

**令和5年度 文科省 委託調査
宇宙探査・軌道上サービスに関する技術調査**

**2024年 3月
委託業務成果報告書 (概略版)**

(財) 衛星システム技術推進機構

2.1.1 宇宙探査や軌道上作業の動向調査

◆ 太陽光発電

- クリーンエネルギー問題や安全保障の観点から研究開発が進み始めている。**無線送電技術はドローンへの電力供給やIoTセンサーへの適用など非宇宙分野での活用が見込まれる。**日本は自己展開方式の採用やシンプルな構造による低廉な運用コストを強みとしたSSPS構築を目指し、他軌道上サービスとの連携についても検討を進めていくことが重要。

2.1.1 宇宙探査や軌道上作業の動向調査

2.1.2 宇宙探査や軌道上作業に必要な技術調査

◆ 軌道遷移、再配置や寿命延長

- 軌道遷移、再配置や寿命延長において我が国からサービスを提供する企業はまだ出ていない。**Northrop Graman社がMRV (Mission Robotic Vehicle) とMEP (Mission Extension Pods–Fuel pods) を使った寿命延長の契約を3社(Optus社、Telsat社、不明な1社)と締結。**
- **Obruta Space Solutions (RPOD Kit) やBenchmark (Cola Kit) 等、ターンキーソリューション (RPOやドッキング、推進系) を衛星に実装することで、開発・運用コスト低減を図る動きがある。**

2.1.3 シスルナや月/惑星上及びその周回軌道での測位システムの調査

◆ 月測位

- 日本の強みである高精度測位を用いた測位補強サービスの構築、及び、欧米が構築しつつあるシステムとの相互補完技術の獲得を目指す必要がある。**2023年9月に発行した「LunaNet Interoperability Specifications (Draft v5)」において、NASA/ESAに加えJAXAで国際協力することとなった。**対等な立場での欧米連携に加わるため、日本の月測位に関する技術実証のプログラム化推進が必要である。

◆ 次世代GNSS

- 我が国はGNSSの抗たん性向上に向けた研究開発を進めながら、世界に先駆けた高精度補強サービスを提供。LEOコンステラ通信衛星を活用した新たなPNTの検討を促進する。

2.1.4 遠距離高速通信システムの調査

- 欧米ではLunaNetを中心にインターオペラビリティの検討が進みつつある。**また、2023年11月NASAの深宇宙光通信(DSOC) 実証にて約1,600万キロメートルでの光通信の実証に成功する等、月以遠での通信にむけた開発が進んでいる。**日本の強みである「大容量通信」を活かして「通信」や「小型・軽量化」の技術開発を進めながら、国際連携を継続していく。

現状

- デブリ監視は、地上レーダー及び光学センサが主流。各センサーの短所を他のセンサーで補いあっている。
- 軌道上の物体が増える中、より正確なデータを求め商用SSA事業者のセンサーデータの重要性が高まる。
- 米国ではSSNに加え商用SSAが進み、センサー（光学、レーダー、RF）の違いで差別化をしている。更に、センサーをグローバルに展開しカバレッジ拡大している。欧州は、米国との連携を維持しつつも、欧州の自律性を強化。
- デブリ回避においては、米国では様々なセンサーデータをクラウド上で統合し、回避技術の精度向上、回避判断支援システムの構築、自動化を進めている。ESAでは官民連携の下で、米国と同様な回避行動の意思決定支援技術の研究開発を進める

分析

- 軌道混雑で更なる回避行動が必要となる中、スムーズで効率的なデブリ回避を実現するシステムが求められる
- デブリ回避技術における課題として、システムに取り込む観測データの正確性、膨大なデータの処理、回避の行動など運用における意思決定への支援に課題があると考えられる
- デブリの監視・回避の基本となるデータの収集においては、米国との強固な関係を基軸とすることが必要ではないか。日本独自のデータを持つことにより、安定的にデータを入手できるように相互関係を構築する
- デブリ監視・回避技術は、軌道上の状態把握と同様に宇宙利用の基本的なインフラであるという点、更に、安全保障の観点からも重要であり、相互関係の維持に必要な技術の確保を目指す。

現状

- 軌道環境の悪化が進み、持続的な宇宙利用の実現の為、デブリ化の低減、デブリの除去技術の開発が求められる
- PMDにおける自立的な軌道離脱装置は、米欧を中心に技術成熟がなされている。FCCの新ルール導入を受け、LEO衛星事業者が自立的な軌道離脱装置や軌道上サービスによる外部サービスを採用するかについて、今後の動きが注目される。各国で2026年ころからデブリ除去の実証が行われる。
- 我が国のCRD2では環境負荷が大きいとされる3tのロケット上段を除去する。ここで実証された技術は実用に直結するものであり、日本の強みとなる。

分析

- 運用終了時のデブリ化の防止については、商業化を目指す。一方、既存デブリの除去については政府の継続的な除去活動が望まれる。
- デブリ除去サービスにおいては技術的な標準化には至っていない。まだ標準化が為されていない中で日本発の標準化を得ることが重要。運用・安全管理については、デブリ除去をより高い技術レベルで実証し、ルール・標準とする事で、確実に安全なサービスを拡大する。
- 我が国ではCRD2で獲得した進んだ技術をもとに、実証を積みかさねる。更に、開発した技術をルールへ埋め込みデファクト化を進めることで、我が国がデブリ除去のビジネスと、スペースデブリ低減・改善の議論の中心的な役割を果たしていく必要があるのではないかと。

現状

- 寿命延長目的だけでなく、アルテミス計画など推進薬の補給を前提とした輸送計画の策定がされる。さらに、防衛分野においてより動的な運用への指向が進み推進薬補給へのニーズが高まる。
- 米国では政府から民間への投資により研究開発を支援している。欧州ではHorizon Europeの活用やGatewayに向けた実証など次世代を見据えた研究開発を実施
- 軌道上サービスに共通なRPO技術、配管を取り付けるロボットアーム、インターフェイスを含む推進薬移送システムの開発に加え、インターフェイス等の標準化も重要な要素であり、各社が給油インターフェイスの標準獲得を狙った開発を進めているが、サービスの拡大に繋がるような国際的な協調はまだ見られていない。

分析

- Orbit Fab社のRAFTIが多数の商業衛星に搭載予定である一方、Northrop Grumman社のPRMがSSCのPreferred Interfaceに選ばれた。一方、我が国内での開発は不明。
- 技術実証後の商業化を見据えた国際的な標準化、インフラとロジスティックの整備に係る検討が必要。
- 要素技術の成熟化を図り、バスメーカー、運用者、サービス提供者が連携して標準化とインフラの構築を進める必要があるのではないか。
- 国際的な協調の中で中心的な立場をとる為に、実績を積み上げてデファクト標準を目指すことが必要と考えられる。

- コスト、納期、入手性等の観点からCOTS部品利用の拡大が望まれる中、各機関においてミッションの優先度、重要性、コスト等に応じ、COTS部品に適用される試験・検証項目の設定が進む
- 各企業においては、客先の要求仕様に基づきCOTS部品の利用を判断している。自社のプログラムにおいてはミッションへのリスクを的確に判断し、コスト・納期を総合的に考慮してCOTS部品利用を判断している
- 民間企業側からはCOTS部品の利用に関して「検証・試験データの不足」、「試験設備の利用」に関する課題があげられる

- 各国の官民連携においては、官側の明確な戦略に基づき宇宙機関が主導で公募や選定を行う官民連携が多いが、産業界からのフィードバックを公募内容に反映するプロセスも整っている
- 「産業育成支援を見据えた研究開発プログラム」、「技術力向上に向けた柔軟な契約制度・支援策」や「官と民及び宇宙と非宇宙を繋ぐ役割・体制構築」についての連携を拡充すべきと考えられる
- 我が国においても技術戦略に基づいて進められる宇宙戦略基金についての基本的な考え方・今後の検討の方向性が示された。官民においてもより深い連携が求められる。

