

資料2-2

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2回)H26. 5. 16

資料3参考2

ISS計画への参加から得られた成果について

平成26年5月16日(金)

(独)宇宙航空研究開発機構

目次・構成

ISS計画への参加から得られた成果について

1. 有人・無人宇宙技術の習得
2. 産業の振興
3. 宇宙実験からの成果の蓄積
4. 国際協力による外交上のプレゼンス向上への貢献
5. 青少年の育成

参考資料

- (参考1)「きぼう」利用公募テーマの実施状況
- (参考2)「きぼう」搭載実験装置の概要
- (参考3) ISS全体での利用成果
- (参考4)「きぼう」利用における論文等の発表件数
- (参考5)「きぼう」利用に関連して獲得した競争的資金等

ISS計画への参加から得られた成果について

1. 有人・無人宇宙技術の習得

有人技術を持っていなかった日本が、20年余を経て、自国の実験棟「きぼう」を建設し、補給機「こうのとり」を開発するなかで、有人輸送を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための重要な技術を習得。軌道上飛行士および米国(NASA)との統合運用の経験を蓄積。

2. 産業の振興

「きぼう」及び「こうのとり」の開発・運用により、企業における高度かつ裾野の広い有人宇宙技術の習得に繋がり、宇宙産業基盤の向上・維持・成熟に貢献。(「きぼう」に650社、「こうのとり」に400社の企業が参加)

参画企業は、世界レベルの技術力をアピールして企業ブランドを向上させると共に、習得した技術やノウハウ等を関連事業や海外への輸出などに展開し、新たなビジネスを拡大。(「こうのとり」の接近技術が米国民間輸送機に採用など)

3. 宇宙実験からの成果の蓄積

実験環境を充実化することで、各研究分野に新たな視点やアプローチ等を提供。科学誌NatureやScienceへの掲載をはじめ、約900件に上る査読付き論文として発表されるなど、我が国の科学や技術の発展に貢献。その結果、民間企業の参入が始まりつつある。

4. 国際協力による外交上のプレゼンス向上への貢献

「きぼう」、「こうのとり」の着実な開発・運用で存在感を発揮し、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。

アジアのISS非参加国の多く(マレーシア・ベトナム等)は、「きぼう」利用を通じた日本との協力関係の発展を強く希望しており、この分野の日本の国際的プレゼンスが向上。

5. 青少年の育成

日本人宇宙飛行士が活躍するISS計画、すなわち最先端の有人宇宙活動への参画により、青少年の科学技術への興味や関心を高め、科学技術教育、ひいては将来の我が国を支える科学技術人材の育成に貢献。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(1/9)

【成果】

- 当時有人技術を持っていなかった日本は、スペースシャトルを用いた微小重力実験で有人活動を開始。20年余を経て、自国の実験棟「きぼう」を建設し、補給機「こうのとり」を開発するなかで、有人輸送を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための重要な技術を習得。軌道上飛行士および米国(NASA)との統合運用の経験を蓄積。
 - 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「きぼう」を完成。不具合は米国実験棟の半分以下。
 - 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。
 - 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。また、若田飛行士は、NASA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。
 - 有人宇宙活動に携わる地上管制員の経験を蓄積。
- 「きぼう」は、ロケット・衛星のみならず、船舶・鉄道・原子力等の民生分野の技術力を結集して開発され、高度な安全技術・大型システムの統合技術を習得した。「こうのとり」のISSへの接近・ドッキングでは、世界で5極(米、露、欧、日、中)のみが保有する機微な技術である人工衛星等の自動接近技術の中でも最も高いレベルの安全性を実現した。
- 国際協力の枠組みに加わることで、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。ISS運用開始までに日本が有人宇宙開発に投じた資金は、米国の約1/100。また、ISS計画への投資額は米国の約1/10であり効率的にその便益を獲得。
- 開発・運用を通じて、安全性評価の能力を向上。搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲。

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

【今後の課題】

- これまで様々な有人宇宙技術の機能的な実現は達成してきたものの、将来の低軌道以遠の国際宇宙探査を見据えると、これまでに習得できていない居住に不可欠な空気・水再生技術や衛生技術の実証・高度化はもとより、有人宇宙施設の継続的・安定的運用に関わる技術やノウハウ等を、ISSの今後の運用・利用により習得していく必要がある。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(2/9)

■ 習得・実証しつつある有人技術・ノウハウ

有人輸送技術を除き、自律的に有人宇宙活動を行うための技術・ノウハウの多くを習得。無人補給技術は米国にも採用されるなど、世界をリード。将来の国際宇宙探査を見据えると、継続的・安定的な運用や今後の技術実証で引き続き技術蓄積が必要。

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、習得・実証した技術
(青字は、運用中に新たに習得、またはノウハウ蓄積が進んだもの)

○引き続き、ISSで習得・実証していく技術

○将来習得していくべき技術

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

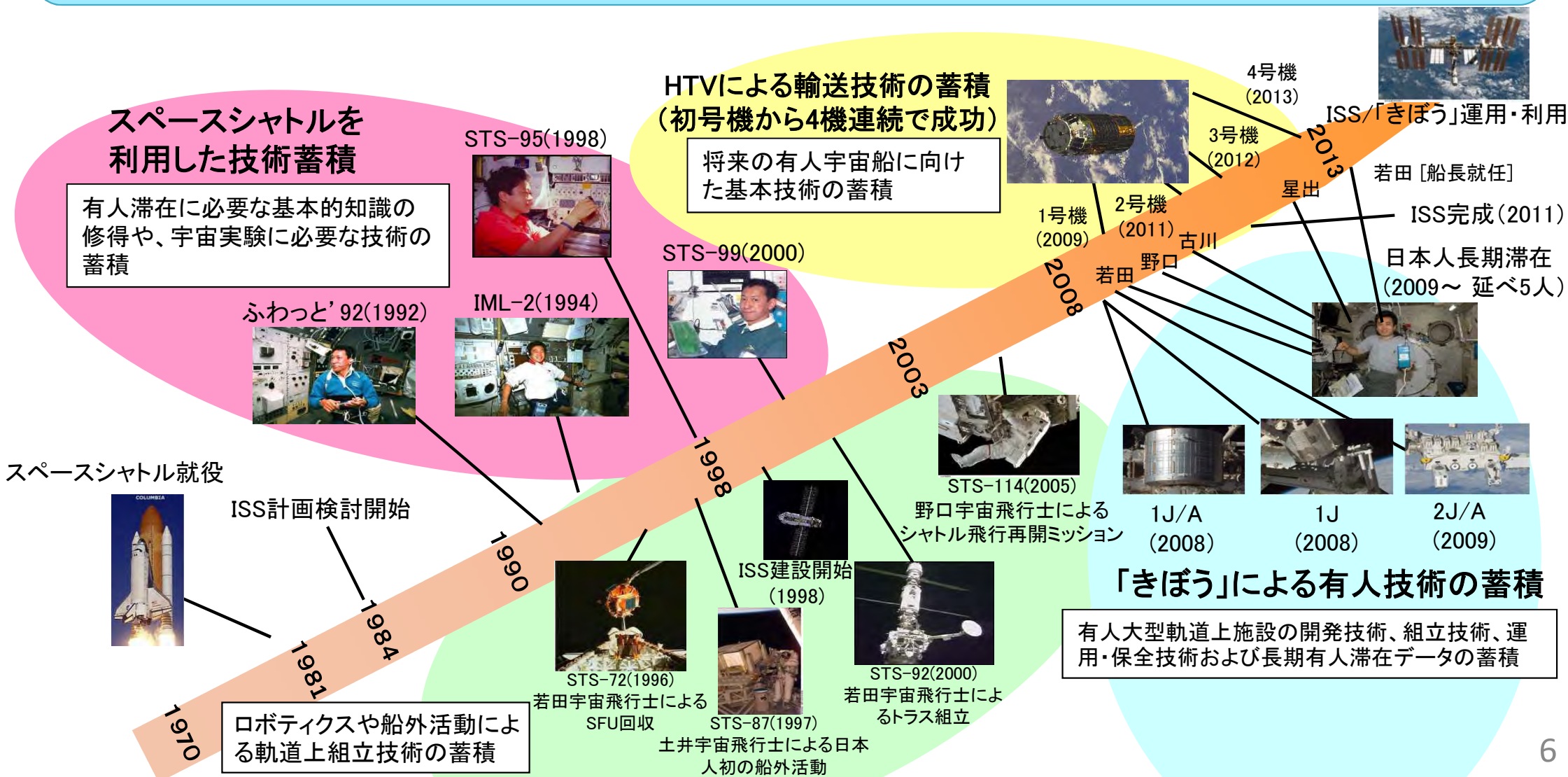
●安全評価・管理技術
設計から運用まで、安全性をより厳密に管理・評価する技術

●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)

1. 有人・無人宇宙技術の習得(3/9)

■ 我が国の有人宇宙開発への取組

- ISS計画参加当初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。
- スペースシャトルに客として乗せてもらい、シャトルミッションに参加するところからスタート。「きぼう」「こうのとり」の開発・運用、ISS長期滞在等の実績を蓄積し、NASAと対等なパートナーとして自ら有人施設を運用するまでに至っている。



1. 有人・無人宇宙技術の習得(4/9)

■ 日本の補給船“こうのとりのとり(HTV)”がもたらす成果(1/2) ～技術面

- 「こうのとりのとり」によるISSへの物資の輸送・補給により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、ISSへのランデブーからドッキング、貨物移送、再突入に至る全フェーズに対し、将来の国際宇宙探査にもつながる軌道間輸送や有人システムに関する中核的な技術を習得した。
- これらの開発、運用実績により、「こうのとりのとり」はISS参加国から高い評価・信頼を得て、ISS補給計画に必須の存在となるとともに、「こうのとりのとり」で確立したISSへの安全な接近方式が米国民間ISS補給機に対する模範となるなど日本の技術力を世界に示した。

① 自動ランデブー技術の価値

- 人工衛星等の自動ランデブー技術は、機微技術であり、保有するのは世界で5ヶ国のみ(米、露、欧州宇宙機関、日本、中国)
- HTVの自動ランデブー・ドッキング方式は米国民間宇宙船で採用、HTVの搭載装置(接近装置、小型エンジン、電源等)を輸出
- HTVのランデブー・ドッキング技術は、ISSの標準方式のガイドラインとして貢献

② HTVの安全設計技術の価値

- 有人宇宙船の安全設計と同じレベルの厳しさ(2故障が生じても安全確保できることが必須)(無人の人工衛星とは異なり、人の命を守る高いレベルの安全標準を満足している。)

③ HTV打上げの正確さは、日本ブランドの証し

- 定時打上げ、定刻のISS到着を連続達成。高い信頼性の日本ブランドをアピール。

1. 有人・無人宇宙技術の習得(5/9)

■ 日本の補給船“こうのとり(HTV)”がもたらす成果(2/2) ～国際面

- 開発当初、有人システムへのランデブー・ドッキングは米国とロシアしか実績がなく、HTVの実現に関してNASAから強い懸念が示されていたが、ETS-VIIIによるランデブー・ドッキングの軌道上実験の成功や、無人機とは比較にならないほどの高い信頼性の確保やフェイルセーフ・多重冗長構成による耐故障設計等、厳しい有人安全要求に対する膨大な設計・運用への対応により、NASAの信頼を獲得するとともに開発を成功に導いた。初号機から4機連続の成功により、信頼しうる輸送システムとして我が国の宇宙開発技術の高さを示した。
- 初号機から4機連続で定時発射・定時到着を実現し、高い安定性を実証した。米国スペースシャトルが退役後、HTVが大型船外・船内機器をISSに輸送できる唯一の補給機となり、ISSへの物資補給計画上、不可欠な補給システムとの位置づけを獲得している。ISS運用期間延長(2016年～20年)に伴う物資補給計画の検討・交渉においても、NASAからHTVによる補給追加を強く要望されるなど、宇宙開発活動全体における日本の国際的なプレゼンスを向上させた。
- HTVの開発・運用を通して、有人安全を考慮した自律飛行技術、ランデブー・キャプチャ技術、大型物資輸送技術など、今後の宇宙開発活動の更なる発展・拡大に有益な各種基盤技術を習得した。特に、ISSに並進しながら徐々に接近し、距離10mの真下からゆっくりと上昇し、ISSのロボットアームにより捕獲される接近・結合方法は日本が発案し、実現した独自性の高い技術である。他国の従来方式と比べて安全性が高く、その方式が実証された現在では米国の民間ISS補給機“シグナス”や“ドラゴン”にも採用される等、ドッキング方式として新たな国際的なスタンダードとなる可能性を秘めた技術に成長した。この結果として、米国へのHTV国産機器の輸出や米国民間ISS補給機のISS近傍運用の支援受託などに貢献している。



1. 有人・無人宇宙技術の習得(6/9)

■ 今後獲得すべき有望な技術の例 ～高効率・省リソースの水再生システム

- 現行水再生システム(米国製)では、将来の火星探査など低軌道以遠のより長期の有人ミッションには技術的課題がある。
- 本分野は**日本が世界をリード**。宇宙分野において国際標準化できる可能性があり、「強み」となり得る。

(1) 概要・意義

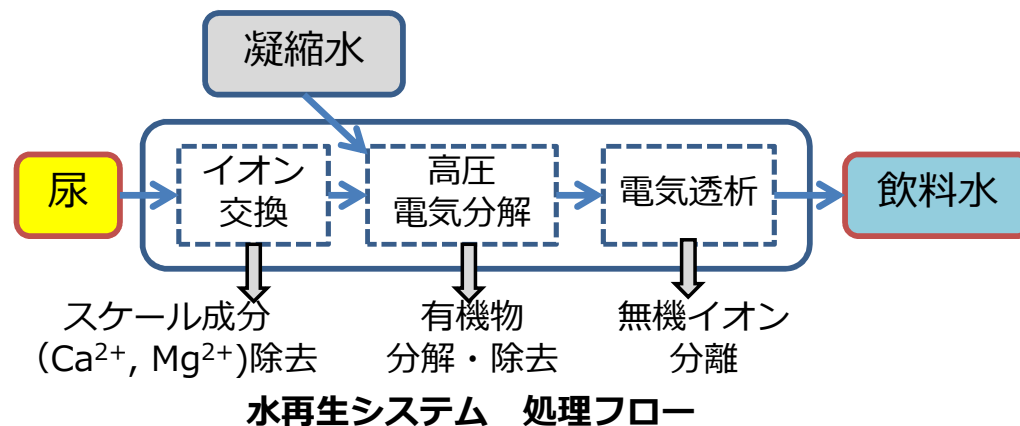
- 水再生は、十分な物資輸送が困難な有人宇宙探査での生命維持に不可欠。その高効率化は、低軌道以遠のより長期の有人ミッションの実現に必須。
- 日本の最先端の水処理民生技術を活用し、船内の空気から回収する凝縮水や飛行士の尿を飲料水レベルの水質に再生する将来型水再生システムを開発。

(2) 課題・目標

- 現行ISSシステムの蒸留・触媒酸化方式(実績75%)と異なる電気分解方式を採用することで、**高い再生率(目標85%)**、**低消費電力**、**消耗品なし**を実現する。
- 特に、高い再生率、消耗品なしは、国際的にも高い優位性を有する。(NASA見解)

(3) 研究・開発計画

- 地上での要素試験により、再生率の数値目標が達成可能な見込みを得ている。
- 2016年には、小型の技術実証用装置で実証実験を行う計画。



	目標	現行ISS
再生率(尿)	85%	75%
電力	370W以下	約1000W
消耗品	なし(*)	イオン交換樹脂等

(*) イオン交換樹脂は、電気透析の生成水による洗浄で機能回復(再生)する。



地上要素実証モデル

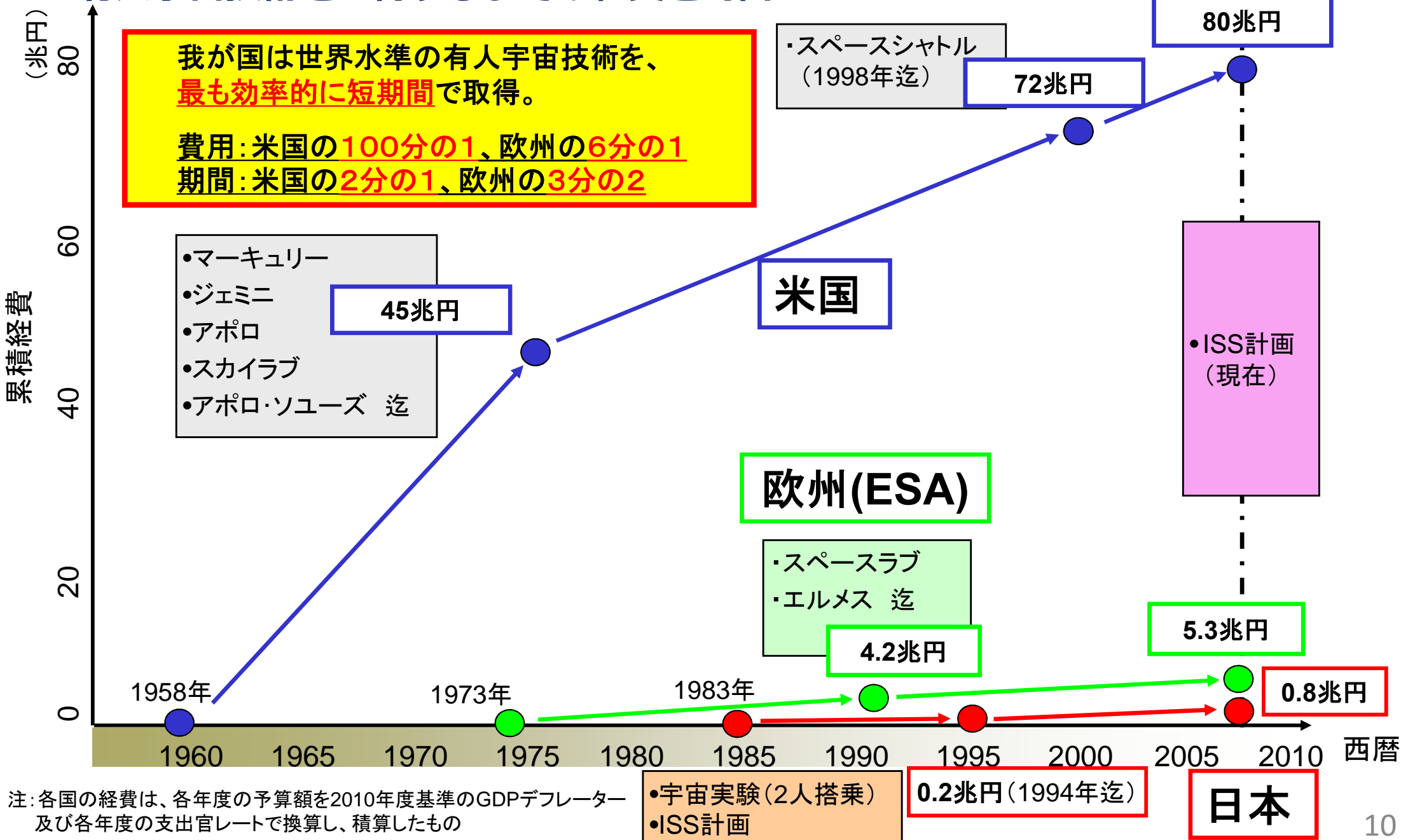
研究・開発スケジュール

FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017
要素研究				↑ 打上げ	
	地上要素実証モデル製作・試験	軌道上実証モデル製作・試験		ISS実証	

1. 有人・無人宇宙技術の習得(7/9)

(出典:「宇宙探査の今後の展望に関する私見」、堀川康発表資料、H24.10.11 文部科学省 宇宙開発利用部会(第4回))

■ 有人宇宙技術を習得するまでの経費と時間



1. 有人・無人宇宙技術の習得(8/9)

■ 日米のISS計画への投資額

我が国のISS計画への投資額は、米国の約10分の1。
ISS計画への参加得られる便益を効率的に獲得。

国名(実施機関)	これまで(2013年まで)の経費
日本(JAXA)	<p>約8,260億円</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
米国(NASA) 1ドル=105円 (過去20年間の平均支出官レート)	<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> <ul style="list-style-type: none"> 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

※ 米国の経費は、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

1. 有人・無人宇宙技術の習得(9/9)

■ 世界第3位の宇宙滞在実績と、世界レベルの有人運用技術

- ISS計画への参加により、**宇宙飛行士の搭乗実績、船外活動実績等の国別の順位は、米露に続く世界第3位**まで上昇。我が国が有人宇宙活動における人材育成やノウハウの蓄積が進んでいることの表れ。
- **若田飛行士のISS船長への就任**により、有人宇宙基地や搭乗員の管理、緊急時の対応のノウハウ等を蓄積すると共に、**我が国が、国際協力で有人宇宙活動を行う上で中核的な役割を担うレベルに達している**ことを示した。
- ISSや「こうのとり」の運用に係る地上管制を各極と連携しながら我が国自らが実施した結果として、非常事態の対応も含めた有人宇宙システムの**統合的な運用に関するノウハウ**の蓄積、将来の国際宇宙探査等で必要となる管制員や運用支援員等の育成につながっている。

➡ **将来の国際宇宙探査において日本が重要な役割を担う上で、ISSで習得する技術やノウハウが生かせる。**

- 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。実績とノウハウを蓄積している。**
- 若田飛行士は、アジア人初のISS船長にも就任。日本が有人宇宙技術において対等なパートナーと認識されている証。第2、第3のISS船長を輩出することによって、宇宙分野での国際的な日本の位置付けがより強固なものになる。
- 「きぼう」の運用管制員を日本で育成・認定。英語が母国語ではない日本においても国際的な交渉スキルと技術を有する人材を多数輩出。ISSのような大規模施設を安全・安心に運用するマネジメント技術は、将来の国際宇宙探査にも生かせる。
- 搭載実験装置の安全審査権限をNASAから委譲され、日本単独で「きぼう」の安全管理責任を担っており、米国や欧州と対等な立場まで高めた。

	国名	日数
1	ロシア	約23,600日
2	アメリカ	約16,700日
3	日本	約929日
4	カナダ	約506日
5	ドイツ	約493日

各国の宇宙滞在累積日数(H26/5/14時点)
(ISS以前のミール、シャトル等の実績含む)



「きぼう」の運用管制@筑波宇宙センター