

宇宙技術戦略に関する考え方

1. 基本的考え方

(1)「宇宙技術戦略」策定の背景・目的

「宇宙基本計画」(令和5年6月13日閣議決定)において、「宇宙技術戦略」を新たに策定し、ローリングしていくことを決定した。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、ローリングしていく。

宇宙技術戦略では、衛星、宇宙科学・探査、輸送等の技術分野について、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道筋を示していく。

(2)本文書の目的

上記(1)を達成するため、まずは「衛星」、「宇宙科学・探査」、「輸送」のそれぞれの技術分野について、宇宙技術戦略における具体的な技術分野について分類し、「宇宙技術戦略に関する考え方(案)」として整理を行った。分野間で共通の基盤技術については、「分野共通技術」として整理を行った。

今後、本文書が示す重要技術分野の分類やそのスクリーニングの考え方、各小委員会、宇宙政策委員会・基本政策部会における議論等を踏まえて、開発の進め方や優先順位を検討し、宇宙技術戦略に可能な範囲で示していく。また、ローリングのあり方についても検討し、最新の状況を踏まえた反映を継続的に行っていく。策定した宇宙技術戦略については、関係省庁における技術開発予算の執行において参照していく。

(3)重要技術のスクリーニングの考え方(全体)

開発の道筋を検討するに当たっては、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、

- ① 我が国の技術的優位性の強化
 - ② 経済安全保障環境の変化と、我が国の宇宙活動を支えるサプライチェーンが断絶するリスクを念頭に置いたサプライチェーンの強化(サプライチェーンの「自律性」の確保)
- に資する技術開発を推進していく。

その際、世界における競争環境が厳しくなる中、我が国の国内需要は部品産業を含めたサプライチェーンを維持するには不十分であることから、国内の技術開発プロジェクトや政府需要の機会を、国内市場のみならず国際市場への展開のために戦略的に活用していくことが重要である。このため、衛星技術等については、安全保障・民生分野横断的に、開発した先に当該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どうかを確認していく。また、宇宙輸送技術については、宇宙活動が拡がりを見せ、ペイロードや輸送ルートが多様化する中、多様な宇宙輸送ニーズへの対応が期待できるかどうかを確認していく。

さらに、当該技術を保有又は今後保有しようとする企業等が、国内需要を支えるとともに、国際市場で勝ち残る意志と技術、事業モデルを有するかを確認し、重点的に育成・支援していく。

スクリーニングされた重要技術については、国は技術開発計画の早期の明確化等により、技術開発投資の予見可能性を高めるとともに、先行的な研究開発を含め必要な技術開発を支援し、必要に応じて国産コンポーネントの開発とそれを支える施設・能力について支援を実施していく。技術実証を行うに当たっては、失敗を恐れず、高い頻度で宇宙実証を行うアジャイルな開発手法を取り入れていく。加えて、可能な限り民間事業者からサービス・財を調達することで、民間事業者の投資を促進する好循環を形成していく。

2. 衛星

(1) 重要技術のスクリーニングの考え方(衛星)

① 技術的優位性

我が国の衛星産業の競争力の維持・発展の観点での重要性や、国内外市場における勝ち筋につながりうる技術を戦略的に支援していく。具体的には、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、輸出可能性等を評価する。また、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について評価する。加えて、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どうか等を評価する。

② 自律性

我が国がシステムとして衛星開発を継続する上で、サプライチェーン上における重要性の高い技術とそれを支える施設・能力について支援していく。具体的には、当該技術のサプライチェーン上の代替困難度、調達自在性のリスクに加え、衛星システム構築のコア技術であるかどうか、衛星には通信、測位、観測、軌道上サービス、宇宙科学・探査等、ユースケースが広く存在するところ、様々なユースケース実現への影響があるか、現在技術成熟度の低い技術であっても、将来的に上記の自律性の観点から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どうか等を評価する。

③ ユースケース

安保・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についても評価する。

(2) 衛星分野における重要技術

防災・減災、国土強靱化や気候変動を含めた地球規模課題の解決と、民間市場分野での幅広いイノベーション創出に貢献し、SDGs の達成や Society5.0 の実現をけん引するため、①通信、②衛星測位システム、③リモートセンシングの利用ニーズに基づいた開発・整備・活用を戦略的に進める。また、宇宙機やスペースデブリなどの宇宙物体の増加による軌道上の混雑化を踏まえ、これらの衝突リスク低減等に貢献する④軌道上サービス、①～④の宇宙ミッションを実現するた

めに共通的に必要となる⑤**基盤技術**の開発・関連施設の整備・活用にも取り組んでいく。

以下に衛星のそれぞれの技術分野において、重要技術の分類について整理し、記載する。

① 通信

地上系通信網における第5世代移動体通信サービス(5G)や2030年代に実現を目指している次世代通信サービスである Beyond5G(6G)では、高速・多元接続¹・低遅延かつ低消費電力の通信が、より多くの人や地域に常時提供されることが期待される。衛星通信が従来から提供してきたその広域性に加え、今後、ニーズに応じた柔軟性や容量の拡大、バックアップ性及びセキュリティの向上といった、機能の改善が期待されている。

このような機能の改善により、衛星通信は民生や安全保障分野において、過疎域を含めた陸・海・空をシームレスに繋ぐことにより、ドローンや空飛ぶ車等の飛行体への通信サービスの提供など、多様な通信サービス事業が広がることが期待される。さらに、災害時の地上通信網被災時や有事の際などに、地上系に依存しないネットワークを提供することができ、そのニーズが今後より高まることが予想される。

このような機能改善の実現のためには、**大容量で柔軟な通信を提供するデジタル通信ペイロードシステム**により、より多くのデータを通信し、通信地域や周波数などを時々刻々と変化する通信ニーズへ柔軟に対応していくことが重要になる。(デジタル通信ペイロード機器、柔軟なビーム配置が可能な電子走査アンテナ、高周波(Ka/Q/V/W/E)・高効率 RF 機器、デジタル通信ネットワークシステム等)

また、**衛星間や軌道間および宇宙と地上を結ぶ光通信ネットワークシステム**が、周波数資源を消費せずに大容量通信を可能とする。光通信の低軌道通信衛星コンステレーション等への適用を通じて、海上や極域などへのサービス提供領域の拡大を可能とするとともに、リモートセンシングの分野では大容量の観測データの地上へのリアルタイムに近い伝送を可能とする。(衛星間メッシュ通信技術、光通信端末技術、光通信システム等)

加えて、地上無線局のみでは十分な通信面積カバレッジを実現することは困難であるため、**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)²技術**が重要となる。無線局の機能を衛星側に搭載し、低軌道/中軌道通信衛星コンステレーションや静止通信衛星、HAPS等を多層的かつシームレスに繋いでいく。(Beyond5G(6G)無線局(RAN)の衛星搭載化技術、Beyond5G(6G)通信ソフトウェア技術(NFV³、スライシング等)の実装技術等)

さらに、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ための**秘匿性・バックアップ性を向上させるセキュリティ通信**といった技術を開発することが重要となる。(民生通信技術の採用に伴うセキュリティ強化技術、衛星搭載系抗たん性技術、サイバー探知・対処のシステム技術、耐量子計算機暗号・量子暗号通信技術等)

② 衛星測位システム

衛星測位システムは、位置・時刻を提供する社会インフラであり、カーナビゲーションやスマートフォンのアプリケーション等、既に社会活動の一部として利用されるだけでなく、宇宙分野におい

¹ 多元接続: 一つのノード(基地局、衛星など)から多くの端末に同時に通信接続すること(Multi-Access)

² NTN: Non-Terrestrial Network: 非地上系の通信網(衛星通信やHAPSなど)を指す

³ NFV: Network Function Virtualization: ネットワーク機器やセキュリティ機器の機能を仮想化し、汎用サーバ上で実行する方式

ても衛星画像地点の特定や通信機能においても必要な要素として広く浸透している。

その中で将来の測位システムにおいては、衛星から配信される信号の精度向上、妨害耐性の強化に加え、可用性・信頼性の向上を通じた、いつでも、どこでも、安心して利用できる測位システムを実現することがスマートシティ、自動運転の実現、および安全保障の用途等でも期待されている。

これらの実現のために、我が国が測位能力を自立的に確保するために整備を進める準天頂衛星システムについて、妨害・干渉に強い高精度な衛星測位システムとする技術開発及び開発整備が重要である。(妨害回避機能の強化(ソフトウェア無線等)、時刻・位置決定の高精度化(光衛星間リンク、クロック技術、精密軌道制御技術)、維持・運用の効率化(デュアルロッチ、運用自律・自動化)、小型・軽量・省電力化等)

さらには、ユーザ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も重要となる。**(受信機の信頼性・抗たん性・セキュリティ強化、受信機の高精度化、宇宙用受信機の適用領域拡大等)

③ リモートセンシング

小型衛星コンステレーションの構築の進展や新たなセンサの開発等により、地球観測衛星の時間・空間・波長分解能が高まると同時に、ビッグデータ処理及び人工知能といったソリューション技術が発展する中、地球観測衛星データの利用に応じた提供に加え、ドローンのデータ、IoT データ、気象データ、海洋データ、その他の地上で得られるデータ等を組み合わせることにより、幅広いアプリケーション・サービスを実現することが可能となっている。これによって、安全保障や防災・減災、国土強靱化、地球規模課題への貢献、さらには民間市場分野におけるイノベーションの創出が期待される。

その際、地球観測衛星データと、ドローン、IoT データなど多様なデータとの組み合わせを可能とする、**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が基盤として重要となる。**(迅速なデータ収集・高次処理技術、都市・地球デジタルツインに向けたモデル同化・可視化技術、データレイクと新たな価値情報創出に向けた機械学習や AI による複合・解析技術、データフュージョン等のためのセンサ及びデータ校正・補正技術等)

また、特に衛星リモートセンシングの活用が進んでいる防災・減災や安全保障においては、有益な情報をより迅速に把握することが求められており、観測衛星コンステレーション技術など、**時間情報を拡張するコンステレーション技術等が重要である。**(観測衛星コンステレーション技術(LEO/MEO/GEO)、オンボード情報処理システム、観測衛星システムの小型軽量化・低価格化技術、静止軌道からの観測などによるリアルタイムな観測技術等)

光学や合成開口レーダ(SAR)等においては、高解像度化、広域化等、イメージング画像の高度化に向けて各国がしのぎを削る。また、デジタルトランスフォーメーション(DX)化が進んだ将来においては、都市・地球デジタルツインが一つの産業基盤となることが想定され、豪雨災害等においては雲・降水システムの理解も必要であり、都市や地形、降水等の 3 次元的な理解が期待されている。これらを支える**空間情報を拡張する光学/レーダー等のセンサ開発技術が重要である。**(光学イメージング、SAR、レーダー計測、ライダー計測(高度計、ドップラー等)、共通技術・新しいセンサ等)

さらに、気候変動にかかる科学研究に加え、近年活発化しているカーボンプライシングや ESG、自然資本等へのデータ活用に対して**波長/周波数情報を拡張するセンサ開発技術の重要性が増している。**(電波放射計測、分光計測(狭帯域分光計、ハイパー、サウンダ)、船舶情報収集

(AIS/VDES)等)

④ 軌道上サービス

宇宙空間の利用は、安全保障や経済・社会活動において不可欠なものとなっているが、小型衛星コンステレーションなどによる宇宙機やスペースデブリなどの宇宙物体の増加による軌道上の混雑化により、衛星同士の衝突や衛星とスペースデブリとの衝突などのリスクが増大している。また、破壊的な直接上昇型ミサイルによる衛星破壊実験、衛星同士のつきまといなどの脅威となる行為も懸念事項となっている。

技術開発・実証の進展により、将来的には、衛星の運用終了後の適切な廃棄処理が行われるとともに、能動的スペースデブリ除去や、衛星の寿命延長に資する燃料補給、修理などの軌道上サービスが実用化されることで、スペースデブリの数が一定程度まで管理された状態を実現することが期待される。

軌道上サービスの実現に向けては、全てのサービスで共通して利用される対象物体に近づいて作業するための、**軌道上サービスの共通技術**が重要である。(RPO⁴の効率化・高度化、マニピュレータ技術等)

加えて、個別のアプリケーションの提供に向けては、軌道環境維持に繋がる**軌道環境・物体の状態監視・遠隔検査技術**(地上からの軌道上物体の把握、軌道上での観測・点検技術等)、**サステナブルな軌道環境を実現する非協力物体へのデブリ除去・低減技術**(低軌道でのデブリ(非協力物体)の除去技術、デブリ低減関連技術等)、軌道上における**衛星の故障や推薬枯渇に対応した協力物体への寿命延長技術**(協力物体の軌道や傾斜角の変更、姿勢維持制御技術、協力物体への燃料補給技術等)、及び、**マニピュレータによる軌道上修理、交換、製造組立技術**(軌道上での機器交換、性能向上技術、軌道上での技術組立・製造技術等)を、費用便益がバランス可能な実用サービスの実現を見据えながら開発することが重要である。

また、太陽活動等は軌道上の衛星運用等に支障を及ぼすおそれがあり、安全保障分野を含め、宇宙通信・観測・測位や地上インフラ機能等、**宇宙システム安定利用のための宇宙環境観測・予測技術**の開発が重要である。(宇宙環境観測技術、宇宙環境予測技術、ユーザーニーズに即したサービス・アプリケーション等)

⑤ 基盤技術

先に記した①～④の宇宙ミッションを軌道上で実現させるためには、共通となる基盤技術について、海外と同等以上のQCD(Quality, Cost, Delivery)能力を維持・向上すべく、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である。その際、衛星のシステムとしての性能は、ボトルネックとなる技術によって決まるという性質を有していることに留意が必要である。一方で、基盤技術は技術分野が多岐にわたり、調達性が改善しコモディティ化している技術も存在しているため、限りある開発リソースの投入にあたっては、技術のスクリーニングの基準を踏まえ、開発項目の選択と集中が必要となる。

⁴ RPO: Rendezvous and Proximity Operation (ランデブー・近接オペレーション)

こうした考えに基づき、**機能高度化と柔軟性を支える SDS⁵基盤技術**(衛星搭載高性能計算機、SDS SW フレームワーク、衛星搭載フォトニクスデバイス等)、**小型軽量化とミッション高度化を支える電気系基盤技術**(電源システム、太陽電池パドル、フォーメーションフライト制御を含む誘導制御システム等)、**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**(推進系、熱制御系、構造系等)、**運用、および、地上局効率化を支える地上システム基盤技術**(運用自動化技術、地上局仮想化技術等)等を開発することが重要である。

3. 宇宙科学・探査

(1) 重要技術のスクリーニングの考え方(宇宙科学・探査)

① 技術的優位性

世界的に見て独創的な科学的アイデアの実現に必要な特長ある技術や、独創的・先鋭的な宇宙探査のための技術、国際協力ミッションにおける我が国の役割分担の履行のための技術について支援していく。具体的には、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、又は機能・性能面で優位であるか(今後、優位性を獲得しうるか)、国際協力ミッションに関する技術については、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・向上できるかについて評価する。

なお、先端的な科学的成果を得るために、まず、独創的な科学的アイデアを広く集め、基礎研究段階からの育成や必要な要素技術開発を行う。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という観点から、スクリーニングやステージゲート等により評価する。

また、将来の地球低軌道活動や持続的な月面活動等が段階的に進展していくことを見据え、開発した技術が、その技術的優位性を活かして、将来の活動の進展に応じた基盤整備や市場創出等につながる可能性があるかどうかについても評価する。

② 自律性

宇宙科学・探査ミッションは、独創的なアイデアを実現する観点から一品物が多く、技術によっては必ずしも広い市場が見込めない場合もあるが、我が国において継続・発展させていくためには、サプライチェーン上における重要性の高い技術とそれを支える施設・能力について、企業と研究開発機関で適切に役割分担しつつ、継続的に支えていく必要がある。

具体的には、当該技術のサプライチェーン上の代替困難度、調達自在性のリスクに加え、システム構築のコア技術であるかどうか、評価する。また、当該技術を開発する企業や研究開発機関が、技術の維持・開発リスクを低下させるため、技術開発プロジェクト計画の早期の明確化や要素技術の先行的な研究開発、商業分野や国際市場への展開、当該技術を支える施設や能力の維持等、国内需要を支える意志や計画を有するかについても、評価する。

⁵ SDS: Software Defined Satellite (ソフトウェア定義衛星): 衛星が従来ハードウェアで実現してきた機能を極力ソフトウェアへ移行させ、軌道上でプログラム変更によりアプリケーションレベルの更新を行うことで、変容する需要に柔軟に対応することを意図した衛星。

(2) 宇宙科学・探査分野における重要技術

① 宇宙物理分野

宇宙望遠鏡は、遠方の天体等から発せられる電波、赤外線、可視光、X/γ線等の様々な波長域での微弱な放射を高感度に観測することが求められる。その際、放射雑音や素子由来の熱雑音を減らす**冷却技術**が重要である。

また、**観測技術**としての優れた宇宙望遠鏡の実現のためには、高機能な能力・機能を有する電磁波や粒子を検出するための装置、天体からの光を収集して検出器に導くための光学系の部品、それらを統合し各機器を宇宙環境下で長期間、安定的に稼働させ、優れた観測データを取得できる宇宙用センサシステム技術が重要である。我が国はX線分野において、先駆的なセンサシステムを実現してきた。また、太陽系外の恒星系の惑星観測のためには、近赤外線観測技術、紫外線観測技術、高コントラスト観測技術といった系外惑星観測技術が重要である。

今後、より大型かつ高精度な観測が可能な宇宙望遠鏡システムを実現するためには、限られたペイロードの中において、**望遠鏡の軽量化・高精度化を可能とする技術**が重要である。一方で、単一の宇宙機の物理サイズを超えた宇宙科学・探査の実現を図るためには、複数の宇宙機の相対距離・姿勢を制御し、宇宙機群を一つの編隊として飛行・制御する技術が重要である。

さらに、ミッションで収集された観測データについて、成果最大化等の観点から、データ解析技術も重要である。

② 太陽系科学・宇宙工学分野

サンプルリターン技術は、「はやぶさ」シリーズの技術を基盤としつつ、火星衛星探査計画(MMX)そしてそれに続く先進的な新たな計画、さらに国際的連携による、より大規模なミッションを実現するために、一層の高度化が求められる。このために、「天体のサンプルを獲得し確実に保管する技術」、高耐熱性を維持しつつ、より軽量・大型のヒートシールドを実現する「惑星間軌道から直接地球大気圏に突入できるサンプルリターンカプセル技術」、「地上での回収技術」及び「帰還サンプルの分析技術(キュレーション技術)」、そしてこれら4つの技術開発を下支えする「汚染管理技術」が重要である。また、**超小型探査技術**は、小型軽量・低コスト・短期開発という特徴を生かした、より遠方への到達、探査対象天体の現地で活動する子機衛星としての、ハイリスクで高度なミッションの展開、高頻度な探査ミッションの展開などのために重要である。

火星以遠への飛行を可能とし、かつ、多様な行先に対応する共用性を持つ、**深宇宙軌道間輸送技術**も重要である。火星本星への着陸、木星距離の小天体への往復飛行などを視野に、超遠方惑星間航行に加え、超遠方での重力天体周回、小天体周りの航行、深宇宙ドッキング・協調運用技術などの輸送機機能を具備することが求められる。

大気圏突入・空力減速・着陸技術 (EDL [Entry, Descent and Landing] 技術)は、重力天体・大気重力天体での活動を進めていく基盤となり、重要である。大気のある天体では、探査機は大気圏に突入し、その突入速度により発生する加熱や荷重に耐え、大気の抵抗により効率よく速度を落として、天体表面に着陸しなければならない。大気がない月においては、大気圏突入・空力減速技術は必要ないが、その減速分も含んだ大推力の逆噴射により軟着陸できることが求められる。

探査対象となる天体にして、まず想定される月については、**月面科学に係る技術**、具体的に

は、月面天文台、月サンプル選別・採取・分析、月震計等に係る技術の開発が重要である。

今後、早期に科学観測機器の実証とパッケージ化、更には**表面探査技術**の獲得を進め、その後は国際協力の枠組みを利用し、観測システムの広域展開等により本格的な科学観測を行うことが求められる。

生命生息可能性がある火星本星の探査には、宇宙条約及びそのガイドラインである COSPAR 惑星保護方針を鑑み、惑星保護技術が重要となる。具体的には、滅菌・微生物汚染管理に関する基盤技術の獲得、設備・装置の整備、人材の育成、及びその適切な運用が重要であり、組立・試験・輸送・射場に至るまで、清浄度管理された空間(クリーンルーム)、及び微生物検査を行う実験設備の整備が重要となる。また、探査機に付着しうる微生物のサンプルの保存、それらの遺伝情報の取得が、世界的に標準化されており、これらの技術獲得および設備整備も重要である。

火星や彗星など多様な天体を探査するためには、フライバイ・ランデブー観測で必要なイオン質量分析機器や中赤外線イメージングカメラ等、太陽系の構造を理解するためにはプラズマ・高エネルギー荷電粒子・中性粒子、電磁場の観測といった大気・表層・磁気等観測技術や将来の我が国の強みとなりうる技術(太陽光推進技術、月面等での越夜・外惑星探査に向けた半永久電源の基盤技術等)の研究開発を行うことも重要である。

③ 月面探査・開発等の国際宇宙探査

月等での活動にあたっては、**着陸技術**(月極域を含む高精度航法誘導制御技術、障害物検知・回避技術、推進管理系技術、エンジン技術、降着系技術等)を早期に確立することが重要である。探査活動の自律性を維持するためには、国内で確保、発展させていくことが重要な技術である。技術開発にあたり、単純に着陸するというだけでなく、狙った場所に高精度に到達できる能力を獲得することは、限られた科学的価値の有る場所や有人探査の拠点として利用できる場所へのアクセスが可能となり、戦略上も重要な意味を持つと考えられる。

月等の深宇宙探査の本格化に向け、月等の表面探査に必要となる我が国の優れた**エネルギー技術**(薄膜太陽電池、リチウムイオン電池(LIB [Lithium Ion Battery])、再生型燃料電池(RFC [Regenerative Fuel Cell])、省エネルギー技術、半永久電源等)を活用しつつ、発電技術・蓄電技術・送電技術や、宇宙太陽光発電システムの研究開発に取り組むことが重要である。

月等の表面探査技術(走行機構技術、月面での航法誘導制御技術、耐環境技術、自己位置同定と地図の同時生成、自律・知能的にローバを動作させるシステム技術等)は、人や物を目的地に到達させるだけでなく、月面で実施可能な科学・利用ミッションの幅を広げるための基本機能であり、探査範囲の拡大と成果の最大化につながることから、有人と圧ローバや月以遠での小型ローバ等での実用化を目指し、長期目標を定めて確実に技術獲得を進めることが重要である。

各国による月面資源調査が2020年代に多数計画されており、NASAは月資源探査ミッションとして月面探査ローバ(VIPER)の打上げを予定している。我が国では、月の水資源が将来の持続的な宇宙探査活動に利用可能か判断するために、水の量と質に関するデータを取得することを目的とした、インド宇宙研究機関(ISRO)との共同による月極域探査ミッション

(LUPEX)を計画。こうしたミッションや、月面の広域な水エネルギー資源探査を可能にするテラヘルツ波センサの開発、掘削やサンプリング、研磨等、**月資源開発技術**が重要である。

(月周回資源探査技術、月面資源探査技術)

月探査においては通信・測位インフラも重要であり、国際協調で規格共通化や共同利用を進めていく方向性が示されている。今後、各国が協働で構築・整備する通信・測位インフラの開発、利用にあたって我が国がより優位に関わっていくための**月通信・測位技術**の開発が重要である。(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等)

また、持続的な月面活動を可能にするためには、限られた資源から必要な物資を現地で調達・生産できる月面インフラの構築やそのために必要な技術を含めた、効率的な**月面における資源利用技術**が重要となる。(水資源利用技術、宇宙無人建設技術、循環型食料供給技術等)

④ 地球低軌道・国際宇宙探査

地球低軌道及び深宇宙において有人による宇宙活動を行うためには、活動の場となる拠点とそこへのアクセスと活動を支える技術として、**物資補給技術、有人宇宙滞在・拠点システム技術**や**宇宙環境利用・宇宙実験技術、回収・往還技術**等が重要である。

物資補給技術(自動ドッキング技術、航法誘導制御技術、補給効率向上技術、燃料補給技術)について、我が国においては、国際宇宙ステーション(ISS)への物資補給を担う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)の開発により、優位性の高い技術を獲得してきており、これらを活用、発展させることが効率的かつ効果的である。

2040年に3兆円規模の経済効果があるとされている地球低軌道上サービスは、宇宙開発利用市場の獲得や低軌道以遠の宇宙開発に向けた拠点等としても極めて重要な役割を担っており、中国、ロシア、インドでも独自拠点を確保しようとする動きがある。我が国として、地球低軌道における様々な利用ユーザの取込みと成果最大化を図るため、**有人拠点構築技術**や**拠点基盤インフラ技術**、**生命維持・環境制御技術**、さらに、**有人活動支援技術**(遠隔化・自動化・自律化技術、健康管理技術、有人宇宙施設運用技術、有人活動安全評価・管理技術)等の**有人宇宙滞在・拠点システム技術**を開発することが重要である。

地球低軌道活動において欧米や中国、インド等が積極的に取組を進めているなか、我が国でも、産学官が自在かつ高頻度に活動できる場として有人拠点等を構築するとともに、ISS日本実験棟「きぼう」で培ったライフサイエンス、創薬、材料分野等に関する独自性や国際競争力の高い**宇宙環境利用・宇宙実験技術**を継承・発展させた最先端の実験装置群を開発することが重要である。(宇宙実験コア技術、宇宙実験効率化技術)

回収・往還技術について、自律的で自在な物資回収技術は、ポストISS拠点を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である(日本は小型カプセル回収で実績があるが、大型回収機開発は未着手)。また、有人往還技術は、米国、ロシア、中国のみが保有し、米国では民間企業が運用中であるが、有人宇宙活動にも必須な技術として、自律性確保のために独自に獲得することが重要である。

4. 宇宙輸送

(1) 重要技術のスクリーニングの考え方(宇宙輸送)

① 技術的優位性

人類の活動領域は、地球、地球低軌道を越え、月面、更に深宇宙へと、本格的に宇宙空間に拡大しつつあり、我が国の宇宙活動を支える重要な基盤としての宇宙輸送については、研究開発やイノベーションを通じて技術的優位性を強化する必要がある。

このため、宇宙輸送能力の強化、安価な宇宙輸送価格の実現、打上げの高頻度化を実現するために必要な技術であるかどうかを評価する。

② 自律性

H-IIAロケットの部品点数は約 100 万点、そのサプライヤーは約 1,000 社に達すると指摘されており、我が国が他国に依存することなく宇宙へのアクセスを確保していくためには、ロケットのコンポーネントや部品、材料に関するサプライチェーンを継続的に支えていく必要がある。

このため、基幹ロケット及び民間ロケットに関するサプライチェーンリスクに関して、関係企業約 15 社に対するヒアリングを実施し、産業基盤(生産設備、試験装置、材料入手等)、技術基盤(量産化技術等)及び人的基盤(技術者確保等)の観点から、サプライチェーンの自律性確保に資する研究開発等の支援が必要な技術であるかどうかを評価する。

③ 多様な宇宙輸送ニーズへの対応

宇宙基本計画では、次期基幹ロケットの運用実現、完全再使用化及び有人輸送への拡張、並びに高速二地点間輸送や宇宙旅行などの新たな宇宙輸送システムの実現を目指すことが示されており、こうした宇宙輸送分野のイノベーションを積極的に創出することにより、多様な宇宙輸送ニーズに確実に対応できるようにすることが求められている。

このため、様々なペイロードへの対応(衛星、実験機材、食糧、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、打上げ手法の多様化、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、信頼性の高い宇宙輸送ロジスティクスの提供等、多様な輸送ニーズに対応する宇宙輸送サービスを実現するために必要な技術であるかどうかを評価する。

また、増加する国内の衛星打上げ需要やグローバル需要に応えるため、海外の宇宙輸送技術の国内での活用、サブオービタル飛行などの我が国に前例のない多様な取組を進めることが期待されており、こうした取組により我が国の宇宙産業の裾野を拡大させ、ひいては我が国がアジア・中東における宇宙輸送ハブとしての地位を築くことを目指す必要がある。このため、ロケットの打上げや帰還をホストする宇宙輸送ハブとしての射場・宇宙港の機能強化に資する技術であるかどうかについても評価する。

(2) 宇宙輸送分野における重要技術

① システム技術

ロケットシステムの設計・開発・製造・運用にあたり、個々のサブシステムやソフトウェア等を全

体として統合し、運用する**システムインテグレーション技術**は、ロケット開発の基幹的技術であり、最優先で取り組むことが必要である。また、本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であることから、新規のロケット開発を通じてロケットの開発基盤(人材・組織、開発ツール、ソフトウェア、試験装置、計算機基盤、実験場等)を確保し、その上で国内における技術継承や経験蓄積を図りつつ、かつ将来の事業拡大にむけた大量生産技術へ対応させることが重要である。さらに、安全保障に対する宇宙システムの重要性が高まる中で、これまで我が国が独自に培った戦略技術としての固体ロケットシステムに係るシステムインテグレーション技術を継承・発展させることが重要である。

また、ロケットシステムの要件定義・設計・開発・製造・運用及びこれらの検証・妥当性確認に係るプロセスにおいて高度なモデルを使用することにより、システムズエンジニアリングを高度化・高信頼化・効率化する **MBSE(Model-Based Systems Engineering)**については、ロケット開発で求められつつあるアジャイル開発や、調達から設計・開発・製造・運用までのプロセスの最適化を支援する重要技術であることから、積極的な導入を推進することが重要である。

②構造系技術

3D プリンタを活用したロケットの大型構造体(ロケットエンジン、大型タンク等)の製造技術である **3D 積層技術**については、複数部品の一体成型や従来の工程では製造・加工が出来ない軽量化形状が可能となるため、製造期間短縮や製造コスト低減、機体軽量化による打上げ能力向上が期待される重要技術である。

また、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)等の複合素材を用いたロケットの構造体の成型技術である**複合素材成型技術**についても、これまで重量のある金属を用いて製造してきたロケット構造体を軽量化することが可能になり、機体軽量化による打上げ能力の向上が期待される。

一方、ロケット機体や衛星、フェアリングの分離機構に火工品を用いる場合、分離時の衝撃が大きくなるため、搭載機器の設計・検証に要する時間及びコストの負担となっている。このため、火薬を用いない**非火工品分離機構技術**を国産化することが強く望まれる。

なお、これらの構造系技術は、宇宙輸送のみならず、衛星開発や宇宙科学・探査分野でも活用されることが期待されるため、分野共通的に開発に取り組むことが重要である。

③推進系技術

液体水素より経済性・貯蔵性・安全性が高く、かつ密度が大きい液化メタンを燃料とする**液化メタンエンジン**は、機体サイズの小型化とそれによる低コスト化、宇宙輸送能力の向上、運用性の向上が期待される重要技術であり、我が国が LNG エンジン研究開発で培った技術を更に発展させることで、様々な基幹ロケットや民間ロケット、軌道間輸送機等に対して適用されることが期待される。

また、ターボポンプによる昇圧なしに超音速燃焼を可能にする**デトネーションエンジン**は、昇圧装置や燃焼室などの機構を不要にすることでエンジンの大幅な小型化・軽量化・経済化を実現するとともに、燃焼効率の飛躍的向上が可能になるため、我が国の重要技術として開発に取り組むことが重要である。

さらに、大気中の酸素をそのまま酸化剤として使用する**エアブリージングエンジン**は、液体酸素の搭載量削減によるロケットの軽量化と比推力の向上が可能になる技術であり、エンジンの実用化によって打上げ能力の強化や機体コストの低減が期待される。

一方、ロケットの固体モータについては、年間あたりの製造能力に限界があり、また、国内メーカーが供給する主要材料(インシュレーション・火工品・推進薬・ノズル・モータケース)において生産設備の老朽化等のサプライチェーンリスクを抱えている。このため、**固体モータ量産化技術**の開発等に取り組むことにより、増加する固体ロケットの打上げ需要に応えつつ、サプライチェーンの自律性確保を目指すことが重要である。また、固体ロケットによる打上げ需要に柔軟かつ効率的に対応するためには、低コスト化・製造期間短縮・デブリ低減を可能とする**推進薬高度製造技術**や、打上げ能力向上に繋がる**固体ロケットクラスター化技術**等も戦略的技術として重要である。

なお、既存の**液体水素エンジン**については、さらなる高性能化によって機体サイズの小型化とそれによる低コスト化や運用性向上が期待されることから、継続的に研究開発に取り組むことが重要である。さらには、宇宙輸送能力の強化のために機体サイズが従来より大きくなることが予想され、大型機体を打ち上げるために**液体ロケットエンジンの大推力化**が重要である。

④その他の基盤技術

従来、地上で人の判断により行っていた飛行安全管制については、**オンボード自律飛行安全技術**を実用化することにより、ロケット機体側で自律的・自動的に判断を実施する自律飛行安全を実現し、地上の管制設備・管制要員・運用コストの大幅な縮減やロケット飛行時の安全確保が期待される。また、**アビオニクス機器の小型化技術**は、これまで我が国が基幹ロケットで培ったアビオニクス機器に関わる技術を、民間ロケットを含めた複数のロケットで共通して利用することを可能にするとともに、機器の製造数量の拡大によるサプライチェーンの強靱化が期待される。

また、打上げの高頻度化や打上げ価格の低減に寄与されることが期待される再使用型ロケットを実現するためには、機体を地球上に帰還・着陸・回収した上で、機体の点検・整備を行うための技術が必要となる。そのため、帰還時に必要な高耐熱を実現する**熱防護技術**、エンジンの繰り返しの使用を実現する**長寿命液体エンジン技術**、機体を着陸に際して高度・水平位置・機体姿勢等の制御等を行う**帰還時誘導飛行制御技術**、帰還時の推進薬の挙動を予測する**推進薬マネジメント技術**、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**ヘルスマニタ技術**、着陸時の衝撃吸収性や転倒防止、エンジンの排気炎による加熱への耐性と、機体構造の軽量化を両立させる**着陸機構技術**、洋上の専用船への機体の着陸を実現させる**洋上回収技術**、ならびに回収した**機体の点検・整備技術**等の研究開発に取り組むことが重要である。なお、再使用型ロケットは、機体を地上に帰還させるための着陸装置や追加的燃料、機体の回収・点検・整備プロセスが必要となることで、逆に製造費や燃料費が割高になる場合も考えられることから、コスト抑制や各種プロセスの効率化に同時に取り組むことが重要である。

一方、宇宙空間の安定的・持続的な利用を確保する上で、宇宙輸送分野においては、ロケットに起因するスペースデブリの発生を抑制していくことが必要となっている。そのためには、ロケット上段の安全なりエンタリを実施する**オンボード制御再突入技術**、大気圏再突入時の落下物の熔融解析や落下損害予測数の解析を行う**飛行安全解析技術**、機体上段をミッション終了後に軌道

離脱させる **PMD(ポスト・ミッション・ディスポーザル)機構技術**、軌道投入段に使用する固体モータが燃焼時に排出する**スラグ低減技術**が重要である。

また、ロケットのコンポーネントや部品、材料に関するサプライチェーンを継続的に支え、増加する打上げ需要に応じていく上では、複数のロケットで汎用的に利用できるコンポーネントを実現する、**ロケット共通的なコンポーネント開発技術**が重要である。その上で、民生部品のロケットへの適用拡大にむけては、耐放射線性をはじめ真空、耐熱、および耐衝撃性等の**環境試験や信頼性評価に関する技術**が重要である。また、宇宙転用可能な民生部品のカタログやデータベース、試験評価結果、各種ノウハウを業界横断的に集約する体制強化や、海外の先行事例を踏まえれば、民生部品に関するコンサルティングサービスを専門的に提供する企業の育成・支援が求められる。

さらには、長年の使用実績のあるロケット部品等(部品・コンポーネント・材料)を含め、**ロケット部品の信頼性を継続的に維持・強化するための信頼性評価や検査・試験・検証に関する技術**の強化が不可欠であり、こうした信頼性強化に係る技術のほか、部品サプライヤーを含め、信頼性強化に責任を持つ組織体制や専門人材の育成・配置、製品の受入検査の強化、定期的な製造・検査工程の監査、データベース構築等が求められる。

⑤輸送サービス技術

宇宙における活動領域が拡大するにつれ、宇宙に運ぶペイロードが大型化・多様化し、宇宙輸送のルートも地上からのロケット打上げだけでなく、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ことが見込まれる。このため、多様な輸送ニーズに対応できる輸送サービス技術を獲得することが必要である。

多様なペイロードの輸送を実現するためには、フェアリング内の衛星許容包絡域の拡大や飛行荷重・環境を緩和させる**ペイロード・インターフェース効率化技術**、様々な衛星搭載形態に汎用的に対応をすることを可能にする**モジュール方式複数衛星搭載技術**、大型のペイロードの搭載を可能にする**フェアリングの大型化技術**が重要である。

また、宇宙活動の領域が拡大し、その領域への輸送需要のニーズに対応していく上では、軌道間輸送を通じて構築していくことが求められる。地上からのロケット打上げと軌道間輸送を組み合わせた宇宙輸送ネットワークは、月域や深宇宙への輸送能力を増強し、打上げ価格の低減や輸送機会の増加などに繋がるのが期待される。軌道間輸送ネットワークの実現にむけては、軌道上での**推進薬保持・補給技術**、宇宙船の**ランデブードッキング技術**、宇宙空間での輸送機の推進性能を向上させる**高機動バス技術**が重要である。

さらに、我が国から宇宙旅行などの輸送サービスを実現するためには、有人輸送技術を獲得することが必要である。有人輸送技術としては、宇宙船内を適切な環境に維持するための**環境制御・生命維持技術(ECLSS: Environmental Control and Life Support System)**、宇宙船と搭乗員のインターフェースや与圧キャビンを開発するための**ヒューマンファクターエンジニアリング技術**、打上げ異常時に搭乗員を安全に脱出させるための**アポートシステム技術**、大気圏再突入において搭乗員を安全に地球に還す、総合的なシステム安全性評価技術を含む**帰還技術**が重要である。

加えて、宇宙空間を経由して地球上の二地点を高速でつなぐ高速二地点間輸送の実現にむけて、**推進薬搭載と帰還時空力荷重の視点による機体構造を極限まで軽量化するトポロジー最適化**

設計技術、機体の着陸のための着陸脚やタイヤを設計・製造する水平着陸機構技術が重要である。

⑥射場・宇宙港技術

多様な宇宙輸送サービスを我が国から実現させるためには、宇宙輸送の拠点となる射場・宇宙港についても、打上げ運用、追跡管制、地上支援などの分野において抜本的な機能強化を図る必要がある。特に、民間事業者が主体となって開発する商業宇宙港の整備が本格化するにつれ、これまで我が国が基幹ロケットの運用を通じて培った技術・ノウハウを水平展開し、我が国全体として宇宙輸送サービスを支えることが求められる。

そのため、まず打上げ運用においては、射場におけるペイロードの管理、打上げ環境予測やロケットの運用を安全かつ効率的に実施するロケット打上げ運用技術、打上げ時の無人化・安全確保を効率的に実施する射場安全確保技術、液化メタンを推進剤とする場合の保安距離算定技術、また、打上げ時の各種の制約条件の解消に役立つ洋上打上げ技術が重要である。

追跡管制においては、ロケットのコマンドやテレメータを送受信する地上局の官民共同利用にむけた地上局の共同利用技術、地上局の無いエリアを通過する軌道傾斜角への対応を実現する衛星や専用船を用いたテレメトリ技術が重要である。

地上支援においては、一つの射場・射点で複数のロケットへの打上げへの対応を可能にするロケット・射場間のインターフェース共通化技術、宇宙機の帰還に際しての管制や環境保護、帰還後の整備等を行う往還型宇宙港技術、また射場におけるロケット燃料の生成を行うロケット燃料生成技術、またロケット開発において必要となる飛行実験場技術が重要である。

最後に、射場・宇宙港は、ロケットの打上げ拠点としてだけでなく、ロケット・宇宙機の帰還拠点として重要な役割を果たすとともに、周辺における観光・教育・体験、研究・創薬・材料などの様々な産業集積によって、新たな価値創造や地方創生を進める宇宙ビジネスのハブ拠点として期待される。このような相乗効果を生み出すためには、宇宙輸送分野と他産業の間のオープンイノベーションを積極的に創出する仕組みが必要であり、宇宙港価値創造技術として、周辺産業との連携・協業を促すことに取り組むことが重要である。

5. 分野共通技術

(1)重要技術のスクリーニングの考え方(分野共通技術)

① 技術的優位性

衛星、宇宙科学・探査、輸送の分野共通的に、我が国の宇宙産業の競争力の維持・発展の観点での重要性や、国内外市場における勝ち筋につながりうる技術を戦略的に支援していく。具体的には、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、輸出可能性等を評価する。加えて、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どうか等を評価する。

② 自律性

衛星、宇宙科学・探査、輸送の分野共通的に、我が国がシステムとして宇宙開発を継続する上

で、サプライチェーン上における重要性の高い技術を支援していく。具体的には、当該技術のサプライチェーン上の代替困難度、調達自在性のリスクに加え、システム構築のコア技術であるかどうか、衛星や科学探査、輸送等、横断的に様々なユースケース実現への影響があるか、現在技術成熟度の低い技術であっても、将来的に上記の自律性の観点から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どうか等を評価する。

③ ユースケース

安保・民生分野横断的に、また、衛星、宇宙科学・探査、輸送の分野共通的に、開発した先に当該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についても評価する。

(2) 分野共通における重要技術

先に記した衛星、宇宙科学・探査、輸送に関する技術開発・実用化を実現させるためには、分野共通となる技術について、海外と同等以上の QCD (Quality, Cost, Delivery) 能力を維持・向上すべく、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である。

具体的には、機能性能の高度化と柔軟性を支えるハードウェア技術 (FPGA 等の宇宙用高性能デジタルデバイス、電源系等)、小型軽量化とミッション高度化を支える機械系技術 (3D プリンティング等製造技術の刷新等)、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 (機械学習・AI 活用、仮想化技術、開発環境等) の開発に加え、開発サイクルの高速化や量産化に資するシステム開発・製造プロセスの変革 (デジタルツインの活用を含む開発プロセスの変革、システム・コンポーネント製造プロセスの変革、COTS⁶の宇宙転用拡大、耐放射線評価技術等) 等に取り組むことが重要である。

⁶ 非宇宙分野で既に製品化されているコンポーネントや機材のこと。