

宇宙技術戦略 軌道上サービスに関する市場戦略・開発技術について

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

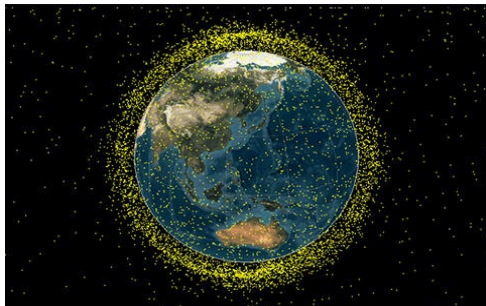
- 持続的な宇宙利用・新たな価値創出には「衛星の使い捨て」と「軌道環境の悪化」が生み出す悪循環が課題

人工衛星が抱える問題

(背景)

- 打上後の修理や機器の変更が困難

- 自動車、船舶、航空機のようなエコシステムが存在せず、現状は使い捨て
- 静止軌道衛星等はCAPEXが大きく、回収には長期間の運用が必要
[補足] 推進薬が尽きることにより寿命を迎える衛星が多数存在



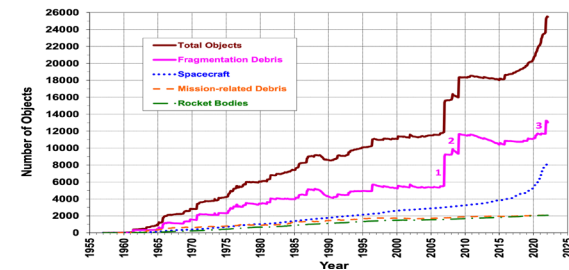
低軌道のスペースデブリ イメージイラスト
出典 https://www.jaxa.jp/projects/debris/index_j.html

軌道環境の変化

(背景)

- 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

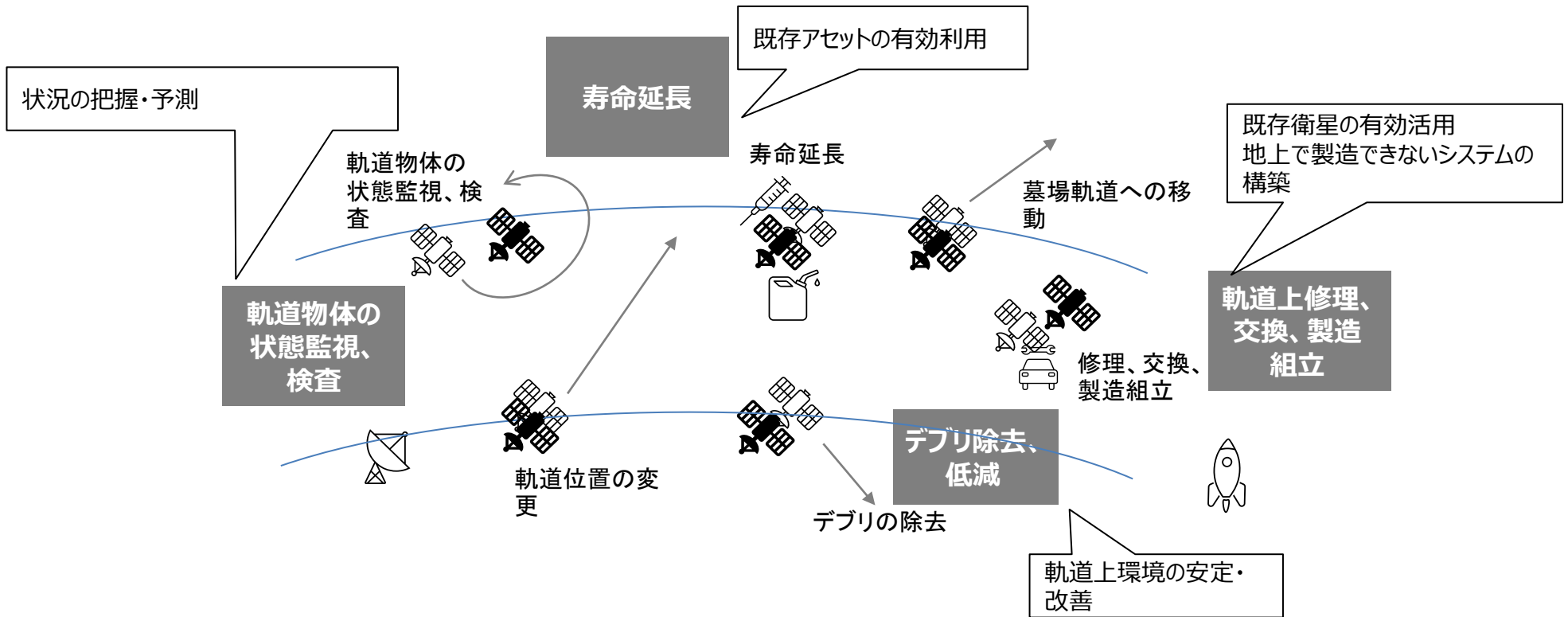
- 軌道上の物体、スペースデブリの急増による軌道環境が混雑
→ 事業実現・継続性に対する課題だけでなく、FCCの要求(25年以内の廃棄から5年以内への変更)等の法制度が進み、衛星保有者のリスク、負担が増加
→ 想定外の衝突回避等による予定以上の燃料を消費(衛星寿命短縮)



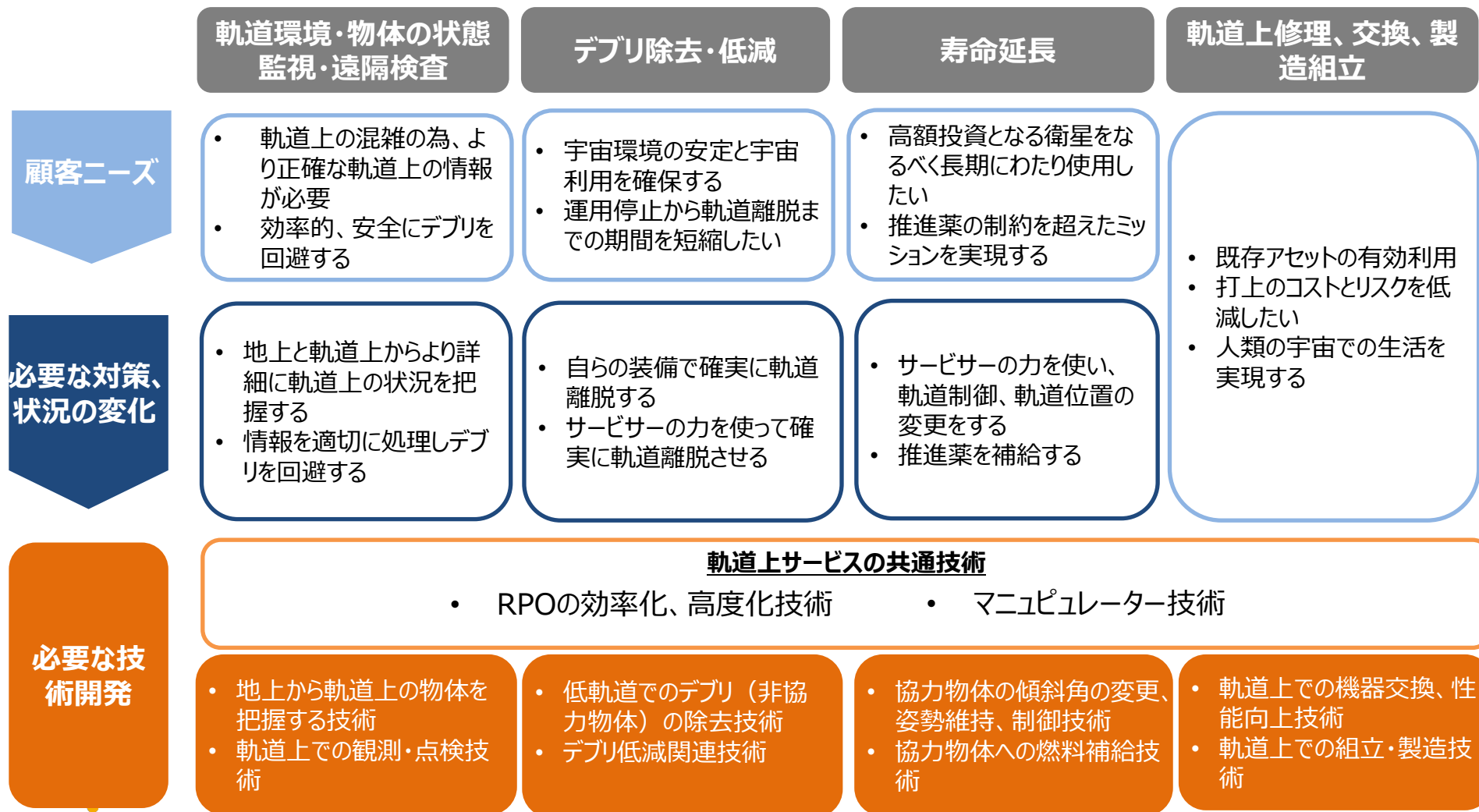
地球周回軌道上の物体数の推移

出典 <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/modeling/legend.html>

- 悪循環を改善することで持続的な宇宙利用・新たな価値創造(新たなミッションの創出)を支える



- 軌道環境・物体の状態監視・遠隔検査、寿命延長の一部はすでにサービスが開始。技術の成熟、コスト低減、政策と法規制、標準化により更にニーズが高まると予測される

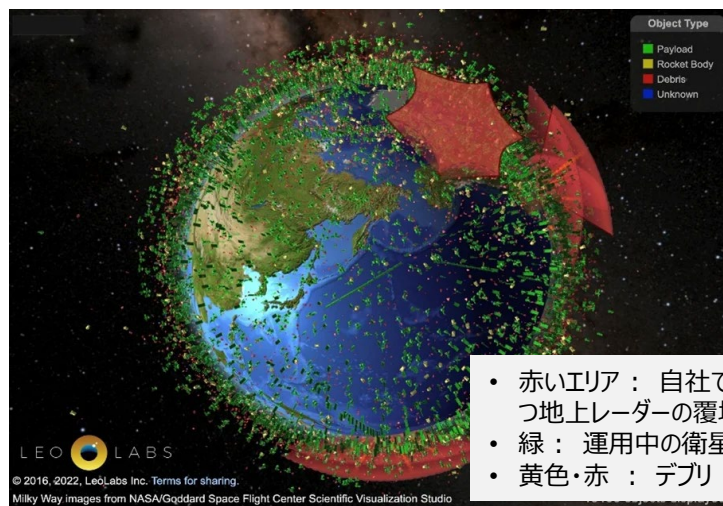


- 軌道環境と軌道上物体の正確な状況を把握し、衛星運用者に提供する
- 衛星搭載のセンサーで対象を撮像し、軌道上にある衛星の正確な状況を提供する

プレイヤーの取り組み事例

- ✓ 米LEO LABSは、地上からのレーダーを用いてLEOの物体(2-10cm程度)を観測し、正確な軌道情報を衛星運用者に提供することに加え、データ取得から、分析、衝突回避のアラート、回避方法など統合的なサービスを提供している
- ✓ 米MAXARは、軌道上での衛星撮像データの提供を開始した

米LEO LABS社が提供するサービスの例



- 赤いエリア：自社で持つ地上レーダーの覆域
- 緑：運用中の衛星
- 黄色・赤：デブリ

出典 <https://gizmodo.com/new-image-first-look-spacex-mini-starlink-orbit-1850209123>

Worldview-3衛星が撮像した運用中のLandsat 8



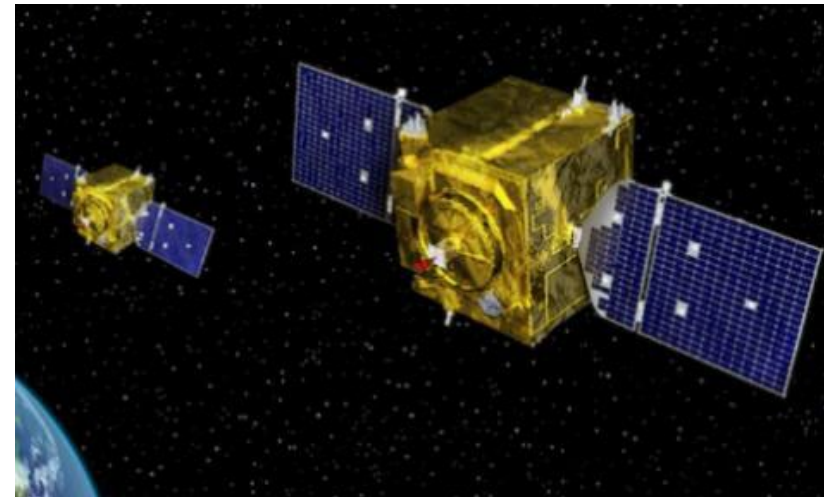
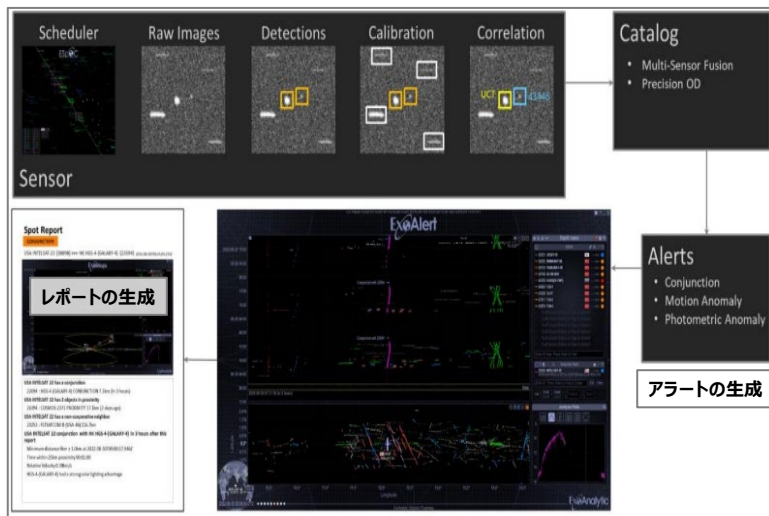
NASA's Landsat-8 satellite, as imaged in 2023 by Maxar Technologies' Worldview-3 spacecraft. (Image credit: Maxar Technologies/NASA via Twitter)

出典 <https://www.space.com/maxar-satellite-photo-nasa-landsat-8>

- 地上の技術においては正確で自立的な検知、回避・解析システムの自動化が進む
- 軌道上サービスを提供する為により正確な情報が必要となると共に、安全保障用途の宇宙状況把握のニーズも高まる

より正確に物体を検知、人為的エラーを排除しデブリ衝突等のアラート、回避行動が自動生成される

衛星のセンサーから正体不明機の探知、敵対的行動の監視をし、多波長センサー等で対象機の性能、運用の意図の確認等を行う



米ExoAnalytic社の検知・追跡・監視・衝突回避システム

出典 <https://amostech.com/TechnicalPapers/2022/SSA-SDA/Ingram.pdf>

GSSAP衛星は、中国・ロシア等の衛星に対し、複数回の近接運用を行ったとされている

出典

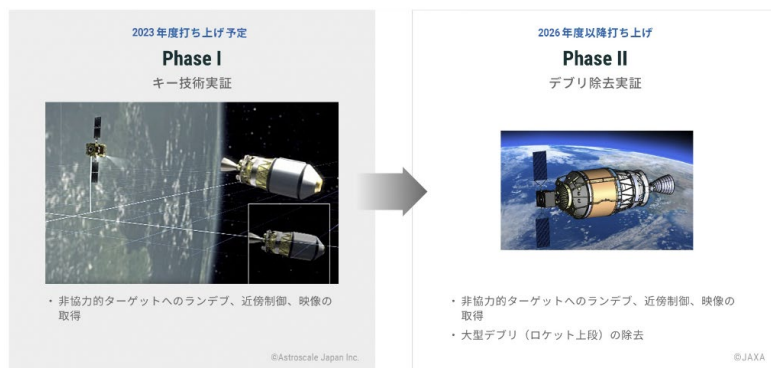
<https://www.spaceforce.mil/About-Us/Fact-Sheets/Article/2197772/geosynchronous-space-situational-awareness-program/>

- デブリ除去：サービサーがデブリを捕獲・軌道変更し、軌道環境を安定させる
- デブリ低減：テザーや帆等の自己除去型の機構を衛星に搭載し、軌道離脱の時間を短縮する

プレイヤーの取り組み事例

- ✓ 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。
- ✓ 日AxelspaceのD-SAIL、日BULLの導電性のテザーなどによる自己除去型の機構を衛星に搭載することでデブリ低減をはかる

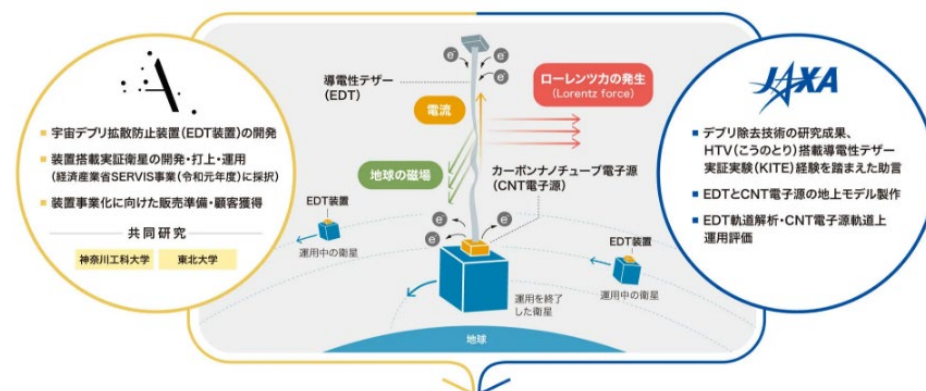
JAXA 商業デブリ除去実証CDR2 (Commercial Removal of Debris Demonstration) プロジェクト



H II Aロケット上段の除去を実施

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

導電性のテザー

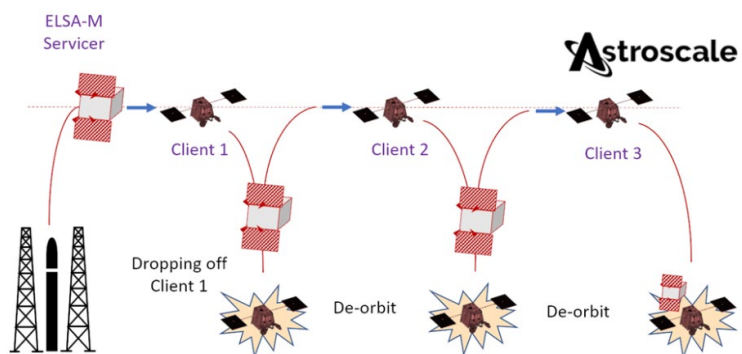


ミッション終了後の衛星が、ローレンツ力を用いて速度を落とすことにより、軌道離脱までの時間を短縮

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

- コストを抑える為に複数機の除去が求められる
- ロケット上段、衛星等、様々な物体に対応する技術の開発を進める

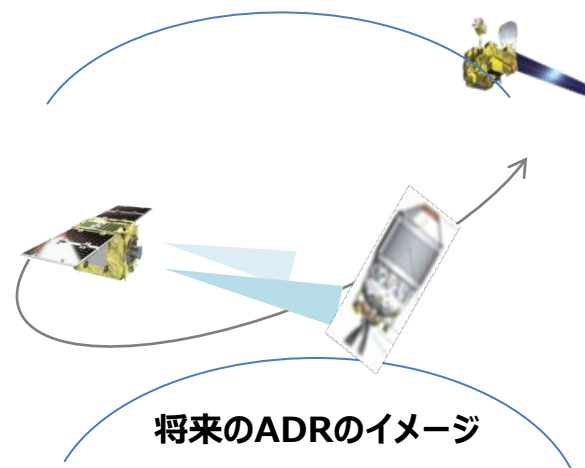
センサー類とComputer Vision、オンボード処理、デブリの回転の抑制、汎用的な捕獲機構と相手物体の制御、制御再突入の技術の開発を進める



英Astroscale社のELSA-Mミッション

サービサー(衛星)が複数の故障した衛星の軌道離脱を実施

出典 <https://astroscale.com/ja/astroscale-uk-signs-2-5-million-agreement-to-develop-space-debris-removal-technology-innovations-with-oneweb/>



将来のADRのイメージ

様々な対象を捕獲、軌道離脱させる

- ドッキングによる姿勢制御、推進薬の補給により、ミッションの継続を可能とする
- 複雑なミッションや想定外に燃料を使用した衛星のミッションの遂行を確保する

プレイヤーの取り組み事例

米Space Logistics社が2021年よりIntelsat 10-02へドッキングによる寿命延長サービスを開始
米ORBIT FAB 社がGas Station in Spaceを目指し開発を進める。Astroscaleの寿命延長衛星へ給油をする契約を締結。また、米宇宙軍と連携し複数のDoDミッションに補給口RAFTIを搭載することを発表

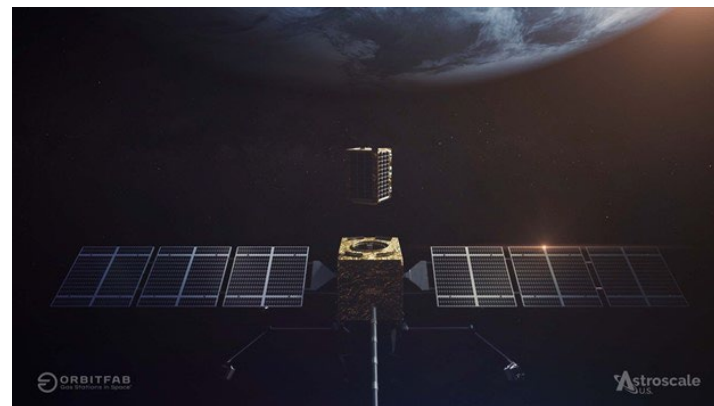
米Space Logistics社のMEV-1ミッション



- ドッキングイメージ図 (右がMEV-1、左が対象となる人工衛星)
- 燃料が枯渇すると姿勢制御が不可能となるが、サービサーが姿勢制御をつかさどり、通信等のミッションを継続

出典 <https://sorabatake.jp/10894/>

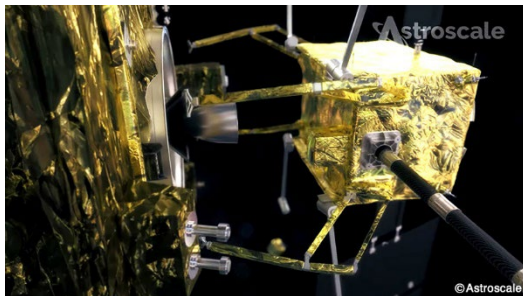
米Orbit Fab社 給油構想



- 燃料を補給することにより、特に安全保障用途などの大きなデルタVを必要とする複雑なミッションの遂行を可能とする。
- 航続距離を伸ばしGEO以遠の人間の活動を可能とする

出典 https://aerospacebiz.jaxa.jp/topics/news/20220520_in_orbit_servicing

- 寿命延長の実証だけでなく、複数機へのサービスの提供によるコストの削減が目指される
- 推進薬補給の実証も計画され、補給対象の拡大、給油インターフェイスの開発・共通化も含めた推進薬移送システムの開発が進むとともに、将来のインフラの整備の構想も進む



AstroscaleのLEXサービス

- ロボットアームでドッキングをし、複数のクライアント衛星へ軌道制御のサービスを提供する

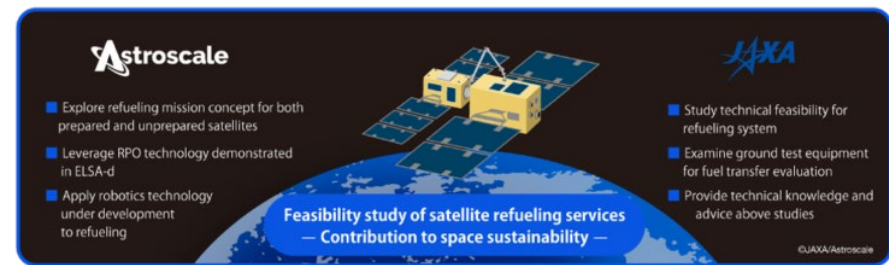
出典 Youtube <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=LaWvUIUHTI&fbclid=IwAR04EvT9-FQ0MpoDyny0XSUCGcXvns20cyaGaBsvPvkPaJP2LPdIOANND>



Northrop Grumman MEP/MRV

- MEP(推薬ポッド)をMRV(ロボットアーム)で装着する。

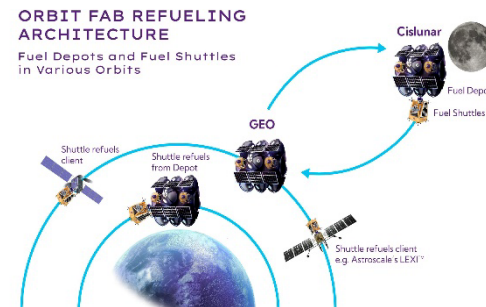
出典 Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=V8WXA2MwzB4>



推進薬の補給イメージ

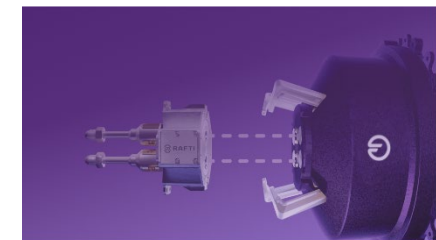
- JAXAが進めるJ-SPARCで将来の構想が共創されている
- RPO技術に加え補給ラインの精密誘導接続、推進薬移送システムの開発が必要となる

出典 https://www.jaxa.jp/press/2022/12/20221207-1_j.html



将来のアーキテクチャー

- Gas Station、Shuttle等による分業の構想
- 推進薬の補給により深宇宙探査も可能に



推進薬移送システム

- 対象推進薬の拡大、補給インターフェイスの開発と標準化の取り組みが進む

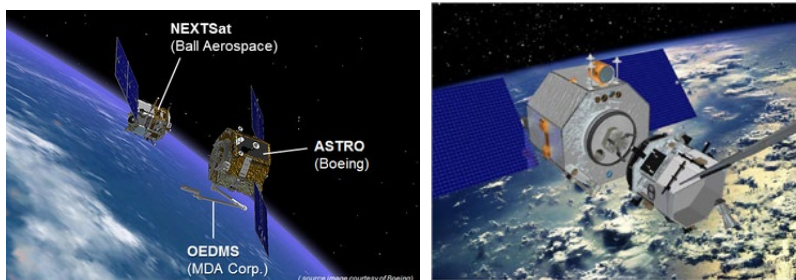
出典 <https://www.orbitfab.com/raft/>

- ミッションの追加・変更の為の修理・交換を実施
- 軌道上で製造組立することにより、大型建造物等の実現を可能にする
- 無重力環境を利用した新たな素材の生成、創薬を可能とする

プレイヤーの取り組み事例

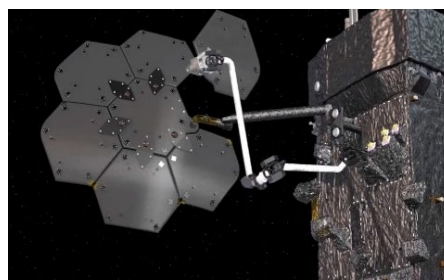
- ✓ 2007年にDARPAとNASA主導のOrbital Expressにてバッテリーの交換が実証された
- ✓ NASA主導OSAM-1プロジェクトによりロボットアームでの3mの通信アンテナを組立や、10mの軽量ビームの製造を、-2において衛星両端から33ft伸びる2本のビームの3Dプリンターでの製造と取り付けを目指す。

米Orbital Express プロジェクト



軌道上でのランデブー。ドッキング、推進薬の移送、バッテリーの交換が行われた

米OSAM-1 プロジェクト

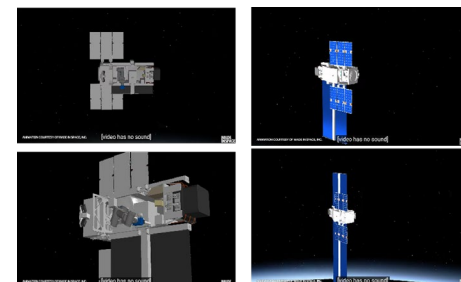


軌道上でアンテナやビームを組み立てる

出典

<https://investor.maxar.com/investor-news/press-release-details/2020/NASA-Selects-Maxar-to-Build-Fly-Innovative-Robotic-Spacecraft-Assembly-Technology-on-Restore-L/default.aspx>

米OSAM-2 プロジェクト






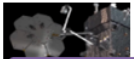








軌道上で3Dプリンターを使用しビームを製造する

出典

<https://www.youtube.com/watch?v=DCLD-ifdUE&t=132s>

- 汎用的なロボットアームとエンドエフェクターの開発が進むと同時に、インターフェイスの標準化やモジュール化が進む
- AM(積層製造) 技術に加え切断、溶接や鋳造等の技術開発がすすむ。「衛星部品製造」、「大型建造物構築」、「軌道上資源利用」の方向性で、太陽光発電、大規模アンテナ等の計画と連携し、政府による研究開発と実証が待たれる

	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"> NASA, Redwire  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> NASA, Tether Unlimited Orbital  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> Redwire <p>ISS船内実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> Redwire <p>ISS船内実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> Think Orbital  <p>構想</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nanoracks  <p>軌道上実証済み</p>	<ul style="list-style-type: none"> CisLunar Industries 	<ul style="list-style-type: none"> NASA, Maxar  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> Orbital Composites, Think Orbital  <p>構想</p>
欧州	<p>ISS船内実証予定</p>	<p>ISS船内実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ESA, Aribus  <p>軌道上実証予定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ESA, Incus  <p>地上実証済み</p>		<p>明確な計画は現時点で確認できない</p>		<ul style="list-style-type: none"> EU, Airbus  <p>軌道上実証予定</p>	<p>明確な計画は現時点で確認できない</p>
日本	<ul style="list-style-type: none"> 三菱電機  <p>構想</p>		<p>明確な計画は現時点で確認できない</p>		<ul style="list-style-type: none"> Space quarters  <p>構想</p>		<p>明確な計画は現時点で確認できない</p>		<p>明確な計画は現時点で確認できない</p>

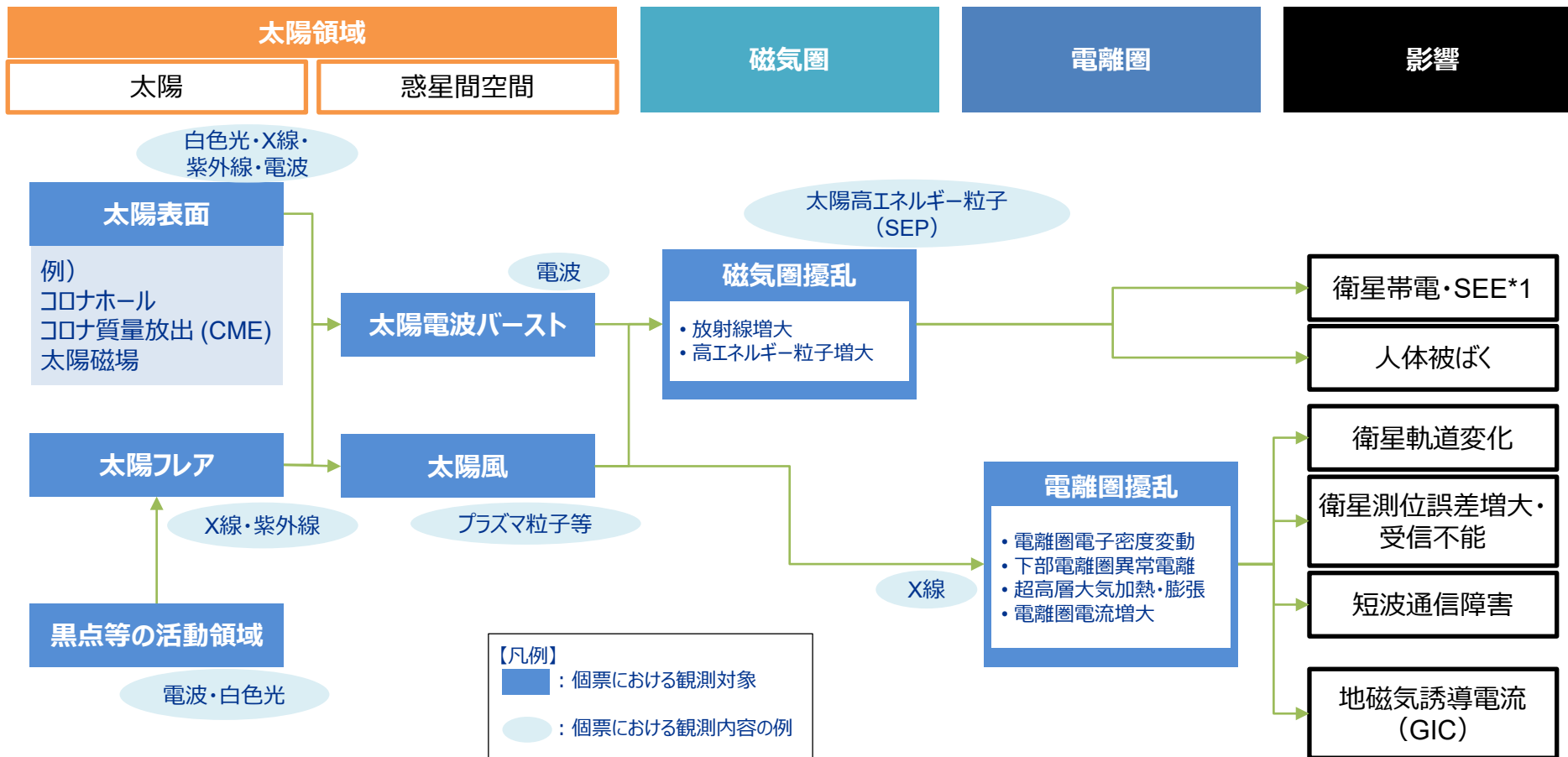
Op1 : 衛星部品製造
 多彩な素材製造を行うことで、衛星製造部品を拡大させる

Op2 : 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

Op3 : 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



- 宇宙システム安定利用の為の宇宙環境の観測と予測技術として、宇宙環境測定センサ技術、観測網の充実、予測モデル、ニーズに即したアプリケーションの開発が求められる



*1 Single Event Effect

ASTEC 宇宙天気として発生する現象 (= 観測・予測対象) の個別事例と、それら事例がもたらす影響



(財)衛星システム技術推進機構