

## 宇宙技術戦略に関する考え方(宇宙輸送)(案)

## (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(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、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トリを実施する**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ー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。

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ことが期待される。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**アボートシステム技術**、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**、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、宇宙港の効果的・効率的・段階的な整備手法を確立するとともに、周辺産業との連携・協業を促す支援に取り組むことが重要である。