「衛星の寿命延長に資する燃料補給技術」に関する研究開発構想
(プロジェクト型)

令和 5 年 10 月
(令和 8 年 11 月改定)
内閣府
文部科学省

目次

1　構想の背景、目的、内容 2
1.1　構想の目的 2
1.1.1　政策的な重要性 2
1.1.2　我が国の状況 3
1.1.3　世界の取組状況 3
1.1.4　構想のねらい 4
1.2　構想の目標 4
1.2.1　アウトプット目標 4
1.2.2　アウトカム目標 5
1.3　研究開発の内容 6
1.3.1　研究開発の必要性 6
1.3.2　研究開発の具体的内容例 6
1.3.3　研究開発の達成目標 7
2　研究開発の実施方法、実施期間、評価 8
2.1　研究開発の実施・体制 8
2.2　研究開発の実施期間 9
2.3　評価に関する事項 9
2.4　社会実装に向けた取組 9

1　構想の背景、目的、内容

1.1　構想の目的

1.1.1　政策的な重要性

安全保障・経済・社会活動における宇宙システムの重要性が一層高まっている中、軌道上に配置されている衛星は、通信・測位・気象観測といった我が国の重要インフラを担っている。一方で、宇宙システムを取り巻く環境は、従来のスペースデブリ問題に加えて、メガコンステレーションの構築等による衛星数の急増及び宇宙空間の混雑化や、衝突回避に必要な軌道修正の頻度増加など、宇宙空間の持続的かつ安定的利用を妨げる脅威・リスクが深刻化しており、宇宙システム全体の機能保証・レジリエンスの強化が急務となっている。

こうした中、現在の宇宙システムでは、運用中の衛星に燃料枯渇や機器故障といった問題が生じた際の解決手段に乏しい。また、我が国の輸送システムや財政的リソースに限りがある状況等を踏まえれば、衛星の入れ替え・再開発等をタイムリーに実施することが困難な場面が数多く想定されることから、一度打ち上げた衛星のライフサイクルを適切に管理することが重要となる。衛星の寿命を制約する主な要因の一つは燃料積載量であるが、衛星の大きさ・重量等の制約により、打上げ時に充填できる燃料には限界があるほか、燃料積載量の増大は衛星の打上げコストの増大や、衛星のミッション機器の搭載可能量の減少にも直結する。

したがって、従来の衛星に対する「使い捨て」、「一度打ち上げたら手を加えられない」といった考えを転換し、軌道上の衛星に対してサービスを提供する技術、とりわけ燃料補給技術を獲得することで、官民問わず高額かつ重要な実利用衛星の運用期間の延長に貢献することが期待されるほか、サービスの事業化等を通じて、将来的に衛星の開発・打上げコストを削減することや、燃料補給による寿命延長や関連技術の応用による部品入れ替え等を念頭においた、宇宙システム全体の高度化・レジリエンスの強化が期待される。

なお、欧米では衛星の寿命延長・燃料補給技術に関するプロジェクトの構想に着手した段階にあるが、我が国においても、宇宙基本計画（令和 5 年 6 月 13 日閣議決定）等において、軌道上での衛星の寿命延長・燃料補給技術による新たな市場開拓の支援やサービスの実用化によって、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、これに向けた軌道上サービス技術を早急に確立することが期待されている。

本構想は、プロジェクト型として、こうした政策的重要性を背景に、我が国が一定の優位性を持つ衛星への接近・捕獲技術を発展・強化しつつ、宇宙システム全体の機能保証のための能力強化に資する支援対象とする技術として研究開発ビジョン（第二次）において定められた「衛星の寿命延長に資する燃料補給技術」の獲得を目指すものである。

1.1.2 我が国の状況

燃料補給を行うためには、対象となる衛星へ接近・捕獲することが必須要件である。我が国ではこれまで、JAXA が技術試験衛星 VII 型「きく 7 号」（ETS-VII）によりランデブ・ドッキング技術や宇宙用ロボット技術を獲得し、国際宇宙ステーション（ISS）への「こうのとり」（HTV）による物資補給ミッションを完遂している。加えて、これらの技術を民間移転することを通じて、我が国は世界でも最先端の「軌道上での接近・捕獲技術」の保有国となっており、燃料補給を実施する上で前提となる技術に関する優位性を有している。

なお、現在 JAXA は民間企業と共に、スペースデブリ（ロケット上段）を対象とした接近・近接運用・ターゲット運動把握などを行う商業デブリ除去実証（CRD2）プログラムを実施しており、2026 年度以降に世界初となる大型デブリ除去実証を行う衛星を打上げ予定であるほか、文部科学省では、中小企業イノベーション創出推進基金（SBIR フェーズ 3 基金）を活用し、衛星等を対象としたスペースデブリ低減に必要な技術開発・実証に係る支援を 2023 年度から開始している。

1.1.3 世界の取組状況

欧米の企業においては、衛星への燃料補給技術に関するプロジェクトの構想に着手した段階にあり、燃料補給システムが事業化レベルにおいて実証された事例は報告されていない。また、ロシアは国際宇宙ステーション（ISS）への燃料補給実績を有するが、これは推進モジュールを搭載した補給船を取り付けて軌道移動を行うものであり、本構想で獲得を目指す技術とは異なる。

1.1.4　構想のねらい

測位や通信、リモートセンシング等の国民生活や経済社会の基盤である宇宙システムを可能な限り継続的かつ安定的に利用できるようにするため、我が国が優位に立つ軌道上の衛星への接近・捕獲技術を発展・強化し、軌道上に存在する衛星の寿命を延長する燃料補給技術を獲得する。これにより、宇宙システムの安定性・継続性強化に貢献するとともに、今後発展が見込まれる燃料補給を含む軌道上サービス分野において、国際競争力を確保することを目指す。

1.2　構想の目標

1.2.1　アウトプット目標

＜協力衛星を対象とした宇宙空間における燃料補給技術の確立＞

軌道上サービスを受けるための準備が予め用意されている衛星（協力衛星）を対象として、以下①～⑤の技術を開発するとともに、それらを統合して宇宙実証を行うことで、燃料補給システムとしての成立性を確認する。以上のことを実現するため、技術ごとの目標を以下のとおりとする。

① 高速で移動する衛星の捕獲技術

対象へ接近後、燃料補給を行うために対象を把持等する位置を正確に把握する技術を開発すること。また、対象の把持等により、動きを制御する技術を開発すること。

② 遠隔による燃料アダプタの接続技術

燃料アダプタの接続を行う技術を開発すること。また、接続後の燃料漏れを確認・防止するための技術を開発すること。

③ 無重力環境での燃料移送を実現する技術

効率的に推薬を送り込むための移送技術を開発すること。また、対象の燃料容器内の状態を把握しつつ、燃料移送を制御可能な技術を開発すること。

④ 接続解除・離脱及び持続的なサービス供給に向けた技術

安全な解除・離脱シークエンスに必要な制御技術を開発すること。その際、次の燃料補給に向けた自己メンテナンス機能等を備えていることが望ましい。

⑤　システムとしての安全性・高信頼性の確保に必要な技術

燃料補給の各段階におけるリスクアセスメントを予め行い、その対策に必要な技術を開発すること。

なお、上記①～⑤の技術を統合し、宇宙実証を行う際は、開発する技術に係る将来的なニーズを踏まえた条件下（軌道等）での早期の実証を目指すこと。また、技術開発を要さない部品等に係る国外の民生品の利用に際しては、ベンダーロックイン等の将来的なリスクに備えつつ技術開発を進めること。

＜非協力衛星への対象拡大を見据えた捕獲技術等の獲得＞

寿命延長を含む将来の軌道上サービスの対象拡大を見据え、軌道上サービスを受けるための準備が予め用意されておらず、自力で姿勢を制御することができない衛星（非協力衛星）を対象に、以下①～③の技術を開発するとともに、それらを統合して地上実証を行うことで、システムとしての成立性を確認する。以上のことを実現するため、技術ごとの目標を以下のとおりとする。

①　非協力衛星への近傍接近技術

鏡面的な光学特性を有する対象を想定し、タンブリング運動等の対象の姿勢・運動や捕獲部位を把握し、捕獲を見据えた対象への安全な接近技術を開発すること。

②　非協力衛星の捕獲技術

対象の運動を捕獲可能な状態まで低減する技術を開発すること。また、様々な形状の衛星を汎用的に捕獲可能とする技術を開発すること。

③　システム試験技術

地上実証に必要なシステム試験環境を構築し、①及び②を統合の上、実証すること。

1.2.2　アウトカム目標

燃料補給技術を獲得し、補給サービスを定常的に提供できる体制が確立されれば、例えば、次のような幅広い活用が可能になると見込まれる。

- スペースデブリを高頻度に回避する、有事に伴い軌道上で大きく移動

する等の必要があり、これにより著しく燃料を消費する場合には、衛星に設定された寿命（例えば 10 年～15 年）の多くを残して燃料が尽きてしまうリスクが想定されるものの、燃料補給によって、本来意図した期間の運用が可能となる。

- 軌道上の衛星の機数が多いほどシステムとしての冗長性・精度等が向上する測位衛星や観測衛星について、設計寿命を迎えても衛星状態が良好である場合は、燃料補給により運用期間を延長し、測位・観測体制の強化を図ることが可能となる。
- ミッション機器の搭載量に性能が大きく左右される通信衛星に関して、燃料補給を念頭に打上げ時に搭載する燃料を減らすことができれば、より多くのミッション機器を搭載すること（高度化）が可能となる。

また、これらの技術は「軌道上サービス」において共通的に活用可能な技術であり、衛星の他軌道への遷移や、故障部品の交換等、技術的な応用範囲も大きい。

燃料補給を含む「軌道上サービス」は成長市場であり、2022 年～2031 年の 10 年間の累計世界市場規模は約 1 兆 9,000 億円（$14.3billion）と見込まれる [1]。燃料補給システムとして早期の実証を達成することで、今後の国際的な議論等における我が国のプレゼンス向上を目指すとともに、我が国の企業による世界の関連市場の獲得が期待される。

1.3 研究開発の内容

1.3.1 研究開発の必要性

軌道上での燃料補給を行うためには、補給対象衛星へ接近・捕獲する技術に加え、宇宙という特殊な空間において燃料を移送するために必要な要素技術を開発し、一つのシステムとして成立させる必要がある。しかしながら、これらの開発事項はまだ技術成熟度が低く、試作試験等を通じて個々に開発・検証を行うことが不可欠であることに加えて、これらをシステムとして統合した上での検証を行う必要がある。

1.3.2 研究開発の具体的内容例

[1] In-Orbit Service: Satellite Servicing, ADR and SSA 5th Edition

＜協力衛星を対象とした宇宙空間における燃料補給技術の確立＞

燃料補給の対象である制御された協力衛星へ接近・捕獲し、燃料移送の間の衛星姿勢・相対位置を維持しつつ、安全に離脱するための衛星制御技術を開発する。

また、衛星に設置された燃料アダプタの位置を把握するための画像認識技術及び燃料アダプタの位置に対して燃料移送のためのエンドエフェクタを接続するロボティクス技術を開発する。

衛星の燃料タンク内の圧力・温度を把握できるセンサを開発することに加えて、把握した燃料タンクの状態に応じて無重力環境における流量調整が可能な液体燃料（ヒドラジンを想定）の移送機構を開発する。その際、対象となる衛星の燃料容器内の状態（圧力等）を、当該衛星の地上システムのほか、サービス供給側（サービサー）の地上システムにおいても把握可能なシステムを開発する。

安全性が確保された解除・離脱シークエンスを構築するとともに、事業化を見据えた要素として、燃料補給後の燃料アダプタやシステム全体の不具合等を検出・防止する機構を開発する。また、燃料補給中に把持が外れた際の補給停止機構や、逆流等の異常検知などの想定されるリスクシナリオを念頭においたセーフティ機能を開発する。開発した技術を統合し、静止軌道上での実証によりシステムとしての成立性を確認する。

＜非協力衛星への対象拡大を見据えた捕獲技術等の獲得＞

将来的な非協力衛星（自力で姿勢を制御することができない衛星を含む）への軌道上サービスの対象拡大を見据え、鏡面的な光学特性を有する衛星の姿勢・運動や捕獲部位を把握するセンサ・シミュレーション技術に加え、捕獲のために安全に接近するための航法技術を開発する。さらに、対象との接触を避けつつ回転運動等と逆向きの力を与える技術や、様々な形状の衛星を汎用的に捕獲するためのエンドエフェクタを開発する。これらをシステムとして統合し、地上実証により技術の成立性を確認する。

1.3.3 研究開発の達成目標

衛星への燃料補給に必要な技術（衛星への接近・捕獲技術、ロボティク

ス技術、燃料移送機構など）の a. それぞれの成立性を地上で確認すること。その後、b. システムとして統合し成立性を確認すること。さらに、c. 統合したシステムを実際に打上げ、軌道上で衛星への燃料補給の実証を実施すること。また、非協力衛星への将来的な対象拡大を見据えた研究開発・地上実証を行うこと。これらを実施することにより、我が国が優位性を持つ制御が可能な衛星への接近・捕獲技術をさらに伸ばしつつ、軌道上の衛星への燃料補給を実現する基盤技術を世界に先駆けて獲得することを目指す。

上述を踏まえ、具体的には提案者の設定した個別の達成目標を基本としつつ、文部科学省及び JST のサポートの下、採択後、研究開発を開始するにあたって行う研究計画の調整にて定める。また、研究開発開始後においては、協議会における意見交換の結果も踏まえ、必要に応じて研究計画の見直しを行う。

2　研究開発の実施方法、実施期間、評価

2.1　研究開発の実施・体制

本構想のアウトプット目標等をより詳細に設定するため、研究開発対象となり得る技術動向を踏まえ、プログラム・ディレクター（PD)、当該関係分野の有識者、関係府省等による意見交換を経た上で研究公募を行い、研究開発課題を決定する。

PD の指揮・監督の下、研究代表者（研究開発課題の実施責任を法人が担う場合は当該法人を含む。以下同じ。）が研究開発構想の実現に向け責任を持って研究開発を推進する。JST 等の助言に基づき、研究代表者は、適切な技術流出対策を行うよう体制を整備するとともに、研究インテグリティの確保に努め、適切な安全保障貿易管理を行うよう、これらを推進するとともに、研究開発に必要な事項を行う。

研究開発成果を公的利用のみならず民生利用にもつなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表者は PD 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的

財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めることとする。

また、軌道上実証に際する打上げには、我が国のロケットを使用することを原則とする。また、燃料補給を行う対象となる衛星については、提案者にて用意・調整するものとする（本構想の提案内で用意するか否かは限定しない。）。

2.2 研究開発の実施期間

各研究開発課題の実施期間は原則 5 年以内とする。構想全体で最大 205 億円程度の予算を措置する。ただし、研究代表者は、ロケット打上げに関して、経済性及び合理性を踏まえて選定等を行うものとし、具体については文部科学省と協議し、同意を得なければならない。

2.3 評価に関する事項

自己評価は毎年実施する。外部評価の実施時期は原則、研究開発の開始から 3 年目を中間評価、研究開発終了年に最終評価を実施する。具体的な時期については、担当する PD が採択時点でマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、JST が決定するものとする。

2.4 社会実装に向けた取組

本構想は、軌道上の衛星への燃料補給を実現する基盤技術を世界に先駆けて獲得することを目指すものである。このためには、研究代表者と潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等との間で、燃料補給に係る技術体系の整理や技術移転の可能性把握等、実装イメージ及び研究開発の進め方を議論・共有する取組等の伴走支援が有効である。

したがって、今後設置される協議会を活用し、参加者間で機微な情報も含め、社会実装に向けて研究開発を進める上で有用な情報の交換や協議を安心して円滑に行うことのできるパートナーシップを確立することが重要であり、関係者において十分にこの仕組みの運用を検討する必要がある。なお、協議会の詳細は別に示す。また、PD は研究マネジメントを実施する際には、協議会における意見交換の結果も踏まえるものとする。