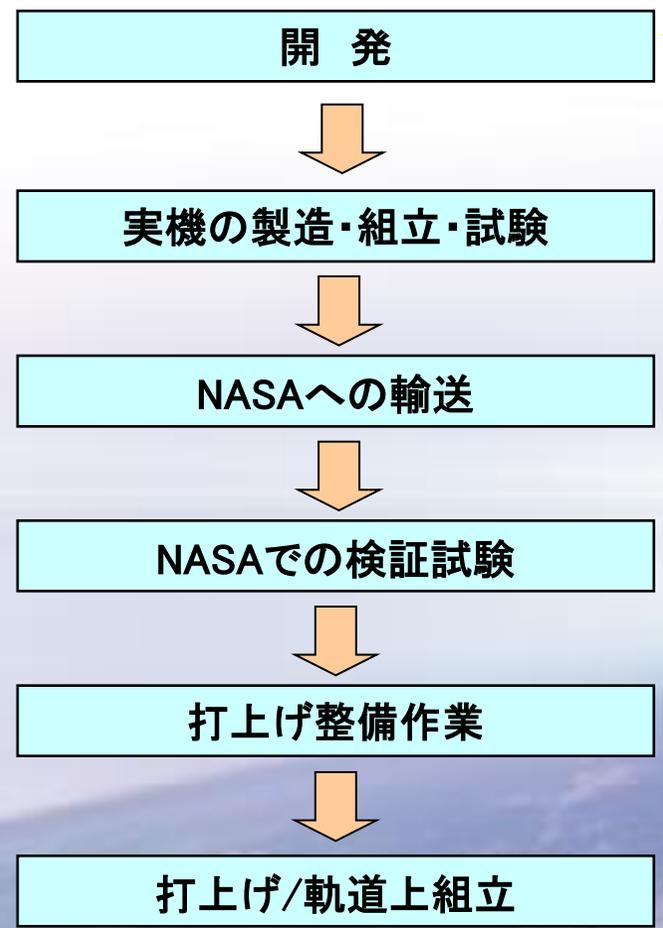


Flt 1J/A

射場作業 (@ ケネディ宇宙センター)



完成までのステップ



主な検証試験

- ◆ 構造認定試験
- ◆ 無重量環境試験
- ◆ エンジニアリングモデル(EM)試験

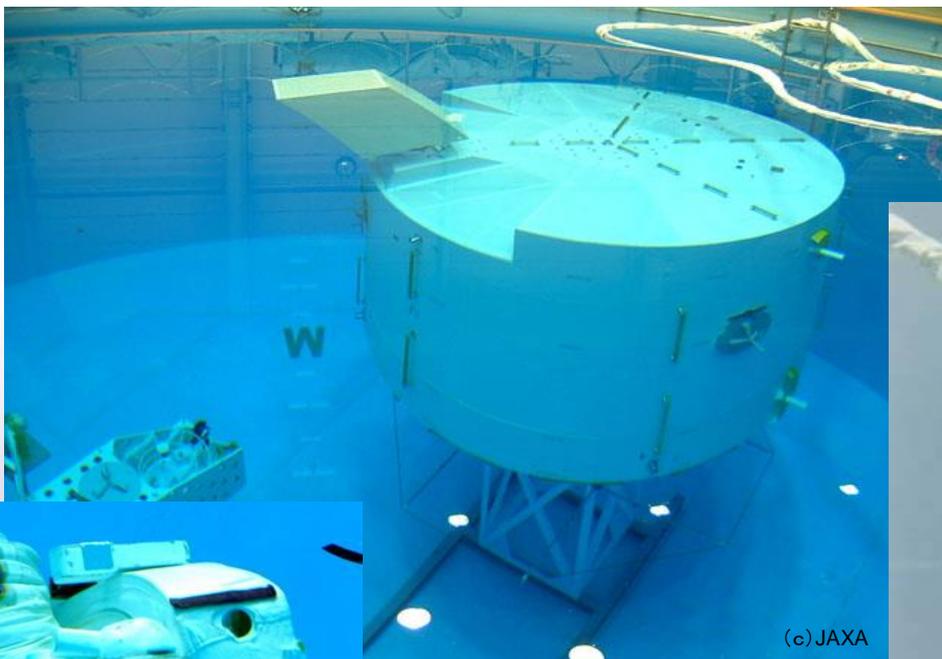
主な検証試験

- ◆ 熱真空試験
- ◆ 全体システム試験



@ 米国ケネディ宇宙センター

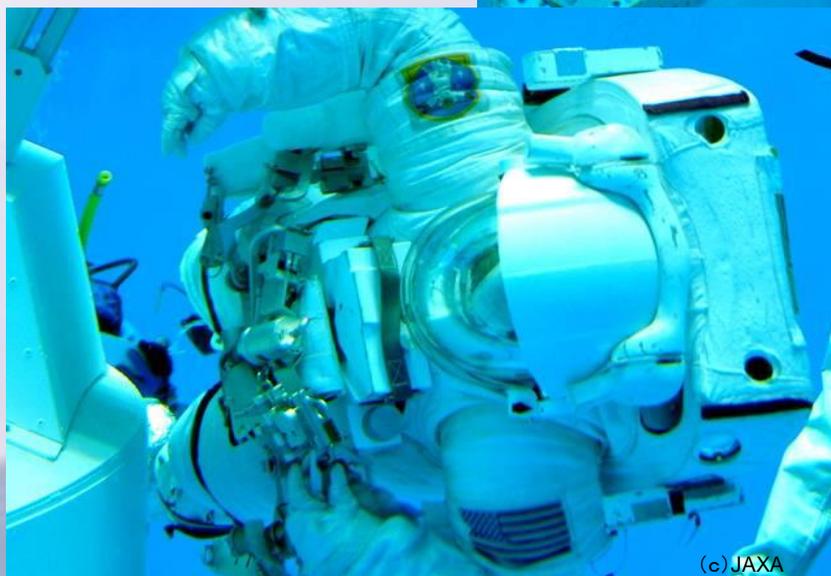
「きぼう」(JEM)



(c)JAXA



(c)JAXA

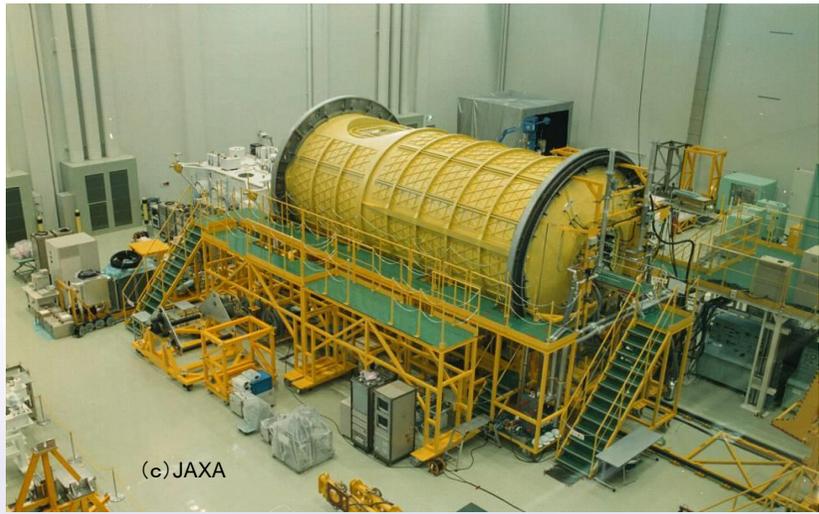


(c)JAXA

無重量模擬環境下、
宇宙服での作業性
確認

無重量環境試験

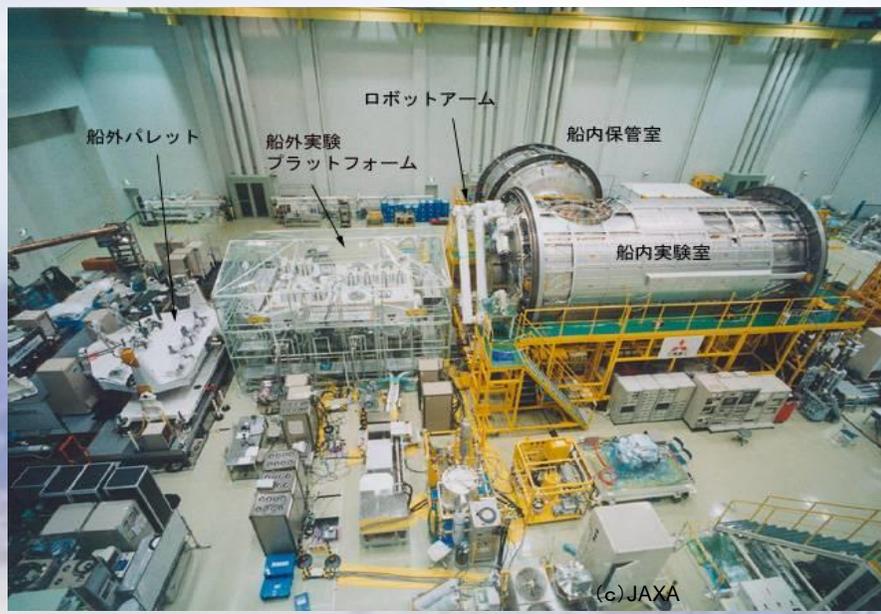
「きぼう」(JEM)



エンジニアリングモデル(EM)試験



熱真空試験

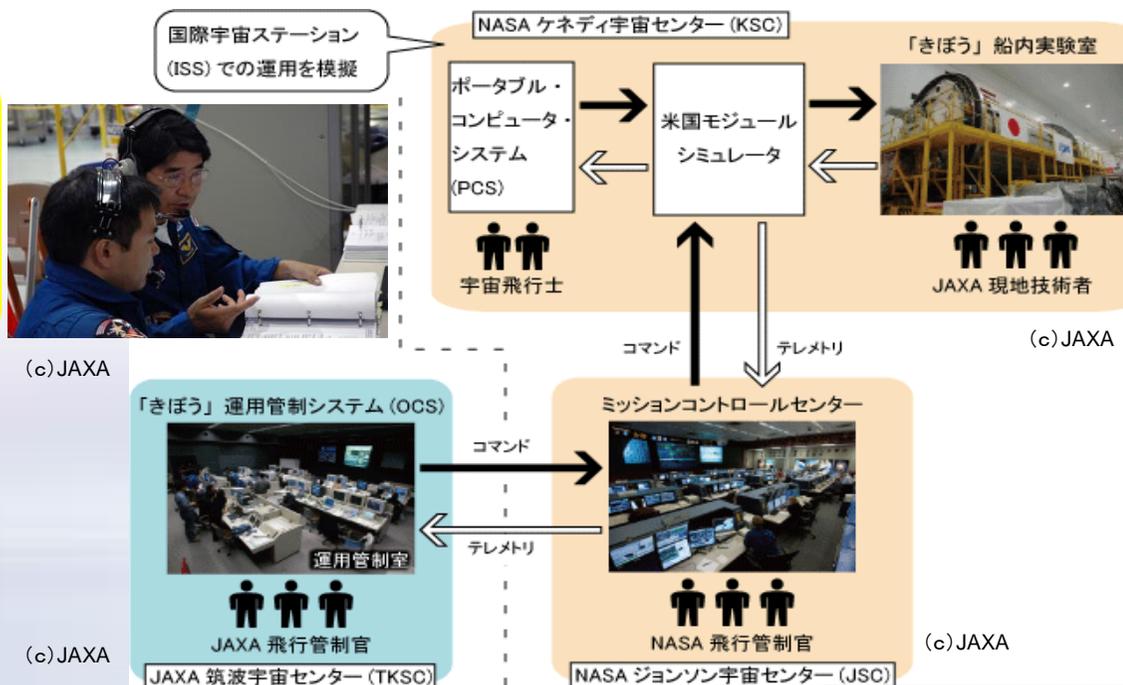


全体システム試験
いずれも@ JAXA筑波宇宙センター

「きぼう」(JEM)

「きぼう」(KSC) ⇔ (JSC) ⇔ (TKSC) End-to-End試験

2つの地上管制局と「きぼう」をつないで行う確認試験



「きぼう」
@米国ケネディ宇宙センター(KSC)



日本 米国

(c) JAXA

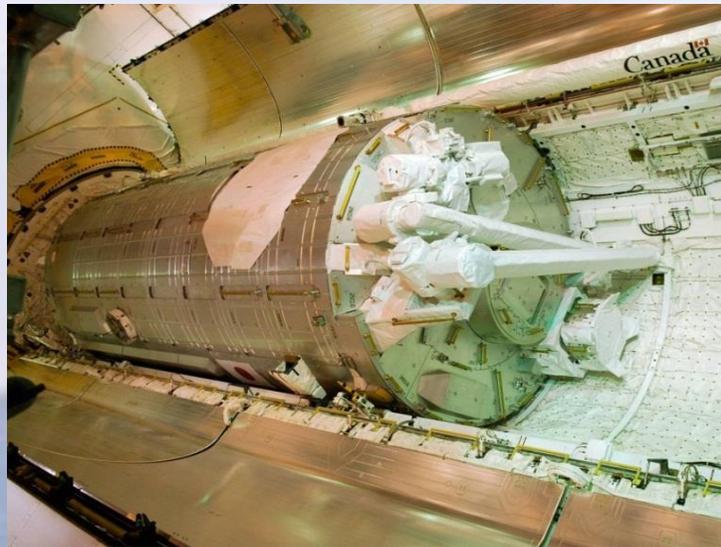
「きぼう」管制局 @筑波宇宙センター(TKSC)



(c) JAXA

宇宙ステーション管制局 @米国ジョンソン宇宙センター(JSC)

打上げ/ISSへの取付け



スペースシャトルへの搭載



スペースシャトルディスカバリー号 (STS-124)による船内実験室の打上げ (2008年6月)



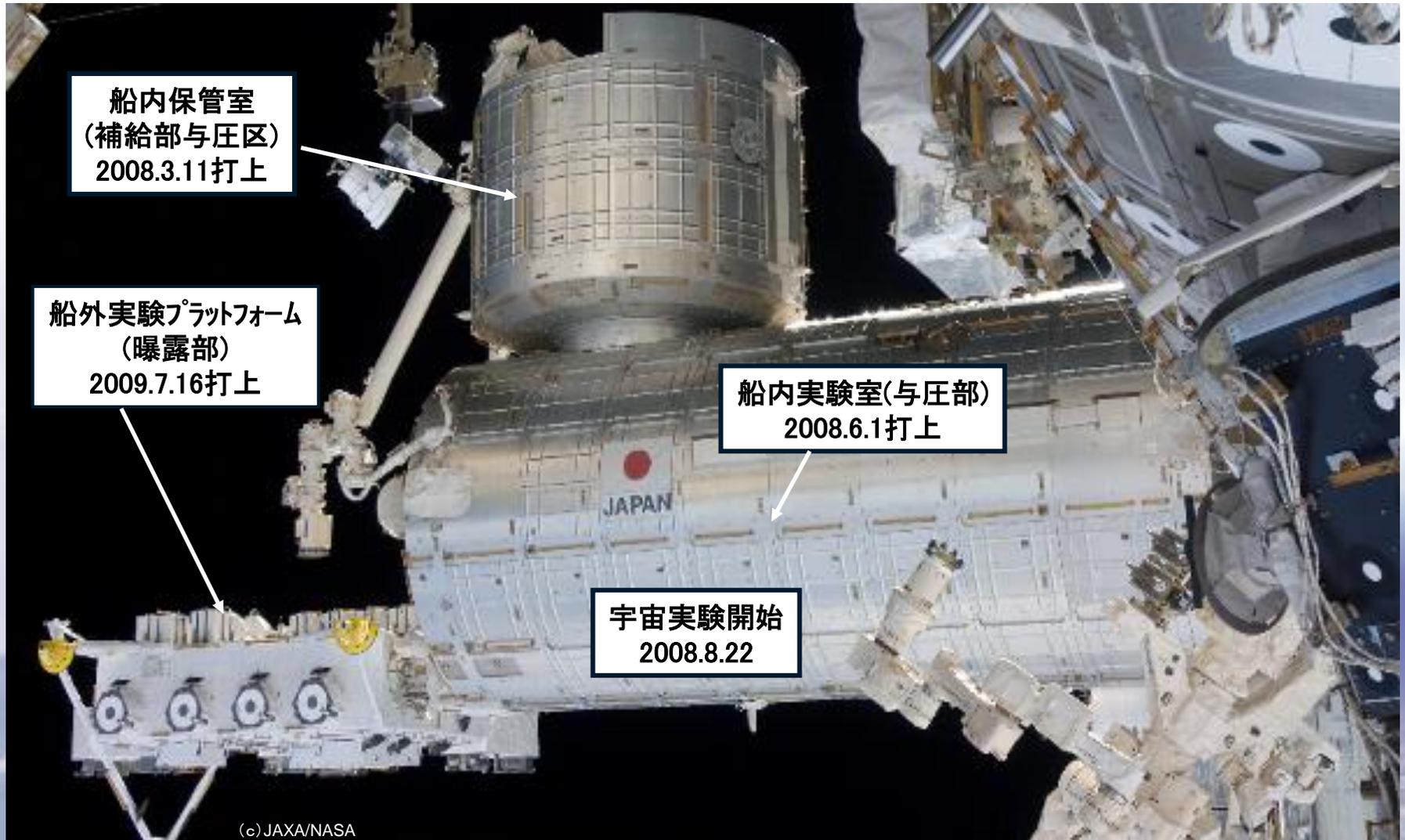
(c)NASA

ISSロボットアームで把持し、ISSへ取付け

(c)NASA

「きぼう」(JEM)

「きぼう」完成 (2009.7.19)



「きぼう」の運用管制と技術支援

開発メーカーとして、
「きぼう」軌道上運用を
技術支援



(c) JAXA

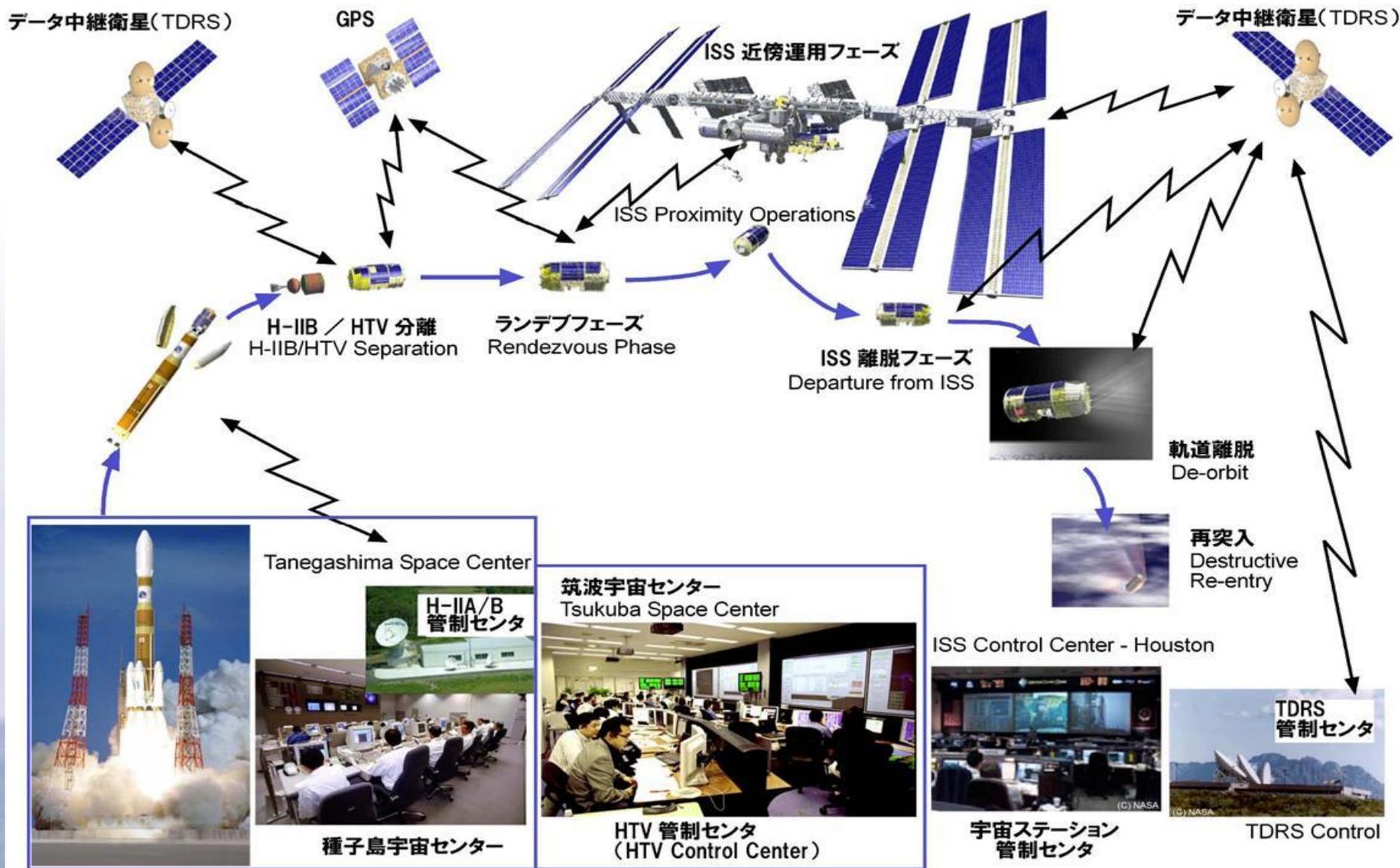
「きぼう」地上管制室局 (MCR) @ 筑波宇宙センター



(c) JAXA

技術支援室 (ESR) @ 筑波宇宙センター

「こうのとりの」(HTV)

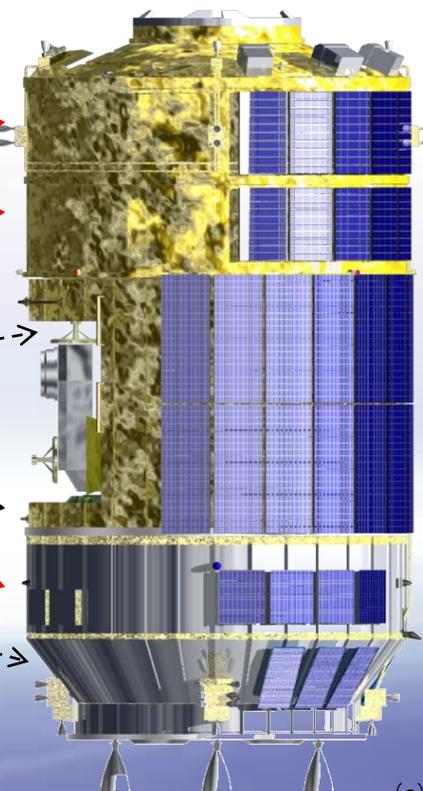


(c) JAXA

◆ HTV1 (技術実証機)

JAXAが機体開発を取りまとめ、メーカー各社が以下を分担

- MHI: 全機インテグレーション
与圧部
- 非与圧部
- 推進モジュール
- A社: 電気モジュール
- B社: 曝露パレット
- 推進系 (推進モジュールの一部)

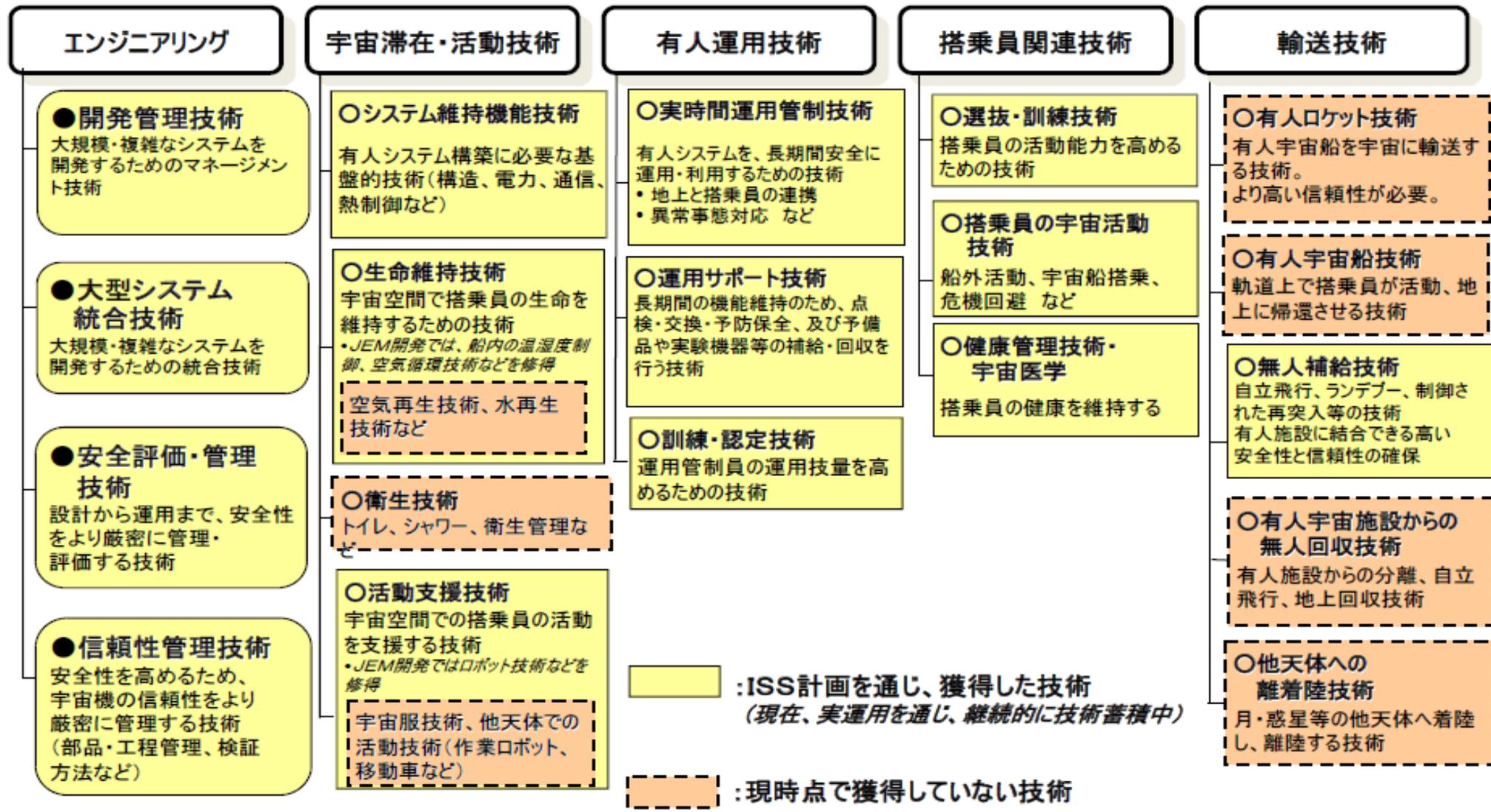


◆ HTV2以降 (運用機)

製造分担は変わらないが、MHIが曝露パレットを除くHTV機体製造を一元的に取りまとめ、最終的にJAXAに対する納入責任を持つ(製造プライム)

現時点で、HTV5まで成功を継続中。

有人宇宙技術 技術体系



「きぼう」開発で獲得した技術

NASA有人宇宙経験
に基づくISS 設計基準

ISS 独自の技術要求

きぼう開発



Courtesy of JAXA

ロケット構造設計/製作技術

ロケット/航空機開発における
システムインテグレーション技術

システムインテグレーション

- システムマネジメント
- コンフィギュレーション管理
- インターフェース管理

熱制御系

- 宇宙環境下での熱解析技術
- 冷却水熱輸送閉ループ制御

構造系 ★

- 大型与圧溶接構造
- 隕石デブリ防御設計
- 寿命設計
- 放射線遮蔽設計

搭乗員支援系 ★

- 微小重力下での人間工学

電力系

- 高圧電流(120VDC)電力送配電/スイッチング

通信制御系

- MIL-STD-1553B規格準拠の通信バス技術
- 宇宙用異機種ネットワーク/コンピュータ間通信

環境制御系 ★

- 微小重力下でのキャビン空気流れ制御/解析
- キャビン減圧/過加圧時の制御
- 低騒音化設計/解析
- 微小重力化での火災検知・消火技術

管制システム/ソフトウェア ★

- 多数のローカル制御装置の統合制御
- システム全体の集中監視制御
- 運用中のバージョンアップ技術
- 異常時のシステム安全化処置

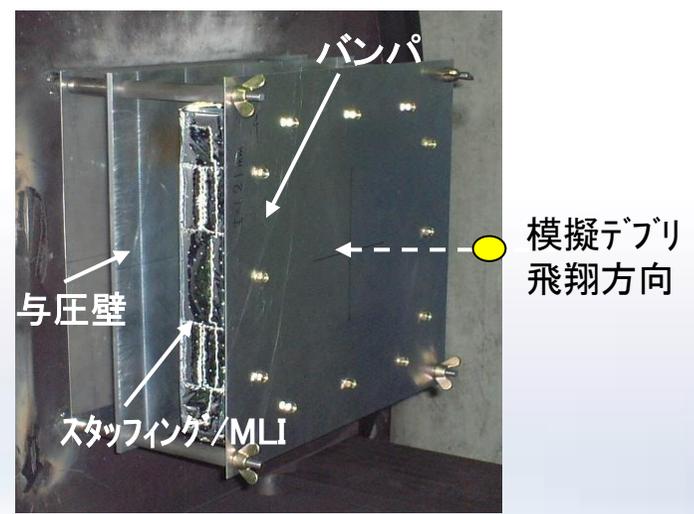
安全設計

- 安全開発保証プロセス
- 安全解析(ハザード制御)
- 部品・材料管理プロセス

(c) JAXA

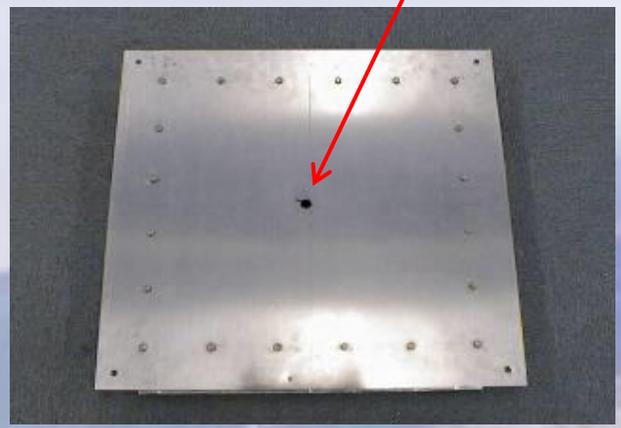
隕石デブリ防御構造の試験

直径11mmの模擬スペースデブリ
(アルミ球)を秒速5.71kmで衝突
させた。



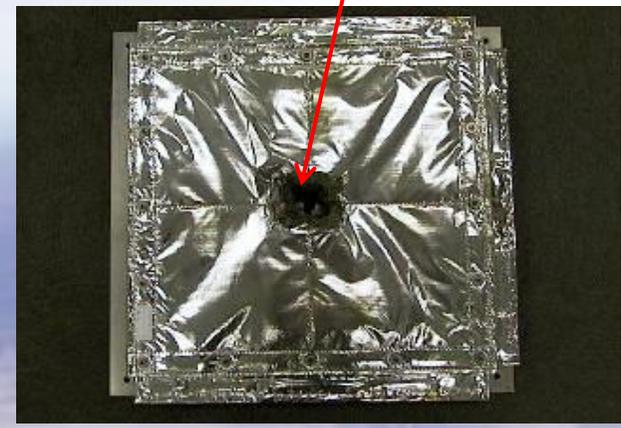
隕石デブリ模擬の
高速衝突試験用供試体

貫通



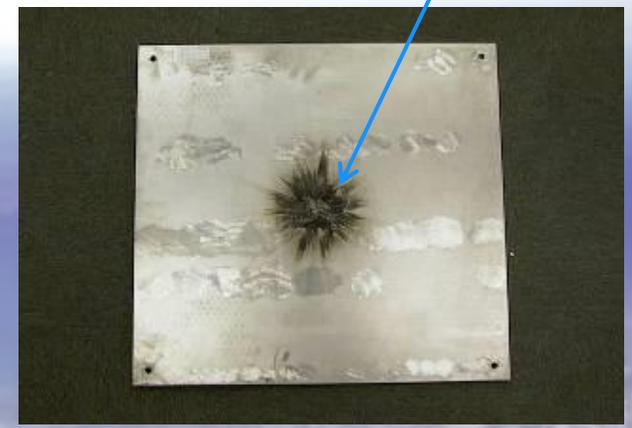
バンパ

貫通



スタッフイング

非貫通



与圧壁(外側)

環境制御システム技術

宇宙での環境制御とは、

- ・対流のない微小重力下での適切な**空気循環制御**
- ・外部とのやりとりができない閉鎖空間での**温湿度制御**
- ・外部真空に対して安全面での**減圧・再加圧制御**
- ・閉鎖空間での火災防止としての**火災検知・消火技術**

などを基本とする、“有人宇宙開発にかかせない”技術。
搭乗員への快適環境提供のために“**騒音制御技術**”も扱う。

将来宇宙システム開発に向けて

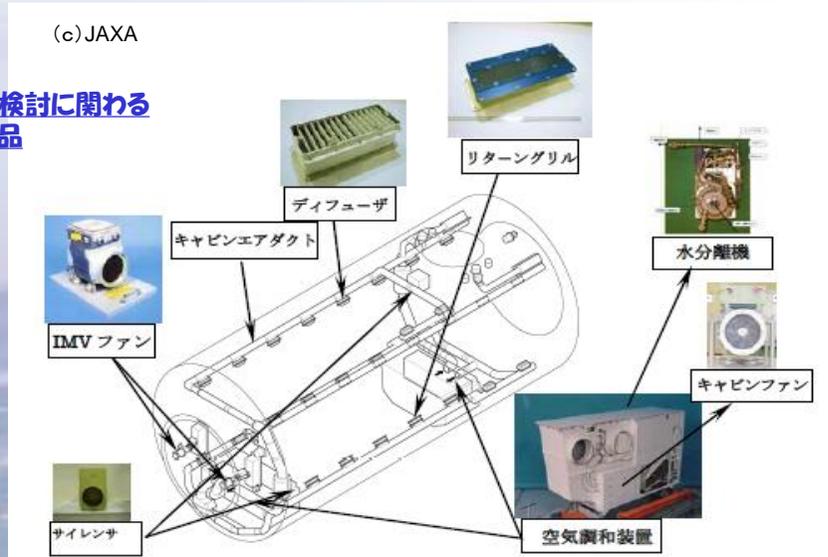
- ・日本初の有人宇宙設備として“きぼう”では有人宇宙開発に必要最小限の技術を取得。
- ・ISSではNASAに依存する技術がまだ多数あり。

⇒・地上での基礎技術を“きぼう”で実証し、将来の有人宇宙システム開発に向けて維持・発展させる。



“きぼう”での獲得技術

- ①他国モジュールと遜色ないシステムを実現
- ②他国モジュールに勝る“静けさ”を達成
(設計製作時からの徹底した低騒音化検討による)



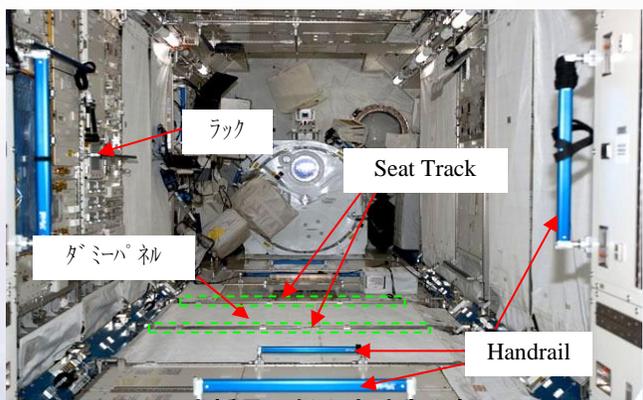
【確立された技術と今後開発が必要な技術】

環境制御及び生命維持系技術	月面基地で必要な技術	JEM/HTVで得られる技術	月面に向けて取得すべき技術	
a. 温湿度制御技術	○	○		
b. 空気循環制御技術	○	○		
c. 減圧・再加圧制御技術	○	○		
d. 火災検知・消火技術	○	○		
e. 騒音制御技術	○	○		
f. ガス再生技術	○		○	JEMではNASAに依存
g. 微量有害ガス処理技術	○		○	JEMではNASAに依存
h. ガス環境制御技術	○		○	JEMではNASAに依存
i. 水処理技術	○		○	JEMではNASAに依存
j. 廃棄物処理技術	○		○	JEMではNASAに依存
k. 食物自給技術	○		○	ISSでは無し
l. 物質循環量解析技術	○		○	JEMでは実施していない
m. インテグレーション技術	○	○		

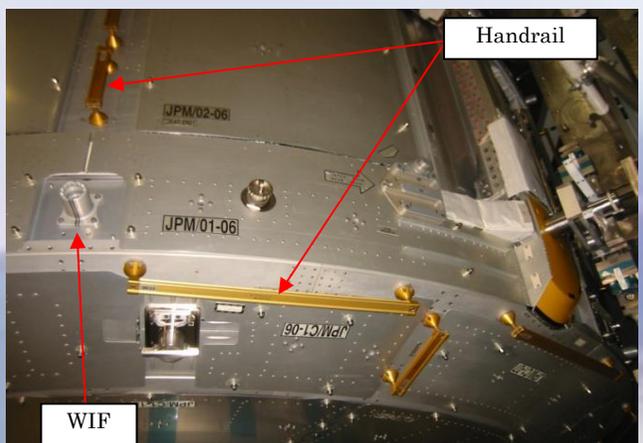
(c) JAXA

搭乗員支援系技術

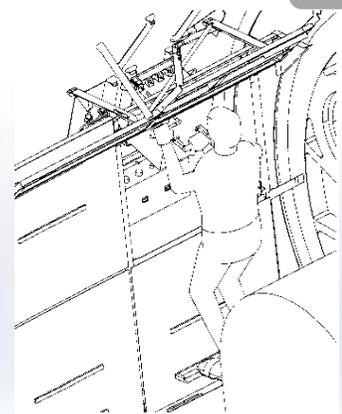
- 【技術のポイント】**
- ・微小重力下でクルーが移動を行うための**ハンドレール**や**足拘束具**等の設定。
 - ・微小重力下でクルーが機器の交換を行うための**機器設計/レイアウト**。
 - ・宇宙服を着用したクルーによる**船外活動**に対応可能な**船外機器設計**。
 - ・**水中試験**(無重量シミュレーション)等による**検証の実施**。



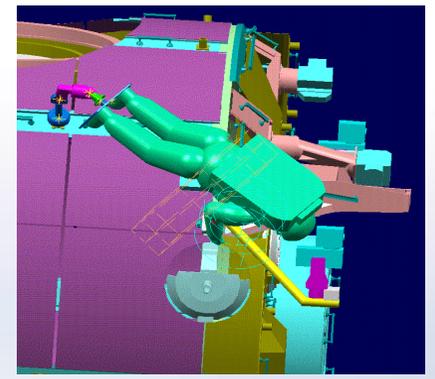
IVA支援具～船内実験室内部



EVA支援具～船内実験室外部



船内機器に対するアクセス性解析



船外機器に対するアクセス性解析

解析

試験



FCIT～船内保管室



無重量シミュレーション試験～船内実験室

「きぼう」開発で獲得した技術例

管制ソフトウェアによる異常時通報・安全化処置

様々な系統からなる宇宙システム全体を安全に効率良く運転するために、**ローカル制御装置の制御を統合して、システム全体の集中管理制御をメインコンピュータと管制ソフトウェアで実現するための、「管制アーキテクチャ設計及び管制ソフトウェアの製作技術」**を獲得。



「このとり」の技術

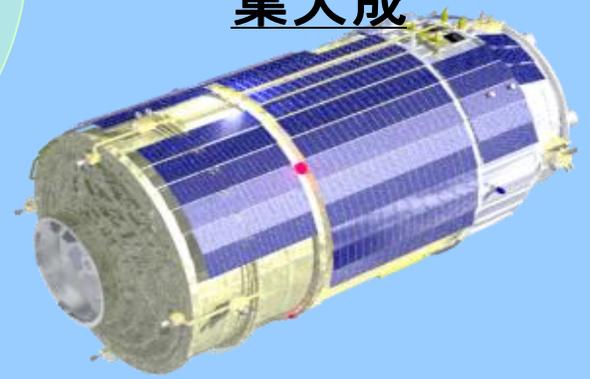
ロケット・輸送系技術



衛星技術

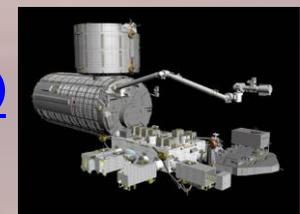


我が国における
ロケット・衛星・有人技術の
集大成



宇宙ステーション補給機 (HTV)

国際宇宙ステーション
日本実験棟「きぼう」
開発で培った有人技術



(c)JAXA

4. 今後の有人宇宙活動(現在の有人宇宙活動)

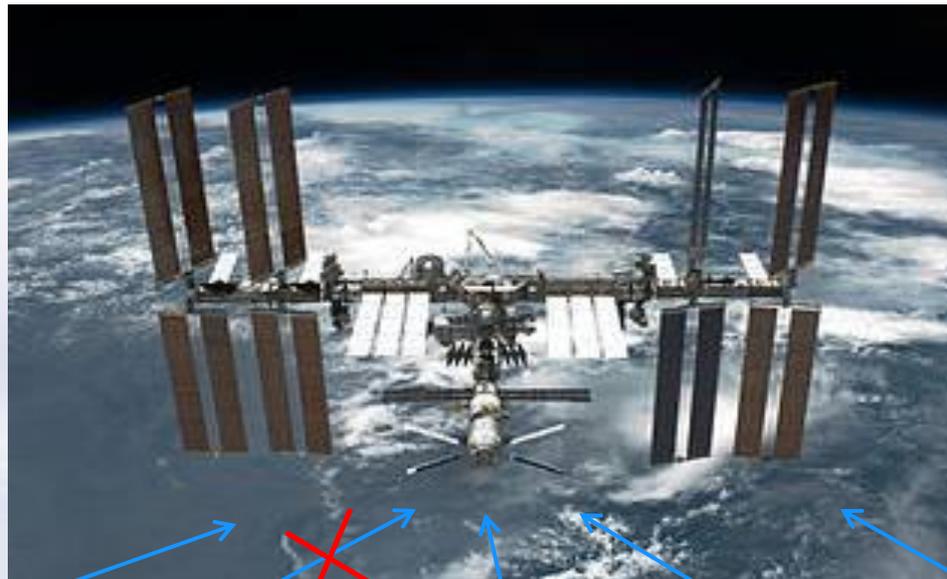
◆宇宙ステーション

スカイラブ(米) 1973-1979



出典: NASA

国際宇宙ステーション 1998-



出典: NASA

天宮(中国) 2011-



出典: 中国载人航天行程网

ミール(旧ソ連) 1986-2001



出典: NASA

神舟(中国)



出典: 新華社

◆輸送機

ソユーズ/プログレス(ロシア)



出典: NASA

ATV(欧州)



出典: NASA

HTV(日)



出典: JAXA

ドラゴン(SPACEX社)



出典: SpaceX社

シグナス(OA社)



出典: NASA

(補給ミッションは終了)

4. 今後の有人宇宙活動

日本国政府及びアメリカ合衆国政府は、少なくとも2024年までのISS運用に関して、協力することを表明



HTV-X
開発開始
の見通し



4. 今後の有人宇宙活動

ISSの次は？ ⇒ 月、小惑星、火星 ？

例：Global Exploration Roadmap(GER)

ISSの次の有人宇宙プログラムとして現在各国で検討中



第9回 宇宙科学・探査部会(H26.2.19)資料抜粋

- ① ISSを最大限活用し、探査に向けた技術蓄積を行う(2030年頃まで)。
- ② 月・小惑星・火星への(有人探査準備としての)無人探査
- ③ 2020年代に月周辺の有人探査を実施する。
 - ・無人機で月周辺に移動させた小惑星有人探査
 - ・月周辺の長期有人滞在ミッション
 - ・月表面の有人探査
- ④ 2030年以降に有人火星探査を実施する。