

資料48-1-3

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48回) 2022. 10. 21

ポストISSにおける我が国の地球低軌道活動について

2022年10月21日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
有人宇宙技術部門

本資料記載項目

- (1) これまでのISS利用の実績と成果の振り返り**
- (2) ポストISSにおいて想定される国による利用分野**
 - 人材育成**
 - 国際宇宙協力・外交**
 - 技術開発・実証**
- (3) まとめ**

(1) これまでのISS利用の実績と成果の振り返り

- ISS計画への参加から、宇宙基本計画に記載されている5つの分野で、将来の活動に寄与する様々な成果を獲得し、ISSは、引き続き高い利用価値が見込まれている。

宇宙基本計画記載項目	ISSでこれまでに獲得した成果	今後のISSで期待される成果・貢献等
(1) 国際宇宙探査で 必要となる技術実証	ISS計画への参加により、 アルテミス計画や将来の低軌道活動において、 日本が重要な役割を担い先導するために不可欠な 高度技術やノウハウを獲得 、また、 アルテミス計画参画を実現	◆ 今後、宇宙実験等の遠隔化・自動化・自律化や高効率の環境制御・生命維持システム等の 深宇宙探査に不可欠な技術の獲得が見込まれる 。 (ISSは、 今後の国際宇宙探査への貢献が可能 。)
(2) 宇宙環境利用を通じた 知の創造	優位性の高い独自の宇宙環境利用技術により、 「健康長寿の延伸」「革新的材料創出」等の 国の課題解決に繋がる成果を創出 、 また、「 知の創造 」に繋がる様々な科学的知見を獲得	◆ 独自の利用技術のプラットフォーム化・民間移管・事業化の推進により、 更なる成果創出 、民間による利用者開拓や効率化等による 需要拡大が見込まれる 。 (JAXAは、 より高度な利用技術開発に注力)
(3) 新たなビジネス・ サービスの創出	他極に先駆けた有償利用制度の導入、 技術支援、事業移管、事業共創活動等により、 「きぼう」という低軌道活動の場を提供、 多くの民間企業の参入を実現	◆ 自社事業に寄与する利用、非宇宙業界も含めた企業のアイデアと自己資金による多様な利用・事業化が進展し、ISSは、 今後も高い利用価値と利用の増加が見込まれる 。
(4) 宇宙活動を支える 人材基盤の強化	宇宙飛行士や宇宙開発技術者の育成、若手研究者・ 大学生等の能力構築、青少年への科学技術等への 興味や関心の喚起・教育にも大きく貢献し、 人材育成の好循環の形成	◆ 今後も、多様な分野の人材の参加を促進しつつ、 将来を担う飛行士、技術者等の育成・実践の場として 、また、 青少年育成にも貢献することが見込まれる 。
(5) 国際宇宙協力の 強化	ISS国際パートナーとしての貢献、日米共同実験、アジア諸国・新興国に対する日本を通じた低軌道活動への参加機会の提供等により、 日本の国際プレゼンス向上、各国との関係強化に貢献	◆ 地球低軌道は、民間参入やISS参加国以外の活動も活発化。将来の民間主体の国際連携も見据え、 ISSの国際宇宙協力で築いた資産を発展させることで、国際プレゼンス更なる向上・関係強化が期待される 。

(2) ポストISSにおいて想定される国の利用分野

- **人材育成**
- **国際宇宙協力・外交**
- **技術開発・実証（国際宇宙探査等）**

※文部科学省資料（資料48-1-2）

P.9 地球低軌道利用ニーズ に記載された
官が利用者となる赤点線枠部分に関する説明

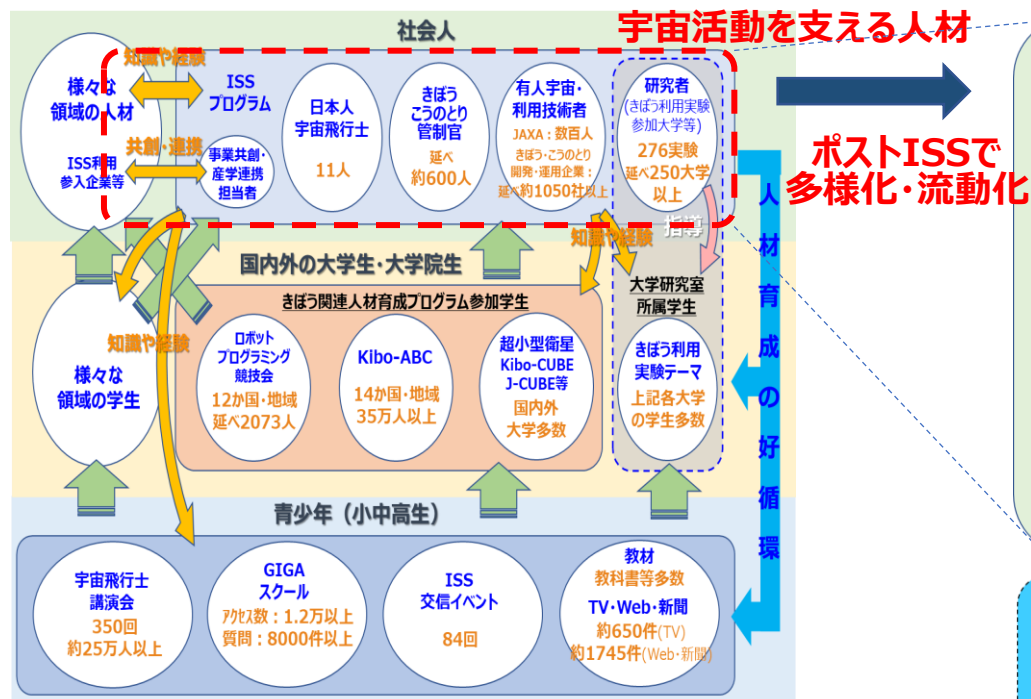
(2) - 1 人材育成

■ ポストISSでの多様な活動需要は、宇宙分野も含めた人材の多様化と流動化を促進し、「**より広い範囲の人材育成の好循環**」が形成され、我が国の**産業界・教育界等に広く波及する可能性**がある。

⇒低軌道活動を通じた人材育成は、**宇宙分野以外も含む我が国の人材育成の基盤として、ポストISSでも、維持・発展させていくことが重要**。

- ISSは、研究者・技術者、若手人材のチャレンジ・成長の機会を拡大。国際宇宙探査は新たな人材育成の場と想定される一方、**低軌道は世界各国の参加が拡大**しつつあり、**持続的かつ幅広い人材育成の場**となる。
- 我が国の**低軌道活動が縮小する場合、若手人材や青少年の関心喚起や知識・経験の継承機会も減少し、新興国や他産業分野も含めた人材の育成の好循環が損なわれる**。

ISS計画への参加により築いた人材育成の好循環



より広い範囲での人材育成のイメージ



(2) - 2 国際宇宙協力・外交

■ ポストISSでも、引き続き、**国による活動の機会を活用し、日米連携（※1）、ISSで培った技術やサービスによる新興国等への支援（※2）**など、**プレゼンスの維持・向上、他国との関係強化を図ることが重要。**

- 国際宇宙探査への参加による国際宇宙協力推進・国際プレゼンス発揮は見込まれるが、頻度や期間の観点から希少な機会となる。他方、**有人低軌道活動は頻度も高く、ISSでの実績から高いプレゼンス発揮が見込まれる。**
- **中国が独自の低軌道ステーションを建設中**（国連等を通じた他国への利用機会提供も推進）で、**ロシア、インドも独自のステーション構想**を有しており、ISS後に、**日本の低軌道でのプレゼンスの空白を生まないことが極めて重要。**
- ISSを通じた**国際協力、新興国支援は、首脳会談等で言及・謝意表明**されるなど、**重要性が増している。**

ISS計画への参加により進めてきた国際宇宙協力

「こうのとりの」物資補給によるISSの安定運用への貢献 (2022/2/14時点)

補給船	成功率(%)
HTV(日)	100%
プログレス補給船(露)	96.3%
ドラゴン補給船(米)	95.8%
シグナス補給(米)	93.8%

100%の成功率と大型貨物輸送

宇宙飛行士の活躍によるISSへの貢献 (2022/2/14時点)

各国のISS滞在累積日数

国名	日数
1 米国	約15272日
2 ロシア	約14501日
3 日本	約1602日

米露に次ぐISS滞在実績

日米協力の枠組みJP-US OP3を通じた協力

月面相当重力環境のマウス長期飼育ミッション等（15件）

JAXA飼育装置 NASA飼育装置

アジア太平洋地域の多国間協力枠組み Kibo-ABCによるISS利用促進

2回で延べ19ヶ国 2000人が参加

6回で11ヶ国から参加 3回で35万人参加

公募型簡易宇宙実験 植物栽培教育ミッション 学生ロボットプログラミング競技会

ポストISS時代における国際プレゼンス発揮の形

国際宇宙探査への貢献を通じた国際パートナーとしてのプレゼンスの発揮
インパクトは大きい一方で低頻度・短期間が想定される

※1 **日米協力を基軸とした低軌道での国際プレゼンスの発揮**

米国は、民間パートナー、国際パートナーと協力し、ISS後も低軌道における米国のプレゼンスを確保することを重視

※2 **新興国等への支援を通じた低軌道活動の強みを活かした国際プレゼンスの発揮**

新興国の低軌道活動へ進出意欲の高まりにより、新興国からの協力要請・期待が高まると想定される

(2) - 3 技術開発・実証

- 2040年代の地球低軌道活動を想定した場合に、下記の3つの技術獲得のため、**ポストISSにおいても地球低軌道における持続的な技術獲得活動（技術実証等）の場が必要。**

参考 2040年代の地球低軌道活動の姿：（第45～47回小委員会での議論より）

我が国の産学官が自在かつ持続的に宇宙環境利用を行い、有人宇宙滞在の場としても多様な宇宙活動の進展が図られていることを目指す。

(A) 国際宇宙探査に必要な技術の実証（P8参照）

- 2040年代の探査活動を想定した際に、我が国として獲得すべき技術について、ポストISSの活動の場での実証を行う。

(B) 国の研究（知の創造・社会課題解決）を推進するために必要な技術の発展・高度化

〈次回小委員会にて説明〉

(C) 民間主体の宇宙活動を支える先進的・基盤的の技術の獲得（P9参照）

- ポストISSの活動において、日本企業が主要な役割を担い、持続的に成長できる形を実現するため、国の技術的支援としての研究開発を行う。
- 想定される民間活動のニーズを踏まえ、国として新たに獲得を目指すべき技術
 - 宇宙旅行 有人宇宙船技術、有人ロケット技術
 - 宇宙製造 宇宙製造技術、自動化技術、物資回収技術
 - 宇宙ラボ クルー支援ロボット技術 等

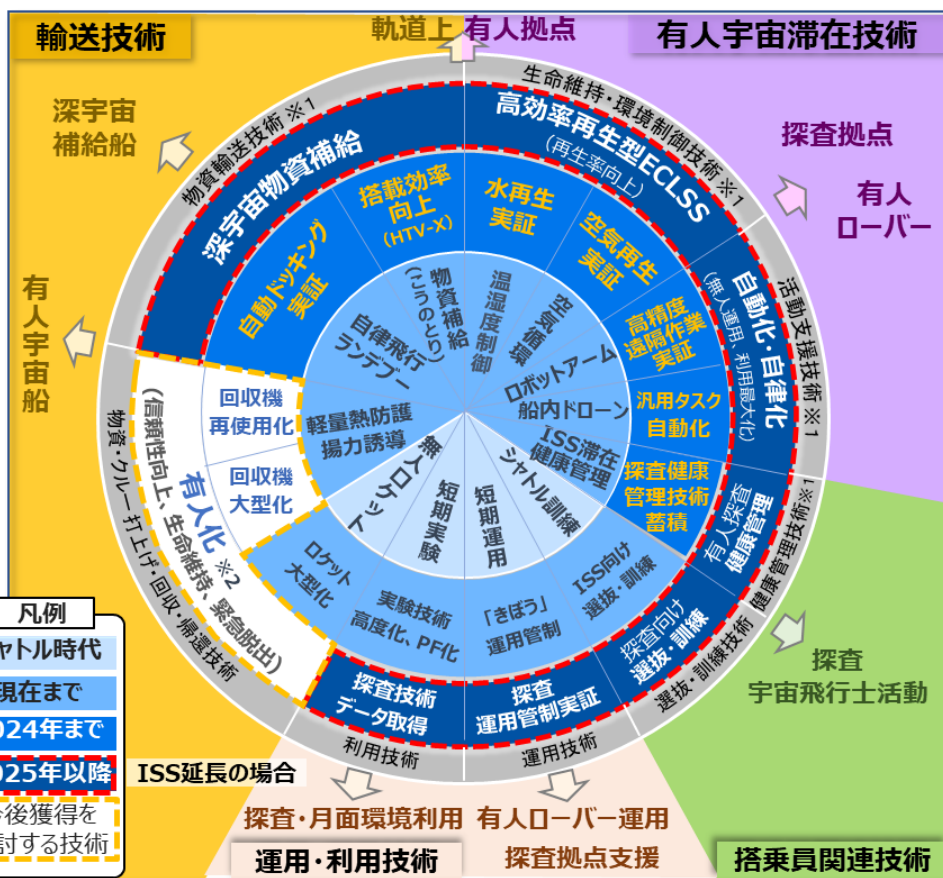
(2) - 3 技術開発・実証 (A) 国際宇宙探査に必要な技術の実証

- ISS計画への参加により進めてきた「有人宇宙技術」の獲得は、地球低軌道は、**将来の国際宇宙探査活動や地球低軌道活動で必要となる技術の実証、また、技術の成熟・更なる高度化を図るために重要な活動の場。**

(我が国の有人宇宙活動の持続性・自律性の確保、国際競争力の維持・向上の観点)

⇒ **ポストISSでも**、地球からのアクセスがよく、低コスト・高頻度で効果的な技術実証を自由に行うことができる**地球低軌道活動（技術実証）の場を国として確保し続けることは、非常に重要**

ポストISSで引き続き取り組む技術



- 図の4つの分野（※）の各技術の獲得は、将来の探査活動や低軌道活動で活用が想定されるアセット（深宇宙補給船、有人ローバー、有人宇宙船等）の実現に繋がる。

※輸送技術、有人宇宙滞在技術、搭乗員関連技術、運用利用技術

- 識別した各技術は、**日本や他国の動向等も踏まえ、以下の観点から、ISSおよびポストISSにおいて、継続的に、技術の獲得・成熟・高度化等に取り組んでいくことが重要。**

(P10参考1、P11参考2、P13参考3参照)

- 我が国の優位性の維持・向上
- 自律性確保
- 新たな強みの確保

(2) - 3 技術開発・実証 (C) 民間主体宇宙活動を支える先進的・基盤的技術の獲得

■ 図に示すように、**ポストISSで想定される民間主体の活動におけるニーズを踏まえ**、必要と想定されるアセットから、その**実現に必要な技術を整理し分類**。それに応じて、**官は、各技術の獲得において民を支援**する。

- 民を支える官の新たな取り組みとして官民連携で取り組むべきもの
- 官のノウハウ等の資産を最大限活用し民主体で取り組んでいくべきもの



P10 参考1 参照



参考2 技術獲得に関する考え方

※ 低軌道での実証が必要な理由
 A: 探査活動に向けた技術の実証・成熟のため
 B: 低軌道活動に向けた技術の実証・成熟のため

獲得・維持する技術の位置づけ

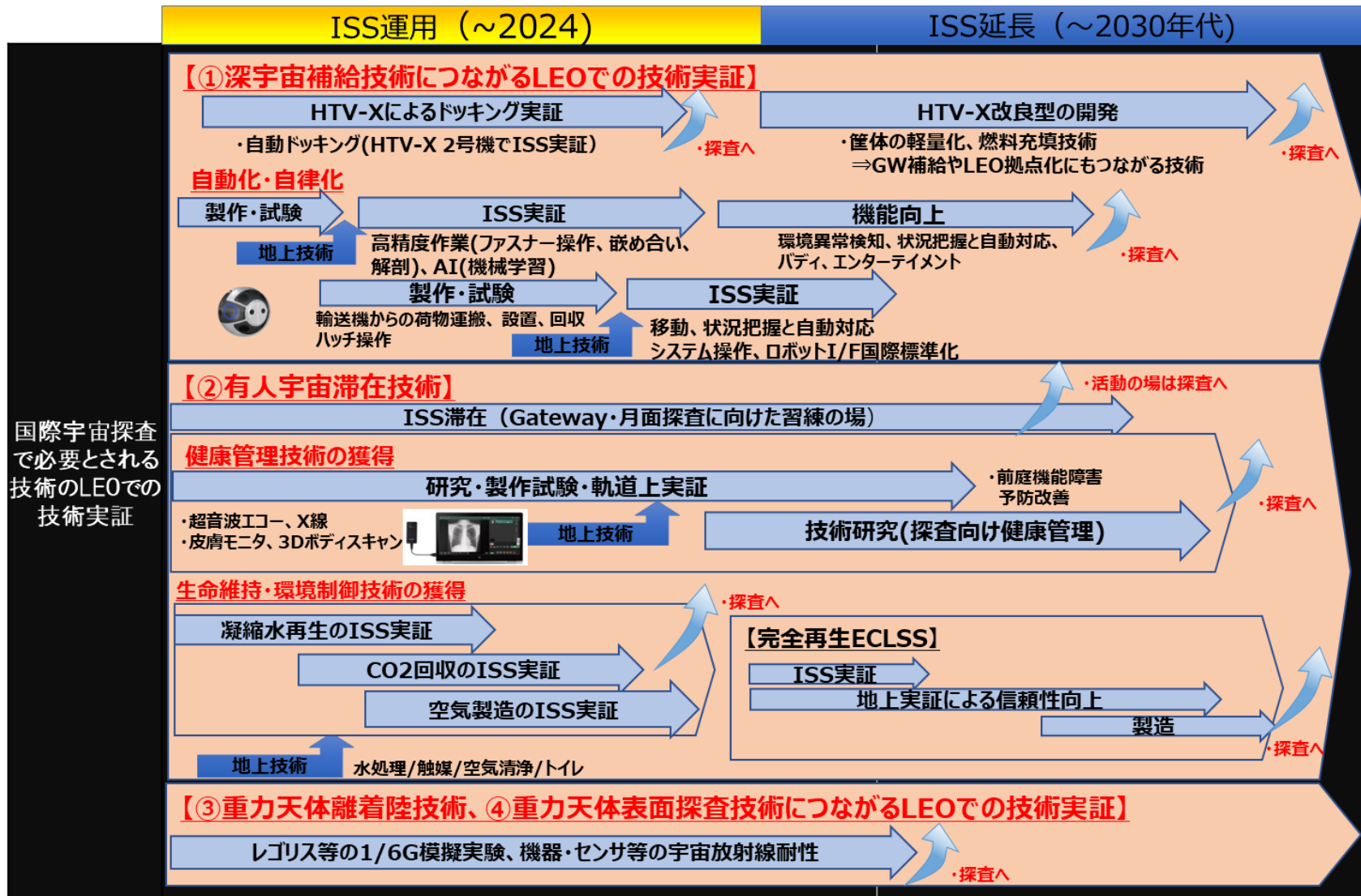
- ① : 現状、他国に対して優位。今後も強みとして維持していくべきもの。
- ②-1 : 現状、他国に対して出遅れ。自律性確保のために獲得を目指すべきもの。
- ②-2 : 現状、他国に対して出遅れ。日本の得意分野であり優位性を確保し得るもの。
- ③ : 現状、他国も実現していないもの。先行獲得で強みとなり得るもの。

技術分野	低軌道で獲得していきべき技術	技術により実現するシステム	※	獲得・向上させる技術	位置づけ	技術の必要性、獲得する意義、日本や他国の状況等
宇宙滞在技術	環境制御・生命維持技術	高効率再生型ECLSS	A	・水再生率向上 ・空気再生率向上 ・廃棄物処理技術	②-2	<ul style="list-style-type: none"> ● 有人宇宙活動に必須。ISSで運用中の米国が先行。 ● 日本はGatewayに提供するECLSS機器を開発中。また、ISSで尿再生装置を技術実証中。技術発展には、低軌道実証を含む技術開発の継続が必要。
	活動支援技術	宇宙活動支援ロボット	A B	・船内宇宙活動支援ロボット技術	③	<ul style="list-style-type: none"> ● ロボット技術（遠隔操作化・自動化・自律化）の発展は、クルーの作業負担軽減を可能に。クルーは、人が行うべき活動にシフト可能。 ● 日米露がISS船内で一部活動を支援するロボットを実証済。日本は、より汎用的な作業を可能とする技術の先行獲得に向け研究開発を実施中。
運用利用技術	宇宙環境利用・実験技術	高度・高効率な実験システム	B	・高付加価値品製造技術 ・自動処理・自動制御技術	①	<ul style="list-style-type: none"> ● 静電浮遊炉、可変重力環境でのマウス飼育、高品質タンパク質結晶生成技術、多様な船外実験環境等、独自の優位な実験環境を整備し国際競争力を確保。 ● 引き続き細胞医療に向けた立体培養などの技術の高度化、それによるIn-spaceでの高付加価値素材創出、自律性を高めるための自動化等を進める。
搭乗員関連技術	健康管理技術・宇宙医学	独自の健康管理システム	A	・可搬型（小型・軽量）医療機器システム等 ・生体試料の微量分析・解析技術	②-1	<ul style="list-style-type: none"> ● 医療系専門知識がないクルーでも、微小重力下でも可搬の自動・自律的な医療機器システムにより、生命維持に必要な健康管理技術を確保。 ● 微小重力環境を考慮した微量分析・解析を使用した健康管理システム等の日本独自のシステム構築に向けた検討を実施中。
輸送技術	物資補給・回収技術	物資補給機（低軌道・深宇宙）	A	・輸送効率の向上 ・輸送コスト低減 ・軌道間輸送技術	①	<ul style="list-style-type: none"> ● HTV-Xで実現する優位性（低コスト・高輸送効率）を最高レベルで維持（国際競争力の継続確保）するには、低軌道での実証や技術成熟が必要。 ● 本技術は、独自の軌道間輸送機（他国も未実現）の獲得にも繋がり、国際競争力により、効率的・効果的な国際パートナー手段が得られる。
			B	・補給機への回収機能付加	②-1	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律的で自在な物資回収能力は、ポストISS拠点で製造が想定される高付加価値品（新材料や医療用組織等）の回収において非常に重要。 （米露中のみ保有。日本は小型カプセルで実績があるが、大型回収機開発は未着手）
		B	・高頻度回収	③	<ul style="list-style-type: none"> ● 大型機は低頻度。小型高頻度回収システムは、他国も実現してない。 （日本は小型回収カプセルで一部技術実証。最初に実現すれば競争力確保が可能） 	
	有人ロケット技術	有人往還システム	A	・有人飛行向け安全技術 ・緊急脱出システム	②-1	<ul style="list-style-type: none"> ● 有人宇宙活動に必須。自律性確保のためには独自技術獲得が必要。 ● 日本は、2040年代実現を目標に革新輸送システムの検討を実施中。 ● 米露中のみ保有。米では民間企業（2社）が運用中。
有人宇宙船技術	A B		・生命維持技術 ・搭乗員インターフェース ・着陸/着水衝撃緩和	②-1	<ul style="list-style-type: none"> ● 有人宇宙活動に必須。自律性確保のためには独自技術獲得が必要。 ● 日本は、2040年代実現を目標に要素技術研究・システム概念検討を実施中。 ● 米露中のみ保有。米では民間企業（2社）が運用中。 	

参考3 各国の技術獲得状況の比較

魏j津分野	低軌道で獲得して いくべき技術	技術により 実現する システム	獲得・向上 させる技術	日本	米国	欧州	ロシア	中国	他
宇宙滞在 技術	生命維持・ 環境制御技術	高効率 再生型ECLSS	・水再生率向上	△ ISSで 尿再生実証中	○ ISSで実運用中 再生率向上を計画	× 地上研究中	○ ISSで実運用中	○ 天宮で運用中	×
			・空気再生率向上	△ Gatewayに機器搭載、 ISSでCO ₂ 除去実証を 計画	○ ISSで実運用中 新技術研究中	△ ISSで 空気再生実証中	○ ISSで実運用中	○ 天宮で運用中	×
			・廃棄物処理技術	× 地上研究中	○ ISSで実運用中 新技術研究中	×	○ ISSで実運用中	○ 天宮で運用中	×
	活動支援技術	宇宙活動支援口 ポット（船内）	・船内活動支援ロボット技術 （遠隔化・自動化・自律化）	△ 一部ISSで実証 （船内ドローン）	△ ISSで実証 （ドローン/人型）	△ 一部ISSで実証 （船内ドローン）	△ 一部ISSで実証 （人型）	×	× 開発中 （ドローン）
宇宙活動支援口 ポット（船外）		・船外活動支援ロボット技術 （遠隔化・自動化・自律化）	○ ISSで運用中	— ISSでは カナダアーム利用	○ ISSで運用中	— ISSでは 欧州アームを利用	○ 天宮で運用中	カナダ ◎ ISSで運用中	
運用利用 技術	宇宙環境利用 実験技術	高度・高効率な 実験システム	・高付加価値品製造技術 ・自動処理・自動制御技術	○ ISSでの運用を 通じ適宜更新	○ ISSでの運用を 通じ適宜更新	○ ISSでの運用 を通じ適宜更新	○ ISSでの運用 を通じ適宜更新	△ 天宮で 利用開始	×
搭乗員 関連技術	健康管理 宇宙医学	独自の 健康管理 システム	・可搬型（小型・軽量）医療 機器システム等 ・生体試料の微量分析・解析 技術	△ ISSで ホルター心電計・ 毛髪解析実施済	△ ISSで 解析実施中	△ ISSで 解析実施中	△ ISSで 解析実施中	不明	カナダ △ ISSで実証中
輸送技術	物資補給 回収技術	物資補給機 （低軌道・深宇 宙）	・輸送効率の向上 ・輸送コスト低減 ・軌道間輸送技術	○ ISS:HTV運用完了 HTV-X開発中 Gateway:研究中	○ ISS:運用中(民間) Gateway:開発中 (民間)	△ ISSで運用終了	○ ISS:運用中	○ 天宮で運用中	×
			・補給機への回収機能付加	△ ISSで実証（HSRC） 大型化未着手	○ ISS:運用中(民間)	×	○ ISS:運用中	○ 天宮で運用中	×
		・高頻度回収能力の獲得	△ 小型はISSで実証 （HSRC）	×	×	×	×	×	×
	有人 ロケット技術	有人往還 システム	・有人飛行向け安全技術 ・緊急脱出システム	×	○ ISS:運用中(民間) Gateway:開発中	×	○ ISS:運用中	○ 天宮で運用中	×
・生命維持技術 ・搭乗員インターフェース ・着陸/着水衝撃緩和	×		○ ISS:運用中(民間) Gateway:開発中	△ Orion SM開発中	○ ISS:運用中	○ 天宮で運用中	×		

(1) 国際宇宙探査で必要とされる技術の低軌道における技術実証
 国際宇宙探査に必要な技術を低軌道で先行的にISSにて技術実証を行うことにより、探査における4つの重要技術の獲得につなげる。以下に技術実証のロードマップ（概要）を示す。



将来地球低軌道に向けた4つの重要技術

将来LEOに向けた技術ロードマップでは、**民間事業者からの期待が高く地球低軌道の利用拡大に資する有人飛行に繋がる技術や探査にも関係するECLSS技術などを中心に4つの重要技術の獲得を目指す**。なお、技術の獲得にあたっては民間技術の積極的な活用や民間リソースを活用しつつ進める。



(3) まとめ

- ISSでは、宇宙基本計画に従い、各種成果を上げてきており、アルテミス計画のために不可欠な宇宙環境利用の場としての高い利用価値が引き続き見込まれる。
- ポストISSでも、地球低軌道は、以下に示す観点で引き続き重要であり、国として必要な低軌道有人宇宙活動を推進していくべきである。
 - 人材育成
 - 国際宇宙協力・外交
 - 技術開発・実証

(その他の活動の観点については、次回以降の小委員会にてご提示)