

宇宙分野に共通する 基盤技術開発について

令和 7 年12月

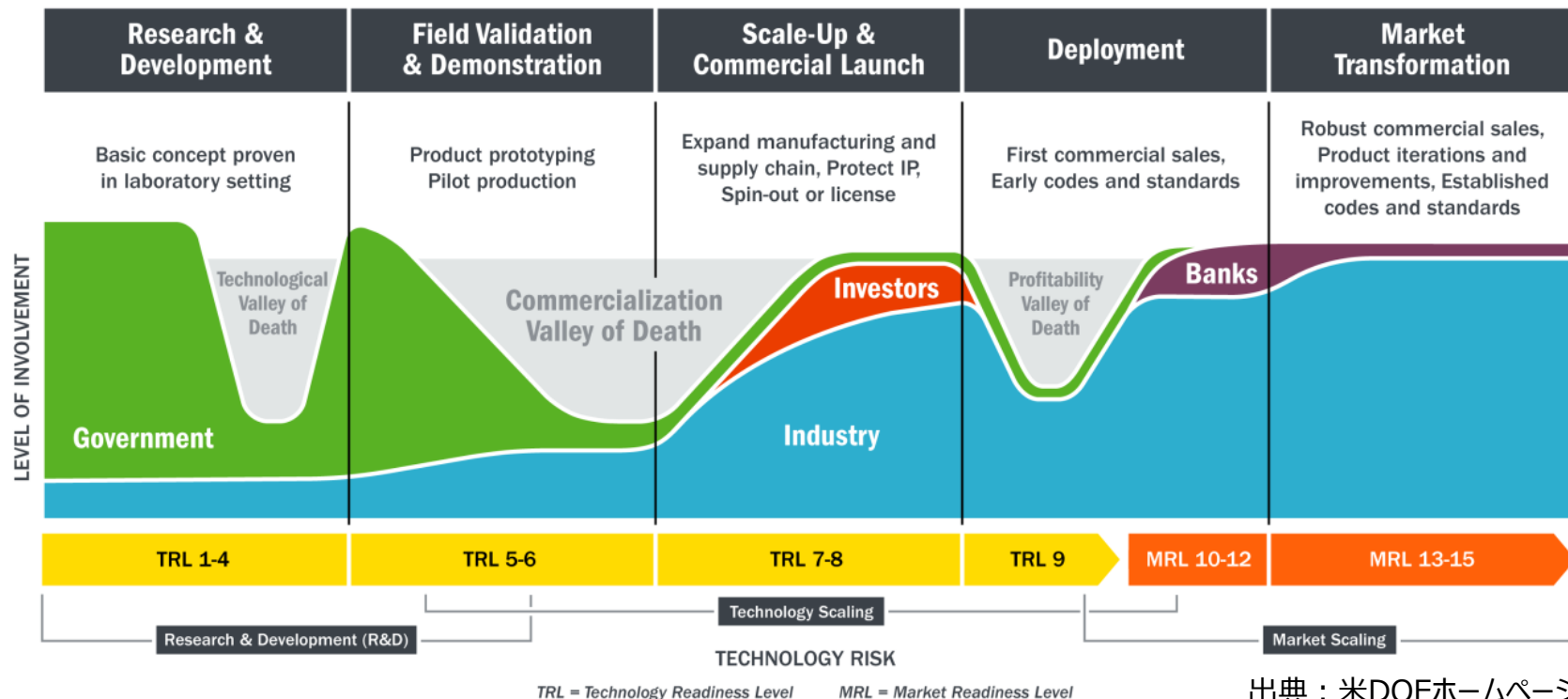
文部科学省 研究開発局 宇宙開発利用課

基盤技術開発の位置づけ

- 近年、宇宙分野に限らず、科学とビジネスが近接化し、科学に対する官民の投下資本が巨大化しているが、政府には、引き続き基礎研究を含む研究開発に対する継続的な取組が求められている。
- 宇宙分野においては、これまで主にJAXAが宇宙開発の中核機関として基盤技術開発を担ってきたが、上記の状況に加えて、宇宙開発利用のさらなる拡大に対応するためには、大学・民間企業等も含めて、我が国全体としての基盤技術開発の抜本強化が必要。

(参考)宇宙技術戦略(抜粋)

宇宙機の基盤技術における競争力の源泉は、コンポーネント・部品・材料・アプリケーション・システム開発技術である。しかし、技術成熟度がまだ低く、上記に分類できない先端技術を、いち早く宇宙分野に応用することも重要である。



出典：米DOEホームページ

宇宙分野に共通の基盤技術開発の背景

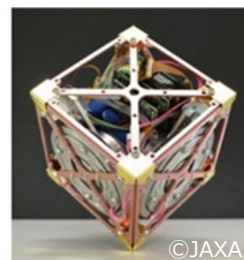
(背景)

- 諸外国や民間による宇宙活動が活発化し、競争環境が厳しくなる中、我が国の宇宙活動の自律性を将来にわたって維持・強化し、衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送などの各分野のミッションを実現させるためには、**各分野共通の基盤技術(技術成熟度が低い先端技術を含む)の開発に継続的に取り組むことが重要。**
- JAXAは、我が国の宇宙開発の中核機関として、**基盤技術の開発を推進**しており、例えば、国際競争力を有する搭載機器・部品や高信頼性ソフトウェアに係る基盤技術開発を通じて、宇宙プロジェクトの競争力強化や課題解決に貢献。
- また、宇宙戦略基金(SX中核領域発展研究)においては、**大学・民間企業等による**宇宙空間における熱制御及び電子機器の利用の高度化や宇宙機の推進系技術や制御技術の高度化・革新に繋がりうる**要素技術開発等を推進。**
- なお、これらの基盤技術の開発に加えて、宇宙・非宇宙先端技術の宇宙への適用を促すための連携機会の確保、技術開発や実装の担い手として需要が拡大する**人材の確保は、各分野に共通する横断的な課題。**

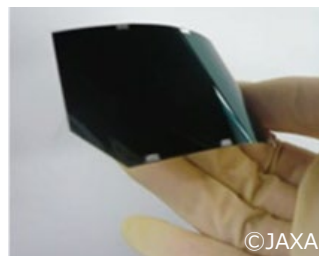
JAXAにおける基盤技術開発の例



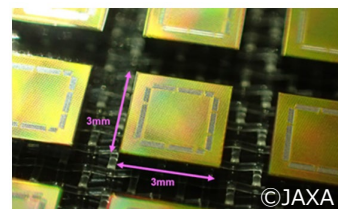
月面用粉塵シール



超小型三軸姿勢制御モジュール



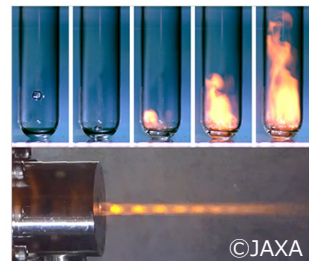
薄膜太陽電池セル



放射線耐性を強化した
半導体チップ



テラヘルツ用軽量高精度
複合材アンテナ



低毒自己着火二液式推進薬

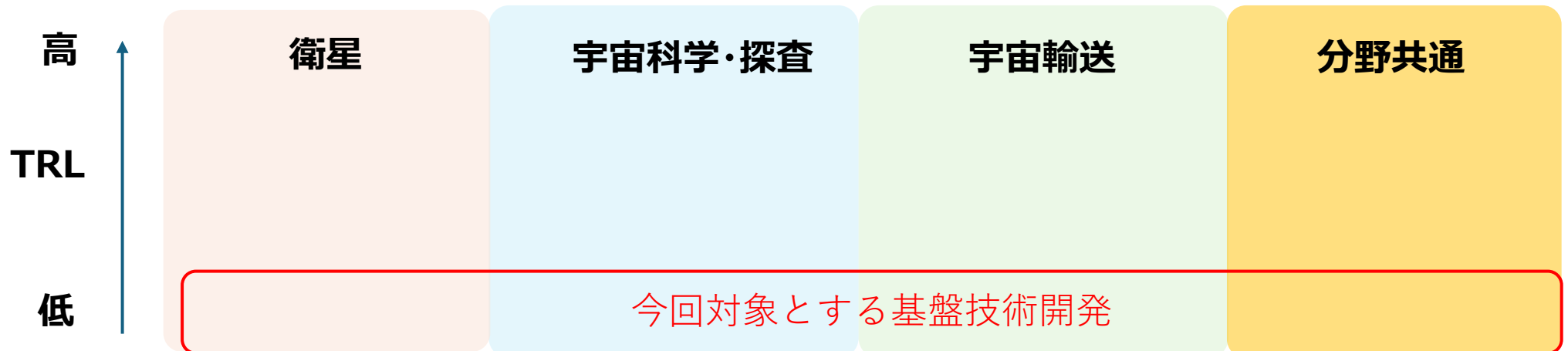
宇宙分野に共通する基盤技術に関する技術領域の特定

- 宇宙技術戦略の分析や有識者へのヒアリング等を踏まえて、現時点で特定された基盤技術としては、以下の12の技術領域と整理。なお、これらの技術領域は相互に深く関連している。

基盤技術に関する12の技術領域

熱	運動	構造	環境	通信	計測
デバイス	制御	材料	生存	処理	予測

分野に共通する基盤技術開発のイメージ（宇宙技術戦略をベースに整理）



宇宙分野に共通する基盤技術開発について【熱・デバイス】

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
熱	<p>【衛星】 <u>高効率排熱システム</u>、受動的熱制御による<u>局所排熱技術</u> (Ⅴ. (2) ③衛星の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術)</p> <p>【宇宙科学・探査】 数10K級の<u>冷凍機の長寿命化</u>、数K級の<u>冷凍機の開発</u> (Ⅰ. (2) ①宇宙用冷却技術)</p> <p>【分野共通】 冷却システムに必須の<u>極低温冷凍機等の熱系技術</u> ((2) ③宇宙機の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術)</p>
デバイス	<p>【衛星】 小型衛星向けの<u>デジタル電源</u>、電気推進電源の更なる<u>小型・高性能化</u>、<u>小型～大型衛星に活用できるフレキシブルなデジタル電源の国産化</u> (Ⅴ. (2) ②衛星の機能高度化と柔軟性を支えるSDS基盤技術)</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>全固体電池</u>、高エネルギー密度電池などを含む<u>蓄電技術</u> (Ⅲ. (2) ③エネルギー技術)</p> <p>【分野共通】 宇宙耐性のある<u>国産デバイス</u>、低消費電力、低価格、高信頼性、高性能な<u>コンピューティングデバイス</u> ((2) ①宇宙機の機能高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術)</p>

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
運動	<p>【衛星】 化学推進の高い推力と電気推進の高い比推力を両立させる<u>マルチモード推進系</u> （Ⅴ．（２）③衛星の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>超小型推進系</u>等のバスの能力の拡大 （Ⅱ．（２）②超小型探査技術）</p> <p>【宇宙輸送】 輸送能力の強化やロケットの使用性の向上、その先の完全再使用化や深宇宙への輸送の実現に向けて、<u>推進系の技術</u> （（２） ii ③推進系技術）</p>
制御	<p>【衛星】 小型から大型衛星向けの<u>ジャイロやCMG</u>、小型衛星向けの<u>統合姿勢制御ユニット</u> （Ⅴ．（２）②衛星の小型軽量化とミッション高度化を支える電気系技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>自律的誘導制御</u> （Ⅱ．（２）②超小型探査技術）</p> <p>【宇宙輸送】 <u>オンボード自律飛行安全技術</u> （（２） ii ④その他の基盤技術）</p> <p>【分野共通】 <u>姿勢制御技術</u>やセンサ技術、データ処理、時刻同期技術、複数宇宙機の自律的運用のための衛星間通信や衝突回避等の運用技術 （（２）⑤次世代の宇宙システムに向けた複数宇宙機の高精度協調運用技術）</p>

基盤技術開発の領域と技術戦略の記載【構造・材料】

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
構造	<p>【衛星】 <u>構造系技術の多機能構造、小型衛星向け新規構造アーキテクチャの検討、システムのスケーラビリティの確保を容易とするモジュール構造</u> （Ⅴ．（２）③衛星の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>着陸機を転倒しにくくする構造、重心管理、剛性、脚幅制約等を踏まえた設計能力</u> （Ⅲ．（２）②月着陸技術）</p> <p>【宇宙輸送】 <u>3D積層技術、複合素材成型技術、トポロジー最適化設計技術</u> （（２）②構造系技術、（２）⑤輸送サービス技術）</p> <p>【分野共通】 <u>3Dプリンティングをベースとした構造の自動設計やシミュレーション技術、アンテナを一体成型する等の製造技術の刷新</u> （（２）②宇宙機の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術）</p>
材料	<p>【衛星】 <u>CFRPを始めとする高比剛性、低熱膨張性を有する高機能材料の活用</u> （Ⅴ．（２）③衛星の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>断熱/伝熱/蓄熱を可能とする材料、アルミ素材よりも軽い炭素繊維強化プラスチック（CFRP）等を活用</u> （Ⅲ．（２）①宇宙用冷却技術、Ⅳ．（２）①物資補給技術）</p> <p>【宇宙輸送】 <u>複合素材成型技術</u> （（２）②構造系技術）</p> <p>【分野共通】 <u>3Dプリンティング技術については、採用する造形手法、その宇宙機やロケットの製造への適用範囲と、材料の種類を含め開発範囲が広い技術</u> （（２）②宇宙機の小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術）</p>

基盤技術開発の領域と技術戦略の記載【環境・生存】

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
環境	<p>【宇宙輸送】 搭乗員を軌道の上に送る技術を確立させるための<u>環境制御装置</u> （（２） ii ⑤ 輸送サービス技術） 衛星推進系や１段再使用機、軌道間輸送機等の低コスト化・効率化に有効なハイブリッドロケットを含む<u>低毒推進薬技術</u> （（２） ii ③ その他の基盤技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 有人宇宙活動に必要な<u>二酸化炭素除去、有害ガス除去、圧力制御、温湿度制御</u> （Ⅳ．（２）③ 有人宇宙滞在・拠点システム技術） <u>呼吸用酸素や宇宙機の推進を月面で生成</u> （Ⅲ．（２）⑦ 月資源利用技術技術）</p>
生存	<p>【宇宙輸送】 搭乗員を軌道の上に送る技術を確立させるための<u>生命維持装置</u>（与圧キャビン・与圧服などを含む）の基盤技術、搭乗員の安全確保にむけた<u>異常検知や緊急退避の基盤技術</u> （（２） ii ⑤ 輸送サービス技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】 <u>タンパク質結晶生成等創薬を支援する技術</u>、小動物飼育実験などの<u>健康長寿研究支援技術</u>、細胞立体培養等の<u>細胞医療研究支援技術</u>、 （Ⅳ．（２）④ 宇宙環境利用・宇宙実験技術） <u>健康管理技術</u>（QOL 向上を含む） （Ⅳ．（２）③ 有人宇宙滞在・拠点システム技術）</p>

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
通信	<p>【衛星（Ⅰ．通信を除く）】光通信技術等による高速・高頻度ダウンリンク技術 （Ⅲ．（２）②時間情報を拡張するコンステレーションに関する技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】長寿命化、<u>超長距離通信</u>、超軽量電源、超小型推進系等のバスの能力の拡大とともに、自律的誘導制御、軌道決定、<u>探査機間通信</u>、自律分散的意思決定等の複数機のネットワーク運用技術（<u>地上局運用の効率化</u>含む）</p> <p style="text-align: right;">（Ⅱ．（２）②超小型探査技術）</p> <p>【宇宙輸送】<u>洋上での通信・管制システム</u>による多様なミッションへの対応など、<u>打上げ運用の効率化・高度化技術</u></p> <p style="text-align: right;">（（２）ii④その他の基盤技術）</p>
処理	<p>【衛星】データ取得と同時にデータ解析を行う<u>オンボードエッジコンピューティングの高度化や省電力化</u>、複数の観測衛星で撮像したデータと静止軌道や低軌道のデータ中継衛星に配置された<u>エッジコンピューティング機能と連携して処理する技術</u></p> <p style="text-align: right;">（Ⅲ．（２）②時間情報を拡張するコンステレーションに関する技術）</p> <p>【宇宙科学・探査】<u>大容量データのリアルタイム通信を実現する光通信技術</u></p> <p style="text-align: right;">（Ⅲ．（２）④月通信・測位技術）</p> <p>【分野共通】<u>軌道上で機械学習、AIを活用して処理し、地上に提供する技術</u></p> <p style="text-align: right;">（（２）③ミッションの高度化や柔軟性を支えるソフトウェア基盤技術）</p>

基盤技術開発の領域と技術戦略の記載【計測・予測】

基盤技術の領域	宇宙技術戦略における記載の例
計測	<p>【宇宙科学・探査】惑星大気・表層物質の分析、火山大国の我が国で培った<u>地下の水やマグマの動態を探る磁場計測技術</u> （Ⅱ．（２）②表層等探査技術）</p> <p><u>環境計測技術</u> （Ⅱ．（２）⑥月資源開発技術）</p> <p>【宇宙輸送】機体の異常やエンジンの健全性を検知し、余寿命や故障を予測する<u>ヘルスマニタ技術</u> （（２）ⅱ④その他の基盤技術）</p>
予測	<p>【衛星】<u>衛星の姿勢等に係る高精度の計算やシミュレーション</u> （Ⅰ．（２）①衛星間や衛星と地上間における光通信ネットワークシステム）</p> <p>【宇宙輸送】帰還時の推進薬の挙動を予測する<u>推進薬マネジメント技術</u>、機体の異常やエンジンの健全性を検知し、余寿命や故障を予測する<u>ヘルスマニタ技術</u> （（２）ⅱ④その他の基盤技術）</p> <p>【分野共通】宇宙機間の相対位置を把握し編隊するための姿勢制御技術やセンサ技術、<u>データ処理、時刻同期技術、複数宇宙機の自律的運用のための衛星間通信や衝突回避等の運用技術、これらの地上試験技術やシミュレーション技術</u>等の様々な要素技術 （（２）⑤次世代の宇宙システムに向けた複数宇宙機の高精度協調運用技術）</p>

NASA Technology Taxonomyとの対応関係

- 前述の12の技術領域の妥当性確認のため、**NASA Technology Taxonomyとの比較**を行った。
- NASA Technology Taxonomyは、将来の宇宙ミッションを支援するために必要な技術を明確にするためのものであり、NASAの技術政策、優先順位付け、戦略的投資に関する意思決定の際に参照するなど**NASAの技術管理プロセスの基盤**となっている。2024年の改訂版は、以下に示す通り、**17の技術分類に整理**されている。
- それぞれの対応する基盤技術を整理したところ、**今般特定された12の技術領域は、NASA Technology Taxonomyの17の技術分類と対応**することを確認した。

No.	NASA Technology Taxonomy	主に対応する基盤技術
TX01	Propulsion Systems	運動・制御
TX02	Flight Computing and Avionics	通信・処理
TX03	Aerospace Power and Energy Storage	熱・デバイス
TX04	Robotic Systems	運動・制御/計測・予測
TX05	Communications, Navigation, and Orbital Debris Tracking and Characterization Systems	通信・処理
TX06	Human Health, Life Support, and Habitation Systems	環境・生存
TX07	Exploration Destination Systems	運動・制御/環境・生存
TX08	Sensors and Instruments	計測・予測
TX09	Entry, Descent, and Landing	運動・制御

No.	NASA Technology Taxonomy	主に対応する基盤技術
TX10	Autonomous Systems	運動・制御/計測・予測
TX11	Software, Modeling, Simulation, and Information Processing	計測・予測
TX12	Materials, Structures, Mechanical Systems, and Manufacturing	構造・材料
TX13	Ground, Test, and Surface Systems	環境・生存/構造・材料
TX14	Thermal Management Systems	熱・デバイス
TX15	Flight Vehicle Systems	(航空分野)
TX16	Air Traffic Management and Range Tracking Systems	(航空分野)
TX17	GN&C	運動・制御

今回特定した基盤技術領域と宇宙技術戦略との関係性

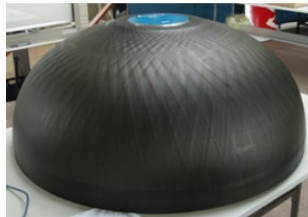
- 今回特定した**基盤技術領域と宇宙技術戦略における各分野**（衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送）の**各項目との対応関係**は以下のとおり。特に関連の深いものに当該技術の色をプロットしている。
- これらの基盤技術のうち「熱」、「デバイス」、「運動」、「制御」は、JAXAにおける技術開発に加えて、SX中核領域発展研究による支援を開始しているが、それ以外の基盤技術についても取組を強化する必要がある。なお、今後、宇宙技術戦略の更新等を踏まえ、基盤技術領域のローリングも必要。

宇宙技術戦略の各項目

基盤技術領域													
		熱	デバイス	運動	制御	構造	材料	環境	生存	通信	処理	計測	予測
衛星	通信	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	測位	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	リモセン	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	軌道上サービス	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	衛星基盤技術	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
宇宙科学・探査	宇宙物理	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	太陽系科学・探査	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	月面探査・開発	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	地球低軌道	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
宇宙輸送	システム技術	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	構造系	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	推進系	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
分野共通	ハードウェア	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	機械系基盤	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ソフトウェア基盤	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	システム開発・製造プロセス ・サプライチェーンの変革	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	高精度協調運用	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

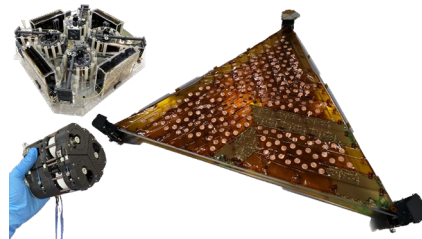
<構造・材料>

- 宇宙機やロケットのミッションで要求される精度は高くなる一方であり、ライフサイクル全般にわたり、軽量かつ必要な剛性を確保しつつ、構造の安定化（部品間の相対的な位置・角度変化や、部品の変形を発生させないこと）に対する要求はますます厳しくなっている。また、多機能構造化が進む中、一層、構造の最適化や新方式、新材料による軽量化が進んでいくことが見込まれている。
- 今後、我が国が世界をリードするCFRPを始めとする高比剛性、低熱膨張性を有する高機能材料の活用、地上での活用実績のある材料の転用、新たな材料の開発・適用等の材料レベルの対応と、それらの材料特性も踏まえた新規構造アーキテクチャの開発、構造解析技術の高度化等の構造レベルの対応をバランスよく行うことが重要となる。



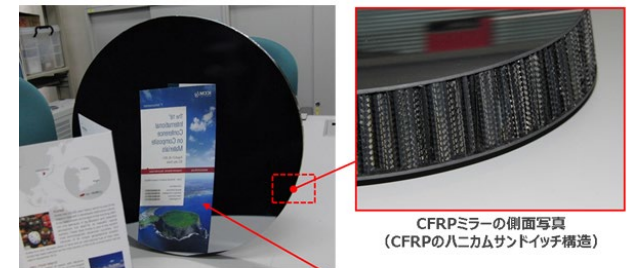
©JAXA

極低温燃料タンク用複合材料
極低温液体推進剤のタンクを軽量化
／熱変形問題への対応



©JAXA

超軽量展開宇宙構造物
質量・容積制約を満たす形での
軌道上で大面積の薄膜構造を実現



CFRPミラーの試作品

CFRPミラーの側面写真
(CFRPのハニカムサンドイッチ構造)

手前に置いたパンフレットがCFRPミラーに映った像

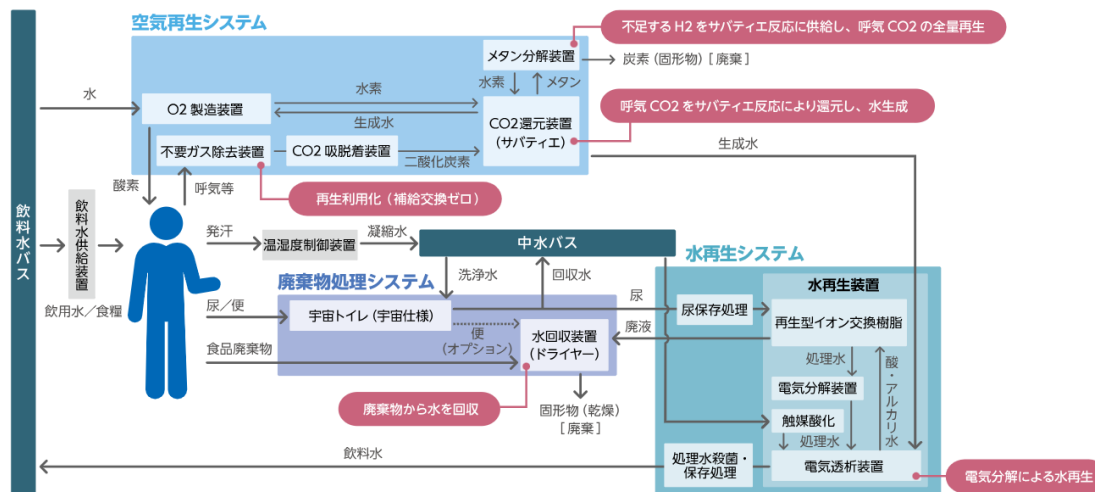
©JAXA

CFRPミラー
軽量なCFRPの光学ミラーへの転用

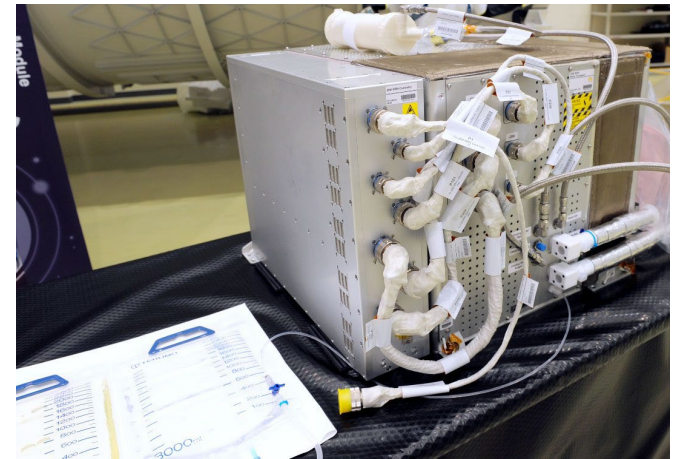
強化すべき基盤技術領域の課題例（2/4）

<環境・生存>

- 「微小重力環境」、「宇宙放射線環境」、「閉鎖環境」である宇宙や、宇宙に行く過程で地球で推進薬を用い、非常に過酷な環境となる宇宙輸送機など、これらの環境に必要な技術や健康管理・維持のために蓄積された知見は、宇宙での生活や活動に関する問題を解決するだけでなく、地上においても役立つものである。例えば、現在JAXAが取り組んでいる宇宙飛行士の骨量減少／筋機能低下の研究は、地上での骨粗しょう症や筋萎縮症など、特殊な病気の発症メカニズムの解明や、治療技術の開発にも貢献している。また宇宙を利用した、例えば創薬開発など地上の生存に貢献する事例もある。
- アルテミス計画により、宇宙飛行士の健康管理やECLSSによる、生命維持・環境制御技術はますます重要となり、今後人類の活動領域が広がることから我が国においても環境と生存に関する研究開発を推進することは重要である。



©JAXA



©JAXA

次世代水再生システム（JWRS）

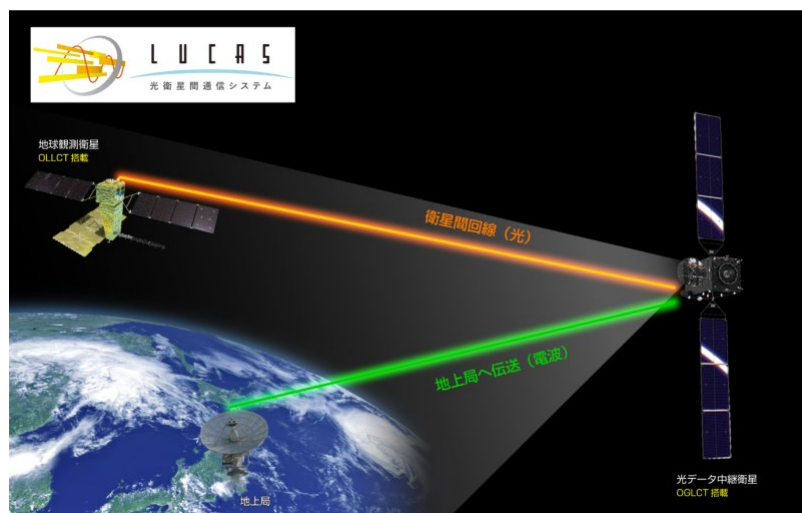
小型・低電力・高再生率を目指す
「次世代」水再生技術

有人宇宙滞在技術
水再生・空気再生・廃棄物処理を統合する再生型環境制御・生命維持システム（ECLSS）の開発

強化すべき基盤技術領域の課題例 (3/4)

<通信・処理>

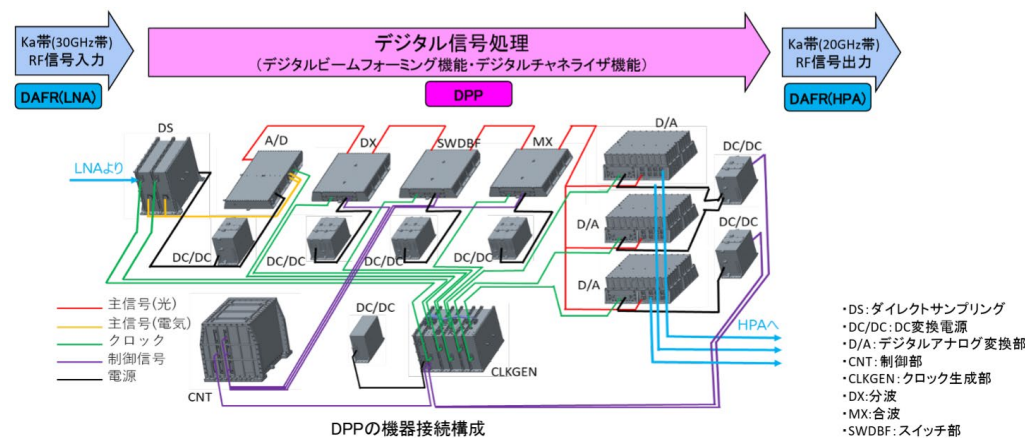
- 衛星通信については、観測衛星等が扱う情報量の増大に伴うデータ中継需要の拡大や、衛星コンステレーションの利用の更なる拡大等により、今後も需要の拡大が見込まれており、衛星通信の高速・大容量化や利便性向上の必要性を高めている。
- 高速・大容量化に向けては、従来の電波通信に係るペイロード及び地上系技術の高度化に加え、我が国が強みを有する光通信に関する技術開発も重要であり、機器の自立性及び自律性を高めるとともに、国際競争力を高めるための小型軽量化や高度化も進める必要がある。また、高速・大容量通信に伴うデータ処理技術の向上も重要であり、今後は様々な軌道に対応するための正確な時間・位置情報の補正技術等の獲得が必要である。



©JAXA

LUCAS

光衛星間通信の確立による高速・大容量通信



©JAXA

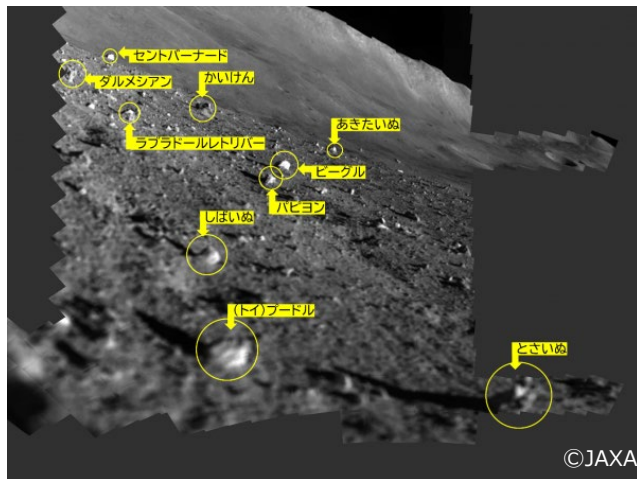
ETS-9

フルデジタルペイロードによるオンボード処理の高度化

強化すべき基盤技術領域の課題例（4/4）

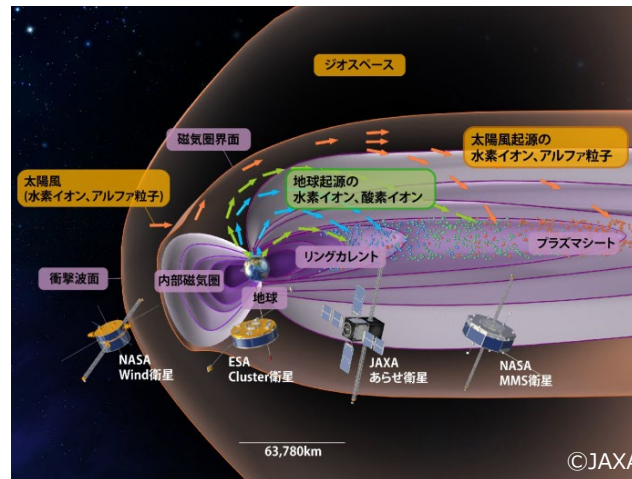
<計測・予測>

- 宇宙活動の拡大に伴い、宇宙空間における放射線や温度変化などの高精度な環境センシング、月や火星等の探査における現地での物質の成分分析など、宇宙環境における計測・分析技術の獲得・向上が必要とされており、地上で培われた技術の転用等によるの特色ある技術の創出が期待される。
- また、計測・分析結果に基づくシミュレーション・予測を行い、宇宙機の軌道を適切に設定する等、ミッションを支えるソフトウェア技術の開発も重要である。加えて、シミュレーションに資する正確な時刻情報、位置情報等を取得するための技術開発も重要である。



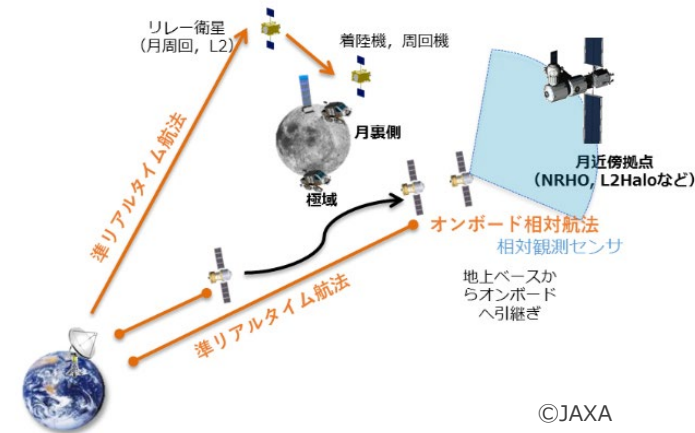
SLIM

マルチバンド分光カメラによる
鉱物の化学組成の推定



ERG

太陽風とジオスペースの観測



深宇宙での航法イメージ

複数相対航法センサの情報と
相対／絶対電波航法の併用