

有人月探査に必要な技術

平成22年3月3日

長谷川 義幸
(独立行政法人宇宙航空研究開発機構)

内容

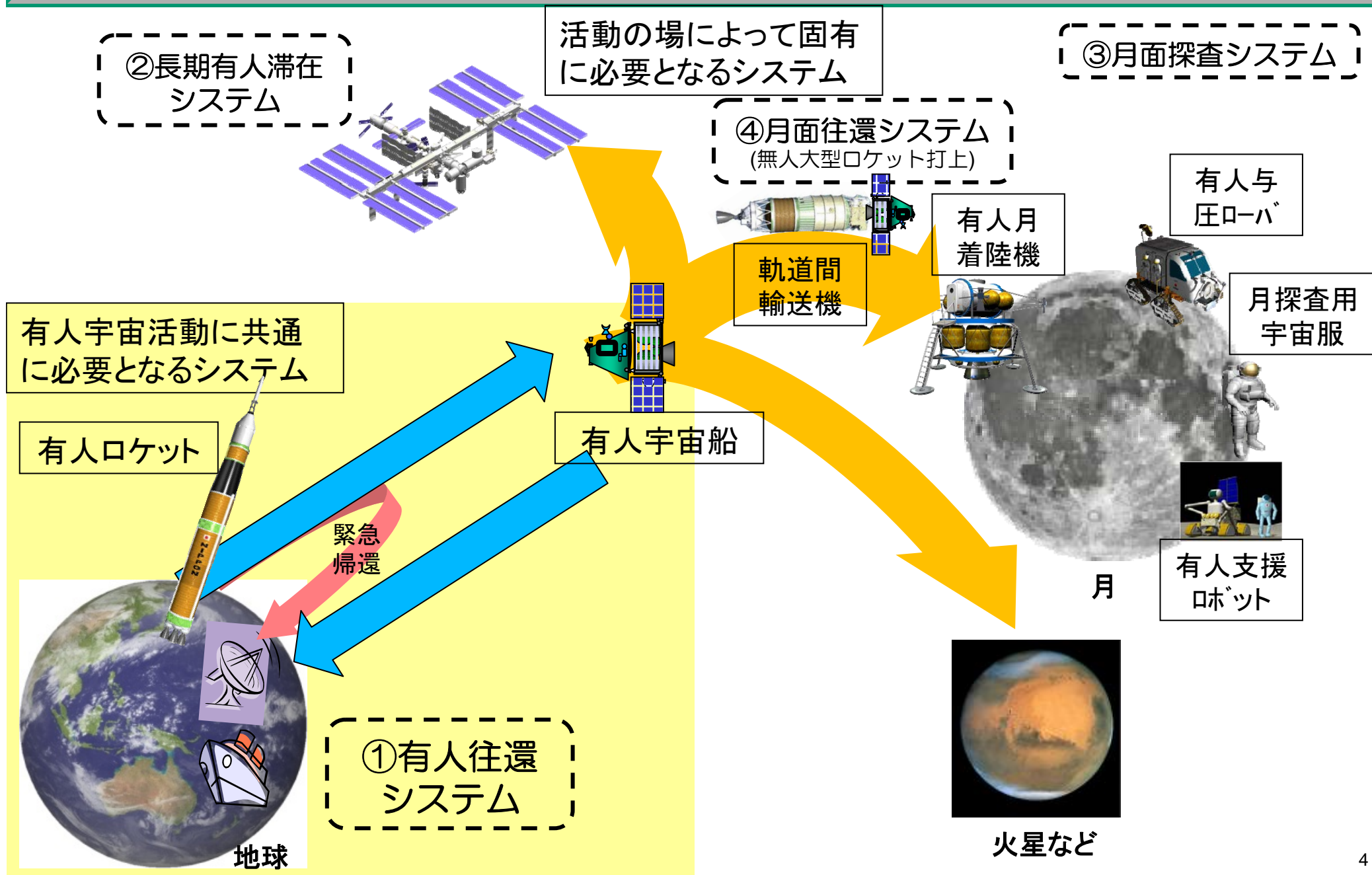
1. 有人月探査に必要な技術とISS等で蓄積された技術からの流れ
2. キーとなる要素技術について

参考1: 有人月探査に必要な技術の詳細説明

参考2: 国際宇宙ステーション(ISS)の成果

1. 有人月探査に必要な技術とISS等で蓄積された技術からの流れ

有人宇宙活動を構成するシステム



①有人往還システム(有人ロケット)

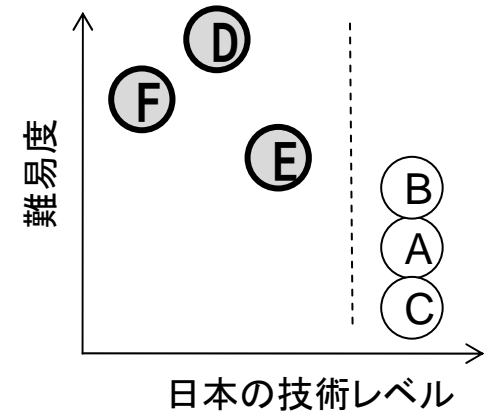
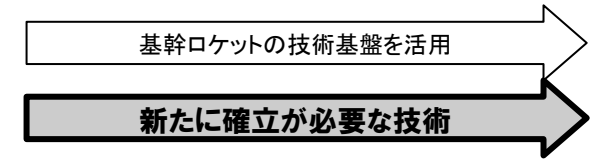
技術の現状

無人の基幹ロケット(H-IIAロケットなど)により技術基盤は既に保有しており、有人ロケットに発展可能。

新たに必要な技術

有人ロケットには、基幹ロケットの技術を発展させるとともに、さらに爆発や墜落等から乗員を保護する以下の技術が必要

- 性能重視の現エンジンから高温・高圧部位をなくし、シンプルな構造で故障時でも安全に停止できる**エンジン等の安全化技術**
- 機体各部の故障箇所を早期自動検出して安全側へ機体を制御する**冗長(フェールセーフ)技術**
- 万一の非常事態における異常飛行状態からでも有人宇宙船を無事脱出させて乗員を救う**緊急脱出技術**



基幹ロケット(H-IIAロケットなど)



A. インテグレーション技術

B. 構造、極低温燃料供給、誘導制御、分離技術など

C. 打上・管制技術など

D. エンジン等の安全化技術

宇宙往還技術実証(HOPE-X)など



E. 冗長化(フェールセーフ)技術

F. 緊急脱出技術



有人ロケット

(基幹ロケット技術基盤を元にしたイメージ)

① 有人往還システム(有人宇宙船)

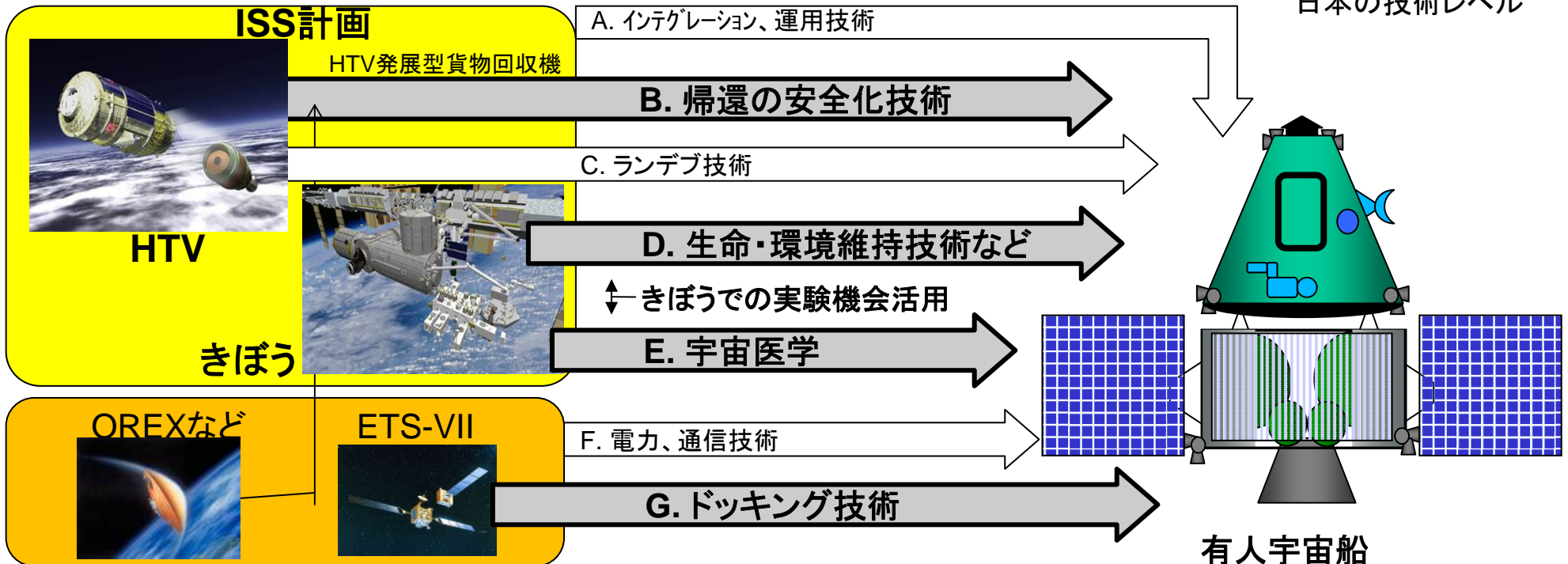
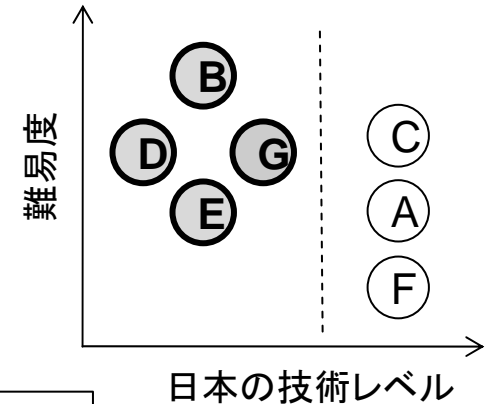
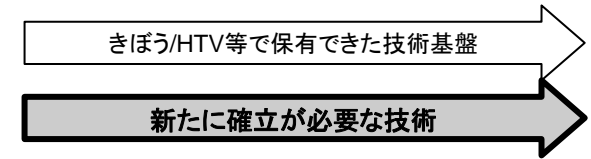
技術の現状

「きぼう」、HTV、ETS-VIIなどにより、有人システムをインテグレーションして運用する技術、宇宙機同士が接近するためのランデブ技術などの技術基盤は既に保有しており、有人宇宙船に発展可能。

新たに必要技術

有人宇宙船には以下の新規技術が必要であるが、「きぼう」やHTVでの実験機会を活用することで効率的に獲得可能。

- 大気圏再突入時の大気との過酷な摩擦熱を防御して船内の搭乗員生命維持環境を維持するとともに、加速度や衝撃荷重を人が耐えられるレベルに抑えながら正確に目的地に誘導して着地させる**帰還の安全化技術**
- 搭乗員の生命維持に必要な空気、水、環境を提供する**生命・環境維持技術**
- 無重力や放射線による生理的影響(筋・骨量減少など)を管理、緩和する**宇宙医学**
- 有人月着陸機など他の宇宙システムに結合・分離する**ドッキング技術**



②長期有人滞在システム(月面等)

技術の現状

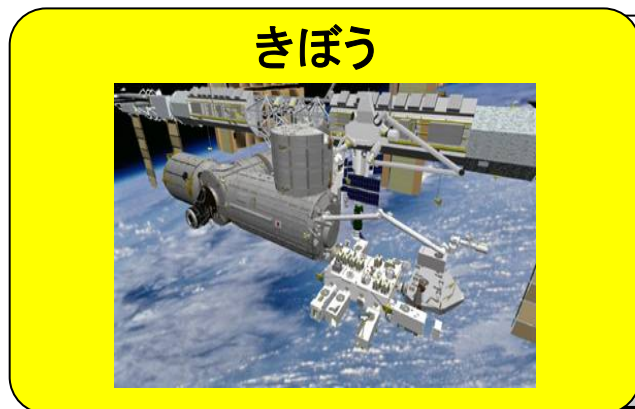
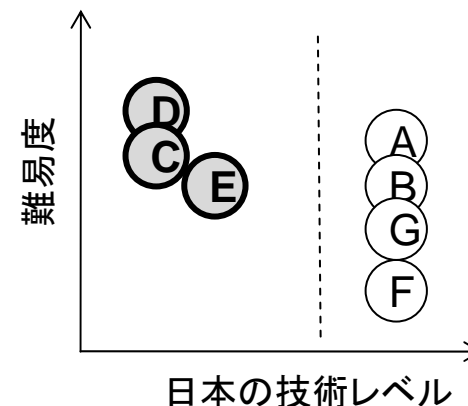
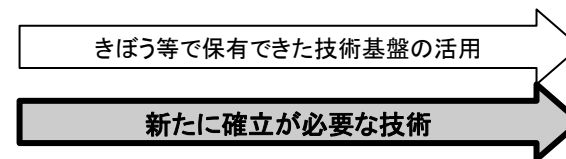
「きぼう」やHTVなどにより下記に示す技術基盤は既に保有できており、長期有人滞在システムに発展可能

- 有人システムをインテグレーションして運用する技術
- 対流のない無重力状態でも窒息しないようにキャビンの空気を循環させたり、キャビンの温湿度を制御する技術
- 宇宙空間で電力を発生/供給したり、衛星を介して地上との通信を行う技術
- 宇宙空間でエンジン等により宇宙システムの軌道や姿勢を制御する技術

新たに必要技術

本格的な長期有人滞在システムには下記の新規技術が必要であるが、「きぼう」の実験機会を活用させることで効率的に獲得可能。

- 長期間にわたり効率よく搭乗員の生命維持に必要な空気、水、環境を提供する**生命・環境維持技術**
- 無重力や放射線による生理的影響(筋・骨量減少など)を管理、緩和する**宇宙医学**
- システムの外部で組立・保守などの活動をするための**宇宙服技術**



A. インテグレーション、運用技術

B. 空気循環、温湿度制御技術

C. 生命・環境維持技術など

↕ きぼうでの実験機会活用

D. 宇宙服技術

↙ きぼうでの実験機会活用

E. 宇宙医学

人工衛星



F. 電力、通信技術

G. 軌道制御、姿勢制御技術

月面長期有人滞在システムなど

③月面探査システム(低軌道を越える有人探査システム)

技術の現状

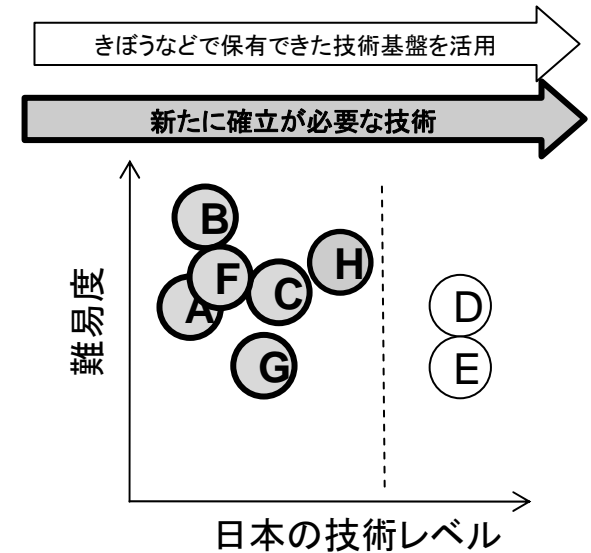
「きぼう」やHTVなどにより有人システムをインテグレーションして運用する技術、対流のない無重力状態でも窒息しないようにキャビンの空気を循環させたりキャビンの温湿度を制御する技術、有人支援ロボットの技術基盤は既に保有できており、月面探査システムに発展可能。

新たに必要技術

- 1/6重力で真空かつ地上とは異なる砂塵上を長距離移動するための**月面車(ローバ)**技術
- 月面で効率よく**発電する技術**、また電力を貯蔵しつつ、14日間連続し最低温度-170℃となる月の夜間環境に最低限の電力で耐える**越夜技術**
- 地磁気等で保護されていない月面の厳しい放射線環境から搭乗員を守る**放射線防御技術**

以上は第1段階(ロボット月探査)で獲得する技術が活用可能。

- 有人宇宙船と同レベルの**生命・環境維持技術**や**宇宙医学**(これらは「きぼう」の実験機会を活用することで効率的に獲得可能)



ロボット月探査

- A. 発電技術、越夜技術
- B. 月面車(ローバ)技術
- C. 放射線防御技術

有人と圧ローバ

探査用宇宙服

きぼう

ロボットアーム ©NASA

- D. インテグレーション・運用技術
- E. 空気循環・温湿度制御技術
- F. 生命・環境維持技術
- G. 宇宙医学
- H. 有人支援ロボット技術

↑きぼうでの実験機会活用

有人支援ロボット

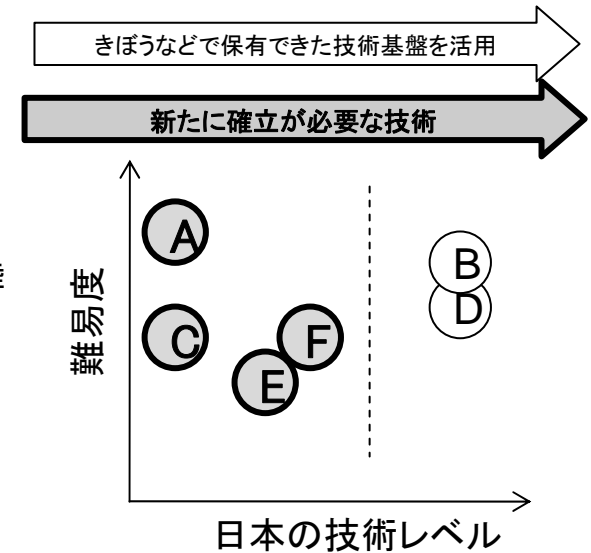
④月面往還システム(低軌道を越える有人探査システム)

技術の現状

「きぼう」やHTVなどにより有人システムをインテグレーションして運用する技術、軌道上の有人システムへ飛行・接近させる技術基盤は既に保有しており、月面往還システムに発展可能。

新たに必要技術

- 第1段階(ロボット月探査)の無人月着陸機の技術を発展させ、転倒防止や緊急離脱など着陸・離陸時の安全性向上、エンジンの大型化などの**月面着陸・離陸技術**
- 有人宇宙船と同レベルの**生命・環境維持、宇宙医学**
- 有人宇宙船、軌道間輸送機などを宇宙空間で高速飛行させながら結合・分離する**ドッキング技術**
- 地球低軌道から月軌道まで到達するための中型エンジンや蒸発を抑えつつ極低温推進薬を貯蔵する等の**軌道上推進系技術**



有人探査技術の流れ概要

新たに必要となる技術の研究開発
(有人ロケットのエンジン等の安全化技術、有人宇宙船の帰還の安全化技術など)

これまでの技術蓄積やロボット月探査技術の発展

共通



H-IIA/B

ロケット技術



人工衛星

電力、通信技術

ISS計画

きぼう



HTV

有人システムインテグレーション・運用技術
空気循環・温湿度制御技術、ランデブー技術

固有

SELENE(かぐや)
周回による
月全球観測



第1段階(ロボット月探査)

月着陸・探査
ミッション



高度化ロボット探査
及び帰還ミッション



着陸・離陸技術

月面車(ローバ)技術

発電、越夜技術

有人探査に必要な技術基盤

2. キーとなる要素技術について

有人月探査に必要なキー技術の考え方

- 世界の動向に関わらず、我が国の将来の有人宇宙活動における自律性を確保し、対等な国際パートナーシップを発揮するためには、有人宇宙活動を実現するシステムの根幹であるキーとなる要素技術等については自ら保有することが必要と考える。

- 我が国が保有していないキーとなる要素技術
 - 有人宇宙活動に共通に必要なとなるシステム
有人往還システム(有人ロケット、有人宇宙船)
 - 有人ロケットについては、爆発や墜落等の重大事故から搭乗員を保護することがポイントであり、エンジン安全化技術、フェールセーフ技術、緊急脱出技術などがキーとなる要素技術である。
 - 有人宇宙船については、搭乗員の生命を維持し、地球へ安全に帰還させることがポイントであり、帰還の安全化技術や生命・環境維持技術などがキーとなる要素技術である。

 - 活動の場によって固有に必要なとなるシステム
有人探査システム及び長期有人滞在システム
 - 有人探査システムについては、着陸・離陸技術、月面移動技術、ドッキング技術、軌道上推進系技術、生命・環境維持技術などがキーとなる要素技術である。
 - 長期有人滞在システムについては、生命・環境維持技術などがキーとなる要素技術である。

キーとなる技術の研究内容(案)(1/3)

- 自律性と対等な国際的パートナーシップを目的としてキーとなる要素技術を保有するためには、独自の研究開発を、諸外国を凌駕する目標で進める必要がある。
- また、既存の技術を活用しつつ、2020年まで延長が計画されているISS計画や基幹ロケットによる衛星打上げなどの宇宙活動の機会の活用が、低コストな研究開発の推進に有効。
- キーとなる技術の開発にはリスクが伴うため、まず設計データ取得や設計開発手法の成立性を確認する研究を行い、その見通しのもと適宜次の段階に進むのが妥当と思われる。

□ キーとなる要素技術の成立性を見通しを得るために必要な研究内容

1. 活動の場によらず共通に必要なシステム(有人往還システム)

1.1 有人ロケット

約400億円(*)

A) エンジン等の安全化技術

高温・高圧部位をなくし、シンプルな構造で故障時でも安全に停止できる新規エンジン様式について、部分試験により故障要因関連の設計データを取得し、試作エンジン地上燃焼試験により設計開発手法を確認する。

B) 冗長(フェールセーフ)技術

機体各部の故障箇所を早期自動検出して安全側へ機体を制御する計算機ロジック、並びにそれを動作させる高速なデータ処理を可能とし、機体各部で冗長系を柔軟に構成できる計算機モジュールを試作し、機体を模擬した地上システム試験で設計開発手法を確認する。

C) 緊急脱出技術

各種異常飛行状態から速やかに宇宙船を素早く離脱させ、正常な回収を可能とする飛行制御システムを試作し、サブスケール飛行試験を繰り返し、システム設計手法を確認する。

キーとなる技術の研究内容(案)(2/3)

1.2 有人宇宙船

約500億円(＊)

A) 帰還の安全化技術(地球低軌道から)

地球低軌道から帰還カプセルの無人帰還実験を行い、飛行中の加速度環境、再突入時の熱環境、着地時等の衝撃環境などが人が搭乗できる安全なレベルに維持されており、また最終的な着地までの誘導制御性能については世界最高レベルの精度が達成できることを確認することで、有人帰還に関する設計開発手法の見通しを得る。

→ HTVの一部を物資回収機とし、ISSに物資補給後の帰還時にこの実験を行うことで効率的に目標実現の目処が確認できる。

B) 生命・環境維持技術(地球低軌道往復用)

空気再生については世界最高レベル効率の再生型システムを目指し、試作レベルでその性能が達成できることを確認する。必要に応じて無重力実験での確認を行う。排熱技術についても世界最高レベルの排熱効率を目指し、無重力宇宙空間での実機レベルでの排熱性能を確認することで設計開発手法の見通しを得る。

→ 無重力状態での実機レベル性能確認実験については、「きぼう」の実験機会を活用することで効率的に実施可能。

(＊) それぞれの要素技術について設計開発手法の見通しを得た後、より信頼性を高め、有人仕様の実機に適用可能なレベルまで技術を確立するためには、実機規模、実環境レベル等の技術実証が必要であり、そのための相当規模の費用が更に必要となる。

キーとなる技術の研究内容(案)(3/3)

2. 活動の場によって固有に必要となるシステム

2.1 有人探査システム

- A) 月面移動技術: 大型走行機構の試作と月環境を模擬した環境での走行試験や寿命試験により、有人月面ローバとしての設計開発手法の見通しを得る。
- B) 月面着陸・離陸技術: 第1段階(ロボット月探査)の月着陸機よりも大型の機体を安全に着陸・離陸させる大型推進系について試作エンジンの地上燃焼試験や異常時動作試験などにより設計手法を確認する。
- C) ドッキング技術: 別々に打ち上げられた有人宇宙船、有人月着陸機、軌道間輸送機を軌道上で結合・分離させる結合機構や航法誘導システムを試作し、地上模擬環境試験で設計手法を確認する。
- D) 軌道上推進系技術: 長期間の軌道上運用において高性能な極低温推進薬の蒸発を抑える断熱構造設計または新規推進薬の推進系について基幹ロケット等の飛行機会を利用して設計データを取得して、地上模擬環境試験で設計手法を確認する。
- E) 生命・環境維持技術
空気再生については月面環境対応の再生型システムを目指し、試作レベルでその性能が達成できることを確認する。必要に応じて無重力実験での確認を行う。排熱技術については世界最高レベルの排熱効率を目指し、無重力宇宙空間において試作レベルでの排熱性能を確認する。
→ 無重力状態での実機レベル性能確認実験については、「きぼう」の実験機会を活用することで効率的に実施可能。

2.2 長期有人滞在システム

- A) 生命・環境維持技術
 - 空気および水の再生については月面環境対応の完全再生型システムを目指し、実機レベルでその性能を確認する。また必要に応じて無重力実験を行ってその実現の目処を確認する。排熱技術についても世界最高レベルの排熱効率を目指し、無重力状態での実機レベルでのシステム性能を確認する。
 - 無重力状態でのシステム性能確認実験については、「きぼう」の実験機会を活用することで効率的に実施可能。

参考 1

有人探査に必要な技術の詳細説明

(1) 有人往還システム(有人ロケット)(1/2)

A インテグレーション技術

- 爆発や墜落から乗員の安全を確保するため、基幹ロケットの技術を発展・成熟させて重大故障要因を徹底的に排除し、さらに多重のシステム対策をまとめ上げ、安全性を保証する技術。また、搭載した有人宇宙船との機械的及び電氣的インタフェース等の整合性を保つ技術。
- 日本の基幹ロケットは、無人ロケットとして世界水準の信頼性を獲得。

B 構造、極低温燃料供給、誘導制御、分離技術など

- 有人宇宙船を打上げるために必要な各機能は無人ロケットと同様だが、有人安全のため、安全率を上げたり、機体状況のモニタ機能及び異常時のための停止機構等の追加が必要。
- 日本の基幹ロケットは、衛星打上ロケットとして世界水準の性能を獲得したが、推進薬充填や加圧等の危険作業を行う際に人は接近しないことを前提とした安全性。

C 打上・管制技術など

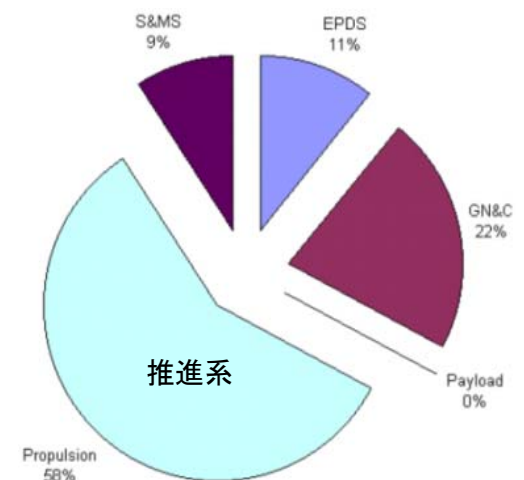
- 有人宇宙船であっても、射場で機体を組立・点検し、運用中に機体の状況を監視して、必要な場合には安全化する操作を行うのは同様だが、搭乗員の搭乗や避難のための設備や運用手順、有人宇宙船との通信等の追加が必要。
- 日本の基幹ロケットは、推進薬重点や加圧等の危険さ行事は要員待避し、打上後の重大故障発生時は地上の市民へ被害を与えむよう爆破、墜落させて、地上の安全を確保。

D ロケットエンジン等の安全化技術

- ロケット故障の主要因*であるロケットエンジンを、簡素で安定性が高く、万一故障が発生しても爆発せずに無事に停止可能な本質的に安全な新エンジン様式とする技術。
- 日本の基幹ロケットの現メインエンジンは、世界最高水準の性能を実現したが、内部に高温/高圧ガスを用い、諸外国のロケットと同様、爆発等の重大故障要因が内在。



基幹ロケット(H-IIA)



世界のロケット失敗要因

※日本の基幹ロケット第1段故障要因、世界の無人ロケット失敗原因ともに約7割がロケットエンジン、推進系。

(* Aerospace Corp., "Aerospace Mission Failure Analysis for NASA Ames Research Center Design for Safety initiative")

(1) 有人往還システム(有人ロケット)(2/2)

E 冗長化(フェールセーフ)技術

- 機体各部の故障個所を早期自動検出して、安全側になるよう故障個所を停止、場合によっては飛行経路や制御方法を変更するよう電子機器、推進系機器、制御ソフトウェア等の冗長系を構成する技術。
- 日本の宇宙ステーション物資補給機(HTV)は有人安全のフェールセーフ要求に適合したが、打上時のロケットにはさらに高度な即時性が必要。

F 緊急脱出技術

- 万一の重大故障発生時には、異常飛行状態からでも有人宇宙船を速やかに離脱させ、正常な回収経路へ入れるよう飛行制御する技術。
- 日本の宇宙往還技術実証(HOPE-X)のための試作及び関連の飛行実験機等において機体の健全性を監視しながら自動飛行する自律飛行制御系等の緊急脱出技術に関連する要素技術の実績有り。



宇宙ステーション物資
補給機(HTV)



宇宙往還技術実証(HOPE-X)



緊急脱出イメージ

(©NASA)

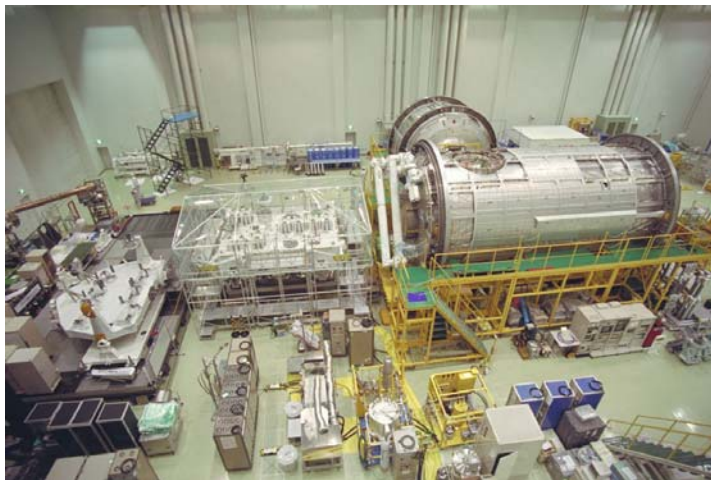
(2) 有人往還システム(有人宇宙船)(1/4)

A インテグレーション・運用技術

全体システム設計解析、インタフェース設計検討などにより、有人システムのミッション要求、および膨大なヒューマンインタフェース要求、安全要求、設計基準などを確実にサブシステム・コンポーネントに配分しつつ、設計管理、品質保証活動などを通じて最終的に全体システムとして統合していく技術。NASAなどとの異文化パートナーとの国際調整も一つの技術である。

運用技術とは、安全な有人システムの実時間運用のために、計画・手順設定、搭乗員や運用要員の訓練、国際間の連携運用(ISS搭乗員、地上要員)、緊急時の的確な対応(地上での不具合解析、処置方法検討、対応手順検討)などを確実に実施できる技術である。

「きぼう」、HTVにおいてこれらの技術基盤を獲得できている。



「きぼう」インテグレーション試験



「きぼう」運用管制室

(2) 有人往還システム(有人宇宙船)(2/4)

B 帰還の安全化技術

(1) 再突入誘導技術

- 小型エンジンとスラストにより正確な精度で宇宙機を大気圏に再突入させ、不要部分については地上に被害が出ないように安全に落下させる技術。
- HTVで獲得。

(2) 熱防御技術

- 大気圏再突入時の超高温(1500℃以上)の空力加熱から帰還カプセル内の生命維持環境を維持して搭乗員を保護する技術。熱分解するアブレータタイプや断熱セラミックスなどが用いられる。
- 日本では、はやぶさ、微小重力実験機(USERS), OREXなどで実績があるが、有人機で必要となる軽量大型のものは実績はない。

(3) 揚力飛行技術

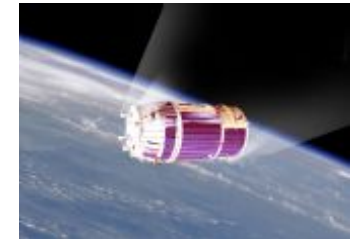
- 大気圏に再突入後、極超音速から亜音速までの幅広い速度範囲で人が耐えられるレベルに加速度を緩和しつつ、帰還カプセルの姿勢や経路を制御して誘導飛行する技術。
- 日本では、有翼機では飛行実証実績(HYFLEX)があるが、カプセルタイプでは実績はない。

(4) 緩降下技術

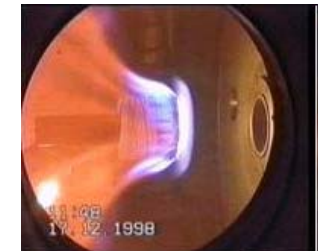
- 高度5000m付近から地上までの間帰還カプセルを更に減速(数百m/s→数m/s)させる技術。有翼機でない場合は主にパラシュートが用いられる。
- 日本では、やはり微小重力実験機(USERS), OREXなどで実績があるが、大型のパラシュートは実績がない。

(5) 着水／着陸技術

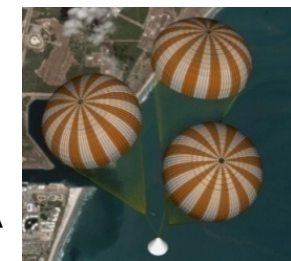
- 最終的な着水もしくは着地する際の搭乗員への衝撃を座席の緩衝機構やエアバッグなどで安全な範囲に制御する技術。
- 日本では着水自体は実績あるが、衝撃緩和技術の開発実績はない。



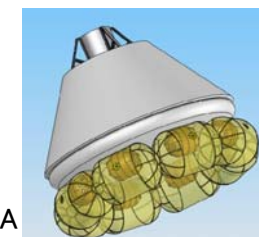
大気圏再突入イメージ



アブレータ燃焼試験



落下傘による緩降下イメージ



©NASA

エアバッグイメージ

(2) 有人往還システム(有人宇宙船)(3/4)

C ランデブ技術

- 高速(秒速8km)で航行する宇宙機同士をGPSなどのデータを利用して小型エンジンやスラスタなどにより衝突することなく接近誘導させ、近傍ではレーザ距離計などを使って相対的に静止させる技術。
- HTVで実績あり。

D 生命・環境維持技術など

(1) 空気再生・モニタ技術

- 搭乗員や宇宙船内から発生する有害ガス(二酸化炭素、アンモニアなど)を吸着／排気／分解することでキャビン内の空気の清浄度を維持する空気再生技術、および代表的な空気成分をモニタする技術。
- 「きぼう」ではこの機能を有していないが、宇宙用に転用可能な地上の環境技術は多種ある。

(2) 排熱技術

- 搭乗員や宇宙船内機器から発生する熱を宇宙用ラジエータなどを使って排出する技術。また、大気圏再突入時には冷媒の気化／融解熱を利用した特殊な排熱技術が必要。
- 一部「きぼう」、HOPE-X等で開発実績はあるが、特に再突入時の排熱は基礎研究段階。

(3) 空気循環・温湿度制御技術

- 対流の発生しない無重力状態でキャビン内空気を適度に循環させるとともに、その温湿度を制御する技術。湿度の増加を抑えるために凝縮させて水分を重力のない状態で回収する技術が宇宙特有。
- 日本では、「きぼう」でこの技術を開発実証している。

(4) 衛生・食事技術

- 無重力状態で排泄物を収集するトイレや、無重力で浮遊せずかつ長期保存が可能な宇宙食を製造する技術など。
- 「きぼう」で宇宙食製造技術を保有することができているが、トイレについては実績なし。

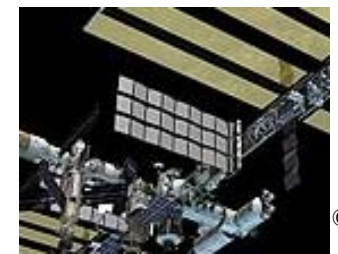


HTVのISSへのランデブ



ISS空気再生装置

©NASA



ISSラジエータ

©NASA



©NASA

ISSトイレ

(2) 有人往還システム(有人宇宙船)(4/4)

E. 宇宙医学

- 搭乗員の骨、筋肉が無重力で減少することを防止するトレーニングや医薬品の開発、地上よりも厳しい宇宙での放射線環境でのリスク評価／被曝管理、心理的ストレス緩和、宇宙での発病時の遠隔診断・治療などの技術。
- 骨量／筋肉量防止や放射線管理では「きぼう」で一定の実績有り。船内の心理的ストレス緩和方法の研究、医療システム／運動器整備などが今後必要。

F 電力・通信技術

- 宇宙で発電して蓄電しつつ各サブシステムに配電する技術、および中継衛星などを通じて地上の管制局と大容量のデータを通信する技術。
- 人工衛星や「きぼう」、HTVを通じて既に実績あり。

G ドッキング技術

- ランデブーさせた宇宙機同士を最終的に接近・結合し、また分離する技術。有人宇宙機ではドッキング機構は気密構造にする必要がある。
- ETS-VIIで無人の小規模物体については実績あるが、大型有人対応は技術開発が必要。



©NASA

ISSでの宇宙医療例



HTVの太陽電池パネル



「きぼう」の衛星間通信装置



ETS-VIIのドッキング実験

(3) 長期有人滞在システム

A インテグレーション・運用技術

有人宇宙船と同様。

B 空気循環・温湿度制御技術

有人宇宙船と同様。

C 生命・環境維持技術など

有人宇宙船と同様。

D 宇宙服技術

- 気圧確保、可動性、温湿度制御性を同時に確保する生地素材／縫製技術や軽量コンパクトな電源／生命維持装置技術、耐レゴリス対策技術など。
- 日本には、現状宇宙服技術はない。個々の要素技術(例えば多機能繊維、縫製技術、小型電源など)は地上技術として世界有数の技術はある。

E 宇宙医学

有人宇宙船と同様。

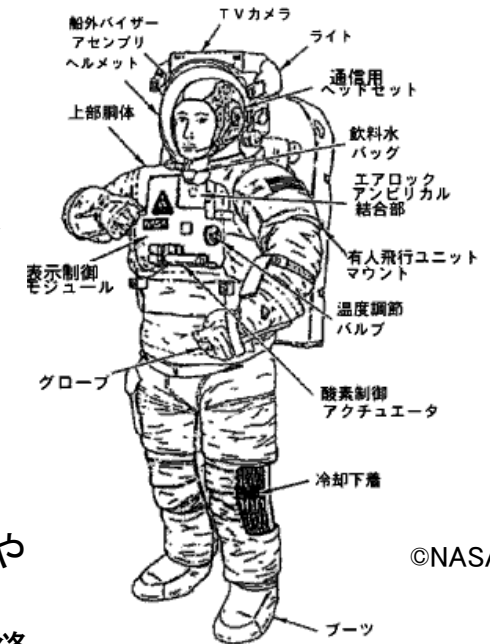
F 電力・通信技術

有人宇宙船と同様。

G 軌道制御・姿勢制御技術

- 宇宙用エンジンやスラスタなどで宇宙機の軌道高度や姿勢などを制御する技術。
- 人工衛星などで、技術は獲得されている。

NASA
宇宙服



©NASA



HTVエンジン／スラスタ

(3) 月面探査システム(低軌道を越える有人探査システム)

A 発電技術・越夜技術

- 月面で効率よく発電する技術、また電力を貯蔵しつつ最低限の電力で14日間連続し、最低温度-170℃となる月の夜間環境に耐える越夜技術。
- 月面での実績はないが、地上での電源技術や断熱技術は世界のトップクラスである。

B 月面車(ローバ)技術

- 着陸地点から広範囲に移動／探査するための技術。大型走行機構、大型バッテリー技術、ナビゲーション技術など多種の技術が統合される。与圧ローバでは与圧キャビンが必要なため生命・環境制御技術などの有人滞在技術がさらに必要。
- 日本の現状の技術レベルは低い、第1段階での月面走行技術などが活用できる。

C 放射線防御技術

- 月には磁気がなく、地球低軌道のように放射線が緩和されない過酷な環境で飛行士が安全に活動を行うための、放射線環境計測・解析技術、放射線防護技術、太陽活動予測技術など。
- 宇宙放射線計測技術はISSで実績を月面探査に応用可能。しかし、ISS・シャトルで経験のない遮蔽検討・防護のための材料開発や太陽活動予測技術については新規の技術開発が必要。

D インテグレーション・運用技術

有人宇宙船と同様。

E 空気循環・温湿度制御技術

有人宇宙船と同様。

F 生命・環境維持技術

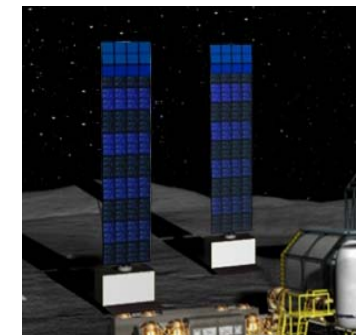
有人宇宙船と同様。

G 宇宙医学

有人宇宙船と同様な技術のほか、ダスト対策技術や1/6Gでの歩行対策技術などが新たに必要。

H 有人支援ロボット技術

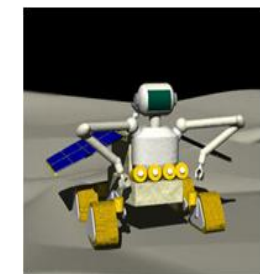
- 月面で宇宙飛行士の3K作業を代わりに行う。極限地での探査、重量物運搬など。
- 日本は「きぼう」でロボットアームの実績があるが、低重力、不整地、地上とは異なる砂塵上での有人支援ロボット技術はハードルは高い。



月面発電システム
イメージ



与圧ローバイメージ



有人支援ロボット
イメージ

(4) 低軌道を越える有人探査システム(月面往還システム)

A 月面着陸／離陸技術

- 月面に安全な範囲の加速度／衝撃で着陸し、また離陸する技術。故障時の緊急離脱技術なども必要。
- 日本での実績はなく、第1段階(ロボット月探査)で基本技術は実証される予定だが、有人月着陸機では、特に推進系について機体規模に合わせて大型化し、有人安全のフェールセーフのため冗長構成へ発展させることが必要。



有人月着陸船イメージ

B インテグレーション技術

- 有人宇宙船における技術と同様。

C 生命・環境維持技術、宇宙医学

- 有人宇宙船における技術と同様。

D ランデブ技術

- 有人宇宙船における技術と同様。

E ドッキング技術

- 有人宇宙船における技術と同様。

F 軌道上推進系技術

- 地球低軌道から月軌道まで到達するための中型エンジンや蒸発を抑えつつ極低温推進薬を貯蔵する技術。
- 日本の基幹ロケット(H-IIA)は、打上後約2時間軌道上運用する実験を行ったが、軌道上で宇宙機を複数組立て飛行させるのに必要な数週間から数カ月の長期間ロケットを軌道上で待機させた実績はない。



軌道間輸送機イメージ



基幹ロケット(H-IIA)



ETS-VII

参考 2

国際宇宙ステーション(ISS)の成果

国際宇宙ステーション(ISS)計画とは(1/2)

ISSの目的：宇宙空間の科学的、技術的及び商業的利用を促進

- 科学的探究・応用・技術開発のための宇宙の実験室
- 地球や宇宙の常設観測施設
- 将来の月面基地、火星有人ミッション、惑星ロボット探査等のためのテストベッド
- 宇宙の商業利用を促進する研究施設

(政府間協定・了解覚書)

経緯

1984年：ロンドンサミットでレーガン米大統領が提唱し、西側先進国に参加を働きかけ



1989年：ISS計画日本参加に関する政府間協定を国会で承認し、批准

1993年：ロシアも宇宙ステーション計画へ参加。

1998年：ロシア参加の新ISS計画に関する政府間協定を国会で承認し、批准

1998年から、軌道上の組立て開始、2000年から宇宙飛行士が常時滞在。
現在：15の先進国による国際協力プロジェクトとして推進。2010年の完成を目指す。

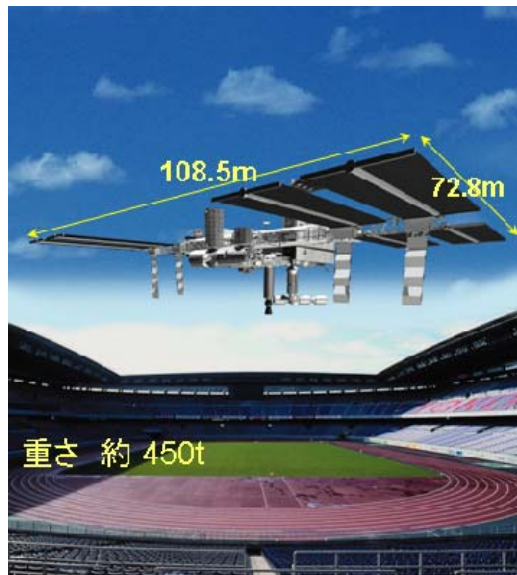
※ 政府間協定及び了解覚書にて、宇宙基地協力の実施責任を有する協力機関として文部科学省が指定され、JAXAは、文部科学省を援助することとされている。

国際宇宙ステーション(ISS)計画とは(2/2)

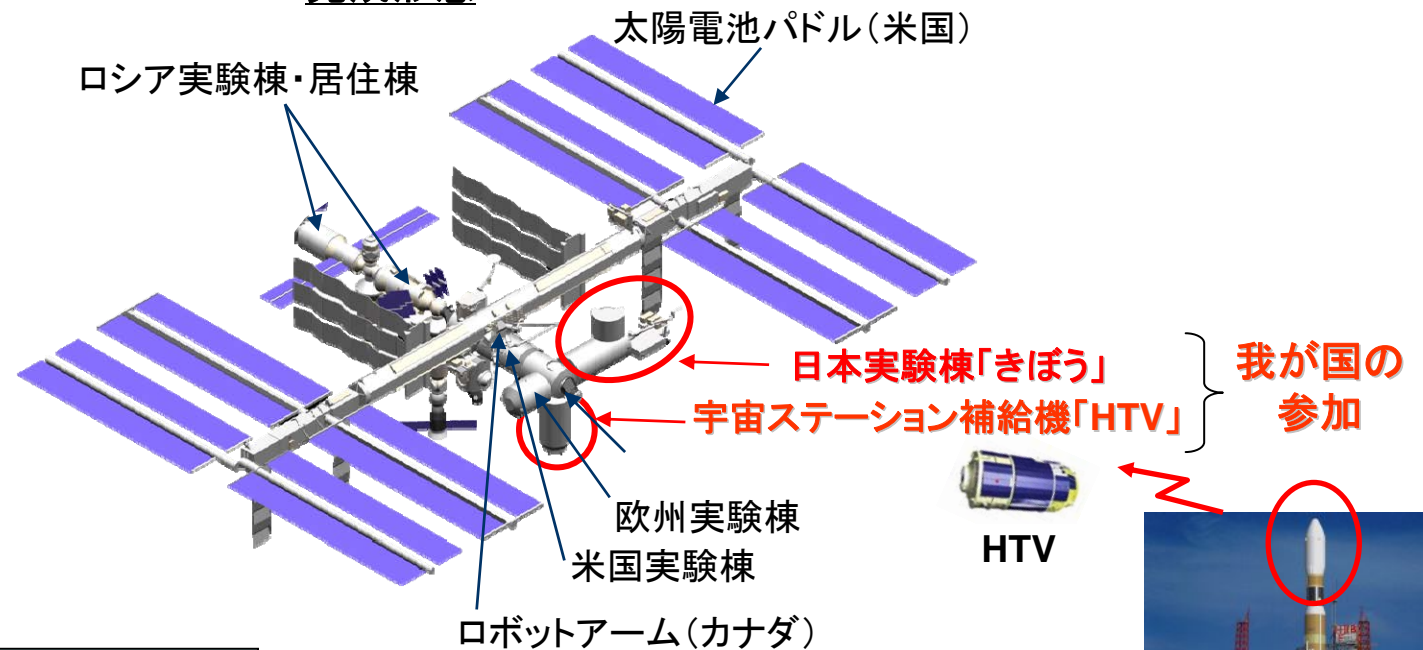
● 人類史上初の大規模有人宇宙施設を地球低軌道上に建設、運用

宇宙基地に係る政府間協定(IGA)に基づき、各国がそれぞれの施設を開発・運用することで参加。

ISS完成時(2010年)



完成形態



- 大きさ: 110m × 73m (サッカー場と同じくらい)
- 重さ: 約450トン (ジャンボジェット機の1.2倍)
- 船内の広さ: 約935m³ (ジャンボジェット機の1.5倍)
- 軌道: 地上から400km上空
- 速度: 秒速約8km

H-IIBロケットによる
HTV打上げ



日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

大規模宇宙システム開発のインテグレーション

大規模で複雑なシステム※を高い安全性、信頼性で確実に開発する技術

●開発管理技術

大規模・複雑なシステムを開発するためのマネジメント技術

※日本実験棟「きぼう」: 部品点数200万点
H-IIAロケット/衛星(ETS-VIII): 約30万点
(参考)自動車: 約3万点

●大型システム統合技術

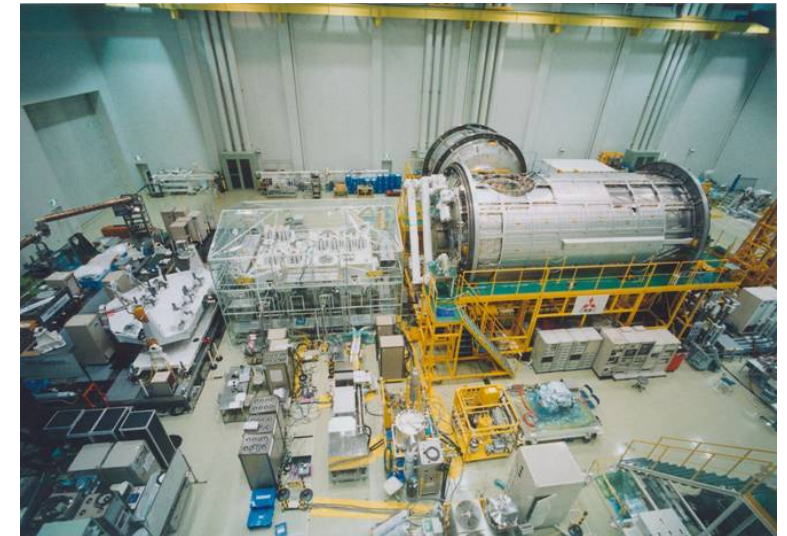
- 多数の大規模システムの統合
- 他国の要素との結合

●安全評価・管理技術

- 設計から運用まで、安全性をより厳密に管理・評価

●信頼性管理技術

- 安全性を高めるため、信頼性をより厳密に管理
- ソフトウェア独立検証、部品・工程管理



「きぼう」全体システム試験
(筑波宇宙センター)
(2001年9月～2002年6月)

日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

宇宙滞在・活動技術

○有人システム技術

●有人安全設計・検証

- 2重の故障もしくは操作ミスでも搭乗員やISSの安全を確保する故障許容設計。
- 構造・機構の厳格な安全寿命設計・検証
- 隕石・宇宙ゴミ防御設計

●有人宇宙インフラ技術

- 宇宙空間での気密構造、無重力での水冷技術、電力供給、通信技術等

●無重力状態や船外宇宙服でも操作、部品交換を可能とする設計



「きぼう」気密確認試験



ロボットアーム

○環境制御技術

- 対流がない宇宙での温湿度制御、空気循環、火災検知・消火

空気再生等の生命・環境維持技術、トイレ等の衛生技術は未獲得

○活動支援技術

- ロボットアーム(船外の機器を把持し移動)
- エアロック(船内ー船外間の機器出し入れ室)
- 結合機構(「きぼう」構成品の軌道上結合装置)

宇宙服技術等は未獲得



結合機構

日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

有人運用技術

○実時間運用管制技術

- 有人システムを長期間、安全・確実に運用・利用する技術
 - 国際間の連携、ISS搭乗員と地上要員の連携
 - 緊急時対応手順(トラブル措置・回復)

○運用サポート技術

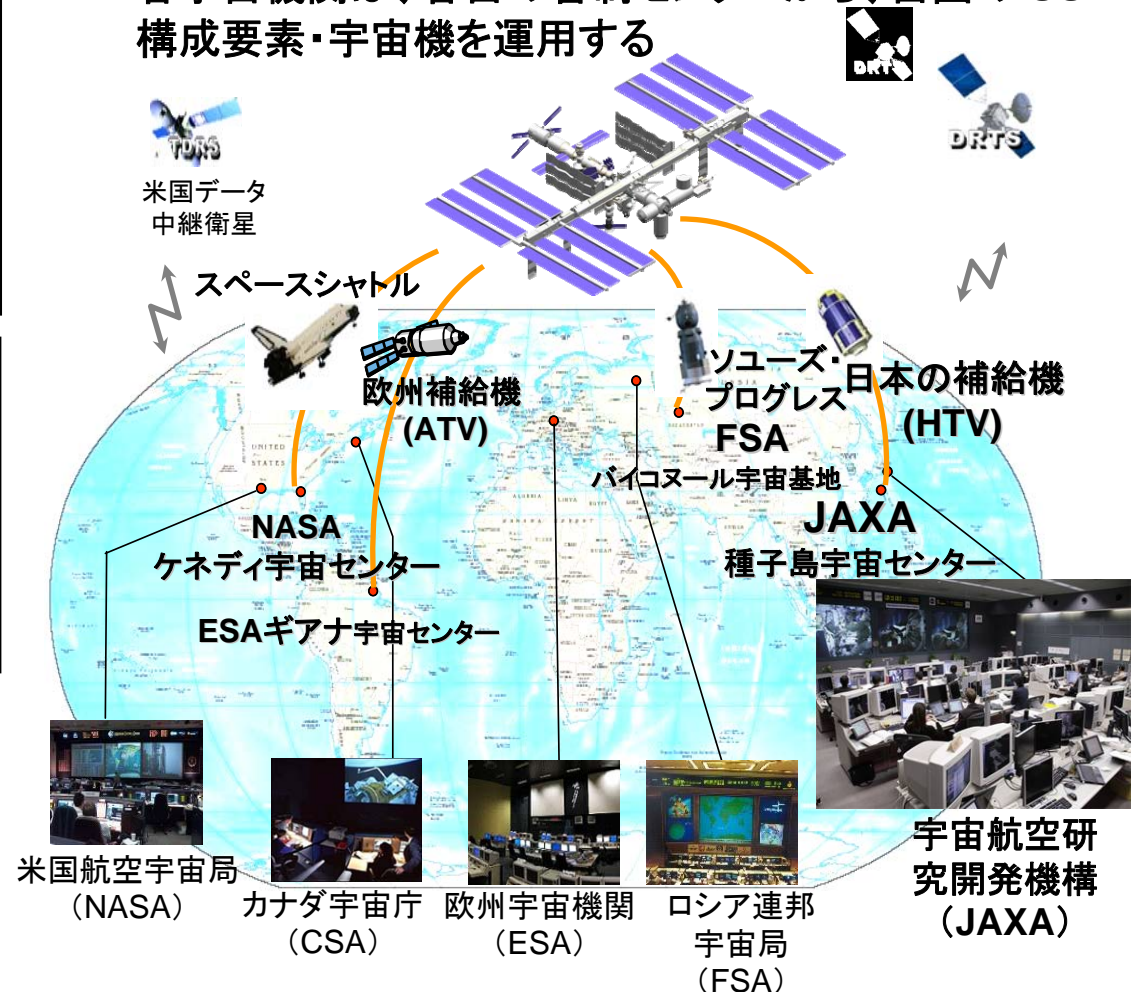
- 長期運用での「きぼう」機能維持
 - 点検、交換、保全・修理
 - 予備品などの補給・回収

○運用管制要員の訓練・認定技術

- 運用管制要員の技量を高める技術
 - 訓練教材作成・インストラクター育成
 - 訓練結果の評価基準設定

「きぼう」の運用システム

各宇宙機関は、各自の管制センターから、自国のISS構成要素・宇宙機を運用する



日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

搭乗員(宇宙飛行士)関連技術

○選抜・訓練技術

- ・ 日本人宇宙飛行士を選抜・訓練
- ・ 各国の宇宙飛行士に「きぼう」の操作訓練を実施



船外活動訓練



「きぼう」操作訓練

○宇宙活動技術

- ・ スペースシャトルによる宇宙実験
- ・ ロボットアーム操作、船外活動(ISSの組立て実施済み)
- ・ 軌道上運用・利用技術



船外活動



ロボットアーム操作

○宇宙医学

- ・ 搭乗員の長期間宇宙滞在時の健康管理
- ・ 医学データの蓄積



医学データ取得



寝たきり状態での
宇宙模擬研究(地上)

日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

輸送技術

○有人システムへのランデブー技術

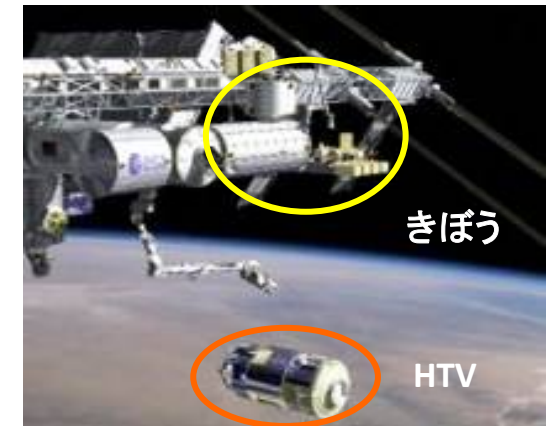
- 2重の故障が発生しても安全性が維持できる自動ランデブー技術
- 有人宇宙船に準じた強力な推進システム
- 継続的な飛行による有人システム準拠の運用実績の蓄積

○安全な再突入誘導技術

- 地上での被害が出ないような目標海域への安全な投棄技術／運用技術の確立

○有人システムを支える機体規模の実現

- H-IIBとの組み合わせで、低軌道への十分な大重量打上げインフラを実現



日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

有人宇宙開発を支える人材育成

■ 国際標準で仕事ができるエンジニア

(JAXA:ISS計画以前は数人規模⇒ISS計画参加により現在百数十人規模、
産業界:現在数百人規模)

- 国際標準のエンジニアリング技術を体得し、実践。
- 宇宙先進各極(米国、ロシア、欧州、カナダ)と多国間・二国間で対等に交渉、技術調整。
- 欧州、ロシア(新たな技術思想・文化・技術・役割)との協働を実践。

■ 宇宙飛行士

- 宇宙活動、各国飛行士への指導(ロボットアーム操作)等で活躍し、国際評価高い。



今後、世界規模の月探査計画等の国際プロジェクトで主要な役割を期待。