

資料5-2-4

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
(第5回)H24.10.25

国際宇宙ステーション(ISS) の推進方策について

平成24年10月25日

項 目

1. 日本の有人宇宙活動の現状
2. 今後の日本の有人宇宙活動の進む方向性
3. 今後の日本の有人宇宙活動に関する具体的な取り組み

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (1/9)

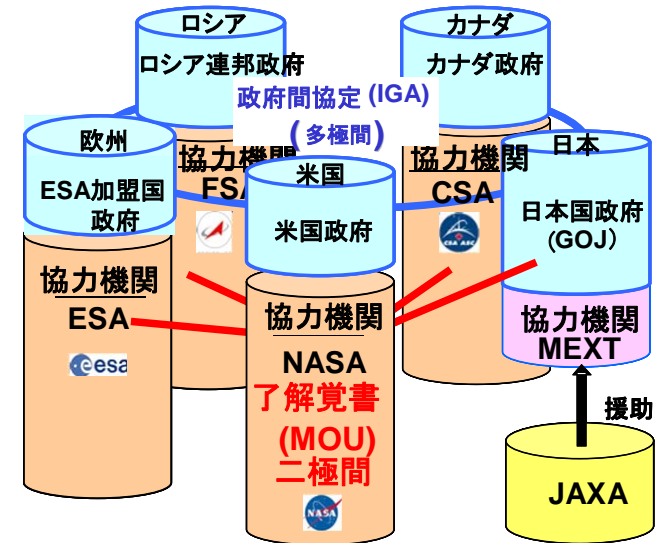
1984年にロンドンサミットで米国が当時の西側諸国に対し、「フリーダム計画」として参加を呼びかけ、その後、冷戦の終了によりロシアの参加も得て、「国際宇宙ステーション計画」となったISSは、現在の世界における科学技術分野の国際協力の象徴の一つ。

我が国は1988年以来、日米露欧加の5極15ヶ国の1極としてアジアで唯一参画。国際的にも信頼される宇宙開発先進国としての地位を獲得し、大きな存在感を示している。

日本実験棟「きぼう」の完成と着実な運用、日本人宇宙飛行士の長期滞在とミッション遂行、宇宙ステーション補給機「こうのとり」の連続成功による安定的な物資補給など、我が国は、宇宙開発の多岐に渡る最先端の技術や経験を獲得・蓄積するとともに、微小重力等の宇宙環境を利用できる場を獲得してきた。

【参考】 国際宇宙ステーション計画の仕組み

- ① 各国は、政府間協定(IGA、国会承認条約)を締結し、ISS計画に参加。
- ② IGAにおいて、各国が提供する宇宙基地要素を規定。
これらの提供に応じて各国は一定の権利義務を有する。
- ③ 我が国は日本実験棟「きぼう」を建設し、その約半分(51%)の利用権を保持(残りの約半分は米国が保持)。
- ④ 各国は、ISSのシステム運用に共通の経費(CSOC)の一定割合を負担。この負担割合に応じて、利用資源(電力・宇宙飛行士の作業時間)や宇宙飛行士の搭乗機会を確保。
- ⑤ NASAと日本国政府間の覚書(MOU)において、我が国は12.8%のCSOC負担及び利用資源の利用権を保持



1. 日本の有人宇宙活動の現状 (2/9)

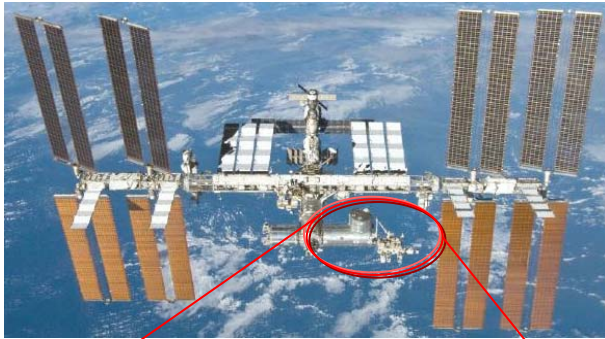
(1) 日本初・アジア唯一の有人宇宙施設である「きぼう」を獲得

- ① 有人宇宙施設である「きぼう」を開発、安定的に運用。これにより、地上では得られない微小重力など宇宙環境を利用して、長期間に亘り多様な実験・研究・観測を行える場を獲得。日本は、船内に5基、船外に5基の装置を搭載することができる。このような軌道上設備は、現在および少なくとも2020年ごろまでは国際宇宙ステーション(ISS)のみであり、これを利用できるのは、参加5極15ヶ国のみ。
- ② また、ISSのなかでも、我が国の「きぼう」は、ISSの船外に設置されている船外実験プラットフォームや、ロボットアーム、エアロックを一体的に備える唯一の施設であり、超小型の衛星を「きぼう」から宇宙に放出するなど、他極のモジュールが備えない特徴を有する。

(2) 「きぼう」利用を本格的に開始

- ① 地上では得られない微小重力や宇宙放射線などの宇宙環境を利用した、「生命科学」、「物質・物理科学」、「宇宙医学」、「宇宙観測」、「地球観測」等の分野における学術的科学研究実験、将来の実用技術に繋がる「タンパク質結晶成長による創薬開発」などの応用利用研究の両方を実施。
- ② 小型ロケットや落下塔、スペースシャトルなどを使った実験とは異なり、長時間の継続的な微小重力実験が可能である「きぼう」の特徴をいかし、ISSでの実験・研究・観測を計画的・段階的に実施することで、国民生活の向上に寄与する成果の創出や科学的知見の獲得に、成果を上げつつある。

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (3/9)



「きぼう」

船内保管室

船内実験棟

ロボットアーム

船外実験
プラットフォーム

「きぼう」は、船内と船外
で本格的な宇宙実験が
可能な唯一の施設

【全天X線監視装置(MAXI)】 最新X線天文学への貢献

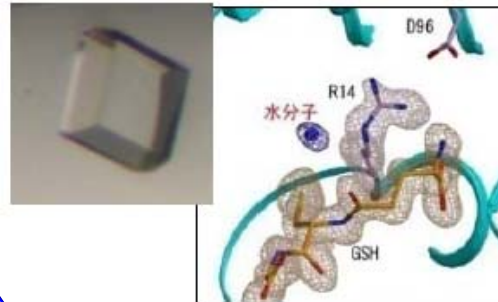
巨大ブラックホールに星が吸い込まれる瞬間を観測



【高品質タンパク質結晶生成技術】
創薬産業へ貢献

筋ジストロフィー治療薬開発

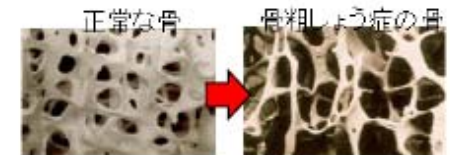
【動物実験による有効性と安全性
の検証実験実施中】



【骨量減少予防研究】

加齢や骨粗鬆症による骨量減少予
防に貢献

宇宙飛行士を被験者として、骨粗
鬆症治療薬を投与し、効果を確認。



宇宙では骨・筋量減少が加速

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (4/9)

(3) 独自の補給船「こうのとり」を獲得・本格的に運用

- ① ISS計画への貢献として、我が国は、ISSへの物資輸送を行う「こうのとり」(HTV)を開発した。2009年以降、3機連続でISSの運用・利用に必要な実験装置や食料・水などといった物資の輸送を、着実に成功させてきている。またこれにより、我が国は5カ国(日・露・欧・米・中)しか有していない輸送技術・運用能力を獲得した。
- ② 「こうのとり」は、スペースシャトルの退役後、現在運用している補給機(露プログレス、欧ATV)及び運用が本格化しつつある米国の民間機と比較しても、大型の船外品・船内品をISSに輸送できる唯一の補給機として、米を含む参加全極からの信頼と期待を集めている。
- ③ また、ISS計画におけるHTV、及びこれを搭載するH-IIBロケットの継続的な打上げは、宇宙産業の基盤を支えるアンカーテナンシーとして、日本の自律的な宇宙輸送能力を担保する重要な役目を果たしている。

H-IIBロケットによる
「こうのとり」の打上げ



「こうのとり」の
ISSへの接近



「こうのとり」の
ISSへのドッキング



1. 日本の有人宇宙活動の現状 (5/9)

各極のISS補給機の比較

2012年10月9日現在

	HTV (日本)	ATV (欧州)	プログレス (ロシア)	ドラゴン (米国) (無人往還機)	シグナス (米国) (未フライ)	ソユーズ (ロシア) (有人往還機)
補給機						
運用期間	2009年～	2008年～	1978年～	2012年～	2012年～(予定)	1967年～
運用実績(※1)	3回(3回)	3回(3回)	138回(48回)(※4)	2回(1回)	なし	118回(31回)
輸送価格/トン (※2)	約50億円	約50Mユーロ	非公表	約30M\$	約120M\$	非公表
総開発費	677億円	約1,700億円(※3,5)	非公表	286億円(※5)	175億円(※5)	非公表
打上/回収能力	6トン (ラックや梱包等含む)	7.5トン	2トン	3トン(打上)、1.5トン(回収)	2トン	170kg、(打上)、 120kg(回収)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・船外機器を輸送可能 ・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) ・機体サイズ: 9.8m(H)×4.4m(D) ・与圧区体積:約40m³ ・非与圧区体積:約22m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ・プログレスのドッキング技術を導入 ・ハッチ口は小さい(直径0.8m) ・ISSの軌道変更ができる ・ISSへ燃料補給ができる ・船外機器は搭載不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハッチ口は小さい(直径0.8m) ・ISSの軌道変更ができる ・ISSへ燃料補給ができる ・船外機器は搭載不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発主体:スペースX社 ・1.27m×1.27mの大型ハッチだが容積が狭く、標準ラックなど大型の船内機器の輸送は不可。 ・船外機器を輸送可能(大型物資の輸送は不可) ・ロボットアーム把持によるドッキング方式(ドッキング時の近傍通信システムは独自開発) ・ISSからの物資回収も可能 ・過去2回の輸送量は、1ton未満。能力を大きく下回る実績。 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発主体:オービタル・サイエンス社 ・HTVのドッキング技術を導入 ・ハッチ口は小さい(直径0.9m) ・ISSの軌道変更や燃料補給は不可 ・船外機器は搭載不可 ・開発が遅れており、打上げ実績はまだない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・有人往還機 ・軌道上で不測の事態が発生した場合等の緊急帰還船としてISSに係留。運用寿命は200日間 ・シャトル退役後、唯一の有人飛行手段

※1 ()内はISSへの飛行回数 ※2 各宇宙機関の公式HPIに基づく試算価格。ドラゴンは、輸送及び回収を合わせた試算値。

※3 (推定値)出典:ESA公式HP:http://www.esa.int/esaCP/SEM2DN9OY2F_index_0.html 13億ユーロからロケット経費1.7億ユーロ差引き。(ATV開発完了時:平成19年度支出官レート147円/ユーロ)

※4 打上げ失敗を含む ※5 平成21年度支出官レート103円/ドル

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (6/9)

(4) 先端的な宇宙技術の獲得

- ① 「きぼう」「こうのとり」の開発を通じ、我が国は、有人宇宙活動に要求される高い安全信頼性技術(設計・開発・運用)に加え、将来の無人・有人探査につながる先端的な宇宙技術や経験を習得。
- ② HTVがISSと通信しながら自動で接近し、ロボットアームによって結合される方法は、HTVが世界で初めて実証した方法で、その後、米国のISS向け民間輸送機(ドラゴンやシグナス)の接近・結合方法として採用。また、HTV用に独自に開発した近傍通信システムは、米国のISS向け民間輸送機(シグナス)にも採用されている。米国企業(オービタルサイエンス社)から同システム機器の受注(60億円)を受けた。
- ③ 科学技術振興機構の調査によると(※)、我が国の総合宇宙技術力は、米・欧・露・日・中・印・加の中で第4位であり、うち、有人分野の技術力は、米・露に次いで第3位であるものの、中国の追い上げを受けている。

※独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 海外動向ユニット

「G-TeC報告書 世界の宇宙技術比較」(平成23年11月)を参照

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (7/9)

(5) 日本人宇宙飛行士の活動を通じた有人技術の獲得

日本人宇宙飛行士(これまで8名、計14回)のシャトル又はソユーズ搭乗・ISS搭乗を通じ、飛行士の選抜・養成・訓練・健康管理、有人宇宙船の運用及び操作、搭乗員による宇宙活動(船外活動、ロボティックス操作等)の宇宙飛行士関連技術を獲得。

現時点(平成24年10月25日)において、日本人の宇宙滞在は通算717日であり、米露について世界で第三位。独自の有人輸送能力を持たない国としては、第一位。ISS計画での日本人宇宙飛行士による船外活動の延べ時間は34時間50分で、米露について世界第三位。

1. 日本の有人宇宙活動の現状 (8/9)

(6) 参加各極の状況

- ① 米露欧加の国際パートナーは、各々経費の削減努力を行う一方で、2020年までISS計画を継続的に参加することを表明している。また、米露は火星探査等将来の有人宇宙探査へ繋がる知見を獲得する場としてもISSと位置づけ、2015年から宇宙飛行士の滞在期間を一年に延長するなどの計画を進めようとしている。
- ② 我が国は、2010年6月に文部科学省宇宙開発委員会において、ISS計画に201年以降も参加していく意義として、①宇宙環境の利用、②宇宙探査につながる有人宇宙技術の獲得、③宇宙関連産業振興、④青少年の教育・啓発、⑤国際協力・安全保障・外交の計5つがあることを確認。
- ③ 更に、2010年8月に宇宙開発戦略本部において、「(各参加国の動向を踏まえ、) 2016年以降も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り組みを推進する」ことを決定。

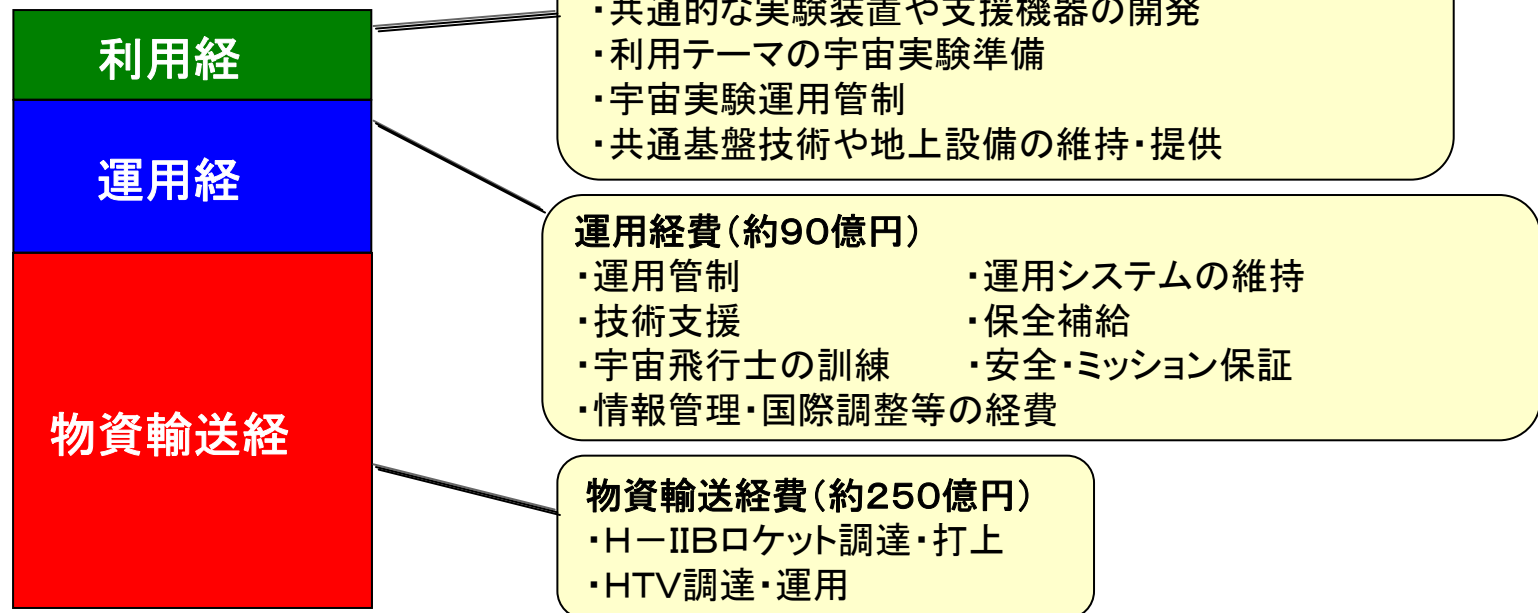
1. 日本の有人宇宙活動の現状 (9/9)

(7) 課題

- ① ISS計画でこれまで(平成23年度まで)、我が国だけでも「きぼう」の建設費を含め、総額約7500億円の国費が投じられている。また、ISS参加を継続する限り今後も毎年約400億円(「きぼう」の運用経費として90億円、「きぼう」で行う研究に関わる経費として約60億円、HTVによる物資輸送経費として約250億円)が必要。

そのような巨額の経費に見合う十分な成果を生み出していないという意見や現下の厳しい財政下で今後も資金を投入し続けることに対する疑問等も提起されている。

年間の経費
(FY2011実績: 約400億)



2. 今後の日本の有人宇宙活動の進む方向性 (1/2)

- ISSへの参加を通じ、これまで我が国が獲得してきた成果や国際的地位を生かしつつ、「きぼう」、「こうのとり」という財産の一層の効率的・効果的活用を進め、その研究・開発成果や経験・知識、科学・学術研究及び産業利用の両面での具体的成果につなげる。
- 「きぼう」と「こうのとり」の運用及び日本人宇宙飛行士の搭乗を着実に行ってISSのパートナーとしての責務を引き続き果たすことにより、宇宙先進国としての国際的なステータス及び信頼を維持・強化し、将来の国際協働有人・無人探査などの国際協働プロジェクトにおいても日本が中核的な役割を担える可能性を担保する。

(1) 『宇宙環境利用の場』であるISS/「きぼう」の効果的な利用を進め、知の拡大、新たな産業の創出、宇宙利用ニーズの拡大に貢献する。

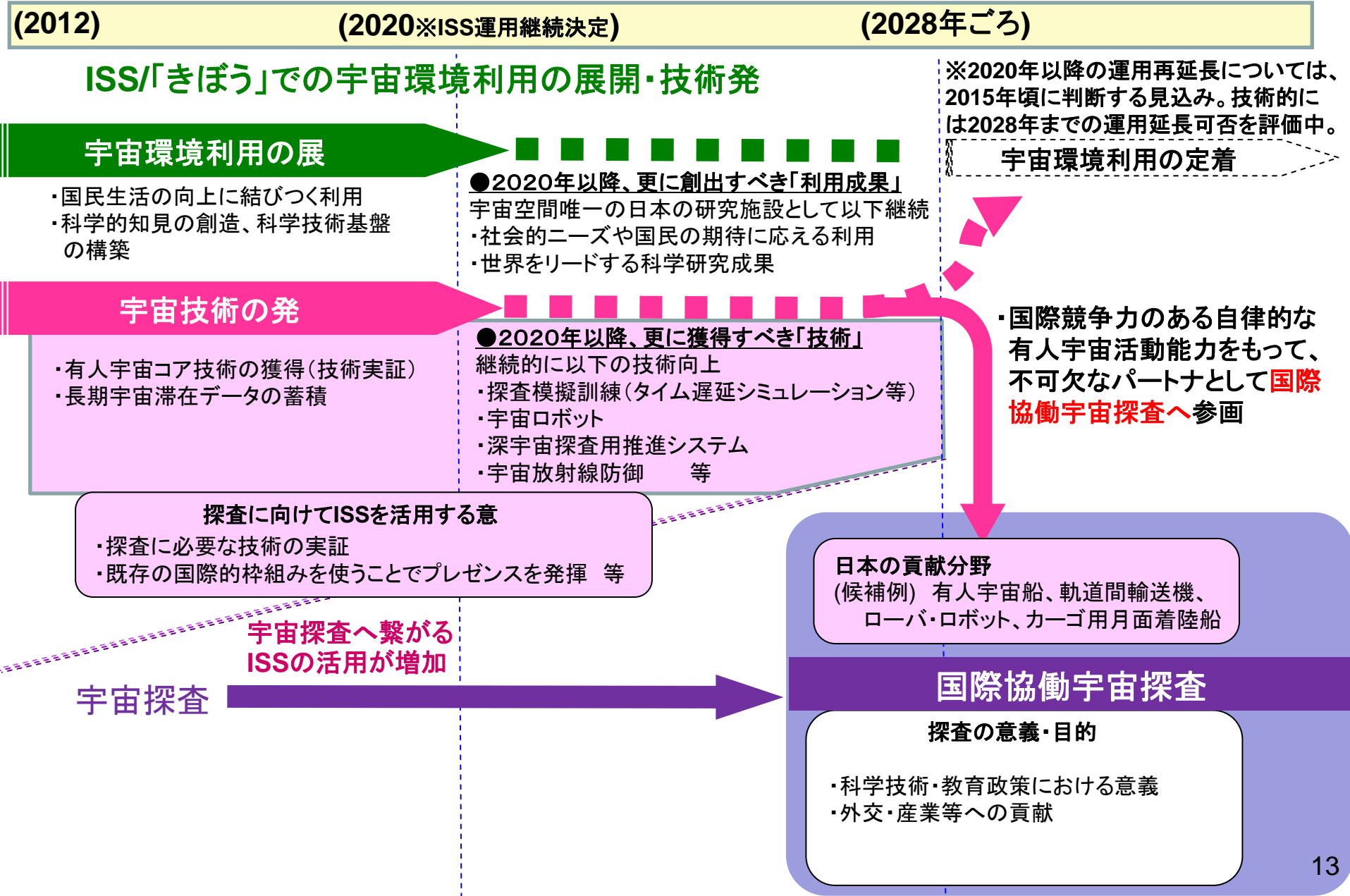
- 「きぼう」において我が国が優位性を持つ分野や社会的ニーズが高い学術・研究開発の分野を中心とした研究・実験・観測を進めることにより、世界最先端の科学研究への貢献や研究開発成果の実利用につなげる。
- 宇宙利用分野・ニーズの拡大……有償利用や、キャパビル利用、教育利用など

(2) 『国際協働宇宙探査』に向けた無人・有人探査技術を獲得することにより自立的な有人宇宙活動能力の向上や、国内宇宙産業の国際競争力の強化に貢献する。

- ISS/「きぼう」・「こうのとり」を将来の無人・有人宇宙探査に向けたテストベッドとして活用
- 恒常的な有人施設であるISS/「きぼう」を宇宙技術の長期データ蓄積・信頼性向上の場として活用

2. 今後の日本の有人宇宙活動の進む方向性 (2/2)

— 国際宇宙ステーション「きぼう」から宇宙探査へ —



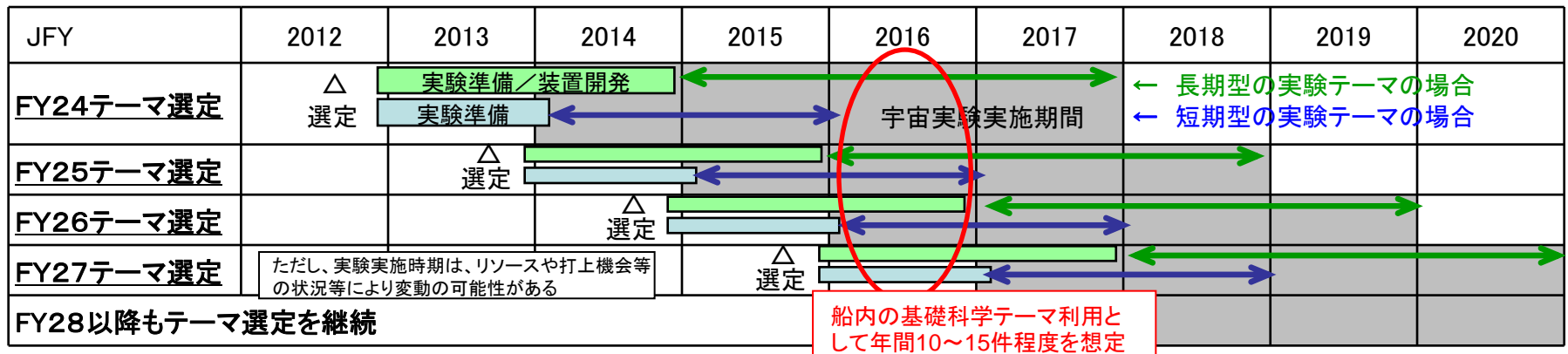
3. 今後の日本の有人宇宙活動に関する具体的な取り組み (1/5)

(1)「きぼう」の効率的・効果的な活用による宇宙環境利用特有の成果の創

① 科学的知見を目指した利用の重点化

日本のISS計画が多額の資金を投下してきた事実を踏まえ、今後は、利用分野の多様な広がりにも留意しつつも、これまでの実績等をもとに、効率的・効果的に成果を創出できる分野やテーマへの重点化を進めていく。

- これまでの実績等を踏まえ、「きぼう」を活用した科学的成果の創出が期待できる基礎研究の3分野(生命科学、宇宙医学、物質・物理科学分野)について、より成果を効果的に創出するため、実施する実験の選択と集中を行う「基礎研究シナリオ」を策定した。
- この「シナリオ」では、2020年までの利用を見通して、科学技術のみならず産業や社会等に幅広く波及効果の大きい成果の創出を目指した重点領域・課題を設定しており、これに基づき、長期的視点で体系的に利用研究を進める。
- これらを進めていくにあたっては、第一線級の研究成果を上げている我が国有数の研究機関や研究チームとの連携を充実させ、科研費などの競争的研究資金とのマッチングなどによる効果的・組織的な利用研究に繋げる。また、段階的な評価を行い、テーマを洗練することで質の高いテーマに作り上げていく。
- 船外環境利用実験においては、ISS・「きぼう」の有用性を示してきた宇宙科学と地球観測などのコミュニティが自ら主体的に「きぼう」利用を提案し実施するよう体制を整え、効果的な成果の創出に繋げる。また、船外実験プラットフォーム、ロボットアーム、エアロックを一体的に備える「きぼう」の特徴を大いに活かした、多様かつ機動的な利用機会を提供し、宇宙技術の実証などへの活用を進める。



3. 今後の日本の有人宇宙活動に関する具体的な取り組み (2/5)

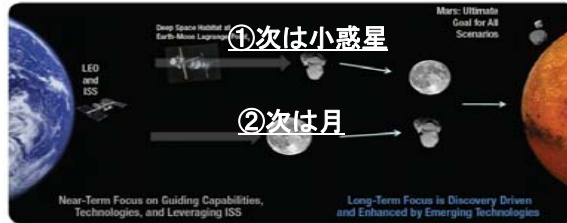
② 産業への貢献や国民生活の向上に結びつく利用の促進

- 創薬やバイオマスの有効利用などの社会ニーズに応える利用として、SPring-8と連携した日本独自のタンパク質結晶生成実験技術を確立するとともに、定期的・短期的で繰り返し可能な定型化した実験機会を提供してきた。これまでの実績から、微小重力環境が結晶成長に有効に働くタンパクの条件や特徴等も判ってきている。例えば、筋ジストロフィー治療薬開発に関するタンパク質結晶生成実験では、動物による前臨床試験段階に進むなどの成果が見えてきたところである。
- 今後、創薬などにつながる成果が期待できるタンパク質結晶生成実験において、オーファンドラッグ(患者数が少なく企業が投資しにくい分野)など、社会的に重要な分野に重点的に取り組み、実利用への橋渡しを通じて更なる成果創出を目指す。宇宙実験機会を効率的に活用するため、微小重力が有効に働くタンパク質への絞り込みや、成果創出が有望なテーマへの繰り返し実験機会の提供などを行うとともに、国の他の施策への組み込みや企業需要の掘り起こしを進める。
- この他にも、タンパク質結晶成長と同様に、利用者にとってリスクが低く使いやすい定型化した実験機会の提供によって、宇宙産業以外の企業需要を呼び込み、産業応用につながる成果創出の充実を図る。
 - 容器に接触することなく、微小重力下で金属等の特性を把握できる「静電浮遊炉」(日本が世界で初めて開発中)の実験機会を提供することで、工業的価値の高い高融点材料(希少金属に多い)の特性と新たな材料開発への知見の取得を図る。
 - 船外を活用した、材料を宇宙空間に曝露する実験機会を提供することで、宇宙用材料開発を加速できる。
- また、産業界・企業が「きぼう」を実験・実証の場と位置づけて利用し、企業活動に活用できるよう、利用の仕組み(成果の帰属の扱いなど)を見直し、民間による利用の拡大を促す。産業界毎の状況に対応して、「きぼう」の利用方法や仕組みの周知を図り、「きぼう」が企業側の事業にツールとして組み込まれるよう促す。

3. 今後の日本の有人宇宙活動に関する具体的な取り組み (3/5)

(2) ポストISSにつながる科学的知見と宇宙技術の獲得

- 14カ国の宇宙機関によって構成される、国際宇宙探査協働グループ(ISECG) は2011年に、今後25年程度での有人火星探査を目標とし、そこに至るまでの探査シナリオを策定。シナリオでは火星に至る前に、①小惑星探査、②月探査を行う2つのオプションがあり、現在シナリオの分析・詳細化を行っている。
- ISS参加各極は、ISSの次の国際協力プログラムとして、国際協働による有人宇宙探査に向けた活動を進めており、そのなかでも米国は低軌道を越える輸送能力を有する大型ロケット(SLS)を開発中。また、ロシアと欧州宇宙機関は共同で、有人火星探査ミッションを想定した長期間(520日)におよぶ地上模擬環境実験「Mars-500」を実施。



- また、ISS参加各極は、ISSを活用して将来の探査に繋がる技術の研究開発と知見の獲得のための活動を加速。2015年には、米露の宇宙飛行士1名ずつをISSに1年間滞在させ、将来の有人宇宙探査に向け長期滞在に係るデータを得ることも計画されている。
- 我が国では、ISSを将来に向けた宇宙技術のテストベッドと捉え、「こうのとりの」技術をベースに回収機能を付加する「HTV-R」の研究開発を推進中であり、物資の帰還・回収技術の獲得を目指している。この技術は、将来の有人帰還にも必要な要素でもある。また、軌道間輸送機や空気再生装置・水再生装置の研究、宇宙飛行士の医学データの取得なども進めている。
- 日本としても、将来の国際協働探査において日本が中核的な役割を担える可能性を担保できるよう、先端的な宇宙技術の獲得を推進していく必要がある。
- 今後は、ISS計画に参加している利点と、「きぼう」「こうのとりの」を有しているという利点を積極的に活用し、探査につながる科学的知見や宇宙技術の獲得を更に進める。特に、有人宇宙活動のキーとなる科学(生命科学、宇宙医学など)の「きぼう」における実験や、無人・有人の技術(帰還・回収、空気再生・水再生、熱制御など)の研究開発と軌道上技術実証を進め、科学技術の国際的な競争力・優位性を高める。

3. 今後の日本の有人宇宙活動に関する具体的な取り組み (5/5)

(3) 今後のISSへの参加の在り方

① 2016年以降、我が国がISSに参加する上での負担

2015年までのISSの参加に当たっての我が国の負担は、HTVを計7機打上げ、物資輸送することが決定されており、2015年までに日本人宇宙飛行士の搭乗機会が残り2回確保されている。(2013年, 2015年)

一方、2016年～2020年の間の各国の負担に関しては、共通システム運営経費の総額及び各国の負担内容について、今後、各極間で協議、決定する必要がある。

※ 仮に、2009年～2015年の間のISS共通システム運用経費の実績及び現行の負担率(12.8%)を前提に試算すると、2016～2020年の5年間の共通システム運用経費は、全体で計128トン(物資輸送換算)、日本の分担は12.8%で約16トン分となる。

※ 負担率の変更には、日本政府－NASA間の覚書きの改訂交渉が必要。

② 具体的な負担方法

上記の負担分をどのような形で履行するかについては、同期間中のISSの運用、輸送計画を踏まえ、米国との協議を行う必要がある。特に、輸送計画については、宇宙飛行士の滞在の長期間化、今後の米国の民間輸送機の打上状況など流動的な部分も大きい。

③ 我が国として考慮すべき事項

経費の削減、効率化を強く求められていることを踏まえ、

- ・ 共通システム運用経費全体について、いずれの参加国も厳しい財政状態にあることから、各極と協力して経費の削減に努める。
- ・ 「きぼう」の運用経費について、2015年までに75億円程度まで削減するよう計画するなど定常的な削減努力を今後も継続。
- ・ 現在、HTVの打上げにより履行している我が国の負担方法について、我が国の有する技術の優位性などを活かし、

「できる限り財政負担の軽減につながる有利な条件」

「ポストISSにつながる技術研究開発」

「我が国の宇宙産業の基盤の維持」

等の視点を踏まえて、各極との協議を進める必要がある。