

これまでの議論の論点整理と
取りまとめに向けた方向性
(たたき台)

平成22年6月11日
宇宙開発委員会事務局

1. 意義と課題

- A. 国際協力・安全保障・外交
- B. 「きぼう」の利用
- C. 有人技術・宇宙探査
- D. Innovationと産業振興
- E. 青少年の教育・啓発への貢献

2. 2016年以降の運用継続に関する見解

A. 国際協力安全保障・外交

○ ISS計画への参画によって得られた国際的評価

- 国際的な共感や尊敬を得られる国際プロジェクトに知識・技術を持って参加・貢献していることによるプレゼンス。これは、単に軍事力や経済力を背景にしたパワー以上に、国際的な影響力を持つ。「ソフトパワーの源泉」
- 新興国の台頭などにより、これまでの主要国の相対的な地位が埋没しつつある中で(例:G8からG20の時代)、ISS計画の5極の一角を占めている事実。

➤ H-II BやHTVの成功は国際的にも高い評価を得ており、HTVの改良型(帰還機能の付与等)には高い期待が寄せられている。こうした、ISS参画で得られた技術力は、結果として、安全保障上有意な価値を持つ。「ハードパワー」への潜在的貢献

○ ISS計画への日本の貢献と宇宙外交・科学技術外交としての価値・評価

- 最も多機能な実験棟である「きぼう」の開発・運用、宇宙ステーション補給機(HTV)による定常的な補給能力の提供、日本人宇宙飛行士の活躍による「顔の見える貢献」。
- 国際宇宙探査計画の国際的枠組み(ISECG)はISS参加国を中心に議論されているため、次期有人宇宙探査計画においても発言権が持てる。

○ ISS計画からの撤退または継続について

- ISS計画から日本が撤退した場合、日本が担ってきた負担が他国へ転嫁されることとなるため、ISS運用に影響を与える。このことは、日本の国際的信頼の喪失につながり、次期国際宇宙探査計画において国際パートナーとして参加できなくなる可能性が高くなる。したがって、ISS計画から撤退は、撤退による損失を相殺して余りある代替策を見出せない限り、外交的な損失が大きい。

○ アジアの宇宙先進国で唯一のISS計画参加国として、「アジア諸国のISSへのゲートウェイ」としての立場

- アジア諸国にとって魅力的な宇宙開発の協力相手は日本以外にも存在する中で、アジアにおいて日本が積極的な宇宙外交・科学技術外交を進めるためには、ISS計画において築いた地位を最大限に活かす戦略が必要。
- アジアの宇宙先進国で唯一のISS計画参加国として、「アジア諸国のISSへのゲートウェイ」としての立場である我が国は、アジア諸国との宇宙外交・科学技術外交の推進の観点から、アジアの研究者・研究機関による長期的かつ継続的な利用の拡大に向けた仕組みの構築が必要。
- その対応策として、海外の研究者の参加や交流のための拠点、アジア諸国の研究機関との協力関係の構築、アジア諸国による利用枠の設定などが必要。

B. 「きぼう」の利用

これまでの「きぼう」利用に対する期待と実情

- 「きぼう」は、地上では得ることのできない重力の影響が非常に小さい静かな環境、半恒久的に得られる宇宙空間への曝露環境、宇宙飛行士による軌道上での柔軟な支援環境等により、以下のような様々な可能性を有していると期待されてきた。

(ライフサイエンス分野)

- 地上では実現不可能な高品質タンパク質結晶生成による創薬への応用
- 生命科学(遺伝子発現への重力影響、細胞内重力感受機構の解明など)

- 宇宙医学(閉鎖環境、骨量減少、遠隔医療、放射線防護など)
(材料分野)
- 新材料開発(ナノ材料、高融点材料など)
(地球観測)
- 地球観測(災害監視、衛星データ補完、新規観測装置の実証など)
(宇宙科学)
- 宇宙科学(全天観測、高エネルギー物理など)
(宇宙技術実証)
- 将来の有人宇宙活動に必要な基盤技術の習得
- 長期間の実験を宇宙飛行士による様々な支援の下に可能

- 特に、本格的な実験施設として稼働を始めた「きぼう」は、これまでのスペースシャトルでの宇宙実験や無人の宇宙システムによる実験に比べ、下記のような有人施設としての利点を持っている。

- 宇宙飛行士による修理・調整などの複雑な軌道上サービスを受けられる。
- 数ヶ月に及ぶ長期的な微小重力実験が実施可能。
- 目視により人工衛星を補完する地球の観察・監視が可能。

- また、電力、通信等の豊富なインフラ・リソース、日本、欧州、ロシア、米国の打上げ手段による頻繁な打上げ機会な

ど、その潜在的な能力が徐々に認識され、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。

- しかしながら、以下のような状況や制約から、地上実験や人工衛星など他の手段により得られる環境との比較において必ずしも最適かつ有効な実験手段とは言えない面もあることは否めず、利用拡大には克服すべき課題が数多く存在していることも認識。
 - 有人施設に特有の厳格な安全性確保や実験値置の開発等によるコストの高さやリードタイムの長さ
 - 有人活動に起因する振動によるじょう乱や軌道特性による環境的制約
 - 分野や研究課題によっては、地上と比較して微小重力環境が著しい優位性を発揮する場合は限定的
 - スペースシャトル退役後、サンプルの回収手段が当面の間、ソユーズのみとなり、回収能力が著しく低下すること

JAXAに求められる役割

- 「きぼう」完成以前から現在に至るまでは、JAXA自らが「きぼう」の持つ魅力を広報し、興味を持つ研究者を重点的に支援し、その成果を知らしめて更なる利用拡大を図る、「きぼう」利用開拓の過渡的時代と位置づけられる。
- しかし、「きぼう」が完成して利用が本格化した現在、研究者の側が自らの研究テーマに最適な手段の一つとして「き

ぼう」を主体的に利用し、JAXAは「きぼう」の施設管理・研究支援に徹する方式に移行すべき段階。

今後の「きぼう」利用の方向性

- 「きぼう」を利用した実験や技術実証については、①宇宙開発利用にとって必要不可欠な課題、②科学技術・イノベーションのための先端研究施設としての利用課題、の2者について明確に切り分けて扱うことが必要。
- 前者の宇宙開発利用にとって必要不可欠な課題については、国としての長期的な宇宙開発戦略に従った利用を行っていくことが必要。
- 後者の科学技術・イノベーションのための先端研究施設としての利用課題については、次に述べる利用システムの改革の中で、研究者の側に主体性を持たせた利用の仕組みに移行し、成果の出口についても研究者の視点で設定されることが必要。その場合、成果の出口は、「きぼう」の施設としての特性や利点を最大限に活かし、社会や産業的な利益に直結するのみならず、より根源的・基礎的であり学術的にも産業的にも波及効果の高いものとなる可能性もあることに留意。

「きぼう」利用のシステム改革

- 特に、優れた利用成果が継続的に生み出されるためには、どの分野においてもトップ・サイエンティスト(大学のみなら

ず産業界を含む。)が一定規模のマスで存在するコミュニティーにおいてピア・レビューによって研究テーマが選定されることで、学術的な意味でも産業的な意味でも波及効果の高い優れた研究テーマが選定されることが確保されるようなシステムを構築することが必要。

- 本年5月、理研とJAXAの協定が締結され、理研の研究者やその属するコミュニティーが主体的に「きぼう」利用の可能性を検討する取組が始まったところ。そこでの成果や課題を基に、従来の公募システムに加え、今後、理研以外の機関との提携の可能性や、「きぼう」を大型共用施設として運用する体制等を検討し、各分野で第一級の成果を上げている中核的研究機関が主体的に参加・利用できる仕組みを強化していくことを目指す。その結果、利用者コミュニティーの側で自律的に優れたテーマ選定がなされ、「きぼう」の利用が拡大していくことを期待。
- ただし、「きぼう」の利用が利用者側で自律的拡大に向かうとしても、場所が宇宙であるが故に手軽な利用を阻む要因があるということ認識し、宇宙実験実施までの支援体制の整備など、その克服のために必要な支援措置があわせて必要。また、利用者が使いやすく、かつ高度な実験が可能となる宇宙環境利用技術の開発も必要。

C. 有人技術・宇宙探査

総論

- 打上げ・運用と並行し、単なる技術の改良や高度化にとどまらず、新たな輸送系システムの検討や開発は、ポスト・ISS計画をにらんだ新たな国際有人宇宙探査プログラムの構想が様々な場で議論され始めた昨今の状況にかんがみれば、将来、我が国が国際的な議論の場において対等かつ主導的な立場を確保するために不可欠。
- 特に、ISS計画での貢献実績や継続的な活動は、将来の国際共同プログラムのミッション検討、技術的な標準や仕様、枠組み等のルール作りにおいて、我が国が発言力や主導力を発揮するのに欠かせないものとなる可能性が高い。
- ISS計画は日本の唯一の有人プログラムであるため、計画からの脱退は、日本において有人プログラムを断念し、これまで「きぼう」やHTVの開発・運用で積み上げた有人宇宙技術を手放すことを意味する。
- 米国及びロシアは、圧倒的な技術力や経験を基に、今後も有人活動や宇宙探査活動において主導的な立場を維持していくものと考えられるが、既に有人輸送技術を保有する中国など新興国の台頭を踏まえれば、2020年以降の宇宙開発利用の勢力図において我が国が現在と同様の位置取りを確保できている保証はなく、むしろ危機感を持って、戦略的な技術開発を行っていくことが必要。

- 宇宙開発担当大臣の下に置かれた月探査に関する懇談会では、有人宇宙活動への技術基盤構築の目標として、『2020年頃までに、有人宇宙活動の根幹となる有人往還システムについて鍵となる要素技術等の基礎段階の研究開発に取り組み、実現の見通しを得る』との方向性が出されようとしている。また、同懇談会では、有人宇宙活動そのものについては検討範囲を越えるものとして本格的な検討は行っていないが、有人宇宙活動の在り方として、『巨額のコストがかかることから、我が国一国で取り組むことは非現実的であり、国際協力が必須となる』との見解が示されている。
- 以下に述べる技術開発の方向性は、将来的な我が国の有人宇宙活動の方向性に即したものとなるべきであるが、本特別部会での検討において認識された戦略的な技術開発の方向性や課題は次のとおり。

宇宙ステーション補給機(HTV)

- HTVは国家基幹技術の宇宙輸送システムの一翼を担い、我が国の総合的な安全保障や国際社会における我が国の自律性を維持する上で不可欠である。また、HTVは極めて高い信頼性をもって製造・運用する技術が要求され、幅広い分野に波及効果をもたらすとともに、開発を通じ、世界をリードする人材育成にも資するものである。
- 昨年9月に初めての補給ミッションを成功したHTVは、国際的にも高い評価を受けており、ISS運用にとって不可欠な

物資輸送手段となっているため、今後も安定的な運用を行っていくことが非常に重要である。

- スペースシャトル退役後の回収能力の著しい低下を考慮すると、HTVへの回収機能の付加は、ISSの万全の運用体制確保の観点からも期待が高く、早急に開発に着手し、早期に技術実証を行う必要がある。
- 更なる発展が期待されるHTVは、将来の国際共同プログラムの検討において無視できない存在となり得るものに育てることが、我が国の発言力や主導力の発揮に不可欠。そのため、HTVの発展を含む輸送系の長期的な技術開発戦略を早急に検討することが必要。

ISSを活用した宇宙探査技術の実証

- 我が国は、これまで「きぼう」やHTVの開発により、有人宇宙技術体系における多くの技術を獲得してきた。今後は、未だ獲得できていない技術、更なる高度化や発展が必要な技術、要素技術を組み合わせた新たなシステムなど、将来の有人宇宙開発に必要な技術課題は多々ある中で、どのような技術実証を行っていくかについて、ポスト・ISS計画の将来も視野に入れ、国際共同プログラムにおける我が国の技術優位性の確保、我が国独自の宇宙活動の拡大に不可欠な技術について、優先順位を明確にして取り組む必要がある。

- 今後ISS計画の中で優先的に獲得することが提案された技術課題は別表のとおり。詳細な計画策定に当たっては、専門家の評価を行うことが必要。

D. Innovationと産業競争力

ISS参加による産業育成の観点での成果

- ISSへの参画は、世界レベルの技術力をアピールや企業ブランドの向上につながり、海外企業とのビジネスチャンスの創出をもたらす。
- 「きぼう」の開発・運用には約650社の国内企業が参画しており、国内産業の育成に貢献。
- 海外の技術者との交流により、国際的なネットワーク作りを行い、国際感覚を持ち、国際的な規格作りに参画できるレベルの技術者を育成することが可能となる。
- 「きぼう」やHTVの開発を通じ、高い安全性や信頼性を要求される大規模システムの設計・解析・インテグレーション技術を獲得。
- ロケットや宇宙機の継続的な打上げ・運用は、品質確保と技術の成熟化、中小企業を含む「ものづくり」力の維持、長期的な収入見通しによる企業の安定的な経営基盤となる等、我が国の自在な宇宙活動の基盤形成に不可欠。ISS計画に

おけるH-II B/HTVによる定期的な物資補給は、我が国の宇宙産業にとって既に欠くことのできない基盤の一部を構成。

国内宇宙産業の課題

- 宇宙事業は企業にとって長期かつ多額の投資となるため、ISS計画やその後も含め、国の確固たるビジョンに基づき、長期的な安定した開発・製造計画が見通せることが企業経営の観点で重要。
- 完成した技術の運用だけでは技術の進化・発展から取り残され、国としての自在性の確保の観点から、技術の発展のみならず次世代を担う技術者への技術継承が困難となる。そのためポスト・ISSもにらんだ新しい技術開発プログラムが必須。
- 海外では、軍需産業が航空宇宙産業を牽引しており、日本の宇宙産業はその点において克服すべきハンディキャップを負っている。

E. 青少年の教育・啓発への貢献

- 日本人宇宙飛行士の活躍や情報発信により、青少年にとって生涯にわたって持続する夢や知的好奇心を育み、科学技術に対する関心を喚起することから、「きぼう」は未来を担う世代を育てる貴重な教育の舞台にもなる。

- また、有人宇宙活動は、人間の持つ多彩な好奇心を刺激することのできる素材であり、青少年に対する教育・啓発効果のみならず、宇宙飛行士や技術者・研究者達が高い目標に挑戦する姿を通じ、国民に勇気や自信を与えるという意味でも波及効果の大きい活動である。
- 現在、日本人宇宙飛行士による軌道上からの交信イベントや全国各地での講演活動、一般からのアイデア募集による「おもしろ宇宙実験」の実施、宇宙飛行した植物種子の配布、筑波宇宙センターの各種施設展示など、有人宇宙活動に関連した様々な教育的活動が実施されている。
- また、日本人宇宙飛行士は、多忙な作業時間の合間に、ISSでの生活を紹介する映像を撮影するなど、一般の人々が宇宙に興味を持つきっかけを作るための広報活動も精力的に行っている。
- これらの貴重な素材を最大限活用することにより、科学技術立国を支える人材の育成に大きく貢献できるのではないか。
- また、ISSという限られた宇宙先進国しか手にすることのできない貴重な教材を、アジア諸国をはじめとする非参加国へも提供することで、国際貢献(人材育成、キャパシティ・ビルディングなど)の手段として活用することも必要であり、宇

宙外交、科学技術外交の中で積極的に活用していくべき。

F. 2016年以降の運用継続に関する見解

- 上記に述べた意義を踏まえると、ISS計画に代替し得る相応の意義や価値を持つプログラムは当面想定されず、将来的な効果や影響を考慮すると、ISS計画への参加継続を前提に、戦略性のある参加の在り方を検討することが妥当であると考えられる。
- ただし、「お付き合い」的な受動的継続では、現在得られている日本の強みを低下させることにつながり、外交面、技術面などあらゆる側面からの目的を明確にした戦略を持った能動的な参加が必要。
- 同時に、限りある予算を最大限有効に利用する観点から、「きぼう」やISSの維持・運用に関わる経費については、国際交渉による努力も含め、可能な限り効率化に務めるべき。

将来の有人宇宙開発に必要な技術領域と我が国の方向性

技術領域	世界の技術レベル	我が国の現状と方向性
低軌道からの帰還技術	<p>【米国・ロシア】 米露とも、人・物資とも帰還技術の実績は豊富。ただし、ISS 計画においては、米国はシャトル退役後は、現在開発中の民間輸送機に依存。ロシアも、ソユーズで3名までの人員輸送と 50kg 程度の物資回収のみに限定される。</p> <p>【欧州】 ATV に回収機能追加としてのARVを研究開発中(物資回収機の運用開始目標は2015年頃)。</p>	<p>USERS、OREX、HYFLEX、ALFLEXなどで帰還に係る一部の要業技術実証の実績はあるが、将来の有人化対応としての技術実証(軽量・大型化に配慮した熱防護、揚力飛行、定点誘導、衝撃緩和など)は未実施。</p> <p>HTV に物資回収機能を付加することにより、ISS 回収需要に貢献しつつ、かつ将来の有人機に不可欠な帰還技術の設計開発手法の見通しも効率的に得ることが期待できる。</p>
生命維持技術 (空気再生)	<p>【米国・ロシア】 米露とも、活性炭や触媒による空気の清浄化を実施し、運用実績は豊富。また、将来の有人宇宙活動に必要となる CO2 から O2 への再生技術が今後軌道上実証予定。</p> <p>【欧州】 現時点での軌道上運用実績はないが、研究開発を実施中。</p>	<p>空気循環と湿度管理については、「きぼう」の開発・運用で実績はあるが、空気再生技術開発の実績は現時点ではない。</p> <p>ただし、空気再生技術については、日本の得意とする環境技術をベースとして、常温触媒による省電力の空気清浄化技術の研究、及び低い反応温度での CO2 から O2 への再生技術の研究も進んでいる。今後は、軌道上での技術実証を早期に実現していくことが肝要。</p>
生命維持技術 (水再生)	<p>【米国・ロシア】 ISS では尿などの汚水を蒸留した上で逆浸透(RO)膜でろ過する方法で飲料水に再生している。(ただし、大電力が必要)</p> <p>【欧州】 現時点での軌道上運用実績はないが、研究開発を実施中。</p>	<p>逆浸透(RO)膜は日本企業が世界トップシェアを誇る得意技術であり、高効率型の RO 膜を活用した水再生技術も地上で既に実証済。</p> <p>また、アンモニアを蒸留ではなく効率的な電気分解除去する研究も進み、世界水準を超える技術獲得も期待。</p>
宇宙医学	<p>【米国・ロシア】 1960年代から技術開発を実施し、現在までに様々な宇宙医学データを取得・蓄積済み。今後も将来の有人宇宙探査に向けて研究活動を継続実施中。</p> <p>【欧州】 宇宙飛行士の搭乗機会を利用して獲得中。</p>	<p>宇宙飛行士の搭乗機会を利用して、ISS でのデータ取得を継続的に実施中。</p> <p>骨量/筋肉量減少予防対策や放射線被曝管理では ISS で一定の実績があり、高齢化社会への貢献など、地上への応用も進みつつある。今後も計画的な推進が不可欠。</p> <p>また、長期滞在飛行士の心理的ストレス緩和方法、医療システム開発などは、将来の有人宇宙活動にとっても必要不可欠であり、「きぼう」を活用した技術実証を実施していくことが必要。</p>
宇宙服技術	<p>【米国・ロシア】 様々な有人宇宙プログラムにおいて、独自に技術を確立し、運用実績も豊富。</p> <p>【欧州】 宇宙服の開発は未実施。要素レベルの基礎研究は実施中。</p>	<p>宇宙服の開発は未実施だが、基礎研究は実施中、特に日本が誇る世界有数の技術(多機能繊維、縫製技術、小型電源等)を駆使することで、脱空素作業(プレブリーズ)不要な 0.58 気圧での宇宙服運用の実現など、最先端技術を獲得できる可能性がある。</p> <p>また、ISS を活用することにより、宇宙空間での宇宙服運用性能を無人、有人で効率的に技術実証が可能。</p>
ドッキング技術	<p>【米国】 有人機でマニュアルランデブー・ドッキング技術の運用実績は豊富。無人機の自動/自律ランデブー・ドッキングの技術実証の実績は少ないが、オバマ政権の新宇宙政策において、フラッグシップ技術実証のひとつとして挙げられている。</p> <p>【ロシア】 無人、有人機とも自動/自律ランデブー・ドッキング技術を確立し、運用実績も豊富。</p> <p>【欧州】 ATVにてロシアのドッキング機構を使用した自動ランデブー・ドッキング技術を獲得</p>	<p>有人安全を満足した無人の自動ランデブー技術はHTVで獲得。また、小規模無人機体による自動ランデブー・ドッキング技術は ETS-VI で実績がある。</p> <p>将来の軌道上活動に向け共通インタフェースのドッキング機構を利用することが検討されており、日本としても同様な機構を開発していくことが国際協力の中で求められる。</p> <p>また、ロボティクス支援がない場合でのドッキングを行うが可能とするため、HTV を活用したドッキング実験、その後の ISS とのドッキング実験を実施するなど、段階的な技術実証を計画的に進めていくことが必要。</p>

ISSの潜在的活用項目 1

1) National Lab.の活用

－ Life Innovation

- 有人宇宙飛行のための宇宙医学
- 基礎医学(地上では見落としていた現象の発見)
- 予防・先制・臨床医学(無重力下と重力下の比較から生体を知る)
- 脳研究
- タンパク質合成(DNAと生体の接点、添加物効果、創薬への期待)
- オーフアン疾病用基礎研究
- 生命の歴史性の究明

－ Green Innovation

- 極限環境における3R技術への挑戦(「有限地球号」のシミュレーション)
- 地上災害観測・環境監視:目視による新たな展開(「火の見櫓」、Analog戻り)

－ 物質・材料研究

- Nano-Technology
- 高分子材料合成
- 金属・半導体結晶材料:現状では期待小

ISSの潜在的活用項目 2

2) Engineering Test Bed (技術実証試験台)の活用

「きぼう」完成とHTVの定期運行により、容易なアクセスの実現と暴露部活用で生まれた新たに提案された利用発想。軌道上実験と地上実験の呼応・連携が前提。修理等も可能とする装置開発(ロボット・アーム等)ならびに有人操作の拡大の検討・実現が必要。

- 最先端リモセン用センサー機能の動作確認実験
- 動物実験の拡大(ラット等)の可能性
- 宇宙空間での部品信頼性確認(ジャイロ、回路)
- 小型衛星の動作確認実験
- 地球環境の特殊性(酸素、重力の働き等)の発見
- 複数衛星NW化確認実験のための有人制御拠点
- 天然資源採掘プラントの目視監視の有効性確認
- 目視による安全保障の可能性確認

3) 宇宙滞在体験による知の拡大(青少年のフロンティア精神高揚等)

- 芸術
- 地上環境への新たな発想創出(人類生息困難地域への理解を含む)
- 文明(国境等)への理解
- 宇宙旅行
- 有人宇宙探査(惑星、ラグランジェ点)

ISSの潜在的活用項目 3

4) 恒久宇宙基地化を視野にいれた検討施設

- すでに日常化した有人宇宙基地の撤退を人類は許容できないのではないか？
- 中国、ロシア等は、独自の宇宙基地構築？
- もしそうであれば、ISSの更改・改良計画の検討も開始されよう
 - 暴露部等の増設・追加(ランデブー)
 - 観光対応施設増設
 - 宇宙空間での国際安全保障