

参考資料-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
(第85回)2024.4.9

内閣府作成資料

(令和6年3月28日 宇宙政策委員会決定)

宇宙技術戦略の概要 (詳細版)

2024年3月28日
宇宙政策委員会

宇宙技術戦略の策定の趣旨

- 「宇宙基本計画」（令和5年6月13日閣議決定）に基づき、世界の技術開発トレンドやユーザーニーズの継続的な調査分析を踏まえ、安全保障・民生分野において横断的に、我が国の勝ち筋を見据えながら、我が国が開発を進めるべき技術を見極め、その開発のタイムラインを示した技術ロードマップを含んだ「宇宙技術戦略」を新たに策定した。
- 本戦略においては、「衛星」、「宇宙科学・探査」、「宇宙輸送」、加えて「分野共通技術」の分野について、安全保障や宇宙科学・探査ミッション、商業ミッション、また、それらミッションに実装する前段階の先端・基盤技術開発に加え、民間事業者を主体とした商業化に向けた開発支援について、開発の進め方や重要性を検討し、可能な範囲で示した。関係省庁における技術開発予算に加え、10年間で総額1兆円規模の支援を行うことを目指す「宇宙戦略基金」を含め、関係省庁・機関が今後の予算要求、執行において参照していくとともに、最新の状況を踏まえたローリングを行っていく。

策定プロセスとローリングのあり方

● 策定プロセス

6月13日	「宇宙基本計画」閣議決定
9月14日	宇宙政策委員会「宇宙技術戦略」の年度内策定を指示
9月～2月	関係省庁参画の下、各小委（衛星、科学・探査、輸送）、基本政策部会、宇宙政策委員会で議論
2月26日	宇宙政策委員会にて「宇宙技術戦略」（案）を提示
3月1日～14日	パブリックコメント
3月28日	「宇宙技術戦略」を宇宙政策委員会にて策定

【参考】基本政策部会・各小委におけるヒアリング

日本経済団体連合会、日本航空宇宙工業会、衛星システム技術推進機構、衛星地球観測コンソーシアム、大学宇宙工学コンソーシアム、民間事業者、アカデミア

● ローリングの在り方

- 欧米宇宙開発機関や政府の事例も参考にしながら、個別技術分野に係る国内の英知を結集し、本文書をベースに戦略的議論を深めていく。
- 例えば、毎年度、ローリングの重点テーマを検討・決定し、世界の技術開発トレンドやユーザーニーズについて調査分析を実施し、予算の状況等も踏まえアップデート。その際、本文書について官民プラットフォームや業界・学術団体等の意見を聴取。必要に応じて情報提供依頼（RFI）等も活用。

宇宙技術戦略の概要

令和6年3月28日
宇宙政策委員会決定

- 「宇宙基本計画」（令和5年6月13日閣議決定）に基づき、世界の技術開発トレンドやユーザーニーズの継続的・的確な調査分析を踏まえ、**安全保障・民生分野において横断的に、我が国の勝ち筋を見据えながら、我が国が開発を進めるべき技術を見極め、その開発のタイムラインを示した技術ロードマップを含んだ「宇宙技術戦略」を新たに策定した。**
- **関係省庁における技術開発予算**や10年間で総額1兆円規模の支援を行うことを目指す「**宇宙戦略基金**」を含め、**関係省庁・機関が今後の予算要求、執行において参照していくとともに、毎年度最新の状況を踏まえたローリング**を行っていく。
- 必要な宇宙活動を自前で行うことができる能力を保持（「自立性」の確保）するため、下記に資する技術開発を推進：
 - ① 我が国の**技術的優位性**の強化
 - ② サプライチェーンの**自律性**の確保 等

衛星

防災・減災、国土強靱化や気候変動を含めた地球規模問題の解決と、民間市場分野でのイノベーション創出、SDGs達成、Society5.0実現をけん引：



【出典】独TESAT-Spacecom

- ① 通信
- ② 衛星測位システム
- ③ リモートセンシング
- ④ 軌道上サービス
- ⑤ 衛星基盤技術

大容量のリアルタイム伝送を可能にする光通信

宇宙科学・探査

宇宙の起源や生命の可能性等の人類共通の知を創出し、月以遠の深宇宙に人類の活動領域を拡大するとともに、月面探査・地球低軌道活動における産業振興を図る：



【出典】TOYOTA

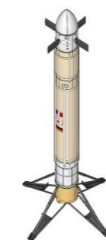
- ① 宇宙物理
- ② 太陽系科学・探査
- ③ 月面探査・開発等
- ④ 地球低軌道・国際宇宙探査共通

JAXA/TOYOTAが研究開発中の有人と圧ローバ(イメージ)

宇宙輸送

宇宙輸送能力の強化、安価な宇宙輸送価格の実現、打上げの高頻度化、多様な宇宙輸送ニーズへの対応を実現：

- ① システム技術
- ② 構造系技術
- ③ 推進系技術
- ④ その他の基盤技術
- ⑤ 輸送サービス技術
- ⑥ 射場・宇宙港技術



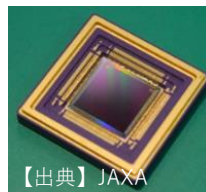
【出典】JAXA

CALLISTO(カリスト)プロジェクト：日・仏・独の宇宙機関共同で、25年度にロケット1段目の再使用を実施予定

分野共通技術

上記の衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送分野共通となる技術について、継続的に開発に取り組むことが、サプライチェーンの自律性確保、国際競争力強化の観点から不可欠：

- ① 機能性能の高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術（デジタルデバイス等）
- ② 小型軽量化とミッション高度化を支える機械系基盤技術（3Dプリンティング等）
- ③ ミッションの高度化と柔軟性を支えるソフトウェア基盤技術（AI、機械学習等）
- ④ 開発サイクルの高速化や量産化に資する開発・製造プロセス・サプライチェーンの変革
- ⑤ 複数宇宙機の高精度協調運用技術



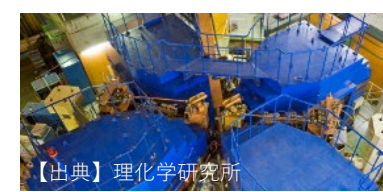
【出典】JAXA

宇宙用高性能デジタルデバイスマイクロプロセッサ



【出典】Oneweb

製造試験ラインを自動化しているOneweb衛星



【出典】理化学研究所

COTS品の活用に重要となる耐放射性試験等の環境試験

宇宙技術戦略 目次

1. 基本的考え方

- (1) 策定の趣旨
- (2) 重要技術の評価軸 (①衛星、②宇宙科学・探査、③宇宙輸送、④分野共通技術)
- (3) 技術開発支援の在り方
- (4) 策定プロセスとローリングの在り方

2. 衛星

I. 通信、II. 衛星測位システム、III. リモートセンシング、IV. 軌道上サービス、V. 衛星基盤技術

- (1) 将来像
- (2) 環境認識と技術戦略
 - i. 環境認識
 - ii. 技術開発の重要性と進め方

3. 宇宙科学・探査

I. 宇宙物理分野、II. 太陽系科学・探査分野、III. 月面探査・開発等、IV. 地球低軌道・国際宇宙探査共通

4. 宇宙輸送

- ① システム技術、② 構造系技術、③ 推進系技術、④ その他の基盤技術、⑤ 輸送サービス技術、⑥ 射場・宇宙港技術

5. 分野共通技術

- ① ハードウェア技術、② 機械系技術、③ ソフトウェア基盤技術、④ 開発・製造プロセス・サプライチェーンの変革、⑤ 複数宇宙機の高精度協調運用技術

2. 衛星 ～重要技術の評価軸～

i.技術的優位性	機能・性能面、コスト・納期面での優位性
	開発ステージにおける先行性
	輸出可能性
	当該技術を保有又は保有しようとする企業等が、国際市場で勝ち残る意志と技術、事業モデルを有するか
	現在技術成熟度の低い技術であっても将来的に競争力の発展等に重要な技術として先行する研究開発が必要な技術であるか
ii.自律性	サプライチェーン上の代替困難度
	調達自在性のリスク
	衛星システム構築上のコア技術であるかどうか
	技術成熟度が低い技術であっても、将来的に自律性確保の観点から先行開発が必要な技術かどうか
iii.ユースケース	安全保障・民生分野横断的に、開発した先に当該衛星技術のエコシステムを支えるのに十分なユースケースや市場等が期待できるか

I. 通信

- 次世代通信サービスでは、光通信の衛星コンステレーション等への適用で大容量データのリアルタイム伝送、デジタル通信パイロードによる刻々と変化する通信ニーズへの柔軟な対応が可能に。
- 災害時・有事の際の通信の抗たん性、Society 5.0実現を見据え、自律性の確保・開発に取り組む。

衛星間や軌道間及び宇宙と地上を結ぶ 光通信ネットワークシステム

- 通信衛星コンステ等への適用で、海上や極域等へのサービス提供や、大容量の観測データのリアルタイム伝送を可能に。
- 周波数獲得競争激化の中、周波数資源を消費せず大容量通信を可能にし、我が国の技術蓄積の活用にも繋がる。



米宇宙開発庁によるPWSA、米Starlink等による衛星コンステ構築と、光通信の適用が進展

重要な技術開発:

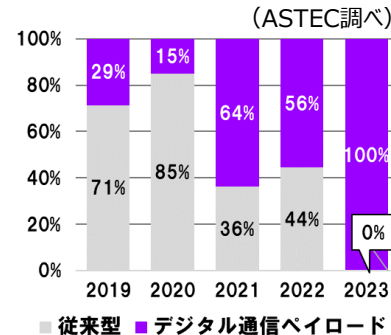
- ✓ 低軌道衛星間光通信ネットワークシステムの研究開発・実証
- ✓ 衛星間光通信端末
- ✓ 静止軌道-地上間10Gbps、低軌道-地上間100Gbps光通信等の基盤技術
- ✓ コンステレーション構築
- ✓ デジタルコヒーレント技術



2020年、JAXAが静止軌道に光データ中継衛星打上げ

大容量で柔軟な通信を提供する デジタル通信パイロードシステム

- 軌道上でのソフトウェア書換により刻々と変化する通信ニーズに対応し、高速大容量通信、移動体への通信を可能に。
- 将来通信衛星市場の中核と想定され、災害時・有事の際の抗たん性強化に資する。



世界の商用静止衛星の契約は大半がデジタル通信パイロードに



仏TAS社、仏Airbus社等、フルデジタル通信パイロード搭載衛星を2024年より打上げ

重要な技術開発:

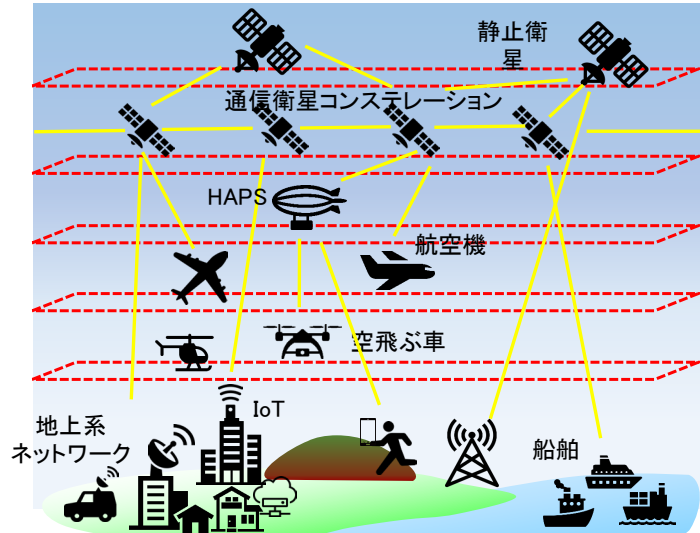
- ✓ 高周波・高効率RF機器
- ✓ デジタル通信パイロード
- ✓ 固定・可変ビーム
- ✓ デジタルビームフォーミング等の要素技術

I.通信

- 地上系ネットワークと非地上系ネットワーク（NTN：静止衛星、低軌道コンステ、HAPS*等）が融合し、秘匿性・抗たん性を確保する量子暗号や光通信等の技術と合わせ、陸・海・空・宇宙が多層的・機能的かつ安全でシームレスに繋がる（マルチオービット化）。* HAPS:高度20km程度の定位置に滞留させる飛行体によるプラットフォーム。

地上系とのシームレスな接続を実現する非地上系ネットワーク（NTN）技術

- 地上無線局のみで十分な通信面積カバーは困難。無線局等の機能を衛星側に搭載し、低・中軌道衛星コンステや静止衛星、HAPS等を多層的かつシームレスに繋ぐ。
- 国際連携を進めつつ、中長期を見通した開発を推進。



3GPPなどNTN技術国際的標準化プロジェクトが進行中、携帯から衛星へダイレクトアクセスの商用化競争も激化

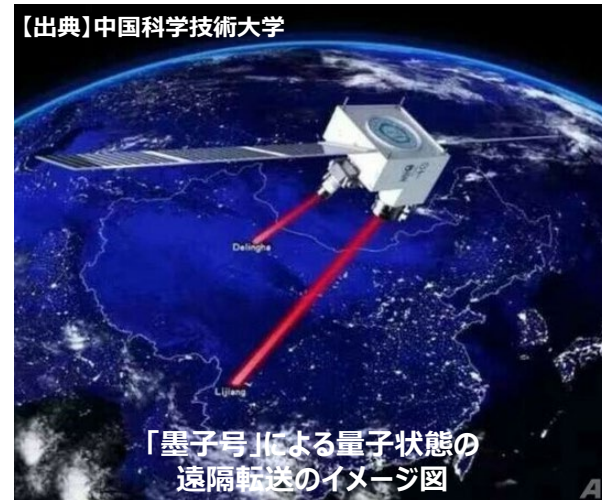
【出典】情報通信研究機構(NICT)を基に宇宙事務局作成

重要な技術開発:

- ✓ 国内外プレイヤーが連携したNTN構築

秘匿性・抗たん性を確保する通信技術

- 量子コンピュータの現実化に伴い、従来の暗号アルゴリズムの安全性が危殆に瀕することが予想される中、ユーザ要求に応じた安全な通信を提供する必要がある。



中国は墨子号で世界最大規模の量子暗号配送（QKD）網を構築

重要な技術開発:

- ✓ セキュリティ通信技術
- ✓ 光地上局の社会実装
- ✓ 衛星量子暗号通信技術

II. 衛星測位システム

- 準天頂衛星システムは、位置・時刻を提供する必要不可欠な社会インフラ。自動化・無人化等により、労働力不足等の社会課題の解決や、イノベーションによる経済の活性化が期待される。
- 我が国が測位能力を自立的に確保するため、必要な技術開発及び開発整備等に取り組む。

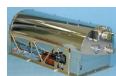
妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システム

- 自律性等の観点から主要部品の国産化を図りつつ、測位精度やサービス品質を向上させる時刻・位置決定の高精度化等に取り組む。
- 他国の測位システムに劣後しない社会インフラを開発・維持することにより、我が国の測位能力を自立的に確保。

測位衛星に必要な機器の国産化（例：原子時計）

 <p>GPS (米) ガリレオ (露) ガリレオ (欧) 北斗 (中) 北斗 (印)</p>	<p>自国製の原子時計を搭載</p>
 <p>準天頂衛星 (日本)</p>	<p>他国製の原子時計を搭載</p>

**原子時計の
国産化が必要**

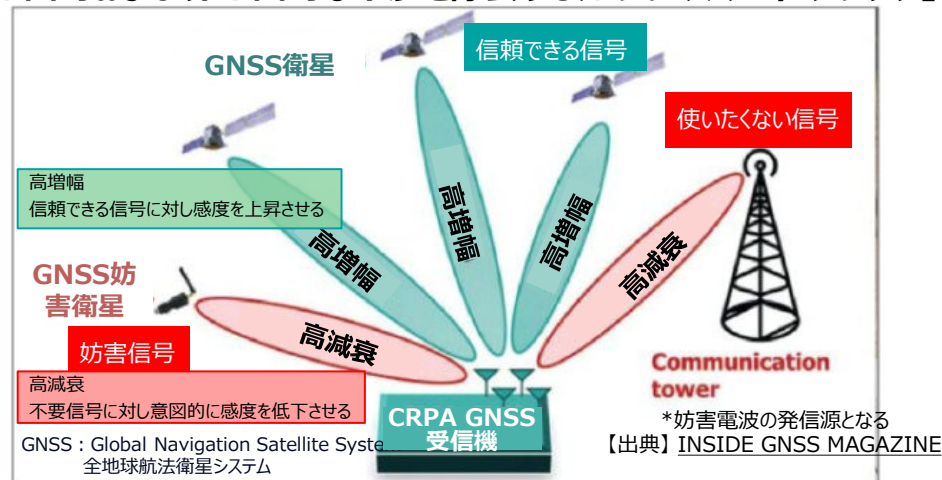


水素メーザ
原子時計
【出典】ESA

利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術の開発

- ユーザーの利用端末の高度化や抗たん性やセキュリティ耐性の強化を通じた、利用領域及びユーザの拡大に関する実証や技術の開発に取り組む。
- 今後の関連市場の一層の広がり貢献。

意図的および非意図的な干渉を除去するための「スマート アンテナ」



重要な技術開発:

- ✓ MADOCA-PPPの実用サービス、SBAS運用による航空機の航法性能向上
- ✓ 受信機高精度化、信頼性・抗たん性、セキュリティ強化技術等 8

重要な技術開発:

- ✓ 準天頂衛星システムの7機体制に向けた開発・整備運用、11機体制に向けた検討・開発の着手
- ✓ 高精度で妨害・干渉に強い測位システムの実現に向けた技術（時刻・位置決定の高精度化技術、維持運用効率化技術、小型・軽量・省電力化技術、妨害回避機能強化技術等）

III. リモートセンシング

- 地球観測衛星の時間・空間・波長分解能が高まると同時に、ソリューション技術が発展する中、安全保障や防災・減災等、幅広いアプリケーション・サービスを実現。
- 我が国の多様な観測衛星の蓄積、スタートアップ等のエコシステムを活かし、新市場を形成する。

ニーズに即した情報を抽出するための複合的なトータルアナリシス技術

- 衛星観測データとドローンやIoTデータなど多様なデータとの組合せを可能に。
- 災害対応やインフラ監視、広域観要監視等への適用は自律性、新たな市場構築の観点から重要。

時間情報を拡張するコンステレーション技術等

- 小型衛星コンステの登場で高頻度観測が可能となり、安全保障等の官需が商業化と市場拡大をけん引。
- アンカーテナンシーの追及とともに、更なる支援強化が必要。

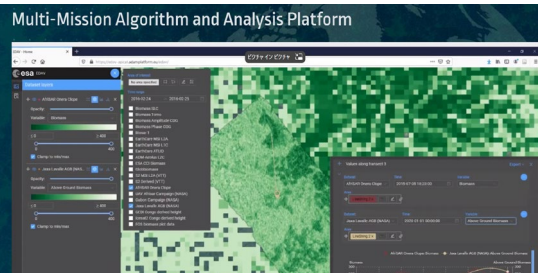
(2023年12月宇宙事務局調べ)

	会社名	Axelspace (日本)	Planet (米国) (DOVE)	Planet (米国) (SKYSAT, Pelican)	Maxar (米国)
光学衛星	分解能	2.5m	3.7m	0.57~0.3m	0.5~0.29m
	機数の実績 (目標)	5機(12機)	100機以上 (100機以上)	22機(32機)	4機(7機)
SAR衛星	会社名	QPS(日本)	Synspective (日本)	ICEYE (フィンランド)	Capella (米国)
	分解能	0.46m	0.9 m	0.5 m	0.5m
	機数の実績 (目標)	3機(36機)	2機(30機)	31機(48機)	11機(36機)

コンステ運用機数は欧米企業が先行するが、我が国は小型衛星コンステスタートアップが複数存在、イメージングセンサやSARの高分解能技術等強み

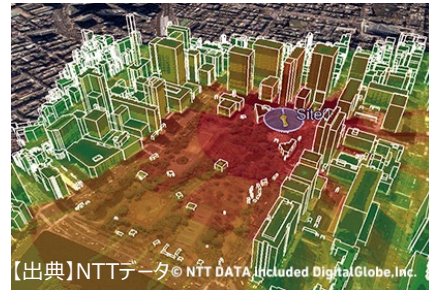
重要な技術開発:

- ✓ 光学・SAR等の民間衛星コンステレーションの構築・社会実装
- ✓ 要素技術等
- ✓ 静止軌道上の高分解能光学衛星の開発・社会実装、要素技術開発



【出典】NASA/ESA

世界で衛星データを活用した機械学習・AI等の技術が進展



【出典】NTTデータ © NTT DATA, Included DigitalGlobe, Inc.

我が国は全世界デジタル3D地図サービスAW3Dを世界展開

重要な技術開発:

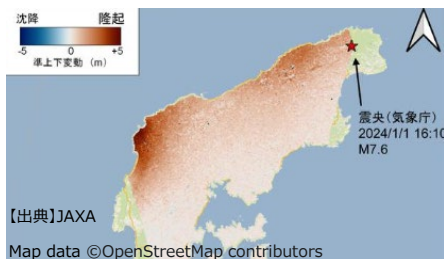
- ✓ リモセンデータ利活用による国土強靱化・地球規模課題への対応
- ✓ 防災分野等における社会実装検討
- ✓ モデル同化等解析技術、衛星データ数値情報化技術（APIでのデータ提供基盤構築等）、観測データ融合・複合解析技術による画像判読・変化検出、AI分析技術高度化
- ✓ 国際市場への展開も見据えた衛星データ利用システムの開発・実証

III. リモートセンシング

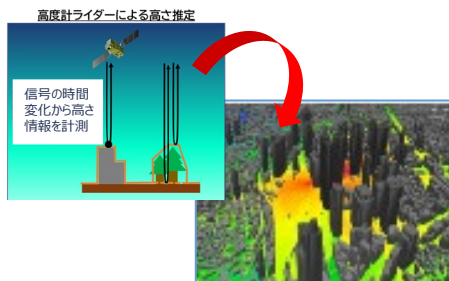
- イメージング画像の高度化、多様な波長/周波数情報の活用により、都市・地球デジタルツインの実現や、カーボンプライシングやESG*等へのデータ活用が可能に。 (*)Environment Social Governance

空間情報を拡張する光学/レーダ等のセンサ開発技術

- 光学や合成開口レーダ (SAR) 等の高解像度化、広域化等に加え、都市や地形、降水等の3次元的な理解が可能となることが期待される。
- 観測高度化のコア技術で、調達自在性確保が必要。



令和6年能登半島地震で、SAR解析 (ALOS-2) で隆起を確認、欧米では30cm級の超高分解能光学画像を提供



【出典】NTTデータ, included ©Maxar Technologies, Inc.

高度計ライダーと光学観測等で、3次元計測・将来予測が可能に

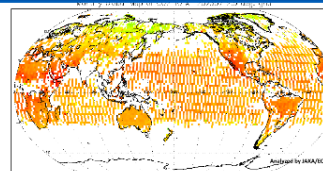
重要な技術開発:

- ✓ 政府衛星 (ALOS-4(SAR)、EarthCARE(雲レーダ)、PMM(降水レーダ)) の着実な開発
- ✓ 光学や高度計ライダーセンサの高度化技術
- ✓ SAR、雲・降水レーダセンサの高度化技術
- ✓ その他要素技術 (画像処理技術、超低高度技術等)

波長/周波数情報を拡張するセンサ開発技術

- 気候変動科学に加え、近年活発化しているカーボンプライシングやESG、自然資本、船舶情報収集等へのデータ活用が可能に。
- 技術的優位性を活かした取組が必要。

地球規模の温室効果ガスの観測 (分光計測)



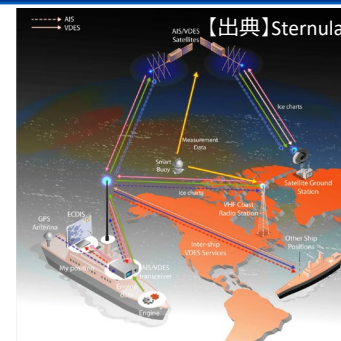
二酸化炭素 (CO₂) 濃度 (GOSAT-2観測データ)

我が国はGOSAT/GOSAT-2に続き、2024年に分光計測・マイクロ波放射計計測技術を兼ねそろえるGOSAT-GWを打上げ予定

重要な技術開発:

- ✓ 小型・高感度の多波長センサ技術
- ✓ AIS/VDES観測技術及び電波情報収集技術 (AIS高度化技術、VDES・電波情報収集技術、VDES小型衛星コンステレーションの社会実装に向けた取組等) 10

海洋状況把握/船舶情報収集 (船舶用双方向デジタル通信システム (VDES))



海外スタートアップでは、多様な波長/周波数情報を活用した産業排出源観測や船舶情報収集等の事業開発も進展

IV. 軌道上サービス

- 宇宙機やスペースデブリの増加で軌道環境が悪化する中、各国でデブリ除去・低減の技術開発とルール整備が進展。宇宙における安全保障上重要であることに加え、寿命延長や宇宙天気予報等の新たな市場も期待。加えて、宇宙太陽光発電システムは、将来的なエネルギー源として期待。

軌道上サービスの共通技術、状態監視技術

- 対象へ安全かつ効率的に近づくRPO技術、ロボットアームを制御するマニピュレータ技術、軌道上物体の状態監視等、軌道上サービス共通技術。



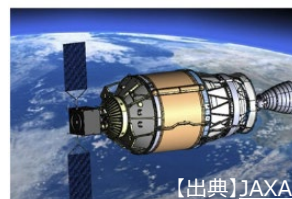
米Maxar社が、衛星の太陽電池パドル展開状態等を約100kmから遠隔検査

重要な技術開発:

- ✓ ロボットアーム・ハンド技術
- ✓ 多様な非協力衛星へ対応するRPO技術、エンドエフェクタ技術等
- ✓ SSA/SDA体制の構築等

デブリ除去・低減技術

- 安全で持続的な軌道環境を実現する非協力物体についてのデブリ除去・低減技術。



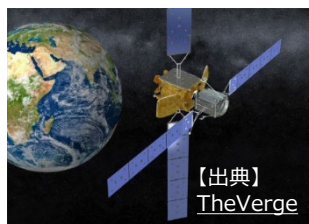
2026年度以降に我が国のCRD2 フェーズIIにてロケット上段除去が予定

重要な技術開発:

- ✓ デブリ除去技術（商業デブリ除去実証(CRD2)）等
- ✓ 衛星等の軌道離脱のための技術

燃料補給・修理・交換等の寿命延長技術、軌道上製造組立技術

- 軌道上での寿命延長やミッションの追加や変更を可能とする、燃料補給や修理・交換等の技術。



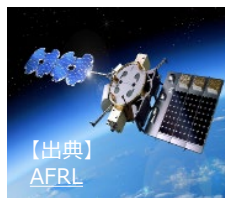
米Space Logistics社が衛星ドッキングによる寿命延長を実証

重要な技術開発:

- ✓ 衛星の寿命延長に資する燃料補給技術

宇宙太陽光発電システム

- 太陽光発電の電力をマイクロ波やレーザーに変換し、地上や月面、宇宙機等へ伝送・電力変換して利用する技術。



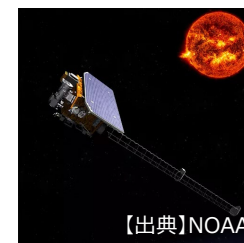
米空軍研究所のSSPIDR、欧SOLARIS等のプロジェクトを通じた検討が進行中

重要な技術開発:

- ✓ 無線電力伝送技術
- ✓ 展開構造機構技術

宇宙環境観測・予測技術

- 太陽活動等を捉え宇宙システムの安定利用を実現する宇宙環境観測・予測技術。



米NOAAは2025年に太陽風常時監視衛星打上げを予定

重要な技術開発:

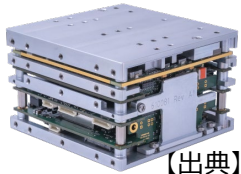
- ✓ 宇宙環境観測センサ技術
- ✓ 宇宙天気予報の高度化・利用拡大

V. 衛星基盤技術

- I ~ IV共通となる基盤技術について、継続的に開発に取り組むことが、サプライチェーンの自律性確保、国際競争力強化の観点から不可欠。

SDS※1基盤技術

- 機能高度化と柔軟性を支え、民生・安全保障の両方の分野において、衛星システム構築のコア技術。



※1 SDS: Software Defined Satellite
衛星の機能を再プログラム可能なソフトウェア(SW)等で実現する衛星

【出典】Unibap

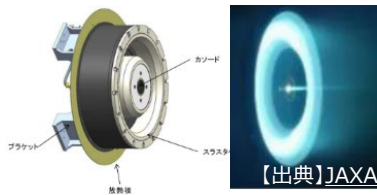
重要な技術開発:

- ✓ SDS基盤技術（フルデジタルペイロードの開発、オンボード処理能力の拡張等）

COTS品活用で従来の約100倍演算能力があるスウェーデンUnibap社の宇宙用高性能計算機

機械系基盤技術

- 小型軽量化とミッション要求の多様化・高度化を支える推進系、熱制御系、構造系の基盤技術。



【出典】JAXA

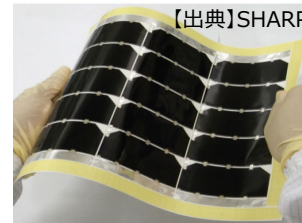
重要な技術開発:

- ✓ 大型ホールスラスタ
- ✓ 小型ホールスラスタ、レジストスラスタ
- ✓ ジェット
- ✓ マイクロ電気推進スラスタ
- ✓ 実証機会やアンカーテナンシーの拡充による技術の成熟・安定化
- ✓ 熱制御系と構造系
- ✓ 高効率排熱システム（2相流）

ウクライナ侵略により調達性が悪化する高推力の電気推進ホールスラスタをETS-9で開発

電気系基盤技術

- 衛星コンステレーションの普及等を背景に進む、小型軽量化とミッション高度化を支える技術。



【出典】SHARP

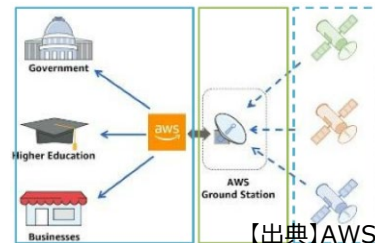
ミッション伝送容量の増大や観測時間の拡大を踏まえ、国産太陽電池セル開発の要請大

重要な技術開発:

- ✓ 電源システム開発
- ✓ フラットパック太陽電池パドル
- ✓ 小型衛星向け太陽電池パドル
- ✓ 国産太陽電池セル
- ✓ 統合姿勢制御ユニット

地上システム基盤技術

- 民生・安保両分野で、衛星の運用自動化や地上局仮想化といった、地上システム基盤技術の開発が進む。



【出典】AWS

米Amazon社のAWS Ground Station等、衛星毎に整備していた地上局を仮想化・共有する、地上局クラウド化技術

重要な技術開発:

- ✓ 衛星運用の自律化・自動化技術（運用計画のオンボード化、自動不具合対処技術）

3. 宇宙科学・探査 ～重要技術の評価軸～

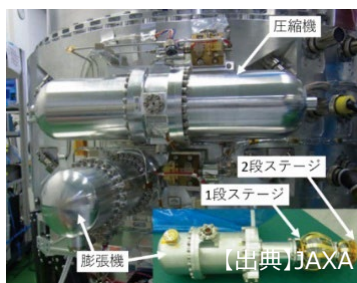
i .技術的優位性	当該技術がコアとなって実現されるミッションの成果が科学的に高い評価を得られるか
	機能・性能面で優位であるか（今後、優位性を獲得しうるか）
	当該技術がコアとなって実現される国際貢献により、我が国のプレゼンスを発揮・向上できるか
	宇宙科学・探査ミッションとして具体化する段階にあたっては、世界的な科学的成果が得られるか
	コスト・納期面を含め技術的に実現可能性があるか
ii .自律性	地球低軌道活動や月面活動等については、将来の活動の進展に応じた基盤整備や市場創出につながる可能性があるか
	サプライチェーン上の代替困難度
	調達自在性のリスク
	システム構築上のコア技術であるかどうか
iii .緊要性	国内需要を支える意思や計画を有するか
	既にミッション化したものであるか
	国際的な枠組みの中で、我が国として研究開発することをコミットしているか

I. 宇宙物理分野

- JWST（ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡）の後継計画など、超大型宇宙望遠鏡プロジェクトが、我が国を含む国際協力によって進展。
- 我が国の強みや特徴ある技術を発展させ、日本独自の尖鋭的な中・小型計画を実施し、国際大型計画だけでは開拓できない革新的な成果創出を目指す。

宇宙用冷却技術

- 我が国の強みであるX線天文衛星等を**低ノイズ・高感度化する冷却技術**。



XRISMに搭載された
2段スターリング冷凍機

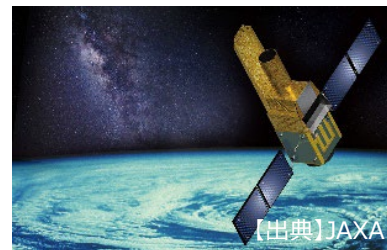
重要な技術開発：

- ✓ **冷媒を使わない冷却技術**
宇宙望遠鏡を冷却することで、熱などのノイズを低減させる。

- X線分光撮像衛星（XRISM）等において、我が国の冷媒を使わない冷凍機の手法が使用され、高感度な観測を実現した。
- 海外では、欧米や中国が、XRISMで用いられた手法の研究開発を進めている。

観測技術

- 宇宙空間での**高感度観測と地上でのデータ解析**を可能にする技術。



国産の赤外線検出器による
赤外線位置天文観測衛星
(JASMINE)

重要な技術開発：

- ✓ **調達困難な赤外線センサ等の宇宙用センサシステム技術** 等

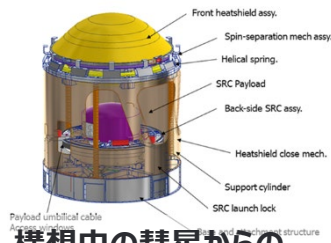
- 我が国はX線/赤外線天文衛星を始めとする宇宙科学ミッションを多数実現してきている。
- これまで、近赤外線センサは限られた米国企業のみからしか調達できなかったが、一部の波長帯では国内企業もこれに比肩し得る検出器の開発を進めている。

Ⅱ. 太陽系科学・探査

- 太陽系科学分野は、太陽系と生命の起源と進化を解明することを目指しており、各国の惑星・小天体探査を通じて科学的知見の蓄積が進む。
- 萌芽的な基礎研究の中から、独創的な研究領域や先鋭的な技術を見出し、開拓・開発することで、我が国の新たな強みとして育てていく。

サンプルリターン技術

- 火星衛星探査 (MMX) や、国際共同計画により、彗星、生命が生息する可能性がある天体から**サンプル**を回収し、分析する技術。



構想中の彗星からの
サンプル回収カプセル

【出典】JAXA

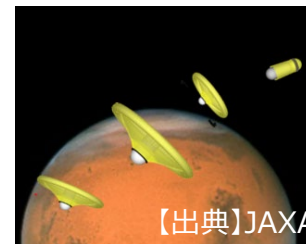
重要な技術開発：

- ✓ ターゲットとなる天体に応じたサンプルリターン技術
- ✓ サンプルの高度な分析技術等

- 現在、サンプルリターン計画として、MMXを進めている我が国は、この分野を先導する立場にある。
- 海外では、NASAの小惑星探査機OSIRIS-Rexが帰還し、また火星サンプルリターン (MSR : Mars Sample Return) 計画が進行中である。

大気突入・空力減速・着陸技術

- 火星などの**大気惑星**への安価で**確実性の高い着陸技術**。



【出典】JAXA

大気突入に使用する 展開型エアロシェル

重要な技術開発：

- ✓ 大気圏突入技術
- ✓ 空気抵抗による減速技術
- ✓ 逆噴射による軟着陸技術等

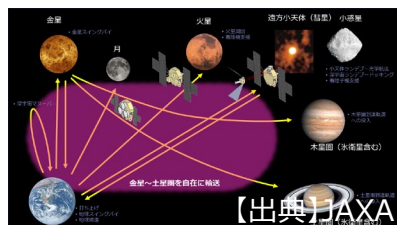
- 火星などの大気重力天体で必要となる大気圏突入・空力減速技術は、「はやぶさ」のサンプルリターンカプセルなどの数例の実績しか有していない。
- 火星探査は、現状、米国の独壇場で、多くの探査機を火星表面に送り込んでいる。
- その間、欧州、ロシア、中国も、火星着陸に挑戦しているが、その成功率は少なく、中国が2021年に「祝融号」を着陸させたのが、米国以外での唯一の成功例である。

Ⅱ. 太陽系科学・探査

- 太陽系科学分野は、太陽系と生命の起源と進化を解明することを目指しており、各国の惑星・小天体探査を通じて科学的知見の蓄積が進む。
- 萌芽的な基礎研究の中から、独創的な研究領域や先鋭的な技術を見出し、開拓・開発することで、我が国の新たな強みとして育てていく。

深宇宙軌道間輸送技術

- 火星など多様な行き先に対応する輸送サービス実現に向けた安価で共用性の高い物資輸送技術。



深宇宙軌道間輸送機
イメージ

重要な技術開発：

- ✓ 非測位環境下でのドッキング技術 等

- 深宇宙輸送が可能な国は限られており、惑星間「往復」航行に至っては日米のみが実現している。
- 月以遠を目指す民間企業も現れる中、低コストかつ信頼性が高い深宇宙への輸送ニーズや、月や火星への個別輸送ニーズも潜在していると考えられる。

表面等探査技術

- 火星など生命生息可能性がある天体の探査に必要な探査技術。



惑星保護イメージ

重要な技術開発：

- ✓ 大気・表層・磁気等観測技術
- ✓ 惑星保護技術 等

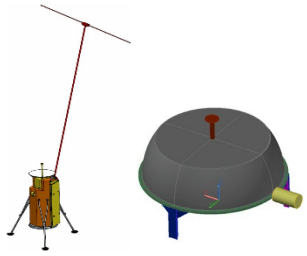
- 我が国は惑星保護技術の要素技術の開発に着手した段階。NASAは、すでに微生物汚染管理下で、火星着陸探査を実施中。
- 火山大国である我が国が培った地下の水やマグマの動態を探る磁場計測等の探査技術を火星などにおいて活用可能。

Ⅲ.月面探査・開発等

- 人類の恒常的な活動領域が深宇宙に拡大することを目指した、アルテミス計画が進捗する。
- 国際パートナーとともに、持続的な月面探査（限られた資源を効率的に探査・利用する技術）と、基盤技術の開発を進めていく。

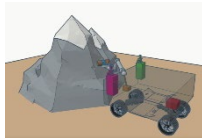
月面科学に係る技術

- 地球上ではできない天体観測を実現する**月面天文台**、月の起源・進化を解明する**月震計ネットワーク**、**月サンプル分析**等を実現する技術。



重要な技術開発：

- ✓ 小型の受信アンテナ技術
- ✓ 小型・高感度地震計技術
- ✓ 小型サンプル分析技術 等



【出典】
JAXA

観測・分析機器のイメージ
（上段左から、月面天文台、
月震計、下段が月サンプル分析）

- 米国、ロシアや中国は、月面活動を通じて月面での科学や探査技術を獲得している。

月着陸技術

- 探査や物資輸送を行うために、**月面の目標とする場所へ安全に着陸する技術**。



月面着陸機（イメージ）

重要な技術開発：

- ✓ 航法誘導制御技術
- ✓ 降着系技術 等
- ✓ 障害物検知技術

- 従来の重力天体への着陸は、位置精度にして数km程度の誤差が発生するのに対して、我が国は小型月着陸実証機（SLIM）により世界に先駆けて100m以内の高精度着陸技術の実証を達成しており、優位性を有する。

エネルギー技術

- **長期間の月面滞在**を可能とするための**発電・蓄電・送電技術**。



展開収納型太陽電池タワー（イメージ）

重要な技術開発：

- ✓ 発電技術
- ✓ 蓄電技術 等

- 我が国では、月・火星探査の本格化に向けた発電技術・蓄電技術・送電技術の研究開発に取り組んでいる
- 米国や欧州では、熱電素子や変換効率の高いスターリングエンジンの研究が行われている。

Ⅲ.月面探査・開発等

- 人類の恒常的な活動領域が深宇宙に拡大することを目指した、アルテミス計画が進捗する。
- 国際パートナーとともに、持続的な月面探査（限られた資源を効率的に探査・利用する技術）と、基盤技術の開発を進めていく。

月通信・測位技術

- 月圏内や月-地球圏の間における通信や、月面・月周回軌道上でリアルタイムに測位を行うための技術。

重要な技術開発：

- ✓ 大容量リアルタイム通信技術
- ✓ 小型軽量化技術
- ✓ 惑星間インターネット技術
- ✓ 月測位システム技術
- ✓ 月面拠点内のRF通信技術 等

- 月面探査における通信測位技術は、国際的に協調して共通のインフラや規格を共同利用する方向で調整が進められている。

月表面探査技術

- 月面着陸後の人・物の移動機能や、耐環境機能、作業支援機能を提供し、**広域・長期の月面探査活動**を実現する基盤技術。



【出典】TOYOTA

重要な技術開発：

- ✓ 航法誘導制御技術
- ✓ 耐環境技術
- ✓ 走行機構技術
- ✓ 作業支援技術 等

月・火星のローバでは米・ロ・中にも実績があり、後続では欧州、インド等で取り組みが進んでいる。

JAXA/トヨタが研究開発中の
有人と無人ローバ（イメージ）

月資源開発技術

- 水資源を含む資源探査や、資源利用に必要な施設・設備等の整備のための事前調査を行うための技術。



掘削ドリル

【出典】JAXA

重要な技術開発：

- ✓ 月周回資源探査技術
- ✓ 月面資源探査技術 等

月極域探査機（LUPEX）プロジェクトのイメージ

- 月を活動拠点とする際にはエネルギー源の確保が極めて重要であり、その資源として「水」が有力視されている

月資源利用技術

- 持続可能な月面探査の実現に向けて、**月面の資源を効率的に利用**するための技術。



【出典】JAXA

重要な技術開発：

- ✓ 水資源利用技術
- ✓ 宇宙無人建設技術
- ✓ 月面での食料生産技術 等

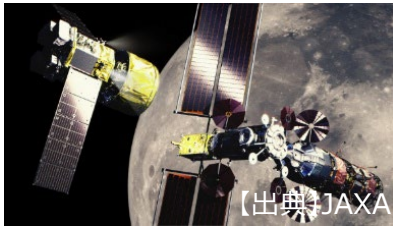
- 2022年10月にISECGより公表された「国際宇宙探査ロードマップ追補版2022」において、月面の氷含有レゴリスを原料として、月周回有人拠点「ゲートウェイ」と月面拠点間の往復に使用する宇宙機の推進剤を月面で生成する構想等が掲げられている。

IV.地球低軌道・国際宇宙探査共通

- 米国では、ポストISSの地球低軌道活動に向け、複数の商業宇宙ステーションの構想検討・開発が進められており、欧州はこれらと連携しようとしている。
- ポストISSにおける活動の場となる拠点の構築に必要な技術やそこでの活動を支える技術の開発を進めてゆく。

物資補給技術

- アルテミス計画における月周回拠点（Gateway）やポストISS商業宇宙ステーション等への物資補給に必要な技術



改良型HTV-X（想像図）



ISSに自動ドッキングする米国宇宙船 Crew Dragon(SpaceX社)

重要な技術開発：

- ✓ 自動ドッキング技術
- ✓ 航法誘導制御技術
- ✓ 補給能力向上技術 等

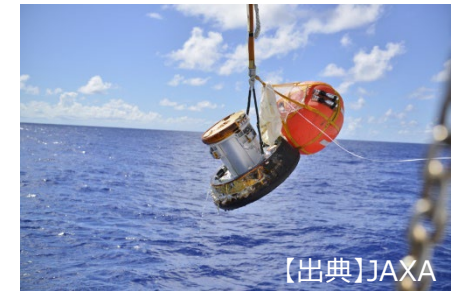
- ・ 我が国は、宇宙ステーション補給機（HTV）や新型宇宙ステーション補給機（HTV-X）の開発・運用等により、物資補給技術を獲得・蓄積してきた。
- ・ 世界では、地球低軌道への物資補給技術は、我が国の他に米露欧中が保有している（欧州のATVは運用終了）。

回収・往還技術

- ポストISS商業宇宙ステーションからの物資回収や有人往還に必要な技術



地上に帰還する米国宇宙船 Crew Dragon(SpaceX社)



回収される HTV搭載小型回収カプセル

重要な技術開発： ✓ 物資回収技術 等

- ・ 我が国では、HTV7号機に搭載した小型回収カプセル（HSRC）により、ISSからの宇宙実験サンプルの保冷回収に成功した。
- ・ 米国では、SpaceX社がISS向け物資補給・回収機とISS向け有人往還機を運用中。

IV.地球低軌道・国際宇宙探査共通

- 米国では、ポストISSの地球低軌道活動に向け、複数の商業宇宙ステーションの構想検討・開発が進められており、欧州はこれらと連携しようとしている。
- ポストISSにおける活動の場となる拠点の構築に必要な技術やそこでの活動を支える技術の開発を進めてゆく。

有人宇宙滞在・拠点システム技術

- 日本独自の低軌道活動を自在に行える場の確保に必要な**拠点システム技術**。
- 有人宇宙滞在に不可欠な**環境制御**や**生命維持**に不可欠な**システム技術**

HTV-Xを活用した
モジュールイメージ



【出典】JAXA

重要な技術開発：

- ✓ 有人宇宙拠点構築技術
- ✓ 生命維持・環境制御技術
- ✓ 有人活動支援技術
- ✓ 健康管理技術
- ✓ 有人宇宙施設運用技術
- ✓ 有人宇宙活動搭乗員訓練技術
- ✓ 有人宇宙活動安全評価・管理技術等

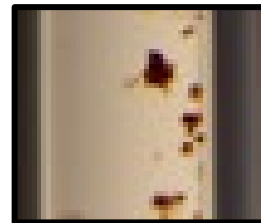
ポストISS地球低軌道拠点イメージ例

- 米国では、ポストISSの地球低軌道活動に向け、複数の商業宇宙ステーションの構想検討・開発が進められており、欧州はこれらと連携しようとしている。
- 中国、ロシア、インドには独自の低軌道拠点を構築・確保しようとする動きがある。

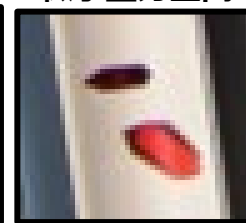
宇宙環境利用・宇宙実験技術

- 民間による低軌道利用サービスの競争力向上に資する**宇宙環境利用技術**。

地上

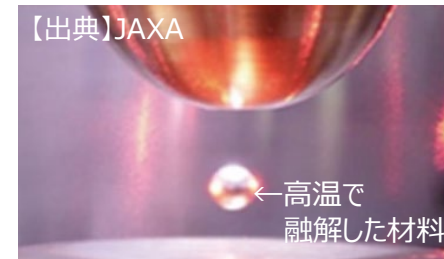


微小重力空間



生成されたタンパク質の結晶

【出典】JAXA



微小重力環境下で、
融解した材料の測定

重要な技術開発：

- ✓ 宇宙実験コア技術
- ✓ 宇宙実験効率化技術 等

- 我が国は、他国が保有しない独自性の高い宇宙環境利用・宇宙実験技術を獲得・発展させてきた。
- 米国、欧州、ロシアもそれぞれ宇宙環境利用を行っており、中国も独自の宇宙ステーションにおける宇宙実験を加速させている。

4. 宇宙輸送 ～重要技術の評価軸～

i. 技術的優位性	宇宙輸送能力（打上げ能力）の強化
	安価な宇宙輸送価格の実現（打上げ価格の低減）
	打上げの高頻度化
	技術を保有又は保有しようとする企業等の国際市場で勝ち残る意思とビジネスモデル
	技術成熟度が低い技術であっても、競争力の強化にむけて、先行開発が必要な技術かどうか
ii. 自律性	サプライチェーン上の代替困難度
	調達自在性のリスク
	システム構築上のコア技術であるかどうか
	技術成熟度が低い技術であっても、将来的に自律性確保の観点から先行開発が必要な技術かどうか
iii. 多様な宇宙輸送ニーズへの対応	様々なペイロードへの対応（衛星、実験機材、食料、燃料、構造物、ローバ、宇宙飛行士、ロボット等）
	多様な宇宙輸送ルートの実現（高速二地点間輸送、軌道間輸送、洋上打上げ、宇宙旅行、月・火星等）
	柔軟かつタイムリーな打上げ機会の提供
	信頼性の高い宇宙ロジスティクスの提供
	当該技術にかかる市場セグメントの市場性や将来性が期待できるかどうか
	宇宙輸送ハブとしての射場・宇宙港の機能強化

宇宙輸送①（システム技術・構造系技術）

- これまで我が国が蓄積・継承したシステム技術を更に発展させ、我が国全体の技術基盤を確立させ、宇宙輸送システムに関わるイノベーションを促進させる。
- 機体の製造期間短縮や機体軽量化を実現し、製造コストの低減や打上げ能力の向上へ繋げる。

システム技術

- システム技術は、ロケット開発に関わる高度な技術とノウハウの塊。国内における技術継承や経験蓄積を図り、将来の事業拡大にむけた大量生産技術に対応させる。
- MBSEの導入により、アジャイルな開発を実現し、調達から設計・開発・運用・製造までのプロセスを最適化する。

重要な技術開発：

- ✓ システムインテグレーション技術
- ✓ MBSE技術（Model-Based Systems Engineering）



MBSEによりアジャイルなロケット開発や全体プロセスの最適化を実現する。

構造系技術

- 3Dプリンタや複合素材を用いたロケットの大型構造体（エンジンやタンク等）の製造・成型、火薬を用いない機体や衛星、フェアリングの分離機構に関わる技術。
- 製造期間の短縮や機体重量の軽量化により、製造コストの低減や打上げ能力の向上が期待される。

重要な技術開発：

- ✓ 3D積層技術
- ✓ 複合素材成型技術
- ✓ 非加工品分離機構技術



米Relativity Space社はエンジンを含むロケットの機体全体を3Dプリンタで製造するなど、多くの企業でロケット製造への新たな技術の活用が進展。



我が国ではイプシロンロケットのモータケースやH3ロケットの衛星フェアリングへCFRPを活用。

宇宙輸送②（推進系技術・その他の基盤技術）

- 打上げ能力を強化し、運用性を向上させることで、ロケットの再使用化や月・火星等への大型貨物の輸送、その先の完全再使用化や高速二地点間輸送へ繋げる。
- 再使用型ロケットや自律飛行安全技術など、新たな宇宙輸送技術の導入により、打上げの高頻度化や打上げコストの低減へと繋げる。

推進系技術

- 液化メタンエンジンの開発や、エンジンの大推力化を通じ、ロケットの再使用や月・火星等へ大型貨物の輸送を実現する。
- 革新的な推進系（エアブリージングエンジン等）の開発を通じ、高速二地点間輸送や軌道間輸送、完全再使用へと繋げる。



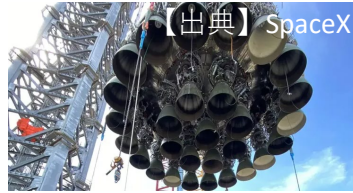
【出典】 ULA
米ULA社は液化メタンロケット（ヴァルカン）を開発し、24年1月に初打上げに成功。



【出典】 インターステラテクノロジズ
インターステラテクノロジズ社は液化バ
イオメタンを燃料としたエンジンの
燃焼試験に成功。

重要な技術開発：

- ✓ 液化メタンエンジン
- ✓ エアブリージングエンジン
- ✓ デトネーションエンジン
- ✓ 固体モータ量産化技術
- ✓ 液体水素エンジン
- ✓ 液体エンジンの大推力化技術
- ✓ 低毒推進薬技術



【出典】 SpaceX
米SpaceX社は、大推力の液
化メタンエンジンを33基組み合
わせた超大型ロケットを開発。

その他の基盤技術

- 再使用型ロケットは、打上げの高頻度化や打上げ価格の低減に寄与することが期待される。
- 自律飛行安全の実現を通じて、地上の設備・要員・運用コストの大幅な縮減やロケット飛翔時の安全確保を実現する。



【出典】 SpaceX
米SpaceX社は2023年末まで
に、246回のロケット一段目の帰
還に成功。多くのロケット企業が
再使用ロケットの開発に取り組む。

重要な技術開発：

- ✓ **アビオニクス系**
（オンボード自律飛行安全技術、アビオニクス機器の小型化技術、打上げ運用の効率化技術）
- ✓ **再使用型ロケット**
（熱防護技術、超音速風洞技術、空力設計技術、長寿命液体エンジン技術、帰還時誘導飛行制御技術、推進薬マネジメント技術、ヘルスマニタ技術、着陸機構技術、洋上回収技術、回収した機体の点検・整備技術）
- ✓ **スペースデブリ低減**
（オンボード制御再突入技術、飛行安全解析技術、PMD(Post Mission Disposal)技術、スラグ低減技術）



我が国では、仏・独の宇宙機関との共同プロジェクト（CALLISTO）において、機体再使用に必要な技術獲得を目指す。

【出典】 JAXA

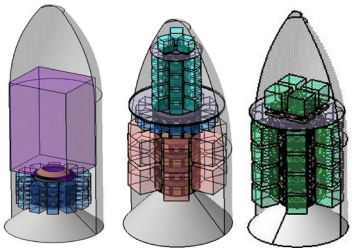
宇宙輸送③（輸送サービス技術、射場・宇宙港技術）

- 宇宙における活動領域が拡大するにつれ、宇宙へ運ぶペイロードが大型化・多様化し、宇宙輸送ルートも、軌道間輸送や高速二地点間輸送など多様なニーズが登場する。
- 射場・宇宙港では、高頻度打上げが実現。さらに、ロケット・宇宙機の帰還拠点としても重要な役割を果たす。他産業とのオープンイノベーションにより、価値創造や地方創生を進展させる。

輸送サービス技術

- ペイロードの大型化・多様化（衛星、実験機材、食料、燃料、構造物、宇宙飛行士等）に対応し、多様な輸送ルート（軌道間輸送、有人輸送、高速二地点間輸送等）を実現する技術開発を通じて、宇宙輸送サービスに関するイノベーションを創出し、多様な輸送ニーズに対応する。

【出典】 JAXA



顧客ニーズに応じ、様々な搭載方式に対応する搭載技術を開発。



【出典】 ESA

欧州宇宙機関（ESA）は、再利用可能な軌道間輸送機の開発を推進。

重要な技術開発：

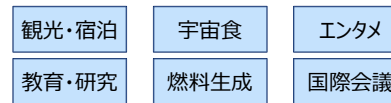
- ✓ **多様なペイロードへの対応**
（モジュール方式複数衛星搭載技術、ペイロード・インターフェース効率化技術、フェアリングの大型化技術）
- ✓ **軌道間輸送**
（推進薬保持・補給技術、ランデブー Docking 技術、高機動バス技術）
- ✓ **高速二地点間輸送**
（トポロジー最適化設計技術、水平着陸機構技術）

射場・宇宙港技術

- 宇宙輸送の拠点となる射場・宇宙港において、打上げ運用、追跡管制、地上支援などの機能強化を図り、多様な宇宙輸送サービスを我が国が実現させる。
- 宇宙港を宇宙ビジネスのハブ拠点として、周辺産業との連携・協業を促し、新たな価値創造と地方創生へ繋げる。



宇宙ステーションからの往還機の着陸拠点として、国内空港の活用を検討。



宇宙港（射場・スペースポート）

宇宙港としての本来機能 ▶ 宇宙港としての機能強化

重要な技術開発：

- ✓ **打上げ運用**
（ロケット打上げ運用技術、射場安全確保技術、保安距離算定技術）
- ✓ **追跡管制**
（地上局の共同利用技術、衛星や専用船を用いたテレメトリ技術）
- ✓ **地上支援**
（ロケット・射場間のインターフェース共通化技術、打上げ時の環境予測精度の向上技術、小型で汎用性の高いテレメトリ技術、極低温推進薬制御技術、ロケット燃料生成技術、飛行実験場技術）
- ✓ **宇宙港価値創造技術**

5. 分野共通技術 ～重要技術の評価軸～

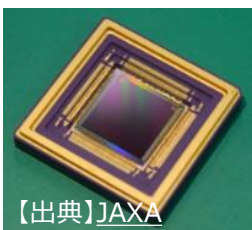
i. 技術的優位性	機能・性能面、コスト・納期面での優位性
	開発ステージにおける先行性
	輸出可能性
	当該技術を保有又は保有しようとする企業等が、国際市場で勝ち残る意志と技術、事業モデルを有するか
	現在技術成熟度の低い技術であっても将来的に競争力の発展等に重要な技術として先行する研究開発が必要な技術であるか
ii. 自律性	サプライチェーン上の代替困難度
	調達自在性のリスク
	システム構築上のコア技術であるかどうか
	技術成熟度が低い技術であっても、将来的に自律性確保の観点から先行開発が必要な技術かどうか
iii. ユースケース	安全保障・民生分野横断的に、開発した先に当該衛星技術のエコシステムを支えるのに十分なユースケースや市場等が期待できるか

分野共通技術

- 衛星、宇宙科学・探査、宇宙輸送の各分野共通となる技術について、継続的に開発に取り組むことが、サプライチェーンの自律性確保、国際競争力強化の観点から不可欠。

ハードウェア技術

- 軌道上での画像処理等の高度なデジタル機能を持つ衛星の開発が進む中、中核技術であるデジタルデバイス等、機能性能の高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術。



【出典】JAXA

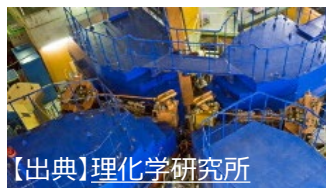
重要な技術開発:

- ✓ 宇宙耐性のある国産デバイス開発 (ナノブリッジFPGA、ダイヤモンド半導体)
- ✓ 高性能バッテリー (液系)

低消費電力、耐放射線設計の宇宙用高性能デジタルデバイス (MPU試作品) をJAXAが開発

システム開発・製造プロセスの変革

- 開発サイクルの高速化や量産化に向けては、COTS品の宇宙転用拡大により、より進展の早い非宇宙分野の技術を宇宙分野に適用する動きが進展。



【出典】理化学研究所

COTS品の宇宙機への適用拡大に向けては、耐放射線性、耐真空性、耐熱性等の環境試験等が必要



【出典】Oneweb

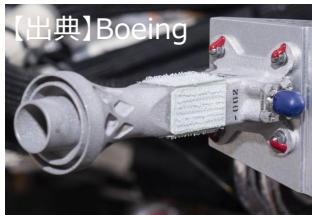
製造試験ラインを自動化しているOneweb衛星

重要な技術開発:

- ✓ MBSE/MBD技術開発・実証、デジタルツインの活用
- ✓ 宇宙機・部品・コンポーネントの量産化技術開発、コンポーネント等の高頻度での軌道上実証
- ✓ 環境試験手法の最適化・効率化、環境試験設備の導入

機械系技術

- アジャイルな宇宙開発が求められる中、3Dプリンティング等の宇宙機製造技術の高度化が進む。



【出典】Boeing

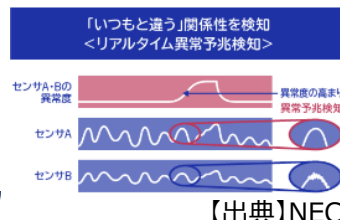
重要な技術開発:

- ✓ 3Dプリンティング活用研究
- ✓ 極低温冷凍機
- ✓ 高機能アクチュエータ

米ボーイング社は千超の衛星部品を3Dプリンティングで製造・工期の半減 (10→5年) を計画

ソフトウェア基盤技術

- AI、機械学習等、ミッションの高度化と柔軟性を支えるソフトウェア基盤技術。



【出典】NEC

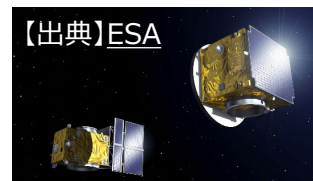
多数のセンサデータを活用した日NEC社の異常検知AI技術

重要な技術開発:

- ✓ AI分析技術開発 (衛星AISやSAR、電波監視衛星等を活用したAIシステム)

複数宇宙機の高精度協調運用技術

- 互いの相対位置・姿勢を制御しながら高精度に協調する編隊飛行技術。



【出典】ESA

欧ESAは太陽コロナ観測のため、遮光衛星と観測衛星で編隊飛行を計画 (2024年打上予定)

重要な技術開発:

- ✓ 編隊飛行技術の高度化 (フォーメーションフライト) に向けた要素技術開発・実証