

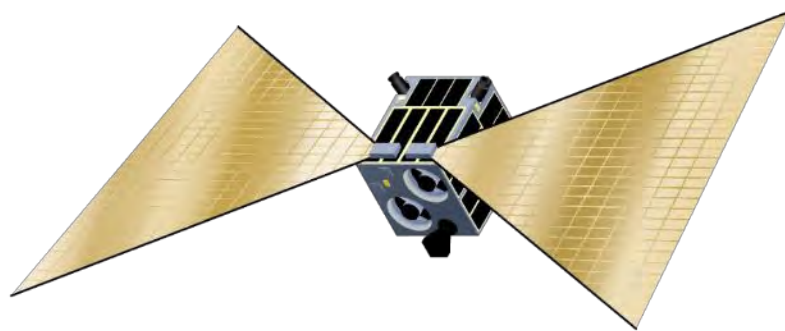
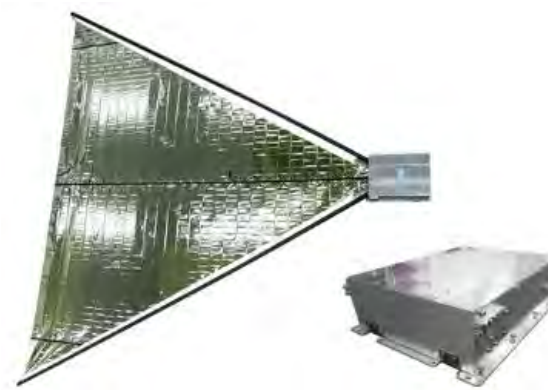
## デブリ除去サービス技術に関する個別事例（2/19）

23-003-T-014

- AXELSPACEは、膜面展開式の軌道離脱装置（D-SAIL）を開発し、運用を終えた100kg前後の超小型衛星を軌道上から確実に離脱させることを目的としている。
- D-SAILの実証は、革新的衛星技術実証4号の実証機会を活用予定（打上時期未定）。

ミッション名	D-SAIL	実施主体	オーナー	-
			メーカー	AXELSPACE
TRL	3~6（応用研究・開発）	デブリ除去方式	PMD（膜面）	

- AXELSPACEは、サカセ・アドテック株式会社と協力して、膜面展開式の軌道離脱装置（D-SAIL）を開発した。
  - 同社は、D-SAIL（1.9kg）を用いて、運用を終えた100kg前後の超小型衛星を軌道上から確実に離脱させることを目的としている。<sup>[1][2]</sup>
  - 折り畳んだ約2㎡のポリイミドフィルムの膜面を展開後、大気抵抗を利用して衛星の高度を下げ、大気圏に再突入までの期間を短縮する。
  - 地球低軌道上の薄い大気がドラッグ（抵抗）として働き、衛星の軌道運動にブレーキをかける。
- JAXAの革新的衛星技術実証3号機の実証テーマに選定されたものの、搭載機であるイプシロンロケット打上失敗に伴い、再採択された革新的衛星技術実証4号機にて実証が予定されている(打上時期未定)。<sup>[3]</sup>
- 軌道上実証後はAXELSPACEが開発する衛星には標準搭載を予定している。<sup>[1]</sup>

図 実証されるD-SAILのイメージ図<sup>[3]</sup>図 D-SAILの展開前（右）と展開後（左）<sup>[4]</sup>

出所)

1. AXELSPACE, [D-SAIL](#)
2. JAXA, [革新的衛星技術実証3号機 \(D-SAIL\)](#)

3. AXELSPACE, [プレスリリース](#)  
JAXA, [革新的衛星技術3号機実証テーマ](#)

## デブリ除去サービス技術に関する個別事例（3/19）

23-003-T-014

- Tethers Unlimitedは、**通電性のテザーを用いた軌道離脱を行う装置（Terminator Tape Module）を開発**
- **2020年に軌道上実証を成功後、比較実証を通じて、通常の衛星では大気圏突入まで数年要するところ、Terminator Tapeを装備した衛星は8か月で大気圏に再突入したことを確認している。**

ミッション名	Tether / Terminator Tape	実施主体	オーナー	-
			メーカー	Tethers Unlimited
TRL	7~9	デブリ除去方式	PMD（テザー）	

- Terminator Tapeは、2ポンドに満たないノートほどの大きさのTerminator Tape Moduleから約70mの通電性のテープを展開し、電流を流す。化学エンジンを利用せず、大気抵抗と地球磁場から生じるローレンツカのみで衛星の軌道を変更することが可能となる。<sup>[1][2]</sup>
- 2020年1月に軌道上実証を成功させた。<sup>[1]</sup>
- 2021年に2つの衛星を用いた比較実証実験を行った。通常の衛星は数年後に軌道が外れる見込みだが、**Terminator Tapeを装備した衛星は8か月後に大気圏に再突入し燃焼した。**<sup>[3]</sup>

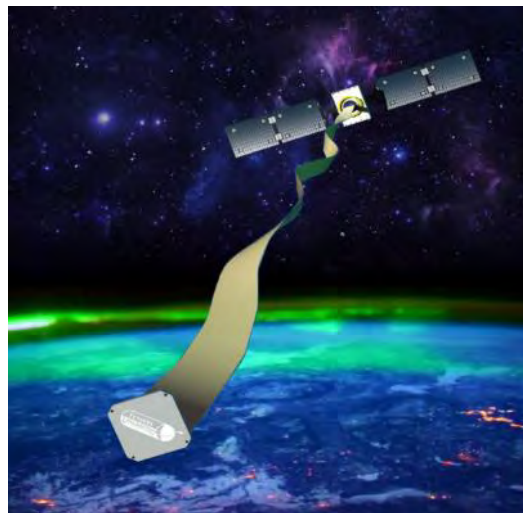


図 導電性テザー実証機<sup>[1]</sup>

出所)

1. Tethers Unlimited, [Taking Out the Space Trash: Tethers Unlimited Announces Successful Operation of Space](#)
2. 宙畑, [軌道上でのテザー実証実験に成功](#)

3. Military Aerospace, [Millennium Space Systems demonstrates deployable tape technology](#)

## デブリ除去サービス技術に関する個別事例（4/19）

23-003-T-014

- ALEは、宇宙機に搭載する導電性テザー技術を開発中。J-SPARCの枠組みの下で、JAXAの研究開発実績の活用が可能となり、早期の事業を実現。
- 同社は、2023年7月に宇宙デブリ対策事業の関連資産等をBULL社に譲渡することが決まった。

ミッション名	EDT (Electro Dynamic Tether)	実施主体	オーナー	-
			メーカー	ALE
TRL	3~6 (応用研究・開発)	デブリ除去方式	PMD (テザー)	

- ALEは、宇宙機に搭載する導電性テザー技術をJAXAと共同開発を行ってきた。大気抵抗の力と地球磁場によるローレンツ力を利用して、使い終わった宇宙機を軌道離脱させ、デブリ化を防ぐ。[1]
- ALEとJAXAは、JAXA宇宙イノベーションパートナーシップ（J-SPARC）において、「人工衛星のミッション終了後に軌道離脱させる方法による宇宙デブリ拡散防止装置の事業化」に取り組んできた。ALEは本実証後に装置の製造・販売の事業化を目指していた。[2]
  - 同社は、経産省の宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（軌道上実証事業）にも取り組み、EDTサービス価格として、超小型衛星及び小型衛星に対して～数百万円が見込まれる。[3]
- 2023年7月に宇宙デブリ対策事業の関連資産等をBULL社（ALEで当該事業のマネージャーを務めていた宇藤恭士氏が設立）に譲渡することが決まった。[4]

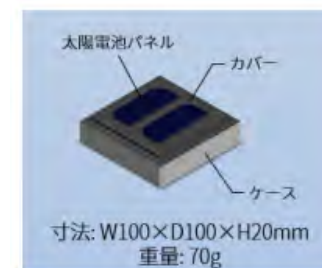


図 ロケット用EDT[3]

表 ビジネスインパクト[3]

ターゲット	製品サイズ (mm)	Carbon Nano-Tube	価格
超小型衛星	25×25×10	無	数十万～数百万円
小型衛星	50×50×20	有	数百万円
ロケット	100×100×20	有	数百～1千万円

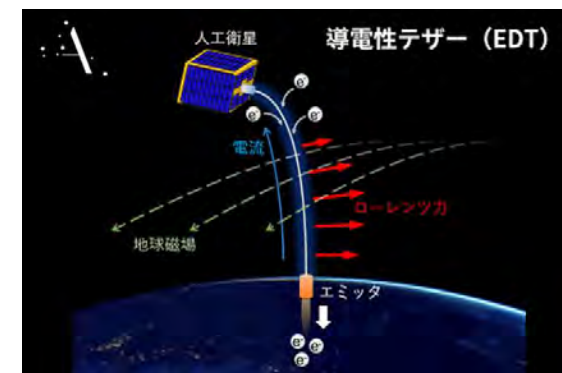


図 EDTの概要[3]

出所)

1. 日経Tech, 導電性テザーで衛星を大気圏に落としデブリ化防止、JAXAと組む
2. JAXA, ALEとJAXA、宇宙デブリ拡散防止装置の事業化に向けたJ-SPARC事業共同実証を開始

3. 経済産業省, 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業の概要（中間評価）
4. ALE, 宇宙デブリ対策事業の関連資産等をBULL社に譲渡

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（5/19）

23-003-T-014

ELSA-dはデブリ除去に係る一連のコア技術を実証する世界初の商業ミッションであり、LEOにおいて模擬デブリへの誘導接近の実証に成功している。

ミッション名	ELSA-d (End-of-Life Service by Astroscale demonstration)	実施主体	オーナー	Astroscale
			メーカー	Astroscale
TRL	7~8 (軌道上実証)	デブリ除去方式	ADR (ドッキングプレート)	

- ELSA-dはデブリ除去に係る一連のコア技術を実証する世界初の商業ミッションであり、LEOにおいて模擬デブリへの誘導接近の実証に成功（2022年）。<sup>[1]</sup>
  - 捕獲機による遠距離からの物体の観測および追跡、非制御物体へ誘導接近、絶対航法から相対航法への切替え、捕獲機構などのデブリ除去のためのコア技術を実証した。なお、自律捕獲の実証運用中に、4つのスラスタの機能喪失により、精密な軌道制御が制限され、自律捕獲の実証の完了には至っていない。
- 本ミッションで培った技術やシステム、機能を活用して、複数の衛星を1回のミッションで捕捉して除去するミッション（ELSA-M）を計画中。<sup>[1]</sup>
  - ELSA-Mの実証ミッションは、2024年末に予定され、その後、衛星オペレーターにデブリ除去サービスが提供される計画。<sup>[3]</sup>

## 実証成功項目（デブリ除去のためのコア技術）

- 自律制御機能と航法誘導制御アルゴリズム
- 航法センサー群を駆使した閉ループ制御
- スラスタによる自律的な接近マヌーバおよび姿勢制御
- 絶対航法の技術（GPSと地上観測）を活用したサービスサの誘導航法（クライアントから約1700kmの距離から約160mへの接近）
- 絶対航法から相対航法への移行（サービスサ搭載のLPRセンサを活用）
- 1年以上にわたる軌道上でのミッション運用経験
- ドッキングプレートと磁石を用いた捕獲機構

図 実証成功項目<sup>[1]</sup>

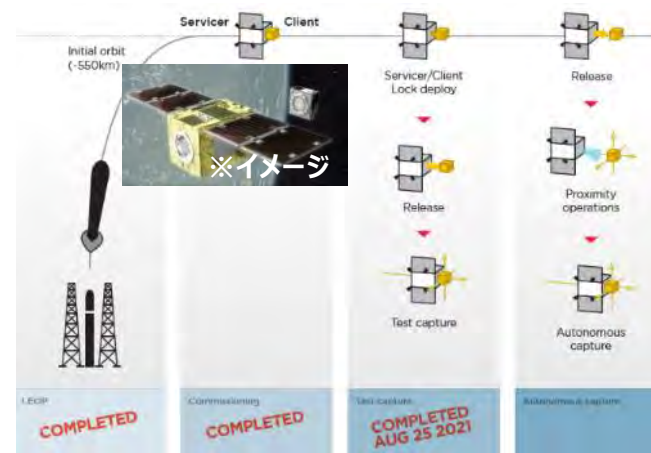


図 ELSA-dミッションの概要<sup>[2]</sup>

出所)

1. Astroscale, [アストロスケール、デブリ除去技術実証衛星「ELSA-d」で高難度の誘導接近の実証に成功](#)
2. Astroscale, [ELSA-d Press Kit](#)

3. Astroscale, [ELSA-M](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（6/19）

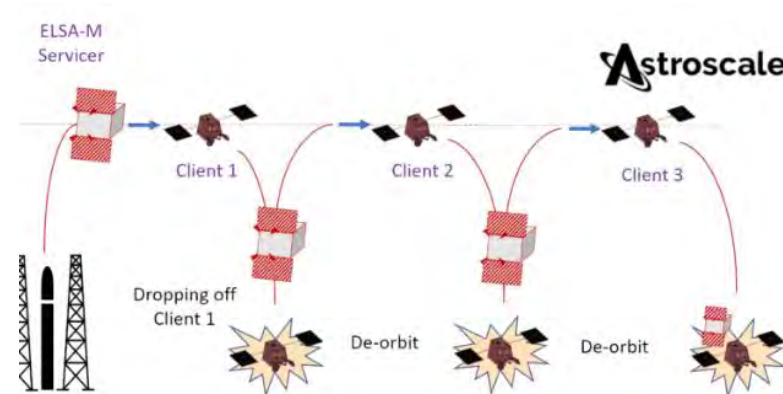
23-003-T-014

- **Astroscaleは、ELSA-dの技術を活用した複数の連続したデブリ除去を可能とするELSA-Mを開発中。**
- **捕獲機の再利用によるコスト削減への期待や、回転状態の物体捕獲技術等に特徴がある。**

ミッション名	Sunrise Project (ARTESプログラムの一部)	実施主体	オーナー	ESA, Oneweb
			メーカー	Astroscale
TRL	3~6 (応用研究・開発)	デブリ除去方式	ADR (ドッキングプレート)	

- Astroscaleは、OneWebをパートナーとして、軌道上ミッションで役目を終えた複数の人工衛星を除去する衛星 (ELSA-M) の開発中。<sup>[1]</sup>
- ELSA-Mの軌道上実証は2024年末に計画しており、その後衛星運用者に向けてデブリ除去サービスの提供を開始する予定。<sup>[1][2]</sup>
  - 本取り組みは、2019年に**ESAとOneWebの官民連携による「Sunriseプログラム (ESA ARTESプログラムの一部)」を通じて実施**され、新たなペイロード、デブリ除去研究など、次世代技術の前進される目的で立ち上げられた。
  - 上記枠組みを通じた、Astroscaleへの資金提供 (€14.8M) は、ELSA-Mの設計及び組立前まで製造を進めるために利用される。

複数クライアント 対応の除去	ELSA-Mは、複数の連続したデブリ除去が可能。 <u>再利用の可能性が広がり、サービスコストを削減</u> できる。
宇宙での実績	ELSA-Mは、 <u>ELSA-dから受け継いだ宇宙空間での実績</u> を基に構築している。
安全性	ELSA-Mのランデブ技術は、安全な軌道の確保、安全制御権、アポート処理、地上局シミュレーション、認証・暗号化等を有する。
最適化された推進系	化学系・電気系推進力両方を備え、正確なドッキング操作やマヌーバ、 <u>効率的な軌道変更</u> を実現する。
回転状態での捕獲	ELSA-Mは、宇宙での高度なランデブとドッキングにより、 <u>回転状態 (対象物体) での捕獲が可能</u> 。
オーダーメイドでの運用構想	ELSA-Mは、打上げ後、クライアントに接近・診断を行った後、捕獲マヌーバを実行する。

図 ELSA-Mサービスの主な特徴<sup>[4]</sup>図 ELSA-Mがクライアント衛星にドッキングする様子<sup>[3]</sup>

出所)

1. Astroscale, [ELSA-M with €14.8 million Investment](#)
2. Astroscale, [サンライズプロジェクトを通じて持続可能な宇宙利用を推進](#)

3. Astroscale, [英国宇宙庁からの250万ポンドの契約に署名](#)
4. Astroscale, [ELSA-M](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（7/19）

23-003-T-014

JAXA CDR2の枠組みの下で、段階的な技術実証を計画している。フェーズ1（2023年度）で、非協力物体への接近、近傍制御・映像を取得した後、フェーズ2（2026年度以降）においてデブリ除去を実証する。

ミッション名	JAXA商業デブリ除去実証CDR（Commercial Removal of Debris Demonstration）	実施主体	オーナー	JAXA
			メーカー	Astroscale
TRL	3~6（応用研究・開発）	デブリ除去方式	ADR（フェーズ2）	

- 完了後一括支払いではなく、**段階的支払いとすることで、大きな資本力を持ったJAXA商業デブリ除去実証CDR2※1の枠組みにて、日本由来の大型デブリ除去を2段階（フェーズ1とフェーズ2）で実施する。**

## フェーズ1：

- **非協力ターゲットであるデブリへの接近、近傍制御を行い、軌道上に長期間放置されたデブリの運動や損傷・劣化がわかる映像を取得する。**
- CRD2フェーズ1のパートナーであるAstroscaleは、ADRAS-Jと呼ばれる、実証衛星を開発中（実証衛星の設計・製造・試験・許認可申請・打ち上げ・運用を実施）。2023年度に打上げ予定。
- ADRAS-Jミッション中、日本政府から発出された「軌道上サービスを行う宇宙機の運用許可に関するガイドライン」に基づき、安全性と透明性への措置を先駆的に講じる。

**フェーズ2：**フェーズ1と同様にデブリへ接近、近傍制御し、更なる映像を取得し、**非協力ターゲットの除去とリエントリにより、デブリ除去技術の軌道上実証**を行う。2026年以降打上げ予定。

- 衛星の開発と運用に必要な資金はJAXAと民間事業者の両者がともに拠出するパートナーシップ型契約である。サービス**ないスタートアップ企業の参入障壁を下げられる。**
- CRD2に関わる総事業予算は、145億円程度と想定される（平成30年度補正予算案及び平成31年度予算案）



図 CRD2概要（フェーズ1及びフェーズ2）<sup>[1]</sup>

## フルレンジRPOシステム

- ・ 非協力物体に接近するフルレンジRPO技術、
- ・ 1 Fail Safeによる軌道上安全を確保

## 事業者に向けた低コスト設計

- ・ RPOを実現するランデブセンサに民生品を採用
- ・ NewSpace企業（Rocket Lab）との連携

## RPO技術の継承

世界発となるデブリ捕獲技術の実証プロジェクトであるELSA-dから得られる技術/知見の活用

図 ADRAS-Jの特徴<sup>[2]</sup>

出所)

1. JAXA, 商業デブリ除去実証
2. JAXA, 商業デブリ除去実証 (CRD2) フェーズ1について

3. 内閣府, 平成30年度補正予算案及び平成31年度予算案における宇宙関係予算について (省庁別事業概要) 文部科学省

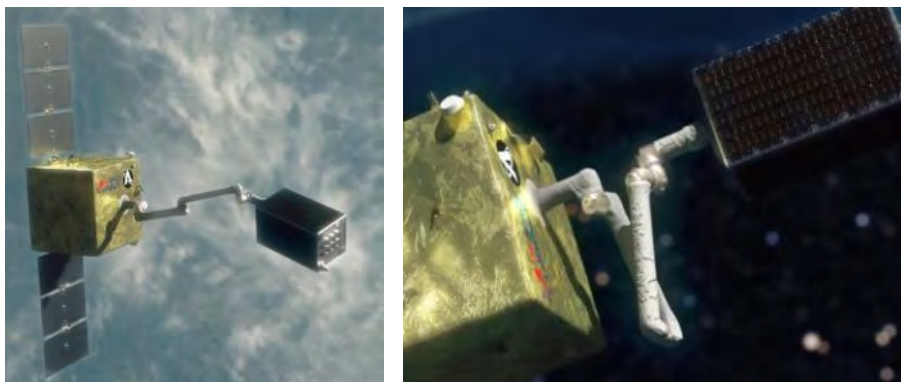
# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（8/19）

23-003-T-014

UKSAが主導するCOSMICミッションの下で、Astroscaleは、能動的なデブリ除去ミッションを予定。同社として初めてとなるロボットアームを用いたデブリ捕獲が想定されている。

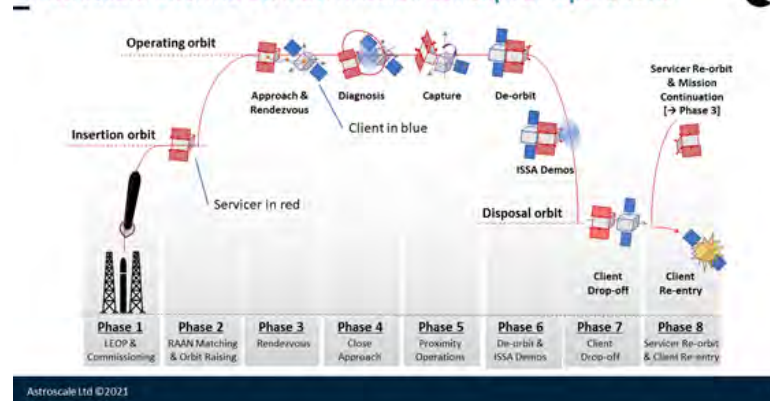
ミッション名	COSMIC (Cleaning Outer Space Mission through Innovative Capture)	実施主体	オーナー	UKSA
			メーカー	Astroscale
TRL	3~6 (応用研究・開発)	デブリ除去方式	ADR (ロボットアーム)	

- 英国宇宙庁 (UKSA) 主導で推進されているCOSMIC (Cleaning Outer Space Mission through Innovative Capture) は、英国の2衛星 (廃棄) を2026年までに除去を目指す、ロボットアームを用いたADRミッションである。[1]
- COSMICミッションは、Astroscale及び英国を拠点とするパートナー企業 (MDA UK、Thales Alenia Space UK、Nammo、GMV-NSL、Raytheon NORSS、Goonhilly Earth Station、Satellite Applications Catapult、Willis) と協力して開発される。[1]
- Astroscaleは、UKSAからCOSMICミッションに関する費用として、約€2.4M (ミッション実現性検討 : €0.7M [2]、開発費用 : €1.7M [1]) を提供されている。



☒ COSMICミッションイメージ[3]

## Astroscale COSMIC UK ADR Mission Concept of Operations



☒ COSMICミッション概要[4]

出所)

1. Astroscale, [英国宇宙庁より開発費用として170万ポンドを調達](#)
2. Astroscale, [英国宇宙機関の宇宙からの2機の使用不能衛星除去研究入札を落札](#)

3. Astroscale, [Astroscale on course for first UK national mission to remove space debris](#)
4. Astroscale, [Astroscale Awarded UK Space Agency Bid to Study Removal of Two Defunct Satellites from Space](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（9/19）

23-003-T-014

ClearSpaceは、ESAの資金提供を受け研究開発の促進。独自のデブリ捕獲システムを用いた非協力物体除去が予定されている。同社のデブリ除去衛星に燃料補給バルブを搭載する等、他の軌道上サービスとの連携の方向性が想定されている。

ミッション名	ADRIOS (Active Debris Removal/ In-Orbit Servicing)	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	ClearSpace
TRL	3~6 (応用研究・開発)	デブリ除去方式	ADR (ロボットアーム)	

- ClearSpaceは、ESAのデブリ除去ミッションの事業者として選定され、デブリ除去衛星 (ClearSpace-1) を2026年に打上げ予定。<sup>[1]</sup>
  - 同社は、ESAから€86Mの資金提供（2020年）を受けている。<sup>[2]</sup>
- 除去するデブリは、2013年にLEOの軌道に残されたESAのVegaロケットのペイロードアダプター上段をターゲットにする。<sup>[1]</sup>
- デブリ補足用のカメラやレーダー及びデブリ捕獲システムが搭載されている。捕獲システムは、4本のアームで構成され、デブリに直接触れなくても捕獲が可能となる。<sup>[4]</sup>
- Orbit Fab社の燃料補給バルブを装備する方向性が示されている。<sup>[6]</sup>

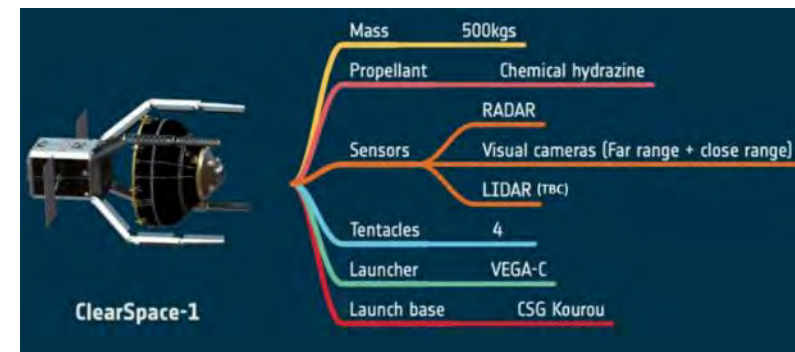
図 デブリ捕獲のイメージ<sup>[5]</sup>

## デブリ捕獲システム

- 4つのジョイントアームを利用することで、非協力物体の捕獲が可能。
- 一旦把持すると、アームの関節部分が回転し、ターゲットをサービサーに向かって押し出すことでしっかりと掴むことができる。本方法により、ターゲットの姿勢に関係なく固定が可能となる。
- 4つのアーム以外に、補助的なアームの利用も想定されるがClearSpace-1ミッションでの利用予定は、詳細不詳。

## 燃料補給バルブ搭載 (Orbit Fab)

- ClearSpaceは、Orbit FabのRAFTI燃料補給バルブを同社のデブリ除去衛星設計に統合することを発表している。
- ClearSpace-1ミッションでの燃料補給バルブの利用予定について、詳細不詳。

図 ClearSpaceの特徴<sup>[4][6]</sup>図 ClearSpace-1概要<sup>[4]</sup>

出所)

1. ESA, [ClearSpace to launch the first active debris removal mission](#)
2. Space News, [Clearspace contract signed](#)

3. ClearSpace, [Clearspace.today](#)
4. 8th European Conference on Space Debris, [SDC8 paper320](#)

5. Clearspace, [Clearspace secures a major uk contract to help clean up space](#)
6. Orbit Fab, [Clear mission](#)



# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（10/19）

23-003-T-014

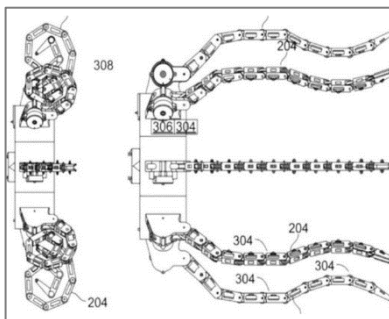
- 米国宇宙軍による軌道上デブリ除去やその他の宇宙サービスに関わる技術の商業開発促進が進んでいる。
- Kall Morrisは、**自社独自のエンドエフェクターやデブリ捕獲に関わる機械学習アルゴリズムを開発中。**
- 同社は、**将来的にデブリ除去衛星への軌道上燃料補給機能の追加を構想している。**

ミッション名	Orbital Prime	実施主体	オーナー	米国宇宙軍
			メーカー	Kall Morris
TRL	3~6（応用研究・開発）	デブリ除去方式	ADR（ロボットアーム）	

- Kall Morrisは、Orbital Primeの下で、デブリ除去技術に関する3件の研究契約（75万ドル）を獲得（2022年7月）した。

➢ **Orbital Primeは、米国宇宙軍の技術部門であるSpaceWERXによって運営されるプログラム。ISAMに焦点を当てており、軌道上デブリ除去やその他の宇宙サービスのための技術の商業開発を促進することを目的とし、125の商業チームを選出している。**<sup>[1]</sup>

➢ KMIは南カリフォルニア大学を含む様々な大学と協力し、接着アームのコンセプトを改良。スタンフォード大学とは他の接着技術を調査し、MITともデブリの収集と分析を行う方法を調査した。<sup>[1]</sup>

図 接着アームイメージ<sup>[2]</sup>図 接着アームの展開の様子<sup>[2]</sup>

- 同社は、**制御されずに軌道上に漂う、捕獲の準備ができていない不活性な衛星やロケット本体などの破片物体を捕獲するために、接着アームを使用するデブリ除去衛星（MK1 Laelaps）を開発している。**<sup>[2]</sup>

➢ 報道情報によると、24kgのデブリを回収するためには、\$4M弱の費用が掛かるとされる。<sup>[3]</sup>

- 将来的には、**デブリ除去衛星への軌道上燃料補給機能の追加を構想している**<sup>[2]</sup>。初回ADR実証は2025~2026年を想定<sup>[4]</sup>

REACCH  
関節式エンドエフェクター

TUMBLEYE  
機械学習アルゴリズム

- ADRミッションを実現するために、**静電吸着とヤモリ接着を組み合わせた独自の間接式エンドエフェクターを開発中。**
- ほぼあらゆる形状、サイズ、表面状態の非協力物体に対応できる。

- 対象物体の**回転状態での捕獲に向けて、デブリを回収前にデブリの回転を独自の機械学習アルゴリズムを用いて把握する。**
- 本アルゴリズムは、**接近中の対象物体を観察し、各軸の回転を決定することで、安全・確実なアプローチを可能にする。**

図 MK1 Laelapsの特徴<sup>[2]</sup>

出所)

1. SpaceNews, [KMI wins three space force study contracts](#)
2. Kall Morris Inc, [Kall Morris.com](#)

3. Space News, [KMI advertises prices for debris removal](#)
4. Seraphim, [Investor Showcase](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（11/19）

23-003-T-014

- Altius Space Machinesは、EOLサービス等の軌道上サービスに係る技術開発を実施している。
- 同社が開発したドッキングインターフェース（実証実績等不詳）を搭載した衛星が2022年に打上げられた。

ミッション名	ミッション名称不詳	実施主体	オーナー	—
			メーカー	Altius Space Machines
TRL	3~6（応用研究・開発）	デブリ除去方式	ADR（ドッキングプレート）	

- Voyager Spaceを親会社とするAltius Space Machinesは、衛星の廃棄を回避・寿命延長等のLEO衛星サービスに関わる技術開発を実施。<sup>[1]</sup>
- Altius Space Machinesは、DoDの軌道上サービス用のロボットアームに技術を提供する（2022年）。DIUは、Maxar Technologiesと、DoDの軌道上組立をサポートするための2つのロボットアームの設計・納入契約を締結。これらのロボットアームは、商用顧客と政府顧客の両方に利益をもたらす。同社は、Maxarのチームに入り、ロボットアームのラッチ機構（MagTag）等に関わるシステムを提供。<sup>[2][3]</sup>
- **OneWeb衛星にAltius Space Machinesが開発したドッキングインターフェース（DogTag）が搭載され打上げられた**（2022年）。<sup>[4]</sup>
  - DogTagは、**軽量設計（250g）**で様々な接続方式（機械式、磁気式、静電式等）に対応しており、**将来の寿命を迎えた衛星の廃棄作業をサポートする**（運用衛星の牽引も可能）。なお、**同社によると、300基を超えるDogTagが宇宙に打上げられた**と発表（実証状況やEOLサービスの詳細不詳）。



※イメージ  
図 Maxar社のサービスイメージ<sup>[1]</sup>



図 Altius社が開発した磁気ラッチコネクタ（MagTag）<sup>[3]</sup>

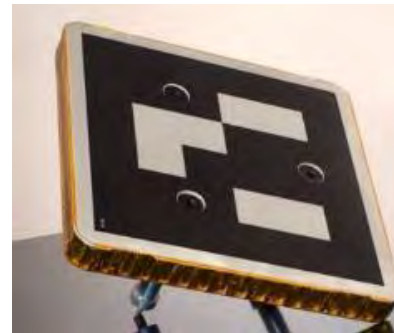


図 Altius社が開発したドッキングインターフェース（DogTag）<sup>[3]</sup>



※イメージ  
図 OneWeb衛星へのDogTag搭載イメージ<sup>[4]</sup>

出所)

1. Voyager Space, [Altius Leadership Transition](#)
2. Voyager Space, [Contribute Technology to Robotic Arms for DoD On-Orbit Servicing](#)

3. Voyager Space, [TECHNOLOGIES](#)
4. Voyager Space, [First Successful Launch of 2022](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（12/19）

23-003-T-014

- EUの資金提供が行われた欧州の複数企業・大学による、ネット・鋸・帆を用いたデブリ除去実証実験。
- 最後の実験であった帆は展開せず、PMDに係る実証には至らなかった。

ミッション名	RemoveDEBRIS	実施主体	オーナー	EU
			メーカー	University of Surrey、他
TRL	7~8（軌道上実証）※部分的実証	デブリ除去方式	ADR（ネット）及びPMD（帆）	

- RemoveDEBRISプロジェクトは、EUが資金提供を実施した研究プロジェクトであり、デブリ除去 (ADR) の主要な技術要素の実証が目的。2018~2019年にかけて実証が実施された。[1][2]
- 本ミッションは、英国サリー大学のサリー宇宙センターが主導し、実験衛星は、Airbus子会社のSurrey Satellite Technologyによって設計および製造された。[3]
- 本衛星は、ISSから放出された後ADRを実行するため、「ネットを用いたデブリ捕獲技術」、「鋸（もり）を用いた破片捕獲技術」、「光学・赤外線カメラ・LIDAR※1を用いたデブリ追跡技術」、「軌道離脱のための帆の展開技術」に関する部分的な技術実証が行われた。[1][2][4]
  - ネットは直径2m最大耐荷重2tの特徴があり、数メートル離れた場所に打ち上げられたCubeSatを捕獲し軌道離脱に成功した。
  - 鋸は10×10cmの衛星パネルに対して1.5mの距離から20m/sで射出され、衛星パネルを貫通し捕獲能力を実証した。
  - **最後の実験であった帆は展開せず、実証に至らなかった。**



☒ RemoveDEBRISのミッションイメージ[1]

※1 : light detection and ranging

出所)

1. Airbus, [RemoveDEBRIS](#)
2. University of Surrey, [Space Missions](#)

3. eoPortal, [Remove Debris](#)
4. Acta Astronautica, [The active space debris removal mission RemoveDebris. Part 2: In Orbit Operations](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（13/19）

23-003-T-014

- デブリ捕獲システム超小型実証衛星「DRUMS」は、川崎重工が自社開発し、JAXAの革新的衛星技術実証2号機の実証テーマとして選定。
- 1回目の技術実証試験では、模擬デブリの放出に成功したものの模擬捕獲には至らなかった。

ミッション名	DRUMS (デブリ捕獲システム超小型実証衛星)	実施主体	オーナー	—
			メーカー	川崎重工業
TRL	3~6 (応用研究・開発)	デブリ除去方式	ADR (伸展ブーム)	

- デブリ捕獲システム超小型実証衛星「DRUMS」は、川崎重工が自社開発し、デブリ除去事業参入への足掛かりとする。さらに、軌道上サービス事業やその他事業への適用拡大を目指す。
- JAXAの革新的衛星技術実証2号機の実証テーマとして選定され、2021年にイプシロンロケット5号機により打上げられた。DRUMSは無事に軌道投入され、地上局との間で正常にデータが送受信されて衛星の基本的な作動を確認した。<sup>[1]</sup>
- デブリ除去に必須の技術である、デブリ接近技術及びデブリ捕獲機構の実証を試みる。
  - デブリを仮想した小さなターゲットである疑似デブリを宇宙空間に持っていき、軌道上で分離する。その後カメラでターゲットを捉え、画像認識情報だけで接近するランデブーを行う。
  - デブリ捕獲機構の一部を実際に作動させ、捕獲機構（通電性デザー）をターゲットに当て捕獲を目指す。
  - **2023年2月に実施した1回目の技術実証試験では、模擬デブリの放出に成功したものの模擬捕獲には至らなかった。**<sup>[3]</sup>

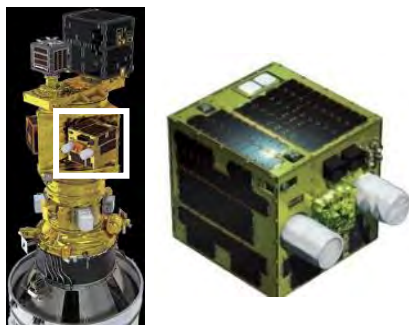


図 イプシロンロケット (左)  
DRUMSのイメージ図 (右) <sup>[2]</sup>



図 主なミッション機器<sup>[4]</sup>

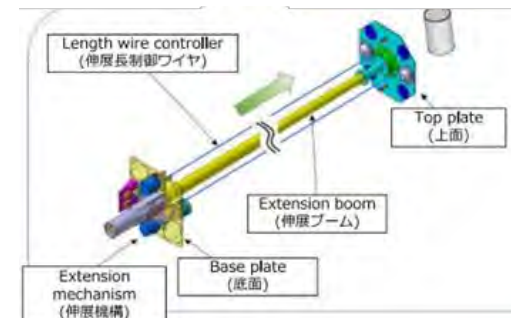


図 捕獲機構<sup>[4]</sup>

出所)

1. 川崎重工業株式会社, 自社開発のデブリ捕獲システム超小型実証衛星「DRUMS」が軌道投入され通信確立に成功
2. JAXA, 革新的衛星技術実証2号機プレスキット

3. JAXA, 革新的衛星技術実証2号機 (小型実証衛星2号機) の成果について

4. 川崎重工業株式会社, 当社のデブリ除去の取り組みとデブリ捕獲システム超小型衛星 (DRUMS) の運用状況

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（14/19）

23-003-T-014

スカパーJSATはレーザーを用いてデブリ（不用衛星等）を除去する衛星の設計開発を進める動きを示している。特定のインターフェースを必要とせずに、デブリ除去や衛星の軌道変更を想定している。

ミッション名	ミッション名称不明	実施主体	オーナー	—
			メーカー	スカパーJSAT
TRL	1~2（基礎研究）	デブリ除去方式	ADR（レーザー）	

- スカパーJSAT社は、理化学研究所、JAXA、名古屋大学、九州大学との連携により、レーザーを使う方式によりデブリ（不用衛星等）を除去する衛星の設計・開発に着手している。本事業は2026年のサービス提供を目指す。<sup>[1]</sup>
- レーザー方式の利点は、接触しないため安全性が高い、スペースデブリ自身が燃料となり、移動させる燃料が不要なため経済性が高いことが挙げられている。<sup>[1]</sup>
- レーザーの基礎開発に実績のある理化学研究所とレーザーアブレーションによる推力発生実験を行い、技術の実現性を確認。<sup>[1]</sup>
- 衛星の主要なミッション機器を開発するため、2020年4月に理化学研究所内に融合的連携研究制度チームとして、「衛星姿勢軌道制御用レーザー開発研究チーム」を設け、名古屋大学及び九州大学と連携しレーザー搭載衛星の設計開発（検討を含む）を進める。なお、衛星と地上システムについては、JAXA宇宙イノベーションパートナーシップ（J-SPARC）の枠組みを通じた検討を共同で実施する。<sup>[1]</sup>

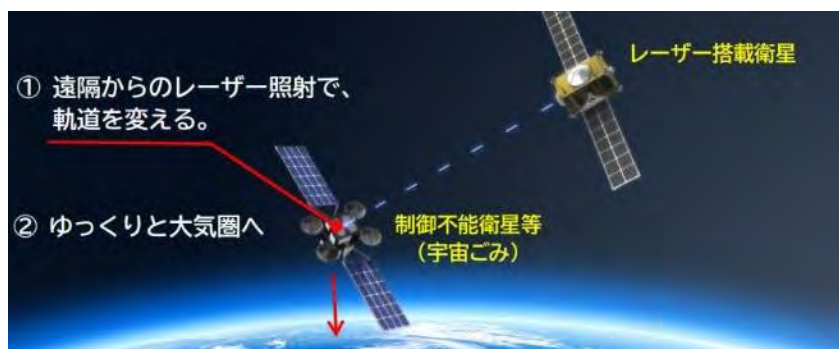


図 レーザーを用いたデブリ除去のイメージ<sup>[1]</sup>

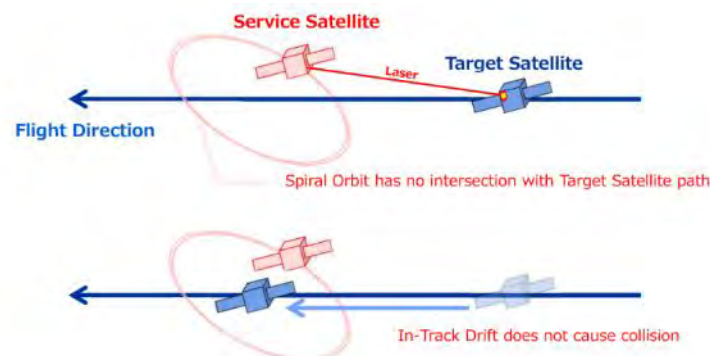


図 サービスと対象物体の対応関係<sup>[2]</sup>

出所)

1. スカパーJSAT, [世界初、宇宙ごみをレーザーで除去する衛星を設計・開発](#)
2. スペースデブリワークショップ（第10回）, [レーザー衛星を用いた ADR ミッションにおける軌道設計](#)

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（15/19）

23-003-T-014

ESAは、衛星ベースのレーザーを用いたデブリ移動に係る研究を進めている。レーザーの高出力化に向けた **大型光学センサー搭載**や**レーザー照射の最適化**、**複数衛星運用等**が検討されている。

ミッション名	In-Orbit Laser Momentum Transfer (OlaMoT)	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	Thales Alenia Space、他
TRL	1~2（基礎研究）	デブリ除去方式	ADR（レーザー）	

- ESAは、Thales Alenia Space等とともに、2020年から**衛星ベースのレーザーを用いたデブリ移動の研究**（In-Orbit Laser Momentum Transfer）を進めている。**デブリにレーザー（4kW）を照射することで、わずかな速度変化（mm/s）を発生させることを想定している**。高出力のレーザー照射を実現するために、**大型光学センサー（直径65cm）を搭載した衛星**（OlaMoT衛星）が検討される。
- 長い距離（300km）で非常に小さなデブリ（10cm）を正確に指向するために、**低解像度・高解像度のレーザーを組合せたデブリ検出能力の向上**や**大型光学系を具備可能な衛星構造の検討**、**レーザー照射の最適化等**が検討されている。
  - 当該衛星が、ターゲットとなるデブリに2日以内にアクセスするためには、**計4機の衛星（650kmに2機、950kmに2機）のOlaMoT衛星が必要**となる。

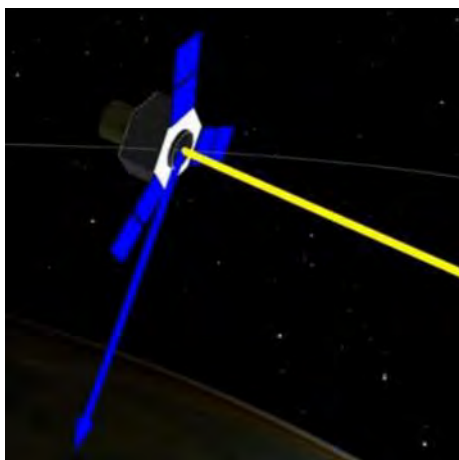


図 OlaMoT衛星のイメージ<sup>[1]</sup>

OlaMoT衛星の機能	
デブリ検出	低解像度光学センサーを用いる。広視野を確保するために2軸機構を想定。
デブリ追跡	高解像度・低解像度の光学センサーを組合せることで、追尾能力を向上。
レーザー照射	4kW出力の高出力連続波レーザー（63cm大型光学センサー）を用いる。
照射後のデブリ監視	レーザー照射後のデブリに対してレーザー測距を行い、照射後のデブリを監視する。

図 OlaMoTの機能<sup>[1]</sup>

OlaMoT衛星の課題と対策	
光学系の大型化	光学系の大型化に合わせ、光学系を衛星中心に配置した六角形構造を検討。
レーザー出力管理	最大10kW（レーザー効率40%）の出力が必要となるため、レーザー稼働サイクルの最適化を試みる。
熱管理	レーザーによる熱拡散に対して、相変換材料で吸放熱させ、熱安定性を確保。
機敏性	高・低解像度のセンサーによる捕捉精度向上や、翼構造のアレイを用いて衛星慣性を最小化させる。

図 OlaMoTの課題<sup>[1]</sup>

出所)

1. ESA, Space Debris
2. Thales Alenia Space, Finnish Geospatial Research Institute, ESA, SPACE DEBRIS DEFLECTION BY SPACE BASED LASER STUDY

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（16/19）

23-003-T-014

ESAは、地上ベースのレーザーを用いてLEOデブリを数mm/s移動させることで、衝突回避を効率的に実現していく構想がある。シミュレーションでは軌道上の幅広い質量サイズの物体への適用が示唆されたものの、レーザー出力損失や地上からの高精度追跡・検出等に対応していく必要がある。

ミッション名	LARAMOTIONS	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	DLR他
TRL	1~2（基礎研究）	デブリ除去方式	ADR（レーザー）	

- ESAでは、DLR等を中心に、LEOデブリに対する地上ベースレーザーを用いたデブリ移動に関する研究を進めている。10kW以上の高出力連続波レーザーを用いてLEOデブリを数mm/s移動させることで、衝突回避を効率的に実現していく構想がある。<sup>[2]</sup>
- 40kWのレーザー出力を前提とした場合、微小デブリや数百kgデブリ、ロケット本体等の幅広い物体に対するレーザーの実現可能性が示唆された。<sup>[3]</sup>
  - 本結果は、シミュレーションに基づく推定値であるため、レーザー損失や高精度追跡・検出を考慮していく必要がある。
  - 高出力レーザーに加え、複数の追跡レーザーを併用することで、高精度追跡・検出に繋がる。

メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高出力レーザーの利用可能性がある。</li> <li>● 電力制限がない。システム維持や修理、アップグレードが可能。</li> <li>● レーザー追跡システムへの統合。</li> </ul>
デメリット	大気の影響、気象条件に左右される

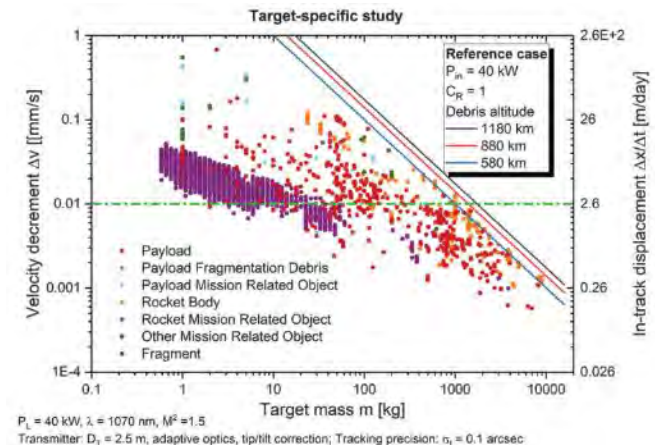
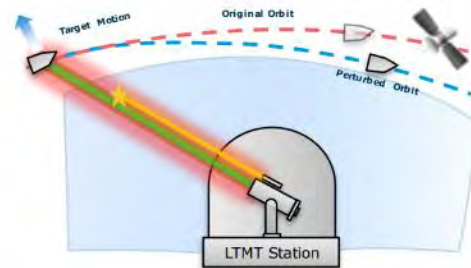


図 地上ベースレーザーのメリット・デメリット<sup>[2]</sup>

図 地上ベースレーザーのイメージ<sup>[1]</sup>

図 対象物体質量とレーザーによる $\Delta V$ の傾向<sup>[3]</sup>

出所)

1. ESA, [Space Debris](#)
2. ESA, DLR他, [Ground-based laser momentum transfer concept for debris collision avoidance](#)

3. DLR, 他, [LARAMOTIONS: a conceptual study on laser networks for near-term collision avoidance for space debris in the low Earth orbit](#)

## デブリ除去サービス技術に関する個別事例（17/19）

23-003-T-014

- 衛星からデブリに電子ビームを照射することで静電気力を発生させ、デブリを誘引・回収する構想がある。
- エネルギーコスト等に利点がある一方で、軌道上での電子ビームの照射精度等の課題がある。

ミッション名	Space Tractor	実施主体	オーナー	コロラド大学
			メーカー	—
TRL	1~2（基礎研究）	デブリ除去方式	ADR（レーザー）	

- コロラド大学では、「トラクタービーム」と呼ばれるデブリ回収方法を研究している。
  - デブリ回収衛星から対象デブリに対して電子ビームを照射することで、デブリを負電荷に帯電し、デブリ回収衛星が正電荷に帯電する。その後、帯電したデブリ回収機衛星とデブリが静電気力で引き合い、接触する方式を想定している。
- 課題として、宇宙空間における大気中の紫外線や放射線影響による帯電した粒子に起因して、デブリ回収衛星から照射される電子ビームの精度が挙げられている。
  - 但し、地上の模擬環境下（LEOを想定）での実験を通じて、デブリ回収衛星がデブリに対して15m~25mまで接近して電子ビームを照射すれば、最大1t程度のデブリであっても、2か月から4か月の期間をかけて軌道を変更し、回収できることが示された。
  - また、高速で回転しているデブリでも、電子ビームを短時間照射することで、回転を抑えられる可能性も合わせて示された。
- デブリに直接接触した回収や高出力レーザーを用いた非接触の回収手段に比べ、トラクタービームによる回収方法は、これらに対して制御の安定性やエネルギーコストの面で優れている点や1つのデブリ回収衛星から一度に複数の電子ビームを照射して複数のデブリを同時に回収するといった利点が挙げられている。

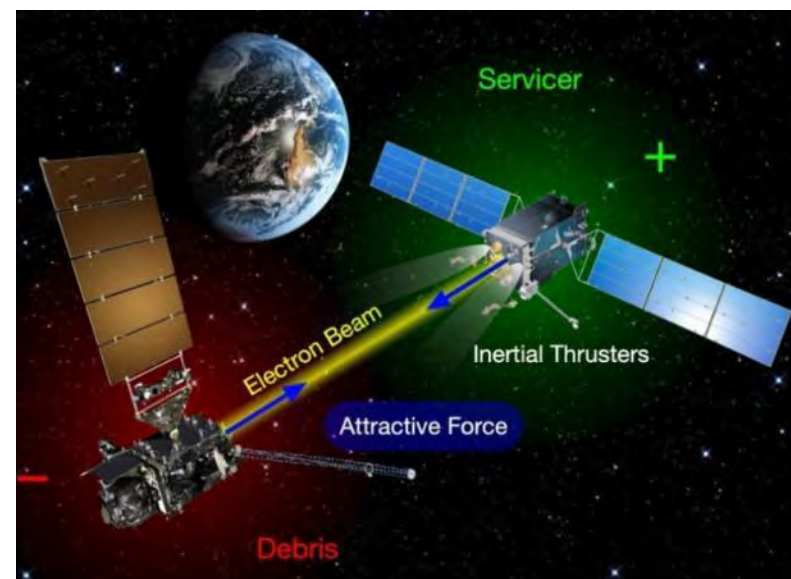


図 デブリ回収衛星による電子ビーム照射のイメージ<sup>[1]</sup>

出所)

1. Sorae, <https://sorae.info/space/20230611-eclips.html>



## デブリ除去サービス技術に関する個別事例（18/19）

23-003-T-014

- Orbit Guardiansは、一度のADRミッションで40個のデブリを除去する構想を掲げている。
- 伸展式アームを用いて、デブリに接触することで、デブリの軌道を変え、軌道離脱が実施されると想定される。

ミッション名	Orbit Guardians	実施主体	オーナー	—
			メーカー	Orbit Guardians
TRL	1~2（基礎研究）	デブリ除去方式	ADR（伸展ブーム）	

- Orbit Guardiansは、一度のADRミッションで40個のデブリを除去する構想を掲げている（研究開発状況及び実証予定等の詳細は不詳）。
- デブリ除去の方式は、ロボットアーム等を用いずに、同社はMomentum Transfer Operations（MTO）と呼ばれる方式を採用している。伸展ブーム（推定）を用いてデブリを弾くことでデブリの軌道を変え、軌道離脱を行うと想定される。

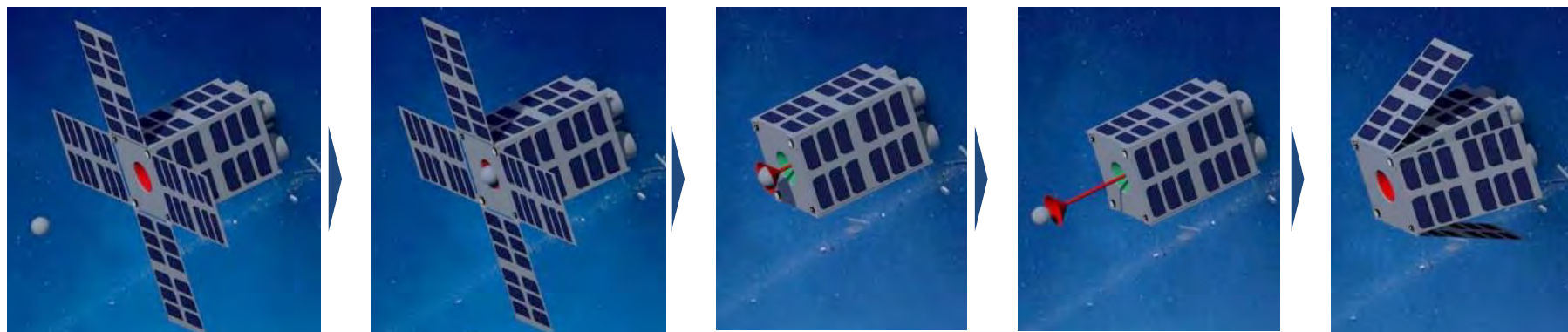


図 Orbit Guardians によるデブリ除去イメージ<sup>[1]</sup>


出所)

1. Orbit Guardians, <https://orbitguardians.com/services>

# デブリ除去サービス技術に関する個別事例（19/19）

23-003-T-014

中国の遨竜は他国に先駆けたデブリ除去実証であるが、現時点で具体的な動きは確認できない。

ミッション名	遨竜	実施主体	オーナー	中国政府機関
			メーカー	—
TRL	7~8（軌道上実証）	デブリ除去方式	ADR（ロボットアーム）	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 中国は、デブリ自動除去衛星「遨竜1号（Aolong 1）」を長征7号ロケットにて打上げた（2016年）。仮想デブリをターゲットとし、デブリ除去の重要技術の検証を行う。軌道はLEOとみられる。</li> <li>● 衛星には1本のロボットアームが取り付けられており、宇宙上で廃棄された衛星やその他の大型デブリを把持し、大気圏に再突入し燃焼させることをシミュレートする。</li> </ul>				

出所)

1. 人民網日本語版, [http://japanese.china.org.cn/business/txt/2016-06/28/content\\_38764902.htm](http://japanese.china.org.cn/business/txt/2016-06/28/content_38764902.htm)
2. Gunter's Space Page, [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/aolong-1.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/aolong-1.htm)

図の公表無し

# デブリ除去サービス技術に関する標準化動向 —調査対象—

23-003-T-014

- 標準化動向について、まず「①昨年度調査からの追加調査」を実施したのち、「②昨年度調査対象も含めた標準化動向に関する示唆出し」を実施する。

## 【調査対象一覧】（以下表は再掲）

### ①追加取り組みに関する調査

- R5に取り組みが公表された事例を調査

軌道上サービスに関する標準化		取り組み内容	昨年度調査対象
標準機構	ISO	ISO-24113 : Space debris mitigation requirements	対象
		ISO-24330 : RPO/OOS principles and practices	対象
政府・ 宇宙機関	NASA	Cooperative Service Valve開発	対象
		ISSにおけるロボットアームのエンドエフェクタに関する標準化	対象
	NASA COSMIC (ISAMコンソーシアム)	(新規追加)	
	EU	EU PERASPERA (The European Operations Framework EOF 他)	対象
	ESA	ESPRIT燃料補給システム、バルブ	対象
	JAXA	プログラム管理要求：スペースデブリ発生防止標準 (JMR-003)	対象
		技術要求、ガイドライン：軌道上サービスミッションに係る安全基準 (JERG-2-026)	対象
業界団体	CONFERS	商業的なRPO及び軌道上サービスの基本原則、推奨設計と運用プラクティス等	対象
	SPACE SAFETY COAUTION	宇宙での持続利用可能な行動指針	対象
	World Economic Forum	産業界によるデブリ低減に関する推奨事項	(新規追加)
企業	Astroscale	ドッキングインターフェース、捕獲機構	対象
	Orbit Fab	燃料補給システム、バルブ	対象
	Northrop Grumman	燃料補給、電源、機械的電氣的IF	対象
	ALTIUS	機械的電氣的IF、データ移送	対象
	iBOSS	機械的電氣的IF、データ移送	対象
	Lockeed Martin	機械的電氣的IF、データ移送	対象

### ②標準化動向に関する示唆出し

- 「物理的なインタフェース等の技術的な標準化」、「運用・安全管理の標準化」の観点で特徴的な取り組みを分析

# デブリ除去サービス技術に関する標準化動向 一個別事例（1/2）

23-003-T-014

**NASAではISAM分野に注力するコンソーシアムを設立。コンソーシアムを通じてこれまで個別に活動していたISAM組織の連携促進を実施することでISAM分野での米国プレゼンス向上を目指す。**

取り組み内容	米国におけるISAM組織連携に向けてNASAがコンソーシアムCOSMICを設立	実施主体	NASA COSMIC								
<p>【背景・狙い】<sup>[1][2][3][4][5]</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 2022年4月に国家科学技術委員会より発表された「ISAM National Strategy」に基づいてNASAの宇宙科学ミッション局がCOSMIC(CO<sup>n</sup>sortium for Space Mobility and ISAM Capabilities)を設立。運営母体にはAerospace Corporationが選定され、2023年秋にコンソーシアムのキックオフを予定している。</li> <li>● 米国ではISAMに大規模投資をしている機関と既に製作・運用している機関が混在しているため、COSMICにて各機関（政府・産業界・非営利研究機関・学会）が連携できる機会を提供し協力体制の改善・促進を実施することで、米国のISAM分野のプレゼンス向上を目指す。</li> <li>● COSMICでは2022年12月に発表されたISAM National Strategyをより具体的な行動に落とし込んだ「National ISAM Implementation Plan」に沿って注力分野を設定しワーキンググループを設立。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Policy &amp; RegulationのWGではCONFERS等のISAM組織と連携しながら、国際規範の構築及び標準化の開発支援を実施。</li> </ul> </li> <li>● デブリ除去に関して、米国では国家科学技術委員会によりデブリ対処に実施する具体的な計画「National Orbital Debris Implementation」が示されている。COSMICでは当該計画に従ってデブリ除去に関しても推進していくと考えられる。</li> </ul> <p>【National Orbital Debris Implementationで示されているデブリ除去に関する行動】<sup>[2]</sup></p> <table border="1" data-bbox="113 1049 1958 1278"> <thead> <tr> <th>R&amp;D コスト・リスク</th> <th>R&amp;D デブリ除去技術</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① 宇宙サービス運用のタイムスケールでデブリがもたらすリスク分析の向上</td> <td>① 全軌道でのデブリ除去の有用性とコストを比較し技術開発の指針を導出</td> </tr> <tr> <td>② デブリ除去にかかる開発及び実装費用の見積もり</td> <td>② 一回の打ち上げで複数の除去を可能にするシステムのTRLを向上させる</td> </tr> <tr> <td>③ リスク推定において基準となる指標の構築</td> <td>③ 標準的なインターフェイスの開発・検証を支援</td> </tr> </tbody> </table>				R&D コスト・リスク	R&D デブリ除去技術	① 宇宙サービス運用のタイムスケールでデブリがもたらすリスク分析の向上	① 全軌道でのデブリ除去の有用性とコストを比較し技術開発の指針を導出	② デブリ除去にかかる開発及び実装費用の見積もり	② 一回の打ち上げで複数の除去を可能にするシステムのTRLを向上させる	③ リスク推定において基準となる指標の構築	③ 標準的なインターフェイスの開発・検証を支援
R&D コスト・リスク	R&D デブリ除去技術										
① 宇宙サービス運用のタイムスケールでデブリがもたらすリスク分析の向上	① 全軌道でのデブリ除去の有用性とコストを比較し技術開発の指針を導出										
② デブリ除去にかかる開発及び実装費用の見積もり	② 一回の打ち上げで複数の除去を可能にするシステムのTRLを向上させる										
③ リスク推定において基準となる指標の構築	③ 標準的なインターフェイスの開発・検証を支援										

出所)

1. NSTC ①  
2. NSTC ②  
3. NSTC ③

4. NASA  
5. COSMIC

# デブリ除去サービス技術に関する標準化動向 一個別事例 (2/2) -

23-003-T-014

WEFはデブリ発生を減らすための提言にて、業界関係者が目指すべき目標や各国政府に対する積極的な投資要求を示している。一方で実際の衛星運用事業者の全体合意はとれていない現状にある。

取り組み内容	WEFがESAと協同して宇宙産業におけるデブリ軽減の新たな提言を発表	実施主体	World Economic Forum (WEF)																												
<p>【背景・狙い】<sup>[1][2]</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 2023年6月、<u>WEFはESAと共に軌道上デブリの発生を減らすための提言「Space Industry Debris Mitigation Recommendations」を発表した。</u></li> <li>● 本提言では、IADCやUNOOSAのガイドライン、ISO規格等既存のベストプラクティスやガイドラインを補完しつつも、持続可能な宇宙環境を達成するために<u>業界関係者が目指すべき現実的な目標を設定している。</u></li> <li>● さらに、業界全体が目標達成を目指せるよう<u>政府に模範（ADRやSSAへの積極的な技術投資など）を示すことを求めている。</u></li> </ul> <p>【提言抜粋】<sup>[1]</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 衛星運用者はPMD (Post-mission Disposal)を95-99%の成功率で実施し、<u>ミッション終了日から5年以内に衛星の軌道をLEOから外すようにすべきである。</u></li> <li>● <u>推進システムを活用して軌道上でのデブリとの衝突を能動的に回避すべきである。</u></li> <li>● 衛星運用者は衛星同士やデブリとの衝突を避けるために、<u>STMに関するデータを共有をすべきである。</u></li> <li>● 第三者賠償責任保険機関はSpace Sustainability Rating(SSR)<sup>*</sup>などの指標を用いた評価により、<u>持続可能なミッションに対してインセンティブを検討すべきである。</u></li> </ul> <p><sup>*</sup>SSR：宇宙ミッションや宇宙事業における持続可能性のレベルの評価指標。 ミッション固有の機密データや専有情報の開示を受けることなく、客観的なデータ及び透明性のあるプロセスによって評価される。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p>表 提言に署名した27社<sup>[2]</sup></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>AIRBUS</td><td>Hydosat</td></tr> <tr><td>Akash Systems</td><td>NorthStar Earth &amp; Space</td></tr> <tr><td>Astra</td><td>OneWeb</td></tr> <tr><td>Astranis</td><td>OHB</td></tr> <tr><td>Astroscale</td><td>Planet</td></tr> <tr><td>Avanti Communications</td><td>SatSure</td></tr> <tr><td>Axiom Space</td><td>SES</td></tr> <tr><td>ClearSpace</td><td>Slingshot Aerospace</td></tr> <tr><td>D-Orbit</td><td>Spire Global</td></tr> <tr><td>EchoStar</td><td>Thales Alenia Space</td></tr> <tr><td>Exolaunch</td><td>The Aerospace Corporation</td></tr> <tr><td>GHGSat</td><td>The Exploration Company</td></tr> <tr><td>GMV</td><td>Voyager Space</td></tr> <tr><td>Honeywell</td><td></td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="margin-top: 20px; text-align: center;"> <p>Starlink, Amazon, Viasatなど 大手一部は署名していない<sup>[3]</sup></p> </div>				AIRBUS	Hydosat	Akash Systems	NorthStar Earth & Space	Astra	OneWeb	Astranis	OHB	Astroscale	Planet	Avanti Communications	SatSure	Axiom Space	SES	ClearSpace	Slingshot Aerospace	D-Orbit	Spire Global	EchoStar	Thales Alenia Space	Exolaunch	The Aerospace Corporation	GHGSat	The Exploration Company	GMV	Voyager Space	Honeywell	
AIRBUS	Hydosat																														
Akash Systems	NorthStar Earth & Space																														
Astra	OneWeb																														
Astranis	OHB																														
Astroscale	Planet																														
Avanti Communications	SatSure																														
Axiom Space	SES																														
ClearSpace	Slingshot Aerospace																														
D-Orbit	Spire Global																														
EchoStar	Thales Alenia Space																														
Exolaunch	The Aerospace Corporation																														
GHGSat	The Exploration Company																														
GMV	Voyager Space																														
Honeywell																															

出所)

1. Pay Load Space, [WEF Releases New Space Debris Guidelines](#)
2. WEF, [Space Industry Debris Mitigation Recommendation 2023](#)

3. Space News, [WEF Offers New Debris Mitigation Guidelines](#)
4. Space Sustainability Rating, [HP](#)

# デブリ除去サービス技術に関する標準化動向 ー個別事例一覧ー

23-003-T-014

- 標準化の動きについてはインターフェイス等の技術的な標準化と運用・安全管理に係るものへ分けられる
- 各機関で運用・安全管理についての標準についての動きはみられるが、民間主導で技術開発が進められているものの技術的な標準化には至っていない。

	#	プログラム/技術	実施主体	概要
物理的なインターフェイス等の技術	1	ELSA-d <sup>[1]</sup> 、ELSA-M <sup>[2]</sup> [TRL=7~8]	Astroscale	EOLのためのドッキングプレートであり、捕獲を容易にするマーカーや磁石やロボットといった捕獲機能をもつ。 <u>2021年よりELSA-dにて軌道上実証され、得られたデータを基に世界初の複数のデブリ除去を行う実証をELSA-Mが2025年に予定されている。</u>
	2	DogTags <sup>[3]</sup> [TRL=3~6]	Altius	<u>磁気だけでなく、静電気や機械的な手法で衛星を捕獲することができる超軽量インターフェイス</u> であり、衛星の保守及びPMDに活用される。実証状況は不詳である一方、打ち上げ済みのOneWeb衛星に搭載されており今後活用される。
運用・安全管理	3	COSMIC <sup>[4]</sup> ★	NASA	CONFERS等のISAM組織と連携しながら、米国のISAM分野におけるプレゼンス向上を目指してISAMサービスに係る国際規範の構築及び標準化の開発支援を行う。 <u>デブリ除去について具体的な実施計画（運用ガイドライン、技術向上）を発表している。</u>
	4	スペースデブリ発生防止標準 (JMR-003) <sup>[5]</sup>	JAXA	ロケットや宇宙機における各工程（計画、設計、運用、運用終了後）において考慮すべき要件を、国際規格（ISO-24113）と整合性を確保するように規定している。
	5	軌道上サービスミッションに係る安全基準 (JERG-2-026)	JAXA	ターゲットデブリとの接近、接触、結合を有する軌道上サービスが、他の人工衛星の管理に悪影響を及ぼす事象（衝突によるスペースデブリの発生等）を引き起こすことを防止するための基本要件を設定している
	6	宇宙運用の持続可能性のためのベストプラクティス <sup>[6]</sup>	SPACE SAFETY COALITION	2019年に宇宙の安全を積極的に推進している国際組織SPACE SAFETY COALITIONが「宇宙運用の持続可能性のためのベストプラクティス」を発行した。ISO-24113を基にして2023年4月に第2版を発表し、36社が賛同している。 <u>衛星運用（PMDの実施率に関する設計推奨）及び廃棄（デブリ発生防止策）を95%以上の確率で実施することを示している。</u>
	7	産業界によるデブリ低減に関する推奨事項 <sup>[7]</sup> ★	World Economic Forum	WEFはESAと協同してデブリ発生を減らすための提言“Space Industry Debris Mitigation Recommendations”を発表。 <u>衛星運用業界全体で目標達成されるよう政府に模範を示すことを求めている。WEFが発表したSSRが基準に作成されている。</u>
	8	PERASPER <sup>[7]</sup>	EU	欧州の技術・製品の実装と利用を向上させるために、軌道上での商業運用に関するガイドラインや技術的な解決策を議論し、規制・許認可当局や標準化機関への提言とするための枠組み「The European Operations Framework」を発表した。 <u>燃料補給技術を含む軌道上サービス技術について各国の動向をまとめている。</u>
	9	ISO-24113 <sup>[8]</sup>	ISO	<u>ロケットから宇宙機まですべての無人システムに適用されるデブリ低減の設計・運用要件を定義している。</u> 2019年に発行され、2023年の改訂では文言の定義及び根拠が追記された。
	10	ISO-24330 <sup>[8]</sup>	ISO	<u>CONFERSによって作成された初の国際衛星サービス基準</u> であり、RPO及び燃料補給を含む軌道上サービスを運用する業界に向けた、原則とベストプラクティスを示している。

# デブリ除去サービス技術に関する標準化動向 —世界をリードする為に—

23-003-T-014

- デブリ除去サービスの確実性、安全性の確保、捕獲の難易度とコストを下げる標準化はデブリ除去を拡大するカギとなる
- 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
- まだ技術的な標準化が進まない中で、捕獲機構として実証されたドッキングプレートの日本発の標準化を目指す

## 現状

## 課題分析

## 対策

### 物理的なインタフェース等の技術的な標準化

- AstroscaleがELSA-dにてドッキングプレートの軌道上実証を成功させ、捕獲機構の標準化を進めている。
- 汎用的なロボットアーム、エンドエフェクター、サービスインターフェイスについても標準化が望まれるが、ISSで使用でのロボットアーム以外の標準化は進んでいない。

- デブリ除去サービスにおける技術の標準化は民間主導で開発が進んでいるが、実証の数が少なく、技術的な標準化には至っていない。

- 日本の政府衛星をはじめとして、日本の衛星にドッキングプレート等の採用を加速させ、実証の中で有用性を示す
- 地上での技術の強みを活かした汎用的なロボットアーム、エンドエフェクター、サービスインターフェイスの開発促進と実証をすすめる

### 運用・安全管理の標準化

- ISO-24330 : RPO/OOS principles and practices に加え、JAXAの「軌道上サービスミッションに係る安全基準 (JERG-2-026)」等、運用・安全管理のルールについては各宇宙機関・組織が発表している。

- デブリ除去サービスの確実性と安全性への信頼を獲得するために更なる充実が求められる

- 技術実証だけでなく、世界に先んじて運用面のベストプラクティスを示し、デファクト標準として世界的な認知を獲得する
- 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

## 【参考】CONFERSで投票権を持つ参加企業

23-003-T-014

- CONFERSは、米国DARPA主導及び支援の下で民間主体の組織として構築され、2022年12月以降は独立した運営に移行している。
- 規格草案及びその他CONFERS出版物への投票権を持つメンバーは、欧米の企業が中心となり構成されている。

● Sustaining Members (理事会メンバー資格有)	● Contributing Members (理事会メンバー資格無)
<p>欧米諸国</p>  <p>※1</p> <p>その他国・地域</p>  <p>※2</p>	<p>欧米諸国</p>  <p>その他国・地域</p> 
● Observer (会員イベント参加・サイトアクセス権有)	● Government Observer (会員イベント参加のみ)
 <p>等</p>	

出所)

- CONFERS, [About CONFERS](#)
- CONFERS, [Membership Terms & Conditions](#)
- CONFERS, [Current Members](#)

※1 MDA社の本社所在地(カナダ)に基づき、「欧米諸国」に分類した。MAXAR社の元子会社。(2023年時点)。

※2 株式会社アストロスケールホールディングスの本社所在地(日本)に基づき、「その他国・地域」に分類した。なお、同ホールディングスは、5か国に拠点を展開するアストロスケールのグローバル本社として機能を持つ(2023年時点)



# デブリ除去サービス技術 -CRD2 Phase 2以降の在り方-

23-003-T-014

- 2024-2026年にかけて各国のデブリ除去プロジェクトの実証がスタート
- 我が国のCRD2では3tのロケット上段と商業化に直結する技術を実証する。



▲ ミッション：ADRIOS 打ち上げ予定：2026  
メーカー：ClearSpace社 対象：VESPA上段アダプター 100kg

▲ ミッション：ELSA-M 打ち上げ予定：2024  
オーナー：ESA/OneWeb メーカー：Astroscale UK 対象：複数のOneWeb社衛星(ドッキングプレートによる除去)

▲ ミッション：COSMIC 打ち上げ予定：2026  
オーナー UKSA 英国メーカー：Astroscale UK 対象：英国の2衛星

▲ ミッション：Orbital Prime 打ち上げ予定：2025-26  
オーナー：米宇宙軍 メーカー：Kall Morris 対象：衛星等

▲ ミッション：CRD2 Phase 1 (SSAミッション) 打ち上げ予定：2024  
オーナー：JAXA メーカー：Astroscale JP 対象：HII-A ロケット上段

▲ ミッション：CRD2 Phase 2 (除去ミッション) 打ち上げ予定：2026頃  
オーナー：JAXA メーカー：TBA 対象：HII-A ロケット上段

## 捕獲対象の比較

ADRIOS：VESPA上段のアダプター 100kg

CRD2 Phase 2：3tのロケット上段

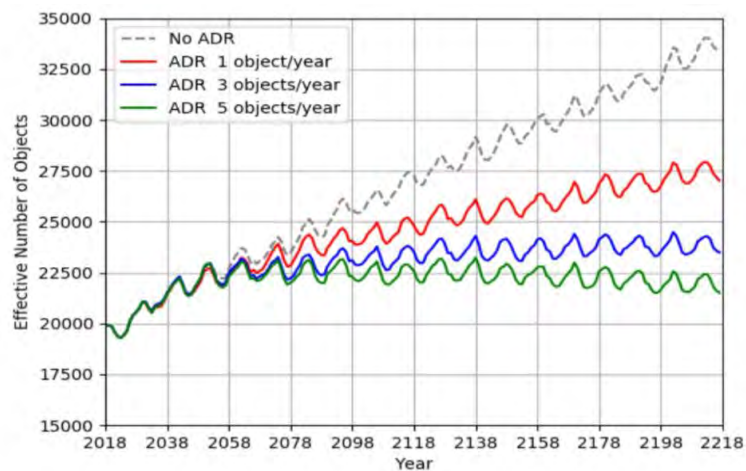
⇒ ロケット上段は環境負荷が大きいと認識される物体で数も多い。ここで実証された技術は実用に直結するものであり、日本の強みとなる

## デブリ除去サービス技術 -CRD2 Phase 2以降の在り方-

23-003-T-014

- 宇宙環境の維持の為に2つのアプローチを実行する
- 1.デブリを増やさない = 運用終了時のデブリ化の防止
- 2.デブリを減らす = 既存デブリの除去

現宇宙環境の維持には90%のPMD率を遵守し、年間3個の除去が必要



©JAXA / Kyushu Univ.

図：過去8年間の平均で衛星の打ち上げが続き、25年以上の軌道寿命を持つものが90%のPMD順守率であると仮定した場合の、ADRの効果を表しています。楽観的な90%PMD順守率が維持されたとしても年3機以上のADR（青線）でようやく軌道上の物体数が維持されることが示されています。出典：[Kawamoto, 2020]

出典 <https://www.kenkai.jaxa.jp/crd2/about/>

## デブリ除去サービス技術 -CRD2 Phase 2以降の在り方-

23-003-T-014

- 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
- 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
- CRD2で獲得した進んだ技術を更に進化させる。実証を積みかさねる中で、実証された技術を反映したルール作りを進め、デファクトを獲得する

### 運用終了時デブリ化の防止

- 技術の成熟、コストダウンを通して、運用終了時に於けるデブリ化防止の衛星除去の商業化を目指す

- 政府による需要の喚起
  - 法規制  
(ルールの設定、インセンティブ等)
- 技術の成熟、コストダウン

### 既存デブリの除去

- 政府のプロジェクトとしてデブリ除去を継続する。
- 実証された技術を反映したルール作りを進め、デファクトを獲得する中で、デブリの改善・低減のルール作りの中心を担う

- CRD2 Phase 2で獲得する進んだ技術を持ってプレゼンスを示す
- 衛星デブリや制御再突入を伴うデブリ等への対象の拡大を図り、実証の中で技術、除去方法での標準化を図る

CRD2  
Phase 2以  
降の在り方

必要となるア  
クション

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

**2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析**

2.3.1 デブリ除去サービス技術の調査分析

**2.3.2 強み・弱み分析**

2.3.3 戦略・研究開発計画

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

# デブリ除去サービス技術における調査サマリ

23-003-T-014

- 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

## ニーズの顕在化

- ✓ 衛星保有国、参画企業の増加、LEOコンステレーションの拡大で低軌道を中心に軌道環境が悪化
  - ✓ 厳格化するレギュレーションへの対応だけではなく、投資を集める上でも企業にスペースサステナビリティへの対応が求められる
- ⇒ 宇宙利用の継続性、事業の継続性に対するリスクが増加し、デブリ低減・除去へのニーズが顕在化

## ニーズへの対応

## ユーザの期待

- ✓ 運用終了後の自立的な軌道離脱
  - 推進系による軌道離脱が主だが、推進系を持たない、もしくは衛星バスが故障した場合にも軌道離脱したい

- ✓ 既存デブリ、もしくは衛星の軌道離脱
  - 現状の軌道環境を改善したい
  - より短期間で軌道離脱したい

- ✓ 他の衛星への衝突回避

## 技術的トレンド

### PMD技術 (自律的な軌道離脱)

- ✓ 従来は、自然に軌道高度の低下を待つ、もしくは、推進系による軌道離脱が主流であったが、導電性テザーや膜面展開式の軌道離脱装置の実証が進み実用レベルのとなりつつある
- ✓ 現行手段より、安価で成功率が高いPMD技術が求められる

### ADR技術 (サービサーを介したデブリ化防止と除去)

- ✓ サービサーによるデブリ除去の実証が進んでおり、除去を容易にするドッキングプレートによるEOLの実証が行われた。
- ✓ 確実なミッション達成やコスト低減の視点から正確性や汎用性を持つロボットアームによる除去の開発が主流になりつつある。

衝突回避技術  
2.2項参照

## デブリ除去サービス技術における日本の強み・弱み

23-003-T-014

- 政府・宇宙機関主導でPMD、ADR技術の開発と実証の競争が進む。我が国はJAXAやELSA-d実証でのRPO技術の知見とCRD2プロジェクトの先行性を活かし、世界をリードする

### PMD技術

### ADR技術

#### 世界の動向

- ✓ IADCがPMD率90%の指針を出している
- ✓ 米国FCCのルールが25年から5年に変更されPMD機器の利用が進むと考えられる
- ✓ LEOの中でも低い軌道においては自然の軌道離脱だけでなく、導電性テザーや膜面展開式PMD機器の開発が進む。

- ✓ 欧州では政府・宇宙機関が進める既存デブリの除去ミッションが計画されている。
- ✓ デブリ除去について米国においても政府・米軍の下デブリ除去の計画が始まる。

#### 日本の現状

##### 強み

- ✓ JAXAの協力のもと、アクセルスペースやBULL社が導電性テザーや膜面展開式のPMD機器の開発と実証を進めている

- ✓ CRD2プロジェクトなど世界に先駆けての実証・事業化の動きが進められる。ロケット上段は実用に直結するものであり、日本の強みとなる
- ✓ ロボットアーム方式を使用したデブリ除去の研究開発もすすむ

##### 弱み

- ✓ 日本独自のPMDに対する明確なガイドラインがない
- ✓ 衛星事業者側に明確なインセンティブを提供できていない

- ✓ 協力物体、準協力物体へのRPO技術、ドッキング技術等を蓄積してきているものの、非協力物体についてはCRD2以降の計画が不透明

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

**2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析**

2.3.1 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.3.2 強み・弱み分析

**2.3.3 戦略・研究開発計画**

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

# デブリ除去サービス技術の戦略・研究開発計画立案

23-003-T-014

- 進んでいる技術開発をさらに加速させ、開発した技術のデファクト化を図る
- 政策・規制と標準化、技術開発を合わせて進めることで、我が国がデブリ除去ビジネスとスペースデブリ低減・改善の議論の中心を担い、世界をリードする

## PMD技術

- ✓ 帆、テザー等、技術の開発に続き、実証から商業化を目指す

## ADR技術

- ✓ ETS-7、HTV、ELSA-dの実証で得たRPO技術等を基に、世界に先駆けたCRD2の取り組みを進める

### 実証を積み重ね、進んでいる技術開発を着実に、そして加速させる

- デブリ化防止技術に対する民間需要の喚起
- 既存デブリ除去に対する政府の取り組みの継続

### 政策・規制/標準化

- デブリ除去、低減の規則化
- 政府衛星へのデブリ防止策徹底
- サービスの確実性、安全性の確保
- 捕獲の難易度とコスト低減

### 技術開発

- ロケット上段に続き、衛星への対応、複数機への対応、制御再突入等、対象の拡大
- 捕獲機構の標準化・汎用化

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



## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

**2.4 推進薬補給技術の調査分析**

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

## 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。

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

**2.4 推進薬補給技術の調査分析**

**2.4.1 推進薬補給技術の調査分析**

2.4.2 強み・弱み分析

2.4.3 戦略・研究開発計画

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

## 推進薬補給技術に関する動向分析 – 米国動向（1/2） –

23-003-T-014

- 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が策定される。
- 防衛分野ではより動的な運用への指向が高まり、米国では推進薬補給に必要な技術に関して政府から民間への投資により研究開発を支援している。

### 米国【官主導】

#	プログラム名	実施主体		概要	資金源	TRL
		オーナー	メーカー			
1	Orbital Express	DARPA	Boeing, Aerospace, Northrop Grumman	ロボットによる衛星の保守・修理・燃料補給サービスの軌道上実証を2007年にLEOで実施し、ヒドラジン移送を行った	DARPA	7~8
2	Modularity for Space System	DIU	Motiv Space System, Maxar Technologies, Tethers Unlimited	DIUが選定した3社が、衛星用のモジュールシステムのプロトタイプをそれぞれ開発し、2024年までにDIUへ納品して、軌道上燃料補給実証を行う	DIU	3~6
3	Tetra-5	米国宇宙軍	Orion Space Solutions	ドッキングインターフェースにOrbit FabのRAFTIを積載した小型衛星を開発し、GEO衛星のヒドラジン燃料補給や検査の実証実験を行う	米国宇宙軍	3~6
中止決定	OSAM-1	NASA	Maxar Technologies	2025年までにLandsat-7へロボットアームを用いて燃料補給を行う	NASA	3~6
5	Cooperative Service Valve	NASA	NASA Goddard Space Flight Center	NASAが中心となり給油・排油バルブを開発し、2020年に米国特許を取得した	-	3~6
7	-	米国宇宙軍	Astroscale U.S.	2026年までに燃料補給機の試作機をアメリカ宇宙軍に提供する	米国宇宙軍	3~7
8	-	米国宇宙軍	Northrop Grumman	SSC、DIUと協力し、給油インターフェイスや燃料補給に利用される衛星の開発が行われる同社が開発を進めるMission Robotic Vehicleにも搭載される。	米国宇宙軍	3~7

## 推進薬補給技術に関する動向分析 – 米国動向 (2/2) –

23-003-T-014

- また、米国および北米地域ではインターフェース標準化含めてOrbit Fabが民間事業者をけん引している一方で萌芽的構想をもった事業者も複数登場し始めている。

### 米国【民主導】

#	プログラム名	実施主体		概要	資金源	TRL
		オーナー	メーカー			
6	-	-	Orbit Fab	燃料移送インターフェース「RAFTI」を開発。燃料デポと燃料補給機を用いた軌道上での燃料補給サービスの実施を目指しており、2025年にGEO衛星への燃料補給軌道上実証を行う	ARWERX、8090Industries、N.G.*等	3~7
7	-	NASA	ALTIUS SPACE MACHINES	2つのタンクを一時的に繋ぎ燃料補給が可能になるカプラーを開発しており、2024年に軌道上実証を行う	SBIR	3~6
8	SPACEIUM	-	SPACEIUM	技術的構想は不詳だが、深宇宙探査を目的とした、衛星・ロケットへの燃料補給ステーションシステムの開発を目指している	Seraphim Space、オタワ大学	1~2

\*Northrop Grumman

### 北米その他 (カナダ)

#	プログラム名	実施主体		概要	資金源	TRL
		オーナー	メーカー			
1	-	-	Obruta Space Solutions(カナダ)	既存の衛星とドッキングできるインターフェース及びそのシステムを開発し、軌道上実証に向けて進めている	カナダ宇宙庁、Mitacs	1~2

## 推進薬補給技術に関する動向分析 – 欧・中動向–

23-003-T-014

- 欧：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
- 中：天宮を見据えて燃料補給ミッションを成功させていたが、天宮完成後に目立った動きが見つからない

### 欧州

#	プログラム名	実施主体		概要	資金源	TRL
		オーナー	メーカー			
1	ASSIST	ESA	GMV, Moog, アテネ工科大学, DLR	GEO衛星への燃料補給システムの開発及び標準モデル構築を目指し、地上実験に向けて進めている	Horizon 2020(EU)	3~6
2	EROSS IOD	ESA	Thales Alenia Space	欧州における軌道上サービスの確立するため、2026年に燃料補給を含む軌道上実証実験を目指している	イタリア宇宙庁、Horizon Europe	3~6
3	ESPRIT	ESA	Thales Alenia Space	2029年にAltemis IVと共に打ち上げられ、Gatewayへのキセノンとヒドラジンの直接補給が予定されている	ESA	3~6

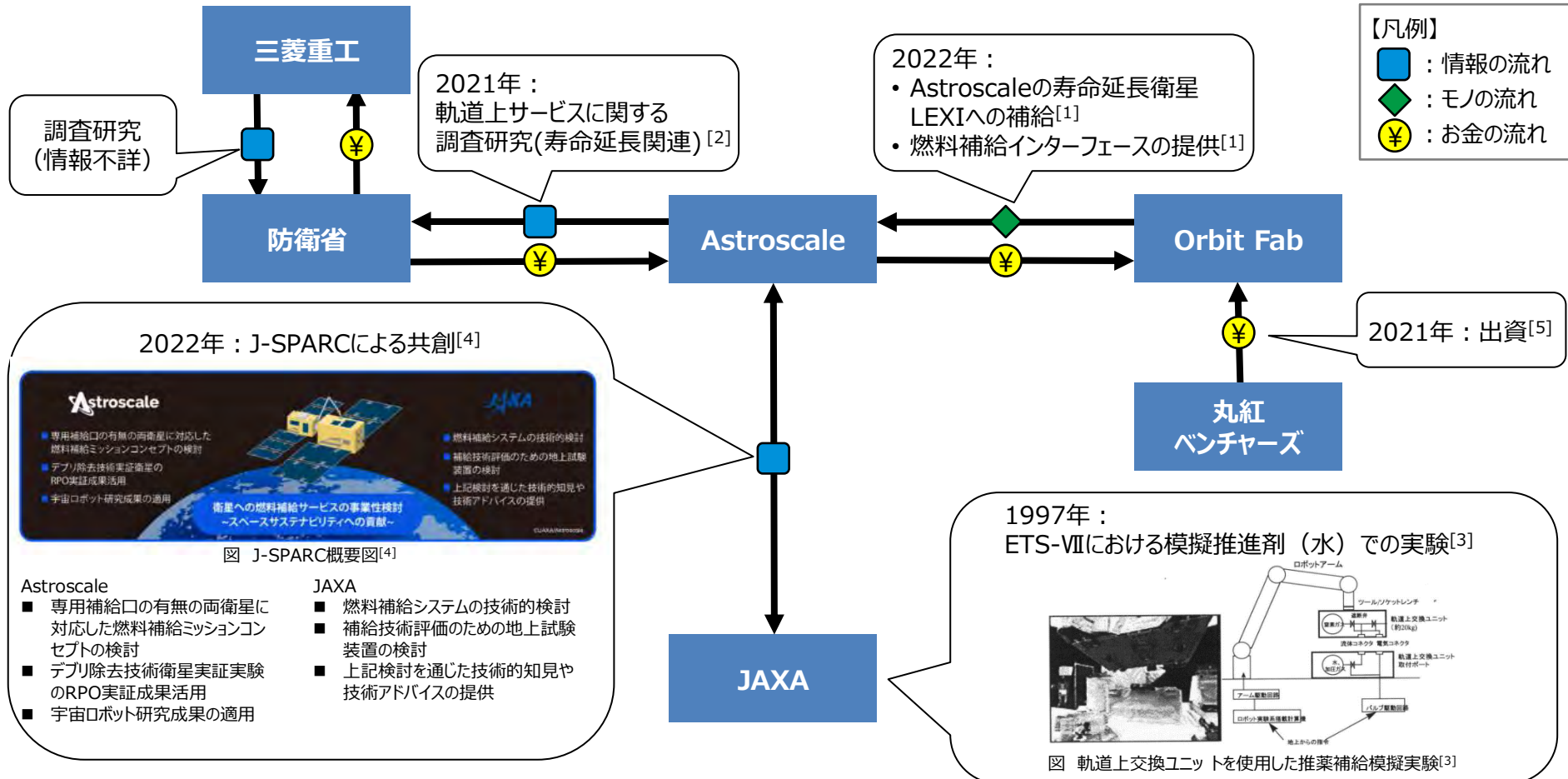
### 中国

#	プログラム名	実施主体		概要	資金源	TRL
		オーナー	メーカー			
1	天源	中国国防科学大学	-	中国初の軌道上衛星への燃料補給（直接輸送）を含む軌道上サービス実験を成功した	-	7~8

# 推進薬補給技術に関する動向分析 - 日本の動向-

23-003-T-014

- 日本ではAstroscaleを中心に燃料補給ミッションが進められている。
- AstroscaleはOrbit Fabとの連携を行いながらも、新しい燃料補給に向けた検討も実施している。



出所)

1. Astroscale, [Astroscale米国とOrbit Fab、初となる衛星への燃料補給契約を締結](#)
2. 読売新聞、[【独自】防衛省、人工衛星の延命技術研究に着手...軌道上でドッキングして保守管理も](#)

3. JAXA, [ETS-VII ロボット実験](#)
4. JAXA, [AstroscaleとJAXA、衛星への燃料補給サービスに関するコンセプト共創活動を開始](#)
5. 丸紅、[軌道上の人工衛星への燃料補給サービスに向け「宇宙のガソリンスタンド」を開発する米Orbit Fabに出資](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (1/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

**DARPAは燃料補給を含めた軌道上サービスの自動化技術に焦点を置いたLEOでの軌道上実証を2007年に実施。当該プログラムの成果によって軍事・商業衛星の将来的な運用コストを抑えることを目指す。**

ミッション名	Orbital Express (米)	実施主体	オーナー	DARPA(国防高等研究計画局)
			メーカー	Boeing, Aerospace, Northrop Grumman
TRL	7~8	想定軌道	LEO	

## 【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

- Orbital Expressはロボットによる衛星の保守、修理、燃料補給の機能を備えており、軍事・商業衛星の将来的な運用コストを抑えることを目指したプログラム。特に、当該プログラムでは自動化技術に焦点が置かれている。
- 2007年にLEOにてBoeing社の輸送ロボット運用衛星 (ASTRO) からBallの次世代サービス衛星 (NextSat) にヒドラジン移送を行った。
- **自動推進薬移送装置はNorthrop Grumman製を採用した。**
- 自動制御のレベルを変えて15回の移送を実施した。ヒドラジン31.97lbm(pound mass)を移送(32lbm目標)。ポンプの実証で19.2lbm(目標17lbm)を移送し、ASTROへ戻すことにも成功した。

## 【開発コスト・資金源】<sup>[2][3]</sup>

- 2001年から2007年度までのこのプログラムの費用は2億6,740万ドルと報告された。2002年にDARPAはBoeing社と1億1,300万ドルで契約をしている。

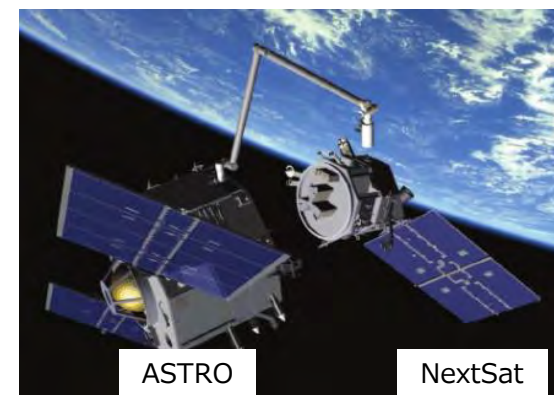


図 AstroとNextSatの概要図<sup>[4]</sup>

出所)

1. Defense Industry Daily, [Orbital Express: Testing On-Orbit Servicing](#)
2. Boeing, [Boeing Team Selected to Build Orbital Express](#)

3. Encyclopedia Astronautica, [Orbital Express Astro](#)
4. IEEE Robotics & Automation Magazine 16(4), [Achievements in space robotics](#)



# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (2/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

DIUではGEO以遠ミッションを想定した燃料補給ミッションに向けてロボットアームの開発を目指している。3社を選定し2024年プロトタイプ納入を要求している。

ミッション名	Modularity for Space System (米)	実施主体	オーナー	米国防イノベーションユニット(DIU)
			メーカー	Motiv Space System, Maxar Technologies, Tethers Unlimited
TRL	3~6	想定軌道	GEO以遠	

## 【事例概要】<sup>[1]</sup>

- DIUはGEOやより遠方での将来的な宇宙開発のコスト削減を目指している。本ミッションでは運用される衛星の性能向上や燃料補給を容易にするために衛星用の3つのロボットアームのプロトタイプを開発して、軌道上燃料補給を実証する。システム開発はDIUが選定した3社が行っている。
- DIUは2024年にプロトタイプ納入を要求している。(2022年7月時点)<sup>[1]</sup>

## 【開発コスト・資金源】

- Maxar社はDIUより930万\$で契約を締結<sup>[3]</sup>した一方で、他の2社についての資金援助の金額は不詳<sup>[1]</sup>

表 DIUに選定された3社

Motiv Space Systems <sup>[2][3]</sup>	Maxar Technologies <sup>[4]</sup>	Tethers Unlimited <sup>[5][6]</sup>
2つのロボットアームを備えたModuLinkと呼ばれるモジュール式のコンポーネントを開発。ロボットアーム自体は燃料補給に特化したものではなく、様々な軌道上サービスを想定している。	2つのロボットアーム(約2m)を開発しており3年以内に設計・テストされDIUへ納入。 <sup>[3]</sup> 劣駆動マニピュレータを特徴としたロボットアームで重量とコスト低減につながっている	KRAKENと呼ばれるロボットアームを開発中。同社で構想している軌道上組立や燃料補給用の衛星にも活用される予定(ミッション詳細不明)
		

出所)

1. Spacenews [DoD signaling demand for satellite support services in geostationary orbit - SpaceNews](#)

2. Motiv, [Modular robotics for the new era](#)

3. Motiv, [Motiv Space Systems and Blue Origin Announce ModuLink](#)

4. Maxar Technologies, [DIU selected Maxar](#)

5. Tethers Unlimited, [TU's In-Space Servicing Technologies](#)

6. Tethers Unlimited, [KRAKEN](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (3/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

**Orion Spaceは米宇宙軍の中小企業による防衛産業への参入促進に向けた枠組みを活用して、GEOでの燃料補給ミッション実証を目指す。**

ミッション名	Tetra-5 (米)	実施主体	オーナー	米国宇宙軍
			メーカー	Orion Space Solutions (米)
TRL	3~6	想定軌道	GEO	

## 【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

- Tetra-5は、宇宙空間での物体の検査や交換に費用がかかるGEO衛星の寿命を延ばすために、米国宇宙軍が商業技術の利用を検討するプロジェクトである。小型衛星の軌道上での検査及び燃料補給の実証実験を行う。
- Orion SpaceはHera System, Booz Allen, Scout Spaceと共に小型衛星3機の開発を進めている。2025年に実証実験が開始される予定。
- 燃料補給用のドッキングインターフェースにはOrbit FabのRAFTI™が用いられ、最大50kgのヒドラジンを補給する。<sup>[3]</sup>

## 【開発コスト・資金源】<sup>[1]</sup>

- 米国宇宙軍と契約を4450万ドルで締結（中小企業による防衛産業への参入促進に向け、情報連携やイベント開催などを通じて軍と産業界を繋いでいくためのコンソーシアム「Space Enterprise Consortium」の枠組みにて締結）



表 Orion Space Solutionsの衛星イメージ図<sup>[1]</sup>

出所)

1. Space News, [Orion Space wins U.S. Space Force contract for on-orbit services experiment](#)
2. Space News, [Space Force eager to harness satellite-servicing technologies](#)
3. IMPULSE SPACE, [Orbit Fab Selects Impulse Space to Support GEO Refueling Mission](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (4/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

NASAでは燃料補給を想定していない衛星への燃料補給ミッションを進めている。ロボットアームを用いて燃料タンクに穴をあける方法を検討している。

ミッション名	OSAM-1 (米)	中止決定	実施主体	オーナー	NASA
				メーカー	Maxar Technologies
TRL	3~6		想定軌道		LEO

## 【事例概要】<sup>[1][2][3]</sup>

- LEOにおけるLandsat 7への燃料補給・修理・改造に関する実証実験として、OSAM-1のミッションを進めている。
- 2025年までにLandsat-7(燃料補給を想定していない衛星)へ115kgのヒドラジンを給油する計画。ロボットアーム2本を用いて燃料タンクに穴をあける形で燃料補給ミッションを進める。
  - Landsat-7には5億\$以上の費用がかかっているため燃料補給ミッションへの期待値も大きい。
- 衛星及び3つのロボットアームの開発はMaxar Technologies社が行っている。
- OSAM-1は2024年に打ち上げられる予定。<sup>[3]</sup>

## 【開発コスト・資金源】<sup>[4][5][7][8]</sup>

- 2020年初めにMaxar社と1億4,200万\$で契約を締結した。
- OSAM-1はNASAのTechnology Demonstration Missionsプログラムより資金提供を受けている。(金額不詳)
- 2023会計年度のNASAの予算案254億\$の中でOSAM-1の予算として2.27億\$が含まれている。



図1 OSAM-1概略図<sup>[4]</sup>



図2 OSAM-1のロボットアームによる自動捕捉テスト<sup>[6]</sup>

出所)

1. IEEE Spectrum  
2. Space News ①

3. Motiv Space System  
4. NASA

5. The Robot Report  
6. SatNews

7. Space News ②  
8. eoPortal

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (5/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

**NASAでは軌道上での給油・排油バルブの開発を実施したが、後続の動きについては不透明。Orbit Fabのインターフェース開発には当該技術含めNASAゴダード宇宙センターの技術が参照されている。**

ミッション名	Cooperative Service Valve (米)	実施主体	オーナー	NASA
			メーカー	NASA Goddard Space Flight Center(米)
TRL	3~6	想定軌道	-	

## 【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

- NASAが中心となり給油・排油バルブCooperative Service Valve (CSV) を開発した。推進剤や加圧剤の重点を容易にする。
- 米国特許を2020年に取得。
- OSAM-1において給油時に取り付けてそのままにし、将来の給油に使用する予定であったが、2023年の米宇宙軍の発表によれば、OSAM-1では対象衛星に穴をあけて給油することが明言されており、CSVの活用については不透明な部分がある。
- Orbital FabのインターフェースRAFTIIはNASAゴダード宇宙センターの技術を参照に開発されている。

## 【開発コスト・資金源】

-

## 【契約先】

-

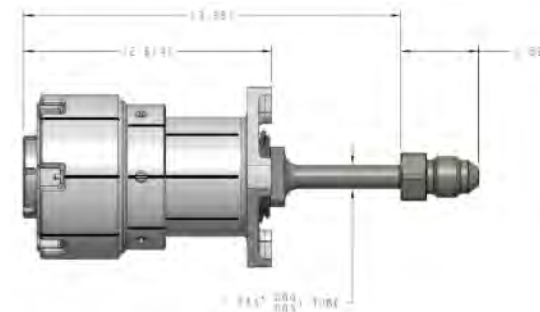


図 CSVのイメージ図<sup>[1][3]</sup>

出所)

1. NASA Technology Transfer Program, [Robotic Automation and Control](#)
2. US Patent, [10604281](#)

3. Satellite Servicing Program Division, [CSV fact sheet](#)
4. Space NEWS, [Military to tap commercial industry for 'space mobility' services](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (6/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

燃料補給分野のフロントランナーであるOrbit Fabは、2025年にGEO衛星への軌道上実証を予定しており、その後のサービス化までが視野に入っている。

ミッション名	Fuel Delivery (米)	実施主体	オーナー	–
			メーカー	Orbit Fab (米)
TRL	3~6(RAFTIは7)	想定軌道	LEO、GEO、シスルナ	

## 【事例概要】<sup>[1][2][3][4][5][6][7]</sup>

- Orbit Fabは宇宙空間で機能する燃料移送システムと給油・排油バルブの技術を開発した。燃料デポ(Fuel Depot)と燃料補給機 (Shuttle) を打ち上げ、軌道上で燃料補給を実施するサービスの開発を進めている。2030年までに燃料補給可能な衛星を宇宙軍に提供したいと考えている。
- 2019年にISSで実証実験にて2つの衛星間での水を移送に成功した。
- 2020年に米空軍とキセノンを移送するポンプを開発する契約を締結した。
- 2021年LEOにTanker-001 Tenzing Fuel Depotを打ち上げ、RAFTIバルブの軌道上実証を行った。
- 2022年にNeutron Star Systems社とグリーンプロペラントを使用した衛星燃料補給ソリューションの共同開発に関する協力協定を締結。両社の技術を組み合わせて給油可能な推進剤の種類を拡充を目指す。
- TRL7であるインターフェースRAFTIを用いて、2025年にGEO衛星への燃料補給の軌道上実証を行う。その後、燃料補給サービスを開始する予定。(RAFTIはNASAゴダード宇宙センターの技術を参照して開発されている。)
- ヒドラジン最大100kgの輸送に対して 2,000万ドルの燃料輸送価格を提示している。
- さらに、Orbit Fabでは燃料補給サービス利用者に対してミッションConOps最適化にむけたシミュレーションソフトUMPIREを通じて、ミッション収益の最大化を支援している。

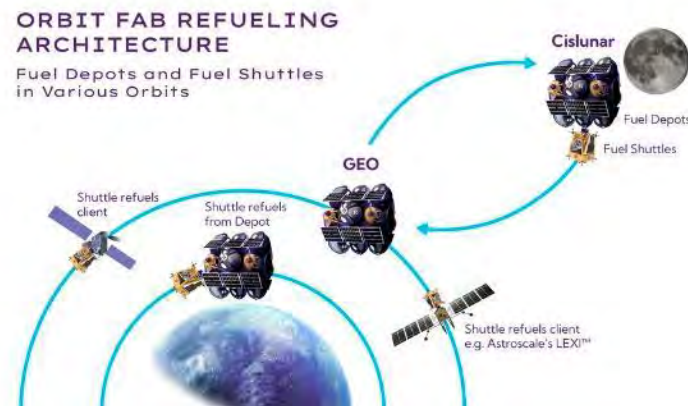


図 給油サービスの構想図<sup>[8]</sup>

出所)

1. [Space.com](#)
2. [Space Watch Global](#)

3. [Orbit Fab①](#)
4. [Orbit Fab②](#)
5. [Space News](#)

6. [Orbit Fab③](#)
7. [UchuBiz](#)
8. [Orbit Fab④](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (7/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

Orbit Fabは官民それぞれの衛星への燃料補給を予定しており、すでに多くの衛星事業者の設計ベースラインに同社のインターフェースが採用されている。

ミッション名	Fuel Delivery (米)	実施主体	オーナー	–
			メーカー	Orbit Fab (米)
TRL	3~6(RAFTIは7)	想定軌道	LEO、GEO、シスルナ	

## 【開発コスト・資金源】<sup>[1][2][3]</sup>

- 競合であるNorthrop Grumman社とLockheed Martin Venturesも参加するラウンドで資金を調達。
- 2022年3月に軍用衛星への活用を見据えたRAFTIの開発のため、AFWERX STRATFI（米空軍の企業への技術革新を支援する資金調達プログラム）から1200万\$を獲得。
- 2023年4月に2,850万ドルの資金をVCである8090Industriesから調達した。各軌道での燃料補給事業の加速が見込まれる。特に、RAFTIにインターフェースの統合を進めることができる。

## 【契約先】<sup>[3][5]</sup>

- 米政府主導のプロジェクト3件（約2100万\$）
  - 2024年に計画されている宇宙軍へのランデブー及びRPO管理ソリューション提供（宇宙軍による革新的技術への投資）
  - 宇宙軍のGEO衛星にヒドラジンを4年間補給
  - 米空軍主導のドッキングデポ開発（上記STRATFIプログラム）
- Astroscaleの寿命延長衛星LEXI™に対する燃料補給
- ClearSpaceとのパートナーシップを発表しClearSpaceのADR衛星にRAFTIが活用される予定。（ClearSpaceは英国宇宙庁と200万£で契約）
- その他同社によると、100を超える商業衛星の設計のベースラインにRAFTIが組み込まれているとしている。

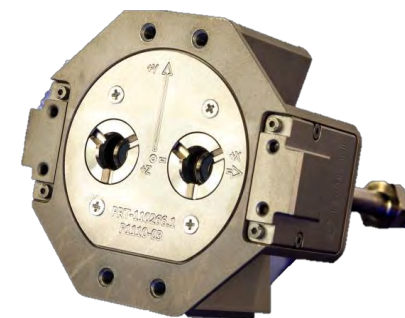


図 Fuel Depot(上)、RAFTI(下)<sup>[4]</sup>

出所)

1. Tech Crunch, [Aerospace primes Northrop, Lockheed join in Orbit Fab's over \\$10M funding round](#)

2. Orbit Fab<sup>①</sup>

3. Orbit Fab<sup>②</sup>

4. Orbit Fab<sup>③</sup>

5. Orbit Fab<sup>④</sup>

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況（8/14） – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

Altius Spaceは軌道上でのロケット上段への燃料補給に向けて研究開発を実施している。諸外国含めた官民ロケットへの燃料補給実現を目指す。

ミッション名	-	実施主体	オーナー	-
			メーカー	Altius Space Machines（米）
TRL	3～6	想定軌道	LEO～深宇宙	

## 【事例概要】<sup>[1][2][3][4]</sup>

- Altius Space Machines（Voyager Spaceの子会社）はガソリンスタンドで車に給油するように、ノズルで2つのタンクを一時的に繋ぎ燃料補給が可能になるカプラーを開発。将来的に燃料補給の標準インターフェースとなることを目指しており、軌道上での使用に向けた開発を進めている。
- 同社は軌道上でのロケット上段への燃料補給に向けて、商業用（ULA、Blue Origin、SpaceX、Virgin Orbit、Generation Orbit、Ventions、RocketLabs、Mastenなど）、政府用（SLS/EUS）、外国用（Arianespace、MHIなど）の極低温上段を持つロケット開発者とのコラボレーションを検討している。
- Eta Space社による9か月間のLOXSAT超低温流体管理ミッションへカプラーを提供する
  - LOXSATは軌道上での燃料輸送システムの実証ミッションであり、Eta SpaceはLOXSATにて極低温酸素流体管理システムの飛行デモンストレーションを実施するためにNASAに選ばれ、軌道上で極低温貯蔵および移送データを収集する。2024年打ち上げ予定。

## 【開発コスト・資金源】<sup>[5]</sup>

- NASAによる中小企業や非営利の研究機関による技術開発の支援策であるSBIR Phase II（研究開発段階）にて約75万\$の開発資金を獲得。

## 【契約先】

-

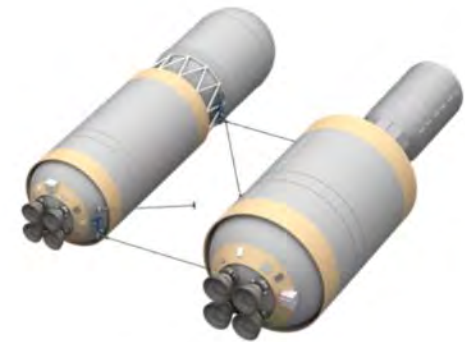


図 超低温推進剤カップリング概念図<sup>[2]</sup>

出所)

1. Altius Space Machines, [Technologies](#)2. Altius Space Machines, [Cryo Coupler SBIR Phase II Win](#)3. Space REF, [Support of Eta Space and NASA's LOXSAT Cryogenic Fluid Management Mission](#)4. Gunter's Space Page, [LOXSAT1](#)5. SBIR STTR, [Award Details](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (9/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

SPACEIUMは深宇宙探査向けの衛星・ロケットへの燃料補給を目的にした燃料補給ステーションを開発中。同社は複数のアクセラレータプログラムにも選ばれており今後の動向が期待される。

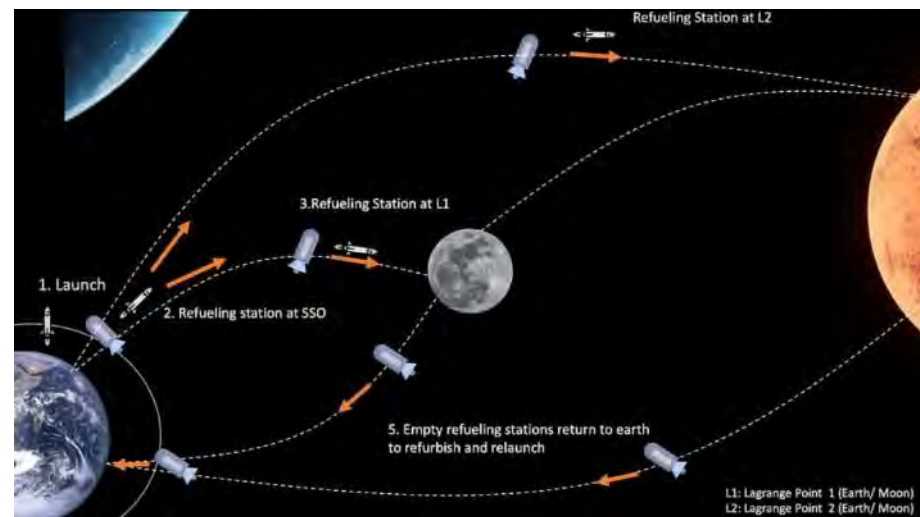
ミッション名	–	実施主体	オーナー	–
			メーカー	SPACEIUM (米)
TRL	1-2	想定軌道		低軌道～深宇宙

## 【事例概要】

- 2022年に設立されたスタートアップ企業で、月や火星を含む深宇宙探査を目的とした衛星・ロケットへの燃料補給ステーションシステムの開発を実施している。
- 技術的な構想は不詳であるものの、燃料がなくなったステーションは地球に帰還させて再打ち上げする構想も浮かがる。

## 【開発コスト・資金源】

- 2023年5月に英国の投資会社Seraphim Spaceのアクセラレータプログラムに選ばれている。
  - Seraphim SpaceはIceyeやHawkeye360、Astroscale、Spire Global等多くのNew Space企業への投資を実施している。
- 2023年6月にオタワ大学工学部のスタートアップアクセラレータプログラムに選出されている。
  - 同プログラムはオタワ大学の学生や卒業生起業家に、技術の商業化を迅速に進め、スタートアップ立上げを支援することを目的にしている。



図SPACEIUM社 構想<sup>[1]</sup>

出所)

1. Spaceium, [HP](#)
2. SpaceNews, [Seraphim picks startups for eleventh accelerator program](#)

3. uOttawa, [Spaceium and Enurgen join MakerLaunch startup accelerator at uOttawa](#)



# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (10/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

Obruta space solutionsは燃料補給を含む軌道上サービス実現にむけてドッキングインターフェース及びドッキングシステムを開発している。今後米宇宙軍との連携も予定されている。

ミッション名	–	実施主体	オーナー	
			メーカー	Obruta Space Solutions (カナダ)
TRL	3~6	想定軌道		–

## 【事例概要】<sup>[1][2][3][7][8]</sup>

- Obruta Space Solutionsは衛星とドッキングできるインターフェース「RPOD Kit」、及びRPOD Kitを搭載した衛星向けのドッキングシステム開発しており、軌道上実証に向けて進めている。(軌道上の既存衛星とのドッキングの可能性も垣間見えるが技術的部分は不詳)
  - RPOD Kitは燃料補給を含む軌道上サービスを行うために必要なハード・ソフトウェア全てが組み合わされている。
- 同社は英投資会社Seraphim Spaceが2023年2月に発表したSeraphim In-Space Economy Ecosystem Map 2023 (Seraphimが来年イノベーションが起こり資金が流入すると予想されるいくつかの分野を列挙) に業界の主要プレイヤーとして掲載されている。
- また、米国で政府と企業との連携支援しているQ Station(米宇宙軍等も連携)が2023年に技術的および政府との連携機会を支援する企業の1つにも同社は選ばれている。
  - 2021年には米宇宙軍が資金提供するビジネス・アクセラレーターのファイナリストにも同社は選出されており、米国での注目度も高いと推察される。

## 【開発コスト・資金源】<sup>[5][6]</sup>

- カナダ宇宙庁が資金援助する10社 (総額450万\$) に選定された。(カナダ宇宙庁では、カナダに経済的利益をもたらす可能性のある技術革新を開発するカナダの宇宙企業に資金援助を実施)
- 2023年にカナダCarleton大学の研究室とパートナーシップを結び、Mitacs アクセラレータプログラムの資金を獲得している。(金額不詳)
  - Mitacsとは民間と教育機関の連携及びイノベーションを推進させる団体。

## 【契約先】

–



軌道上サービスを提供するRPOD Kitの概要図<sup>[4]</sup>

出所)

1. [Insights Hub](#)
2. [Best Startup Canada](#)

3. [CONFERS](#)
4. [Obruta space solutions①](#)
5. [Obruta space solutions②](#)

6. [Carleton Univ](#)
7. [Space NEWS](#)
8. [Q Station](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (11/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

欧州では、ESAが中心となりGEO衛星への燃料補給インターフェースの開発を実施。2023年1月から軌道上実証に向けた後続プロジェクトも始動している。

ミッション名	ASSIST(欧)	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	GMV、Moog、アテネ工科大学、DLR
TRL	3~6	想定軌道		GEO

## 【事例概要】<sup>[1][2][3]</sup>

- ESAが中心となりGEO衛星の燃料補給システム (ASSIST) の開発及び標準モデル構築を目指している。
- アームの先端を結合固定部へ差し込み給油する。燃料補給システムの設計と2Dシミュレーションを終え、地上での実証実験に向けて進めている。
- ブレッドボードモデル (BBM) 試作試験での妥当性確認が完了している。
- EROSSの後続のプロジェクトとして、2023年1月よりHorizon Europeの枠組みで EROSS IOD (軌道上実証) も始動している。

## 【開発コスト・資金源】

- EROSSプロジェクトの運用助成金の一部<sup>[4]</sup>

## 【契約先】

—

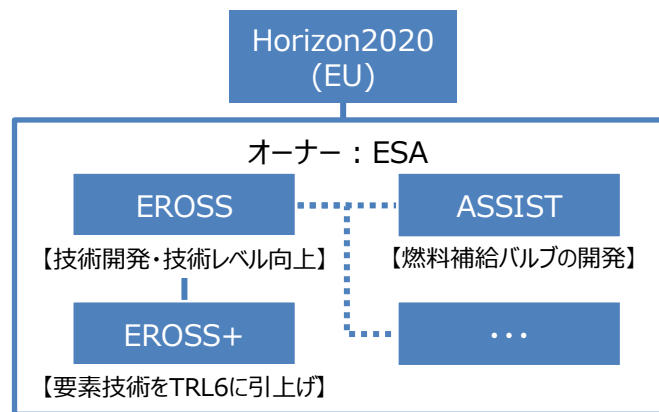


図 ASSISTの立ち位置

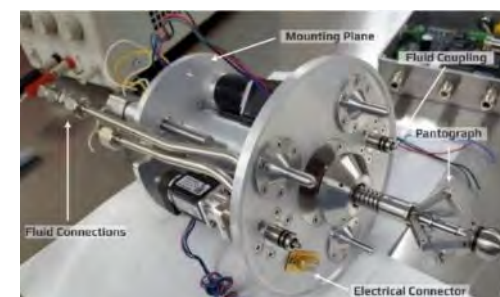


図 ASSISTエンドエフェクター<sup>[3]</sup>

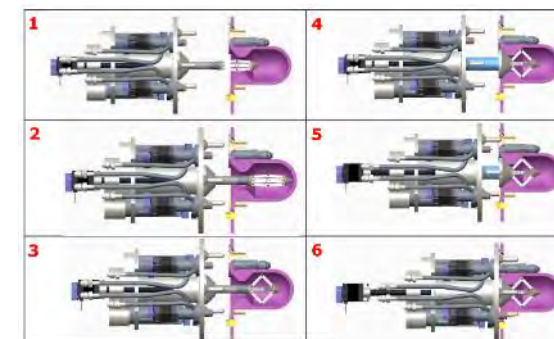


図 ASSIST結合プロセス<sup>[1]</sup>

出所)

1. Clean Space Industry days

2. ESA  
3. HORIZON20204. PERASPERA  
5. KRATOS

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (12/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

欧州では次世代技術として軌道上サービスの確立に向けてHorizon Europeの枠組みで新しいプロジェクトを始動。2026年の燃料補給を含む軌道上サービスの軌道上実証実験を目指す。

ミッション名	EROSS IOD (欧)	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	Thales Alenia Space (欧)
TRL	3~6	想定軌道	LEO~GEO	

## 【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

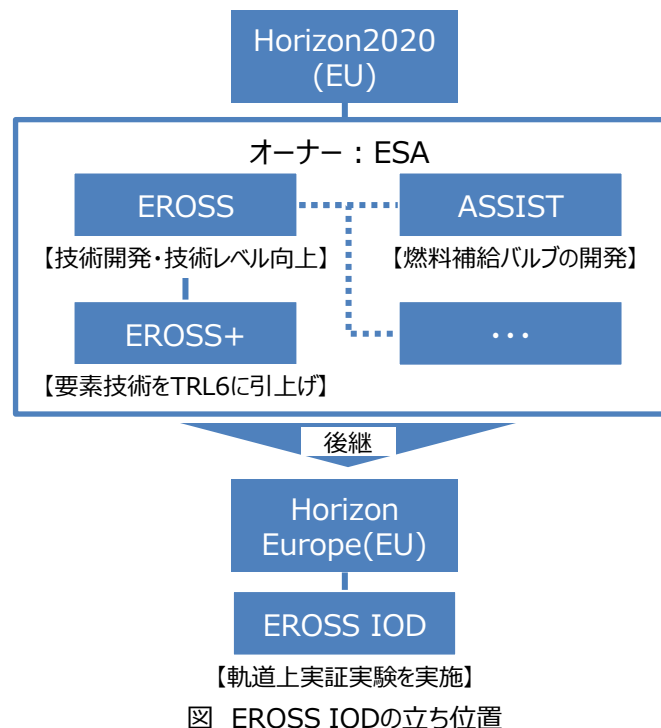
- Horizon2020の枠組みの下で取り組まれてきた欧州における軌道上サービスを確立するための実証プロジェクトEROSS(European Robotic Orbital Support Services)、EROSS+の継続プロジェクトとして、Horizon Europeの資金のもとでEROSS IODが、2023年1月に始動。
- Thales社主導のもと、2026年に軌道上サービスの燃料補給を含む軌道上実証実験を目指している。
  - 燃料補給のクライアント衛星をD-Orbitが自社のION衛星に基づいて設計し、燃料補給システムの設計も行う予定。

## 【開発コスト・資金源】<sup>[1]</sup>

- Thales社はイタリア宇宙庁と2億5500万€で契約を締結。

## 【契約先】

-



出所)

1. KRATOS, [Thales Alenia Space-Led Team Wins \\$255M Contract for LEO In-Orbit Refueling Mission](#)
2. Space News, [D-Orbit wins contracts to test optical links and fly mini space lab](#)
3. PERASPERA, [RANDMAPS 2023](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (13/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

ESAでは月面及び火星に向けた中継基地であるGatewayへの燃料補給の役割を主導しており、2027年の打ち上げを目指している。

ミッション名	ESPRIT (欧)	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	Thales Alenia Space
TRL	3~6	想定軌道	シスルナ空間	

## 【事例概要】<sup>[1][2][3]</sup>

- ESAではLunar Gatewayにおける燃料補給及び通信機能の構成モジュールESPRITの開発を主導。
- 2027年にArtemis IVにて打ち上げ予定<sup>[4]</sup>
- ESPRITの主構成要素（通信機能、燃料補給）のうち、燃料補給のための部分としてERM (ESPRIT Refueling Module)を開発中。ERMの主な機能は①ステーションへの貨物輸送②ドッキング後の貨物スペース③Gatewayへの燃料供給である。<sup>[2]</sup>
- ERMではGatewayへのキセノンとヒドラジンの直接補給が予定されている。
- ERMは設計は初期段階であり、設計レビューが今後も行われる。

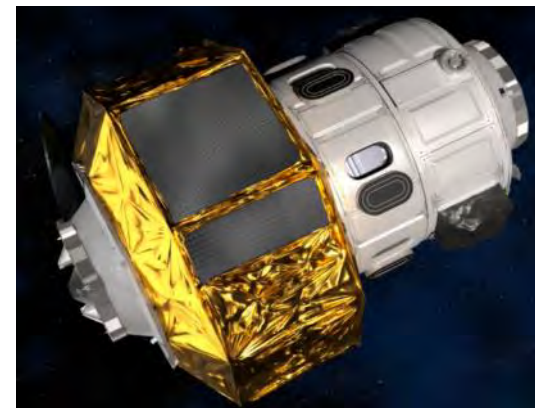


図 給油モジュール<sup>[3]</sup>

## 【開発コスト・資金源】

- 2021年に2億9650万ユーロでESAと契約を締結<sup>[2]</sup>

## 【契約先】

—

出所)

1. Thales Alenia Space, [AT THE HEART OF LUNAR INDUSTRIAL CHALLENGE](#) ES

2. ESA, [Gateway: ESPRIT](#)

3. ESA, [ESPRIT Reviews for Gateway](#)

# 推進薬補給技術に関する個別事例 – 諸外国の取り組み状況 (14/14) – 23-003-T-014

ロボットアーム

RPO

Servicer衛星

Client(インターフェース)

中国の天源は他国に先駆けた燃料補給実証である一方で、現時点での具体的な動きは確認できない。

ミッション名	天源 (中)	実施主体	オーナー	中国国防科学大学
			メーカー	-
TRL	7~8	想定軌道	GEO	

## 【事例概要】<sup>[1]</sup>

- 中国国防科技大学によると、同大学が独自に設計・開発した長征7号ロケットによって打上げられた衛星「天源1号」軌道上燃料補給実験装置が、微小重力条件下における流体管理と注入・高精度推進剤測量など9つの軌道上実験を完了したと発表（2016年）。中国初の軌道上における衛星への燃料補給実験が成功したと現地メディアが報道した。
- 衛星の軌道上燃料補給は、直接輸送（衛星にガスや液体を補給）とされている。

## 【開発コスト・資金源】

-

## 【契約先】

-

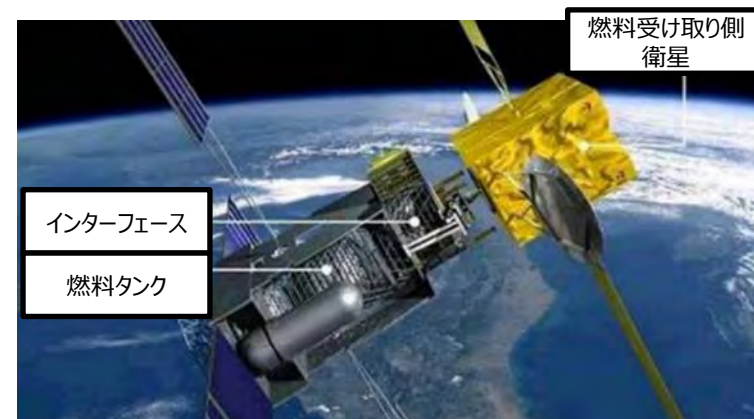


図 天源1号 イメージ図<sup>[2]</sup>

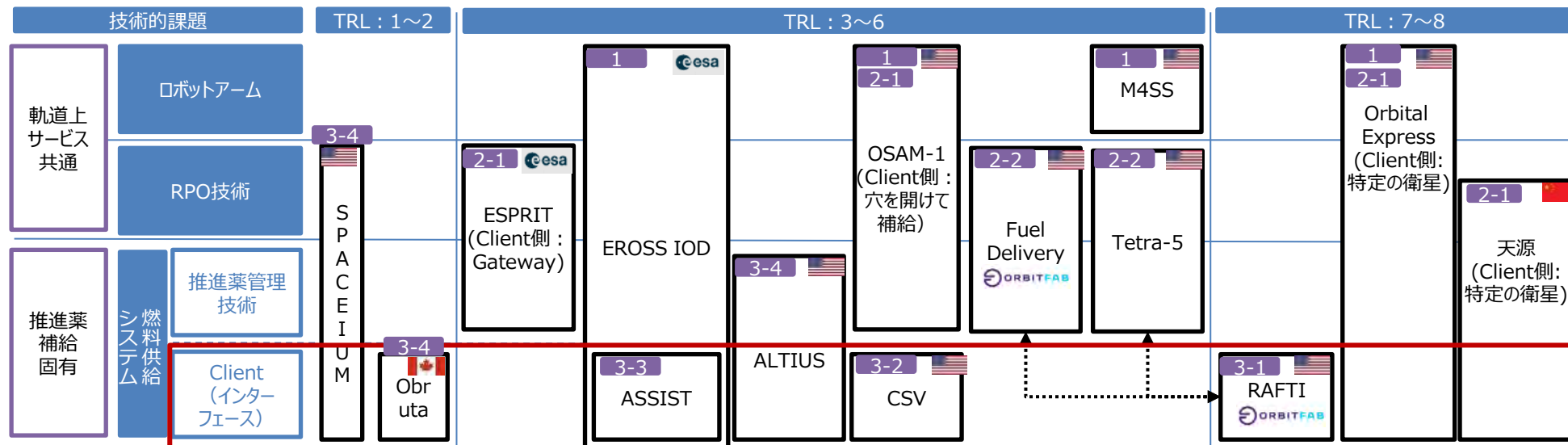
出所)

1. 人民網日本語版、中国の衛星、宇宙空間で初の燃料補給実験に成功
2. The Paperr、搭載長征七号的“天源一号”首次实现中国卫星“空中加油”

# 推進薬補給技術に関する調査分析 – 技術的課題の分析 –

23-003-T-014

推進薬補給技術における技術的課題の中でも特に「**インターフェース標準化等のシステム化技術**」が固有の課題として挙げられる。



1 : ロボットアームに関するプログラムは軌道上サービス全般で活用される技術の一環として燃料補給が想定されている

RPO技術と燃料供給システムServicer側に関するプログラムは大きく2種類にわけられる

2-1 : Client側が特定の衛星、 2-2 : Client側が不特定の衛星 (Orbit Fabのインターフェースを使用)

3-1 : 燃料供給システムClient側に関するプログラムはOrbit Fabが標準化に向けて推進

3-2 : NASAも過去にはCSVとして動きがあったものの、直近の動きは見られない (NASAの技術も参考にOrbit Fabはインターフェースを開発)

3-3 : 欧州では独自にインターフェースの開発を実施

3-4 : Seraphimに選定されている企業等は独自のインターフェース含む開発を進めている

推進薬補給技術において  
「**インターフェース標準化等の  
システム化技術**」が固有の課題と分析

※M4SS : Modularity for Space System、CSV : Cooperative Service Valve

# 推進薬補給技術に関する動向分析 - 事業成立性の分析 (1/5) -

23-003-T-014

Orbit Fabでは燃料補給サービス利用者に対してミッションConOps最適化にむけたシミュレーションソフトUMPIREを通じて、ミッション収益の最大化を支援している。

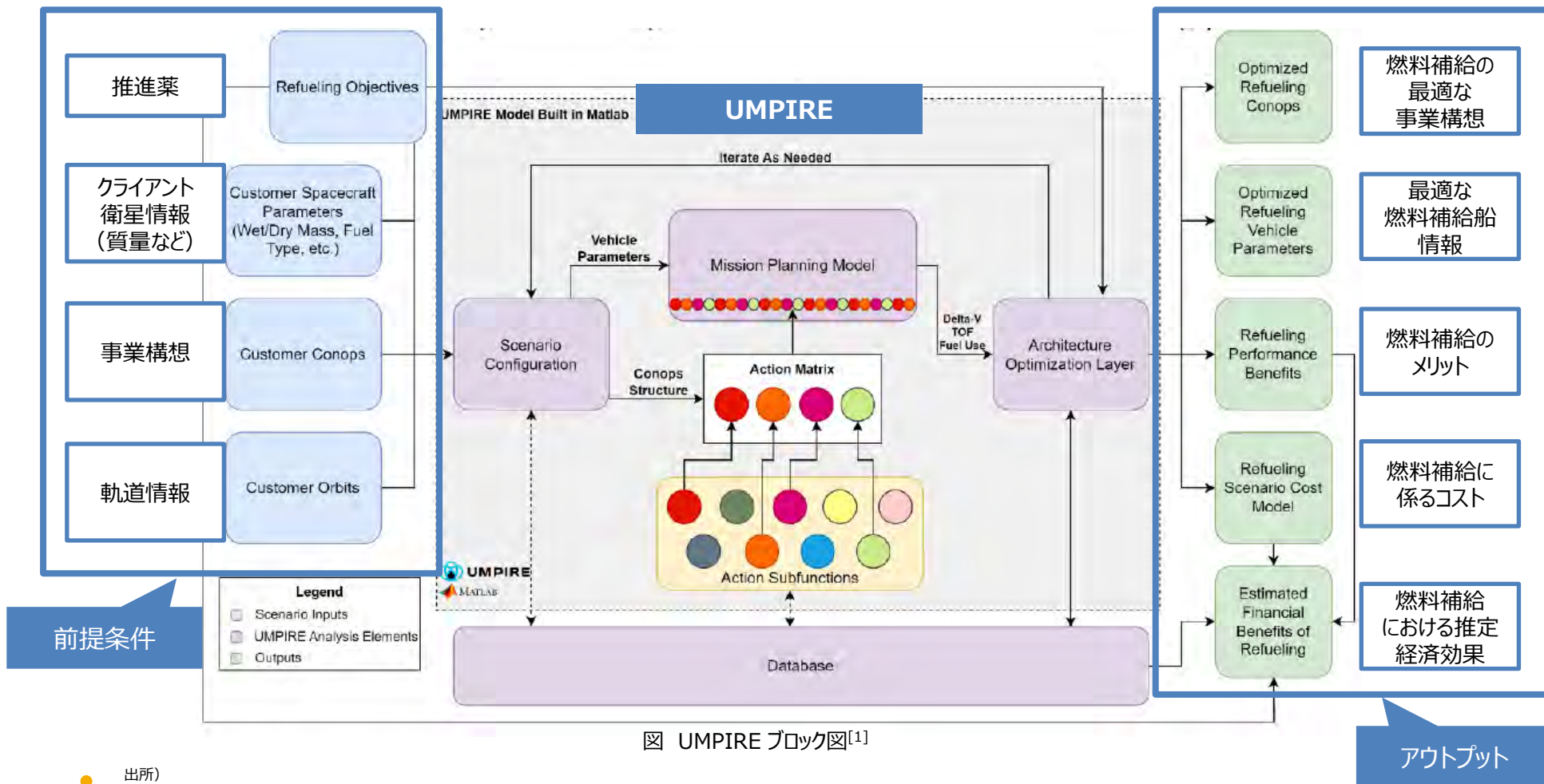


図 UMPIRE ブロック図<sup>[1]</sup>

出所)

1. Orbit Fab, [Operational Flexibility and Asset Retasking Enabled by In-Space Refueling](#)

# 推進薬補給技術に関する動向分析 – 事業成立性の分析 (2/5) –

23-003-T-014

Orbit Fabは「①静止通信衛星」および「②低軌道観測衛星」に関する燃料補給ミッションユースケースのシミュレーション結果を公表することで、衛星事業者に対して燃料補給ミッションの有用性を示している。

## UMPIREにおける推進薬補給シミュレーション (1/2)

### 【①静止通信衛星におけるユースケース】

- 新しい市場の出現や周波数割り当ての変更等の世界的な需要分布の変化に応じた静止通信衛星の柔軟な利用可能性を鑑みて、静止通信衛星への燃料補給ミッションのシミュレーションを実施
- シミュレーションでの前提条件は以下の通り
  - 最初の再配置は、衛星の燃料寿命が残り10年になったときに実施
  - 衛星は、軌道の定常維持と再配置にはヒドラジンを使用
  - 各移動は経度180度分
  - 宇宙での燃料の平均価格は20万\$/kgで衛星に補給
  - 衛星は平均して年間1億\$の収入を創出
- 静止軌道では再配置速度を上げると多くの推進剤を消費する一方で、再配置中はサービス提供が中断されてしまうため収益を生むことができない。UMPIREでは推進剤の消費と移動時間のトレードオフを踏まえたうえでのシミュレーションが可能。
- シミュレーションの結果として、再配置の回数が増えるほど燃料補給のメリットが増加することが示された。この結果により、ミッション期間で複数回の再配置を検討している事業者により大きな経済的価値があると結論付けている。

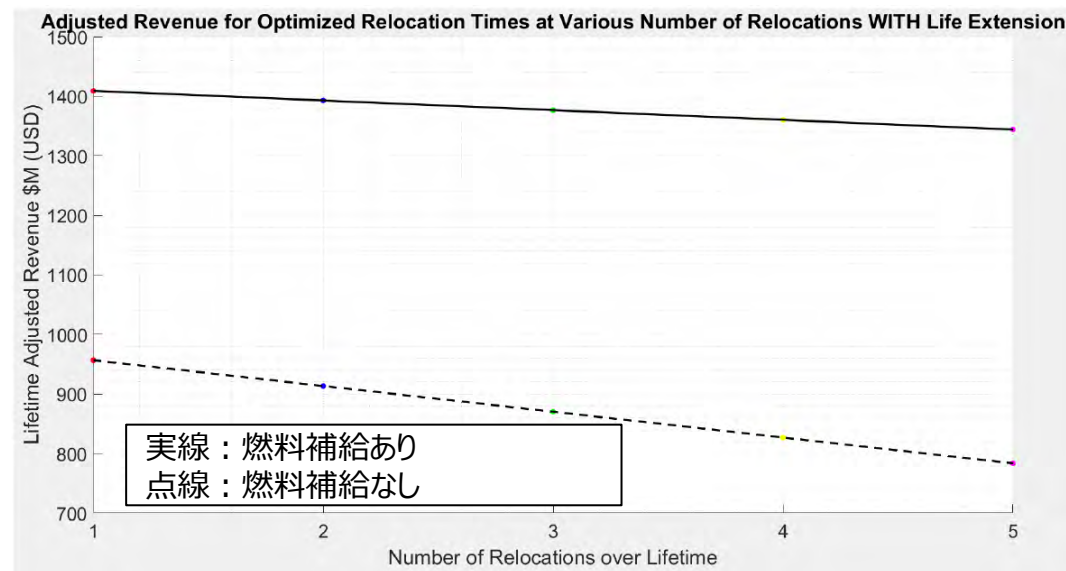


図 衛星寿命が超過した衛星における燃料補給有無による衛星がもたらす収益の違い

出所)

1. Orbit Fab, [Operational Flexibility and Asset Retasking Enabled by In-Space Refueling](#)



# 推進薬補給技術に関する動向分析 – 事業成立性の分析 (3/5) –

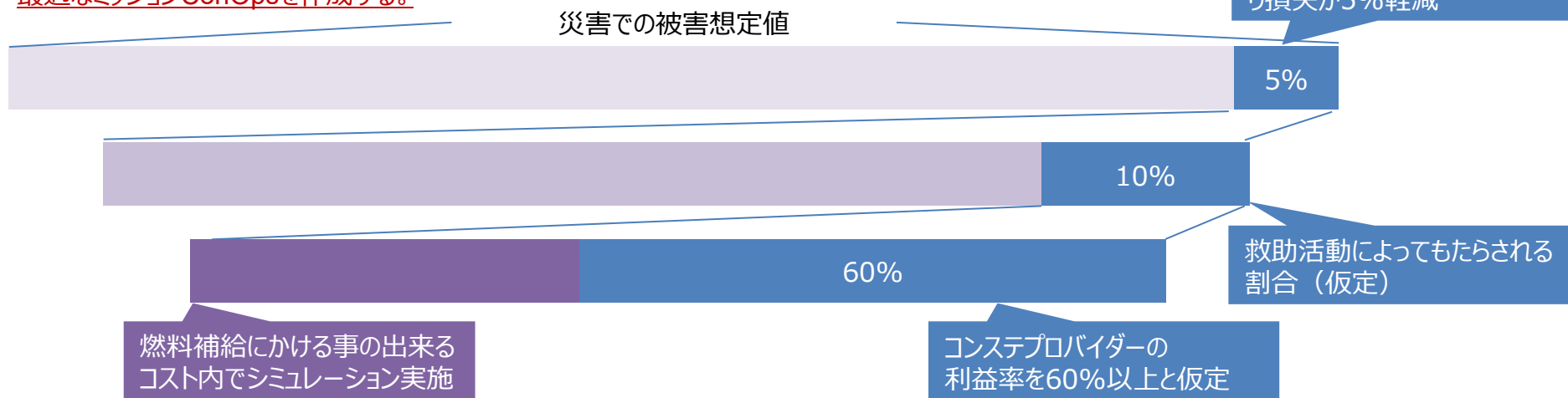
23-003-T-014

Orbit Fabは「①静止通信衛星」および「②低軌道観測衛星」に関する燃料補給ミッションユースケースのシミュレーション結果を公表することで、衛星事業者に対して燃料補給ミッションの有用性を示している。

## UMPIREにおける推進薬補給シミュレーション (2/2)

### 【②低軌道観測衛星におけるユースケース】

- 低軌道衛星を再配置して災害地を撮影することで得られる経済的利益を最適化するためのシミュレーションを実施。
  - 地震などの大災害において、衛星画像を活用した迅速な災害復興支援には大きな経済的利益がある。
- 観測衛星における再訪性と観測時間、地上との距離について以下の重みづけを行いシミュレーションを実施。過去の災害での人口と被害額のデータをベースに、衛星が生み出す災害復興支援便益から導かれる燃料補給にかけることの出来るコストを試算。
  - 【シミュレーションにおける重みづけ】再訪性=0.4、観測時間=0.4、地上との距離=0.2
- 燃料補給にかかるコスト内での再訪率や観測時間、地上との距離をパラメータとして、最適な高度と傾斜角を推定し最適なミッションConOpsを作成する。



出所)

1. Orbit Fab, [Operational Flexibility and Asset Retasking Enabled by In-Space Refueling](#)

# 推進薬補給技術に関する動向分析 – 事業成立性の分析 (4/5) –

23-003-T-014

Orbit Fabはデブリ除去ミッションにおける燃料補給によるコスト優位性を示しており、第三者（NASA）も一部試算を修正しているものの大筋ではOrbit Fabによる燃料補給のコスト優位性を支持している。

## デブリ除去に関する推進薬補給シミュレーション (1/2)

- Orbit Fabでは複数の軌道に存在するデブリを除去（ADR）するユースケースにおける燃料補給の有用性検証の研究を実施。
- 燃料補給なしの化学 + 電気推進のADR衛星、燃料補給ありの化学 + 電気推進のADR衛星、燃料補給ありの化学推進ADR衛星でのコストを比較。
- Orbit Fabの論文では除去するデブリの大きさなどが記載されていない一方で、同論文を参照しているNASAのレポートでは480個のデブリ（平均質量1688kg）と推定している。

図 シミュレーションユースケース

<b>Case 1: 化学推進 + 電気推進 (燃料補給なし)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主要な移動には電気推進を使用しRPODと廃棄作業には化学推進を使用するADR衛星に燃料補給を実施しない。</li> <li>● 廃棄までに2回のデブリ除去が実施可能。</li> </ul>
<b>Case 2: 化学推進 + 電気推進 (燃料補給あり)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Case1と同じADR衛星（電気推進 + 化学推進）に燃料補給を実施する。</li> <li>● 衛星の寿命（15年と仮定）が尽きるまでデブリ除去を実施する。デブリ除去毎に燃料補給を実施する。</li> </ul>
<b>Case 3: 化学推進 (燃料補給あり)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 化学推進のみのADR衛星に燃料補給を実施する。</li> <li>● 衛星の寿命（15年と仮定）が尽きるまでデブリ除去を実施する。デブリ除去毎に燃料補給を実施する。</li> </ul>

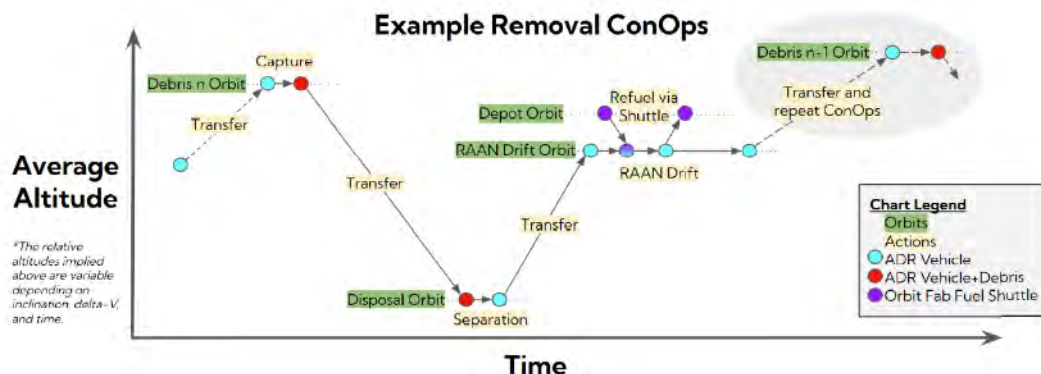


図 デブリ除去ConOps仮定<sup>[1]</sup>

出所)

1. Orbit Fab, [The Enhanced Economics, Incentives, and Multinational Cooperation Enabled by Refueling Architectures Centered Around Debris Clusters for Sustainable Active Debris Removal](#)

# 推進薬補給技術に関する動向分析 – 事業成立性の分析 (5/5) –

23-003-T-014

Orbit Fabはデブリ除去ミッションにおける燃料補給によるコスト優位性を示しており、第三者（NASA）も一部試算を修正しているものの大筋ではOrbit Fabによる燃料補給のコスト優位性を支持している。

## デブリ除去に関する推進薬補給シミュレーション (2/2)

- デブリ除去ミッションにおいて、「新規の化学 + 電気推進衛星」を打ち上げるよりも「化学推進衛星に燃料補給をする」ミッションの方がコストが低減する結果となった。

#	項目	Orbit Fab ロジック			NASA ロジック <sup>※1</sup>	
		Case 1: 化学推進 + 電気推進	Case 2: 化学推進 + 電気推進	Case 3: 化学推進	Case 2': 化学推進 + 電気推進 <sup>※2</sup>	Case 3': 化学推進
		燃料補給なし	燃料補給あり			
1	Launch Mass[kg]	1,863	1,239	1,395	1,239	1,395
2	Launch Cost[\$/kg]	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
3	Hardware cost[\$]	33.93M	76.77M	115.16M	76.77M	115.16M
4	Number of Servicer[#]	258	63	7	63	7
5	Cost per Servicer[\$]	15.96B	6.01B	0.95M	6.01B	0.95M
6	SubTotal Removal Operations Costs[\$]	138.55M	125.40M	44.07M	125.40M	44.07M
7	Orbit Fab architecture Cost[\$]		1.30B	2.30B	1.30B	2.30B
8	Fuel Mass Delivered During Refueling [kg]				98,788	183,265
9	Refuel Launch Cost[\$]				1.48B	2.75B
10	Sum (5+6+7+9) [\$]	16.10B	7.43B	3.30B	8.91B	6.05B

仮定 計算値

※1: NASAはOrbit Fabのロジックに関して、補給用の燃料の輸送費が含まれていないと指摘し再計算を実施。

※2: NASAのロジックのもとKPMGにて算出

出所)

1. Orbit Fab, [The Enhanced Economics, Incentives, and Multinational Cooperation Enabled by Refueling Architectures Centered Around Debris Clusters for Sustainable Active Debris Removal](#)

2. NASA, [Cost and Benefit Analysis of Orbital Debris Remediation](#)

# 推進薬補給技術に関する動向分析 – 事業成立性まとめ –

23-003-T-014

現在検討の進んでいるミッションにおいてはGEO衛星の寿命延長がメインストリームである。  
Orbit Fabも同様の流れである一方で、軌道移動含めたLEO～深宇宙のサービス展開も視野に入れている。

## 寿命延長

- 多くの燃料補給ミッションではGEO衛星の寿命延長が目的となっている。
- Orbit Fabが燃料補給ミッションとして契約実績についても（米宇宙軍、Astroscale）ともにGEO衛星への補給ミッションである。

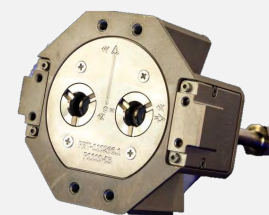


図 Orbit Fab社 Fuel Depot<sup>[1]</sup> 図 Orbit Fab社 RAFTI<sup>[1]</sup>

## 打ち上げコスト低減

- 萌芽的構想として、ロケット上段への軌道上での燃料補給ミッションや深宇宙探査に向けた軌道上での燃料補給ミッションも検討されている。



図 Altius社燃料補給用カプセル<sup>[2]</sup> 図 SPACEIUM社 構想<sup>[3]</sup>

## 軌道移動 (デブリ除去含む)

- Orbit FabやNASAによるコスト検討にて、燃料補給によるデブリ除去ミッション（軌道移動）の経済的有用性が示されている。
- またOrbit FabはADR衛星へのRAFTI搭載に向けてClearSpaceとのパートナーシップを締結している。一方で、その他のデブリ除去含む軌道移動を目的とした具体的なプログラム計画等は各社不詳。

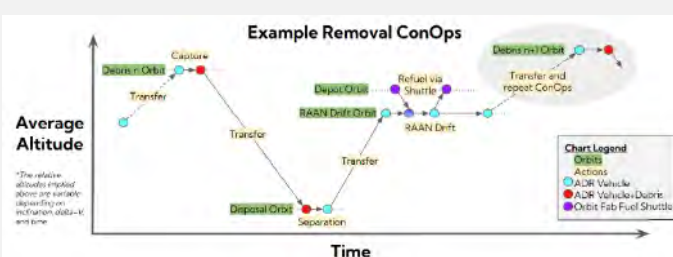


図 Orbit Fabによるデブリ除去における燃料補給ミッションConOps<sup>[4]</sup>

## ORBITFAB

- ただし、Orbit Fabの構想として、LEO～GEO～深宇宙へのサービス展開も狙っている。
- また、Orbit Fabでは燃料補給サービス利用者に対してミッションConOps最適化にむけたシミュレーションソフトを通じて、様々なミッション収益の最大化を支援している。

出所)

1. Orbit Fab <sup>①</sup>
2. Altius Space Machines

出所)

1. Spaceium
2. Orbit Fab <sup>②</sup>

# 推進薬補給技術に関する標準化動向 — 調査対象 —

23-003-T-014

- 標準化動向について、「昨年度調査対象も含めた標準化動向に関する示唆出し」を実施する。

## 【調査対象一覧】（以下表は再掲）

「デブリ除去サービス技術の調査分析」パートにて詳述

軌道上サービスに関する標準化		取り組み内容	昨年度調査対象
標準機構	ISO	ISO-24113 : Space debris mitigation requirements	対象
		ISO-24330 : RPO/OOS principles and practices	対象
政府・ 宇宙機関	NASA	Cooperative Service Valve開発	対象
		ISSにおけるロボットアームのエンドエフェクタに関する標準化	対象
	<b>NASA COSMIC (ISAMコンソーシアム)</b>	<b>(新規追加)</b>	
	EU	EU PERASPERA (The European Operations Framework EOF 他)	対象
	ESA	ESPRIT燃料補給システム、バルブ	対象
	JAXA	プログラム管理要求：スペースデブリ発生防止標準 (JMR-003) 技術要求、ガイドライン：軌道上サービスミッションに係る安全基準 (JERG-2-026)	対象 対象
業界団体	CONFERS	商業的なRPO及び軌道上サービスの基本原則、推奨設計と運用プラクティス等	対象
	SPACE SAFETY COAUTION	宇宙での持続利用可能な行動指針	対象
	World Economic Forum	<b>産業界によるデブリ低減に関する推奨事項</b>	<b>(新規追加)</b>
企業	Astroscale	ドッキングインターフェース、捕獲機構	対象
	Orbit Fab	燃料補給システム、バルブ	対象
	Northrop Grumman	燃料補給、電源、機械的電氣的IF	対象
	ALTIUS	機械的電氣的IF、データ移送	対象
	iBOSS	機械的電氣的IF、データ移送	対象
	Lockeed Martin	機械的電氣的IF、データ移送	対象

標準化動向に関する示唆出し  
● 「物理的なインタフェース等の技術的な標準化」、  
「運用・安全管理の標準化」の観点で特徴的な  
取り組みを分析

# 推進薬補給技術に関する標準化動向 一 個別事例一覧

23-003-T-014

- 推進薬補給技術は各国での推進薬補給への関心の高まりに伴い各社・各機関で技術開発が始まっている
- 具体的な運用・安全管理の標準化及び規格化に関しては、現状では軌道上サービス全般の枠組みに留まっている。

	#	プログラム/技術	実施主体	概要
技術	1	RAFTI <sup>[1]</sup> [TRL=7]	Orbit Fab	燃料補給の充填・排出バルブ、及びドッキングインターフェイスとして機能するRAFTIを開発し、オープンライセンスとして公表されている。TRL7であり、100を超える商業衛星に組み込まれる予定である。
	2	ESPRIT <sup>[2]</sup> [TRL=3~6]	ESA	Lunar Gatewayにおける燃料補給（キセノン・ヒドラジン）及び通信機能の構成モジュールとして開発されている。2027年にAltemis IVで打ち上げ予定。
	3	Passive Refueling Module (PRM) [TRL=3~6]	Northrop Grumman	SSCにpreferred refueling solution interface standardに選ばれた。SSC、DIUと協力して開発が進められる。同社はSSCと燃料補給に利用される衛星、Geosynchronous Auxiliary Support Tanker (GAS-T) に関する契約も締結している
	4	Coupler <sup>[4]</sup> [TRL=3~6]	Altius	2つのタンクを一時的に繋ぐことで燃料補給が可能になるノズル（カプラー）であり、燃料補給の標準インターフェイスを目指している。軌道上実証のために2024年に打ち上げ予定。
	5	MagTags <sup>[5]</sup> [TRL=3~6]	Altius	電力/データ、流体、及び機械的な動力伝達などの特定のニーズに合わせて構成可能な多機能「USBポート」として機能する、小型のインターフェイスである。
	6	CSV <sup>[6]</sup> [TRL=3~6]	NASA	NASAが中心となり給油・排油バルブCooperative Service Valve (CSV) を開発した。2020年に米国特許取得しているが、現在の動向は不詳。
運用・安全管理	7	PERASPER <sup>[7]</sup>	EU	欧州の技術・製品の実装と利用を向上させるために、軌道上での商業運用に関するガイドラインや技術的な解決策を議論し、規制・許認可当局や標準化機関への提言とするための枠組み「The European Operations Frame work」を発表した。燃料補給技術を含む軌道上サービス技術について各国の動向をまとめている。
	8	ISO-24330 <sup>[8]</sup>	ISO	CONFERSによって作成された初の国際衛星サービス基準であり、RPO及び燃料補給を含む軌道上サービスを運用する業界に向けた、原則とベストプラクティスを示している。

出所)

1. Orbit Fab
2. ESPRIT

3. Northrop Grumman

4. Altius
5. Voyager Space

6. Cooperative Service Valve

7. PERASPERA – EoF
8. ISO-24330

## 推進薬補給技術に関する標準化動向 —標準化動向—

23-003-T-014

- サービスを受ける為の給油インターフェイスの標準化が進められる
- Orbit Fab社のRAFTIが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。
- 各技術実証が始まるが、実証と商業化が進む中で、標準化が進むと考えられる

	現状	課題分析	対策
物理的なインターフェイス等の技術的な標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>各民間企業が技術開発を進める中、100以上の商業衛星に搭載予定されているOrbit Fab社のRAFTIが標準化インターフェイスでリードしていると考えられる。</li> <li>Northrop Grumman社のPassive Refueling Module (PRM) が米宇宙軍のPreferred interfaceに選ばれたが、1社に絞らず入手性を確保するとも考えられる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>給油機能を備えたインターフェイスの開発を進めているが、軌道上実証には至っていない</li> <li>インターオペラビリティを考慮すると進んでいる海外製の採用もあるが、ベンダーロックイン等に於ける自立性の懸念も存在する</li> <li>実証が始まる中でインターフェイスの選択が起きていくと考えられる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>早くに実証したものがデファクトの標準となる事が予想される。海外の実証状況を注視し、標準化の戦略を決定する必要がある。</li> <li>わが国で標準化を目指す場合は、いち早く軌道上で実証をし、実績を積み重ねる事が重要である。</li> </ul>
運用・安全管理の標準化	<ul style="list-style-type: none"> <li>ISO-24330 : RPO/OOS principles and practicesでは、軌道上サービス全般の運用要件が定義される一方で、推進薬補給技術に関しては軌道上サービスの一部分としての扱いに留まっている。</li> <li>AIAA S-157 Prepared In-Space Fluid Transfer Practicesにて議論はされているが運用・安全管理の標準化には至らず</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の軌道上サービス同様、実証の計画が進む中で運用・安全管理の標準化も進むと考えられる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用・安全管理については、より技術レベルが高い方法で実証し、確実性と安全性を示しながら、標準化の議論の中心を担う。</li> </ul>

# 推進薬補給技術に関する標準化動向 —サービス拡大に繋がる国際協調—

23-003-T-014

- 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
- 技術実証後の商業化を見据え、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
- 国際的な協調の中で中心的な立場をとる為に、いち早く技術を獲得し、実績を積み上げてデファクト標準を目指す

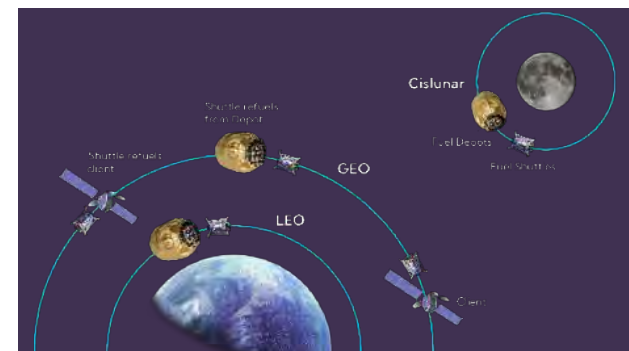
## サービス拡大に繋がる国際協調

### 物理的なインターフェース等の技術的な標準化

- 標準的な推進薬補給インターフェース、推進薬移送システムや汎用的なロボットアーム、エンドエフェクターの開発促進が求められる
- 運用者、バスメーカー、サービス提供企業を含めた推進薬補給を前提とした衛星の設計と運用の議論が必要

### 運用・安全管理の標準化

- 宇宙ロジスティックの構築に関する議論
  - ガスステーションや燃料シャトルを含めた給油アーキテクチャの検討



Orbit Fab社の給油構想

出典 <https://www.orbitfab.com/refueling-services/>



2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

**2.4 推進薬補給技術の調査分析**

2.4.1 推進薬補給技術の調査分析

**2.4.2 強み・弱み分析**

2.4.3 戦略・研究開発計画

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

# 推進薬補給技術における調査サマリ

23-003-T-014

- 運用期間の保証と延長、更なる機動力への要求、変化するマーケット状況での衛星運用の柔軟性等、今まで以上に推進薬補給へのニーズは高まる。

## ニーズの顕在化

静止通信衛星の技術進展を見定めるなど、置き換えのタイミング/フリートマネージメントの柔軟性に対するニーズが増加  
宇宙状況把握等、広範囲に動く機動性に対するニーズが増加  
デブリ回避などの予期せぬ燃料消費への対応ニーズの増加

## ニーズへの対応

### 推進薬補給技術

#### RPO技術

#### 推進薬補給ロボットアーム

#### 推進薬移送システム

### ユーザの課題

- ✓ 安全性の向上
- ✓ コスト効率の向上

- ✓ ロボットアームの微細な制御の高精度化
- ✓ ロボットアームの低コスト化

- ✓ 無重力空間での推進薬移送
- ✓ サービス提供元の選択肢(給油のインターフェイス)

### 技術的トレンド

- ✓ デブリ除去等で得られたRPO技術を応用し、推進薬補給を含めた軌道上作業へ応用
- ✓ コスト低減を目指した汎用的なRPOシステムの開発の動きもみられる。

- ✓ 専用のロボットアームの開発に加え、汎用的なロボットアームと専用のエンドエフェクター部の組合せを目指した開発もすすむ。

- ✓ 軌道上でのヒドラジンの移送実績と、水を使用した実証の蓄積は進んでいる
- ✓ 汎用的なサービスを実現する標準化を目指した受給油口バルブの開発が進む

## 推進薬補給技術における日本の強み・弱み

23-003-T-014

- 米国に比べて推進薬補給プレイヤーが限られるが、各基礎的な技術は保有しており、他国企業との連携や、開発競争への参入も始まっている

		推進薬補給技術		
		RPO技術	推進薬補給ロボットアーム	推進薬移送システム
世界の動向		✓ 米国では政府から民間への投資により研究開発を支援。欧州ではGatewayに向けた研究開発を実施		
		✓ Space Logistics社がドッキングによる寿命延長を開始	✓ DIU主導で燃料補給に向けてロボットアームの開発がすすむ	✓ DARPA主導 Orbital Expressにてヒドラジンの移送に成功(2007年) ✓ Orbit Fabs社やNorthrop Grumman社が商業化を目指すとともに、給油口の標準を狙う
日本の現状	強み	✓ ETS-7、HTV、ELSA-d 等にて開発と実証が進む	✓ ETS-7やISSにおけるロボットアームの実証経験は保有 ✓ 地上ロボティクスの技術における優位性	✓ ETS-7やISSにおける移送システムの実証経験は保有
	弱み	-	✓ 衛星に搭載されるロボットアームの軌道上での実証がない	✓ 実際の推進薬の実証の実績がない ✓ 海外で開発が進んでいる標準化を目指した給油インターフェイスの開発が見られない

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

**2.4 推進薬補給技術の調査分析**

2.4.1 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4.2 強み・弱み分析

**2.4.3 戦略・研究開発計画**

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

# 推進薬補給技術の戦略・研究開発計画立案

23-003-T-014

- 各国で政府主導の開発が進む中、我が国が開発した技術を成熟させ、商業化の中で標準化やインフラ構築の国際連携の中で確固たる立場を確立する。ロボティクス技術をほかのアプリケーションへも応用する。

## 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

### 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

- ✓ 高速で移動する衛星の捕獲技術
- ✓ 遠隔による燃料アダプタの接続技術
- ✓ 無重力環境での燃料移送を実現する技術
- ✓ 接続解除・離脱及び持続的なサービス供給に向けた技術
- ✓ システムとしての安全性・高信頼性の確保に必要な技術

### 要素技術の成熟化

推進薬補給技術

RPO技術

推進薬補給ロボットアーム

推進薬移送システム

- 対象の拡大を目指し、多様な推進薬、多様な軌道への対応
- 熟練度を上げ、安全に、コストを下げる

### 商業化の為の標準化・インフラ構築

ステークホルダーの連携

バスメーカー

運用者

サービス提供者

- サービスを受ける前提の設計・運用
- インターフェイスの標準化
- 国産バス(DS2000等)への適合
- ガスステーションや燃料シャトル等給油のアーキテクチャでの国際連携の議論

ロボティクス技術の他のアプリケーションへの応用を図る

技術実証後の展開を先取りし、将来の燃料補給の国際的な協調の中心を狙う

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

**2.5 軌道上製造技術の調査分析**

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

## 現状

- 米欧が官主導の下で通信アンテナ組立実証を計画中。SSPS等の組立技術活用も構想している。
- 技術的課題として、宇宙特有の課題（製造後の宇宙空間における製造部品の安全性・信頼性担保、デブリ発生防止等、バスとの連携）と軌道上サービスの共通的な課題であるRPO技術やアーム機構技術の獲得が挙げられる。
- 技術以外の課題として、資金や開発機会の創出とニーズの掘り起こし、他の軌道上サービスや将来的な発展として太陽光発電等の大規模なアプリケーションと連携した開発支援が求められる

## 分析

- 本技術は燃料補給等の技術の延長線上にあり、軌道上でのミッションの追加・変更、搭載機器のアップグレードのみならず、ポストISS、月面周回利用、月・惑星探査活動への研究開発につながるものである。
- 宇宙に転用可能な地上系の技術にも注目しながら、幅広く開発と実証を積み重ねることが重要ではないかと考える。

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

**2.5.1 軌道上製造技術の調査分析**

2.5.2 強み・弱み分析

2.5.3 戦略・研究開発計画

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析



## 軌道上製造・組立技術の調査スコープ

23-003-T-014

軌道上製造・組立の調査スコープについて、軌道上の船外環境（或いは船内）で製造された材料が軌道上での衛星組立や大型構造物体組立に活用されるケースを中心に調査を行う。

調査対象とする軌道上製造・組立の位置付け					
供給側・サービス提供主体	宇宙・軌道上	船外環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星部品製造・組立</li> <li>大型構造組立等</li> </ul>
		船内環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料製造</li> <li>バイオプリンティング等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>船内部品製造等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星部品製造・組立</li> </ul>
			必要に応じて調査にて言及		調査対象
	地上		<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>
			地上	船内環境	船外環境
			宇宙・軌道上		
			需要側・サービス提供先		

軌道上製造・組立の調査スコープ		
製造		組立
AM技術	AM技術以外	
<p>下記の観点に着目して諸外国の主要ミッションを調査する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>軌道上でAM技術を用いて衛星部品等を製造するミッション           <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙で活用されている積層造形手段（レーザー、電子ビーム、UV等）</li> <li>製造される材料（金属、樹脂等）</li> </ul> </li> </ul>	<p>左記調査を中心としつつ、AM以外の製造技術がある場合は調査対象とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>軌道上で切削や切断、溶接等の技術を用いて衛星部品等を製造するミッション</li> </ul>	<p>下記の観点に着目して諸外国の主要ミッションを調査する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>衛星部品や大型構造物体の軌道上組立を行うミッション</li> <li>ISSや中国宇宙ステーション等の有人拠点の組立では対象外とする</li> </ul>
		
図 軌道上部品製造 <sup>[1]</sup>	図 軌道上溶接 <sup>[2][3]</sup>	図 軌道上組立 <sup>[4]</sup>

出所)

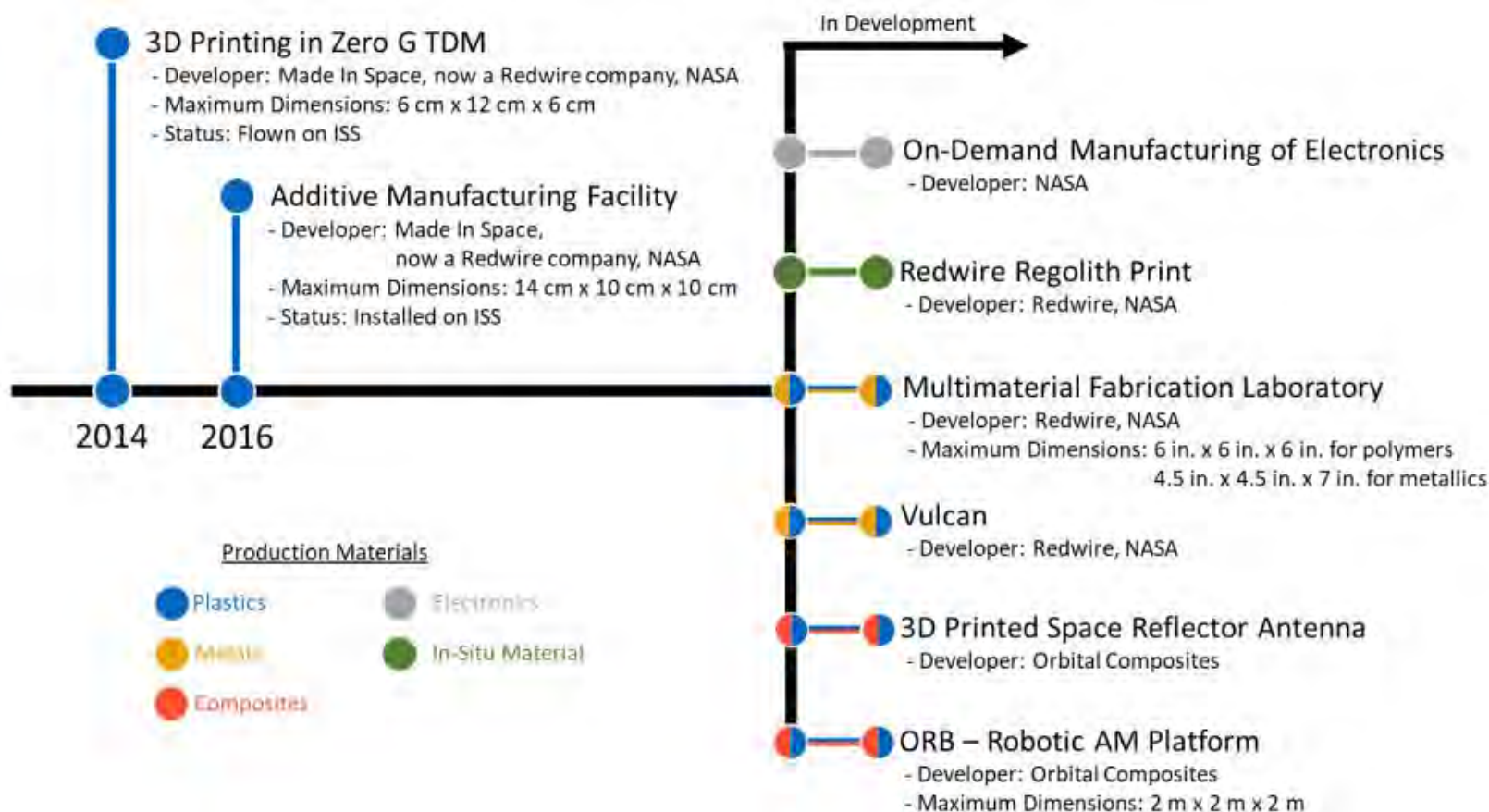
1. NASA, [On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing 2 \(OSAM-2\)](#)  
 2. Space quarters, [News](#)

3. NEWSWITCH, [溶接技術で宇宙にインフラ建設](#)  
 4. Airbus, [Airbus pioneers first satellite factory in space](#)

## 米国・NASAにおける船内部品製造等に係るAM技術実証（1/2）

23-003-T-014

- NASAでは、2014年ごろより軌道上AM技術に係る実証（船内で利用する部品製造等）を進めている。
- 実証当初は樹脂製品（ポリマー）が主であったところ、現在は、様々な材料製造（金属、エレクトロニクス、複合材等）を見据えたAM技術の開発が進められている。各ミッションの概要は次項を参照。



出所)

1. NASA, [https://nexis.gsfc.nasa.gov/isam/docs/isam\\_state\\_of\\_play\\_final\\_2022\\_v2\\_S\\_2022\\_10\\_17.pdf](https://nexis.gsfc.nasa.gov/isam/docs/isam_state_of_play_final_2022_v2_S_2022_10_17.pdf)

## 米国・NASAにおける船内部品製造等に係るAM技術実証（2/2）

23-003-T-014

NASAにおける船内部品製造に関する各ミッションに対して、概要及び取組状況、製造素材・サイズ等を一覧形式にて整理した。  
⇒実証当初は樹脂製品（ポリマー）が主であったところ、現在は、様々な材料製造（金属、エレクトロニクス、複合材等）を見据えたAM技術の開発が進められている。

#	ミッション名	主体	概要	取組状況	製造素材	サイズ	製造場所
1	3D Printing in Zero G TDM	Made in Space, NASA	2014年～2016年にかけて、ABS樹脂で55個の部品を製造。AM装置はISS船内にて動作。	完了	ポリマー	6cm×12cm×6cm	ISS
2	Additive Manufacturing Facility (AMF)	Made in Space, NASA	2016年よりMade in Space（現Redwire）はポリマー素材を用いたAM装置を運用中。100以上の素材（試験材）を製造。	運用中	ポリマー/高密度ポリエチレン/PEI樹脂、他	14cm×10cm×10cm	ISS
3	On-Demand Manufacturing of Electronics (ODME)	NASA	ODMEは、エレクトロニクス（電子機器・センサー・パワーデバイス）を3Dプリンティング技術（直接描画、プラズマジェット）をISSで実証予定。製造された電子機器は宇宙飛行士向けのウェアラブルセンサーデバイスに統合される見込み。	開発中（2024年実証予定）	ポリマー/エレクトロニクス	N/A	ISS
4	Redwire Regolith Print (RegISS)	Redwire, NASA	RegISSは、ポリマー/レゴリス模擬素材による3Dプリンティングの軌道上実証。本実証では低重力環境（月・火星等）でのレゴリス複合材料による3Dプリンティングの可能性を確認する。	開発中	ポリマー/レゴリス模擬素材	N/A	ISS
5	Multimaterial Fabrication Laboratory	Redwire, NASA	本ミッションは、ISS搭載のマルチマテリアル（金属）製造及びインプロセス検査（製造作業と同時に検査を行う）に焦点を置いた実証。	開発中	ポリマー/金属	ポリマー：約15×15×15cm 金属：約11cm×11cm×18cm	ISS
6	Vulcan	Redwire, NASA	ワイヤ送出力による金属3Dプリンタ（コンピュータ数値制御マシーニングでのワイヤ+アーク方式による積層造形の金属AM）をMade in Space（現Redwire）が開発。当初はSBIRとしてスタートし、ISS Research Officeとの契約へ移行した。	開発中	ポリマー/金属	N/A	ISS
7	3D Printed Space Reflector Antenna	Orbital Composites	Orbital Compositesは、3Dプリントによるアンテナのオンデマンド製造を計画中。軌道上でアンテナの3Dプリンティングを実現させることで、アンテナの再設計や打上げを要せず、周波数（4～110GHz）やサイズの迅速な変更が可能となる。	開発中	ポリマー/複合材	N/A	軌道上
8	ORB - Robotic AM Platform	Orbital Composites	Orbital Compositesは、3Dプリンティングプラットフォーム（ロボット・アームを追加し、より大きな3Dプリント構造を構築）を構想中。本プラットフォームは、ポリマーや複合材をプリントでき、複雑な曲率も製造可能。	開発中	ポリマー/複合材	2m×2m×2m	軌道上

1. NASA, [https://nexis.gsfc.nasa.gov/isam/docs/isam\\_state\\_of\\_play\\_final\\_2022\\_v2\\_S\\_2022\\_10\\_17.pdf](https://nexis.gsfc.nasa.gov/isam/docs/isam_state_of_play_final_2022_v2_S_2022_10_17.pdf)

## 軌道上製造技術に関する個別事例（1/13）

23-003-T-014

製造

組立

- NASAは、ロボットアームを用いた大型構造物の組立や溶接技術に係る地上実証に成功した。
- 将来的に軌道上整備や燃料補給、軌道上製造等への技術転用やそれに伴うロケット搭載体積削減によるコスト低下が期待される。

ミッション名	CIRAS (Commercial Infrastructure for Robotic Assembly and Services)	実施主体	スポンサー	NASA
			メーカー	Northrop Grumman、他
製造	AM以外（電子ビーム溶接）	組立	ロボットアーム・ハンドを用いた大型構造物の精密な組立	

【事例概要】<sup>[1][2][3]</sup>

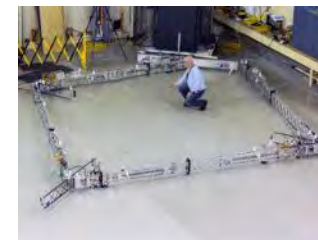
- CIRASプロジェクトは、2016年～2018年にかけてNASAが実施した技術実証ミッション。以下複数のコンポーネントで構成される：
  - **TALISMAN (Tendon-Actuated Lightweight In-Space Manipulator)**：長尺アームを用いてSAMURAIを動かしながら、ソーラーアレイの移動や設置等を行うロボットアーム。元々は小惑星の捕獲を目的に開発された。
  - **NINJAR (NASA Intelligent Jigging and Assembly Robot)**：支柱等のパーツを正確な位置で固定し、正方形の支柱パネルを組立。<sup>[2]</sup>
  - **SAMURAI (The Strutt Assembly, Manufacturing Utility & Robotic Tendon)**：支柱パネルのパーツを組み立てるうえで正確な角度を予測するロボットハンドシステム。SAMURAIはTALISMANと連携してNINJARへ支柱等のパーツを渡し、NINJARが正確な位置でパーツを固定している間に、開発中の別ロボットが電子ビームで溶接する。地上実証にて、遠隔操作を行わずプログラムのみで支柱パネルの組み立てに成功。

## 【技術要素】

- ロボット溶接（電子ビームを用いたチタン製トラスのジョイント部接合）
- 長尺アームロボットによる精密なマニピュレーション

## 【本技術の開発メリット・将来展望】

- 軌道上整備や燃料補給、製造等に転用可能な技術開発を目指す。
- 軌道上組立を前提としたロケット搭載体積削減により、地球周回軌道及び太陽系、太陽系以遠に向けた科学・探査ミッションの低価格化。

図 TALISMAN<sup>[3]</sup>図 地上実証で、SAMURAI（左）がNINJAR（中央）へパーツを渡している様子<sup>[1]</sup>

出所)

1. NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/langley/engineers-test-space-erector-set>2. NASA, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/tdm/irma/orbital-atk-supports-ground-testing-on-ciras-at-nasa-s-langley-research-center.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/irma/orbital-atk-supports-ground-testing-on-ciras-at-nasa-s-langley-research-center.html)3. NASA, <https://www.nasa.gov/feature/langley/robotic-arm-gets-a-workout>4. NASA, <https://www.nasa.gov/press-release/langley/nasa-puts-in-space-assembly-robots-to-the-test>

# 軌道上製造技術に関する個別事例（2/13）

23-003-T-014

製造

組立

- NASAはOSAMと称する、LEOにおける米国政府衛星の軌道上での燃料補給、組立、製造に関する技術実証を推進。元々燃料補給や修理等のサービスを受けるように設計していない既存衛星への把持及び軌道上サービスの提供を狙う。
- 組立実証において、サービスに搭載されるロボットアームを用いて、通信アンテナの組立を予定。

ミッション名	OSAM-1 (On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing)	実施主体	オーナー	NASA
			メーカー	Maxar (リード)、Tethers Unlimited、他
製造	AM (軽量複合素材)	組立	ロボットアームを用いた通信アンテナ組立	

## 【事例概要】

- NASA主導のOSAM-1プロジェクトでは、衛星の寿命延長に特化したツールと技術を搭載したロボティック宇宙機の実現を目指す。軌道上での保守を想定せずに設計された衛星であっても、衛星とのランデブー、把持、燃料補給、再配置のサービス提供が可能となる。<sup>[1]</sup>
- OSAM-1は2本のロボットアームで燃料補給等のサービスを提供するが、SPIDER (Space Infrastructure Dexterous Robot) と呼ばれる5mの軽量ロボットアームのペイロードが付属され、計3本のアームが搭載されている。
- (2023年4月) Maxarは、無重力のシミュレーション環境”off-loader”を構築した。そのなかでSPIDERは、7つのパーツを組み合わせて3メートルの通信アンテナの組立を成功させた (下右図)。そのアンテナを用いて地上局とのKa帯の通信実証が行われる。OSAM-1は2022年3月に詳細設計審査 (CDR)を通過<sup>[2]</sup>。

## 【技術要素】

- 軌道上での大型衛星構造の構築能力の検証。
- ロボットアームを用いた通信アンテナの組立、軽量複合材料を用いた10mのビーム (梁) 製造及び剛性評価等を実証

## 【本技術の開発メリット・将来展望】

- ロケットの打上体積制限の低減
- 大型通信アンテナや望遠鏡の軌道上組立を可能にする
- 宇宙飛行士の船外活動タスクの一部を精密ロボットに置き換える

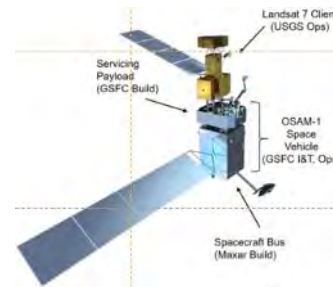


図 OSAM-1イメージ図<sup>[2]</sup>

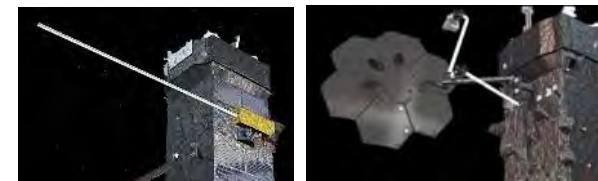


図 SPIDERの伸縮可能な5mのロボットアーム<sup>[2]</sup>

図 7つのアンテナパーツを組み立てるSPIDERイメージ<sup>[2]</sup>

出所)

1. NASA, <https://nexis.gsfc.nasa.gov/osam-1.html>
2. MAXAR, <https://blog.maxar.com/space-infrastructure/2023/video-maxar-moves-forward-in-robotic-assembly-demo>

3. Searchgate, [searchgate.net/profile/Michael-Shoemaker/publication/343587900\\_OSAM-1\\_Decommissioning\\_Orbit\\_Design/links/5f330718299bf13404baba2b/OSAM-1-Decommissioning-Orbit-Design.pdf](https://searchgate.net/profile/Michael-Shoemaker/publication/343587900_OSAM-1_Decommissioning_Orbit_Design/links/5f330718299bf13404baba2b/OSAM-1-Decommissioning-Orbit-Design.pdf)

## 軌道上製造技術に関する個別事例 (3/13)

23-003-T-014

製造

組立

NASA OSAM-2では、官民連携のもと、宇宙機太陽電池パドルのビーム（梁）構造部分の3Dプリンティングを軌道上で実証する。軌道上での自律的な衛星部品の製造技術を実証することで、GEO以遠での軌道上製造や宇宙飛行士の船外活動等のリスク低減が期待される。

ミッション名	On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing-2 (OSAM-2) (元Archinaut One)	実施主体	オーナー	NASA
			メーカー	Redwire (リード)、Blue Canyon、Northrop Grumman、Motiv Space、SpaceX、等
製造	AM (ポリマー造形)	組立	ロボットアームを用いた組立	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

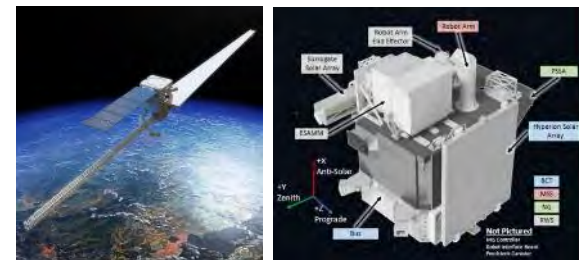
- 軌道上での製造と組立を自律的かつ効率的に行うロボット技術の開発に向けて、**2019年、Redwire社が\$73.7MでNASAから3Dプリンティング技術の実証プロジェクトを受注**。技術実証では、**ソーラーアレイのビーム構造部分を3Dプリンターで製造する**。2024年4月以降の打ち上げ予定<sup>[3]</sup>。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- ソーラーアレイの構築、組立、展開：軌道上に配置されたOSAM-2は、3Dプリンティングで2つのビーム（梁）を製造する。1つ目のビームを製造しつつ、宇宙機内に収まっていたソーラーアレイが広げられる。約30日で10mのビームが完成すると、ロボットアームがビームの位置を固定し、次にロボットアームが3Dプリンターの位置を移動させ、宇宙機の反対側で約20日間で6mのビームを製造する。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- 軌道上での製造・組立技術の確立により、打ち上げの低コスト化・低リスク化を実現。
- ロボットによる軌道上での自律的製造により、宇宙飛行士の船外活動におけるリスク削減を図るとともに、宇宙望遠鏡、通信アンテナ等の構造物をGEO以遠でも製造が可能となる。

図 3Dプリンティングで作られる2つのビーム<sup>[3]</sup>図 ビーム（はり部材）<sup>[3]</sup>図 OSAM-2の将来展望イメージ<sup>[3]</sup>図 ソーラーアレイイメージ<sup>[3]</sup>図 OSAM-2構成イメージ<sup>[2]</sup>

出所)

1. NASA, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/tdm/osam-2.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/osam-2.html)
2. Redwire, <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4919&context=smallsat>

3. Redwire, [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220007646/downloads/2022\\_NSMMS\\_Huebner\\_FINAL.pptx.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220007646/downloads/2022_NSMMS_Huebner_FINAL.pptx.pdf)

## 軌道上製造技術に関する個別事例（4/13）

23-003-T-014

製造

組立

EUが資金提供するPERIODプロジェクトは、ISSの船外にあるBartolomeoプラットフォームを活用し、アンテナ反射鏡や衛星部品の組立等の実現を目指す。

ミッション名	PERIOD (PERASPERA In-Orbit Demonstration) project	実施主体	オーナー	EU
			メーカー（リード）	AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH（独）
製造	—	組立	ロボットアームを用いた通信アンテナ組立	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

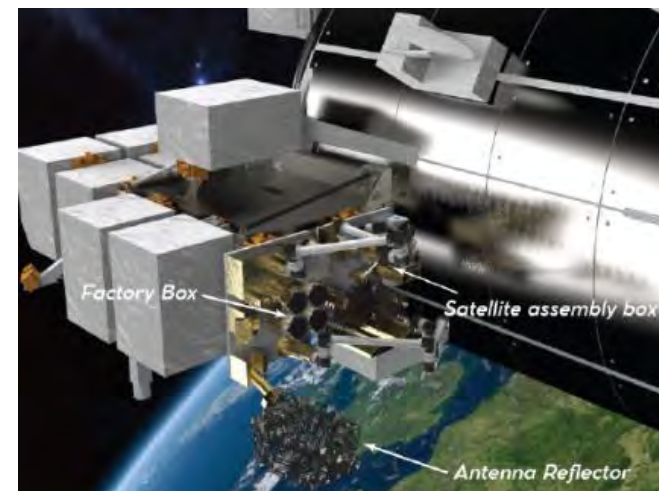
- 最短で2025年までに、ISSの船外プラットフォームBartolomeoが「軌道上の工場」となるべく、アンテナ反射鏡や衛星部品の組立などの衛星製造の実現に向けた軌道上の実証プロジェクト。2021年1月から2022年12月までの2年間で実証機の初期設計を行うとし、EUが€3,000,000の資金を提供した。米国の活発化する軌道上製造動向を鑑み、EUにおいても軌道上製造技術獲得を目指す。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- アンテナ反射鏡、衛星部品の組立や再構築に向けた実証機の初期設計
- PERIOD以前のロボット技術のEU助成金プロジェクト「ESROCOS、ERGOおよびInFuse」の技術を実証目標との整合性を確認した上で、TRL 5まで開発する。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- ロボット技術と自律技術の開発と検証およびそれらを地球周回軌道上で動作する一貫した機能システムに統合。

図 ISSの船外に設置した「衛星工場」イメージ <sup>[3]</sup>

出所)

1. EU, <https://cordis.europa.eu/project/id/101004151>
2. EU, <https://period-h2020.eu/>

3. EU, <https://period-h2020.eu/progress>

## 軌道上製造技術に関する個別事例 (5/13)

23-003-T-014

製造

組立

一般的なデブリの材質である耐食性鋼を切断するために、フリクションリングと呼ばれる技術を使用して宇宙で金属切断を行う軌道上実証を実施。実証でデブリを生成しないように、装置内での切断実証が行われた。

ミッション名	Outpost MARS Demo-1 (OMD-1)	実施主体	オーナー	NASA (NextSTEP-2 Appendix A)
			メーカー	Nanoracks (米)
製造	AM以外 (金属切断)	組立	—	

【事例概要】<sup>[2]</sup>

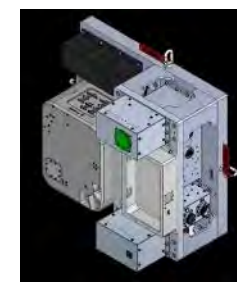
- Nanoracksが取り組む衛星寿命延長MEK (Mission Extension Kit) プログラムの構想の中で、ロケット上段等のスペースデブリで一般的に見られる耐食性鋼を切断するために、フリクションリング (摩擦フライス加工)と呼ばれる技術を使用して宇宙で金属切断を行う史上初の軌道上実証を実施。宇宙空間でのリサイクル、製造、建設作業が実行可能であると実証された。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 市販の摩擦フライス加工エンドエフェクターを活用した新しいロボットアームをパートナー企業のMaxar Technologiesが開発
- 高速回転する切削工具を使用し、熱により金属を軟化させ、デブリを生成しない方法での切断が可能。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- 実証では、切断対象の金属のうち2枚が切断されておらず、実証データをもとに失敗の原因を特定していく。近い将来に別の金属切断実験を想定している。

図 地上での切断テスト<sup>[1]</sup>図 切断面<sup>[1]</sup>図 OMD-1 全体イメージ<sup>[1]</sup>

出所)

1. CisLunar Industries (同社サイト掲載動画におけるOMD-1の紹介), <https://www.cislunarindustries.com/products>
2. Nanoracks, <https://nanoracks.com/nanoracks-successfully-completes-historic-demo-of-structural-metal-cutting-in-space/>



## 軌道上製造技術に関する個別事例（6/13）

23-003-T-014

製造

組立

CisLunar Industriesは、使用済みの上段ステージや衛星、デブリを回収した上で、標準的な金属材料（ロッド状、ワイヤーフィラメント状等）として、軌道上で加工・鋳造する技術を開発中。加工された金属材料は、推進剤としての活用や有人拠点の金属廃棄物処理等が想定されている。

ミッション名	Modular Space Foundry (MSF)	実施主体	オーナー	NASA, USSF 他
			メーカー	CisLunar Industries (米)
製造	AM以外（金属等の鋳造）	組立	—	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

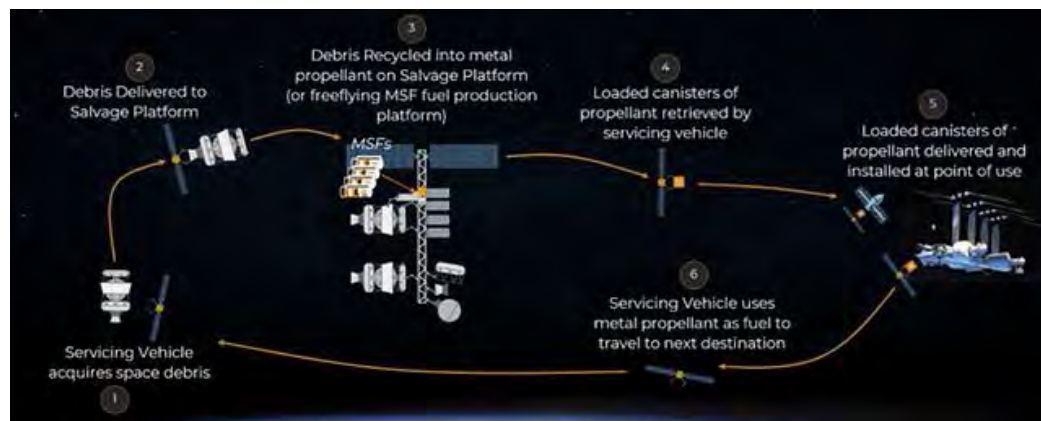
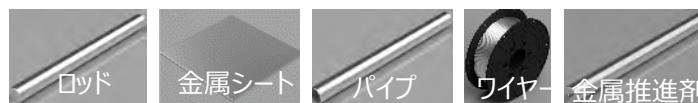
- CisLunar Industriesは、軌道上での金属加工技術を開発している。同社は、回収したデブリ等を金属材料に再処理することで、金属推進剤や軌道上での整備・組立・製造 (ISAM) への活用を計画している。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 回収したデブリから、ロッド、金属シート、パイプ、ワイヤーフィラメント等の有用で標準的な形状の金属材料に再処理（鋳造）する。
- ロッドを製造（鋳造）する能力を地上で実証し、その後、燃料として電気スラスタで推力を生成することに成功している。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- デブリの除去と資源としての有効活用。
  - 金属廃棄物を除去する必要がある宇宙ステーション内の廃棄物から金属材料を生成するサービスを提供。

図 金属加工プロセスのイメージ<sup>[1]</sup>図（左から）加工されたロッド、金属シート、パイプ、ワイヤーフィラメント、金属推進剤<sup>[2]</sup>

出所)

1. CisLunar Industries, <https://www.cislunarindustries.com/>
2. CisLunar Industries, <https://www.cislunarindustries.com/products>

## 軌道上製造技術に関する個別事例（7/13）

23-003-T-014

製造

組立

Orbital Compositesは、Seraphim Spaceのアクセラレータプログラム選出やOrbital Primeを通じて開発資金を獲得している。同社は、地上向けの汎用的なAM技術を含めた製造技術及びロボティクス技術をコアに、Virtus Solis（宇宙太陽光発電ベンチャー）やAxiom（民間宇宙ステーション事業者）らとの連携強化している。

ミッション名	-	実施主体	オーナー	DOD、DOE、USSF、USAFRL、NASA、等
			メーカー	Orbital Composites（米）
製造	AM	組立	通信アンテナの組立	

【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

- Orbital Compositesは、2023年5月に英国の投資会社Seraphim Spaceのアクセラレータプログラムに選出されるとともに、USSFのSpaceWERXよりSBIRを獲得。\$ 1.7Mの開発資金にて、Axiom Space、Northrop Grumman、Southwest Research Instituteと共同で2つの重要なアプリケーション ①Satellite-based cellular broadband（SBCB）および②Space-based solar power（SBSP）に注力する。SBCBは大きいアンテナを要し、SBSPはさらに巨大なアンテナを必要とするため、軌道上でキロメートル級の巨大アンテナを3Dプリントし製造する技術開発に取り組んでいる。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 3Dプリンティング技術（地上での分割製造や軌道上製造両方に対応<sup>[3]</sup>）、ロボティクス技術、自律システムを活用し、複合材フレームを備えたアンテナ構造を製造する。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- コスト削減とビジネスチャンスの創出。
- 2023年にVirtus Solis社と世界初のメガワット・スケールのSBSPステーションの建築に向けたMOUを締結。
- Axiom Spaceと協力のうえ、アンテナの活用に向けて協業するほか、宇宙ステーションの構築に向けた取り組みを実施予定。

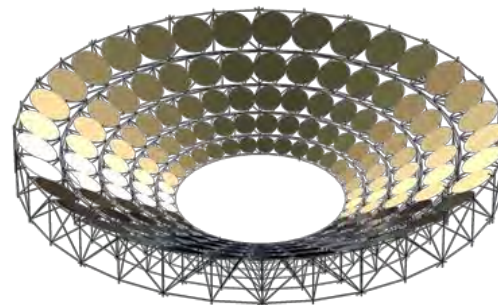


図 3Dプリンティングで作成された、軽量で耐久性のある反射鏡のフレーム<sup>[1]</sup>

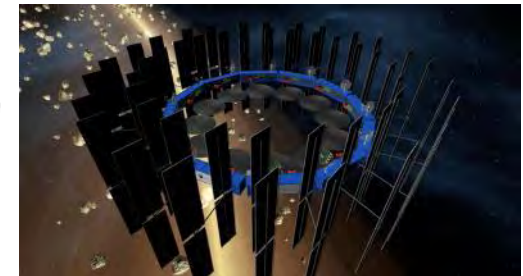


図 コンテナ毎のユニット（青）をもとに、3Dプリンティング、最新のロボット工学および自律システム技術を用いて製造したアンテナの基礎構造<sup>[1]</sup>

出所)

1. CompositeWorld, <https://www.compositesworld.com/news/orbital-composites-wins-award-from-us-space-force-to-build-space-factories-for-antennas>

2. Global News Wire, <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/04/19/2212796/0/en/NINE-COMPANIES-JOIN-THE-CATALYST-ACCELERATOR-S-ON-ORBIT-SERVICING-ASSEMBLY-AND-MANUFACTURING-COHORT.html>

## 軌道上製造技術に関する個別事例 (8/13)

23-003-T-014

製造

組立

ThinkOrbitalは、ロボットアームを使用して六角形のパネルを球形に組合わせ、電子ビーム溶接を行い、ThinkPlatformと呼ばれる居住空間を構築予定。

ミッション名	ThinkPlatform	実施主体	オーナー	ThinkOrbital (米)
			メーカー	ThinkOrbital (米)
製造	AM以外 (電子ビーム溶接)	組立	パネル	

【事例概要】<sup>[1][2]</sup>

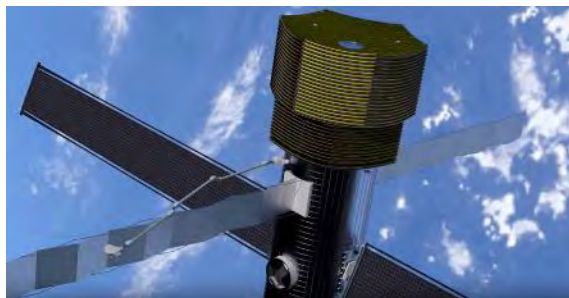
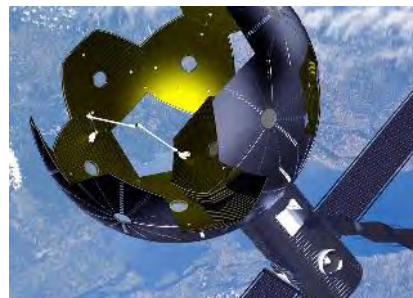
- ▶ ロボットアームに電子ビームの溶接ガンを搭載し、軌道上に球形の居住空間を組立てる”ThinkPlatform”を開発。

【技術要素】<sup>[1][2]</sup>

- ▶ ロボティクス技術、電子溶接：ロボットアームと電子ビーム溶接ガンを組み合わせたアームを開発（1パスで30cmの鋼を溶接でき、エネルギー効率は90%以上）

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[3]</sup>

- ▶ ThinkOrbitalは、NASAが商業LEO開発プログラムのパートナーとして採択した7社のうちの1社となり、NASAと共同でThinkPlatform等の開発を進める。<sup>[3]</sup>

図 電子ビーム溶接ガン<sup>[1]</sup>図 衛星に搭載されたパネルをアームで把持し、居住空間を組み立てる<sup>[1]</sup>図 サッカーボールのような球体へ<sup>[1]</sup>図 完成イメージ<sup>[1]</sup>図 居住空間内イメージ<sup>[1]</sup>

出所)

1. Think Orbital, <https://www.thinkorbital.com/index.php>
2. Think Orbital, <https://www.thinkorbital.com/technology.html>

3. NASA, <https://www.nasa.gov/press-release/seven-us-companies-collaborate-with-nasa-to-advance-space-capabilities>

## 軌道上製造技術に関する個別事例（9/13）

23-003-T-014

製造

組立

Arkisys社は、軌道上での研究開発や製造実証等、宇宙活動の発展を支援する場となる軌道上プラットフォーム開発とサービス提供に取り組む。Portと称する複数の衛星モジュールは、ロボットアームが組み立てと分解を行い、ブロックのように再構築可能とされている。

ミッション名	The Port	実施主体	オーナー	Arkisys
			メーカー	
製造	—	組立	ロボットアームによる組立、分解、再組立	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

- Arkisys社はカリフォルニアを拠点とする企業で、軌道上で再利用可能なビジネスプラットフォームを開発している。
  - 世界初の商業軌道上プラットフォームは「The Port」と呼ばれ、無重力環境での研究開発（医薬品、製造技術、等）を必要とする政府機関や民間企業が活用する場となる。Portモジュールの組み立ては、ロボットアームが行う。
  - The Portは、地球周回軌道だけでなく、月や火星、さらにその先に配置され、宇宙建設プロジェクトを支援する世界初の軌道上ロボットプラットフォームとなる、再利用可能なアプローチ。
  - 2023年3月、米宇宙軍が軌道上での衛星の組立テストを行うために、Arkisys社が率いる5社のチームと\$1.6MのDirect-to-Phase II SBIR 契約を締結した<sup>[2]</sup>。ArkisysのPortモジュール上のロボットアームで3軸姿勢制御衛星を組立方法の軌道上実証に向け開発中<sup>[3]</sup>。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- The Port：ロボットアームによるPortモジュールの組み立て、分解と再組み立て。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- Arkisys社は、政府・民間企業へ打ち上げおよびPortでの実証等のプラットフォームを低価格で提供し、商業宇宙の産業基盤の拡大を目指す。その一環として、Arkisys社が提供するEmbarkプログラムでは、中小企業がSBIR／STTR Phase Iの提案をすると、\$5,000で軌道上での実証機会を提供。さらにPhase II期間内でプロトタイプが成功すると、\$150,000でペイロードをPortへ輸送する。しかし、軌道上で30日間が経過すると、通常の月額レートでPortの利用料金を請求する、というビジネスを提供。事業者はスピーディに収益性のあるビジネス展開につなげるチャンスを得る。

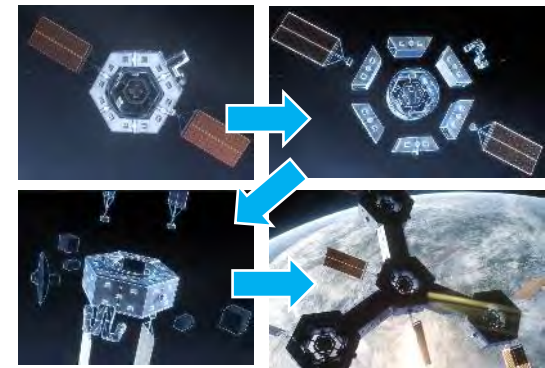


図 ロボットアームによって組み立てられたPortは、用途によって分解され、再組立や連結が可能<sup>[1]</sup>

出所)

1. Arkisys, <https://www.arkisys.com/>
2. UchuBiz, <https://uchubiz.com/article/new15625/>

3. SpaceNews, <https://spacenews.com/arkisys-and-partners-show-how-they-would-build-a-satellite-in-orbit/>

# 軌道上製造技術に関する個別事例（10/13）

23-003-T-014

製造

組立

Airbus Defense and Spaceは、**金属の3Dプリンティング技術開発を進めており、ISSでの実証実験を2023年夏頃に予定**。宇宙飛行士は5cmの構造物をMetal3Dで複数製造し、地球へ持ち帰ったものと地上で製造されたものとの違いが比較・検証される。いずれは**軌道上や月面での金属3Dプリンティングの実現を目指す**。

ミッション名	Metal3D	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	Airbus Defense and Space
製造	AM（金属）	組立	—	

## 【事例概要】<sup>[1]</sup>

- AirbusはESAの資金提供のもと、ISSでの金属3Dプリンティングの技術開発を進めている。2023年7月頃（詳細不詳）にISSでの実証を予定。

## 【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 金属を材料とした微重力空間における金属3Dプリンティング技術。ノズルからステンレス製のワイヤーが送り出され、1200℃になるレーザービームがワイヤーを溶かしながらプリンターが動き、任意の形を作り出す。ISSでの実証では、地上とISSで同じものを製造し、その後地上でそれぞれの違いについて精密な測定や比較が実施される予定。ISSの微重力空間内で金属が高温となるため、その安全性・実現性等について検証を進める。<sup>[2]</sup>

## 【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- 将来的には月面においてレゴリスや運用終了した衛星のパーツなどを材料とした構造物や住居、月面ローバーなどの製造を実現させる。
- 3~4年以内には、宇宙空間での衛星の製造と組み立てに取り組む構想となっている。

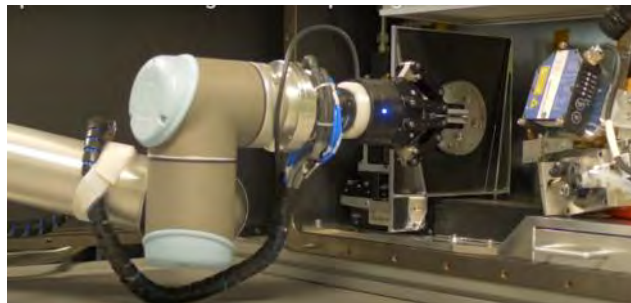


図 Metal3D<sup>[1]</sup>



図 ノズルとレーザービーム<sup>[1]</sup>



図 金属3Dプリンティングの経過<sup>[1]</sup>

出所)

1. Airbus, <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2022-05-in-space-manufacturing-and-assembly>
2. DTU, <https://www.dtu.dk/english/newsarchive/2023/06/printing-spare-parts-in-zero-gravity>

## 軌道上製造技術に関する個別事例（11/13）

23-003-T-014

製造

組立

**Incus等の複数企業は、ESA支援の下で、月面のスクラップメタル（以前の月面ミッションや古い衛星等）を金属3Dプリンティング技術を用いて再利用する技術を開発中。月面のレゴリスを用いた3Dプリンティング技術の実証も進める。**

ミッション名	—	実施主体	オーナー	ESA
			メーカー	Incus（オーストリア）、OHB System、その他
製造	AM（金属3Dプリンティング）	組立	—	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

- ESA、OHB System AG、Lithoz Gmhとの18か月のジョイントプロジェクト（名称不明）において、月面でのサステナブルな活動基盤構築に向けて、月の資材（レゴリスやスクラップメタル）を活用する技術開発を進める。

【技術要素】<sup>[1][2]</sup>

- 金属3Dプリンティング技術：月面でのAM実現に向けて、本プロジェクトはHammer Lab35にて安全かつ高品質のスペアパーツ製造を実現するLMM（Lithography-based Metal Manufacturing）技術※を開発。（※LMM技術：光重合の原理を活用し、金属微小粉末と感光性樹脂を均一に混合した材料に露光を行うことで、選択的に材料を硬化させ、造形する金属造形方法）
- リサイクルされたチタン粉末の3Dプリンティングに成功。金属射出成形チタン部品規格（1000-1050Mpa）と比較しても強度に遜色ない。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- 月面拠点のサステナブルな開発に向けて、LMM技術は月のレゴリスも3Dプリンティングのフィードストック（原材料）として活用ができ、zero waste（廃棄物ゼロ）を可能とするワークフローが実証された。



図 リサイクルされたチタン粉末からLMM技術で製造されたパーツ<sup>[1]</sup>



左図 Hammer Lab35<sup>[3]</sup>



図 Zero Wasteを実現するLMMワークフロー<sup>[3]</sup>

出所)

1. Voxelmatters, <https://www.voxelmatters.com/incus-demonstrates-lithography-based-metal-am-for-the-lunar-environment/>

2. Incus, <https://www.incus3d.com/3d-printer/>

3. 3D Adept Media, <https://3dadept.com/is-incus-3d-printing-technology-ready-for-spares-in-space/>

## 軌道上製造技術に関する個別事例（12/13）

23-003-T-014

製造

組立

- Space quartersは、宇宙での大型構造体建築に向けた密閉性・強度・重量・汎用性に優れた溶接技術やロボティクス技術等を開発中。同社は2025年に地上での技術確立及び2028年に軌道上溶接及び組立技術の実証を行う予定。
- 同社は、CNESからの受託研究やNEDO SBIR事業を通じて宇宙空間での電子ビーム溶接技術開発を推進している。

ミッション名	-	実施主体	オーナー	Space quarters（日）
			メーカー	-
製造	AM以外（電子ビーム溶接）	組立	大型構造体、建築資材等	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

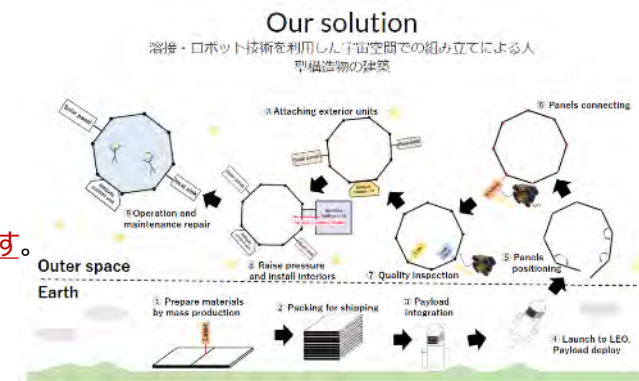
- Space quartersは、加工済みの建材を打ち上げ、宇宙空間で溶接を用いて組み立てる技術を開発中。電子ビーム溶接機および、大型構造体の組み立てロボットシステムの開発を日本とフランスの二拠点で進行している。なお、同社は、CNESより宇宙空間における電子ビーム溶接技術を用いた建築技術に関わる実現性評価等を受託（2023年3月）している。
- また、NEDOの2023年度「SBIR推進プログラム」に係る公募に「大型宇宙構造体の建設サービス提供に向けたモビリティ型電子ビーム溶接システムの開発」を提案し、採択されている。当該SBIR事業において、宇宙溶接技術の開発を通じてパラボラアンテナ、ステーションモジュールの外壁、月面の流体貯蔵や基地防護壁の宇宙構造物を施工するモビリティ型電子ビーム溶接システムを研究開発を実施する。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 組立：加工済みの建材を打ち上げ、溶接を用いた宇宙空間での組立技術
- 電子溶接技術：密閉性・強度・重量・汎用性に優れた電子ビーム溶接技術の開発
- ロボティクス：構造物の組み立て、溶接、検査を行えるロボットの開発

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1][2][4]</sup>

- 同社は、2025年に地上での技術確立及び2028年に宇宙空間での溶接及び組立技術実証を目指す。
- 将来的には、超大型宇宙ステーションの構築が進んだ際に必要となる溶接技術の開発を進める。
  - ・ 研究開発拠点、生産拠点、観光地やエンタメ・教育、高軌道/月/他惑星/深宇宙探査の中継基地、衛星の修繕・回収基地等での活用が期待されている。

図 軌道上製造ソリューションの全体像<sup>[1]</sup>

出所)

1. Space quarters, <https://space-quarters.com/>
2. PR TIMES, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000004.000115275.html>

4. PRTIMES, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000007.000115275.html>
5. PR TIMES, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000005.000115275.html>
6. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000115275.html>

## 軌道上製造技術に関する個別事例（13/13）

23-003-T-014

製造

組立

三菱電機株式会社では、宇宙空間において3Dプリンターで衛星アンテナを製造する技術を開発中。樹脂硬化のための紫外線光源として太陽光を利用することで、低消費電力で通信アンテナの製造が可能

ミッション名	-	実施主体	オーナー	三菱電機株式会社（日）
			メーカー	-
製造	AM（アンテナ等）	組立	-	

【事例概要】<sup>[1]</sup>

- 軌道上での3Dプリンティング技術の開発に向け、真空中でも安定性を持った新開発の樹脂を3Dプリンターで押出成形し、太陽光の紫外線で硬化させることで、宇宙空間において構造物を製造する。

【技術要素】<sup>[1]</sup>

- 真空中でアンテナの製造を実現するフリーフォーム3Dプリンターを開発。
- 真空中での押出と硬化に適した安定性を持つ紫外線硬化樹脂を開発：基礎材料である高分子量オリゴマーに真空オイルを可塑剤として加え、硬化阻害剤と光硬化開始剤を適切に配合した紫外線硬化樹脂を開発。真空中（0.2kPa以下）で試作したアンテナが、宇宙空間での使用に十分な400℃耐熱性を持つことを確認。

【本技術の開発メリット・将来展望】<sup>[1]</sup>

- 軌道投入後の振動や衝撃等を考慮したアンテナ構造やアンテナ展開用の部品も不要となるため、衛星の軽量化と打上げコストの低減に貢献。
  - 数十センチサイズの小型衛星でも大きな開口アンテナの搭載が可能となる。
- 樹脂硬化のための紫外線光源として太陽光を利用することで、低消費電力でアンテナ反射鏡の製造が可能となる。

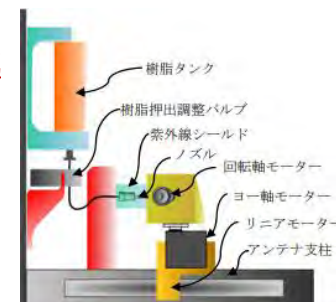


図 アンテナ反射鏡製造3Dプリンター<sup>[1]</sup>


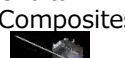










出所)

1. 三菱電機株式会社, <https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2022/0517.html>



## 軌道上製造・組立技術に係るポジショニング

- 軌道上製造でのAM技術は、米国を中心に様々な材料を用いたAM技術実証に向けた動きが進んでいる。また、萌芽的な観点の研究開発として、切断技術の実証、溶接や鋳造等の技術開発を実施中。一方で、軌道上組立では、製造ミッションと連動しつつ、米欧が官主導の下で通信アンテナ組立実証等を予定。SSPS等での組立技術活用も構想中。
- 今後日本として、「衛星部品製造」及び「大型建造物構築」、「軌道上資源利用」の方向性が考えられる。

	軌道上製造						軌道上組立		
	AM技術				AM技術以外			衛星及び構成品	大型建造物建築
	ポリマー	複合材	金属	レゴリス等	溶接	切断	鋳造		
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NASA, Redwire</li> </ul>  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NASA, Tether Unlimited</li> <li>● Orbital Composites</li> </ul>  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Redwire</li> </ul> <p>ISS船内実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Redwire</li> </ul> <p>ISS船内実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Think Orbital</li> </ul>  <p>構想</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nanoracks</li> </ul>  <p>軌道上実証済み</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● CisLunar Industries</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NASA, Maxar</li> </ul>  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Orbital Composites, Think Orbital</li> </ul>  <p>構想</p>
欧州	ISS船内実証予定	ISS船内実証予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESA, Airbus</li> </ul>  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESA, Incus</li> </ul>  <p>地上実証済み</p>		明確な計画は現時点で確認できない		<ul style="list-style-type: none"> <li>● EU, Airbus</li> </ul>  <p>軌道上実証予定</p>	明確な計画は現時点で確認できない
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 三菱電機</li> </ul>  <p>構想</p>		明確な計画は現時点で確認できない		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Space quarters</li> </ul>  <p>構想</p>		明確な計画は現時点で確認できない		明確な計画は現時点で確認できない

## 衛星部品製造

多彩な素材製造を行うことで、衛星製造部品を拡大させる

## 大型建造物構築

大型アンテナや商業宇宙ステーション、SSPS等の組立や建築を実現する

## 軌道上資源再利用

回収したデブリを軌道上で切断や鋳造することで資源再利用を行う

# 軌道上製造技術の事業化への課題

23-003-T-014

- **技術的に宇宙特有の課題**（宇宙空間における製造部品の安全性・信頼性担保、デブリ発生防止等、バスとの連携）と軌道上サービスの共通的な課題である**RPO技術やアーム機構技術の獲得**が挙げられる。
- さらに、資金や開発機会の創出とニーズの掘り起こし、更に他の軌道上サービスや太陽光発電等の大規模なアプリケーションと連携した開発支援が求められる

	製造		組立
	AM技術	AM技術以外（溶接、切断、鋳造）	
メリット	<p>AM技術を用いた衛星部品等の製造</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 衛星部品・構成品の一部を製造する用途に活用される。</li> <li>● 打上積載重量軽量化によるコスト・リスク低減。</li> <li>● 衛星部品の設計に柔軟性が出る。</li> </ul>	<p>衛星構成品の溶接やデブリ等の切断・鋳造</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>パーツを分割して打上、軌道上で溶接することで、大型構造物の構築が可能となる。</b></li> <li>● <b>搭載物の小型化による、一度に打上げられる搭載量の向上。</b></li> <li>● 軌道上での溶接、切断や鋳造技術の活用により、<b>軌道上資源（デブリやレゴリス等）の活用など、新たな製造／建設への活用が期待される。</b></li> </ul>	<p>アーム等を用いた大型構造物等の組立</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 分割して打上げたパーツをロボットアームを用いて組立てることで、大型構造物の構築が可能となる。</li> <li>● 搭載物の小型化による、一度に打上げられる搭載量の向上。</li> <li>● 打上積載重量軽量化によるコスト・リスク低減が可能。</li> </ul>
技術的課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 積層造形の高精度化・高速化、強度・剛性、安全性、信頼性を担保（製造後の造形物は、宇宙空間での確認が必要となる）。</li> <li>● 自律的制御や製造作業と同時に検査を行うインプロセス技術の確立。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 溶接時の強度や安全性、信頼性の担保。（溶接後のパーツは、宇宙空間での確認が必要）</li> <li>● 切断時のデブリ発生防止技術。</li> <li>● 自律的制御や製造作業と同時に検査を行うインプロセス技術の確立。</li> <li>● 溶解する技術、高いエネルギーを生む技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>アーム機構に係る技術の獲得</b></li> </ul>
技術以外の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>● システム化技術：サービサーへの製造コンポーネント（AM装置、溶接装置等）を具備することに対する衛星製造事業者（バス部等）との開発連携。</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>政府技術開発支援</b>：政府による研究開発に対する資金配分や、開発意思がある国内企業等を巻き込んだ官民連携でのプログラムがまだ少ない</li> <li>● <b>他の軌道上サービスとの連携</b>：他の軌道上サービス実証と連携した軌道上製造・組立ミッションの計画・実証が存在しない</li> <li>● <b>ニーズの掘り起こし</b>：諸外国の技術開発動向を踏まえつつ、軌道上製造・組立ミッションの経済的メリットを国内外の衛星事業者に訴求する</li> <li>● <b>ISS船内での実証</b>：米欧ではISS船内にて技術確立を行い、衛星搭載技術等の実証を進めるが、日本では動きは限定的</li> </ul>		

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.5.1 軌道上製造技術の調査分析

**2.5.2 強み・弱み分析**

2.5.3 戦略・研究開発計画

2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

## 軌道上製造・組立技術における調査サマリ

23-003-T-014

- 打ち上げによるリスクや制限を超えた自由な設計を実現。月面での生活や、深宇宙も見据えた建造物の構築、軌道上リサイクルの構想もすすむと共に、宇宙ステーションとの連携の動きも見られる。

### ニーズの顕在化

衛星部品製造  
部品・コンポーネントの多様な製造を行う

大型建造物構築  
大型アンテナやSSPS、商業ステーション等の建設を行う。

軌道上資源再利用  
回収したデブリを軌道上で切断や鋳造することで資源再利用を行う。

### ニーズへの対応

### ユーザの課題

軌道上製造							軌道上組立	
AM技術				AM技術以外			衛星及び構成品	大型建造物建築
ポリマー	複合材	金属	レゴリス等	溶接	切断	鋳造		

- ✓ 従来地上でのAM技術が抱える課題（高精度化、高速化等）に加え、宇宙特有の課題（＝製造後の宇宙空間における製造部品の安全性・信頼性担保、デブリ発生防止等）が存在
- ✓ 軌道上の資源利用では、溶解する技術、その為に高いエネルギーを生む技術等、技術的なハードルも存在
- ✓ 軌道上サービスの共通的な課題の一つである、RPO技術やアーム機構技術の獲得も必要

### 技術的トレンド

- ✓ 技術・装置の転用
  - ・ 船内実証する等で段階的な実証。積層造形の高精度化・高速化。
- ✓ 宇宙特有の課題解決
  - ・ 放射線・無重力等の宇宙空間における造形物の強度・剛性、安全性・信頼性を担保するための技術、製造作業と同時に検査を行うための技術。
  - ・ 切断時のデブリ発生防止技術。

## 軌道上製造・組立技術における日本の強み・弱み

23-003-T-014

- 日本では、衛星アンテナの軌道上AM技術実証に向けた動きや溶接技術の開発が民間主体で進んでいる。
- 他の軌道上サービス実証と連携したミッションの計画・実証を官民連携で進める必要がある。

## 軌道上製造・組立技術

衛星部品製造

大型建造物建築

軌道上資源再利用

## 世界の動向

- ✓ 官民連携での軌道上3Dプリンティングや通信アンテナ組立等の実証を推進中。
- ✓ 深宇宙も見据えた軌道上リサイクルや建設等（溶接や切断、金属再処理等）の構想が出ている。
- ✓ 他のミッションとの連携強化の動き
- ✓ NASA主導 OSAM-1他  
他の軌道上サービスとの実証連携
- ✓ USSF主導 CisLunar Industries  
デブリの回収と再利用

## 日本の現状

## 強み

- ✓ 三菱電機において、米欧とは異なる方式（紫外線硬化）を利用したAM技術を検討中。
- ✓ Space Quarterでは、2028年の実証を目指しCNESからの受託研究やNEDO SBIR事業をつうじて大型構造体建築に向けた溶接技術やロボティクス技術等を開発中。

## 弱み

- ✓ 米欧ではISS船内にて技術確立を行い衛星搭載技術等の実証を進めるが、日本では動きは限定的。
- ✓ 米欧では官主導のプログラムが推進されている中で、日本では明確な官主導プログラムが出ていない。

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.5.1 軌道上製造技術の調査分析

2.5.2 強み・弱み分析

**2.5.3 戦略・研究開発計画**

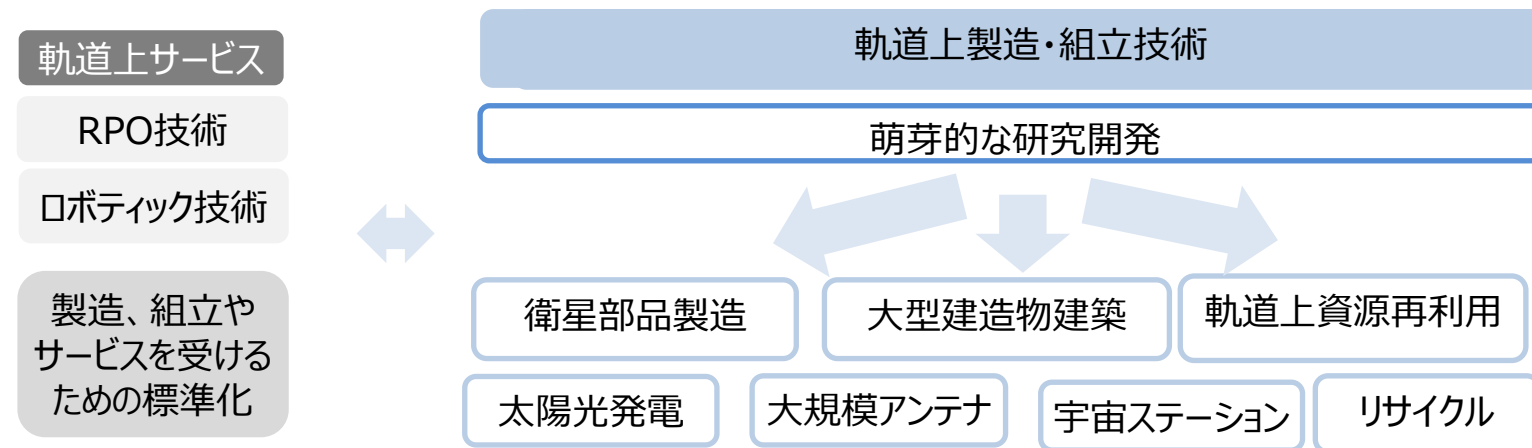
2.6 COTSの利用に関する調査分析

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析

## 軌道上製造・組立技術の戦略・研究開発計画立案

23-003-T-014

- 本技術は燃料補給等の技術の延長線上にあり、軌道上でのミッションの追加・変更、搭載機器のアップグレードのみならず、ポストISS、月面周回利用、月・惑星探査活動への研究開発につながるものである。
- 官民連携の下、宇宙に転用可能な地上系の技術にも注目しながら、まだ萌芽的な開発段階にある事を踏まえ、適用先候補を見据えながらも、幅広く開発と実証を積み重ねることが重要ではないか。



- 開発においては、宇宙に転用しうる地上系の要素技術の開発を進めながら、多様なアプリケーションに応用可能な技術を優先する
- 技術の実証の中や、技術の発展に伴いニーズが生まれることも考慮し、短期的、長期的な開発を組み合わせた戦略を立てる

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

**2.6 COTSの利用に関する調査分析**

2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析



- 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

# 各宇宙機関のCOTS導入の取り組み

23-003-T-014

NASAでは、従来各部署で実施していたCOTS選定について、COTS導入要件や、検証プロセス及び技術的評価基準に関する基準の統一を図っているところ。また、ESAでは、新たに短期間・低コスト（R&D領域等）のミッションへのCOTS適用を明確化したガイドラインを作成。JAXAでは、欧州の標準を参照したCOTS導入に関わる試験条件を設定している。

	NASA	ESA	JAXA
衛星開発におけるCOTSの宇宙適用に係る取り組み状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>NASAではCOTS部品に関わる推奨事項（選定、調達、適用、検証等）を提供する文書<sup>[1]</sup>を2020年に公開。</li> <li>なお、当該文書とは別に、NASAでは、標準部品及びCOTS部品に対して、リスクを最小化するための検証ガイドライン（MEAL要件）<sup>[2]</sup>を制定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州では、COTSの宇宙転用に係る標準文書（ECSS-Q-ST-60-13）を制定<sup>[3]</sup>。</li> <li>但し、ECSS文書だけでは、ミッション等の分類が明確でないことから、短期間・低コスト（R&amp;D領域等）のミッションへのCOTS適用について、分類を最適化したガイドライン（ESA COTS Guidelines）<sup>[4] [5]</sup>を2021年に作成。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>JAXAでは、日本では、平成28年に「宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック」<sup>[6]</sup>を策定している。</li> <li>ハンドブックでは、宇宙産業界以外で利用されている宇宙転用可能な部品を選定、評価、調達に関わる共通的な手順、推奨又は注意事項等が記述されている。</li> <li>短納期、コスト削減につながる基準としてはまだ課題が残る</li> </ul>
COTS導入の判断基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>NASAでは、ミッションを戦略の優先度や複雑性などの観点で5つのクラスに分類し、COTS部品に関わる推奨事項内で各クラスにおける評価基準を設定している。</li> <li>従来、各組織でおこなっていたCOTS選定に関して、NASAが推奨導入フローを示すことでCOTS部品の選択基準の統一を図っている。</li> <li>COTS部品導入に係る評価は、複数の方法を組合せている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>MIL及びNASA規格スクリーニング試験、COTS製造メーカーテスト、設計・製造プロセスやデータシートレビュー等</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESAでは、戦略の重要性や予算等の観点でミッションを3つのクラスに分類される。</li> <li>COTS部品として適用可能な商用部品の種類や、各部品の満たすべき技術パラメータ（機能性能、データ/信号処理効率、動作周波数等）がクラス毎に定義されている。</li> <li>検証テストの区分や検証内容、新たに設けたCOTS部品調達基準は、ECSS標準とMIL規格などを組み合わせて定義される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>評価試験、スクリーニング試験、ロット保証試験</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙転用可能な候補部品を宇宙適用する際、その部品がどのようなミッションカテゴリ（長寿命衛星用、科学衛星用、短寿命衛星用、ロケット用等）の機器に使用されるかを確認し、ミッションの寿命、重要度、リスク、信頼性/コスト等に対して、適用する部品の品質レベルを選択する。</li> <li>品質レベル（3区分）に応じ、CNESの標準を参考に評価試験やスクリーニング試験、ロット保証試験が規定されている。</li> </ul>

出所)

- NASA, [Recommendations on the Use of COTS EEE Parts for NASA Missions](#)
- NASA, [MEAL](#)
- ECSS, [ECSS-Q-ST-60-13](#)

- ESA, [Utilization of COTS in ESA Missions](#)
- ESA, [EEE COTS Components - ESA Approach](#)
- JAXA, [宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（共通編）](#)

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（1/7）

23-003-T-014

JAXA

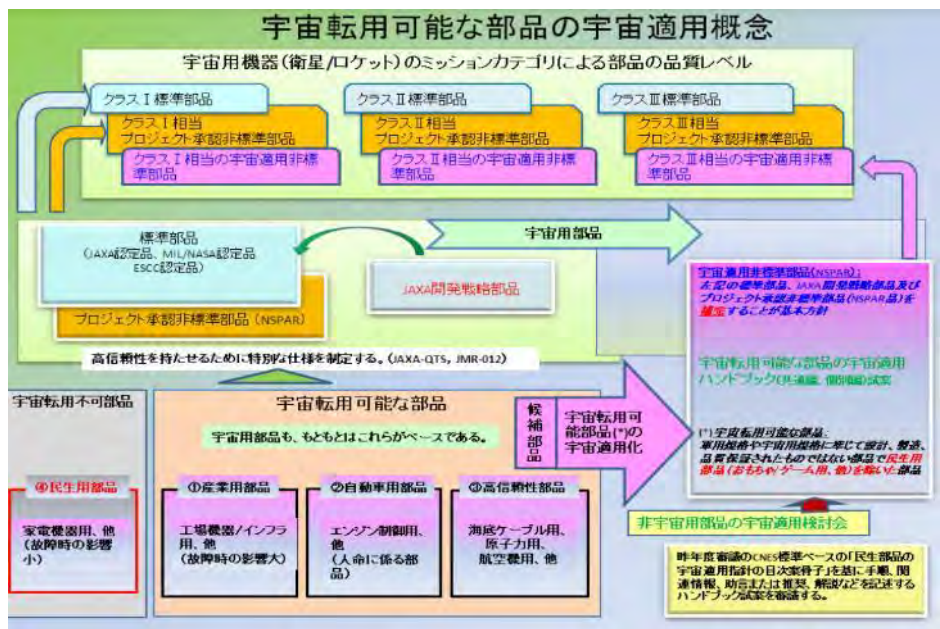
NASA

ESA

JAXAにおけるCOTSは、標準部品から選定することが技術的・経済的に困難な場合に、標準部品を補完する位置付けとなる。なお、COTS導入について、品質レベルに応じ、スクリーニング試験やロット保証試験をユーザ、ユーザ/部品メーカー分担、あるいは部品メーカーにおいて追加実施するというアプローチで宇宙用としての品質・信頼性保証を行う。

## JAXAによるCOTS導入の取り組み（1/3）

- JAXAでは、**標準部品**（JAXA、MIL/NASA、ECSS認定部品）等で構成される宇宙用部品から選定することが技術的、経済的にできない場合に、宇宙用部品を**補完する位置付け**で、宇宙産業界以外で利用されている宇宙転用可能な部品を選定、評価、調達して「**宇宙適用非標準部品**」として使用。
- ハンドブックでは、共通的な手順、推奨又は注意事項、解説、関連情報などが記述されている。
  - 「宇宙適用非標準部品」は既に製造・品質保証された宇宙転用可能な部品（**高性能部品、自動車用部品、産業用部品**）の**完成品に対して、品質レベル**（クラスⅠ、Ⅱ、Ⅲ相当）に応じ、**必要な評価試験**等実施。
  - さらに**完成品に対するスクリーニング試験**や**ロット保証試験**をユーザ、ユーザ/部品メーカー分担、あるいは部品メーカーにおいて**追加実施**するというアプローチで宇宙用としての**品質・信頼性保証**を行う。
- 宇宙用部品を補完する位置づけの「宇宙適用非標準部品」は、**品質・信頼性保証のアプローチが従来の宇宙用部品とは異なる**。
  - ① 基本的な品質・信頼性レベルを有する宇宙転用可能な候補部品を選定
  - ② 部品供給者側の部品メーカーと使用者側のユーザ（システム/機器）メーカー間で宇宙転用することに合意（協力）するために必要な調整を実施
  - ③ 宇宙適用性の評価及び審査、調達、品質保証のための付加的な試験等を通じて、宇宙適用非標準部品として使用する。

図 宇宙転用可能な部品の宇宙適用基本フロー<sup>[1]</sup>

出所)

1. JAXA, <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-0-052A.pdf>

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（2/7）

23-003-T-014

JAXA

NASA

ESA

宇宙転用可能な候補部品を宇宙適用する際、その部品がどのようなミッションカテゴリ（長寿命衛星用、科学衛星用、設計寿命が比較的短い衛星用、ロケット用等）の機器に使用されるかを確認し、ミッションの寿命、重要度、リスク、信頼性/コスト等を考慮して、適用する部品の品質レベルを選択する必要がある。

## JAXAによるCOTS導入の取り組み（2/3）

表1 宇宙機器のミッションカテゴリ分類<sup>[1]</sup>

カテゴリ分類	A	B	C	D	E	F	備考
各宇宙機器の分類	長寿命衛星用 バス機器 長寿命衛星用 ミッション機器	中寿命衛星用 バス機器 中寿命衛星用 ミッション機器 科学衛星用バス機器	科学衛星用バス機器 科学衛星用 ミッション機器 衛星搭載実験用機器	超小型衛星用バス機 器 超小型衛星用 ミッション機器 衛星搭載実験用機器	ロケット搭載用 電子機器	地球低軌道有人 宇宙機用電子機器 (有人宇宙ステーショ ンに接続する無人機 を含む)	
ミッション目安寿命	長期（5年以上）	中期（1～5年程度）	短期（1年未満）	短期（1年未満）	数時間程度	短期（1年未満）	
ミッションの リスクレベル	リスクの最小化 を図る	リスクの低減 を図る	リスクの管理 を行う	重大リスクのみ 管理する	リスクの管理 を行う	リスクの管理 を行う	
目安質量	2トン以上	1～2トン程度	1トン以下	100kg以下	100kg以下	数トン～10数トン	
国としての重要度	非常に高い	高い	中程度	低い	高い	高い	
宇宙機の分類	通信/測位衛星 地球観測衛星	地球観測衛星 天文観測衛星	天文観測衛星 月/惑星探査機	ビジーバック衛星 衛星搭載実験機器	H-IIA/B ロケット イプシロン ロケット	宇宙ステーション 補給・回収機 軌道間輸送機	
宇宙機の具体例	みちびき (QZSS-1) いぶき (GOSAT) さずな (WINDS) 水循環変動観測衛星 (GCOM-C/W) こだま (DRTS) ALOS-2	超短周期観測衛星 (SLATS) 水星磁気圏探査機 (MMO) X線天文衛星 (ASTRO-H)	小型科学衛星 (SPRINT-A) 小型ソーラー電力 セイル実証機 (IKAROS) 軌道上実証衛星 (SDS-1)	マイクロラボサット (μLabSat) まいど1号 (SOHLA-1) SDS 搭載実験機器	H-IIA/B ロケット 1段用機器 H-IIA/B ロケット 2段用機器 イプシロン ロケット用機器 (1段/2段/3段)	HTV HTV-R	
主要部品の品質レベル	クラス I 標準部品 クラス I 相当 非標準部品	クラス I～II 標準部品 クラス I～II 相当 非標準部品	クラス I, II, III 標準部品 クラス I, II, III 相当 非標準部品	クラス III 標準部品 クラス III 相当 非標準部品	クラス I～II 標準部品 クラス I～II 相当 非標準部品	クラス I, II, III 標準部品 クラス I, II, III 相当 非標準部品	(JMR-012)
部品の信頼性/コスト	信頼性最重視	信頼性重視	コスト & 性能重視	コスト最重視	コスト重視	信頼性 & コスト重視 (システムとして 1 フェールオーバー 2 フェ ールセーフを要求)	
主要な転用可能部品	高信頼性部品	高信頼性部品	高信頼性部品 自動車用部品 産業用部品	高信頼性部品 自動車用部品 産業用部品	高信頼性部品 自動車用部品 産業用部品	高信頼性部品 自動車用部品 産業用部品	

← ミッション寿命/衛星質量、部品の信頼性/コスト

出所)

1. JAXA, <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-0-052A.pdf>

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（3/7）

23-003-T-014

JAXA

NASA

ESA

宇宙適用非標準部品の品質レベルは3種にクラス分けされる。クラスⅠは最も高い保証・低いリスクとなる（基本的な品質・信頼性レベルは宇宙用部品と同等）。クラスⅢは、最も低い保証と高いリスクに分類される。なお、クラスⅡは、クラスⅠとクラスⅢの中間レベルとなる。

## JAXAによるCOTS導入の取り組み（3/3）

- ミッションカテゴリーの分類と適用する部品の品質レベルの目安は表4.3-1 宇宙機器のミッションカテゴリー分類に示される主要部品の品質レベル（JMR-012の5.1.2項で規定されるクラスⅠ、クラスⅡ、クラスⅢの3種）に対応して、宇宙適用非標準部品の品質レベルも次の3種にクラス分けしている。

- **クラスⅠ相当**：最も高い保証と最も低いリスクとなる。調達コストは一般的にクラスⅠが最も高い。

クラスⅠ：リスクなし => 評価及び調達時に徹底的な試験を実施済み、このクラスの宇宙適用非標準部品の基本的な品質・信頼性レベルは宇宙用部品と同等である。

- **クラスⅡ相当**：クラスⅠとクラスⅢの中間レベル

クラスⅡ（リスク/コストの妥協）に従い、限定されたスクリーニング試験が実施される

- **クラスⅢ相当**：最も低い保証と最も高いリスクとなる。調達コストはクラスⅢが最も低い。

クラスⅢ（コストの抑制）に従い、評価及び調達の試験は限定されたものとなる

- 品質レベルに応じた試験条件（評価試験、スクリーニング試験、ロット保証試験）は、フランス CNESの文書を参考に、代表例として記載されている。

- RNC-CNES- Q-ST-60-100 General Requirements for the use of Commercial EEE Parts in Space Applications
- なお、上記文書をベースに欧州としての標準ECSS-Q-ST-60-13：Space product assurance- Commercial electrical, Electronic and Electromechanical (EEE) components が制定されている。

表2 品質レベル比較サマリ（集積回路、個別半導体の代表例）<sup>[1]</sup>

	クラスⅠ	クラスⅡ	クラスⅢ
<b>評価試験</b>	<p>全て</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>電気特性(常温、高温、低温+10°Cマージン)</li> <li>プレコンディション+高度加速ストレス試験(HAST)96h又は高温高湿バイアス試験(THB)1000h[1]</li> <li>寿命試験 2000h、125°C+DPA</li> <li>プレコンディション+500 熱サイクル -55°C/+125°C</li> <li>放射線評価(TID、SEE)</li> <li>アウトガス試験</li> </ul>	<p>全て</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>電気特性(常温、高温、低温+10°Cマージン)</li> <li>プレコンディション+高度加速ストレス試験(HAST)96h又は高温高湿バイアス試験(THB)1000h[1]</li> <li>寿命試験 2000h、125°C+DPA</li> <li>プレコンディション+500 熱サイクル -55°C/+125°C</li> <li>放射線評価(TID、SEE)</li> <li>アウトガス試験</li> </ul>	<p>全て</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>放射線評価(TID、SEE)</li> <li>アウトガス試験</li> </ul>
<b>(仕様文書)</b>	<p>データ収集</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部品メーカーのデータ</li> <li>承認状況</li> <li>評価試験</li> <li>調達検査と試験</li> <li>ロット保証試験</li> <li>耐放射線試験データとRVIT</li> </ul>	<p>データ収集</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部品メーカーのデータ</li> <li>承認状況</li> <li>評価試験</li> <li>調達検査と試験</li> <li>ロット保証試験</li> <li>耐放射線試験データとRVIT</li> </ul>	<p>データ収集</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部品メーカーのデータ</li> <li>承認状況</li> <li>評価試験</li> <li>調達検査と試験</li> <li>ロット保証試験</li> <li>耐放射線試験データとRVIT</li> </ul>
<b>スクリーニング試験</b>	<p>全て</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>X線</li> <li>シリアルナンバー付け</li> <li>10熱サイクル、-55°C/+125°C</li> <li>PIND試験[2]</li> <li>中間電氣的試験 @25°C</li> <li>ダイナミックバーンイン 240h、125°C</li> <li>最終電氣的試験、@常温、高温、低温</li> <li>PDA(5%)</li> <li>気密性[2]</li> <li>外部目視検査</li> </ul>	<p>限定(データがあれば)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PIND試験(適用する場合)</li> <li>気密性(適用する場合)</li> </ul> <p>+データがない場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>シリアルナンバー付け</li> <li>10熱サイクル、-55°C/+125°C</li> <li>中間電氣的試験 @25°C</li> <li>ダイナミックバーンイン 240h、125°C</li> <li>最終電氣的試験、@常温、高温、低温</li> <li>PDA(5%)</li> <li>外部目視検査</li> </ul>	<p>限定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PIND試験(適用する場合)</li> <li>気密性(適用する場合)</li> </ul>
<b>ロット保証試験</b> (スクリーニング試験された部品で適用される場合)	<p>全て</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>プレコンディション+高度加速ストレス試験(HAST)96h又は高温高湿バイアス試験(THB)1000h[1]</li> <li>寿命試験 2000h、125°C+DPA</li> <li>プレコンディション+100 熱サイクル -55°C/+125°C</li> <li>RVIT(放射線実証試験)</li> </ul>	<p>全て(ただし寿命試験は1000h)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>プレコンディション+高度加速ストレス試験(HAST)96h又は高温高湿バイアス試験(THB)1000h[1]</li> <li>寿命試験 1000h、125°C+DPA</li> <li>プレコンディション+100 熱サイクル -55°C/+125°C</li> <li>RVIT(放射線実証試験)</li> </ul>	<p>限定(データがあれば)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造解析</li> <li>RVIT(放射線実証試験)</li> </ul> <p>限定(データがあれば)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プレコンディション+高度加速ストレス試験(HAST)96h又は高温高湿バイアス試験(THB)1000h[1]</li> <li>寿命試験 1000h、125°C+DPA</li> <li>プレコンディション+100 熱サイクル -55°C/+125°C</li> </ul>

注：  
[1] PEM (プラスチックパッケージ) に適用  
[2] ハーメチックパッケージに適用

出所)

1. JAXA, <https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-0-052A.pdf>

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（4/7）

23-003-T-014

JAXA

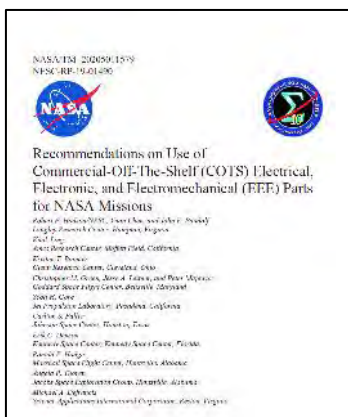
NASA

ESA

NASAではリスク管理の観点から、ミッションのクラス分類やCOTS部品に関わる推奨事項（選定、調達、適用、検証等）を示しており、プロジェクトで生じるリスクを最小化するためのMEAL要件を全ミッションで定義することを求めている。COTS部品はMEAL要件を満たす必要がある。

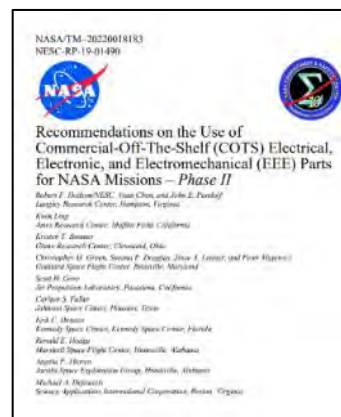
## NASAによるCOTS導入の取り組み（1/2）

## NASAミッションにおけるCOTS部品の使用に関する勧告 -Phase I



COTS部品に関わる推奨事項を提供する文書<sup>[1]</sup>を2020年に公開。2020年時点での、NASAミッションにおけるCOTS部品使用に関する慣行や、使用に係るリスク、COTS部品の選択・検証・適用・耐放射線性の保証に関するベストプラクティス、及び提言が示された。2022年の更新で、提言はPhase II文書内での記載に変更された。

## NASAミッションにおけるCOTS部品の使用に関する勧告 -Phase II



2022年にCOTS部品に関わる推奨事項を提供する文書Phase II<sup>[2]</sup>を公開。ミッションクラス別のCOTS部品の導入要件や、検証プロセス及び技術的評価基準に関するガイダンスが示されている。導入要件に関してはMEAL要件を満たすことが求められている。また、Phase I文書から更新されたリスク特定や部品選択などの項目ごとに、COTS利用に関する提言が記載されている。



## MEALに基づくリスクを最小化するための検証戦略のガイドライン

標準部品及びCOTS部品問わず、プロジェクトのリスクを最小化するための検証ガイドライン<sup>[3]</sup>が2018年に制定されている。

TRLを重視しており、検証の目的は、テスト・分析・検査・実証等を通じて、製品が要求される機能を提供し、パフォーマンス要件であるMEAL（Mission Environment, -Application, -Lifetime）要件を満たすことを証明することと定義されている。

▶ ガイドラインでは、COTS導入のためにはプロジェクトに応じたMEAL要件を定義する必要があると記載。

出所)

1. NASA, [Recommendation on the Use of COTS EEE Parts for NASA Mission](#)
2. NASA, [Recommendation on the Use of COTS EEE Parts for NASA Mission - Phase II](#)

3. NASA, [Guidelines for Verification Strategies to Minimize RISK Based On Mission Environment, -Application and -Lifetime \(MEAL\)](#)
4. NASA, [NASA Efforts In Utilizing COTS Electronics In Mission Systems](#)

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（5/7）

23-003-T-014

JAXA

NASA

ESA

NASAでは、ミッションを5クラスに分類し、COTS部品に関わる推奨事項として各クラスにおける評価基準を設定している。また、これまで各組織でおこなっていたCOTS選定に関して、NASAが推奨導入フローを示すことでCOTS部品の選択基準の統一を図っている。

## NASAによるCOTS導入の取り組み（2/2）

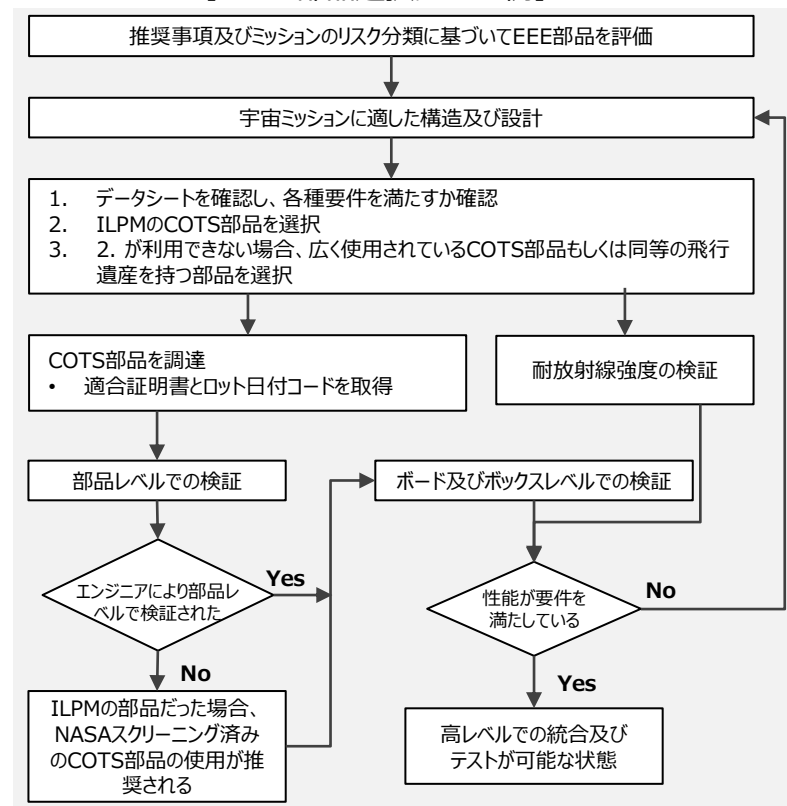
- ミッションのクラス分類を、戦略の優先度や複雑性などの観点から、5つに区別している。[1][2]

クラス	A	B	C	D	Sub-D
ミッション基準					
戦略の重要性	最高	高	中	低～中	低
ミッション期間	長	中長	中	短～中	短
複雑性 (設計や開発)	高	中～高	中	低～中	低
適性レベル	宇宙	軍用	軍用	軍用/商用	商用

- COTS部品導入に係る評価は、5つの方法が組み合わされている[2]

評価の種類	概要
米軍MIL規格スクリーニング	該当するMIL規格を検証する
NASAスクリーニング	NASAの要件に記載されている特定のテスト及び閾値を検証する
COTS製造メーカーテスト	業者独自の方法で、欠陥部品および早期に故障する可能性が高いと考えられる部品を除去する
部品適性	設計プロセスと製造プロセスを検証し、部品がデータシート要件を満たすことを確認し、後続スクリーニングテストのベースラインを提供
ILPM※による部品	ILPMによって製造された高品質で信頼できる、“確立された”COTS部品は追加テストが不要とされている

## 【COTS部品選択フローの例】[2]



出所)

1. NASA, [Recommendation on the Use of COTS EEE Parts doe NASA Mission](#)
2. NASA, [Reccomendation on the Use of COTS EEE Parts for NASA Mission - Phase II](#)

※ILPM : Industry Leading Parts Manufacturers

## NASAのミッションクラスに応じた衛星例

23-003-T-014

JAXA

NASA

ESA

- NASAのミッションクラス（クラスA～D）に応じた衛星分類は、優先度・重要度、コストや期間等に基づき分類されている。
- クラスAは、高コスト・長期間の探査・観測衛星（JWST等）が該当する。クラスBやCでは、ミッション規模や期間等に応じて段階的に小規模となり、クラスDでは、非常に短期の衛星やISS搭載の実験装置が該当する。

※ 引用元<sup>[1]</sup>

出所)

1. Safety and Mission Assurance Directorate, [A NASA GSFC perspective on Class D](#)
2. SPACENEWS, [Senate bill restores funding for NASA science and technology demonstration missions](#)

3. NASA, [The Global Precipitation Measurement Mission \(GPM\)](#)
4. NASA, [Neil Gehrels Swift Observatory](#)
5. NASA, [Missions - LCROSS](#)



## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（6/7）

23-003-T-014

JAXA

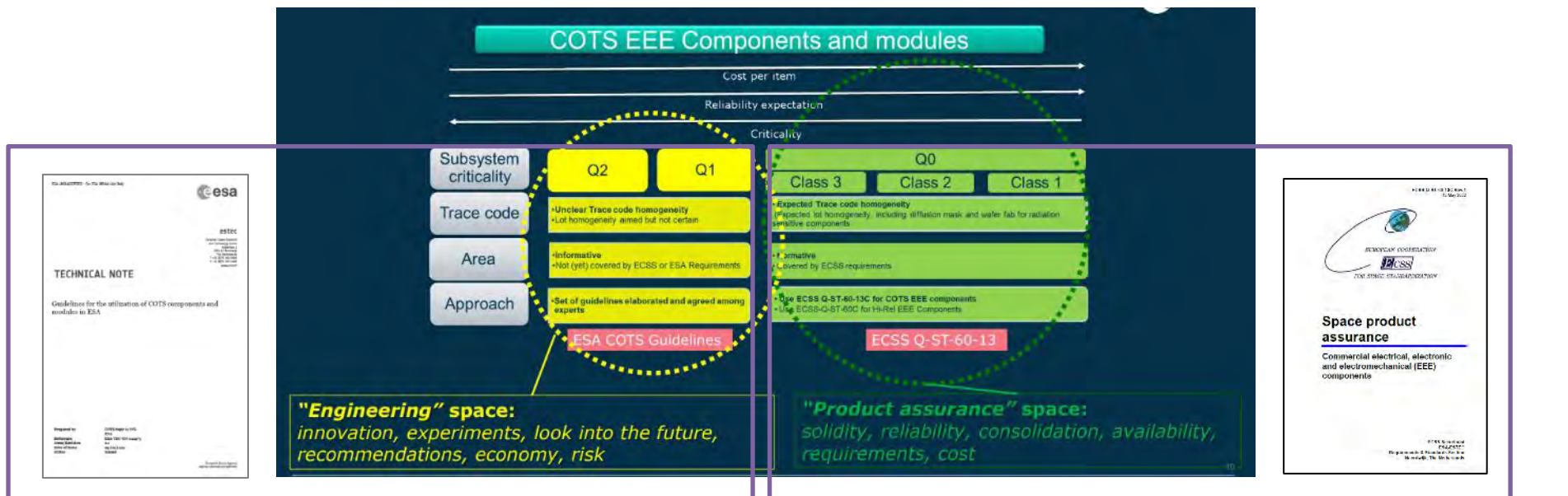
NASA

ESA

ESAでは、従前よりESAミッションに適用するCOTSの試験・検証をECSS文書に基づき実施。なお、ESAでは、短期間・低コスト（R&D領域等）のミッションへのCOTS適用について、ESAガイドラインを新たなる作成（2021年）している。

## ESAによるCOTS導入の取り組み

- ESAでは、ECSSの標準文書（ECSS-Q-ST-60-13）に基づき、COTSの検証・試験を実施している。一方で、ECSSの標準文書で定義されているミッション区分では、短期間・低コスト（R&D領域等）のミッションが明確に含まれていなかったため、当該ミッションに関するガイドラインをESAが2021年に作成（ESA COTS Guidelines）した。<sup>[1][2]</sup>
- ミッション区分については次項を参照。なお、ESA COTS Guidelinesは、欧州関係者限定のため本調査ではECSS文書を中心に調査を行う。



ESA COTS Guidelines  
短期間・低コスト（R&D領域等）のミッションを明確化した文書を作成

ECSS-Q-ST-60-13C <sup>[1]</sup>  
従来からスコープとしていたミッション区分

出所)

1. ESA, [Utilization of COTS in ESA Missions](#)
2. ESA, [ESA Mission Classification And Evolution Of ESA RARM Approach For COTS EEE](#)

## 各宇宙機関のCOTS導入の取り組みに係る個別事例（7/7）

23-003-T-014

JAXA

NASA

ESA

ESAが制定した重要度の高いミッション区分 3クラスに係るCOTS部品の導入文書（ECSS標準）では、**検証テスト等に欧州宇宙標準協会（ECSS）の規格や米軍MIL規格を用いることで、COTS部品導入の基準を具体的にしている。**

## ESAによるCOTS導入の取り組み

● 最新の「COTSの宇宙転用に係る標準文書」<sup>[1]</sup>は、「宇宙部品に係る標準文書」<sup>[2]</sup>と共通でない部分を改訂もしくは新規事項として、COTS部品導入に係る要件を定義している。

- ミッションは戦略の重要性や予算等の観点で3つのクラスに分類される。
- **COTS部品として適用可能な商用部品の種類や、各部品の満たすべき技術パラメータがクラス毎に定義されている。**その他の電気、電子及び電気機構（EEE）部品は状況次第で導入が検討される。
- **検証テストの区分や検証内容、新たに設けたCOTS部品調達基準は、**欧州宇宙標準協会による規格と米軍MIL規格などを組み合わせて定義

【ミッションクラス分類】<sup>[1]</sup>

クラス	I	II	III
ミッション基準			
戦略の重要性	最高	高	中
目的と目標	最高優先度	高優先度	中優先度
予算	>700M€	200-700M€	50-200M€
ミッション期間	>10年	5-10年	2-5年
複雑性 (設計や開発)	高	中～高	低

【テスト区分】<sup>[1]</sup>

- 評価
- スクリーニング
- LAT<sup>※1</sup>テスト

【テスト例】<sup>[1]</sup>

- 構造解析
- 温度特性評価
- 寿命試験
- DPA<sup>※2</sup>
- 総合評価

【適用部品例】<sup>[1]</sup>

- ディスクリット部品
- 磁気部品
- マイクロ回路
- 抵抗チップ

【技術パラメータ例】<sup>[1]</sup>

- 機能性能
- 動作周波数
- データ/信号処理効率
- 相互接続の複雑さ

出所)

1. ESA, [ECSS-Q-ST-60-13C Rev.1 –Commercial EEE Components](#)
2. ESA, [Utilization of COTS in ESA Missions](#)

※1 LAT: Lot Acceptance Test ※2 DPA: Destructive Physical Analysis (破壊的物理解析)

# COTSの利用に関する調査サマリ

23-003-T-014

- コスト、納期、入手性等の観点からCOTS利用の拡大が望まれる中、各機関においてミッションのクラスに応じたCOTSの選定・評価に関する基準が示され、ニーズに従い順次改定が進められている

## ニーズの顕在化

- コストダウン
- 予算の制約
- 価格競争

- 短納期
- 納期短縮
- 大量生産

- 技術の発展
- 非宇宙分野の技術発展

- 調達構造の変化
- 民間からサービスを調達

## ニーズへの対応

## 実現の為に

- ✓ プロジェクト、客先要求に応じたCOTS部品の選定と適切な対策が必要
- 放射線、真空、高温、低温等に対する信頼性の確認や品質管理
- 宇宙用途へ適合させるための追加的な試験、改修の方法の策定

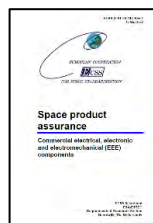
## 各国宇宙機関によるCOTS導入プロセス、指標の最適化

## 技術的トレンド

- ✓ ミッションの優先度、重要性、コスト等に応じ、COTSに適用される試験・検証項目を設定
- ✓ COTS導入要件や、検証プロセス及び技術的評価基準に関する基準の統一を目指す



COTS部品に関する推奨事項を提供する文章 [2020年]



COTSの宇宙転用に係る標準文書 (ECSS-Q-ST-60-13)



宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック[2016]

# COTSの利用に関する意識の調査

23-003-T-014

COTS利用の現状、問題意識をヒアリングし、各企業のCOTS部品に対する姿勢と課題を抽出した。

## COTS利用の状況・導入基準（ASTECC想定質問）

- 判断基準はJAXA標準に準拠させているのか。JAXAの標準文書の他に、他の第三者機関による基準や自社独自の基準はあるのか。
- 現行のJAXA標準におけるCOTS導入に関わる試験・検証基準について、基準が厳しい等の懸念を発注側に求めることはあるか。
- COTSの比重が比較的大きいミッションはあるのか。また、こういったコンポーネント／サブシステムを適用しているのか。

## COTS導入の課題（ASTECC想定課題）

### コスト

- ✓（契約先の）コスト削減要件等により求めるコストでは利益に結び付かない。
- ✓ 宇宙向けCOTSの品質レベルが高く、非宇宙分野向けよりも高いレベルが求められる。

### 検証・試験データ不足

- ✓ 自動車搭載用COTSは、宇宙向けの耐放射線や信頼性を評価するためのデータが不足している。
- ✓ COTSメーカーからの協力が限定的で、更なる試験・スクリーニングを十分に実施できない。

### 顧客ニーズの変化（GEO→LEO）

- ✓ 従来はGEO向けの製品を顧客が求めていたところ、今ではLEO向けの低価格製品を求める傾向がある。
- ✓ 一方で、コンステレーション向けのCOTS部品が比較的少量であるため、COTSの製造数が少ない。

# COTSの利用に関する企業の意識 -企業へのヒアリング結果-

23-003-T-014

- 民間企業側が抱える課題感として、「検証・試験データ不足」「試験設備の利用」に関する課題が挙げられる。
- 検証データを共有できるプラットフォーム、更に、必要な試験を実施する為の試験設備の拡充が必要と考えられる

## 衛星製造・運用企業の課題

### 各企業の基本姿勢

- COTS部品(非宇宙)単体だけでなく、COTS部品を搭載したコンポーネントレベルでの利用も多い。
- ミッションへのリスクをきちんと認識し、コスト・納期を総合的に考慮して利用を判断。
- COTS部品の利用について、自社のプロジェクトでない場合は、客先からの同意、理解も必要となる。客先の要求により判断。
- JAXAハンドブックはスクリーニングを目的としており、低コスト、納期短縮の為のCOTS部品採用基準としては過剰・不足がある。

### 企業が持っている課題

- COTS部品メーカーからは対放射線の評価データや信頼性に関するデータを入手できない、更には、宇宙用途となると販売してもらえない等、協力が限定的である。
- 非宇宙品の実績、放射線試験結果は競争優位を確保する為に共有されない場合が多い
- データベースがあれば有益だが、COTS品利用は機微な情報であり公開されにくい
- 実績がないもの、耐放射線や信頼性を評価するデータがないものは自社で検証する為、コスト、時間がかかる。
- 試験設備、特に放射線試験の設備(重粒子試験)の利用が限られるため、検証ができない。

## データを共有するプラットフォーム

- 海外ではCOTS部品の検証の代行、蓄積データの共有のサービスを提供する企業も存在する

## 試験設備の拡充

- 検証をスムーズに行う為の試験設備の拡充、特に放射線試験設備の拡充が望まれる

## 2. 調査結果の御報告

---

2.1. 令和4年度技術調査項目にかかる最新動向の調査分析

2.2 デブリ監視及び回避技術の調査分析

2.3 デブリ除去サービス技術の調査分析

2.4 推進薬補給技術の調査分析

2.5 軌道上製造技術の調査分析

2.6 COTSの利用に関する調査分析

**2.7 官民連携による研究開発に関する調査分析**

- 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。

# NASA STMD Commercial Partnerships : SBIR/STTR (1/2)

23-003-T-014

中小企業や非営利の研究機関による技術開発の支援策として、NASAはSmall Business Innovation (SBIR) 及び Small Business Technology Transfer (STTR) を通じた取組を進めている。

主体組織	NASA
Small Business Innovation (SBIR) & Small Business Technology Transfer (STTR) Programの概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NASA SBIR/STTR プログラムは、NASAのニーズを満たしており、かつ商業化に成功する可能性を秘めた革新的な技術の研究、開発、実証に資金を提供するものである             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ <u>従業員が500人以下の中小企業 (SBC)、または大学や研究所など非営利の研究機関 (RI) が対象となる。</u> 政府は、資金支援の引換に株主資本などエクイティを取得しない</li> </ul> </li> <li>● <u>当該プログラムを通じてNASA専門家と開発に取り組むことで、将来的にはNASAや他の政府プログラムでの採択への道も開かれている</u></li> <li>● Phase I (アイデア・概念実証段階) では <u>官民での費用分担に関して提案の評価要因にはなっていない</u></li> <li>● Phase II (研究開発段階) では <u>SBIR以外の資金源からの資金提供有無等が考慮される</u></li> </ul>

NASA SBIR/STTR PHASES

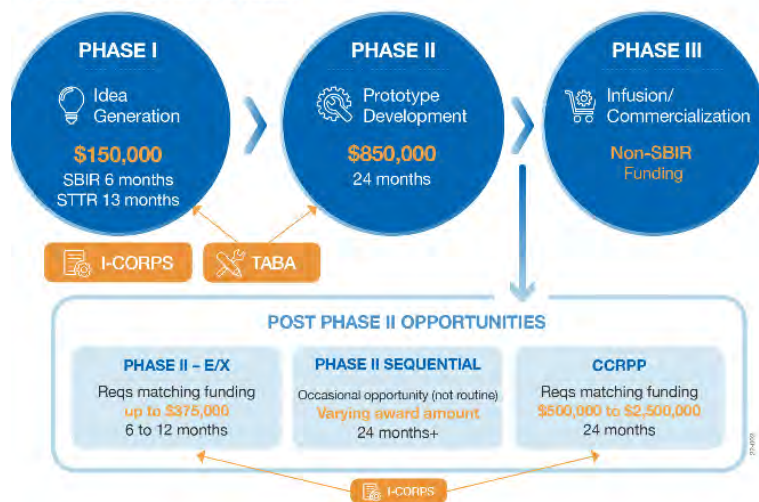


表 SBIR Phase IIにおける技術的な評価項目

評価項目	定義
① 科学的・技術的なメリットと実現可能性	技術的アプローチ及び研究から得られると予想される商業性、研究テーマの要求事項の充足性、技術的メリット、具体的な目標、計画等が提示されているか
② (提案者の) 経験、資格、施設	提案の研究責任者/PM、支援スタッフ、コンサルタント、下請け業者に対する研究活動との整合性。提案された技術的アプローチを達成するために必要な計測器や施設は適切であるか等
③ 提案された作業計画の有効性	作業計画案として、各目的またはタスクを達成するために計画された方法が詳細に記述されているか
④ 商業化の可能性	SBIRまたは他の研究の商業化の実績、民間企業またはSBIR以外の資金源からのPhase2資金の確約、アイデアの商業的可能性を示す指標が提示されているか等

出所)

1. NASA, [NASA SBIR & STTR Program Homepage](#)
2. NASA, [Solicitations](#)



# NASA STMD Commercial Partnerships : SBIR/STTR (2/2)

23-003-T-014

SBIRプログラムでのNASAの募集分野は、NASAのミッション部局により、各プログラムにおける優先度の高い研究課題と技術ニーズを踏まえ重点分野が毎年特定される。

## SBIRにおける重点分野（24分野）

Focus Area 1 In-Space Propulsion Technologies	推進技術
Focus Area 2 Power, Energy and Storage	電力、エネルギー、ストレージ
Focus Area 3 Autonomous Systems for Space Exploration	宇宙探査向け自律システム
Focus Area 4 Robotic Systems for Space Exploration	宇宙探査向けロボティクスシステム
Focus Area 5 Communications and Navigation	通信・ナビゲーション
Focus Area 6 Life Support and Habitation Systems	生命維持・居住システム
Focus Area 7 Human Research and Health Maintenance	有人研究・健康管理
Focus Area 8 In-Situ Resource Utilization	ISRU
Focus Area 9 Sensors, Detectors, and Instruments	センサー、検出器、機器類
Focus Area 10 Advanced Telescope Technologies	先進望遠鏡技術
Focus Area 11 Spacecraft and Platform Subsystems	衛星及びサブシステム
Focus Area 12 Entry, Descent, and Landing Systems	エントリ・降下・着陸システム

Focus Area 13 Information Technologies for Science Data	科学データ向けの情報技術
Focus Area 15 Materials Research, Advanced Manufacturing, Structures, and Assembly	材料研究、製造、構造、組立
Focus Area 16 Ground & Launch Processing	地上系及び打上プロセス
Focus Area 17 Thermal Management Systems	熱管理システム
Focus Area 18 Air Vehicle Technology	航空機技術
Focus Area 19 Integrated Flight Systems	統合飛行システム
Focus Area 20 Airspace Operations and Safety	航空運用・安全
Focus Area 21 Small Spacecraft Technologies	小型衛星技術
Focus Area 22 Low Earth Orbit Platform Utilization and Microgravity Research	LEOプラットフォーム利用、微小重力研究
Focus Area 24 Dust Mitigation and Extreme Lunar Environment Mitigation Technologies	ダスト軽減、月極限環境軽減技術

1. NASA, <https://sbir.nasa.gov/solicit/97360/detail?data=ch9>  
 2. NASA, <https://sbir.nasa.gov/solicit/97360/detail?l1=97535>

# NASA Space Act Agreement

23-003-T-014

**商業技術の発展を目的としたSpace Act Agreementでは、他の国プロと異なりNASAと民間企業間で権利分配を行う。**  
 なお、複雑な要求条件が無い場合、従来の契約形態では実現できないような形で民間企業との協力を進めている

## 主体組織

NASA

- NASAでは、契約、リース、協力協定といった種別以外にも、(Space Act Agreementを含む) OTを締結する権利を有している
  - NASAの政策綱領では、技術の商業化が施策の中心に位置付けられている他、NASAの商業化ハンドブックでも「技術の商業化を積極的に追及し、技術資産の恩恵を可能な限り幅広く国家経済に波及させること」がNASAの方針として掲げられている
- Space Act Agreementとは、NASAの設置法である国家航空宇宙法を根拠とする契約形態であり、民間企業の自律性を促すために、開発におけるマイルストーンや費用負担、責任の所在、知的財産権の配分について、自由に契約条件を作成することができる
  - NASAによれば、Space Act Agreementのように自由な契約形態を採ることで、国家航空宇宙法にあるような複雑な要求条件が定められた伝統的な契約形態では実現できないような形で民間企業との協力関係を築くことができ、如いては産業界の新たな努力を促す事ができる、としている

### Space Act Agreementの種類

### 内容

#### Reimbursable (償還型) Agreement

一定の条件を満たす場合に、契約を締結した民間企業がNASAの設備等を企業負担（有償）で使用できる内容（NASAが民間企業側の発明を使用する場合には、設備利用費を減免することも可）

#### Non-reimbursable (無償型) Agreement

NASA及び民間企業側のそれぞれが、契約実施にかかる費用を自己負担する内容  
 （ただ、NASAは職員や情報、設備などを提供することになるため、NASA側にとっても何かしらの利益がある場合に締結される）

#### Funded Agreement

NASAの宇宙開発を行うことを目的として、NASAが国内の民間企業に適切な資金を提供することを認める内容  
 ※但し本種別の適用は限られており、他の契約種別では目的達成できないと考えられる場合に限る  
 （米国内でアクティブなSpace Act Agreement全1249件の内10件が当該契約形態に基づく）

出所)

1. 特許庁技術懇話会, [米航空宇宙局 \(NASA\) における宇宙技術及び関連特許の活用](#)
2. 小塚荘一郎・笹岡愛美, 世界の宇宙ビジネス法
3. NASA, [Current Space Act Agreements](#)

## NASA NextSTEP-2 Omnibus : 評価基準

23-003-T-014

商業化をテーマとした官民パートナーシップによる深宇宙探査の研究開発プロジェクトNextSTEP-2 Omnibusでは、3つの評価基準（特定分野の目標達成能力、科学的・技術的メリット、コスト・価格）の加重が等しく評価されている

主体組織	NASA												
NEXT STEP-2の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NextSTEP（Next Space Technologies for Exploration Partnerships）は、深宇宙探査の商業開発を追求するための官民パートナーシップモデル             <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 本モデルでの重要な要素は、NASAと産業界が提携することでNASAによる有人宇宙探査での必要技術を開発すると同時に、産業界による商業化計画を支援するための機会を提供することにある</li> </ul> </li> <li>● 本公募形態は、<u>連邦調達ルール（FAR）に基づく、BAA（Broad Agency Announcement）と呼ばれる方式</u>が採られており、米国及び米国以外の機関（NASAセンター、その他のFFRDC及び政府機関、企業、大学、非営利団体）に門戸が開かれている</li> <li>● <u>公募範囲は探査分野の他、各種LEO商業活動等がオムニバスの束ねられており、</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ <u>各公募の詳細分野は共通的なBAAに紐づきAppendix（付録）形式で発表される</u>                (例) 付録H：Human Landing System、付録I：商業モジュールのISS接続</li> </ul> </li> </ul>												
NEXT STEP-2の評価基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 以下、<u>三つの評価要素（Factor）により提案書を評価される（なお各Factorの加重は等しい）</u></li> <li>● <u>公募分野によっては、個別の重点評価要素が示されている場合もある</u>          (例) 付録H（Human Landing System）では、技術的アプローチやマネジメントアプローチが重点評価要素として挙げられている</li> </ul> <table border="1" data-bbox="401 908 1908 1290"> <thead> <tr> <th></th> <th>評価要素</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>関連性</td> <td>政府（評価者）は、提案書がNASAミッションに貢献し、かつBAAの付録に記載されている目標への達成能力を評価する</td> </tr> <tr> <td>②</td> <td>科学的・技術的なメリット</td> <td>政府（評価者）は、提案された科学的／技術的アプローチの質、深さ、完全性、組織能力、主要要員の資質を評価する</td> </tr> <tr> <td>③</td> <td>コスト・価格</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 契約を締結するプログラムでは、政府（評価者）は価格の妥当性を評価する</li> <li>● 補助金及び協力協定を授与するプログラムでは、政府（評価者）は、提案された費用の現実性及び妥当性を評価する</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>		評価要素	定義	①	関連性	政府（評価者）は、提案書がNASAミッションに貢献し、かつBAAの付録に記載されている目標への達成能力を評価する	②	科学的・技術的なメリット	政府（評価者）は、提案された科学的／技術的アプローチの質、深さ、完全性、組織能力、主要要員の資質を評価する	③	コスト・価格	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 契約を締結するプログラムでは、政府（評価者）は価格の妥当性を評価する</li> <li>● 補助金及び協力協定を授与するプログラムでは、政府（評価者）は、提案された費用の現実性及び妥当性を評価する</li> </ul>
	評価要素	定義											
①	関連性	政府（評価者）は、提案書がNASAミッションに貢献し、かつBAAの付録に記載されている目標への達成能力を評価する											
②	科学的・技術的なメリット	政府（評価者）は、提案された科学的／技術的アプローチの質、深さ、完全性、組織能力、主要要員の資質を評価する											
③	コスト・価格	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 契約を締結するプログラムでは、政府（評価者）は価格の妥当性を評価する</li> <li>● 補助金及び協力協定を授与するプログラムでは、政府（評価者）は、提案された費用の現実性及び妥当性を評価する</li> </ul>											

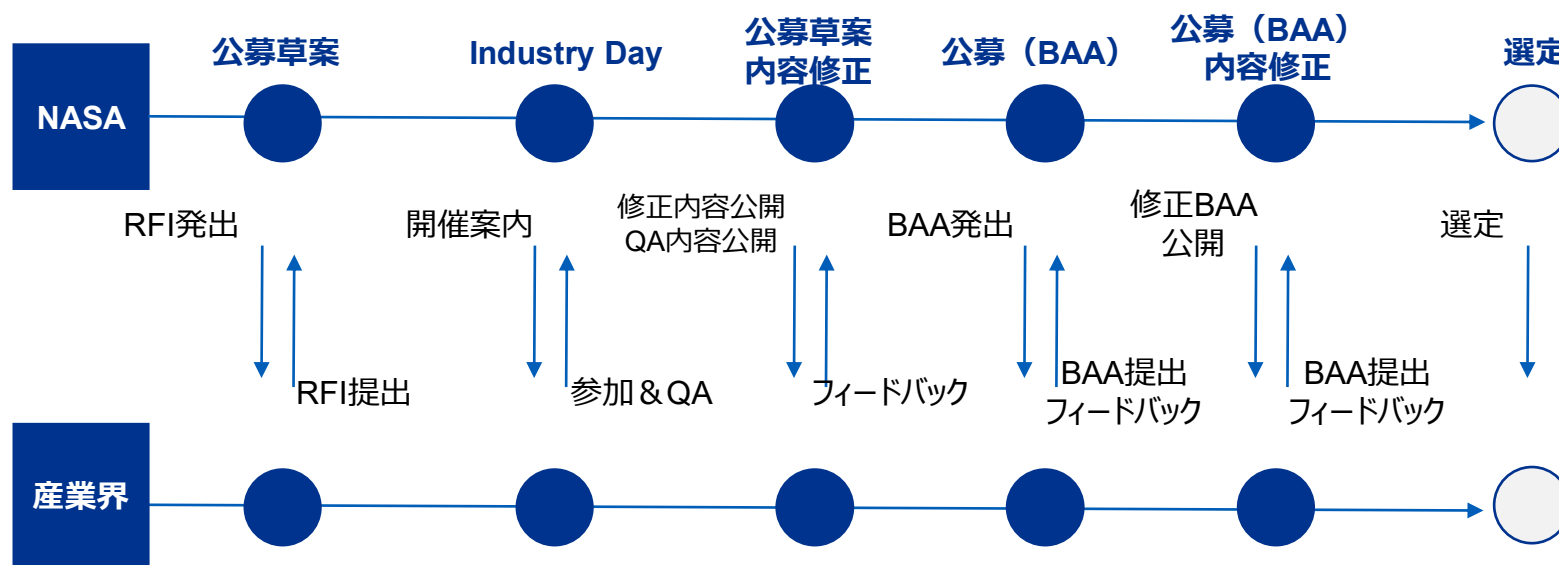
出所)

1. NASA, [NextSTEP Overview](#)2. NASA, [Next Space Technologies for Exploration Partnerships -2 \(NextSTEP-2\)](#)3. NASA, [Next Space Technologies for Exploration Partnerships -2 \(NextSTEP-2\) Appendix H: Human Landing System](#)

# NASA NextSTEP-2 Omnibus : 産業界等からのフィードバック反映プロセス 23-003-T-014

NASA NextSTEP-2 Omnibusでは、NASAが意見募集やIndustry Day、ブリーフィング等を複数実施することによって、産業界等からのフィードバックを公募内容へ反映している

## 【NASA NextSTEP-2 Omnibusにおける産業界等からのフィードバックの反映】



NextSTEP-2 Omnibusにおける付録H : Human Landing SystemのBAA発出を例にした、NASA公募における産業界等からのフィードバック反映プロセス

※米国では、入札競争に負けた企業は訴訟を起こすことで自由競争の環境を担保している  
 例) Human Landing System (HLS) の選定 (2021年) の中で、SpaceX社と競合したBlue Origin社は連邦裁判所に対して、SpaceX1社のみでの選定に抗議し、NASAを提訴。これを受けてNASAは自発的にSpaceXとの作業を一時停止。最終的に連邦裁判所はBlue Origin社の訴えを棄却、NASAのSpaceX社選定を支持した (なお2022年11月現在、SpaceXと並行して月面着陸船を開発する2番目の商業パートナーを選定するためのHLSのBAAが公開されている)

出所)

1. NASA, [NextSTEP Appendix P: Human Landing System Sustaining Lunar Development](#)
2. 文部科学省, [国際宇宙探査及びISSを含む地球低軌道を巡る最近の動向](#)

# ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems)

23-003-T-014

ESAは、衛星通信領域に関する産業支援プログラム「ARTES」を運用。2019年からは社会・経済課題等のニーズに改めて対応すべく戦略的なプログラムライン（5G・6G、安全・セキュリティ、光・量子通信）を追加。

## 概要

主体 ESA

範囲

衛星通信に関わる技術開発を主としたプログラムとして、調査・分析から軌道上実証に至るまで様々なフェーズが対象範囲となっている

### Strategic Program Line

- 5G・6G、安全・セキュリティ、光・量子通信

### Generic Program Line

- 市場分析、技術・システムの実現可能性検討等
- 通信システムに関する衛星プラットフォーム、ペイロード等の開発
- 官民連携による大規模製品・システム開発（EDRS等）
- 宇宙アセットを利用したサービス、アプリケーション等の開発
- 対象となるフェーズに応じてリスクも様々なため、政府負担割合※1（50-75%）を変えることで官民リスク負担を最適化している

期間・時期

- 特段の対象期間やターゲットとなる目標時期は設定されず
- ARTESのプログラムラインに紐づいているプロジェクト単位で技術ロードマップが設定されている

更新仕組

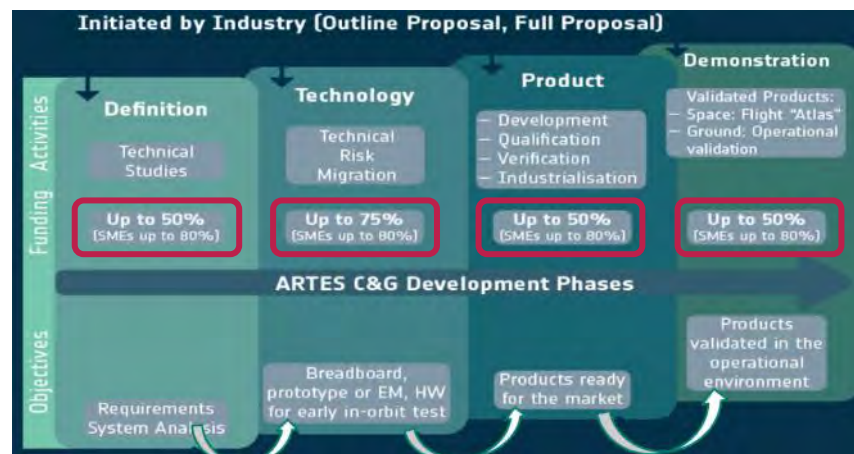
- 特段の対象期間やターゲットとなる目標時期は設定されていないものの、ESA閣僚級理事会（3年に一度）において、ARTESプログラム予算の調整・策定が実施されている

出所)

1. ESA, [ARTES What We Do](#)
2. ESA, [ESA Historical Timeline](#)
3. ESA, [ARTES How Apply](#)
4. ESA, [ARTES Core Competitive Objective](#)



対象となるプログラムライン



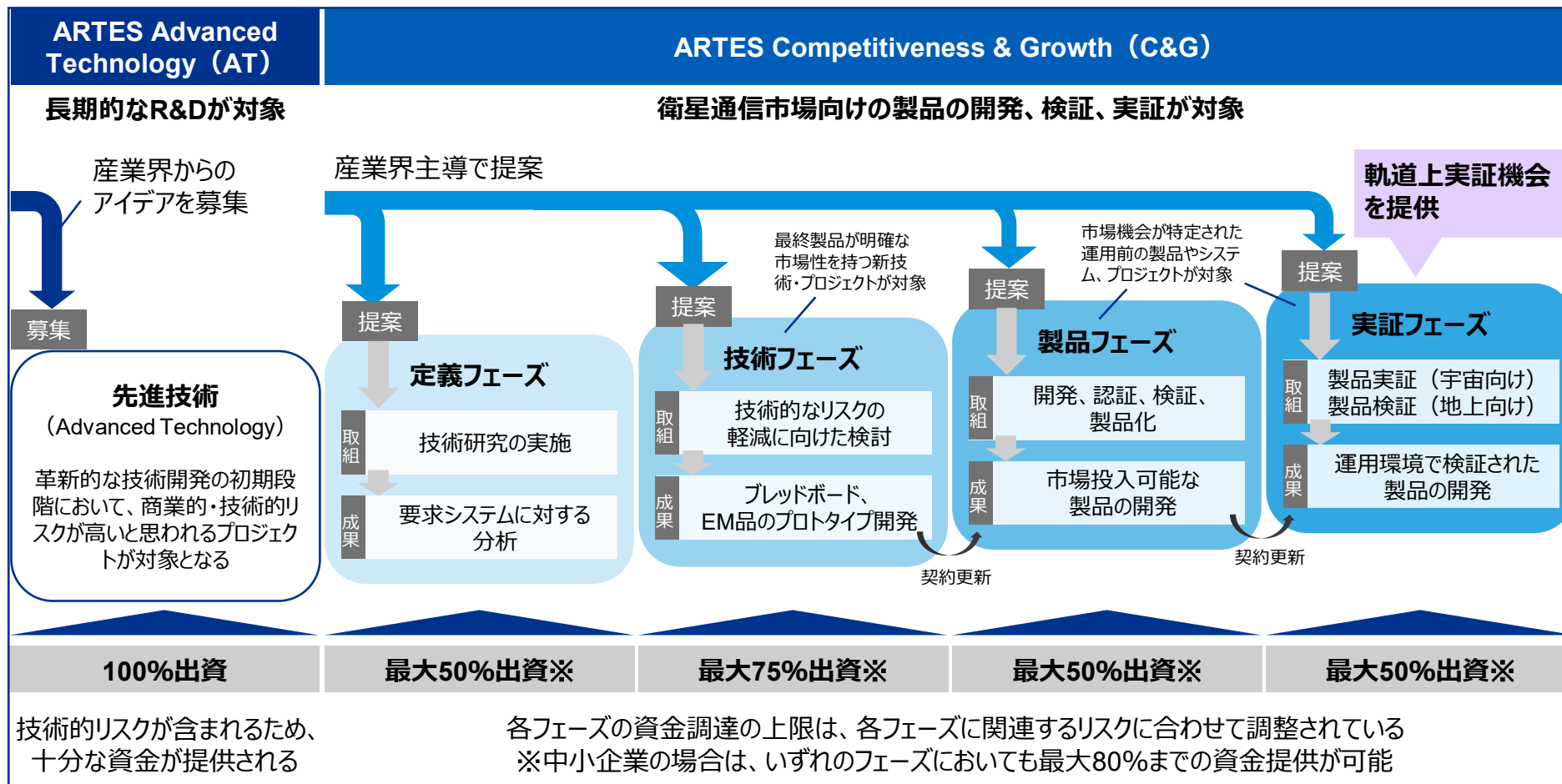
技術開発フェーズにおける政府負担の割合

※1) 高い商業的・技術的リスクが認識されている技術開発の初期段階にあるプロジェクトには全額（100%）資金を提供することとなっている

# ESA ARTES : ARTES Competitiveness & Growth (C&G)

23-003-T-014

ARTESでは、技術開発のフェーズや企業の規模（大企業か中小企業か）に応じて政府からの資金提供割合を変化させることにより、官民のリスク負担を最適化している。なお、実証フェーズにおいて軌道上実証機会を提供することで商業化を後押し。



1. ESA, [ARTES 4.0 Core Competitiveness Overview](#)
2. ESA, [ARTES How Apply](#)
3. ESA, [ARTES Competitiveness Growth](#)
4. ESA, [ARTES Advanced Technology Workplan](#)

# ESA ARTES : ARTES Future Preparations

23-003-T-014

ARTES Future Preparationsでは、「欧州産業の競争力向上」や「商業化を意図した将来的な投資回収のポテンシャル」といった点を重視した評価基準となっている

## 【ARTES Future Preparationsにおける評価基準】

- 初期技術またはシステムコンセプトを検討するARTES Future Preparationsプログラムでは、ESAが産業界等からのアイデア応募を受けた際の評価基準が示されている。通年で事業者からのアイデアを募集している。
- その評価基準の中では、特に「衛星通信部門の発展への貢献や参加国の産業競争力向上」、「将来的に開発コストを回収できると考えられる合理的な理由」の観点に対する比重が最も大きい

評価基準	定義	加重
Relevance 関連性	ESAの戦略的目標、特にARTESプログラムの戦略的目標と一致しているか否か（=衛星通信の分野の発展に関連しており、かつ5～10年といった中期スパンで実現可能であるか否か）	1
Potential for impact 影響度合い	提案されたアイデアは、 <u>衛星通信部門の発展に大きく貢献し、最終的に参加国の産業競争力を向上させる影響を与えるか否か</u>	3
Completeness and credibility 完全性と信頼性	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 提案された開発コンセプトが信頼でき、かつその説明が完全であるか否か</li> <li>✓ スタートとゴールが明確、かつ提案されたソリューション又はアプローチが明確に記述されているか否か</li> <li>✓ 活動のアウトプットやスケジュールが明確、かつ予算内で技術的に達成可能と見なされるか否か</li> </ul>	2
Potential for ROI 投資利益率	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 新たな活動は、<u>最終的に新製品・サービスへ繋がる可能性を秘めている必要がある</u></li> <li>✓ 将来的に開発コストを売上額から回収できると思われるだけの合理的な根拠があるか否か (<u>市場投入までの時間短縮、システムスループットの向上、運用コストの削減など、より高いレベル（衛星通信システムレベルまで）でのメリットを強調する必要がある</u>)</li> </ul>	3
Opportunity for ARTES participating state industry ARTES参加国の産業界に対する参加機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 本アイデアが、最終的にARTES参加国内に拠点を置く企業・組織に対する商業的なビジネスチャンスをもたらす可能性を秘めているか否か</li> <li>✓ ARTES参加国の産業界が参加できる市場に適用できるか否か</li> </ul>	1

1. ESA, [ARTES 4.0 Core Competitiveness Overview](#)
2. ESA, [ARTES How Apply](#)
3. ESA, [ARTES Competitiveness Growth](#)
4. ESA, [ARTES Advanced Technology Workplan](#)

# ESA Ambassador Platform

23-003-T-014

**ESA Ambassadorは、ESA・加盟国・企業の三者を跨ぐ架け橋として、ESA ARTESプログラムにおける様々な資金調達機会のアドバイスを含め、各種情報提供や潜在的なパートナーとのマッチング等を行っている**

<b>主体組織</b>	ESA
<b>ESA Ambassador Platformの概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESAはARTESプログラムの一環として、企業などへの資金支援、技術的な専門知識の提供、ビジネス指導などを実施している（=ESA Business Applications Programme）           <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>その一環として、ESA、加盟国、企業を繋ぐ窓口的な役割として、「ESA Business Applications Ambassadors」が欧州各国に置かれている</u>（2022年11月現在、9か国・16名）</li> </ul> </li> <li>● 各Ambassadorは、<u>ESA ARTESプログラムにおける様々な資金調達機会のアドバイスを含め、各種情報の提供、潜在的なパートナーとのマッチング（コンソーシアムの構築）、ビジネスケースの検証、申請プロセスにおける企業のサポート</u>を実施している</li> </ul>
<b>アンバサダー一覧</b>	<p style="text-align: center;">ESA Business Applications Ambassadors</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Czechia</b> ▲ Jana Kapounova</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Poland</b> ▲ Martyna Gatkowska</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Norway</b> ▲ Nils Haga</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Italy</b> ▲ Lorenzo Scatena ▲ Eleonora Lombardi</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Austria</b> ▲ Prof. Hans Sünkel ▲ Martin Mössler &amp; Inês Plácido</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Portugal</b> ▲ Jorge Pimenta ▲ Carla Duarte</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Belgium</b> ▲ Nicolas Helssen</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>United Kingdom</b> ▲ Kenneth Gordon ▲ Grant Day ▲ Lucia F. de la Bella ▲ Paul Singh Bhatia</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  <p><b>Germany</b> ▲ Bärbel Deisting</p> </div> <div style="width: 15%; text-align: center;">  </div> </div>

出所)

1. ESA, [Ambassador platforms](#)



# EU Global Action on Space

23-003-T-014  
 ASTEC殿資料（文科省殿  
 月例会）より抜粋

欧州委員会の防衛産業・宇宙総局（DG DEFIS）では、EU宇宙計画とその考え方を世界に広め、EUと世界の宇宙・非宇宙分野間での協力促進を目的としたEU Global Action on Spaceと称する取組を推進。

主体組織	EU
<b>Global Action on Spaceの概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EU Global Action on Spaceは、欧州委員会の防衛産業・宇宙総局（DG DEFIS）が新たに始めた取組             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ EU宇宙計画とその構成要素であるCopernicus、Galileo、EGNOSを世界に広めることで、<u>EUとEU外における宇宙・非宇宙分野での協力促進を目指している</u></li> </ul> </li> <li>● 様々なニーズとステークホルダをカバーする以下の3つの主要要素で構成されている。             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ビジネスコーチング                 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 45か国以上から成る計85人の専門家が、宇宙技術に関連したアドバイスのみならず、<u>異文化、法律、行政面などの観点に基づくビジネスアドバイス</u>を提供する</li> </ul> </li> <li>➢ 市場分析                 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 世界における宇宙エコシステムを理解した上で、ビジネス及び国際化戦略を設計していくための<u>グローバルマーケットレポートを提供する</u></li> <li>✓ アジア、アフリカ、北米を含む7地域のレポートが毎年更新されている</li> </ul> </li> <li>➢ イベント及びアウトリーチ活動                 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 特定の地域に特化したウェビナー、イベント、調査訪問などを開催することで、<u>EU及び非EUにおけるステークホルダ間の交流と協力の機会を創出する</u></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



ウェビナーイベント

出所)

1. EU, [Introducing the EU Global Action on Space](#)

# ESA Commercialisation Gateway / EU Technology Brokers

23-003-T-014

ESAは宇宙の商業化促進に係るESA Commercialisation Gatewayの一環として、宇宙と非宇宙の技術を繋ぐTechnology Brokers制度を展開している。

主体組織	ESA																																										
<b>ESA Commercialization Gatewayの概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 宇宙の商業化関連施策をまとめたポータルサイト。ESAが提供するサービスと、事業機会・ネットワーキングに関する施策や取り組みをパッケージ化して、<b>事業創成や資金調達、スケール化までを“Journey”として提供</b>。 <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>サービス</b>：技術サポートやスタートアップデータベース、パートナー企業とのマッチング支援、共有知的財産プラットフォーム、オンライン教育プラットフォームなどが提供されている</li> <li>✓ <b>事業機会・ネットワーキング</b>：オープンなプログラム一覧やコンペ、マーケットプレイスや市場トレンド、投資家やスタートアップ・中小企業とのネットワークなどが提供されている</li> </ul> </li> <li>● スタートアップに限らず、大企業も含めて対象にしており、ネットワーキングには投資家ネットワークや地域産業界やアカデミア、研究機関も加わっているとされる。</li> </ul>																																										
<b>Technology Broker制度の概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESA Commercialisation Gatewayのネットワーキング施策のひとつ。<b>地上先端技術の宇宙への取り込みと宇宙技術の地上への展開</b>を目的に、ESA認定のBrokerが、<b>テクノロジースカウティング</b>から、<b>市場分析</b>や<b>技術支援</b>、<b>顧客紹介</b>、<b>資金調達支援</b>などを提供する。</li> <li>● 現在ブローカーとして公開されている企業は9社で、研究機関やシンクタンク、コンサルティングファームが担っている。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="358 925 1976 1383"> <thead> <tr> <th>企業名</th> <th>所在国</th> <th>業種</th> <th>補足</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cesah GmbH</td> <td>ドイツ</td> <td>インキュベーション</td> <td>宇宙での事業創成と宇宙と核融合技術の技術移転に取り組んでいる。</td> </tr> <tr> <td>Eura AG</td> <td>ドイツ</td> <td>コンサルティング</td> <td>技術・イノベーションに強みを持ち、欧州全域で事業展開。DLRとも連携。</td> </tr> <tr> <td>The Technology Centre Prague</td> <td>チェコ</td> <td>研究機関/シンクタンク</td> <td>研究・開発・イノベーションの管理・政策を目的としており、ESAと宇宙技術の移転支援契約を締結。旧名称チェコ科学アカデミー技術センター。</td> </tr> <tr> <td>Brimatech</td> <td>オーストリア</td> <td>市場調査・コンサルティング</td> <td>技術市場に特化しており、オーストリア宇宙企業リストを編纂。</td> </tr> <tr> <td>Verhaert</td> <td>ベルギー</td> <td>コンサルティング</td> <td>技術イノベーションを専門としており、宇宙、セキュリティ分野なども手掛ける。</td> </tr> <tr> <td>Instituto Pedro Nunes</td> <td>ポルトガル</td> <td>インキュベーション</td> <td>民間の非営利企業。6つの研究所を保有している。</td> </tr> <tr> <td>SBIC Noordwijk</td> <td>オランダ</td> <td>コンサルティング</td> <td>宇宙専業であり、ESA BICやExpoも主催。</td> </tr> <tr> <td>NL Space Campus</td> <td>オランダ</td> <td>コンサルティング</td> <td>宇宙専業のコンサルティング企業。</td> </tr> <tr> <td>Creaction</td> <td>ルクセンブルク</td> <td>コンサルティング</td> <td>エンジニアリング、イノベーション、技術移転に強み。宇宙以外も対応。</td> </tr> </tbody> </table>			企業名	所在国	業種	補足	Cesah GmbH	ドイツ	インキュベーション	宇宙での事業創成と宇宙と核融合技術の技術移転に取り組んでいる。	Eura AG	ドイツ	コンサルティング	技術・イノベーションに強みを持ち、欧州全域で事業展開。DLRとも連携。	The Technology Centre Prague	チェコ	研究機関/シンクタンク	研究・開発・イノベーションの管理・政策を目的としており、ESAと宇宙技術の移転支援契約を締結。旧名称チェコ科学アカデミー技術センター。	Brimatech	オーストリア	市場調査・コンサルティング	技術市場に特化しており、オーストリア宇宙企業リストを編纂。	Verhaert	ベルギー	コンサルティング	技術イノベーションを専門としており、宇宙、セキュリティ分野なども手掛ける。	Instituto Pedro Nunes	ポルトガル	インキュベーション	民間の非営利企業。6つの研究所を保有している。	SBIC Noordwijk	オランダ	コンサルティング	宇宙専業であり、ESA BICやExpoも主催。	NL Space Campus	オランダ	コンサルティング	宇宙専業のコンサルティング企業。	Creaction	ルクセンブルク	コンサルティング	エンジニアリング、イノベーション、技術移転に強み。宇宙以外も対応。
企業名	所在国	業種	補足																																								
Cesah GmbH	ドイツ	インキュベーション	宇宙での事業創成と宇宙と核融合技術の技術移転に取り組んでいる。																																								
Eura AG	ドイツ	コンサルティング	技術・イノベーションに強みを持ち、欧州全域で事業展開。DLRとも連携。																																								
The Technology Centre Prague	チェコ	研究機関/シンクタンク	研究・開発・イノベーションの管理・政策を目的としており、ESAと宇宙技術の移転支援契約を締結。旧名称チェコ科学アカデミー技術センター。																																								
Brimatech	オーストリア	市場調査・コンサルティング	技術市場に特化しており、オーストリア宇宙企業リストを編纂。																																								
Verhaert	ベルギー	コンサルティング	技術イノベーションを専門としており、宇宙、セキュリティ分野なども手掛ける。																																								
Instituto Pedro Nunes	ポルトガル	インキュベーション	民間の非営利企業。6つの研究所を保有している。																																								
SBIC Noordwijk	オランダ	コンサルティング	宇宙専業であり、ESA BICやExpoも主催。																																								
NL Space Campus	オランダ	コンサルティング	宇宙専業のコンサルティング企業。																																								
Creaction	ルクセンブルク	コンサルティング	エンジニアリング、イノベーション、技術移転に強み。宇宙以外も対応。																																								

# NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) プログラム (1/2) 23-003-T-014

NASAにおける最も先進的な科学技術の取り組みとして、官民学を問わず、米国の起業家／研究者等をパートナーとして迎え入れながら、画期的なアイデアを創造し、将来のNASAミッションを変革し得るアイデアを育成するプログラム。

<b>主体組織</b>	NASA													
<b>NASA Innovative Advanced Concepts プログラムの概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NIACは、先見性のある航空宇宙コンセプトの初期研究を支援するプログラム。2012年より開始。20~30年先を見据え、NASAのミッションを劇的に改善する可能性のある研究開発提案は、以下の条件を満たす必要がある：             <ol style="list-style-type: none"> <li>① 航空宇宙アーキテクチャ、ミッション、システム・コンセプト</li> <li>② Exciting (ワクワクするアイデア)</li> <li>③ Unexplored (未開拓)</li> <li>④ Credible (信頼性)</li> </ol> </li> </ul>													
<b>各研究開発 Phaseと 資金提供について</b> <sup>[1][2]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 研究開発のフェーズ毎に期間と支援額が異なる（下表を参照）。</li> <li>● 毎年 NIAC Symposiumが開催され、<b>全ての研究開発の成果発表が公開</b>される。</li> </ul>													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="360 786 464 829">フェーズ</th> <th data-bbox="464 786 1245 829">基本情報（期間、資金とスケジュール）</th> <th data-bbox="1245 786 1989 829">概要</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="360 829 464 993">I</td> <td data-bbox="464 829 1245 993"> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>9か月</b>の研究期間を対象に<b>175,000ドル（約2,300万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で12~18件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年6月上旬リリース（受付開始）⇒2024年1月に選定結果の公表予定</li> </ul> </td> <td data-bbox="1245 829 1989 993">           全体的な実行可能性を検討し、技術準備レベル（TRL）を向上させるために、最長9ヶ月の期間が設けられている。第Iフェーズの採択者は、第IIフェーズの研究提案を行うことができる。毎年300件程度の応募があり、そのうち110~120件ほどに絞り込み、さらに詳細な提案書を元に選定し、12~18件が採択される。         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="360 993 464 1136">II</td> <td data-bbox="464 993 1245 1136"> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>2年間</b>の研究期間を対象に<b>60万ドル（約8,000万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で6~8件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年11月中旬リリース（受付開始）⇒2024年3月末に選定結果の公表予定</li> </ul> </td> <td data-bbox="1245 993 1989 1136">           最長2年間でコンセプト開発を実施する。研究者は、さらなる開発のためのロードマップを準備する必要があるものの、NASAまたは商業化に必要なレベルまで技術を完全に前進させることは期待されていない。         </td> </tr> <tr> <td data-bbox="360 1136 464 1305">III</td> <td data-bbox="464 1136 1245 1305"> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Phase IIの中から最も優れたプロジェクトを対象に、2年間</b>の研究費用として<b>200万ドル（2億6,500万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で1件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2024年2月上旬リリース（受付開始）⇒2024年6月中旬に選定結果の公表予定</li> </ul> </td> <td data-bbox="1245 1136 1989 1305">           さらに2年間、研究開発を継続する。最終段階は、NASA、他の政府機関、または商業パートナーに最も大きな影響を与える可能性のあるNIACコンセプトを戦略的に移行するように設計されている。         </td> </tr> </tbody> </table>	フェーズ	基本情報（期間、資金とスケジュール）	概要	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>9か月</b>の研究期間を対象に<b>175,000ドル（約2,300万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で12~18件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年6月上旬リリース（受付開始）⇒2024年1月に選定結果の公表予定</li> </ul>	全体的な実行可能性を検討し、技術準備レベル（TRL）を向上させるために、最長9ヶ月の期間が設けられている。第Iフェーズの採択者は、第IIフェーズの研究提案を行うことができる。毎年300件程度の応募があり、そのうち110~120件ほどに絞り込み、さらに詳細な提案書を元に選定し、12~18件が採択される。	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>2年間</b>の研究期間を対象に<b>60万ドル（約8,000万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で6~8件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年11月中旬リリース（受付開始）⇒2024年3月末に選定結果の公表予定</li> </ul>	最長2年間でコンセプト開発を実施する。研究者は、さらなる開発のためのロードマップを準備する必要があるものの、NASAまたは商業化に必要なレベルまで技術を完全に前進させることは期待されていない。	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Phase IIの中から最も優れたプロジェクトを対象に、2年間</b>の研究費用として<b>200万ドル（2億6,500万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で1件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2024年2月上旬リリース（受付開始）⇒2024年6月中旬に選定結果の公表予定</li> </ul>	さらに2年間、研究開発を継続する。最終段階は、NASA、他の政府機関、または商業パートナーに最も大きな影響を与える可能性のあるNIACコンセプトを戦略的に移行するように設計されている。	
	フェーズ	基本情報（期間、資金とスケジュール）	概要											
	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>9か月</b>の研究期間を対象に<b>175,000ドル（約2,300万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で12~18件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年6月上旬リリース（受付開始）⇒2024年1月に選定結果の公表予定</li> </ul>	全体的な実行可能性を検討し、技術準備レベル（TRL）を向上させるために、最長9ヶ月の期間が設けられている。第Iフェーズの採択者は、第IIフェーズの研究提案を行うことができる。毎年300件程度の応募があり、そのうち110~120件ほどに絞り込み、さらに詳細な提案書を元に選定し、12~18件が採択される。											
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>2年間</b>の研究期間を対象に<b>60万ドル（約8,000万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で6~8件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2023年11月中旬リリース（受付開始）⇒2024年3月末に選定結果の公表予定</li> </ul>	最長2年間でコンセプト開発を実施する。研究者は、さらなる開発のためのロードマップを準備する必要があるものの、NASAまたは商業化に必要なレベルまで技術を完全に前進させることは期待されていない。												
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Phase IIの中から最も優れたプロジェクトを対象に、2年間</b>の研究費用として<b>200万ドル（2億6,500万円）</b>の資金提供</li> <li>● 年間で1件の研究プロジェクトを想定</li> <li>● FY24スケジュール：2024年2月上旬リリース（受付開始）⇒2024年6月中旬に選定結果の公表予定</li> </ul>	さらに2年間、研究開発を継続する。最終段階は、NASA、他の政府機関、または商業パートナーに最も大きな影響を与える可能性のあるNIACコンセプトを戦略的に移行するように設計されている。												

出所)

1. NASA, NASA Innovative Advanced Concepts, <https://www.nasa.gov/content/apply-to-niac>
2. NASA, NIAC Symposium 2023, <https://www.nasa.gov/content/niac-symposium>

# NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) プログラム (2/2) 23-003-T-014

Phase	研究者の所属		研究タイトル (概要)	要素技術	原文URL
I-1	NASA	NASA Ames Research Center	流体望遠鏡：次世代の大型望遠鏡の実現に向けて（50m以上の大口径ミラー）	軌道上製造	<a href="#">Fluidic Telescope (FLUTE): Enabling the Next Generation of Large Space Observatories</a>
I-2	大学	University of Pennsylvania	中層圏探査を可能にする光泳動推進力	推進力	<a href="#">Photophoretic Propulsion Enabling Mesosphere Exploration</a>
I-3	NASA	NASA Glenn Research Center	格子閉じ込め核融合高速核分裂を利用した氷世界の（地球外生命体）海洋探査	惑星探査	<a href="#">Accessing Icy World Oceans Using Lattice Confinement Fusion Fast Fission</a>
I-4	大学	Massachusetts Institute of Technology	大型静電駆動宇宙構造物の曲げ成形（100m/m表面精度100m/m以上、比表面積10m <sup>2</sup> 以上の反射鏡の軌道上製造）	軌道上製造 (AM)	<a href="#">Bend-Forming of Large Electrostatically Actuated Space Structures</a>
I-5	民間企業	Lunar Resources, Inc.	月南極酸素パイプライン（月面で生成した酸素を輸送するための5kmのパイプラインをロボットが月面で製造）	軌道上製造 (AM)	<a href="#">Lunar South Pole Oxygen Pipeline</a>
I-6	大学	University of California	宇宙探査に画期的なペレットビーム推進。1トン以上の重量物を高速輸送するために、レーザーアブレーションによって推進される超高速（120km/s以上）の微小粒子ビームであるペレットビームを生成し、宇宙機を希望の軌道や目的地（高速軌道を含む）へと押し出す。20年以内に1トンのペイロードを500AU（天文単位）までの推進を検証する。	推進力	<a href="#">Pellet-Beam Propulsion for Breakthrough Space Exploration</a>
I-7	大学	University of Florida	火星への高速輸送を可能にする波動ロータートッピングサイクルを持つ新クラスのバイモーダルNTP/NEP	推進力	<a href="#">New Class of Bimodal NTP/NEP with a Wave Rotor Topping Cycle Enabling Fast Transit to Mars</a>
I-8	大学	University of Nebraska	火星居住のためのバイオミネラリゼーションを活用し自律的に成長する素材。火星のレゴリスをヤノバクテリアや菌類を用いて自ら成長し建材（丈夫なレンガ）となる技術。	火星での居住地建設	<a href="#">Biominalization-Enabled Self-Growing Building Blocks for Habitat Outfitting on Mars</a>
I-9	大学	MIT Haystack Observatory	長波長大天文台(GO-LoW)は、100kHzから15MHzの周波数での電波放射の検出を通じて、地球外惑星の磁場を測定する。	磁場の測定	<a href="#">Great Observatory for Long Wavelengths (GO-LoW)</a>
I-10	民間企業	Planet Enterprises	TitanAirによる最先端の液体収集技術。タイタン（土星の第6衛星）で降る液体メタンの雨を飛行中の飛行機の主翼や胴体で収集し、解析する技術。	惑星探査	<a href="#">TitanAir: Leading-Edge Liquid Collection to Enable Cutting-Edge Science</a>
I-11	民間企業	Ultra Safe Nuclear Corporation – Space	EmberCoreフラッシュライト：X線及びガンマ線を用いたフラッシュライト兼月面資源の特性調査	惑星探査	<a href="#">EmberCore Flashlight: Long Distance Lunar Characterization with Intense Passive X- and Gamma-ray Source</a>
I-12	研究期間	Rensselaer Polytechnic Institute	回折干渉コロナグラフ太陽系外惑星探査機 (DICER)：太陽型恒星を周回する10 pc以内のすべての地球型太陽系外惑星を検出し、その性質を明らかにする	惑星探査	<a href="#">Diffractive Interfero Coronagraph Exoplanet Resolver (DICER): Detecting and Characterizing All Earth-Like Exoplanets Orbiting Sun-Like Stars Within 10 pc</a>
I-13	研究期間	Rochester Institute of Technology	ラジオアイソトープ熱放射線によるセル発電機	発電	<a href="#">Radioisotope Thermoradiative Cell Power Generator</a>
I-14	民間企業	Positron Dynamics	エアロゲルに核分裂物質を封入した燃料を用いる新たなロケットエンジン (FFRE)	推進力	<a href="#">Aerogel Core Fission Fragment Rocket Engine</a>

出所) NASA, NIAC 2023 Phase I and Phase II Selections, <https://www.nasa.gov/directorates/spacetechniac/2023/>

## 日本の取組事例 宇宙分野特化

23-003-T-014

#	事例	特徴
1	商業デブリ除去実証プロジェクト (JAXA) <sup>[1]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 従前のJAXAプロジェクト（「衛星開発仕様」と「設計基準」を示して、民間事業者から衛星を調達する）と異なり、「サービス仕様」と「安全要求」を示して、「サービス」と「研究開発成果」を調達していく仕組み。</li> <li>• 民間事業者は「サービス仕様」と「安全要求」を満足する衛星を設計・製造・試験・運用する。JAXAの求めるサービスのみならず、企業自身のやり方での衛星開発や必要な技術実証ミッションを設定し、併せて実施することができる。</li> <li>• JAXAは技術アドバイス、試験設備の供用、研究成果の知財提供により、企業を技術的にサポートする。</li> <li>• 衛星の開発と運用に必要な資金はJAXAと民間事業者の両者がともに拠出するパートナーシップ型契約を締結。</li> </ul>
2	革新的衛星技術実証プログラム (JAXA) <sup>[2]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• プログラムの目的や進め方を踏まえ、RFIにて部品や機器の実証機会提供について広く情報の提供を求めた上で、提供された情報を参考に、民間の発想と主体性を取り込んだ将来の革新的衛星技術実証プログラムの進め方を検討し、RFPを发出する。</li> <li>• 宇宙基本計画で示された「衛星開発・利用基盤の拡充」の衛星開発・実証プラットフォームにおけるプロジェクトの戦略的推進の一環として、大学や研究機関、民間企業等が開発した部品や機器、超小型衛星、キューブサットに宇宙実証の機会を提供する。</li> </ul>
3	宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) (内閣府) <sup>[3]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 月面開発、衛星基盤技術等における研究開発を中心に、戦略的なプロジェクト選定（下記視点に基づく）が実施される。 <ol style="list-style-type: none"> <li>① 安全保障や経済成長などの観点から、自立性を維持・確保する上で優先度が高い</li> <li>② 官民の共通基盤として活用が期待される技術、又は、月面開発など様々な要素技術の結集・発展が必要な技術</li> <li>③ 縦割りの打破、各省連携</li> </ol> </li> </ul>
4	中小企業イノベーション創出推進事業 (SBIR) (内閣府) <sup>*1 [4]</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SBIRでは、研究開発成果の事業化を目指す中小企業者や研究者等のうち、当該研究開発が革新的であると認められるものを対象とした制度としている。 <ol style="list-style-type: none"> <li>① 革新的な新技術の研究開発が必要な領域</li> <li>② 将来的に実用化が期待される領域</li> <li>③ 新たな市場を生み出す可能性を有する領域</li> </ol> </li> <li>• 国の機関から研究開発型スタートアップ等への補助金や委託費の支出機会を増やす仕組みを作る。</li> <li>• それら補助金や委託費の効果を高めるため、公募や執行に関する統一的なルールを設定するとともに、研究開発成果の社会実装に向けて随意契約制度の活用など事業活動支援等を実施し、初期段階の技術シーズから事業化までを一貫して支援する。</li> </ul>

※1：本ページでは、中小企業イノベーション創出推進事業（SBIR）を宇宙分野における事例として記載しているものの、当該事業は分野横断的に実施されている

1. JAXA, 商業デブリ除去実証プロジェクト, <https://www.kenkai.jaxa.jp/crd2/project/>  
2. JAXA, 革新的衛星技術実証プログラム, <https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/index.html>  
3. 文科省, スターダストプログラムについて, [https://www.mext.go.jp/content/20210927-mxt\\_uchukai01-000018177\\_8.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210927-mxt_uchukai01-000018177_8.pdf)

4. 内閣府, SBIR, <https://sbir.csti-startup-policy.go.jp/about/develop.html>

## 日本の取組事例 非宇宙分野から宇宙分野へのスピニ

23-003-T-014

#	事例	特徴
5	J-SPARC (JAXA) [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>民間事業者とJAXAによるJ-SPARC窓口へコンタクトし、「事前対話」にて事業化意思、事業構想案を確認する。</li> <li>事業計画作成に向けJAXAとの役割分担が明確になった時点で、担当プロデューサー発議によるJAXA内での手続きを経て、必要な取り決めを締結後に「コンセプト共創」活動を開始。</li> <li>民間事業者等とJAXAが人的リソースや資金を持ち寄り、企画段階から早いサイクルで事業コンセプト等を共創し、早期の事業化またはJAXAにおけるプロジェクト化を目指す。</li> <li>各事業の特性、規模、技術開発要素等を踏まえ、適切な連携・推進体制を構築するとともに、実施プロセスを柔軟に設定し、事業化を出口とした協業を推進する。</li> </ul>
6	探査イノベーションハブ (JAXA) [2][3]	<ul style="list-style-type: none"> <li>探査活動に資する技術の創出を地上における技術課題解決と融合させ、4つの技術課題に沿ってRFI・共同研究の募集を実施：             <ol style="list-style-type: none"> <li>広域未踏峰探査技術</li> <li>自動・自律型探査技術</li> <li>地産地消型探査技術</li> <li>共通技術</li> </ol> </li> <li>宇宙探査用技術としてはTRL5（宇宙実証の手前）まで、地上応用としてはTRL6～7（実用化研究の手前）まで、技術レベルを引き上げる。</li> <li>JAXAから研究費の一部を提供する共同研究方式（JAXA専門スタッフが支援、クロスアポイントメント制度（企業・大学の身分を維持したJAXAへの出向制度、チャレンジ/アイデア型研究（1～2年間）から課題解決型（3年間）へのステップアップ制度、等）</li> </ul>
7	S-NET (内閣府・経済産業省) [4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙ビジネス・アイデア・コンテスト（S-Booster）や宇宙ビジネス投資マッチング・プラットフォーム（S-Matching）など、他の政府の施策とも連携を図り、入口段階から事業化段階まで切れ目のない支援を行い、関係府省・機関が一体となって、宇宙産業の振興を図る。</li> <li>「宇宙ビジネス創出推進自治体」の育成・支援、衛星データ利用等に関するワークショップの開催、情報発信の強化（S-NETの情報ポータルサイトの活用）、ハンズオン支援、異業種との連携支援などを提供。</li> </ul>
8	宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業（SERVISプロジェクト）（経済産業省） [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本として注力すべき宇宙用部品・コンポーネントについて、軌道上での実証機会の提供等を通じて、小型衛星・小型ロケットの競争力強化のための開発を支援する。</li> <li>民生分野の優れた部品・技術を活用して人工衛星等の低コスト化、高性能化、短納期化を実現すると共に、様々な産業における衛星データの利活用を促進するために、             <ol style="list-style-type: none"> <li>部品開発の参入障壁やコスト源となっている各種試験の効率的な試験手法・試験環境開発、</li> <li>部品の宇宙空間での正常な動作確認のための軌道上実証支援、</li> <li>民生技術を活用した部品を搭載した超小型衛星汎用バスの開発・軌道上実証支援</li> <li>特定地域を対象に複数種類の衛星データを調達し、様々な産業・地域の課題解決に資する衛星データ利用ソリューションの開発支援を実施。</li> </ol> </li> </ul>

1. JAXA, J-SPARC, <https://aerospacebiz.jaxa.jp/solution/j-sparc/outline/>2. JAXA, 探査イノベーションハブ, <https://www.ihub-tansa.jaxa.jp/introduction/>3. JAXA, 探査イノベーションハブ, <https://www.ihub->4. [tansa.jaxa.jp/rfp/rfp7/file/IntroductiontoActivitiesofTansa'X.pdf](https://tansa.jaxa.jp/rfp/rfp7/file/IntroductiontoActivitiesofTansa'X.pdf)5. S-NET, <https://s-net.space/about>6. 経産省, <https://www8.cao.go.jp/space/comittee/27-minsei/minsei-dai25/siryou2-1-7.pdf>

## 日本の取組事例 非宇宙分野中心

23-003-T-014

「★」の記載がある事例は、一件一葉形式にて詳細を後述

#	事例	特徴
9	経済安全保障重要技術育成プログラム (内閣官房・内閣府) [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>経済安全保障推進会議及び統合イノベーション戦略推進会議の下、内閣府、文部科学省及び経済産業省が中心となり、府省横断的に<b>経済安全保障上重要な先端技術の研究開発を推進するプログラム</b></li> <li><b>個別の技術の特性や技術成熟度等に応じて適切な技術流出対策をとりながら、研究開発から技術実証までを迅速かつ柔軟に推進する。</b></li> <li>複数年度にわたって柔軟かつ機動的な運用を可能とする基金制度のメリットを活かし、研究開発構想の実現に係る機動的かつ効果的な措置をとりながら、<b>研究開発開始時点から最大10年間の支援を行う。</b></li> </ul>
10	安全保障技術研究推進制度 (防衛装備庁) [2] ★	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>防衛分野での将来における研究開発に資することを期待し、先進的な基礎研究を公募するもの。特に革新性を有するアイディアに基づき、科学技術領域の限界を広げるような基礎研究を求めている。ハイリスク研究も大いに推奨される。SBIR制度の指定補助金等に指定。</b></li> <li>国内の研究機関に所属する研究者からの提案について、<b>所属機関と研究委託契約が締結される。</b></li> <li>小規模研究は最大3か年1,300万円～大規模研究は最大5か年20億円。</li> <li>研究成果は、広く民生分野において活用され、あるいは学術的な研究が深められ、さらに技術的に発展していくことが期待される。公開に制限はない。防衛装備品等へすぐに適用可能な研究を求める制度ではない。</li> </ul>
11	研究開発型スタートアップ支援事業 (NEDO) [3] ★	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発型スタートアップ支援事業では、「<b>シード期の研究開発型スタートアップ (Seed-stage Technology-based Startups) に対する事業化支援</b>」や「<b>橋渡し研究開発促進による事業化支援</b>」などを実施。</li> <li>「<b>シード期の研究開発型スタートアップに対する事業家支援</b>」においては、研究開発型スタートアップを支援する国内外のベンチャーキャピタルやシード・アクセラレーター等をNEDOが認定し、そのVC等が出資するシード期の研究開発型スタートアップへ実用化開発助成を実施。</li> </ul>

1. 内閣府, 経済安全保障重要技術育成プログラム, [https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen\\_anshin/kprogram.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/anzen_anshin/kprogram.html)  
 2. 防衛装備庁, <https://www.mod.go.jp/atla/funding.html>.

3. NEDO, [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100091.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100091.html)

# 防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度

23-003-T-014

内閣府によるSBIR（Small/Startup Business Innovation Research）制度の対象事業として、防衛装備庁が「安全保障技術研究推進制度」を推進。特に革新性を有するアイデアに基づき、科学技術領域の限界を広げるような基礎研究が求められる。いわゆるハイリスク研究も推奨される。

<b>主体組織</b>	防衛装備庁																																				
<b>安全保障技術研究推進制度の概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 防衛分野での将来における研究開発に資することを期待し、先進的な基礎研究を公募・委託する。</li> <li>● 対象とする研究テーマ（特に他省庁や民間での育成に期待できない技術分野）を提示した上で研究課題を公募し、外部有識者による審査の上、対策する研究課題を決定。<b>特に革新性、成果の波及効果が重視される。</b></li> <li>● <b>採択された研究課題の代表者が所属する機関と、研究委託の契約を締結する。</b></li> <li>● 大規模な投資が有効な基礎研究も対象となる。</li> <li>● 研究への介入はなし。研究成果について公表制限もない。広く民生分野で活用されることも期待される。</li> </ul>																																				
<b>安全保障技術研究推進制度における特徴的な取り組みについて</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● タイプCは、単純にタイプAよりも小規模な研究を求めているという性格のものではなく、<b>特に技術的にチャレンジングな応募が期待されている。</b></li> </ul> <p style="text-align: center;">表) 研究課題の各タイプについて<sup>[1]</sup></p> <table border="1" data-bbox="368 782 1226 1296"> <thead> <tr> <th rowspan="2">区分</th> <th colspan="2">大規模研究課題</th> <th colspan="2">小規模研究課題</th> </tr> <tr> <th>タイプS</th> <th>タイプA</th> <th>タイプA</th> <th>タイプC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>タイプ</td> <td>タイプS</td> <td>タイプA</td> <td>タイプA</td> <td>タイプC</td> </tr> <tr> <td>研究期間</td> <td>最大5か年</td> <td colspan="2">最大3か年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1件あたりの研究費（下限なし）</td> <td>最大20億円</td> <td>最大5,200万円/年</td> <td>最大1,300万円/年</td> <td></td> </tr> <tr> <td>各タイプの特徴</td> <td>提案されたアイデアを具現化し、その可能性と有効性を実証するところまでを指した基礎研究が対象。ただし、実用化に向けた実証までを求めるものではない。</td> <td>新規性、独創性又は革新性のある、研究テーマに合致した基礎研究が対象。</td> <td>より一層、独創的なアイデアに基づいた基礎研究が対象（準備状況は不問）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>契約形態</td> <td>国庫債務負担行為による研究期間全体を通じた複数年度契約</td> <td colspan="2">年度ごとの委託契約</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="1239 714 1951 1263" style="text-align: right;"> <p style="text-align: center;">図) 安全保障技術研究推進制度の概要<sup>[1]</sup></p> </div>			区分	大規模研究課題		小規模研究課題		タイプS	タイプA	タイプA	タイプC	タイプ	タイプS	タイプA	タイプA	タイプC	研究期間	最大5か年	最大3か年			1件あたりの研究費（下限なし）	最大20億円	最大5,200万円/年	最大1,300万円/年		各タイプの特徴	提案されたアイデアを具現化し、その可能性と有効性を実証するところまでを指した基礎研究が対象。ただし、実用化に向けた実証までを求めるものではない。	新規性、独創性又は革新性のある、研究テーマに合致した基礎研究が対象。	より一層、独創的なアイデアに基づいた基礎研究が対象（準備状況は不問）		契約形態	国庫債務負担行為による研究期間全体を通じた複数年度契約	年度ごとの委託契約		
区分	大規模研究課題		小規模研究課題																																		
	タイプS	タイプA	タイプA	タイプC																																	
タイプ	タイプS	タイプA	タイプA	タイプC																																	
研究期間	最大5か年	最大3か年																																			
1件あたりの研究費（下限なし）	最大20億円	最大5,200万円/年	最大1,300万円/年																																		
各タイプの特徴	提案されたアイデアを具現化し、その可能性と有効性を実証するところまでを指した基礎研究が対象。ただし、実用化に向けた実証までを求めるものではない。	新規性、独創性又は革新性のある、研究テーマに合致した基礎研究が対象。	より一層、独創的なアイデアに基づいた基礎研究が対象（準備状況は不問）																																		
契約形態	国庫債務負担行為による研究期間全体を通じた複数年度契約	年度ごとの委託契約																																			

出所)

1. 防衛省, [https://www.mod.go.jp/atla/funding/seidogaiyo\\_20230810.pdf](https://www.mod.go.jp/atla/funding/seidogaiyo_20230810.pdf)



## 【参考】防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度 ー採択例（1/2）ー

23-003-T-014

安全保障技術研究推進制度における研究課題には、宇宙分野の技術や宇宙での応用が見込まれる技術も含まれている。

## 令和5年度における採択研究課題一覧

タイプS：R5～R9 最大配分額：2,000,000,000円	タイプA：R5～R7 最大配分額：156,000,000円
衛星による測位・時刻同期の革新的な欺瞞対策技術の開発 (LocationMind)	脳科学とAIによる精神状態、認知能力の最適化に関する基礎研究 (KDDI総合研究所)
超高耐圧α型酸化ガリウムパワー半導体の高度化のための基礎研究 (FLOSFIA)	積層造形によるAl合金の熱物性と機械的特性の制御に関する研究 (川崎重工業)
高速放電技術のための新規コンデンサ材料の探索 (ファインセラミックスセンター)	ISBTの革新による未開拓周波数・常温動作QCLの研究開発 (理化学研究所)
UHTCマトリックス複合材料及びプロセス技術に関する研究 (超高温材料研究センター)	混晶エンジニアリングによる超高耐圧AlGaNパワー素子の創出 (AIST)
実験・計算科学の融合による革新的塗膜創製と機序解明の基礎研究 (GSIクレオス)	マルチ機能を持つ軽量・高強度マグネシウム合金の基盤構築 (熊本大学)
超短パルスレーザを用いたCBRNE検知ライダシステムの開発 (四国総合研究所)	タイプC：R5～R7 最大配分額：39,000,000円
計算力学とゲームAIを応用したOODA意思決定・群制御の研究 (クラスターダイナミクス)	物理法則に立脚した解釈性・説明性の高いマルチモーダルAI (RICOS)
パワーデバイス冷却機能強化を指向したダイヤモンドウェハ大型化 (AIST)	スピン偏極電子の磁場応答の可視化 (量子科学技術研究開発機構)
災害医療対応・外傷処置・外傷手術XR遠隔支援システムの開発 (北海道大学)	スピン波のカオス的干渉を利用する超高速物理演算デバイスの開発 (物質・材料研究機構)
層状無機固体の精密構造制御に基づく新規プロトン伝導体の創製 (熊本大学)	異種材料の低温大気圧耐食性接合と固相分離を両立する極薄架橋層 (物質・材料研究機構)
	ヒドroidイオンを利用した還元的分子検知と除去に関する基礎研究 (物質・材料研究機構)
	荒天中操船に対応したHMD型デジタルツインシミュレータ開発 (海上・港湾・航空技術研究所)
	高耐性を有する水中音響通信デジタル変復調方式の研究 (北見工業大学)
	電離圏プラズマを利用する新しい宇宙推進エネルギー工学 (大阪公立大学)

出所)

1. 日本の研究.com, <https://research-er.jp/categories/2376>

## 【参考】防衛装備庁の安全保障技術研究推進制度 一採択例（2/2）一

23-003-T-014

(続き)

## 令和4年度における採択研究課題一覧

タイプS：R4～R8 最大配分額：2,000,000,000円	タイプA：R4～R6 最大配分額：156,000,000円
飛沫中のウィルスを検出するグラフェン共振質量センサの研究（豊橋技術科学大学）	新たなデータ同化手法を使った海中水温・塩分推定／予測手法研究（JAXA）
マルチマテリアル接着接合を用いた航空機実現のための基礎研究（JAXA）	革新的SiCヘテロ接合技術を使った高周波デバイスの基礎研究（AIST）
データ科学と単粒子診断法を融合した新規赤外蛍光体開発の高速化（物質・材料研究機構）	ワイアレスな量子鍵配送のためのポータブル個体量子光源の開発（物質・材料研究機構）
<b>レーザー推進による衛星の運動制御のための宇宙用レーザーの開発（理化学研究所）</b>	CMC強化材用高耐熱性ジルコニア連続繊維の量産プロセスの確立（物質・材料研究機構）
マイクロ流体チップによる新規生物学的影響評価法に関する研究（量子科学技術研究開発機構）	3D積層造形プロセスのマルチフィジックスシミュレーション技術（物質・材料研究機構）
水中自律航行システムに向けた画像解析による位置推定手法の開発（いであ株式会社）	光ファイバDASと微動探査による地盤モニタリング手法の開発（防災科学技術研究所）
高速及び低電圧動作EMP防護素子とその回路に関する基礎研究（音羽電機工業）	全脳ネットワークを活用した革新的脳ダイナミクスイメージング法（国際電気通信基盤技術研究所）
水中航走体用レーザ通信に向けた光トラッキング技術の研究開発（ソフトバンク株式会社）	極超音速飛行における可変機構の耐熱性・気密性向上に関する研究（株式会社ネット）
有機正極二次電池の充放電機構の解明と高エネルギー密度化の研究（ソフトバンク株式会社）	<b>タイプC：R4～R6 最大配分額：39,000,000円</b>
波長・空間選択性に優れた量子カスケード素子の研究（東芝）	<b>小型衛星用マルチ加速モード同軸スラストの基礎研究（JAXA）</b>
海中通信・センシング向けの高性能配向電圧セラミックの基礎研究（日本電気）	軟磁性材料の高強度・高延性化に向けた欠陥磁気物性の計測と設計（物質・材料研究機構）
	グラフェンのスピン誘起ディラック電子とスピン拡散長の可視化（物質・材料研究機構）
	海洋状況把握（MDA）等に適用可能な革新的画像処理技術の研究（川崎重工業）

出所)

1. 防衛装備庁, <https://www.mod.go.jp/atla/funding/R04leaflet.pdf>

# NEDOの研究開発型スタートアップ支援事業

23-003-T-014

NEDOは、企業、大学、研究機関が有する技術シーズの発掘から事業化までを一貫して政策的に推進することで、研究開発型スタートアップの創出、育成を図り、経済活性化、新規産業・雇用の創出につなげることを目的としている。

<b>主体組織</b>	NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）
<b>研究開発型スタートアップ支援事業の概要</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>以下7つの実施項目それぞれにおいて公募と採択を実施。スタートアップへの支援により萌芽的技術開発を促す仕組みとなっている。             <ol style="list-style-type: none"> <li>NEDO Technology Commercialization Program (TCP)：起業家候補の人材発掘のため、ビジネスプランの構築を支援する研修及びビジネスプランコンテスト等を行う。</li> <li>NEDO Entrepreneurs Program (NEP)：起業家候補人材を公募・採択し、ビジネスプランの構築等の事業化可能性調査及び事業化促進検討を行う。</li> <li>シード期の研究開発型スタートアップに対する事業化支援：研究開発型スタートアップを支援する国内外のベンチャーキャピタルやシード・アクセラレーター等を認定し、そのVC等が出資するシード期の研究開発型スタートアップへ実用化開発助成を実施する。</li> <li>橋渡し研究開発促進による事業化支援：橋渡し研究機関と共同研究等を行う研究開発型ベンチャーの公募・審査を経て交付。</li> <li>企業間連携スタートアップに対する事業化支援：事業会社と共同研究等を行う研究開発型スタートアップを公募・審査し、交付。</li> <li>事業会社と連携する構想を持つ研究開発型スタートアップに対する事業化支援</li> <li>高度専門産業支援人材育成プログラム</li> </ol> </li> </ul>
<b>研究開発型スタートアップ支援事業における特徴的な取り組みについて</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実施項目③はスタートアップを支援するVCを通じた支援、④は橋渡し研究機関との共同研究、⑤⑥は事業会社との連携が含まれ、<b>シード期の研究開発型スタートアップに限らず、様々な関係者を巻き込む研究開発を支援する枠組み</b>となっている。</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>上図) ③ シード期の研究開発型スタートアップに対する事業支援の流れ<sup>[1]</sup></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>右図) ④ 橋渡し研究開発促進による事業化支援<sup>[1]</sup></p> </div> </div> <p style="text-align: right; font-size: small;">※既に共同研究先が橋渡し研究機関として確認されている場合は申請不要</p>

出所)

1. NEDO, [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100091.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100091.html)

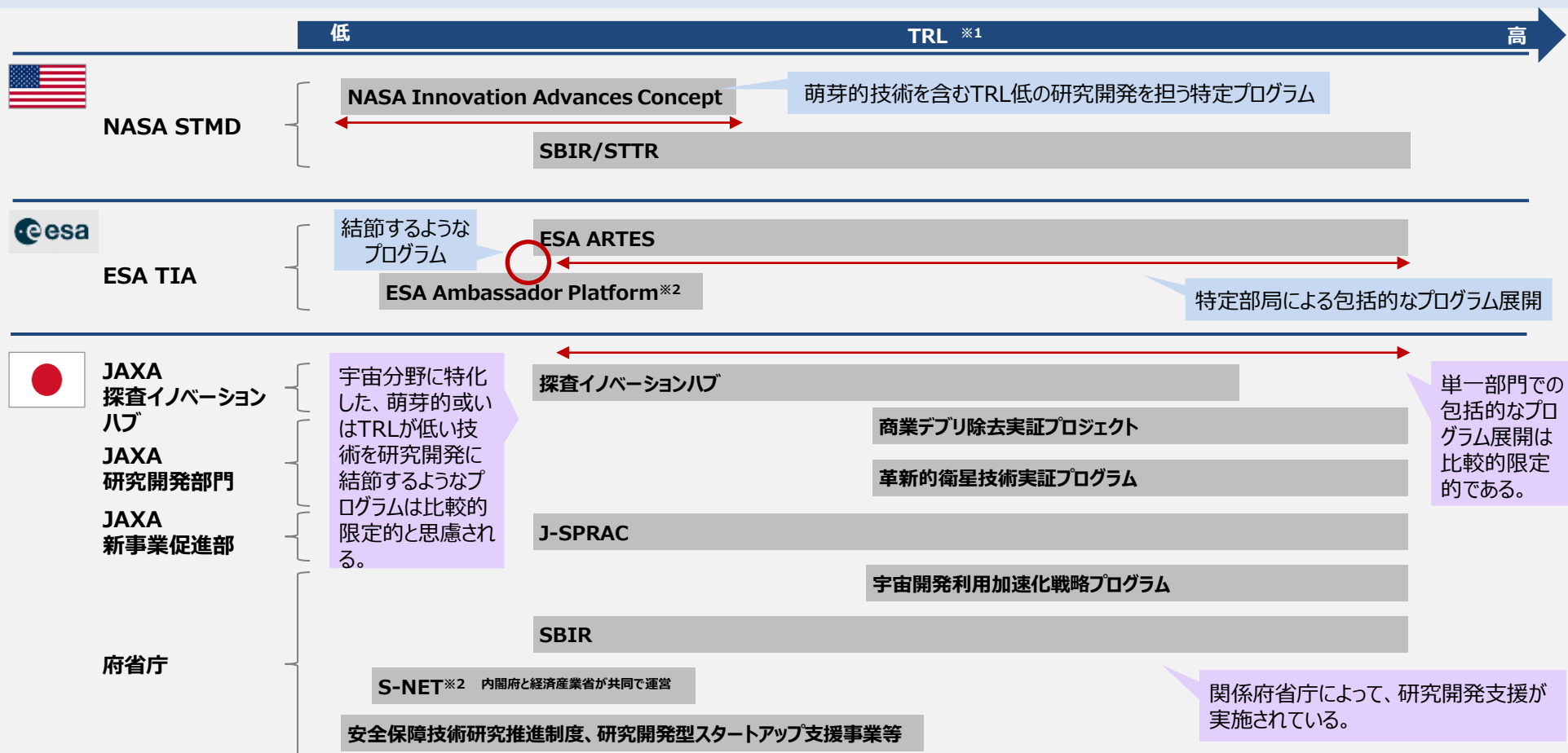
## 米欧での官民連携の各種選定プロセスの分析（投資領域の選定、評価基準等）-003-T-014

- 米欧の官民連携の案件の選定においては、各政府、宇宙機関の上位戦略文書や政策を前提としながら、産業界からの意見も反映されるプロセスが設けられているものが多い。
- 評価基準においては、プロジェクト毎で幅広く設定されている

官民連携事例（抜粋）	官側の注目分野や投資領域の選定プロセス	民側から出てきたものからどれを優先的に採用するのか、どういう評価基準で決めているのか	ボトムアップ・トップダウン型（官主導か、民主導か）
NextSTEP-2 Omnibus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASAの探査分野における戦略に対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3つの評価基準（特定分野の目標達成能力、科学的・技術的メ리트、コスト・価格）の加重が等しく評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA主導で公募・選定を実施する。</li> <li>• 但し、選定プロセスの中で、NASAが意見募集やIndustry Day、ブリーフィング等を複数実施することによって、産業界等からのフィードバックを公募内容へ反映。</li> </ul>
ESA ARTES ARTES Future Preparations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESAの衛星通信分野における戦略に対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 欧州産業の競争力向上や商業化を意図した、将来的な投資回収のポテンシャル多寡が評価基準に含まれる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESAが大枠の募集項目を提示した上で、通年で産業界主導でアイデア提案を実施する。</li> </ul>
ESA ARTES ARTES Competitiveness & Growth (C&G)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESAの衛星通信分野における戦略に対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 事業者側の事業計画、技術関連、マネジメント関連、プロジェクト実施関連、財務関連、契約関連の幅広い観点から評価。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESAが大枠の募集項目を提示した上で、通年で産業界主導でアイデア提案を実施する。</li> </ul>
SBIR/STTR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASAの各ミッション部局での各プログラムにおける優先度の高い研究課題と技術ニーズを踏まえ重点分野が毎年特定される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase I（アイデア・概念実証段階）では「官民での費用分担に関して提案の評価要因にはなっていない</li> <li>• Phase II（研究開発段階）ではSBIR以外の資金源からの資金提供有無等が考慮される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA主導にて提案分野が設定される。</li> </ul>

## 宇宙機関に係る官民連携事例の比較

- NASAやESAでは、単一の部門が展開しているプログラムでTRLを幅広くカバーしている点が特徴的である。また、NASAは、萌芽的技術を含むTRL低の研究開発を担うプログラムを実施。ESAでは、非宇宙分野から宇宙分野への結節も推進している。
- 日本では、JAXA/府省庁等が複数プログラムにおいて多様なTRLカバーしている一方で、宇宙分野に特化した「萌芽的或いはTRLが低い技術を底上げした上で、次の研究開発に橋渡しをするようなプログラム」や「幅広いTRLを包括するプログラム」が限定的と思慮される。



## 官民連携による研究開発に関する事例の調査結果 –まとめ (1/2) –

23-003-T-014

- 調査対象において、米欧では、TRL低の研究開発を担うプログラムや、既存の宇宙プログラムとのマッチング含め、宇宙・非宇宙を結節することで研究開発を促進する傾向が見られた。日本では、初期段階の技術シーズから事業化までを一貫して支援するSBIR制度が始動している。他方で、官民連携による宇宙/非宇宙の結節は部分的な状況と慮される。

## 官民連携による萌芽的な技術の取り込み ※調査事例の内、該当事例のみ記載

	宇宙分野特化	非宇宙分野から宇宙分野へのスピニン	非宇宙分野中心
海外	<b>ESA ARTES</b> ✓ 初期技術またはシステムコンセプトを検討するARTES Future Preparationsプログラムでは、ESAが産業界等からのアイデア応募を受けた際の評価基準が示されている。通年で事業者からのアイデアを募集している。 欧州・米国では、TRL低の研究開発を担う特定プログラムが存在している。	<b>ESA Ambassador Platform</b> ✓ 企業へESA ARTESプログラムの資金調達機会のアドバイスや潜在的なパートナーとのマッチング等を実施。 <b>EU Global Action on Space</b> ✓ EUと世界の宇宙・非宇宙分野間での協力促進を目的とした取組を推進。 <b>Gateway / EU Technology Brokers</b> ✓ ESAは宇宙の商業化促進にを目的に宇宙と非宇宙の技術を繋ぐ制度を展開している。	(調査スコープ外) 欧州・米国では、既存の宇宙プログラムとのマッチング含め、宇宙・非宇宙を結節するプログラムが存在している。
	<b>NASA Innovation Advances Concept</b> ✓ NASA/NIACでは、20~30年先を見据え、先見性のある航空宇宙コンセプトに係る初期研究を支援している。 <b>SBIR/STTR</b> ✓ アイデア・概念実証段階から商業化に至るまで、段階的な支援が実施される。将来的にはNASAや他の政府プログラムでの採択への道も開かれている。		萌芽的技術を含むTRL低の研究開発プログラム
日本	<b>中小企業イノベーション創出推進事業 (SBIR)</b> ✓ 初期段階の技術シーズから事業化までを一貫して支援する。 <b>JAXA 探査イノベーションハブ</b> ✓ 探査活動に資する技術の創出を地上における技術課題と融合	<b>内閣府 S-NET</b> ✓ 入口段階から事業化段階まで切れ目のない支援を行い、関係府省・機関が一体となって、宇宙産業の振興を図る。	日本では、非宇宙分野において、官民連携により萌芽的技術を取り込むプログラムが複数存在している。 <b>防衛装備庁 安全保障技術研究推進制度</b> ✓ 防衛分野での将来における研究開発に資する科学技術領域の限界を広げるような基礎研究を求めている。 <b>経済安全保障重要技術育成プログラム</b> ✓ 個別の技術の特性や技術成熟度等に応じて、経済安全保障上重要な先端技術の研究開発を推進。 <b>NEDO 研究開発型スタートアップ支援事業</b> ✓ 「シード期の研究開発型スタートアップに対する事業化支援」や「橋渡し研究開発促進による事業化支援」等。

## 官民連携による研究開発に関する事例の調査結果 –まとめ (2/2) –

23-003-T-014

- 調査対象において、米欧では政府・宇宙機関主導の大方針に基づいた優先すべき技術分野が特定されている。特に欧州では、優先すべき技術分野において産業界主導での提案に基づく官民連携が実施されている傾向にある。
- 他方、日本では、個別テーマに関する実証段階前後でのプログラムに係る官民連携の枠組みへの注力が見られる。

## 官民連携の仕組み（技術投資領域の選定、評価基準等の仕組み） ※調査事例の内、該当事例のみ記載

	宇宙分野特化	非宇宙分野から宇宙分野へのスピニン	非宇宙分野中心
海外	<p><b>ESA ARTES</b></p> <p>✓ ESA方針を踏まえた大枠の募集項目に対して、<b>通年で産業界主導のアイデアを募集。事業者選定基準</b>には、事業計画、技術関連、マネジメント関連、プロジェクト実施関連、財務関連、契約関連の<b>幅広い観点から評価</b>。</p> <p><b>NextSTEP-2 Omnibus</b></p> <p>✓ <b>事業者選定基準</b>として、特に、3つの<b>評価基準（特定分野の目標達成能力、科学的・技術的メリット、コスト・価格）</b>の加重を等しく評価。</p> <p><b>NASA Innovation Advances Concept</b></p> <p>✓ 研究提案では、「<b>Exciting</b>（ワクワクするアイデア）」、「<b>Unexplored</b>（未開拓）」、「<b>Credible</b>（信頼性）」を<b>重視</b>。</p> <p><b>SBIR/STTR</b></p> <p>✓ NASA SBIRプログラムでのNASAの募集分野は、NASAのミッション部局により、<b>各プログラムにおける優先度の高い研究課題と技術ニーズを踏まえ重点分野が毎年特定</b>される。</p>	<p>ARTESでは、ESAの通信分野の方針を反映しつつ、産業界主導で提案される。</p> <p>欧州・米国では、商業化の観点<b>が</b>評価項目に含まれている。</p>	<p>(調査スコープ外)</p> <p>米国では、NASAのミッション部局により、各プログラムにおける優先度の高い研究課題と技術ニーズが反映されている。</p>
日本	<p><b>中小企業イノベーション創出推進事業（SBIR）</b></p> <p>✓ 国の機関から研究開発型スタートアップ等への補助金や委託費の支出機会を増やし、随意契約制度の活用など事業活動支援等を実施</p> <p><b>JAXA J-SPRAC</b></p> <p>✓ 民間事業者等とJAXAが人的リソースや資金を持ち寄り、企画段階から早いサイクルで事業コンセプト等を共創し、早期の事業化またはJAXAにおけるプロジェクト化を目指す。</p> <p><b>JAXA 商業デブリ除去実証プロジェクト</b></p> <p>✓ JAXAは技術アドバイス、試験設備の供用、研究成果の知財提供等のサポート。<b>衛星の開発・運用に必要な資金は官民で拠出</b>するパートナーシップ型契約を締結。</p> <p><b>JAXA 革新的衛星技術実証プログラム</b></p> <p>✓ <b>民間の発想と主体性を取り込み</b>つつ、将来の革新的衛星技術実証プログラムの進め方を検討。</p>	<p><b>宇宙開発利用加速化戦略プログラム(スターダスト)</b></p> <p>✓ 「<b>自立性を維持・確保する上での優先度が高い</b>」、「<b>官民の共通基盤として活用が期待される技術</b>、又は、<b>且面開発など様々な要素技術の結集・発展が必要な技術</b>」等の視点で戦略的にプロジェクト選定を実施。</p> <p>日本では、実証段階前後でのプログラムへの支援が実施する枠組みが複数存在している。</p>	<p><b>防衛装備庁 安全保障技術研究推進制度</b></p> <p>✓ 対象とする研究テーマ（特に他省庁や民間での育成に期待できない技術分野）を提示した上で研究課題を公募し、外部有識者による審査の上、対策する研究課題を決定。<b>特に革新性、成果の波及効果が重視される</b>。</p>

# 官民連携による研究開発に関する意識の調査

23-003-T-014

官民連携について利用現状、問題意識をヒアリングし、さらに今後の取り組みへの示唆を検討した。

## 日本の事例

### 【宇宙分野】

- 商業デブリ除去実証プロジェクト(CRD2) (JAXA)
- 革新的衛星技術実証プログラム (JAXA)
- 宇宙開発利用加速化戦略プログラム (スターダストプログラム) (内閣府)
- 中小企業イノベーション創出推進事業 (SBIR) (各府省庁) 等

### 【非宇宙 (非宇宙分野から宇宙分野へのスピニン)】

- J-SPARC (JAXA)
- 探査イノベーションハブ (JAXA)
- S-NET (内閣府)
- 宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業 (SERVISプロジェクト) (経済産業省) 等

## 企業側の意見

- ✓ 企業側の官民連携を利用する目的は??
- ✓ 必要な連携、支援が得られているか
- ✓ 制度利用上の問題
- ✓ 参考とすべき海外の事例
- ✓ ……

## 今後の取り組みへの示唆

- ✓ 官主導の技術開発と商業化機会の提供のバランス
- ✓ 重点的な研究開発分野特定
- ✓ 民間事業者側がインセンティブを得られる仕組み作り
- ✓ アドバイスやマッチングを担う体制構築
- ✓ ……

海外事例を通じて日本が参考にすべき事項を踏まえつつ、日本の現状と不足している部分に関する示唆を出す。





# 官民連携による研究開発に関する意識の調査 -ヒアリング結果-

23-003-T-014

- 民間企業側が抱える課題感として、「萌芽的な技術からビジネス化につなげる支援」、「柔軟な契約形態と手続き」が挙げられる。
- 制度運営側においても今後のより利用しやすい連携の在り方の検討が継続している。

## 民間企業側の要望

### 企業側から求められる連携

- 開発としてではなく売り上げで計上できるアンカテナンシーの拡充が望まれる
- 軌道上での実証は1企業では困難であるため、官側からの機会の提供が望まれる
- リスクが高いものを実証し、失敗が許される開発プロジェクト
- 事業化の出口がはっきりしていない技術開発への支援（出口が見えれば自社で開発できる）
- 生産・量産設備、更に、試験設備の等、設備投資への支援の拡充が望まれる
- 実証の結果に応じてインセンティブがもらえる制度

### 実務上の課題

- 経済安全保障であれば、国益の観点で民間の投資を前提とせずには国主導でお願いしたい
- ビジネス環境に応じて柔軟に変更できる契約。スタートアップ企業においては、事業環境が目まぐるしく変化する
- 人件費、一般管理費などの規定が実情とかけ離れている。金額に応じた事務処理要求等、事務処理の簡素化
- 知財については発注者側帰属が多いが、商業化の上ではロイヤリティの軽減を検討してほしい
- 単年度予算となると、実質の作業時間が限られる

## 制度運営側の取り組み

### より利用しやすい制度への改善

- 採択から契約までの期間内の費用の保証、前金払いの制度
- 知財の帰属において、使用条件やライセンス料等の取り決めによって研究開発、連携を妨げることにならない制度の検討
- 非宇宙分野の声を拾い上げる仕組みの検討

## 官民連携による研究開発に関する調査サマリ

23-003-T-014

- 日本の宇宙機関・企業が参考にすべき事項として、「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」が挙げられる。
- 日本でも宇宙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のではないかと。

### 日本が参考にすべきと考えられる事項

#### 産業育成支援を見据えた研究開発プログラム

- ✓ 米欧では宇宙機関と産業界が提携することで、必要技術を開発すると同時に、産業界の商業化を支援するための機会提供を実施。我が国でも宇宙技術戦略のローリングの中で、産業界、企業の声を吸い上げる仕組みが求められるのではないかと。
- ✓ 日本では宇宙分野に特化した「萌芽的或いはTRLが低い技術を底上げして次の研究開発に橋渡しをするようなプログラム」や「幅広いTRLを包括するプログラム」が必要ではないかと。
- ✓ 開発戦略としては重点を置くべき研究開発だけでなく、中長期的な開発の方向性についても示されるべきではないかと。

#### 技術力向上に向けた柔軟な契約制度・支援策

- ✓ 日本は諸外国に比べ、民間事業を支えるアンカーテナンシーに関わる契約形態が求められるのではないかと。
- ✓ 費用の前払いや、実態に合わせた費用負担等を行いつつ、中長期的な開発計画を示すことで事業者側の事業投資予見性を後押しすることが、着実な技術力向上に必要ではないかと。

#### 官と民、宇宙と非宇宙を繋ぐ役割・体制構築

- ✓ CONSEOのような非宇宙が宇宙に入る機会を持てるコミュニティを使って宇宙と非宇宙を結束する体制を整えるべきではないかと。
- ✓ 宇宙技術戦略のローリングの中で、非宇宙の意見を取り入れる等、宇宙以外のTRLが低い研究開発も吸いあげる仕組みが必要ではないかと。

## 中間報告でのご指摘事項 ESA ARTESに関する追加調査事項

- ESA ARTESにおける官民費用負担の対象
- ESA/ARTESにおけるいわゆる還付制度について
- ESA ARTESにおける知財の取り扱いについて
- ESA ARTESにおける民間負担額の具体的事例

# ESA ARTESにおける官民費用負担の対象

23-003-T-014

【質問】ARTESにおいて補助率が変わるというのは全てが対象なのか、政府負担割合が発生しているのはごく一部ではないか。

【回答】ARTESプログラムの内、官民費用負担の対象は「ARTES Competitiveness & Growth」及び「Business Applications Space Solutions」である。なお、「Strategic Programme Line」についても官民費用負担が推測される。

ARTESプログラムライン	概要	官民費用分担
<b>Strategic Programme Line</b>		
Space for 5G	5G/6Gネットワークを構築・運用に係る衛星及び宇宙技術等が対象。	TRLステージに応じて政府資金提供がなされると推測されるが、現時点で詳細不詳。
Space Systems for Safety and Security (4S)	次世代の安全な衛星通信システム及び技術（地上インフラに係る安全性、セキュリティ及び抗たん性を高めるための標準化への支援を含む）等が対象。	
Optical Communication	次世代通信衛星システムを構築するための光及び量子通信技術等が対象。	
<b>Generic Programme Line</b>		
Future Preparation	戦略分析・市場分析、技術及びシステムの実現可能性調査、衛星通信規格サポートが対象	政府資金提供100%。但し、欧州産業の競争力向上や商業化を意図した、将来的な投資回収のポテンシャル多寡が評価基準に含まれる
Core Competitiveness	—	—
ARTES AT	革新的な技術開発の初期段階において、商業的・技術的リスクが高いと思われるプロジェクトが対象。	政府資金提供100%。技術的リスクが含まれるため、十分な資金が提供される。
ARTES Competitiveness & Growth	衛星通信市場向けの製品の開発、検証、実証が対象。	TRLステージに応じて政府資金提供（下記いずれのフェーズにおいても中小企業の場合は最大80%まで） <ul style="list-style-type: none"> <li>定義フェーズ：最大50%</li> <li>技術フェーズ：最大75%</li> <li>製品フェーズ：最大50%</li> <li>実証フェーズ：最大50%</li> </ul>
Partnership Projects	官民連携による大規模製品・システム開発が対象。	プロジェクトに応じてESAや各宇宙機関等による資金提供がなされると想定されるものの、官民費用負担率は不詳。
Business Applications Space Solutions	衛星データ利活用、アプリケーション等の開発が対象	プロジェクトフェーズに応じて政府資金提供（下記いずれのフェーズにおいても中小企業の場合は最大80%まで） <ul style="list-style-type: none"> <li>実現可能性調査：最大50%（最大€500k）</li> <li>実証プロジェクト：最大50%（提案内容による）</li> </ul>

1.

ESA, <https://connectivity.esa.int/what-we-do>

2.

ESA, [https://artes.esa.int/sites/default/files/ARTES\\_CC\\_Generic\\_overview\\_June\\_2022.pdf](https://artes.esa.int/sites/default/files/ARTES_CC_Generic_overview_June_2022.pdf)

3.

ESA, <https://connectivity.esa.int/future-preparation>

4.

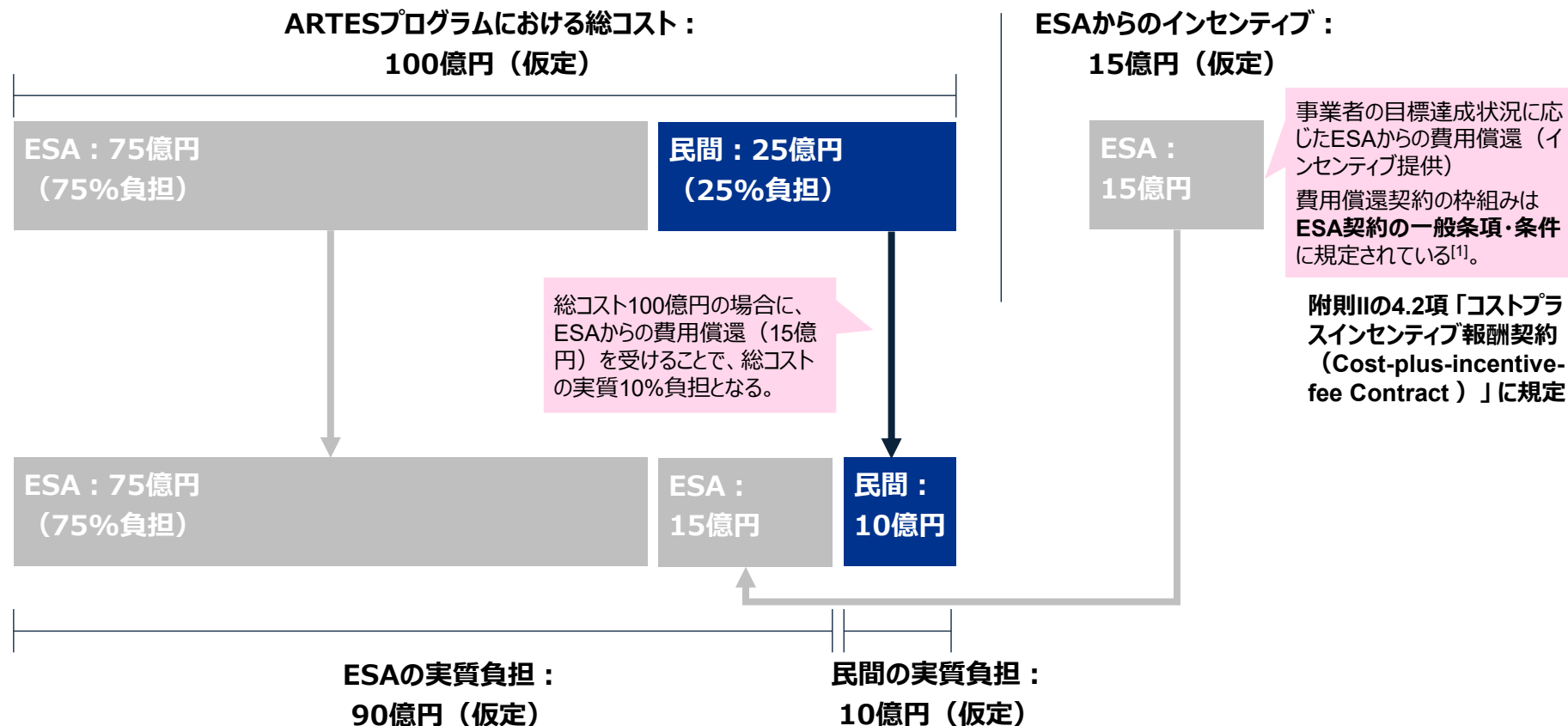
ESA, <https://connectivity.esa.int/artes-agile>

# ESA/ARTESにおけるいわゆる還付制度について

23-003-T-014

【質問】 入り口では持ち出しを求められるが、開発完了までいくと持ち出し分も還付されるという話を聞いたことがあるが実態をご存じか。

【回答】 ARTESプログラムでは、事業者の事業化目標の達成状況に応じて、ESAから費用償還（インセンティブ提供）を受けられることができる。本スキームによって、事業者は総コストの実質負担額を低減することができる。なお、費用償還に係る契約制度は、ESA契約の一般条項・条件において規定される。



1. ESA <https://esastar-publication-ext.sso.esa.int/supportingDocumentation/details/10>

# エキスパートインタビュー実施概要

23-003-T-014

ARTESプログラムにおけるディポジットの取り扱い等について、外部エキスパートへのインタビューを活用することとした。特に欧州関係者（ESA、企業等）から複数の回答を受領した（各回答は次項以降参照）。

## インタビュー方針

- ARTESのいわゆる「デポジット制度」についてデスクトップリサーチでは有益なファクトに辿り着けていない状況であるため、外部エキスパートへのインタビューを実施する。

## 利用サービス概要

- 海外（欧州）の外部エキスパートに対して、テキストベースで質問を投げ、5名以上から回答を得るサービスを利用。質問は外部エキスパートのみに開示される。利用サービス：[SPEEDA EXPERT RESEARCH \(ub-speeda.com\)](https://ub-speeda.com)

## 質問内容

### 【質問内容】

**ESA ARTESプログラムには、民間企業がESAから償還を受ける契約が含まれているか？**

### 【補足説明】

- 民間企業が負担する分の費用についても、目標達成状況に応じてESAが更に追加でReimbursementするような仕組みは実際に存在するか。もしYesである場合、その仕組みについて言及している公的な文書が存在するかどうか。
- ARTESプログラムでは、民間企業の費用負担割合について技術フェーズでは25%、製品・実証フェーズでは50%と規定されている。拠出した費用はESAへのデポジットとして扱われ、目標を達成した暁にはReimbursementされるため、実質的な民間企業の費用負担割合は10%程度になる。
- 欧州の宇宙産業育成支援策の具体的なルールを調査したい

### 【質問内容】

**Does ESA's ARTES program include a contract where private companies receive reimbursement from ESA?**

### 【補足説明】

- Based on the understanding that there is a specific cost-share rate between ESA and the private companies, we'd like to know whether there is a scheme in which costs incurred by companies are reimbursed according to the status of achievement of their commercialization targets/benchmarks?  
If yes, please provide us with the official document that indicates this contract terms.
- The cost-pricing terms of the ARTES program is that private companies bare 25% of the cost in the technology phase and 50% for the production & demonstration phase and the cost paid by the private sector is treated as a deposit to ESA. If a company achieves their commercial target goals, the company will be receiving additional reimbursement for their costs, which in some successful cases may lead to the contractor baring about only 10% of the total cost
- We would like to gain information on the specific measures and cost structures of how ESA is supporting the European space industry.

## エキスパートインタビュー結果 –回答– (1/5)

23-003-T-014

ESA ARTESプログラムには、民間企業がESAから償還（reimbursement）を受ける契約スキームやディポジットに関する扱いについて回答があった。

回答者1	Business Development Manager（トルコ）	
回答内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>ESA ARTESプログラムには、民間企業がESAから償還（reimbursement）を受ける契約が含まれている。</u>これは償還スキームと呼ばれる。</li> <li>● ESAと民間企業との間の費用負担率は、プロジェクトの段階（技術段階:ESA 75%、民間企業25%、製造・実証段階:ESA 50%、民間企業50%）によって異なる。<u>民間セクターが支払う費用はESAへの預託金（deposit）として扱われる。</u></li> <li>● <u>企業が商業上の目標を達成した場合、その企業はコストに対して追加の償還を受ける。成功した場合には、契約者が総費用の約10%しか負担しないことになるかもしれない。</u></li> <li>● 本契約条件を示す公式文書はARTES Core Rulesである。本マニュアルは、ESAの下記Webサイトから入手できる <a href="https://connectivity.esa.int/core-competitiveness">https://connectivity.esa.int/core-competitiveness</a></li> <li>● また、ESAは（事業者へ）下記も提供する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ESAの試験施設と専門知識へのアクセス</li> <li>➢ ビジネス開発とマーケティング支援</li> <li>➢ 研究開発のための資金調達</li> </ul> </li> <li>● ESA ARTESプログラムは、欧州の宇宙産業を支援するESA戦略において重要な部分である。ESAは資金面等の支援を通じて、欧州の企業が新しい宇宙関連製品やサービスを開発・商業化するのを支援している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Yes, the ESA ARTES program includes a contract where private companies receive reimbursement from ESA. This is known as the reimbursement scheme.</li> <li>● The cost-share rate between ESA &amp; private companies varies depending on the phase of the project: - Technology phase: 75% ESA, 25% private company - Production &amp; demonstration phase: 50% ESA, 50% private company The cost paid by the private sector is treated as a deposit to ESA.</li> <li>● If a company achieves their commercial target goals, they will receive additional reimbursement for their costs. In some successful cases, this may lead to the contractor bearing about only 10% of the total cost.</li> <li>● The official document that indicates these contract terms is the ARTES Core Rules. This document is available on the ESA website: <a href="https://connectivity.esa.int/core-competitiveness">https://connectivity.esa.int/core-competitiveness</a></li> <li>● ESA also provides: - Access to ESA test facilities &amp; expertise - Support for business development &amp; marketing - Funding for research &amp; development The ESA ARTES program is a key part of ESA's strategy to support the European space industry. By providing financial &amp; other support, ESA is helping European companies to develop &amp; commercialize new space products &amp; services.</li> </ul>

## エキスパートインタビュー結果 –回答– (2/5)

23-003-T-014

ARTES C&G要素には、民間企業が事業化目標またはベンチマークの達成状況に基づいてESAから償還を受ける契約は含まれない。共同出資レベルは各フェーズの開始時に固定され、製品の商業的成功に依存しないといった回答があった。

### 回答者2

### Product Manager (ポルトガル)

### 回答内容

- 衛星通信市場向け製品の開発・実証を支援するための一つの要素として、ARTES C&G (ARTES Competitiveness & Growth) がある。
- ARTES C&G要素には、定義、技術、製品、デモの4つの開発フェーズがある。各フェーズでは、製品のリスクと成熟度に応じて、ESAからの共出資レベルが異なる。共同出資のレベルは、事業者が産業界或いはアカademia界かによっても異なる。
- 各フェーズの共同出資レベルは次の通り。
  - Phase Definition 50%, 75% (Industry, Academia)
  - Technology 75%, 100% (Industry, Academia)
  - Product 50%, 75% (Industry, Academia)
  - Demonstration 25%, 50% (Industry, Academia)
- 共同出資レベルは、(上記の) 上限までで、ESAとESA関係国の裁量に従う。
- ARTES C&G要素には、民間企業が事業化目標またはベンチマークの達成状況に基づいてESAから償還を受ける契約は含まれない。共同出資レベルは各フェーズの開始時に固定され、製品の商業的成功に依存しない。
- One of the elements is the ARTES Competitiveness & Growth (ARTES C&G), which supports the development and verification of products for the satellite telecommunications market.
- The ARTES C&G element has four development phases: Definition, Technology, Product, and Demonstration. Each phase has a different co-funding level from ESA, depending on the risk and maturity of the product.
- The co-funding level also depends on whether the contractor is an industry partner or an academic partner. The co-funding levels for each phase are as follows:
  - Phase Definition 50%, 75% (Industry, Academia)
  - Technology 75%, 100% (Industry, Academia)
  - Product 50%, 75% (Industry, Academia)
  - Demonstration 25%, 50% (Industry, Academia)
- The co-funding level for an activity is subject to the discretion of ESA and the National Delegation concerned, up to the maximum level identified in the table above. The ARTES C&G element does not include a contract where private companies receive reimbursement from ESA based on the status of achievement of their commercialization targets or benchmarks.
- The co-funding level is fixed at the start of each phase and does not depend on the commercial success of the product.



# エキスパートインタビュー結果 –回答– (3/5)

23-003-T-014

達成状況に応じた償還に関わるインセンティブスキームや文面（ESA契約の一般条項等）での規定について回答があった。

回答者3	Consultant in EU law & EU Public Affair (ベルギー)	
回答内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <u>達成状況に応じた償還</u> (reimbursement) を<u>インセンティブスキーム</u> (incentive scheme) と言う。</li> <li>1. <u>ESA契約で導入される場合がある。ESA契約の一般条項及び条件</u> (参考: ESA/REG/002) と名付けられた文書に基づくと、当該スキームは、引渡日及び本契約に明確に定義されている履行パラメータを含む契約要件の履行に関連するものとする (条項17.3)。</li> <li>2. <u>当該 (契約に関わる) 構造は、附則IIの4.2項「コストプラスインセンティブ報酬契約 (Cost-plus-incentive-fee Contract) 」に規定されている。</u></li> <li>3. <u>バリュー・プロポジション (value proposition) を実現するためのコストの主な要素は、財務予測の作成に関するキャッシュフロー予測ワークブック (Cashflow Forecast Workbook) において示す必要がある。</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● A reimbursement according to the status of achievement is called an incentive scheme .</li> <li>1. It may be introduced in the ESAs Contract. According to the document named General Clauses and Conditions for ESA Contracts (ref : ESA/REG/002) : Such scheme shall be linked to the fulfilment of contractual requirements including delivery dates and performance parameters as specifically defined in the Contract. (source : Clause 17.3 of the named document).</li> <li>2. Its structure is laid-down in Annex II, clause 4.2 Cost-plus-incentive-fee Contract .</li> <li>3. Key elements of cost for realising the value proposition must be presented in the Cashflow Forecast Workbook designed to help on developing the financial forecast.</li> </ul>

## エキスパートインタビュー結果 –回答– (4/5)

23-003-T-014

商業的なインセンティブスキームの枠組みにおいて、商業化ベンチマークを達成した場合に追加の払い戻しを受けることを可能にすることや成功した場合、企業のコストが全体の10%に削減される主旨の回答があった。

回答者4	Quality Manager & Six Sigma Black Belt (オランダ)
回答内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ESAのARTESプログラムは、<a href="#">ARTES Industrial Contract (AIC)</a> を通じて宇宙製品/サービスの開発と商業化を促進し、契約条件と費用分担の取り決めを概説している。</li> <li>● 技術フェーズでは、ESAはコストの75%をカバーし、製造・実フェーズでは50%に低下する。</li> <li>● <a href="#">AICの下でのCommercialization Incentive Scheme (CIS)</a> は、<u>企業が商業化ベンチマークを達成した場合に追加の払い戻しを受けることを可能にする。成功した場合、企業のコストが全体の10%に削減され、製品の商業化が促進される可能性がある。</u></li> <li>● これらの側面を詳述する公式文書には、「<a href="#">ARTES Industrial Contract (AIC) Guide for Applicants</a>」と「<a href="#">ARTES Commercialization Incentive Scheme (CIS) Guide for Applicants</a>」が含まれている。</li> <li>● ESAの支援はARTESにとどまらず、欧州の宇宙プロジェクト全体に直接的・間接的な資金を提供し、欧州関係機関に係る調達契約の優先順位付けを行っている。</li> <li>● ESAビジネスインキュベーションセンター (BIC) やESA技術移転プログラム (TTP) などの技術移転イニシアチブは、宇宙技術の商業利用をさらに強化する。詳細は、「<a href="#">ESA Space Industry Support (ESAスペース業界サポート)</a>」を参照。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ESA's ARTES program facilitates the development and commercialization of space products /services through the ARTES Industrial Contract (AIC), outlining terms, conditions, and a cost-sharing arrangement.</li> <li>● During the technology phase, ESA covers 75% of costs, dropping to 50% during the production and demonstration phase.</li> <li>● The Commercialization Incentive Scheme (CIS) under AIC allows companies to receive extra reimbursements upon meeting commercialization benchmarks. Successful cases may see companies' costs reduced to 10% of the total, incentivizing product commercialization.</li> <li>● Official documents detailing these aspects include the "ARTES Industrial Contract (AIC) Guide for Applicants" and the "ARTES Commercialization Incentive Scheme (CIS) Guide for Applicants."</li> <li>● ESA's support extends beyond ARTES, providing direct and indirect funding across European space projects and prioritizing European entities in procurement contracts.</li> <li>● Technology transfer initiatives like the ESA Business Incubation Centre (BIC) and the ESA Technology Transfer Programme (TTP) further bolster commercial application of space technologies. For a comprehensive understanding, refer to the "ESA Space Industry Support" .</li> </ul>

## エキスパートインタビュー結果 - 回答 - (5/5)

23-003-T-014

ARTESプログラムでは企業の大小によらず資金提供を受ける機会を有する。ESA契約の一般条項・条件では固定価格契約の他、費用償還契約も存在する。

回答者5	Head of Innovation (ギリシャ)
回答内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 企業や組織は、<u>小規模、大規模、新規、経験者を問わず、ARTESプログラムに参加し、資金を得る機会</u>がある。</li> <li>● ARTESの資金調達スキームは3つの柱に基づいている。             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ESAは、商業上又は技術上のリスクが高いと認められる革新的な技術の開発の初期段階にある事業(100%)に十分な資金を提供する。</li> <li>2. ESAは、新技術又は新技術に関連するプロジェクトであって、最終製品が明確な市場ポテンシャルを有するものに対して、その一部(75%*を上限とする)を出資する。</li> <li>3. ESAは、市場機会が特定された運用前の製品、システム、アプリケーションに合わせて調整された既存の技術に基づく活動の統合と実証に関連するプロジェクトに部分的に資金を提供する(最大50%*)。</li> </ol> </li> <li>● <u>ESA契約の一般条項および条件</u>に関しては、a) 固定価格契約(確定固定価格、価格変動による固定価格、固定単価)、b) 固定価格契約に変換される上限価格契約、c) 費用償還契約(費用-固定費、費用-奨励費、時間および材料費を加えたもの)の構造となっている。</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Companies and organisations - whether small or large, new or experienced - have the opportunity to participate in the ARTES Programme and get funded. The funded scheme of ARTES is based on 3 pillars.             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ESA will fully fund (100%) projects in the early stages of innovative technologies development where there is a perceived high commercial and/or technical risk.</li> <li>2. ESA will partly fund (up to 75%*) projects related to new technologies or techniques where the end product shall have a clear market potential.</li> <li>3. ESA will partly fund (up to 50%*) projects related to the integration and demonstration of activities based on existing technologies that are tailored to pre-operational products, systems and applications with identified market opportunities.</li> </ol> </li> <li>● In terms of General Clauses and Conditions for ESA Contracts the structure is a) fixed-price contracts (firm fixed price, fixed price with price variation, fixed unit price), b) ceiling price contracts to be converted into fixed-price contracts c) cost reimbursement contracts (cost - plus fixed fee, cost- plus- incentive- fee, time and material)..</li> </ul>

# ESA ARTESにおける知財の取り扱いについて（1/3）

23-003-T-014

【質問】 知財の扱いについてルールがどうなっているのか？複数のプレイヤーが参加しており複雑と推察している。

【回答】 ESA ARTESを含むESAプロジェクトの知的財産権は参加企業に帰属する。知的財産権の使用について、ESAに対しては、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられている一方で、その他の機関については、参加企業が対象によって使用条件や課金等の調整を行うことができる。

## 調査 アプローチ

- ESA ARTESプログラムにおける知財の扱いについて、ARTESの契約テンプレート等に基づき調査を行う。
  - 公開資料上で知財の取り扱いについて確認できたプログラムは、ARTES AGILEとなる。
  - その他のプログラムは、ESA入札サイト<sup>[1]</sup>へのアクセス（欧州関係者限定）に制限があるため、情報入手が困難と想定される。
- ESA契約の一般条項等における特許の取り扱いについても調査を実施する。

## 調査対象

- ESA ARTESにおける契約書テンプレート
  - ARTES Agile Templates, Draft Contract, ARTICLE 6 - INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS<sup>[1]</sup>
- ESA契約における一般条項
  - General Clauses and Conditions for ESA Contracts (Rev. 6)<sup>[2]</sup>
  - Intellectual Property Rights - A New Regime in ESA Contracts<sup>[3]</sup>

## ▼ 調査結果

- ESA ARTESにおける知的財産権は参加企業に帰属する。知的財産権の使用について、ESAに対しては、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられているものの、その他の機関については、参加企業が対象によって財務的な条件を課すことができる<sup>[1][2]</sup>。
- なお、ESA契約の一般条項（一部負担契約のための特別制度）とARTESプログラムの知財の取り扱いは同様の趣旨と考えられる。

1. ESA, <https://connectivity.esa.int/sites/default/files/10285%20AGILE%20Draft%20Contract.docx>  
 2. ESA, <https://esastar-publication-ext.sso.esa.int/supportingDocumentation/details/10>

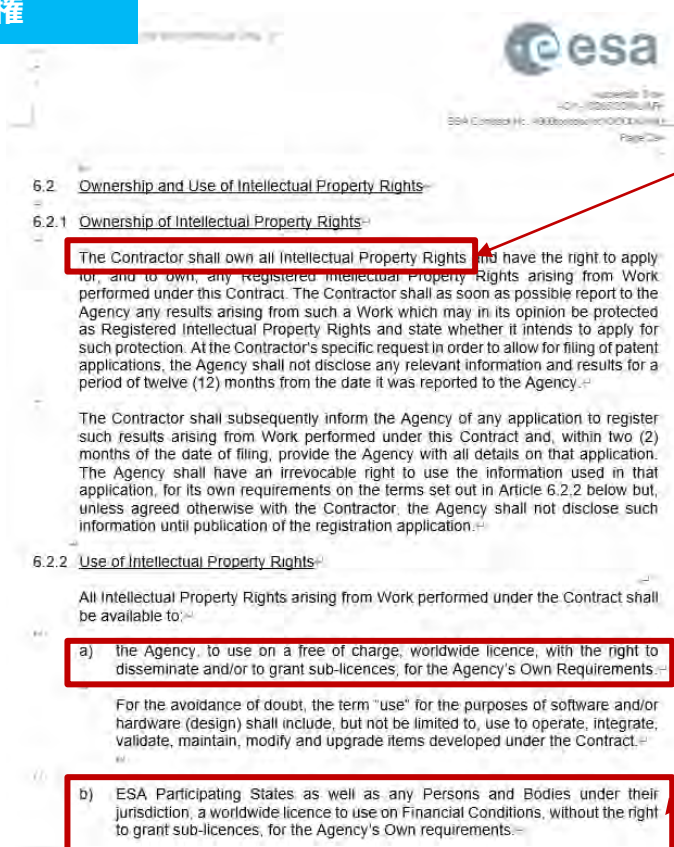
3. ESA, [https://www.esa.int/About\\_Us/ESA\\_Publications/ESA\\_i\\_Bulletin\\_i\\_118\\_May\\_2004](https://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_i_Bulletin_i_118_May_2004)

# ESA ARTESにおける知財の取り扱いについて (2/3)

23-003-T-014

ESA ARTESプログラムでの知財の扱いは、ESAに対しては無条件かつ無償のライセンスが義務付けられているものの、その他の機関に対しては、参加企業が対象によって財務的な条件を課すことができる。

## ARTESプログラム 知的財産権



ARTESプロジェクトにおける知的財産権は、参加企業に帰属

知的財産権の使用について、ESAに対しては、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられている

ESA参加国や関係機関向けには、参加企業が対象によって財務的条件が付される。

1. ESA, <https://connectivity.esa.int/sites/default/files/10285%20AGILE%20Draft%20Contract.docx>

# ESA ARTESにおける知財の取り扱いについて (3/3)

23-003-T-014

ESA契約の一般条項（一部負担契約のための特別制度）とARTESプログラムでの知財の取り扱いは、同様の趣旨（ESAに対しては、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられているものの、その他の機関は、参加企業が対象によって財務的な条件を課すことができる）と考えられる。

## ESA契約の一般条項 知的財産権



ARTESプロジェクトと  
同様の考え方

### 一般制度 (Part II Option A : GENERAL REGIME)

#### CLAUSE 39: OWNERSHIP OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS 知財の所有

- 39.1 The Contractor shall own all Intellectual Property Rights and have the right to apply for and to own any Registered Intellectual Property Rights arising from work performed under the Contract. At the Contractor's request and expense the Agency shall carry out all reasonable tasks including executing any document required to vest such title in the Contractor.
- 39.2 The Agency shall be granted the rights, including the access, to Intellectual Property Rights set out in clauses 39 to 44 and reserves the right to require the Contractor to assign Intellectual Property Rights arising from work performed under the Contract in the case of:
- the Contractor's failure to apply for registration or the Contractor's abandonment of Registered Intellectual Property Rights arising from work

- 知的財産権は参加企業に帰属する。
- ESAは、事業者へ知的財産権を譲渡するように要求する権利を有する。

#### CLAUSE 41: USE OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS 知財の使用

##### Use/Licensing

- 41.1 All Intellectual Property Rights arising from work performed under the Contract shall be available to:
- the Agency, Participating States and Persons and Bodies to use on a free, worldwide licence with the right to grant sublicences for the Agency's Own Requirements (such licence to be granted by the Contractor or the Agency as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required);
  - Participating States and Persons and Bodies to use on Favourable Conditions for a Participating State's Own Public Requirements (such licence to be granted by the Contractor as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required);
  - academic or grant funded commercial to its Legit Contractor as if required;
  - any Third Party Agency's Own Requirements Legitimate G

- 知的財産権の使用について、ESA及び参加国、関係機関等に対して、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられている

### 一部負担契約のための特別制度 (Part II Option B : SPECIAL REGIME FOR PARTLY FUNDED CONTRACTS)

#### CLAUSE 53: OWNERSHIP OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS 知財の所有

- 53.1 The Contractor shall own all Intellectual Property Rights and have the right to apply for and to own any Registered Intellectual Property Rights arising from work performed under the Agency Contract. At the Contractor's request and expense the Agency shall carry out all reasonable tasks including executing any document
- 53.2
- 53.3
- 53.4

- 知的財産権は参加企業に帰属する。
- 一部負担契約の下では、ESAは事業者への知的財産権の譲渡を要求する権利を持たない。

#### CLAUSE 55: USE OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS 知財の使用

##### Use/Licensing

- 55.1 All Intellectual Property Rights arising from work performed under the Agency Contract shall be available to:
- the Agency to use on a free, worldwide licence for the Agency's Own Requirements (such licence to be granted by the Contractor or the Agency as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required);
  - Participating States and Persons and Bodies to use on Favourable Conditions for a Participating State's Own Public Requirements (such licence to be granted by the Contractor as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required);
  - any Third Party Agency's Own Requirements Legitimate G
- 55.2 For the avoidance of doubt, the Agency shall not be required to grant licences to the Agency's Own Requirements (such licence to be granted by the Contractor or the Agency as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required).
- 55.3 Where the Contract specifies otherwise, the Contractor shall grant licences to the Agency's Own Requirements (such licence to be granted by the Contractor or the Agency as set out in the standard licence which the licensee shall enter into if required).

- 知的財産権の使用について、ESAに対しては、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられている
- ESA参加国や関係機関向けには、参加企業が対象によって財務的条件が付される。

1. ESA, <https://esastar-publication-ext.sso.esa.int/supportingDocumentation/details/10>

## 【参考】ESAの国プロにおける知的財産権ルール

23-003-T-014

ESAでは、国プロ参加企業の知的財産権保護を最優先としたルールを採用。参加企業は、ESAに対して、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられたものの、その他の機関については、対象によって使用条件や課金等の調整が可能となる。

### ESAの知的財産権ルール

#### 【概要】<sup>[1]</sup>

- ESAでは、国プロ参加企業の知的財産権保護を最優先としたルールを採用。本ルールは、2004年以降のESAによるプロジェクトにおいて適用されている。
- 事業者は、ESAに対して、無条件かつ無償のライセンスが義務付けられたものの、その他の機関については、対象によって使用条件や課金等の調整が可能となる。

#### 【背景】<sup>[1]</sup>

- ESAプロジェクトにおける知的財産権は、参加企業に帰属されてきた。
- 2003年以前は、国プロによって当該企業が保有した知的財産を、排他的利用等の条件なく（無条件）かつ無償でのライセンスをESA及びESA加盟国政府や加盟国の企業や法人に行うことが求められていた。
  - 本旧式ルールは、国プロの成果を社会に広め産業競争力向上という目的を掲げていたものの、実態は不特定多数の機関・企業等にほぼ自由な条件で使用される構造となっていた。
  - 知的財産権を持つ企業にとっては特許取得や知的財産権行使のインセンティブが働かない状況に陥っていた。
- 本状況を踏まえ2004年以降は、参加企業のインセンティブ向上に重きを置いた設計に変更された。

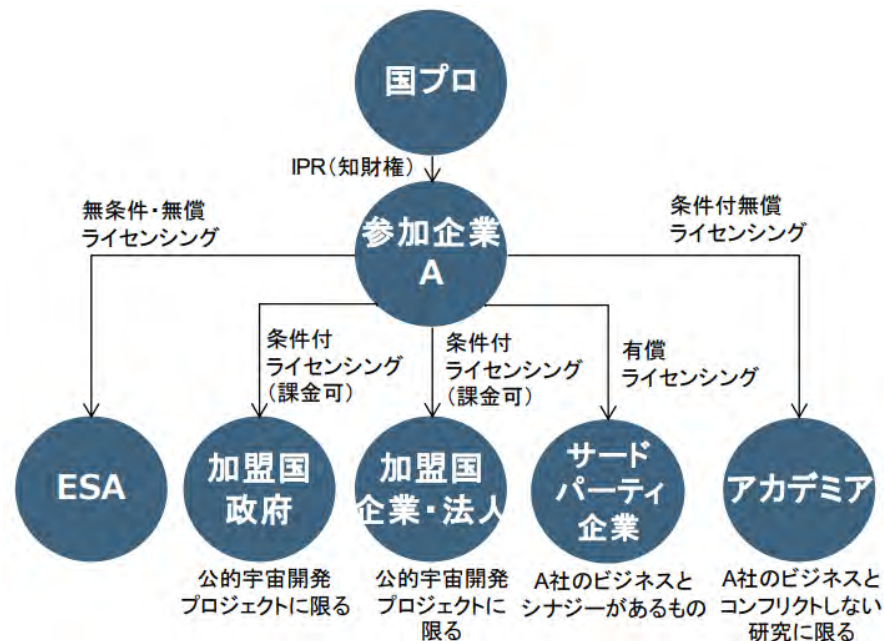


図 ESAの知的財産権ルール<sup>[1]</sup>

出所)

1. 特許庁（野村総合研究所）、特許庁産業財産権制度問題調査研究報告書

# ESA ARTESにおける民間負担額の具体的事例

23-003-T-014

【質問】官民負担率について、金額的に最大いくらまで、というはあるか（Eurostarの開発などは200億、300億になりえるのか）。具体的な事例があれば、ThalesやAirbusを調査いただきたい。

【回答】ARTES Partnership Programにおいて官民費用負担を前提とした衛星開発事例（3事例）を調査した。  
→ 具体的な費用負担上限は確認できなかったものの、ESA側は総コストに対して、約60～70%を負担していると想定される事例があることから、民間側は総コストの約30～40%を負担していると推測される。

## ARTES Partnership Program

### EDRSプログラム<sup>[1][2]</sup>

- ESAでは、官民連携による欧州データリレーシステム (EDRS)の開発・打上げを実施
- 開発・打上げに関わる事業者は、Astrium（現Airbus）が選定された。



図 イメージ図<sup>[1]</sup>

### NEOSATプログラム<sup>[3]</sup>

- ESA及びフランス政府は、官民連携による次世代通信衛星バスの設計・開発を実施。
- 衛星バス設計・開発に関わる事業者は、2社（Airbus、Thales）が選定された。



図 イメージ図<sup>[1]</sup>

### Electraプログラム<sup>[4][5]</sup>

- ESAでは、官民連携による衛星バスの開発を実施。
- 開発に関わる事業者はSES（及びOHB）が選定された。



図 イメージ図<sup>[1]</sup>

概要

費用負担

EDRSの総コスト：約€376M

- **ESA負担：€275M**（EDRS開発費用）
- **事業者負担：約€100M**（2機衛星ペイロード・打上費用）

NEOSATの総コスト：不明

- **ESA負担：€227M**※
- ※2社への契約額合計（Airbus：約€109M、Thales：約€118M）
- **事業者負担：規模不詳**

Electraの総コスト：€460M以上（推定）

- **ESA負担：約€260M**※
- ※ESAとSESの契約額は€149M規模と見られる
- **事業者負担：約€200M以上**（初号機開発、打上費用）

1. Space News, <https://spacenews.com/astrium-esa-sign-deal-high-speed-data-relay-system/>  
2. Space News, <https://spacenews.com/astrium-picked-build-and-operate-european-data-relay-system/>  
3. Space News, <https://spacenews.com/esa-commits-to-airbus-satellite-telecom-platform/>

4. Space News, <https://spacenews.com/esa-ses-and-ohb-contract-to-develop-launch-small-all-electric-telecommunications-platform/>  
5. Space News, <https://spacenews.com/esa-approves-190m-in-new-spending-on-ariane-and-vega-launchers/>



# **(参考)人件費算出の考え方（日本及び海外）に関する 調査**

## 人件費算出の考え方（日本及び海外）

23-003-T-014

【質問】日本はNEDOの場合は健保等級で人件費を算出する決まりがあるが、そのような縛り、仕組みはあるか。日本は健保等級や実費の場合は〇〇率を年収にかけるなどの方法がある。一般管理費などの考え方も含め、海外の仕組みが分かると役立つ。調査をお願いしたい。

【回答】日本/NEDOでは、**保険等級による人件費算出の仕組み**がある。他方、**欧州/EU**では、**保険等級を用いた算出ではなく、各個人に応じた複数の算出パラメータ（雇用形態、他の助成金対象プロジェクトへの参画状況等）によって人件費を算出している**。各個人の人件費を算出するために、**Personnel Cost Wizardと呼ばれるアプリケーション**が用いられる。

	日本：NEDOの例	海外：EUの例
人件費算出の考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NEDOにおける委託費の計上項目の内、「労務費（人件費）」の算出では、健康保険等級（健保等級）に基づく、労務費単価が適用される。</li> <li>● なお、労務費単価は、報酬形態（月給、日給、時間給等）に応じて、月額単価や時間単価が設定されている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 例えば、「NEDO研究開発型スタートアップ支援事業」における労務費単位は、「時間単位」のみ。</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EUでは、各個人の人件費（実績）を算出するために、<b>Personnel Cost Wizardと呼ばれるアプリケーション</b>を用いた人件費算出が実施される。</li> <li>● <b>Personnel Cost Wizardは、EUにおける特定の助成プログラム（Horizon Europe、欧州原子力共同体等の複数プログラム）において共通的に利用</b>されている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 人件費算出にあたっては、各個人の雇用形態等に基づく。</li> <li>➢ <b>各プロジェクトの入札参加までに、事業者は各個人の単価レートの算出が求められる</b>。基本的には人件費は実費を計上することとしており、各個人1あたりの時間単価×従事時間を算出するシステムが用意されている。精算段階で、EUによる指摘が入る場合もある。</li> <li>➢ <b>各個人の単価レートは、EUが予め定めた複数のパラメータ（雇用形態、カテゴリ等）の選択によって規定されたレートが適用される</b>。</li> </ul> </li> </ul>

出所)

1. EU, <https://webgate.ec.europa.eu/funding-tenders-opportunities/display/IT/How+to+complete+your+financial+statement>
2. Horizon 2020, [guide-personnel-costs\\_en.pdf \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/amga/h2020-amga_en.pdf)
3. H2020 Programme, [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants\\_manual/amga/h2020-amga\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/amga/h2020-amga_en.pdf)

## 【詳細】NEDO事業における人件費の概要

23-003-T-014

NEDOの委託業務における人件費は、健保等級に基づく報酬月額をベースとして労務費単価を設定している。

- NEDOにおける委託費の計上項目の内、「労務費（人件費）」の算出では、健康保険等級（健保等級）に基づく、労務費単価が適用される。
- なお、労務費単価は、報酬形態（月給、日給、時間給等）に応じて、月額単価や時間単価が設定されている。
  - ▶ 例えば、「NEDO研究開発型スタートアップ支援事業」における労務費単位は、「時間単位」のみ。

大項目	中項目	内容
I 機械装置等費	1 土木・建築工事費	プラント等の建設に必要な土木工事費等
	2 機械装置等製作・購入費	研究遂行に必要な機器・設備類の購入費等
	3 保守・改造修理費	NEDO委託費で購入した装置の保守・改造費等
II 労務費	1 研究員費	委託業務に直接従事し、実施計画書に登録されている研究員費人件費等
	2 補助員費	研究実施場所に出勤して実験補助等を行う者の人件費等
III その他経費	1 消耗品費	研究の遂行に直接要した部品、消耗品等の購入費
	2 旅費	研究員等が研究に必要な情報収集や各種調査等を行うために必要な旅費
	3 外注費	委託業務の遂行に必要な加工・分析等の請負外注に係る経費
	4 諸経費	光熱水料、会議費、通信費、借料、図書購入費、通訳費・翻訳費、運送料、委員会費、報告書等作成費等
IV 間接経費		委託業務に係る間接的経費
V 再委託費・共同実施費		委託業務の一部をさらに第三者に委託するのに要した経費等

### 労務費単価の考え方

- 原則、健康保険等級（健保等級）に基づくNEDO労務費単価（時間、月額別単価表）
- 健保等級非適用者は、個別に月額額を算出（必要に応じて時間単価に換算）
- 大学・国立研究開発法人等は実費計上

図 委託費積算基準<sup>[1]</sup>

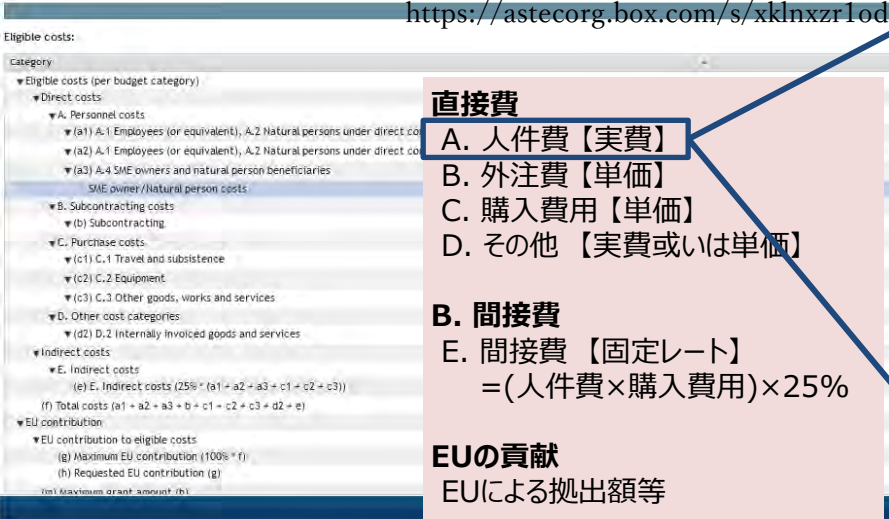
1. NEDO, <https://www.nedo.go.jp/content/100962687.pdf>  
 2. NEDO, <https://www.nedo.go.jp/content/100930817.pdf>  
 3. NEDO, 委託業務事務処理マニュアル(2023年度版), [https://www.nedo.go.jp/itaku-gyomu/manual\\_jimushori\\_2023.html](https://www.nedo.go.jp/itaku-gyomu/manual_jimushori_2023.html)

## 【詳細】EUにおける人件費の考え方

23-003-T-014

EUでは、特定プログラム（Horizon Europe、欧州原子力共同体等）において、Personnel Cost Wizardと呼ばれるアプリケーションを用いた人件費算出を実施。なお、各事業者は、各プロジェクトの入札参加までに、当該アプリケーションを用いて各個人の単価レート算出する必要がある（人件費は実費が計上され、各個人あたりの時間単価×従事時間で算出）。

- EUでは、各個人の**人件費（実績）**を算出するために、Personnel Cost Wizardと呼ばれるアプリケーションを用いた人件費算出が実施される。
  - 人件費算出にあたっては、各個人の雇用形態等に基づく。
  - **各プロジェクトの入札参加までに、事業者は各個人の単価レートの算出が求められる。**基本的には人件費は実費を計上することとしており、**各個人あたりの時間単価×従事時間を算出するシステム**が用意されている。精算段階で、EUによる指摘が入る場合もある。
- 本Personnel Cost Wizardは、EUにおける特定の助成プログラム（Horizon Europe、欧州原子力共同体等の複数プログラム）において共通的に利用されている。**各個人の単価レートは、EUが予め定めた複数のパラメータ（雇用形態、カテゴリ等）の選択によって規定されたレートが適用される。**



Eligible costs:

category

▼ Eligible costs (per budget category)

▼ Direct costs

▼ A. Personnel costs

▼ (a1) A.1 Employees (or equivalent), A.2 Natural persons under direct co

▼ (a2) A.1 Employees (or equivalent), A.2 Natural persons under direct co

▼ (a3) A.4 SME owners and natural person beneficiaries

SME owner / Natural person costs

▼ B. Subcontracting costs

▼ (b) Subcontracting

▼ C. Purchase costs

▼ (c1) C.1 Travel and subsistence

▼ (c2) C.2 Equipment

▼ (c3) C.3 Other goods, works and services

▼ D. Other cost categories

▼ (d2) D.2 Internally invoiced goods and services

▼ Indirect costs

▼ E. Indirect costs

▼ (e) E. Indirect costs (25% \* (a1 + a2 + a3 + c1 + c2 + c3))

(f) Total costs (a1 + a2 + a3 + b + c1 + c2 + c3 + d2 + e)

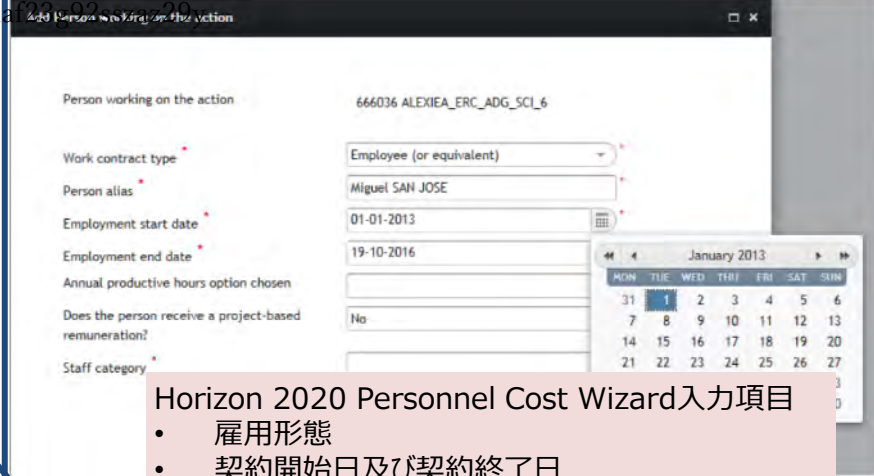
▼ EU contribution

▼ EU contribution to eligible costs

(g) Maximum EU contribution (100% \* f)

(h) Requested EU contribution (g)

(i) Maximum grant amount (h)



Person working on the action: 666036 ALEXIEA\_ERC\_ADG\_SCL\_6

Work contract type: Employee (or equivalent)

Person alias: Miguel SAN JOSE

Employment start date: 01-01-2013

Employment end date: 19-10-2016

Annual productive hours option chosen:

Does the person receive a project-based remuneration?: No

Staff category:

Horizon 2020 Personnel Cost Wizard入力項目

- 雇用形態
- 契約開始日及び契約終了日
- プロジェクトベースの報酬の有無
- スタッフのカテゴリ（調査主担当、等）

**直接費**

A. 人件費【実費】

B. 外注費【単価】

C. 購入費用【単価】

D. その他【実費或いは単価】

**B. 間接費**

E. 間接費【固定レート】

= (人件費×購入費用)×25%

**EUの貢献**

EUによる拠出額等

図 財務諸表の内訳<sup>[1]</sup>図 Horizon2020 Personnel Cost Wizard 画面<sup>[2]</sup>

出所)

1. EU, <https://webgate.ec.europa.eu/funding-tenders-opportunities/display/IT/How+to+complete+your+financial+statement>
2. Horizon 2020, [guide-personnel-costs\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/horizon2020/guide-personnel-costs_en.pdf) (europa.eu)

**<付録>**

- **定常調査・動向分析**
  - **Global Satellite Servicing Forum 出張報告**
  - **SpaceCom Space Congress・Space Mobility Conference 出張報告**

# 将来宇宙探査・軌道上サービスに関する技術調査

## 『Global Satellite Servicing Forum (2022.10.11-12)』調査概要

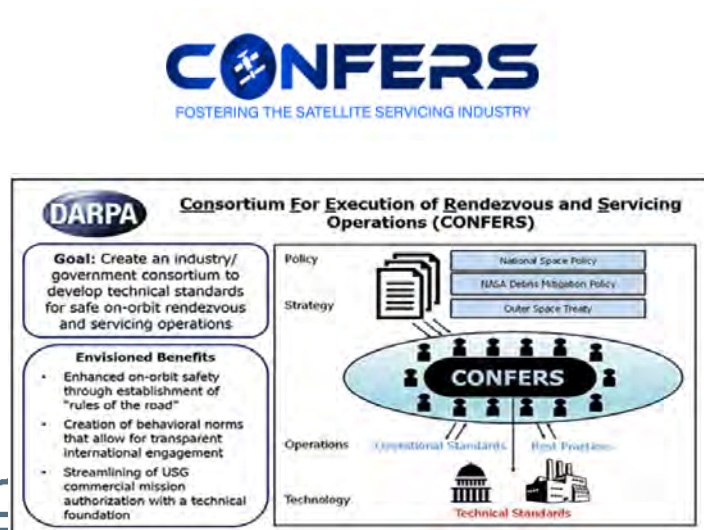
一般財団法人衛星システム技術推進機構  
Advanced Satellite Systems Technology Center (ASTECC)

2023年 10月27日

- 加盟が68団体に増加し、軌道上作業について、ユースケース、ファイナンス、保険、規制・ガイドライン、政策、技術・安全運用面での標準化などの観点について150名程が2日間にわたりセッションを聴講。
- 米軍関係者が出席するセッションではSpace Mobility & Logistics の重要性と、実現する為の民間との協調について言及が多い。
- CISLUNARに関する開発戦略、技術に関するセッションが見受けられ、CISLUNAR領域への軌道上作業の進展も見越している。
- 内閣府は日本のレギュレーション動向、GITAIは自社で進めるロボットアーム開発の状況、Astroscaleは今後の軌道上作業に必要な技術開発の見通しなどについてセッションにて言及した。

## • CONFERSとは

- CONFERS (Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations)はDARPA(米国防衛高等研究プロジェクト庁)より資金を受け設立された産業界主導の団体。
- On Orbit Serviceとランデブー及び近接近傍運用の技術及び運用基準を開発、公開、適切な標準化団体への働きかけをすることを目的としている。
- 68団体が加盟。
- 2022年末でDARPAの援助が終了し、独立した運営を開始。
- 新規参入の会社はさらに増加しており、加盟団体は増加傾向。しかし、通信業者等の運行会社の参加がなく、今後は運行会社の参加が増えることにより、受益者側の立場に立った議論も活発になると考えられる。





## 1<sup>st</sup> day ( 10/11/2023 )

- OOS History in Brief & Key Pointers
- Space Financing and Acquisitions: Finding the Exit Door
- Accomplishment and Future Plans: Service Provider and System Integrator
- The U.S. ISAM National Strategy : Progress, Plans and International Collaboration
- CONFERS Working Groups and Splinter Groups Town Hall
- An Overview of Different National Regulatory Regimes Governing Novel Space Missions
- Developing a Multilateral Arrangement for Space Servicing
- The Latest in OOS & ISAM Space Law

## 2<sup>nd</sup> day ( 10/12/2023 )

- Insuring Space: Managing Risk in ISAM
- Global OOS & ISAM Standards Development
- Space Mobility and Logistics in National security
- Innovation and Building the Commercial Foundation for OSAM/ISAM
- An overview of OOS & ISA Consortia
- The importance of ISAM Application in Cislunar : An Overview of the AIAA Cislunar Ecosystems Task Force
- RPO Safety : Holistic Ideas from Pre-launch to Post Contact
- Accomplishments and Future Plans: Subsystem and Component Providers

## BRYCE社による分析

- 宇宙産業は今後の十数年で大幅に成長すると予測
  - 2023年から年間の投資額が4Billドルから10Billドルとの推定
  - インフラ整備と政府との緊密な連携に依存
- 通信とSpace X関連の投資で40%を占める。今後も政策的(産業、軍事)にも政府による投資は堅調に続く
  - 民間投資が重要な役割を果たす一方、政府が宇宙セクターへの主要な出資者である
- 2019-2022ではSpace Logistics(一般的に言う軌道上サービス)へ向けて\$700Mの投資
  - アストロスケールが多額の資金を集めている一方Last One Mille Deliveryの会社に注目
  - 投資の中心は寿命延長とADR。
- 軌道上作業は成熟していない。投資を得るためにどのように信頼を得るかも重要
  - 将来像の妥当性、今後のパイプライン、実際の受注残
  - LegacyやNew Space同士のパートナーシップ
- 宇宙産業において常に鶏と卵の問題がある。政府は市場を奨励するために初期段階で投資を行い、需要を創出させることも必要。

## 米国の動向

- 宇宙産業の状況
  - 急速に成長しており商業的な機会が増加しているなかで宇宙関連産業を拡大する。
  - Space Mobility and Logistics、レジリエンス、即応性の獲得を目指す
    - 官民の協力が必要
    - 的確な政策も進める
- COSMICの活動 (The Consortium for Space Mobility and ISAM Capabilities)
  - 11/7にキックオフMeetingを実施する
  - National levelにフォーカス。ISAM National Strategyに従いルーティーン化を目指す。
    - CONFERS等との間にオーバーラップがないように、又、GAPあれば埋めていかなければいけない

## 各国の動向

- ライセンスの在り方
  - 該当国、目的によって申請方法は異なり当局と密に調整をする
  - 実際には各国の規則を作成する際は、ISO、CONFERS、FCC等、国際的な標準や他の国のレギュレーションを参考にし齟齬がないようにしている。
  - 争いを避けるための透明性を重要視している

- CONFERSでは以下4つの標準に貢献
  - ISO243330 Rendezvous and Proximity Operations and On orbit Servicing – Programmatic Principals and Practices July 2022制定済
  - AIAA S-155 RPO-OOS Spacecraft Fiducial Marker
  - AIAA S-157 RPO-OOS In Space Storable Fuel Transfer Interface Public review中
  - AIAA S-158 Free Flyer Capture
  
- 標準のあるべき姿は??
  - 各ステークホルダーの必要性があってできるもの。産業界の努力がDriverになる。
  - 特定の業者に有利にならない、又、関係機関が同じ方向を見るように協調する
  - New Spaceはスピードが速いので、スピードを持って進める
  - 以下の宇宙軍のPriorityともそろっている

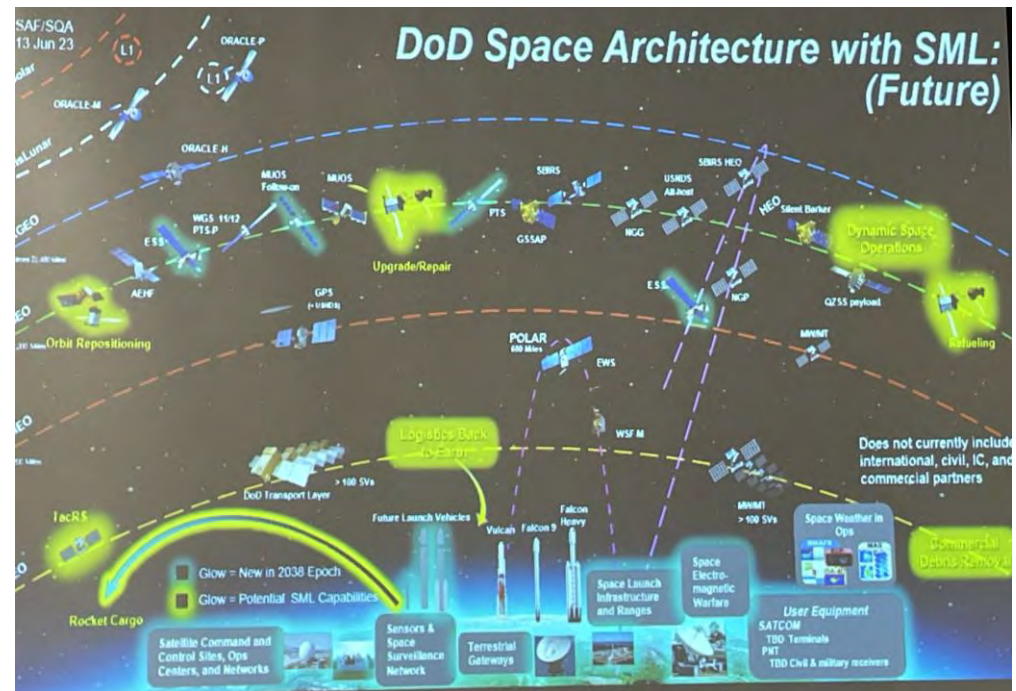
Priority	Item
Priority 1	• Rendezvous & Proximity Operation
Priority 2	• Grapping & Fiducial Markers
Priority 3	• In-Space Propellant Transfer/Fuel Type • Propulsive Tug
Priority 4	• In Space Repair • Collecting & Reporting Logistics Data
Priority 5	• Modular Component/In-space Connector standard • In-Space integration Standards • Auxiliary Payload Port ( for in-space Integration )
Priority 6	• In-Space Manufacturing

Space Mobility & Logistics Committee  
における優先順位

## Space Mobility and Logistics (SML) in National Security

Stephen Purdy, SAF/SQ Military Deputy Office of the Assistant Secretary of the Air Force (Space Acquisition/Integration)

- 構造の変化
  - 純粋なミリタリー専用モデルから民間を利用するモデルへ移行。商業宇宙活動は重要で更なる国際的な協調、民間との協調が必要。
  - 民間で開発しているものを商業化に乗せてし軍事的に使えるよう協力していく
  - DIU、Space WERAX、AFRL、NRL、DARPA、CONFRSなどと協力をして、お金やリソースには限りがあるので、Agencyを超えてinvestするシステムを作る。
- Space Mobility and Logisticsの促進
  - デブリに対してお金をしたがる人はいないが、重要であり商業的な需要もあると考えている。
  - 燃料補給は宇宙活動の持続可能性と効率性を向上させるための重要な要素であるが、コンセプトを作りどう実現していくか、どう取得するのか、検討をしている。
- アイデアやソリューションを検討する際に、実用的で世界の戦闘シナリオを考慮する事が必要。
- Logistics は重要で、どんどんと新しいものを求めているし、スピードを以て、常識を打ち壊すものが必要であり、考え方の変化を求める。



Space Mobility And Logisticsを実現したアーキテクチャー  
黄色部、特に打ち上げ等、民間への依存が高まる

## The Importance of ISAM Applications in Cislunar: An Overview of the AIAA Cislunar Ecosystems

- Ronald Birk

Associate Principal Director, Development Directorate Civil Systems Group, The Aerospace Corporation

- Daniel Dumbacher

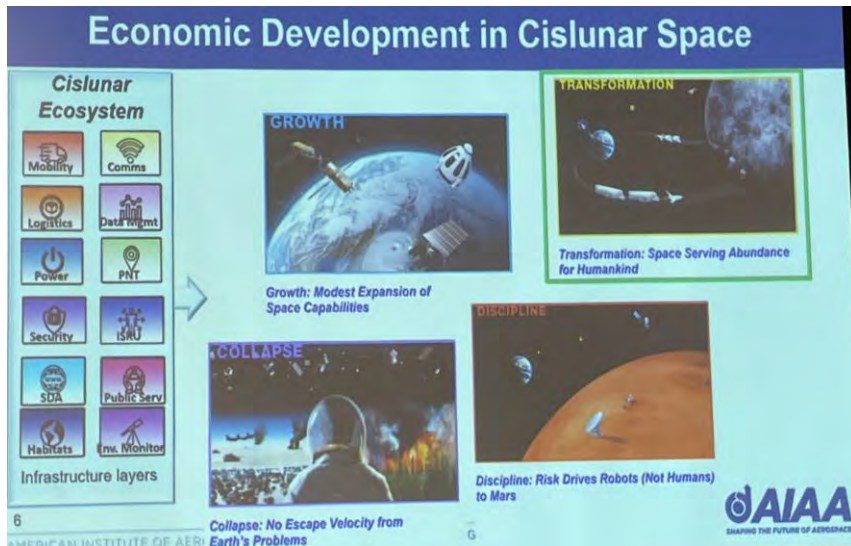
Executive Director American Institute of Aeronautics and Astronautics

- Richard Reinhart

Senior Technologist, Communications & Intelligent Systems Division , National Aeronautics and Space Administration GRC

- シスルナ領域での活動を目指す動き

- シスルナでの活動に向けた開発と投資が広がっており、政府や民間が巨額の資金を投じている。
- National Space Policyに従い、12のレイヤーがあるととらえ、SustainableなCislunar Ecosystemを作りあげていくためには官民の協力し戦略の策定と、法律、政策の策定の促進を進める必要。

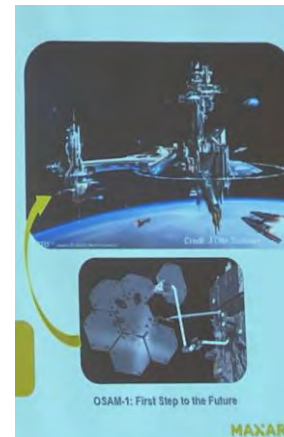


### 12のレイヤー

- Mobility
- Logistics
- Communications
- Position, Navigation, and Timing
- Domain Awareness
- Power
- Resource Utilization
- Habitats
- Security
- Space
- Environmental Monitoring
- Data Processing and Management
- Public Services

- シスルナでの活動を広げる技術  
MAXAR社のロボットアーム紹介

- 今後10年がカギとなる。ISSで実証してきた技術を発展させて行く。
- 効率化を進める為の標準化、モジュール化は欠かせない。ISSでの経験から必要性を認識している。
- Engineering、Regulator両方の観点からの標準化、レグレーションが必要。AIAA、CONFERSと協調していきたい。



OSAM-1で開発するアームを応用し、月以遠のプロ弱とへも広げる

### Leveraging Key Capabilities

Ultralight robotic arm system based on Mars Phoenix and MER

Photogrammetry Techniques

Commercial Integration

Modular Reflector Elements

3D Graphics-based Mission Planning

© 2023 Maxar Technologies Public Distribution 11 MAXAR

### Designed for Any Application

- Symmetrical 7 Degree-of-Freedom Geometry
- Fully redundant and modular robotic system
- Self-contained for simplified integration with spacecraft bus
- Capabilities include speed, precision, and "walking"
- Supervised autonomy
  - Image guidance & force regulation

End effectors with torque drive and power/data interfaces

Cameras and image processing on board for self-contained automation

End effectors at both ends for "walking" across spacecraft

Slender ultralight composite tubes

Torque sensing at each joint for compliance control

Bi-axial joint structure with co-located MCBs

Arm control software and avionics on board for low-impact interface to spacecraft CADH

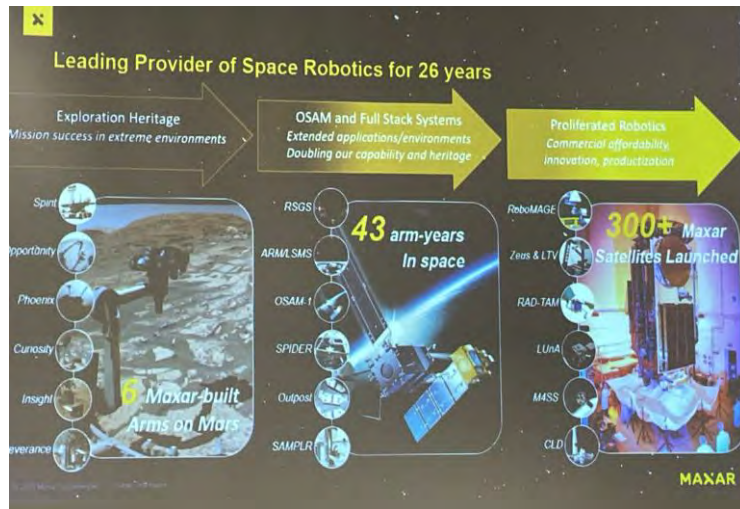
5m+

© 2023 Maxar Technologies Public Distribution 12 MAXAR

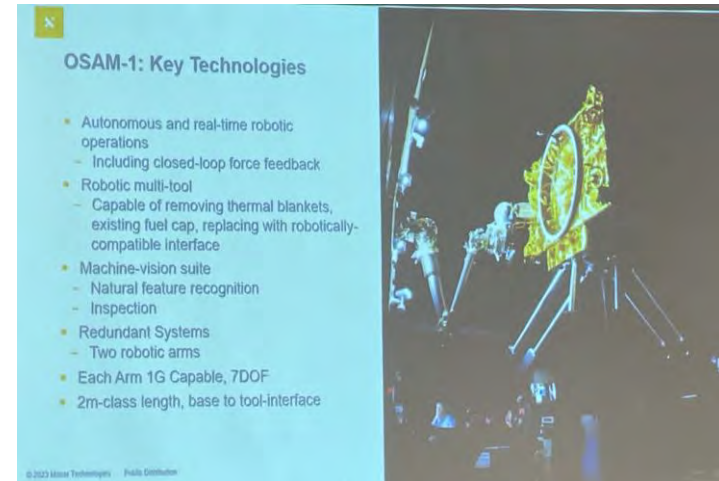


金星探査Phoenixで実証した超軽量ロボットアーム等の技術を更に発展

7自由度、助長性をもったモジュール構造ノロボットアーム

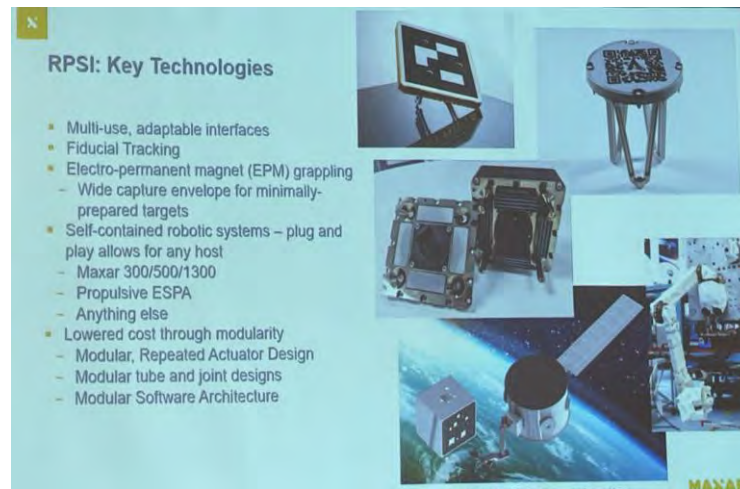


リーディングサプライヤーとしての実績



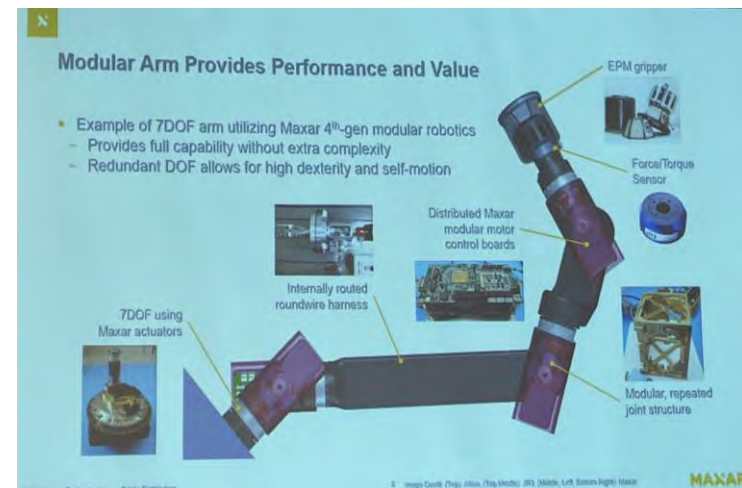
OSAM-1で使用するアームの特徴

- 7自由度
- 自動、マニュアル制御、クローズループのフィードバック
- 準備されていない衛星への燃料補給



キー技術

- 外部インターフェイスへ適合
- 自己完結型のシステム、Plug and Play
- モジュール構造でコストダウン



モジュール構造の7自由度のロボットアーム



# SpaceCom Space Congress Space Mobility Conference 出張 報告

一般財団法人衛星システム技術推進機構  
Advanced Satellite Systems Technology Center (ASTECC)

2024年 2月

## **SPACECOM 50<sup>th</sup> SPACE CONGRES**

- 日時 JANUARY 30 – FEBRUARY 1, 2024
- 場所 ORLANDO, FL USA, Orange County Convention Centernitiji

学術、民間企業、ミリタリーが集まるイベント。Space Mobility Conference、GSA Space Port Summit と共催。Conferenceと展示が行われる。

<https://www.spacecomexpo.com>

## **Space Mobility Conference**

- 日時 JANUARY 30 – FEBRUARY 1, 2024
- 場所 ORLANDO, FL USA, Orange County Convention Centernitiji

U.S. Space Force と Space Systems Commandによる、宇宙への自由なアクセスと宇宙における優位性を保つミッションへの関係者を対象としたイベント

<https://spacemobility.org/>

## Space Mobility Conference

本報告書では以下の全体セッションのうち、**太字**で示した2セッションについて議論内容を報告する。聴講したセッションは下線にて示す。

1/30/2024	セッションタイトル/概要
09:00-09:30	<u>Opening Remarks/Keynote - National Space Council Perspective</u>
09:30-10:00	<u>Space Risks/Adversarial Threats/Competition</u>
10:00-10:30	<u>State of Assured Access To Space Keynote Address</u>
10:45-11:45	<b><u>Panel - On-Orbit Servicing, Mobility, and Logistics (DSO Focus)</u></b>
13:00-14:00	<b><u>Panel - Leveraging Commercial Support to Military Ops</u></b>
14:15-15:15	<u>Panel - Rapid Delivery from/through Space</u>
15:30-16:30	<u>Panel - Spaceport Resiliency Through Global Partnerships</u>
16:30-17:00	<u>Keynote - USSF Perspective and Closing Comments</u>
2/1/2024	セッションタイトル/聴講ポイント
07:15-08:45	Women in Defense Breakfast

## SPACECOM 50<sup>th</sup> SPACE CONGRES (Day1)

本報告書では以下の全体セッションのうち、**太字**で示したセッションについて議論内容を報告する。聴講したセッションは下線にて示す。

1/31/2024	セッションタイトル/概要		
09:00-10:45	<u>SpaceCom   Space Congress Opening Keynote Day 1</u>		
11:00-12:30	Extending Cloud Into Space to Enable AI that Will Drive Off-Planet Commercialization	Commercial Launch Weather Solutions	<b><u>Robotics Transforming Space</u></b>
	Workforce Development & Maintenance	Artemis I Lessons Learned	
13:45-14:45	Propulsion Enabling On-Orbit Servicing	Innovations in Space: The Future is Here Now	Cutting Edge Technologies
	<b><u>Enabling Space Sustainability and Global Commerce with Commercial Space Domain Awareness Services</u></b>		Cyber-Guardians of the Cosmos: Navigating Security Challenges in Space Systems
15:00-16:00	Orbital Transfer Vehicles	SLS Enabling Capabilities for Exploration and Cislunar Security	NASA Programs In Action
	<b><u>Securing On-Orbit Space Assets: Commercial Strategies for Dynamic Space Operations</u></b>		Spaceports of the Future: Positioning America's Space Launch Capability for the Booming Space Economy
16:15-17:00	<u>SpaceCom   Space Congress Day 1 Closing Keynote</u>		

## SPACECOM 50<sup>th</sup> SPACE CONGRES (Day2)

本報告書では以下の全体セッションのうち、**太字**で示したセッションについて議論内容を報告する。聴講したセッションは下線にて示す。

2/1/2024	セッションタイトル/概要		
09:00-10:30	<u>SpaceCom   Space Congress Opening Keynote Day 2</u>		
10:45-12:30	<u>ISAM Testbed on Commercial LEO Destinations</u>	NASA+ Long-form Show Unveiling	Aerospace Standards Impacting Industry: CMMC and Safety
	Optimizing Spaceport Infrastructure	Future Homes in Space: Development of Concepts for Exploration Space Habitats	
13:15-14:15	<b><u>Digital Engineering Innovations</u></b>	New Launch Vehicles: Northrop Grumman, Firefly, and Blue Origin	
	Launch Risk Management	Human Lunar Return	
14:30-15:30	<u>Foundational Lunar Exploration</u>	Health & Medical Advances for Space	
	National Space Council Update and a Special Presentation with Johannes Torpe	Space Technology Impacting Earth	
17:00-21:00	50th Space Congress Luau (INVITE ONLY)		

## 注目セッション

<https://spacemobility.org/2024-schedule/>

1/30/2024	セッションタイトル/聴講ポイント
10:45-11:45	Panel 1 - In-Orbit Servicing, Mobility, Logistics & Applications 安全保障のための商業宇宙分野の能力を向上させるための活動について
13:00-14:00	Panel 2 - Challenges of Commercial/Civil Space Support to Military Operations (Dual-Use) 安全保障のニーズをサポートするための商業サービスを取得するモデルについて。米軍のモデルを日本に当てはめるとどうなるか、参考にする

## On-Orbit Servicing, Mobility, and Logistics

- Erik Stockham, Director - Space Warfighting Acquisition Delta
  - Robert Hauge, President - SpaceLogistics, Northrop Grumman
  - Kelly Hammett, Director - Space RCO
  - Christopher Ayres, Deputy Commanding General, Operations, Space Operations Command, USSF - HQ SpOC
  - Clare Martin, Executive Vice President - Astroscale US
  - Edward Ferguson, Chief, Advanced Warfighter Capabilities and Resources Analysis Division (J81) and Director, USSPACECOM Technical Analysis Group (STAG) - U.S. Space Command
- 
- 産業界と政府/宇宙軍の関係
    - 宇宙の資産についても「使い捨て」の考えを変え、商業の能力を活用し、より持続可能な宇宙環境を作り出すことが重要である。
    - 宇宙での運用にもパラダイムシフトが必要。例えば従来の人工衛星を軌道に配置し目的地に機動させるのではなく、任務の付加価値を高める為に機動能力と物流能力を組み合わせ、機動戦の考え方に移行する必要がある。このシフトには演習とトレーニングも重要である。
    - 戦闘においては制限された時間と資源に頼る戦略では不十分であり、持続的な機動性が必要。異なる運用体系が独立していることは戦闘能力が得られないことから、技術、政策、経済に焦点を当てたビジネス計画が進められる宇宙技術のイノベーションを進め、新しい能力を開発・統合するためには宇宙軍と産業の協力が重要である。
    - 産業界を招き入れたテーブルトーク演習は素晴らしいものであった。どのようにして給油を活用できるか、それが宇宙を変えるかを見ることができた
    - 宇宙軍は新しい調達方法を模索しており、Space Rapid Capabilities Officeの設立などがその一環となっている。
  - 知的財産権、標準の在り方
    - 各企業が政府との連携において知的財産権(IP)の制御を失うリスクを懸念することもあるが、その対策はとっていく。
    - 標準、共通なインターフェースは必要。業界が最適な方法を見つけて進むとともに、政府が標準を施行することでベンダーロックや独占を避けつつ、相互運用性を確保する。オープンな標準化が望ましい一方、企業の競争力を保護する必要がある。
    - 推奨補給では商業市場と政府市場は違う
      - 商業クライアント：静止軌道での保持の為にキセノン電気推進が効率的
      - 宇宙軍：急速な加速が必要で化学推進
    - Northrop GrummanはSCCIにfirst preferred refueling standardと認められたが、持続的な機動性の必要性に応える為、他の企業にもこの機能を提供することを促している
    - 次なる重要な要素として電力とデータポートを見ている。

## Leveraging Commercial Support to Military Ops

- Lee Rosen, Co-Founder, President - ThinkOrbital Inc.
- Steve Crews, Chief of Operations & Integration – STARCOM
- Richard Kniseley, Senior Materiel Leader, Commercial Space Office - USSF Space Systems Command
- Jon Slaughter, Director, Government Relations - Sierra Space
- Elvert Gardner, Director of Space Strategy, Policy, and Plans - US Space Force

- 従来からの変化
  - 伝統的定義から離れ、産業がもたらす能力と革新に焦点を当て、従来の概念や時間軸に縛られずに脅威に対抗する必要がある。特に宇宙では商業と軍事の線引きが曖昧であり、Elon MuskのStarlinkが商業か軍事かは明確ではない。様々な宇宙能力や用語の定義は、演習やトレーニング、ワーゲームを通じて進化する可能性がある。
  - 打ち上げが最大の制約であり、60年以上前から変わらない方法で物資を宇宙へ移送している。将来的には宇宙での建設を可能にすることが重要である。
  - 宇宙ステーションの建設や将来の軍事活動においても、宇宙でのロボット技術や無人システムの利用が必要。商業市場があるかどうかは不明だが、ここで獲得したスキルや能力は将来のサービス提供に役立つ可能性がある。推薬補給などの商業活動だけでなく、宇宙における組み立て、製造、建設なども考慮すべきであり、これらの活動は将来の軍事活動にも影響を与える。
- 民間の能力を活かす為に
  - 実際の戦闘における視点を適切に反映し、商業との連携を強化する中で、お互いの不明確性を低減する為、契約の整備や産業界の連携が重要。連携や情報共有の実践訓練、リスクの取り決め、情報の伝達手段の確認が必要。
  - デュアルユース能力の利用においては企業が特定のミッションに焦点を当て開発したものを他の用途で適用することも必要。物流の側面も重要で、軍隊が採用している物流モデルを宇宙に応用することができる可能性がある。例えば、前進基地を構築し、物流サポートの要素を持っていると、軍事的な展開や作戦において有益である。
- 民間への支援
  - Space WERXやDIU等の機関との協力を通して民間へ投資し、そのサービスを政府側も利用できるようにしている。
  - 産業界は政府の必要性や資金割り当ての理解、複雑な官僚的プロセスの航行などに直面しており、特に小規模企業にとっては困難が多い。政府の主要な問題やニーズを理解させ、複雑な手続きをナビゲートし、特にSBIR(Small Business Innovation Research)等の提案に関するフィードバックを受けることが望ましい。
  - SSCフロントドアウェブサイトを設置 <https://sscfrontdoor.experience.crmforce.mil/SSCFrontDoor/s/>
    - SSCからの情報発信、企業が政府に能力を発表するための手段とする



## 注目セッション

<https://www.spacecomexpo.com/spc-schedule>

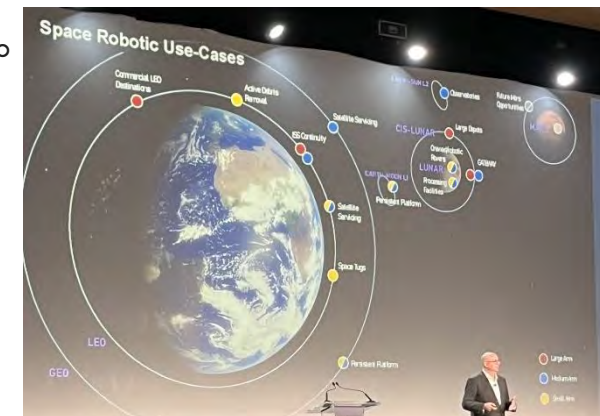
1/31/2024	セッションタイトル/聴講ポイント
11:00-12:00	Robotics Transforming Space 月探訪のロボティクス関連 GITAIが登壇 今後のロボット開発の動向、どのようにユースケースを広げていくのか
13:45-14:45	Propulsion Enabling On-Orbit Servicing 新しい推進系について どのような推進系が開発されていて、どのような開発段階まで来ているのか
13:45-14:45 (上と同時間)	Cutting Edge Technologies OOSに関する技術(詳細記載なし)
13:45-14:45 (同)	Enabling Space Sustainability and Global Commerce with Commercial Space Domain Awareness Services 軌道上サービス、SDAが世界に何をもたらすのか、どう発展するのか
15:00-16:00	Securing On-Orbit Space Assets: Commercial Strategies for Dynamic Space Operations 燃料補給について 燃料補給や軌道上サービスによって宇宙のロジスティックがどう変わるのか
2/1/2024	セッションタイトル/聴講ポイント
13:15-14:15	Digital Engineering Innovations デジタル化が衛星の設計や製造、打ち上げにどのような変革をもたらすのか

## Robotics Transforming Space

- Sho Nakanose [[GITAI USA](#)]GITAI Space Robotics for Lunar Exploration
- Seamus Tuohy [[MDA Systems](#)]Developments in Space Robotics
- Dallas (Jim Keravalaの代役) [[OffWorld](#)]Building a Solar System Civilization

米国ではUSミリタリーだけではなく、月および火星に向けた取り組みのなかでNASAとしても、ロボティクス技術の利用を重要と考えている。

- GITAIはISSでのデモンストレーションを実施<sup>\*1</sup>し、ISSのメンテナンスや寿命延長運用のためにロボット機能を使用する計画である。また、月や火星での活用を目指しており、DARPAのLunA-10の14社の一つとして選定された。GITAIの特徴としては、垂直統合での開発を実施しており、キーコンポーネントのアクチュエータ等を社内で開発している。
- MDA SystemsはISSでのカナダアームの実績をもとに、アームだけでなくエンドエフェクター、センサーを含むサービスシステムに統合できるよう開発を行っており、large/medium/small Arm<sup>\*2</sup>とアームを複数用意し、LEOからCis-Lunar領域、火星圏までのユースケースに対応できるソリューションを提供しようとしている。
- OffWorldは地球以外での天体での採掘を可能とするソリューションを開発している。現在、鉱山などで、ロボットの実証開発を進めており、2027年に月での実証を目指している。



\*1: [GITAI Autonomous Robotic Arm Arrives at Space Station to Conduct ISAM External Tech-Demo](#)

\*2: MDA講演資料(右図)

## Enabling Space Sustainability and Global Commerce with Commercial Space Domain

### Awareness Services

- Sarah Mineiro, Senior Associate, [Aerospace Security Project - Center for Strategic and International Studies](#)
- Even Rogers, CEO and Co-Founder - [True Anomaly](#)
- Daniel Faber, CEO - [Orbit Fab](#)
- Nate Notargiacomo, Head - [HEO USA](#)
- Janice Starzyk, Deputy Director, [Office of Space Commerce - NOAA](#)

- 米国商務省の NOAA は国防総省から民間および商業空間のSSA機能を引き継ぎ、サービスの提供を開始する。そのために、民間宇宙企業3社にSSAデータとサービスを発注した。<sup>\*1</sup>
- 今後の混雑した宇宙環境において、宇宙の交通管理をするための、SAA/SDAは非常に重要である。推薬補充活動やサービスなどの商業活動を可能にする規制は重要で、制限的な規制が行われると、企業側は上手く活動できなくなる。活発な宇宙経済を生み出すために、米国企業と国際企業間での協力が必要。(- Orbit Fab)
- 経済的持続可能性と環境的持続可能性を含む宇宙における持続可能性が重要であり、デブリ増加や宇宙安全保障上の懸念に対処するためには国際協力が必要。持続可能性への取り組みは、デブリや潜在的な非協力物体などの宇宙安全保障問題の下流への影響に対処する必要がある。(- Orbit Fab/True Anomaly)

\*1: NOAA ; [Office of Space Commerce Initiates TraCSS Pathfinder Projects](#)

## Securing On-Orbit Space Assets: Commercial Strategies for Dynamic Space Operations

- Theresa Hitchens, Reporter, Space and Air Force - [Breaking Defense](#)
- Michael Killings, Deputy Director, Servicing, Mobility, and Logistics (SML) – [USSF](#)
- Lexie Weikert, Government Solutions Specialist - [Astroscale US](#)
- Lauren Smith, Program Manager, In-Space Refueling - [Northrop Grumman Tactical Space Systems](#)
- Lars Hoffman, Vice President, National Security Sales - [Blue Origin](#)

- 宇宙軍は、民間企業からの燃料補給および推進技術に対する需要の増加を目の当たりにしている。予算的な制約があり、民間企業との提携を求める宇宙軍の願望がある。(- USSF)
- 民間企業は宇宙軍のタイムライン\*1に合わせて、準備を進めている。企業の自己投資も含めたデモンストレーションが必要。(- Astroscale US, Northrop Grumman)
- 人々が地球の利益のために宇宙に住み、働き、持続的なモビリティとサービスのアーキテクチャを構築する必要がある。デブリのリサイクルや長期宇宙ミッションのためのシステム開発や技術への投資も重要。(- Astroscale US, Blue Origin)
- 軌道上でこれらの非常に価値のある資産の寿命を倍増させたいと言っているのであれば、産業界はそれに対する解決策を提案する。(- USSF, Blue Origin)
- 私たちは燃料補給の方法を最初に知っているわけではない。業界として提携し、そのさまざまな種類のセグメントを埋めるために協力する必要がある。

\*1: USSF Space Systems Command ; [RACE TO RESILIENCE](#)

## Digital Engineering Innovations

- Jason Roberson, Business Value Expert, Aerospace & Defense Industry - [Dassault Systemes](#)
  - Christian Boberg, Enterprise Architect, Business Development - [Dell Technologies](#)
  - Devin Dickens, Technical Solutions Architect - [RG Next](#)
  - Rusty Powell, VP, Engineering - [Axient](#)
- 
- 物理ベースのモデリングとシミュレーション/デジタルツイン技術が重要である。デジタルツインは製造プロセスにおけるコストや排出量の削減に貢献できる。( - Dassault Systemes, Axient)
  - 非宇宙産業では、技術者が VR ゴーグルを装着し、イラクの砂漠で遠隔メンテナンスを行っているデジタルツインのデモがあった。メンテナンスの方法を知らなくても、ゴーグルを使用すると、メンテナンスの方法について段階的に指示することができる。( - Dell Technologies)
  - 安全な宇宙への打ち上げ宇宙運用を行うために自動化が重要。AI技術は 1つの解決策である。NOAA のダウンロードには毎日 20 テラバイトのデータがあり、人が確認することは絶対に不可能。人工知能のテクノロジーや、それを実現するためのデジタルエンジニアリング能力を手に入れることで、データを有用なものにできる。( - RG Next, Dell Technologies)
  - デジタルエンジニアリングで使用されるモデルの精度と信頼性を確保するという課題と、モデルのエラーの確率を理解し、忠実性が適切なレベルに維持されるように統計的アプローチを採用することが重要。AI 等を使用しても、モデルを検証し、弱点を特定するには物理テストが依然として重要である。( - RG Next, Dassault Systemes, Dell Technologies)

**<付録>**

- **適時調査・事実確認**
  - **(事実確認)編隊飛行(フォーメーションフライト)の技術開発動向について**
  - **適時調査については期間中の対応はなし**

(事実確認)

# 編隊飛行(フォーメーションフライト)の技術開発動向について

一般財団法人衛星システム技術推進機構  
Advanced Satellite Systems Technology Center (ASTECC)

2024年 1月26日

# 編隊飛行（フォーメーションフライト）の技術開発動向一覧

プログラム	国	開発時期	開発主体	目的/特徴	出典
Proba-3	欧州	2024打上予定	ESA	太陽コロナ観測。遮光衛星と観測衛星の編隊飛行。150mの距離をmm精度で制御する。	<a href="https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Satellite_Formation_Flying">https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Satellite_Formation_Flying</a>
XEUS (The X-ray Evolving Universe Spectroscopy)	欧州	2015(中止と考えられる)	ESA	50メートル離れて飛行する2機(1機はミラーを搭載し、もう1機は検出器を搭載)で構成され、自由飛行する巨大なX線観測装置。ブラックホールの期限を探索するものであった。	<a href="https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/XEUS_overview">https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/XEUS_overview</a> <a href="https://www.esa.int/esapub/sp/sp1238/sp1238web.pdf">https://www.esa.int/esapub/sp/sp1238/sp1238web.pdf</a>
LISA (Laser Interferometer Space Antenna)	欧州 米	2034打上予定	ESA, NASA	レーザー干渉計宇宙アンテナ(LISA)は、重力波(時空の構造の小さなさざ波)を天体から検出し、正確に測定するための宇宙探査機。	<a href="#">LISA - Laser Interferometer Space Antenna - NASA Home Page</a>
CO3D	仏	2024打上予定	CNES/Airbus	高解像度光学イメージングと3次元マッピングミッション。都市計画、地形モデリング、精密農業や林業に適用。4機の衛星で構成され、ペアで運用されるが、20機まで拡張する可能性がある。	<a href="https://www.eoportal.org/satellite-missions/co3d-constellation#overview">https://www.eoportal.org/satellite-missions/co3d-constellation#overview</a> <a href="https://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=1030">https://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=1030</a>
Tandem 4EO constellation	芬/西	2022打上	Iceye / Satlantis	2つのIceye合成開口レーダー衛星がバイスタティック編隊を組んで飛行し、その後2つのSatlantis衛星が1ピクセルあたり1メートル未満の解像度で画像を収集する	<a href="https://spacenews.com/iceye-satlantis-tandem4eo/">https://spacenews.com/iceye-satlantis-tandem4eo/</a>
StarFOX	米	2023打上	NASA/Stanford Univ.	地球低軌道にある4台のCubeSatを使用し、小型宇宙船が自律的かつ同期的に動作できるようにする新しいアルゴリズムを実証する。	<a href="https://blogs.nasa.gov/smallsatellites/2024/01/17/nasas-starling-cubesats-succeed-in-early-space-navigation-test/">https://blogs.nasa.gov/smallsatellites/2024/01/17/nasas-starling-cubesats-succeed-in-early-space-navigation-test/</a> <a href="https://slab.stanford.edu/projects/starling">https://slab.stanford.edu/projects/starling</a>
HawkEye360	米	実証: 2018打上 実用: 2021~打上	HawkEye360	SIGINT衛星。1クラス3機の編隊飛行を行い電波到来方向を推定する。	<a href="https://www.he360.com/">https://www.he360.com/</a>
Capella-9/-10	米	2023打上	Capella	バイスタティックSARIにより、様々な角度から画像をキャプチャすることで物体のイメージングを改善し、更にレーダー妨害による干渉を回避する。	<a href="https://www.capellaspace.com/capella-space-rd-team-demonstrates-bistatic-collect-capability/">https://www.capellaspace.com/capella-space-rd-team-demonstrates-bistatic-collect-capability/</a>
参考 Our STARS	日	不明	インターステラテクノロジーズ	ピンポン玉サイズの超小型衛星数千個を編隊飛行させ、大きなアンテナの機能を果たす。幾つかの衛星が壊れても全体の機能は失われずに安定したサービス提供が可能。	<a href="https://www.istellartech.com/teaser/pdf/OURSTARS.pdf">https://www.istellartech.com/teaser/pdf/OURSTARS.pdf</a>



