

資料1-3

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第1回)H26. 4. 22

国際宇宙ステーション(ISS)計画概要

平成26年4月22日(火)

(独)宇宙航空研究開発機構

構成

1. これまでの日本の有人宇宙活動への取り組み
2. ISS計画とは
3. ISS計画の枠組み
4. 各極の役割分担
5. 各極の利用権
6. 共通的なシステム運用経費分担
7. 日本の責任と権利
8. 我が国のISS計画参加の意義と成果
9. ISS計画への投資額
10. 我が国のISS年間経費
11. ISSを巡る各国の動向

1. これまでの日本の有人宇宙活動への取り組みー背景と経緯ー

<第一次材料実験(FMPT)>

- スペースシャトルを用いた日本初の有人宇宙実験を計画。(実験の実施は、チャレンジャー事故後の1992年)

<ISS計画の立ち上げ>

- 米国では、アポロ計画の目標達成が近づく1960年代終頃からポストアポロ計画が広く研究され、計画を立ち上げるにあたり、NASAは国際協力の範囲を広げ、日本、欧州、カナダにも宇宙ステーションとスペースシャトルを中心としたポストアポロ計画への参加を検討。

1984年： 米国は、開発したスペースシャトルを利用するとともに、西側諸国の結束強化のため、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、西側先進国に参加を呼びかけた。

我が国としての参加を判断

- ① 我が国が宇宙基地計画に参加するにあたっての基本構想を策定(宇宙開発委員会 宇宙基地計画特別部会で議論し、宇宙開発委員会として了承)(1985年)
- ② ボンサミットにおいて、科学技術庁とNASAとの間で予備設計参加のための了解覚書(MOU)を締結し、「きぼう」による予備設計段階へ参加(1985年)
- ③ 詳細設計段階以降における基本的考え方を提言(宇宙開発委員会 宇宙基地計画特別部会)(1987年)

- 宇宙基地計画は、米国の技術的リーダーシップと能力を強調できることが前提となっており、基本的な機能は米国が担当し、日本と欧州は取付型実験モジュールを提供する枠組みとなった。
- 当時の日本の宇宙開発は、米国からの技術導入によるロケット・衛星の開発から、自主開発への移行を始めたところ。有人技術は持っておらず、有人宇宙活動のキーとなる部分は、米国に頼らざるを得ない状況であった。
- 日本は、有人技術を修得するとともに、国内ユーザの要求を極力満足すること(与圧実験装置及び曝露実験装置を搭載できること)、発展性を有すること(軌道上でマニピュレータを使って交換できる)などを考慮し、実験モジュール構想を具体化した。

1986年：（スペースシャトルチャレンジャー号事故）

1988年： 日、米、ESA加盟国、加の政府間で、宇宙基地の詳細設計、開発、運用及び利用段階における協力に関する宇宙基地協力協定(IGA)に署名

1989年： 日本の国会で承認、批准

<ISSリデザイン>

- クリントン政権において、財政再建の一環としてISS計画の見直しが指示された。これを受け、NASAはISS見直し検討チームを設置し、国際パートナーへの協力を要請。科学技術庁長官、駐米日本大使から米国ゴア副大統領にISS計画支援を要請するレターを発出するなど、ISS計画継続に対して働きかけを行った。最終的には、米下院本会議におけるNASA授権法案審議において、ISS計画中止の修正案が僅か1票差で否決された。
- 一連の日本の行動に対して、米国は安定したパートナーとして日本に大きな信頼をおくようになった。

<ロシアの参加>

- ロシアを宇宙ステーション計画へ招請。米国にとっては、冷戦終了後の米露政治間の課題であった、ロシアミサイル技術の海外流出を防ぐ意図があり、一方、ロシアとしては、財政難に陥っていた次期ステーション計画を継続したいという意図があった。

1993年： ロシアを宇宙ステーション計画へ招請し、1994年に国際宇宙ステーション(ISS)計画が誕生

1998年： ロシア参加のISS計画に関する政府間協定を国会で承認し、批准

1998年： 軌道上の組立て開始

2000年： 宇宙飛行士が常時滞在

2003年：（スペースシャトルコロンビア号事故）

2009年： 6人体制開始

2011年： ISS組立完了

スペースシャトル退役

1. これまでの日本の有人宇宙活動への取り組みーISS参加当初の意義(注)と達成状況ー

1. 高度技術の習得

- ◆ 人の命を守る高度な安全技術・大型システムの統合技術を獲得。
- ◆ 米露のみが持っていた技術(環境制御、自動ランデブー技術等)を獲得。
- ◆ 世界一級の有人宇宙実験施設を開発し、運用ノウハウを継続して獲得中。
- ◆ 不具合は米国実験等の半分以下(=高い信頼性)。

⇒ 米国民間企業が日本の技術を導入。「こうのとりの」ランデブー技術はISSの標準方式として採用。

⇒ 安全・信頼性管理手法を他の宇宙開発に適用。また、ソフトウェア独立検証手法を非宇宙産業へも適用。

打上げから48カ月後の不具合件数比較

	不具合件数
きぼう 2008年3月打上げ	75件 2011年3月まで
米国実験棟 2001年2月打上げ	175件 2005年2月まで

2. 国際協力への貢献

- ◆ 「きぼう」の実験スペースの半分は米国・カナダが利用。
- ◆ 日露でタンパク質結晶生成実験や放射線計測等の実験協力。
- ◆ 「こうのとりの」は国際的な宇宙ステーション物資輸送機となった。

⇒ 宇宙常任理事国としての地位を確立。参加各極は日本を「信頼できるパートナー」と評価。

⇒ 国際協働による宇宙探査計画の技術検討を進める「International Space Exploration Coordination Group (ISECG)」(14宇宙機関が参加)において議長国を務めた(～2013年4月)。

⇒ 宇宙探査の政策的議論を行う「International Space Exploration Forum (ISEF)」を、初回米国開催に続き、日本で開催することが決定。政策レベルでの国際間の枠組み設定・工程表策定において、日本が主導的役割を果たす。



3. 次世代の科学や技術の促進と宇宙活動範囲の拡大

- ◆ X線天文学等で数々の国際的な成果を獲得(新星発見、Nature/Science掲載)。
- ◆ 「きぼう」だけが持つロボットアームとエアロックを活用した超小型衛星の放出。
- ◆ 日本人宇宙飛行士の健康管理、訓練、サポート技術を習得。

4. 宇宙環境利用の実用化の促進

- ◆ 物理現象・生命現象の本質的なメカニズムについて、科学的知見を獲得。
- ◆ タンパク質結晶生成や新素材創製等で成果が出つつあるところ。
- ◆ 日本独自の医学的知見(骨・筋の衰え、免疫の低下)を蓄積し、社会実装を目指す。

(注)ISSの参加当初の意義は、昭和60年4月宇宙開発委員会 宇宙基地計画特別部会「宇宙基地計画参加に関する基本構想」より抜粋

1. これまでの日本の有人宇宙活動への取り組み

ー現在の日本の立ち位置と今後の探査への取り組みー

＜現在の日本の立ち位置＞

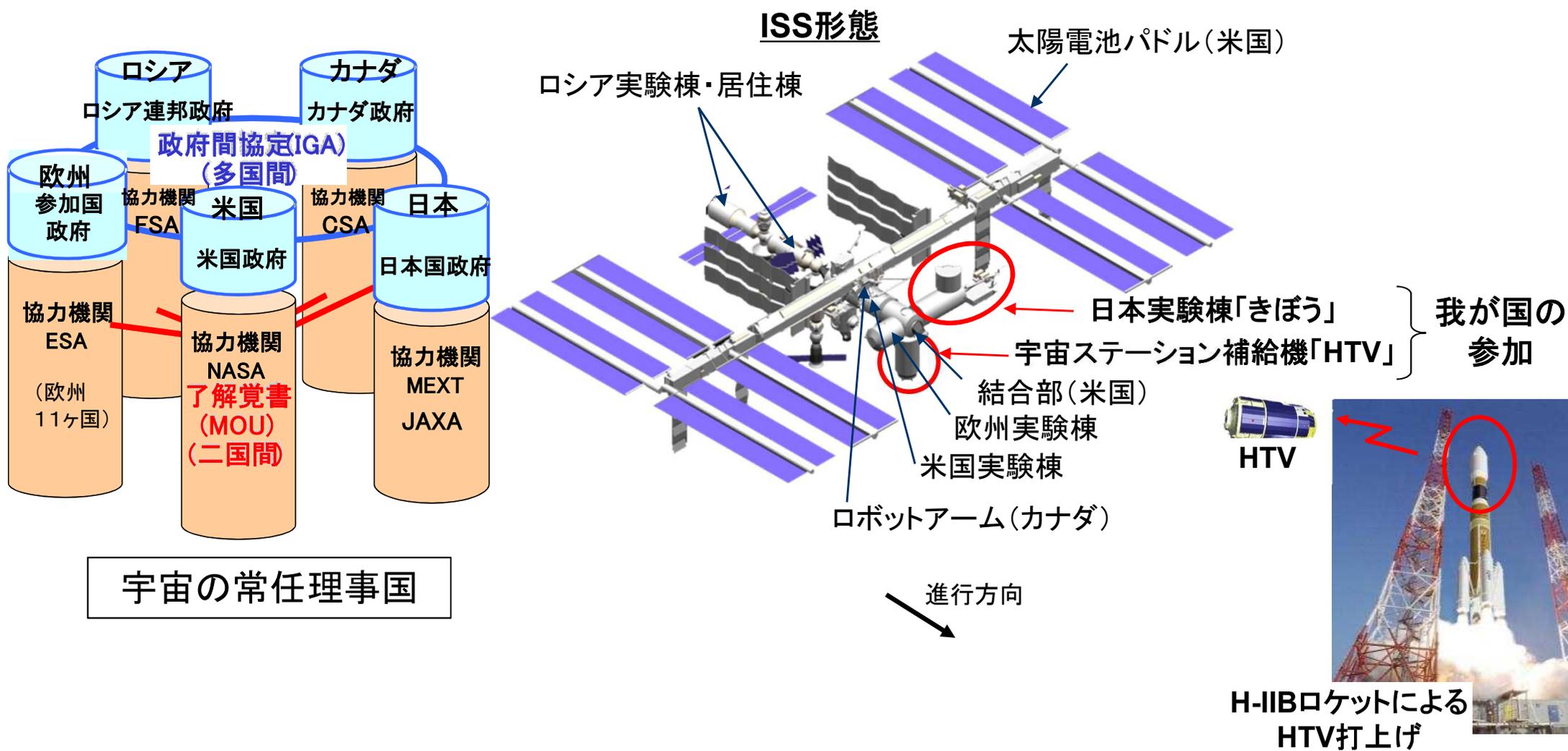
- 宇宙開発史上最大の国際協働プログラムであるISS計画において、米露につぐ参加国である日本は、「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用実績を積み重ねることで、国際パートナーからの信頼を得てきており、宇宙常任理事国としての地位を確立した。
 - ・ 国際協働による宇宙探査計画の技術検討を進めるISECGにおいて議長国を務めた。
 - ・ 次回ISEF会合を日本で開催することが決定。政策レベルでの国際間の枠組み設定・工程表策定において、日本が主導的役割を果たす。

＜国際的な宇宙探査への取り組み＞

- 国際的な信頼の観点からも、また技術的な観点からも、国際宇宙探査の枠組み作りから積極的に関与できる状態。(ISS計画立ち上げ時との違い)
- 日本の得意技術・独自技術を活かし、他の宇宙先進国に先んじて日本が重要な役割を担い主導的な立場を確保することで：
 - ・ 外交・安全保障分野を含めた宇宙開発利用における日本の主体的なプレゼンスの発揮 (ISS計画で構築した宇宙常任理事国としての地位の強化)
 - ・ 宇宙開発利用技術の先進性確保
 - ・ 我が国の宇宙産業の競争力強化

2. ISS計画とは(1/3)

- 宇宙ステーション計画は、1984年にレーガン米大統領が提唱し、1988年に日、米、欧、加の4極間で宇宙基地協力協定(IGA)に署名して開始。1998年から軌道上での建設着手。
- 日本、米国、ロシア、欧州、カナダの世界15カ国が協力して、大規模な有人宇宙施設を建設し、運用。2011年に完成。



2. ISS計画とは(2/3)

【2016年以降のISS運用継続決定に至る経緯】

(1) 米国

- 2010年～2011年会計年度予算教書(2010年2月)において、ISSの2016年以降の運用継続方針を表明。
- これを受け、NASA長官から書簡により各極に対し運用継続への協力を要請。2010年10月、ISS運用継続を含むNASA授權法が成立し、NASAの2020年までのISS運用継続が決定。

(2) 日本

- 上記(1)書簡を踏まえ宇宙開発委員会(当時)において対応を検討した結果、「国際宇宙ステーション特別部会－中間取りまとめ－」(2010年6月)において2016年以降のISS計画への参画の継続を提唱。
- 宇宙開発戦略本部決定「当面の宇宙政策の推進について」(2010年8月27日)において、「我が国としては、平成28年度以降もISS計画に参加していくことを基本とし、今後、我が国の産業の振興なども考慮しつつ、各国との調整など必要な取組を推進する。」こととした。
- 野田総理－オバマ大統領の首脳会談(2012年4月)において発表した「日米協カイニシアティブ」(ファクトシート)において、「2016年以降の国際宇宙ステーションの継続」について協力することを表明。

(3) ロシア、欧州、カナダ

- ロシアは当初より可能な限りISSを運用し続ける前提で計画を進めており、改めて運用継続に関する表明は行っていない。
- 欧州は、2011年3月、欧州宇宙機関(ESA)理事会において、ISS運用継続を決定。
- これを受け、ESAドーダン長官からJAXA立川理事長(当時)宛に、ESAは2020年までISSへの参加を決定した旨、レターを送付。
- カナダは、2012年3月、カナダ宇宙庁長官が、ISSに参加している宇宙機関の会合にて、ISS運用継続を表明。

2. ISS計画とは(3/3)

ISS計画とは:

(ISS: International Space Station)

カナダ、欧州宇宙機関(ESA)加盟国、日本、ロシア及び米国の15カ国が、約400kmの地球周回低軌道上に、常時有人で民生用の宇宙ステーションを、建設、運用、利用する長期的な国際協力事業。

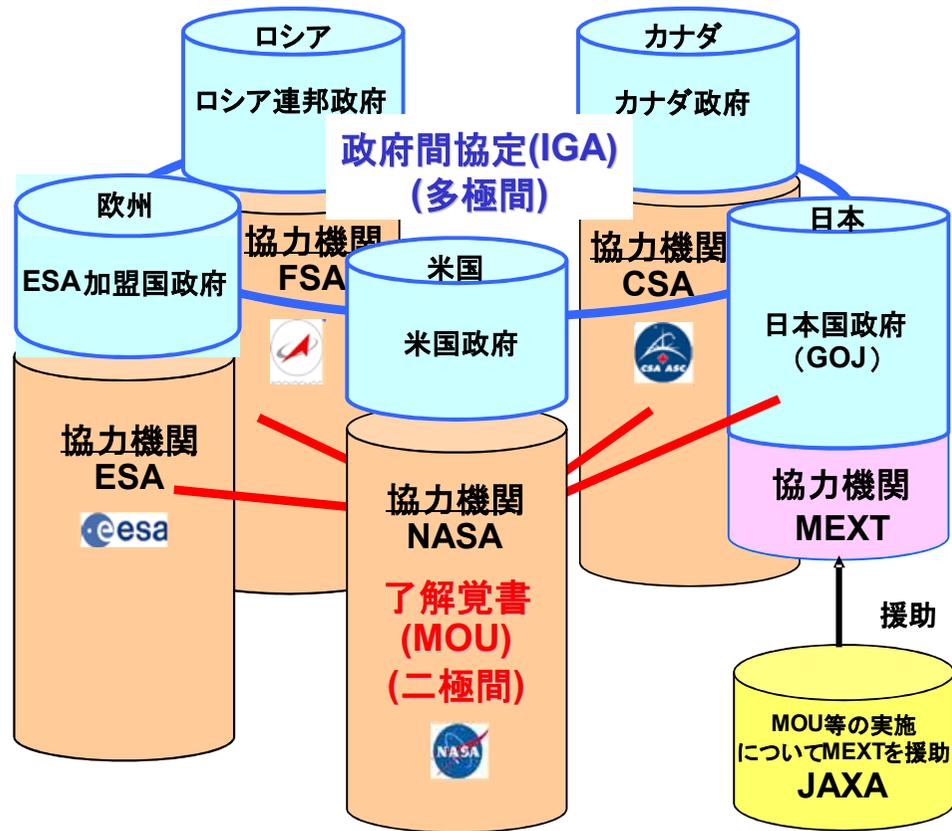
(MOU第2条)

ISSの能力:

(MOU第2条)

- ① 科学的探究及び応用並びに新たな技術開発のための宇宙における実験室
- ② 地球、太陽系及び宇宙の他の部分を観測するための高傾斜角の軌道上の常設観測施設
- ③ 搭載物及び運搬機の係留、組立て、整備及び目的地への展開を行うための輸送中継点
- ④ 搭載物及び運搬機の保守、修理、補給及び改修を行うための役務提供能力
- ⑤ 大型の宇宙の構造物及びシステムの組立て及び検証を行うための組立能力
- ⑥ 商業上の可能性を増大させ、及び商業的な投資を促進する宇宙における研究能力及び技術力
- ⑦ 消耗品、搭載物及び予備品の貯蔵庫
- ⑧ 将来ミッション(例えば、常設月面基地、火星有人ミッション、惑星ロボット探査、小惑星有人調査、地球同期軌道上の科学・通信施設)のための中継基地など

3. ISS計画の枠組み(IGA/MOU)



NASA: 米国航空宇宙局
FSA: ロシア連邦宇宙局
ESA: 欧州宇宙機関
CSA: カナダ宇宙庁
MEXT: 文部科学省
JAXA: 宇宙航空研究開発機構

欧州参加国(11カ国):

ベルギー、デンマーク、スペイン、フランス、ドイツ、イタリア、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、スイス、イギリス

IGA(Intergovernmental Agreement):「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」(1998年)

- ①国際宇宙基地の詳細設計、開発、運用及び利用を行うことに関する参加主体(各国政府)間の長期的な国際協力の枠組み(権利及び義務を含む)及び民生用国際宇宙基地の計画について定める政府レベルの多数者間協定。
- ②日本は、日本国政府(外務省)が署名し、同年、国会の承認を得て批准している。(条約発効は2001年)
- ③IGAには運用終了期限についての定めはない。
- ④脱退する場合には、全体的な計画の継続を確保するため、脱退の条件について参加主体間で合意に達するよう努力することとなっている。

MOU(Memorandum of Understanding):「民生用国際宇宙基地のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国航空宇宙局との間の了解覚書」(1998年)

- ①IGAを実施するために、米国の協力機関(実施責任機関)であるNASAと各極の協力機関の二者間で締結した合意文書。
- ②日本は、日本国政府(外務省)が署名し、本文書においてその協力機関として科学技術庁(当時)を指定。科学技術庁を援助する機関としてNASDA(当時)を指定。
- ③IGA発効後、国内手続き完了の通告を経て、2001年に発効。

4. 各極の役割分担(1/4)

要素の提供と運用

- 参加各極は、役割に応じて、ISSの構成要素及び必要な地上設備を開発・提供し、それを運用する責任を有する。(MOU第2条2項、第3条、第6条2項、第9条2項)

役割(MOU第2条2項)	参加極	提供要素(MOU第3条)
ISSの基礎となる要素を実現	米国	多目的実験棟、 <u>トラス構造物</u> 、 <u>連結部</u> 、 <u>太陽電池パネル</u> 等
	ロシア	<u>サービス棟</u> (居住機能等を提供)、 <u>ロシア実験棟</u> 等
ISSの能力を著しく向上させる要素を実現	日本	日本実験棟、システム及び利用者用の補給運搬容器(HTV)
	ESA	与圧実験室、システム及び利用者用の補給運搬容器、軌道調整推力を提供する軌道上移動機
ISSの不可欠な一部をなすのに貢献	カナダ	<u>ロボットアーム</u> 等

※下線はISSの基礎となる要素:ISS運用・利用を可能にするための資源(電力、居住機能など)を提供する要素

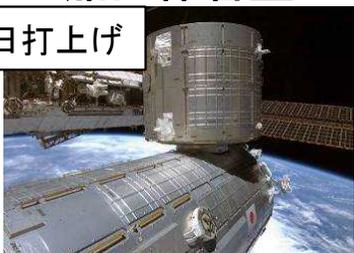
4. 各極の役割分担(3/4)

【きぼう(日本実験棟)の概要】

- 我が国初の有人宇宙施設
- ISSで最大容積かつ高性能な実験施設

船内保管室

2008年3月11日打上げ



船内実験室

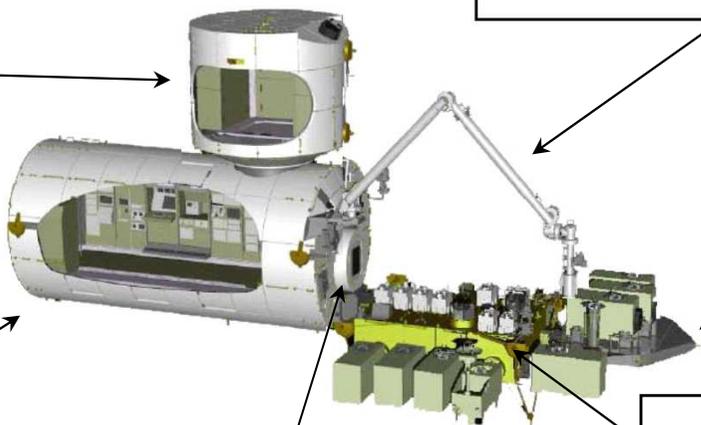
2008年6月1日打上げ



(船内)



船内と船外で本格的な宇宙実験が可能な日本独自の施設



エアロック

2008年6月1日打上げ



船内ー船外間の実験装置等の出し入れを行う

日本独自の宇宙ロボットアーム
船外実験プラットフォームの実験装置を交換する

2008年6月1日打上げ



船外パレット (船外実験装置等の輸送に使用。シャトルで地上に帰還済み)



船外実験プラットフォーム

2009年7月16日打上げ



地球・天体観測および宇宙環境を利用した実験を実施

国内宇宙企業の総力をあげた国産開発:三菱重工、川崎重工、IHI、三菱電機、IHIエアロスペース、NTSpace(旧NEC、旧東芝)、日立、NTTデータなど

国内約650社が開発に参画

4. 各極の役割分担(4/4)

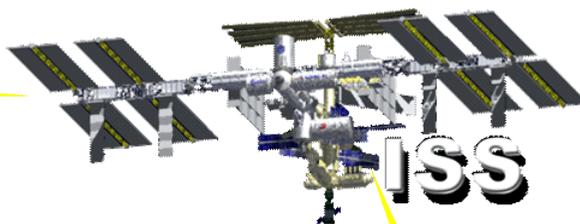
【提供要素の運用責任】

参加主体は、自己が提供する要素を運用する責任を有する。(IGA第10条、MOU第9条2a項)

NASAデータ
中継衛星



NASA
ホワイトサンズ地上局
(ニューメキシコ州)



日本のデータ
中継技術衛星



5. 各極の利用権

(1) 利用権

- 参加各極は、下図の割合で各利用要素の利用権を得る。(MOU第8条3.a項)



米・加は、基盤要素を提供する代わりに他極の実験棟の利用権を得る

(2) 利用用資源(リソース)

- 参加各極は、下図の割合で利用用資源(電力、クルータイム)の配分を受ける。(MOU第8条3.b項、3.c項)
- 参加各極は、下図と同じ割合で、利用用の輸送能力・通信能力を取得する権利を有する。(MOU第8条3.d項)



(3) 宇宙飛行士の搭乗権

- 参加各極は、利用用資源の配分と同じ割合で、搭乗員を提供する権利を有する。(MOU第11条1項)

6. 共通的なシステム運用経費分担(1/2)

(1) 共通的なシステム運用経費分担 (MOU第9条3項)

各極は、自らが提供した要素の運用を行うだけでなく、ISS運用にかかる共通的な経費(宇宙飛行士や補給物資等の輸送経費、ISS全体の統合運用にかかわる地上経費)を、利用用資源の配分に応じて、衡平に分担する。



(2) 我が国の共通的なシステム運用経費分担方法 (IGA第15条5項、MOU第9条5項)

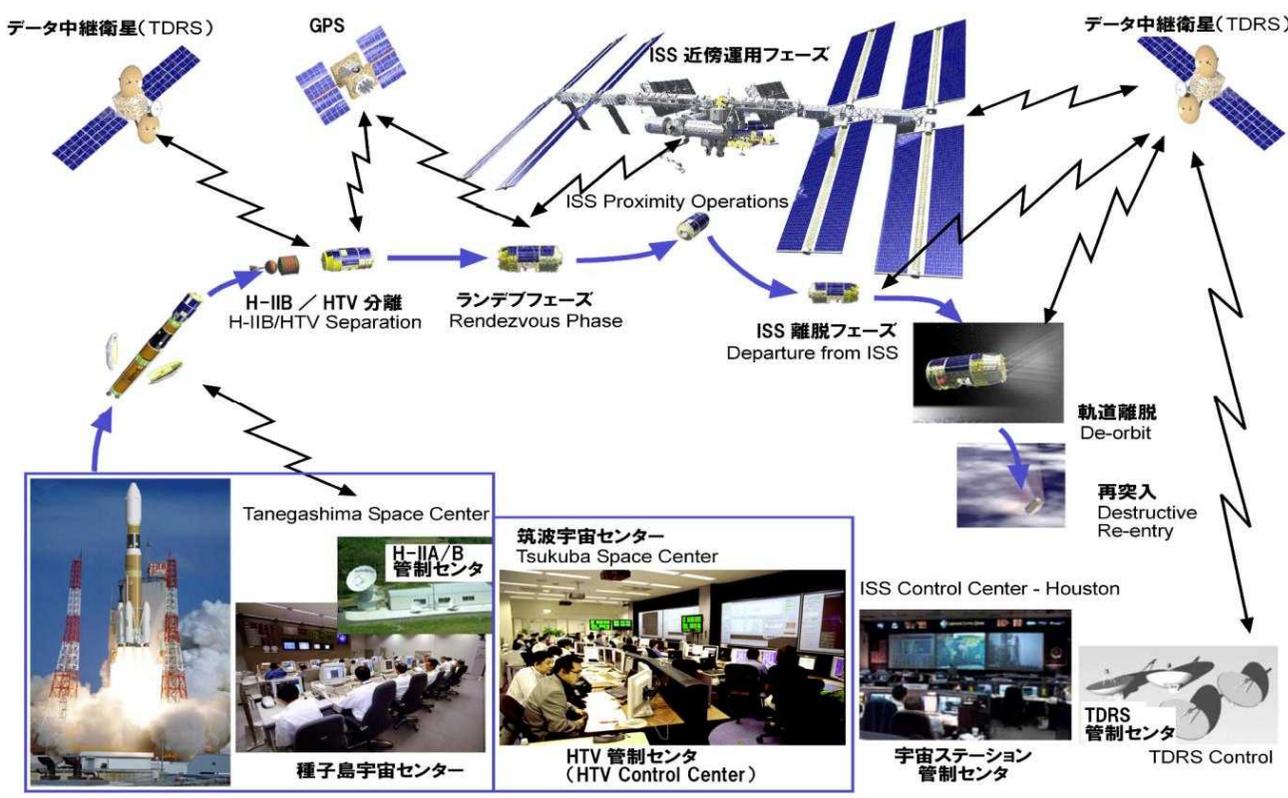
上記の共通的なシステム運用経費分担に関して、NASAへ現金を拠出する形ではなく、我が国がHTVにより物資輸送することで、我が国の分担責任を果たす。

6. 共通的なシステム運用経費分担 (2/2)

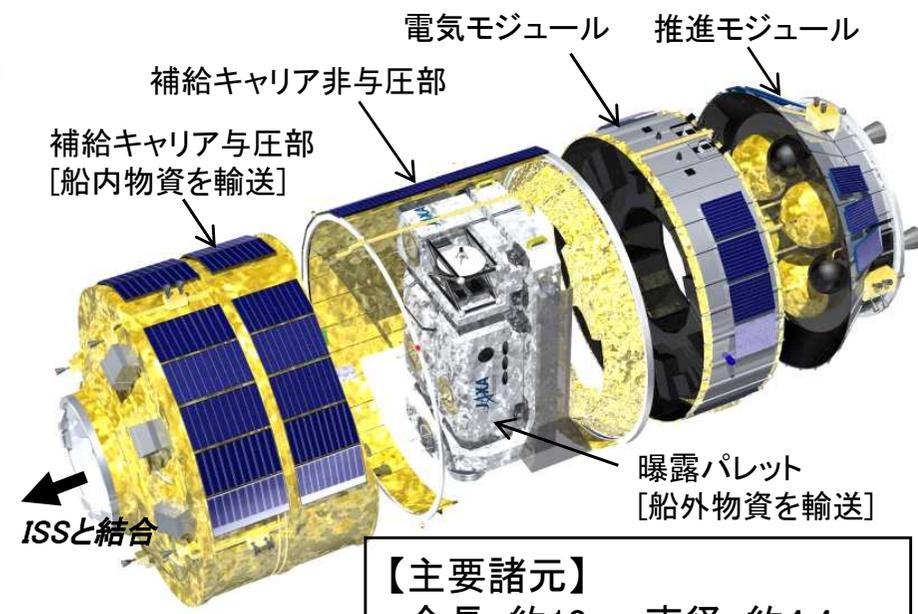
【HTV(このとり)の概要】

- ① これまで蓄積されてきた国内宇宙企業の先端技術を結集し、国家基幹技術として開発。国内約400社が開発・製造・運用に参画。
- ② 我が国のISS共通システム運用経費の分担を、「このとり」による食料や実験機器等の物資輸送で履行。2009年～2016年に合計7機を打上げ。
- ③ 2011年のスペースシャトル退役後は、大型船外機器、船内実験ラックを輸送できる唯一の手段であり、ISS全体の運用を支える重要な役割を担う。

「このとり」のみが輸送可能な物資



(運用概念図)



- 【主要諸元】
- ・全長: 約10m, 直径: 約4.4m
 - ・質量: 約10.5トン(補給品除く)
 - ・補給品搭載能力: 最大6トン

(機体概要)

7. 日本の責任と権利(1/2)

日本の責任

(1) 要素の提供と維持・運用

- ◆ 日本実験棟「きぼう」の開発
- ◆ 「きぼう」の地上からの運用管制
- ◆ 「きぼう」の維持(補用品製作・打上げなど)
- ◆ 地上の運用管制システムの開発・維持
- ◆ 運用のための訓練システムの提供

(2) 共通システム運用経費(CSOC)の分担

- ◆ 「きぼう」船内実験室の軌道上検証以降、分担義務が発生
- ◆ 2015年までのCSOC分担は、HTV計7機による物資輸送サービス提供で行う

日本の権利

(1) 利用権

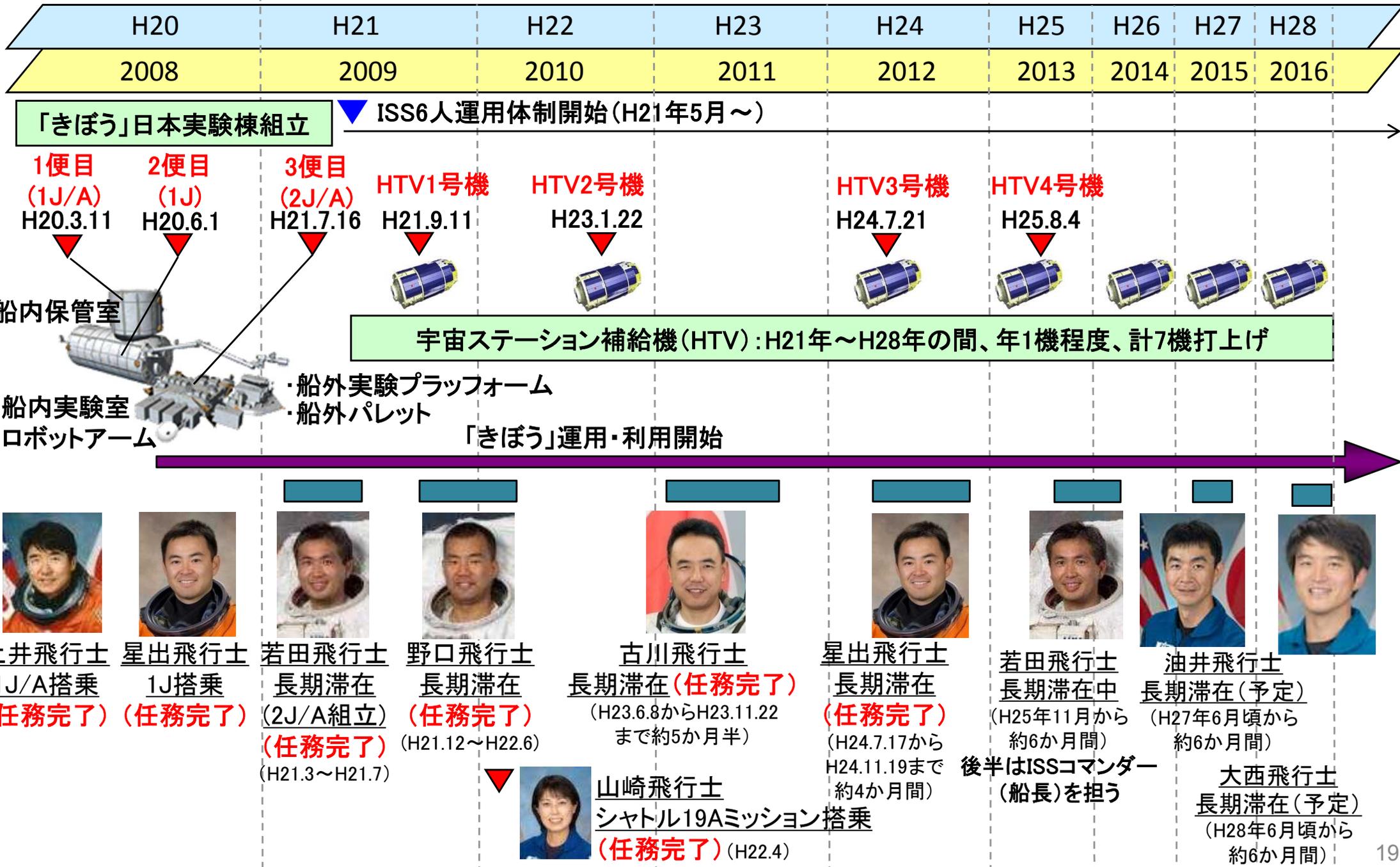
- ◆ 軌道上の「きぼう」の51%の利用

(2) 利用用資源(配分12.8%)

- ◆ 電力
- ◆ クルータイム
- ◆ ISS-地上間通信(取得権)
- ◆ 物資輸送(取得権)

(3) 宇宙飛行士の搭乗権(配分12.8%)

7. 日本の責任と権利(2/2)～我が国の主要スケジュール～



8. 我が国のISS計画参加の意義と成果(1/7)

①我が国が自由に利用出来る恒久的な有人宇宙施設の獲得

- 2008年3月から2009年7月までに3回に分けて打上げた要素を軌道上で組立て、日本初の恒久的有人宇宙施設を完成。
- 国際協力の枠組みに加わることで、米国の約1/100の経費負担でISSから得られる全体の便益を効率的に享受。独力で実施する場合に比べ、大幅に効率的に有人宇宙施設を獲得。

②有人・無人宇宙技術の獲得

- 輸送船のランデブー／ドッキング技術、宇宙飛行士の健康管理技術、宇宙放射線データの蓄積など、将来の宇宙探査に繋がる宇宙技術の獲得
- 不具合の少ない「きぼう」運用、「こうのとり」の大型貨物輸送能力や安全性の高いドッキング技術、唯一の大型の船外実験施設等、我が国の特徴的な技術や能力による存在感の発揮。

③産業の振興

- HTV「こうのとり」の継続的打ち上げなどを通じた製造技術、産業基盤の維持・民生技術への波及と日本企業のイメージ向上（「きぼう」に650社、「こうのとり」に400社の企業が参加）。
- 「こうのとり」で開発したISSへの接近技術は、米国の民間輸送機にも採用。日本企業の宇宙ビジネス拡大に貢献。

④有人宇宙技術に関する人材の育成、ノウハウの蓄積

- 日本人飛行士の宇宙滞在累積日数は、米・露に続き世界第3位。宇宙先進国として、世界有数の長期宇宙滞在実績と技術を着実に蓄積。
- これまでに11人の宇宙飛行士を養成し、8人が計16回の宇宙飛行を行い、うち4回は長期滞在を経験するなど、実績とノウハウを蓄積している。また、若田飛行士は、NASAの宇宙飛行士グループの管理職を務めた実績を有すると共に日本人初のISS船長にも就任し、着実に有人宇宙活動の中核的部分の経験も蓄積。
- 有人宇宙活動に関する管制官の経験の蓄積。
- 搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲。

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果(2/7)

⑤宇宙実験室の利用からの獲得

- 宇宙環境を利用することにより、各種研究分野に新たなアプローチや視点等を提供。科学・技術研究の発展に貢献。
- 「きぼう」打上げ前のロシアモジュールでのタンパク実験、「きぼう」の船内実験装置・船外実験装置での利用を実施。「きぼう」では、2013年までに約80件の実験を実施。
(実験目的毎の集計では、「きぼう」打上前も含め、ISSでこれまでに実施した日本の実験は約450実験)
- 高品質タンパク質結晶生成による創薬産業等への貢献(「きぼう」での実験にロシアも参画)、宇宙医学や生命科学等の実験による骨や筋肉等に関する研究成果の創出と地上の健康長寿社会の実現に向けた貢献、X線新星の発見による最新X線天文学への貢献、地球観測による地球環境問題・防災等への貢献など、多様な利用成果を挙げている。

⑥青少年の育成

- 教育交信活動(宇宙授業)、ISS内一般公募実験、宇宙からの回収品による実習体験機会等を提供することにより、青少年に顕在する「好奇心」「冒険心」「匠の心」に火をつけ、次世代の日本を担う青少年の人材育成に貢献する。
- 有人宇宙活動を通じた青少年への啓蒙活動、特に、宇宙飛行士の実体験に基づく講演会の実施やメッセージの発信は有人宇宙活動国のみが行うことができる特権的な人材育成手法。

⑦国際的プレゼンス向上、外交、安全保障

- アジア等のISS非参加国(マレーシア・ベトナム等)による「きぼう」利用を促進し日本の国際的プレゼンスを向上。また、マレーシア・タイ・インドネシア、ベトナム等のアジア各国における青少年の人材育成に貢献することで、アジアでの本分野における日本の存在感の向上にも貢献。

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果(3/7)

【有人宇宙研究施設の完成】

- ISSは、約25年の計画検討・設計開発・建設期間を経て、2011年に完成。本格的な運用に入って約3年が経過したところ。
- 米国は、NASAが「有人探査に向けた技術実証の場」として利用する一方で、米国全体の「National Lab」として位置づけ、アメリカ国立衛生研究所(NIH)など宇宙機関以外が利用。
 - ・ サルモネラ菌研究によるワクチンの開発、免疫低下を早期に発見するための生体指標の研究などが進められている。
- アジア唯一の参加国である我が国は、幅広い科学技術・産業基盤に基づき、「きぼう」を完成。我が国の国力、国際影響力を象徴(科学技術、安全保障・外交)。
- 「宇宙技術の実証の場」としてのみならず、生命科学分野や物質・材料分野の研究の場として利用。
 - ・ 高品質結晶生成技術を用いたタンパク質構造解明による薬剤設計、高性能・低消費電力の電子デバイスにつながる次世代半導体結晶の生成手法の実証など、成果が現れてきている。
- 今後、生命科学分野などで国の重点施策と連携させた利用を目指している。

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果 (4/7)

【有人技術の獲得】

スペースシャトルを利用した技術蓄積

有人滞在に必要な基本的知識の修得や、宇宙実験に必要な技術の蓄積

ふわっと'92(1992)



IML-2(1994)



STS-95(1998)



STS-99(2000)



1998

1990



STS-72(1996)
若田宇宙飛行士によるSFU回収



ISS建設開始 (1998)



STS-87(1997)

土井宇宙飛行士による本人初の船外活動



STS-92(2000)
若田宇宙飛行士によるトラス組立



STS-114(2005)
野口宇宙飛行士によるシャトル飛行再開ミッション



1J/A (2008)



1J (2008)



2J/A (2009)

HTVによる輸送技術の蓄積 (4機連続で成功(1号機~4号機))

将来の有人宇宙船に向けた基本技術の蓄積



1号機 (2009)

2号機 (2011)

3号機 (2012)

4号機 (2013)



ISS/「きぼう」運用・利用

2013

若田 [船長就任]

ISS完成(2011)

日本人長期滞在 (2009~ 延べ5人)



「きぼう」による有人技術の蓄積

有人大型軌道上施設の開発技術、組立技術、運用・保全技術および長期有人滞在データの蓄積

国別のISS長期滞在日数と延べ人数 (2014年4月1日現在)

順位	国名	ISS長期滞在日数	延べ人数
1	ロシア	8523日	53人
2	米国	7524日	48人
3	日本	728日	5人
4	カナダ	329日	2人
5	イタリア	323日	2人

スペースシャトル就役



ISS計画検討開始

1981

1984

1970

ロボティクスや船外活動による軌道上組立技術の蓄積

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果(5/7)

【「きぼう」の開発・運用により獲得・実証しつつある有人技術・ノウハウ】

宇宙滞在・活動技術

○システム維持機能技術
有人システム構築に必要な基盤的技術
・構造、電力、通信、熱制御など

○生命維持技術
搭乗員の生命を維持するための技術
・船内の温湿度制御、空気循環技術、気水分離技術(「きぼう」に設置済み)
・宇宙放射線計測技術(積算型)

・空気再生技術
・水再生技術
・宇宙放射線リアルタイム計測、予測、防護技術

○衛生技術
・トイレ、シャワー、廃棄物処理、汚物処理、臭気・菌・細菌除去技術、衛生管理など

○活動支援技術
宇宙空間で搭乗員の活動を支援する技術
・ロボット技術(「きぼう」ロボットアーム)
・宇宙服技術
・他天体での活動技術(作業ロボット、移動車等)

有人運用関連技術

○実時間運用管制技術
有人システムを、長期間安全に運用・利用する技術
・地上と搭乗員の連携
・異常事態対応のノウハウ

・宇宙探査での通信遅れと狭通信帯域への対応

○運用支援技術
長期間にわたって有人宇宙施設の機能を維持する技術
・点検、交換、予防保全の技術
・予備品や実験機器等の補給・回収を行う技術
・機器性能・環境の長期トレンドデータ取得
・機器換装による最新地上技術の導入

○管制員の訓練・認定技術
運用管制員の運用技量を高めるための技術

搭乗員関連技術

○搭乗員の選抜・訓練技術
・搭乗員の選抜ノウハウ
・搭乗員の活動能力を高める技術

○搭乗員の宇宙活動技術
・宇宙船搭乗、船外活動、危機回避等のノウハウ
・搭乗員管理・指揮(船長)のノウハウ

○健康管理技術・宇宙医学
搭乗員の健康を維持する技術
・トレーニングで骨・筋肉を維持する技術
・宇宙放射線被ばく量管理技術
・フライト中の「遠隔」健康診断技術
(1年を超える長期滞在向け)
・「自律」健康診断
・骨・筋肉減少、免疫低下の効果的な抑制

輸送技術

○有人ロケット技術
有人宇宙船を宇宙に輸送する技術。
(無人より高い信頼性が必要)

○有人宇宙船技術
軌道上で搭乗員が活動、地上に帰還させる技術

○有人施設への無人補給技術
・自立飛行、ランデブー、制御された再突入等の技術
・有人施設に結合できる高い安全性と信頼性

○有人宇宙施設からの無人回収技術
・有人施設からの分離、自立飛行、再突入・回収技術

○他天体への離着陸技術
月・惑星等の他天体への着陸及び離陸技術

■ : ISS計画への参加を通じ、獲得・実証した技術
(青字は、運用中に新たに獲得、またはノウハウ蓄積が進んだもの)

■ : 現時点で獲得・実証していない技術

■ : 今後、ISSで獲得・実証していく技術

基盤技術

●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

●大型システム統合技術
大規模・複雑なシステムを開発するための統合技術

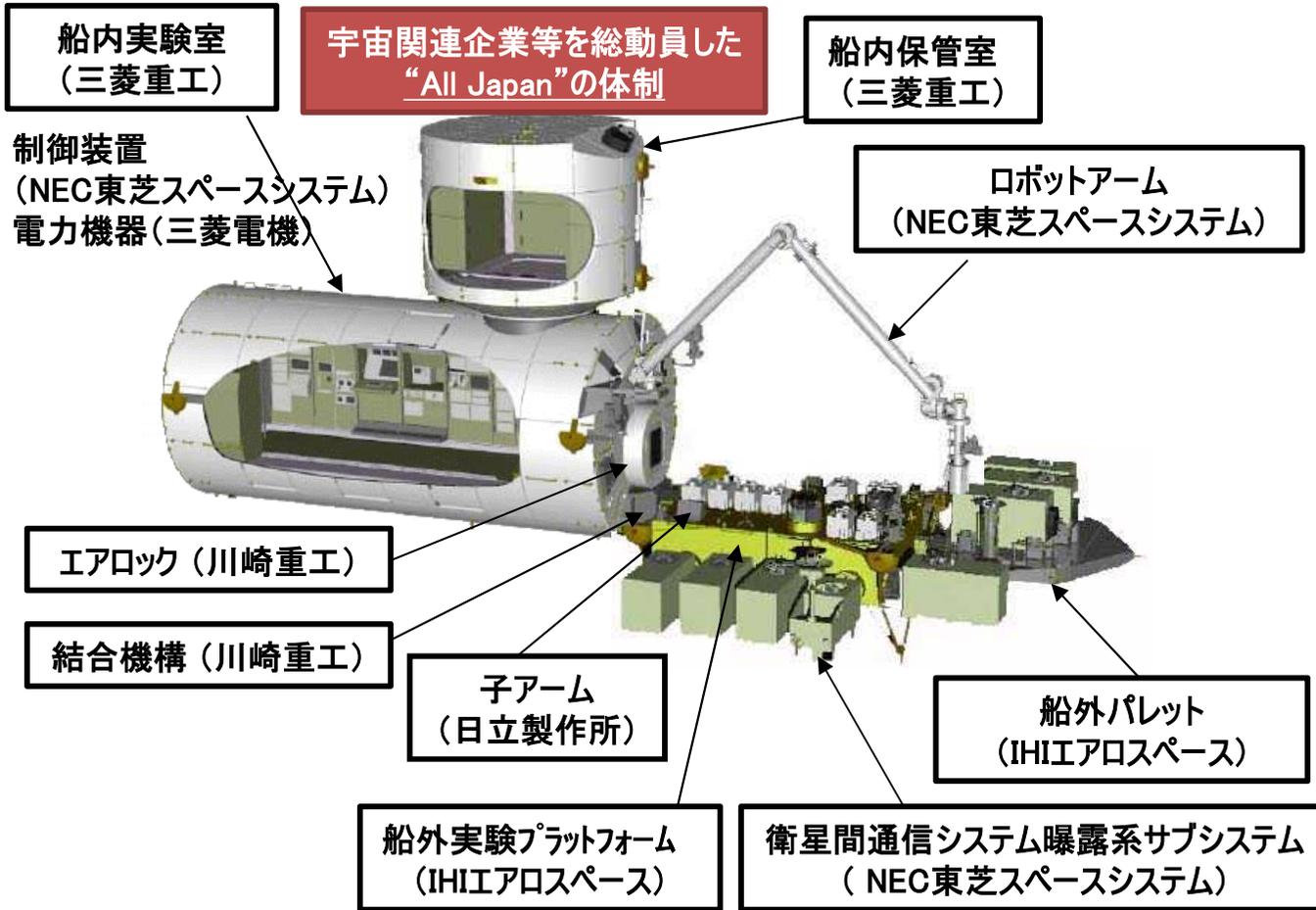
●安全評価・管理技術
設計から運用まで、安全性をより厳密に管理・評価する技術

●信頼性管理技術
宇宙機の信頼性をより厳密に管理する技術(部品・工程管理、検証方法など)

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果 (6/7)

【産業の振興】

- 1980年代後半より参画した国際宇宙ステーション計画・日本実験棟「きぼう」の開発及び運用に関わった企業数は、大企業から中小企業にいたるまで、**国内約650社**(※)。
- 我が国初めての有人施設「きぼう」開発・運用参画は、企業においても高度かつ裾野の広い有人宇宙技術の習得に繋がり、結果、産業基盤の維持と熟成に大きく貢献。また、日本の技術力を国内外にアピール出来、海外企業との新たなビジネスチャンス創出や将来の国際共同プロジェクトでのポジション担保に繋がる。



支える中小企業の技術例

←プラズマ浸炭処理技術を活かし、軽く強く、耐食性が優れるボルト。200回以上の繰り返し締め付け・緩めにも焼き付きを起こさない。
ISS-きぼう結合チタンボルト(榊田中・大阪市)

←アルミニウムやステンレスを0.01ミリ単位で加工。送風口に取り付ける羽の角度を1枚ずつ微調整し適音に。
船内実験室の空調設備 (川西航空機器工業(株)・兵庫県)

←国際宇宙ステーション関連部品などのマーキングや超精密溶接 (東成エレクトロビーム(株)・東京都)

↑タンパク質結晶生成装置・溶液結晶化観察装置内 CCDカメラ(竹中システム機器(株)・京都府)

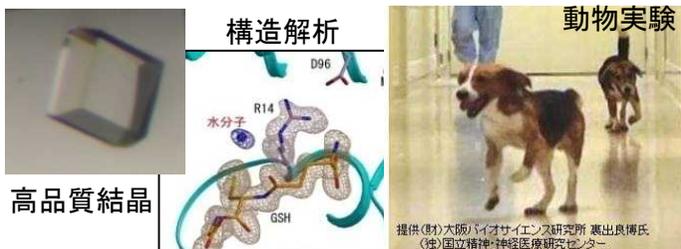
アルミ合金180kgから4.8kgまでの、
→ 高品質かつ高精度な切削加工
ステーション骨組(榊瑞木製作所・愛知県)

※該当企業ホームページ情報及び報道内容による

8. 我が国のISS計画参加の意義と成果(7/7) ~きぼう利用の成果~

【「きぼう」利用】

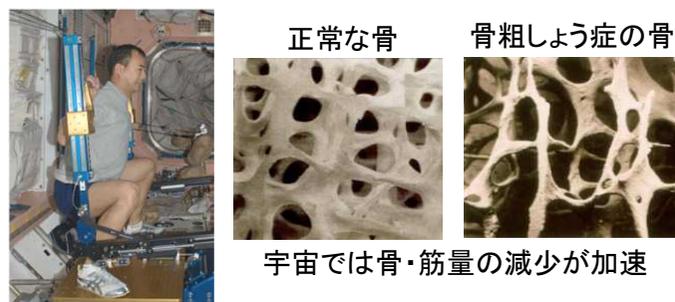
①創薬プロセスの加速に繋がる成果 ＜タンパク質結晶生成実験＞



「きぼう」で生成した高品質タンパク質結晶から得た分子構造情報を活用し、難病治療薬等の研究・開発が進行中。

- ・筋ジス治療薬開発(動物実験が最終段階)
- ・その他、アルツハイマー病研究、副作用の少ない飲む抗がん剤、型によらないインフルエンザ治療薬開発等(分子構造解析中)

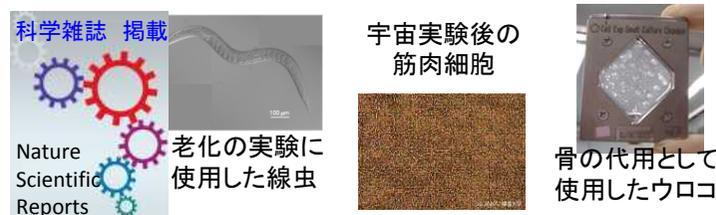
②高齢者医療・福祉に繋がる成果 ＜宇宙飛行士の体を使った実験＞



宇宙では骨・筋量の減少が加速

- ・無重力環境で骨や筋量減少が加速される効果を利用、骨粗鬆症治療薬の「予防」効果を確認。
- ・宇宙飛行士の健康管理技術の獲得を通じ、地上での筋力低下対策やリハビリ技術にも応用可能な技術や知見を蓄積。

③筋肉や骨の衰え、老化等の対応策に繋がる生命科学に関する学術的成果 ＜動植物の細胞や小動物を用いた実験＞



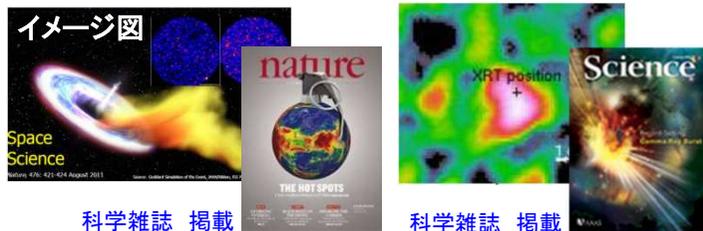
- ・宇宙では神経や内分泌の信号伝達に関わる遺伝子の働きが低下、老化が遅くなることを発見。
- ・筋肉萎縮の原因酵素の働きを解明。(筋肉萎縮予防食を開発中)
- ・宇宙での骨を壊す細胞の活性化、骨粗鬆症薬候補物質の骨密度低下抑制効果を確認。(地上で動物実験中)

④電子デバイスの高性能化等に繋がる物質・材料科学に関する学術的成果 ＜材料の結晶生成等の実験＞



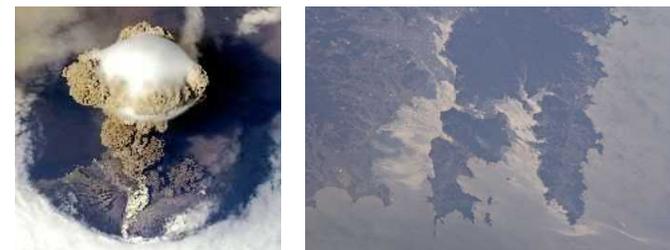
- ・高性能・低消費電力の電子デバイスに繋がる次世代半導体結晶の生成手法を宇宙で実証。
- ・自然界の基本物質である水について、氷の結晶成長の新理論を構築。食品や臓器の冷凍保存技術等への応用が期待。

⑤X線天文学の最先端の学術的成果 ＜船外の搭載装置による観測＞



- ・星を吸い込む巨大ブラックホールの世界初観測(ネイチャー掲載)、地球に近い宇宙で発生した巨大ガンマ線バースト観測(サイエンス掲載)など、世界最速ペースでX線天体を発見(新たなX線天体の半数以上を「きぼう」で発見(4年半で12個)。発見を世界に速報し世界規模の追観測の起点としても、本分野の発展に大きく貢献

⑥東日本大震災や火山噴火、洪水等の規模・状況把握に繋がる情報の提供 ＜飛行士や船外搭載カメラによる撮影＞



ロシア火山噴火

東日本大震災後の宮城県気仙沼市沿岸

- ・宇宙飛行士が直接「観る」「撮影する」という利点を活かし、被害状況等の情報を国際的な災害情報共有の仕組みを通じ被災国等に提供。

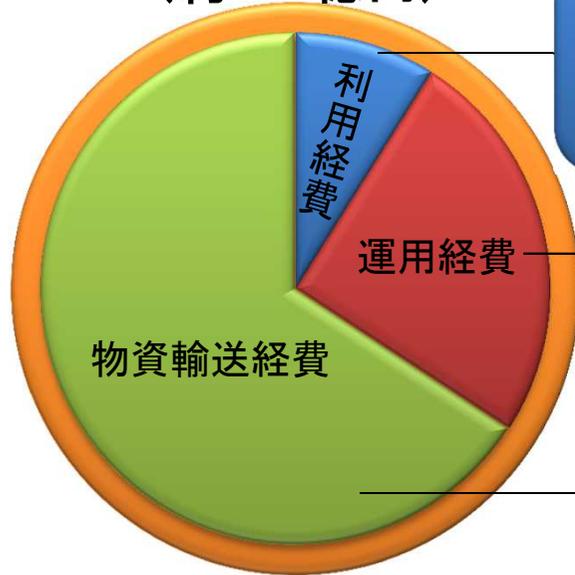
9. ISS計画への投資額

国名(実施機関)	これまで(2013年まで)の経費
<p>日本(JAXA)</p>	<p>約8,260億円</p> <p>①JEM開発 : 約2,500億円 ②HTV開発 : 約680億円 ③実験装置の開発 : 約450億円 ④地上施設・設備の開発、 宇宙飛行士の養成・訓練、JEM打上げ等 : 約2,360億円 ⑤運用利用に係る経費 : 約2,270億円</p>
<p>米国(NASA)</p> <p>1ドル=105円 (過去20年間の平均支出官レート)</p>	<p>約7兆6,800億円(総額731億ドル)</p> <p>総額には次の項目を含む</p> <p>①フリーダム計画 ②ISS開発(1994～) ③ISS運用 ④スペースシャトル運用 ⑤他の有人/貨物輸送 ⑥利用 ⑦その他NASAコスト</p>
<p>欧州(ESA)</p> <p>1ユーロ=126円 (過去14年間の平均支出官レート)</p>	<p>約9,000億円(総額71億ユーロ)(推定)</p> <p>総額には次の項目を含む</p> <p>①コロンバス開発 ②ATV-1開発/打上げ ③組立/運用 ④利用 ⑤その他ISSコスト</p>
<p>カナダ(CSA)</p> <p>1カナダドル=84円 (過去19年間の平均支出官レート)</p>	<p>約1,500億円(総額約18億カナダドル)</p> <p>総額には次の項目を含む</p> <p>①MSS開発 ②組立/運用 ③利用</p>

※ 米国、欧州、カナダの経費は、コンサルタント会社の調査結果及び各極の予算報告書による

10. 我が国のISS年間経費(1/2)

平成26年度ISS予算
(約357億円)



利用経費(宇宙実験の実施に係る経費)(約32億円)

- ・共通的な実験装置や支援機器の開発
- ・利用テーマの宇宙実験準備
- ・共通基盤技術や地上設備の維持・提供

(*利用者への研究助成的な資金はない)

運用経費(約90億円)

(開発には約650社が参画)

- ・運用管制
- ・運用システムの維持
- ・技術支援
- ・保全補給
- ・宇宙飛行士の訓練
- ・安全・ミッション保証
- ・情報管理・国際調整等

物資輸送経費(約235億円)

(約400社が参画)

- ・H-IIBロケット調達・打上げ
- ・HTV調達・運用

【平成26年度予算での効率化と成果最大化の取り組み】

他極との比較

	ISS予算 (FY2014)
NASA	約4,300億円
ESA	約490億円 (推定)
日本	約357億円

(1)「きぼう」運用管制や宇宙飛行士の訓練等の運用経費

運用管制人員数を1人が同時に複数種の管制業務を掛け持つことにより削減、日本人宇宙飛行士の技能維持訓練拠点の一部を国内に移転などによる削減を図っている。

(2)HTV及びH-IIBロケットの調達・運用経費

一括調達等によるコスト削減努力を実施。HTVの調達において、部品一括調達(6機分)と習熟効果により、合計155億円を削減し、機体価格に反映している。

(3)「きぼう」での実験等に係る利用経費

科学技術イノベーション総合戦略(平成25年6月7日閣議決定)等において国として重点的に取り組むべき課題とされている分野への重点化を図ると共に、各分野の第一線の大学や研究機関との連携を進めることで、より効率的な利用を進めている。

10. 我が国のISS年間経費(2/2)

利用経費(宇宙実験の実施に係る経費)

- ・共通的な実験装置や支援機器の開発
- ・利用テーマの宇宙実験準備
- ・共通基盤技術や地上設備の維持・提供

運用経費

- ・運用管制
- ・技術支援
- ・宇宙飛行士の訓練
- ・情報管理・国際調整等
- ・運用システムの維持
- ・保全補給
- ・安全・ミッション保証

物資輸送経費

- ・H-IIBロケット調達・打上
- ・HTV調達・運用

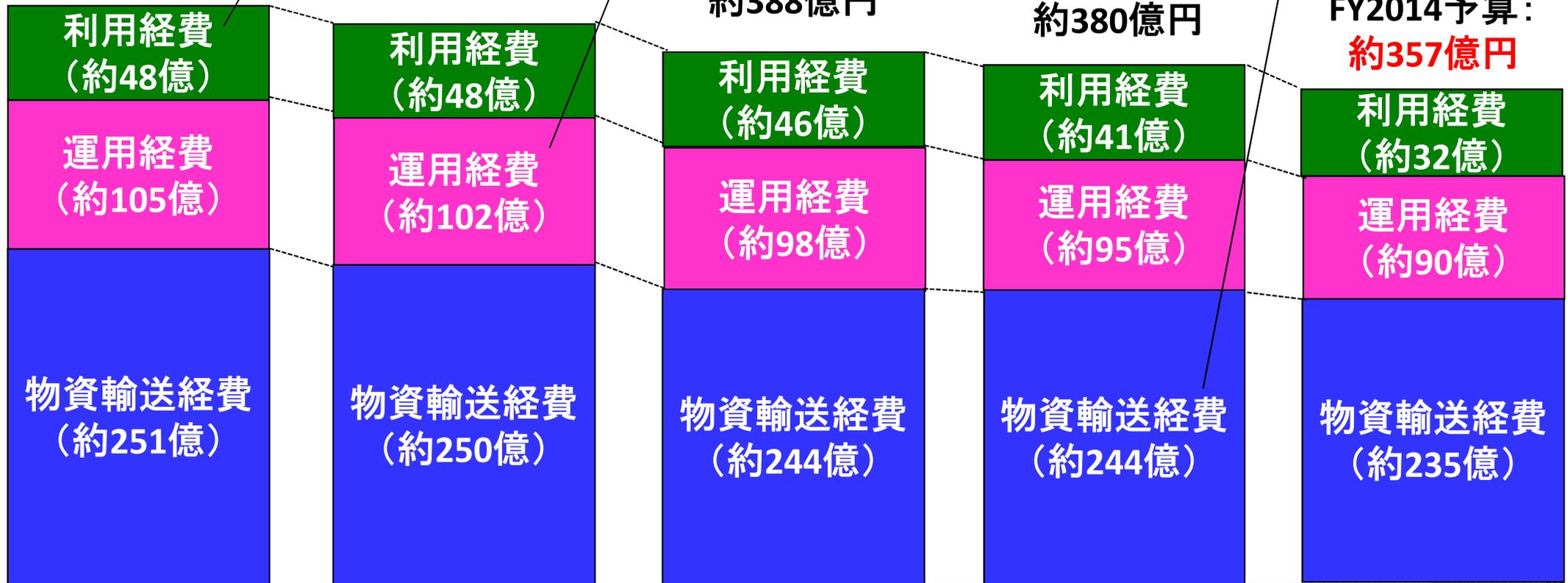
FY2010実績:
約404億円

FY2011実績:
約399億円

FY2012実績:
約388億円

FY2013予算:
約380億円

(今年度)
FY2014予算:
約357億円



11. ISSを巡る各国の動向

- 米国
 - 国際宇宙ステーション(ISS)運用を少なくとも2024年まで延長し、利用を拡大する。
 - 民間と協力してISSに人と物資を輸送する商業宇宙飛行技術・サービスを安全に、信頼性と費用対効果が高く実現できるように模索する。
- 欧州(ESA)
 - 運用を2020年まで継続し、2017-2020年のISS運用費分として、NASAが開発中の多目的有人宇宙船(MPCV)「オリオン(Orion)」のサービスモジュールを提供する。
 - 2024年迄の運用延長については、現在検討中。
- ドイツ
 - ISSは軌道上の平和的な国際協力の象徴であり、最高レベルの研修を可能とする独特の研究所であるので、徹底的に活用されるべきである。ISS運用の総合評価は、後継システムや他のオプションに関する判断の基礎を提供してくれる。
- ロシア
 - 少なくとも2020年まで運用を継続し、ロシアセグメントを2015年に6モジュール群、2018年に7モジュール群とする。
 - 2020年以降の運用延長についても積極的
- 中国
 - 2020年迄に独自の宇宙ステーション建設を計画

參考資料

【参考1】ISSの運用期間

- ISSにかかる 政府間取り決め(IGA及びMOU)には、運用の期限は規定されていない。
- 米国の2020年迄のISS運用継続決定を踏まえ、我が国を含む各極は、2016年以降の運用継続を合意済み。

宇宙開発戦略本部決定「当面の宇宙政策の推進について」(2010年8月27日)

「我が国としては、平成28(2016)年度以降もISS計画に参加していくことを基本とし、今後、我が国の産業の振興なども考慮しつつ、各国との調整など必要な取組を推進する。」

- 2014年1月8日に米国は、2024年までのISS運用継続を表明。翌1月9日に開催された米国主催の国際宇宙探査フォーラム(ISEF)において、ISS参加各極が2024年までの運用継続に同意することへの期待が呼びかけられた。

【参考2】我が国のISS計画参加の意義

(1)「きぼう」利用

- 「きぼう」は、有人施設としての特徴や豊富なインフラ(電力等)により、初の「軌道上の最先端大型研究施設」としての潜在的な能力を徐々に発揮し始め、タンパク質結晶生成や予防医学などの分野では大きな成果を上げつつある。

(2)有人技術・宇宙探査

- H-IIB/HTVの継続的な打上げ・運用により、我が国の宇宙開発利用の自在性を維持する上で中核となる宇宙輸送システム技術の蓄積・成熟化をISS計画の中で果たしている。

(3)産業振興

- H-IIB/HTVの継続的な打上げ・運用は、日本の宇宙活動の自在性に不可欠な宇宙産業の「ものづくり」力や経営基盤。

(4)青少年の教育・啓発

- 宇宙飛行士に代表される有人宇宙活動は、青少年に対する夢だけでなく、科学・技術・工学・数学への関心の惹起と勉学への意欲向上に寄与。

(5)国際協力・安全保障・外交

- ISS計画からの脱退は、国際的信用の失墜、中国・インド等の宇宙新興国の進出等による国際的な存在感の著しい低下等を招く。

平成22年6月宇宙開発委員会国際宇宙ステーション特別部会「中間とりまとめ」概要より抜粋

【参考3】「きぼう」搭載実験装置の概要

船内実験室搭載装置

細胞培養実験ラック
 -細胞培養装置
 -クリーンベンチ

運用中



クリーンベンチ



細胞培養装置

- 細胞培養装置で植物、細胞等を培養、クリーンベンチの顕微鏡により観察、操作。
- 宇宙環境が生物に与える影響を遺伝子レベルで解明。

流体実験ラック
 -流体物理実験装置
 -溶液結晶化観察装置
 -蛋白質結晶生成装置
 -画像取得処理装置

運用中



流体物理
実験装置



蛋白質結晶
生成装置



画像取得
処理装置



溶液結晶化
観察装置

- 流体现象、結晶成長実験等を行い、結晶生成メカニズム解明と革新的結晶成長制御技術開発に貢献。

高精細度テレビジョン
システム

運用中



- ハイビジョン映像を記録、リアルタイム伝送

水棲生物実験装置

運用中

- ヒト疾患モデルとして、欧米の医学的な研究に利用されている小型魚類を用いて、生物個体レベルでのISS実験環境を提供。
- 有人飛行の際に起こる生理学的な問題（骨・筋萎縮、放射線影響）の解明・対策を研究。
- 地上の類似の疾患（骨粗鬆症等加齢に伴う疾患）の対策法研究に寄与。
- 地上とは異なる宇宙環境がもたらす世代を超えた影響を解明する基礎生物学研究（生命発生の制御、基本原理解明）。



温度勾配炉ラック
 -温度勾配炉

運用中

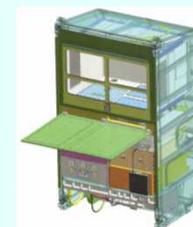


温度勾配炉

- 微小重力下で、半導体材料の結晶成長などを行う。

多目的実験ラック

運用中



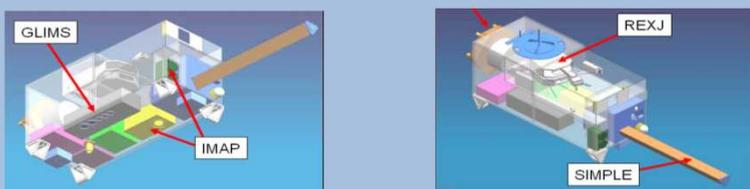
- 実験目的に応じて、水棲生物実験装置や、燃焼実験装置など、小型の実験装置を組み込み、様々な実験を可能とする。

【参考4】「きぼう」搭載実験装置の概要

船外実験プラットフォーム搭載装置

運用中

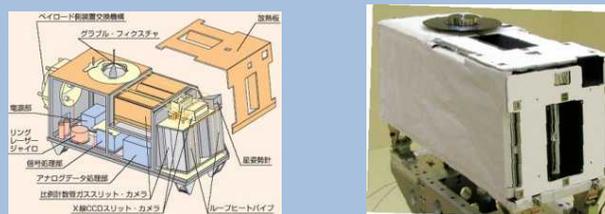
ポート共有実験装置 (MCE)



1. 地球超高層大気撮像観測 (IMAP)
2. スプライト及び雷放電の高速測光撮像センサ (GLIMS)
3. 宇宙インフレータブル構造の宇宙実証 (SIMPLE)
4. EVA支援ロボットの実証実験 (REXJ)

運用中(後期運用)

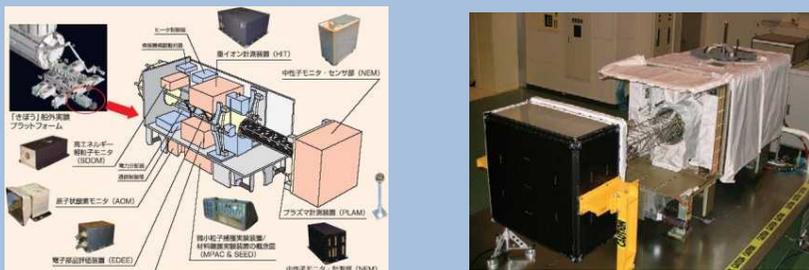
全天X線監視装置 (MAXI)



- ・ISSの軌道周回(90分周期)上で、全天のX線放射天体を今までにない高感度で隈なく走査する広視野X線カメラ。
- ・活動銀河のダイナミックな振る舞い、分布を明らかにし、宇宙の構造・起源・進化を解明する。

運用中

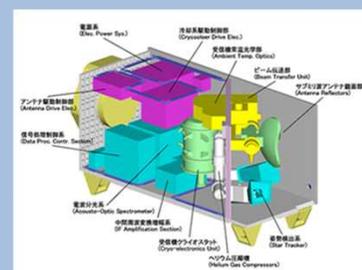
宇宙環境計測ミッション装置 (SEDA-AP)



- ・数々のセンサにより、宇宙環境データを計測、宇宙機器設計の基礎データとして利用する他、関連する科学研究や国際宇宙ステーションの運用並びに宇宙天気予報などに利用。

技術データ取得中

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES)



- ・成層圏大気中の微量分子の3次元グローバル観測を行い、オゾン層破壊等のメカニズムを明らかにする。
- ・超高感度冷却センサシステムの開発

【参考5】「きぼう」搭載実験装置の概要

平成26年度以降搭載予定

H27年度打上予定

静電浮遊炉 (ELF)

H27年度打上予定



- 地上で実測が困難な高融点材料の熱物性データを世界に先駆けて日本が網羅的に取得。企業の製品開発時の物性値提供に貢献。
- 企業や社会ニーズを受けた高融点材料の熱物性データを戦略的に取得。企業や国が進める高い国際競争力と価値を持つ材料開発を支え、社会還元につなげる。

先端医療・医学につながる次世代ライフサイエンス実験装置

- 骨量減少や筋萎縮、宇宙放射線影響評価などのライフサイエンス実験を行い、そのメカニズムを遺伝子、細胞、組織、個体レベルで解明。地上の筋萎縮対策や骨粗しょう症対策医療などに応用し、健康長寿社会の実現に寄与。
- 世界をリードするトップレベルの科学研究成果の継続的な創出にも貢献。(進化における重力の影響解明、生物の持つ潜在的な宇宙環境適用能力の理解など)



船外実験プラットフォーム搭載装置

H26年度打上予定

高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 (CALET)



高エネルギーの電子、ガンマ線、原子核などの観測、太陽活動の地球環境への影響を宇宙線によりモニタする総合的な粒子天文台。

船内実験室搭載装置

H27年度打上予定

医療・介護技術革新を生み出す実験装置組み込み用ラック

高齢者医療や介護技術の開発につながる遠隔地健康診断システムの技術実証に係る装置等、汎用的な実験装置を組み込むことで、多様な実験要求や変化の早い産業応用ニーズにも柔軟に対応可能な実験ラック。

