

令和7年度技術開発調査等の推進事業費(ルール形成戦略に係る調査研究(宇宙交通管理等に関する標準化およびルール形成戦略に係る調査))

調査報告書

目次

1. はじめに	3
2. 宇宙交通管理等に関する技術、標準、規制、国際ルール等の最新の国際動向についての調査	6
2-1. 宇宙交通管理及びその周辺技術、標準、規制、国際ルール等に係る最新動向調査	7
2-2. 国際会議の参加報告	172
3. 我が国が先行すべき分野、または我が国が特に注視、関与すべき既存の動向等についての分析	174
3-1. 我が国が先行・注視すべき分野の整理と国際標準活用の有効性分析	176
3-2. 調査検討会(宇宙交通管理等に係る産業政策に関する調査検討会)の開催	208
4. 我が国が取るべき宇宙交通管理等に関する標準化およびルール形成戦略(案)の検討	224
4-1. 標準化およびルール形成戦略(案)の検討	225
4-2. 創出・拡大できる市場規模の調査分析	237
5. まとめと今後の課題	243
付録	245

1. はじめに

- 本調査の趣旨・目的
- 事業実施の基本方針
- 調査フロー

本調査の趣旨・目的

仕様書記載の目的

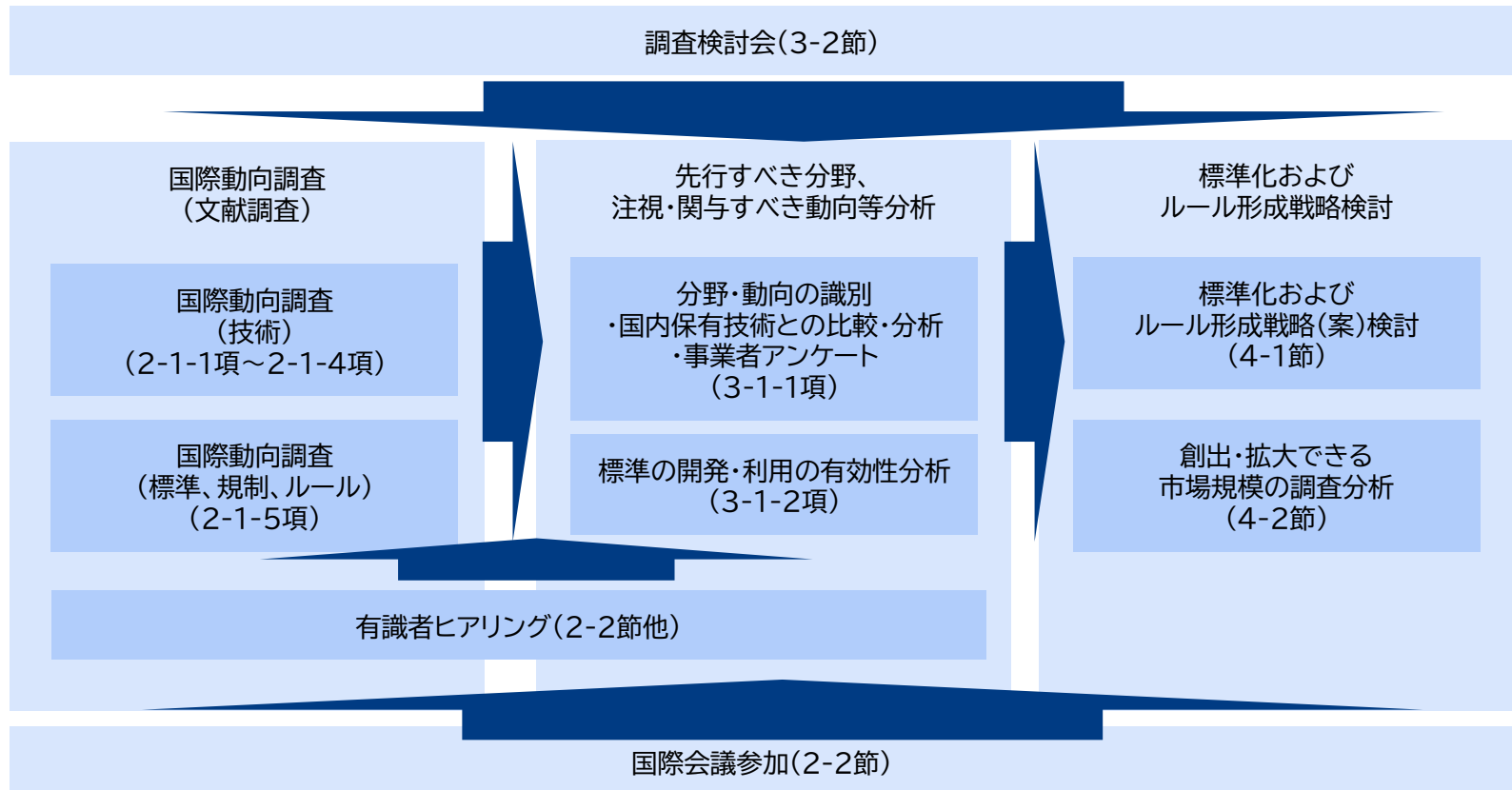
- 各国政府、民間プレイヤーによる宇宙開発利用、ビジネスが急速に拡大する中、衛星コンステレーションの構築等による人工衛星の増加とこれに伴うスペースデブリの発生等により、軌道上が人工物体で急速に過密状態になってきている。
- こうした状況は、持続的な宇宙活動や宇宙に関する企業活動等において様々な問題を生じさせ得る一方、宇宙状況把握(SSA: Space Situational Awareness)、軌道上サービス(OOS: On-Orbit Servicing)等の新たな技術領域・市場を創出し得る面もあり、我が国にとってリスクとなると同時に、産業振興等の観点でチャンスにもなり得るものである。また、こうした軌道上の過密状況は、宇宙交通管理(STM: Space Traffic Management)等の新たな技術、国際ルール、標準等に関する議論を急速に進展させている。
- 様々な国際機関等が宇宙空間の持続的利用に向けた警鐘を鳴らし、各国でガイドライン・基準等を制定する動きもある中、宇宙交通管理等に係る他国による規制や国際的なルールメイクの今後の在り方によっては、我が国宇宙活動の自立性や企業の成長等に対し、不要に抑制的な影響を与える可能性もある。我が国が競争力を持ち国際市場において持続的に成長していくためには、我が国の民間企業が持つ技術や強みを整理し我が国の立ち位置を認識するとともに、ルール形成戦略において連携すべき国や機関、アプローチ方法を検討する必要がある。また、宇宙関連市場は未だ発展途上段階にあり、スタートアップ等の企業体力に乏しいプレイヤーも多く存在する状況にあることや、宇宙産業のルール形成戦略には各国政府や政府宇宙機関等の公的組織による関与が必須となるケースが多い事等から、本調査は国の事業として実施する。
- 宇宙交通管理等における標準化およびルール形成は、我が国の経済安全保障、産業振興、技術革新、そして持続可能な宇宙活動の基盤構築に対して大きな影響を与え得るものであることから、本調査では、我が国として自立的な宇宙産業基盤を構築、維持強化し、国際市場での競争優位性を確立するため、(1)宇宙交通管理等に関する技術、標準、規制、国際ルール等の最新の国際動向について調査を実施し、(2)我が国が先行すべき分野、または我が国が特に注視、関与すべき既存の動向等について分析を行った上で、(3)我が国が取るべき宇宙交通管理等に関する標準化およびルール形成戦略について検討を行う。

● 本調査の目的

- 宇宙交通管理(STM)について、**軌道上混雑の現状、各国での技術開発や制度・ルール作りの状況等の動向を把握**するとともに、これらを踏まえた我が国の対応を検討し、**成長促進的な宇宙交通管理を実現**するべく、経済産業省殿が今後実施する**標準化およびルール形成戦略の検討に資する情報**としてとりまとめること。
- 上述のとりまとめた情報に加え、検討会参加企業や有識者の意見等も踏まえ、**我が国がとるべき標準化およびルール形成戦略(案)を具体的に提示**すること。

調査フロー

- 本調査の調査フローを以下に示す。文献調査を軸に有識者ヒアリング、国際会議参加、そして調査検討会での議論を踏まえて標準化およびルール形成戦略(案)の検討を行った。
- 加えて、事業者の意向を把握するための事業者アンケートを行った。



2. 宇宙交通管理等に関する技術、標準、規制、国際ルール等の最新の国際動向についての調査

- 宇宙交通管理及びその周辺技術、標準、規制、国際ルール等に係る最新動向調査
- 国際会議の参加報告

2-1. 宇宙交通管理及びその周辺技術、標準、規制、国際ルール等に係る最新動向調査

- 調査方針
- 軌道上の混雑状況の把握
- SSA
- 軌道上サービス
- デブリ発生の抑制と低減
- ルール・標準調査

宇宙交通管理等に関する技術、標準、規制、国際ルール等の最新の国際動向についての調査

調査方針

- 宇宙交通管理等に影響を与える技術、標準、規制、国際ルール等の最新状況を把握するためには、「①軌道上の混雑状況動向」を調査・整理した上で、「②技術面」と「③標準・ルール面(標準、規制、国際ルール等)」の2つの観点から、最新かつ網羅的に国際動向を調査する必要がある。
- 技術面の調査においては、②-1:SSA(2-1-2項)、②-2:軌道上サービス(2-1-3項)、②-3:デブリ発生の抑制と低減(2-1-4項)の3つの視点から調査・整理を行った。

①軌道上の混雑状況の把握(2-1-1項)

ラージコンステを中心とした、各国の衛星打上げ動向の調査

②技術面の調査(2-1-2～2-1-4項)

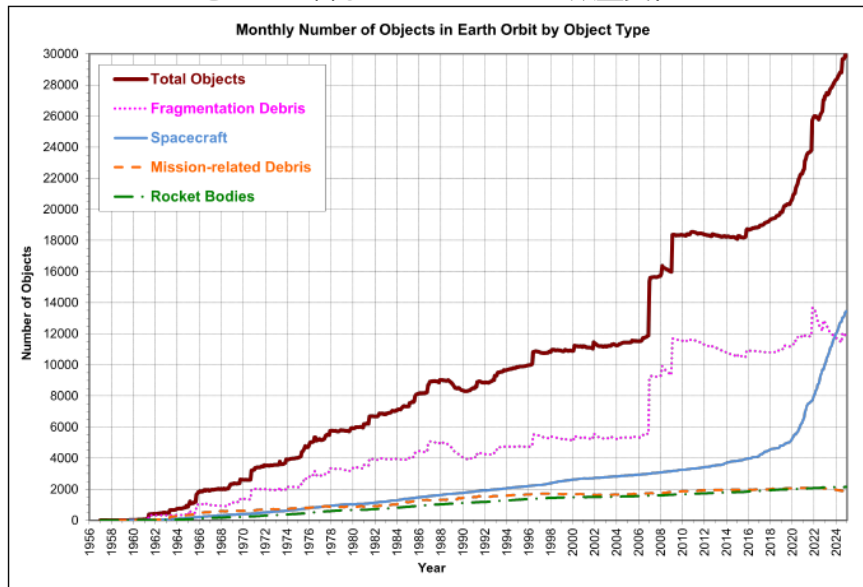
	打上時	運用時	運用終了以降
第三者の支援	②-1:SSA (2-1-2項)		
	観測データ(位置情報・衛星外観・宇宙天気等)提供		
	軌道解析・運用支援		
事業者自身が実施	②-2:軌道上サービス (2-1-3項)	寿命延長 燃料補給 組み立て・リサイクル	ADR EOL
	②-3:デブリ発生の抑制と低減 (2-1-4項)		
	衝突回避 デブリ放出・破砕の防止 自己除去 無害化		

2-1-1. 軌道上の混雑状況の把握

- 軌道混雑化の状況
- 大規模コンステレーションについて

【概要】軌道混雑化の状況

- 軌道上物体の数は右肩あがりに急速に増加しており、近年は特に運用中の宇宙機が増加している。
- 軌道上物体は8割以上(=21,862/26,849)が低軌道に集中し、残りは静止軌道を中心に存在している。
- 特に低軌道の物体についての対応が必要となっている。

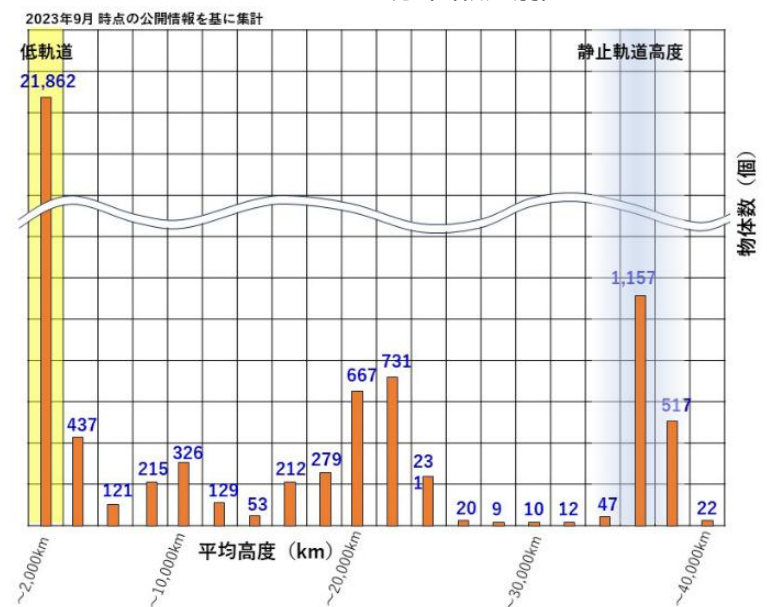
地上から確認できるデブリ上の数量変化¹

Fragmentation Debris: 衛星の破壊によって発生したデブリや異常な事象によるデブリ
 Mission-Related Debris: 計画されたミッションの一環として放出、分離、または放出されたすべての物体

出所)

1: NASA, "Orbital Debris Quarterly News", 2025年2月発行

2: <https://track.sfo.jaxa.jp/project/ssa.html> (最終閲覧: 2026年3月11日)

スペースデブリの分布(軌道別)²

【概要】大規模コンステレーションについて

*本調査では、300機以上の衛星により構成されるコンステレーションを大規模コンステレーション(あるいはラージコンステレーション)と定義

● 概要

- Starlink、OneWeb、Amazon Leoなど民間企業が低軌道に大規模コンステレーションの構築を進めている。また、中国、ロシア、EUも独自の大規模コンステレーション構築計画を表明している。
- 近年はカナダやポーランド、韓国等においても大規模コンステレーションの計画が見られる。
- 継続困難な例がある場合でも、一部計画が進むだけでも低軌道の混雑は深刻化すると見込まれる。
- 低軌道の混雑化が加速することで、衛星間での衝突やそれに伴い発生する大量のデブリによるケスラーシンドロームなどが、安全な軌道利用を脅かす事態が現実になりえる問題として認識され始めている。
- また、軌道上衛星の不具合や、G60 Starlinkの打上げで打上げロケットが分解し数百個のデブリが生じる事故も起きるなど、配備に伴うデブリの発生も大きな問題となりえる。

2-1-1. 軌道上の混雑状況の把握

【概要】大規模コンステレーション 一覧表

*本調査では、300機以上の衛星により構成されるコンステレーションを大規模コンステレーション(あるいはラージコンステレーション)と定義
斜文字箇所は300機以下予定ではあるが参考として追記

名称*1	事業者名(国名)	基数(予定)*2	打上げ済基数*2	高度(予定)*2	種別(政府/商用)	主用途	ページ番号
Starlink	SpaceX(米国)	42,000	約9,100	(340-360km)、 550km	商用	通信	13
Lynk	Lynk Global(米国)	5,000	5	約500km	商用	通信	14
Amazon Leo	Amazon(米国)	3,236	102	590-630km	商用	通信	15
Dove/SkySat/ Pelican Network	Planet(米国)	600以上(常時 150基以上運用)	450以上	400km、475km	商用	地球観測	16
PWSA	SDA(米国)	400以上	48	1,000km	政府	通信	17
TrustPoint(仮称)	TrustPoint(米国)	300	3(実証機のみ)	590km	商用	PNT	18
PULSAR	Xona Space Systems(米国)	250~300	1	約525km	商用	PNT	19
pLEO(仮称)	NRO(米国)	不明	200以上	不明	政府	地球観測・ 通信等	20
Lightspeed	Telesat(カナダ)	198?	3(うち1基稼働中)	1000-1,300km	商用	通信	21
IRIS ²	EU(欧州)	290以上	0	400-750km、 1,200km、8,000km	政府/商用	通信	22
Oneweb	Eutelsat OneWeb(英国)	600以上	654	1,200km	商用	通信	23
Sfera	Roscosmos(ロシア)	162(当初約600 基の計画)	1	不明	政府	通信等	24
STORK/REC	SatRevolution(ポーランド)	1,500	5以上	不明(低軌道)	商用	地球観測	25
Qianfan	Shanghai Yuanxin Satellite Technology(中国)	15,000	72	300km、500km、 800km	商用	通信	26
Guowang	CASC(中国)	13,000	104	500-1,145km	政府	通信	27
Honghu-3	Shanghai Lanjian Hongqing Technology(中国)	10,000	0	340-550km	商用	通信	28
GEESATCOM	Geespace(中国)	6,012	64	不明	商用	通信・測位	29
Yinhe	Galaxy Space(中国)	1,000以上	7	621-638km	商用	通信	30
Jilin-1	Changguang Satellite Technology(中国)	300	117以上	656km	商用	地球観測	31
Hanwha(仮称)	Hanwha Systems(韓国)	2,000	0	不明	商用	通信	32

*1: 並び順は、国名・基数(予定)順に整理している。

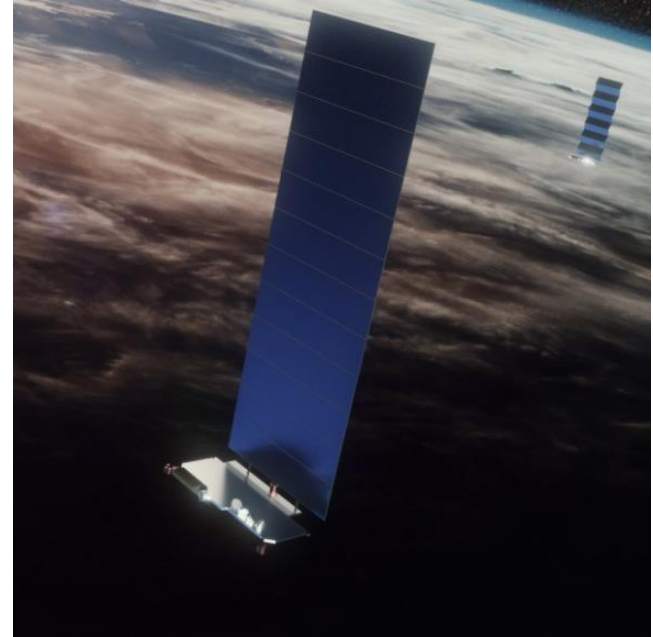
*2: 基数(予定)、打上げ済基数、高度(予定)それぞれの数値は、2025年12月時点の情報である。

SpaceX(米国): Starlink

概要

- 米国のSpaceXにより構築されている通信衛星コンステレーションである。
- 2025年8月現在、9,100基以上の衛星が打ち上げられており、2025年だけで1,500基以上打ち上げられたとされている。¹
- 一方、2024年12月～2025年5月に、運用中の衛星の約6%にあたる500基弱が軌道離脱した。¹
- 世界140ヶ国でのサービス契約数は600万件を突破。²
- FCCから地方部でのネットワーク接続を目的とする補助金約9億ドルを受け取る予定であったが、2022年9月、要件を満たしていないとして却下された。³
- 2022年2月の侵攻開始当初から提供してきたウクライナ軍への通信ネットワークについて、2023年6月に国防総省と契約した。⁴

Starlinkの衛星イメージ



出所) <https://www.starlink.com/jp/updates> (最終閲覧2026年3月11日)

出所) 1. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/fcc-filing-confirms-472-starlink-satellites-burned-up-this-year/> (最終閲覧:2025年8月21日)
2. <https://spacenews.com/starlink-gets-key-india-approval-but-other-regulatory-hurdles-stand-in-the-way-of-service/> (最終閲覧:2025年8月21日)
3. <https://uchubiz.com/article/new7751/> (最終閲覧:2026年2月24日)
4. <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN020A30S3A600C2000000/> (最終閲覧:2026年2月24日)

Lynk Global(米国): Lynk

概要

- 米国のLynk Globalにより構築される通信衛星コンステレーションである。
- 2025年8月現在、5基の衛星が軌道上で運用中であり、5,000基のコンステレーション構築を計画している。¹
- 2025年2月にはSES社、Intelsat社より8,500万ドルもの出資を受け、コンステレーション拡大と機能の向上を図っている。¹
- 2021年に衛星コンステレーションを運用するためのライセンスをFCCに申請した。まず10基の商用化のみ申請し、5,000基分について今後段階的承認を目指す予定。²
- 2024年4月、米国国防情報システム局(DISA)と、国防総省他政府機関向けに衛星—携帯間通信サービスを提供するための最大9億ドルの契約を締結した。³

Lynkのイメージ



出所) <https://sky-brokers.com/supplier/planet-labs/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

出所)1. <https://spacenews.com/lynk-globals-spac-merger-on-the-rocks/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

2. <https://spacenews.com/lynk-files-fcc-license-application-for-initial-satellite-system/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

3. <https://www.satellitetoday.com/government-military/2024/04/25/lynk-global-signs-satellite-to-cell-contract-with-us-dod/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

Amazon(米国): Amazon Leo

概要

- 米国Amazonにより構築される通信衛星コンステレーションで、以前は「Project Kuiper」と称されていた。
- 2023年10月に2基の試作機が打ち上げられた¹。その後実用機が2025年に4度打ち上げられており、4月に27基²、6月に27基³、7月に24基⁴、8月に24基が打ち上げられ、計102基が運用中である⁵。
- 2019年に付与されたライセンスでは、予定されている3236基の衛星について、2026年7月までに予定の半数、2029年7月までに全数の衛星を打ち上げることが義務付けられている。⁵
- 2023年2月、民間SSAに関する米商務省のRFIに回答し、TraCSSにおいて衛星ステータス情報は1日3回以上更新されるべきであること、宇宙天気予報や宇宙天気モデリングとの統合を強く支持することを主張した。⁶
- 2025年11月、Project Kuiperは「Amazon Leo」に改名され、LEO衛星通信サービスの本格化を示した。⁷

Amazon Leoアンテナのイメージ



出所) <https://www.aboutamazon.com/news/innovation-at-amazon/what-is-amazon-project-Kuiper>(最終閲覧:2026年2月24日)

出所)1. <https://www.ulalaunch.com/missions/archived-launched/atlas-v-project-kuiper-protoflight>(最終閲覧:2026年2月24日)
2. <https://uchubiz.com/article/new60901/>(最終閲覧:2025年8月21日)
3. <https://uchubiz.com/article/new62905/>(最終閲覧:2025年8月21日)
4. <https://uchubiz.com/article/new63885/>(最終閲覧:2025年8月21日)
5. <https://uchubiz.com/article/new64686/>(最終閲覧:2025年8月21日)
6. <https://starlink.academy/news/project-kuiper-delayed-2025-impact-on-starlink-users/>(最終閲覧:2026年2月24日)
7. <https://www.aboutamazon.jp/news/innovation/project-kuiper-is-now-amazon-leo>(最終閲覧:2025年11月20日)

Planet(米国): Dove/SkySat/Pelican Network

概要

- 米国のPlanet Labsにより構築される地球観測衛星コンステレーションである。同社は衛星データとAIを組み合わせたソリューションも展開している。
- 過去10年間で30回の打ち上げに成功し、2025年8月までに450基以上の衛星を打ち上げ済み。150基以上の衛星を軌道上で常時運用する体制となっている¹。
- 2017年の買収で21基構成のSkySat衛星も保有し、後継である32基構成のPelican Networkも構築中。2025年8月までに実証機も2基打ち上げ済みである。²
- 今後は600基以上の展開を検討している。³
- 2025年6月、米海軍とは太平洋での海事領域認識向け7桁規模の拡張契約を発表した。⁴
- また、同月にドイツ政府とは欧州向け海洋監視やPelican衛星データ活用を目的とした総額2億4,000万ユーロの多年度契約を締結したことも発表した。³

Dove衛星のイメージ



出所) <https://sky-brokers.com/supplier/planet-labs/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

出所)1. <https://www.planet.com/our-constellations/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

2. <https://sky-brokers.com/supplier/planet-labs/> (最終閲覧: 2025年8月22日)

3. <https://www.businesswire.com/news/home/20250701149801/en/Planet-Awarded-%E2%82AC240-Million-Satellite-Services-Deal> (最終閲覧: 2025年8月22日)

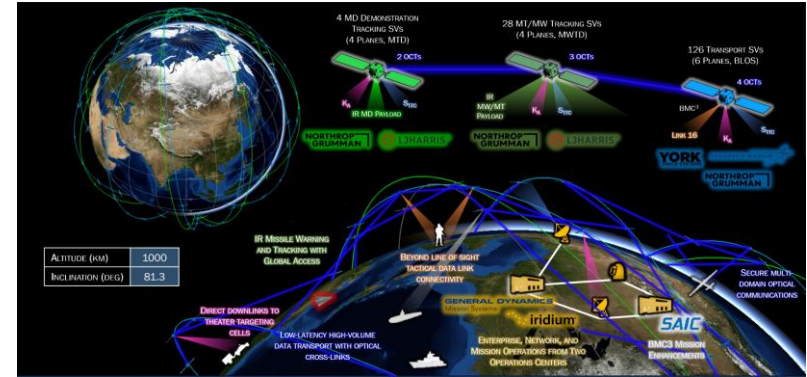
4. <https://www.webull.co.jp/news-detail/13085507708756992> (最終閲覧: 2025年8月22日)

SDA(米国): PWSA

概要

- PWSA(Proliferated Warfighter Space Architecture: 拡散型戦闘宇宙アーキテクチャ)は、米宇宙軍(USSF)の宇宙開発庁(SDA)が拡散型低軌道コンステを通じて地上ミッションを支援するために構築中の計画で、Tranche-0~3(0:実証目的、1:実運用、2:機能拡張・補完、3:機能拡張)の段階で展開される。^{1,2}
- Tranche-0は2023年4月(10機)³、同年9月(+13機)⁴、2024年2月(+4機)の編成を完了し⁵、2025年9月に航空機との双方向光通信の実証に成功した⁶。
- また同時期に、Tranche-1の21機が打ち上げられ、以降9か月で月1回ペースで追加打ち上げを予定している⁷。
- Tranche-1は154機(Transportレイヤ126機+Trackingレイヤ28機)+光通信/Ka帯を備えたミサイル防衛実証機4機の打上げを計画し、2027年からLink16連携やミサイル追跡、見通し外指示、UHF/Sバンド戦術通信などを提供する予定である。⁷

PWSA Tranche-1のアーキテクチャ



出所) https://www.sda.mil/wp-content/uploads/2025/09/PWSA-Tranche-1-Factsheet-UPDATE_09.05.2025.pdf (最終閲覧: 2025年11月5日)

1) <https://www.sda.mil/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

2) <https://www.sda.mil/space-development-agencys-satellite-plan-gets-new-name-but-focus-on-speed-stays/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

3) <https://www.sda.mil/space-development-agency-successfully-launches-tranche-0-satellites/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

4) <https://www.sda.mil/space-development-agency-completes-second-successful-launch-of-tranche-0-satellites/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

5) <https://www.c4isrnet.com/battlefield-tech/space/2024/02/14/pentagon-launches-six-satellites-to-boost-missile-tracking-capability/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

6) <https://www.sda.mil/space-development-agency-demos-key-space-to-air-communications-link/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

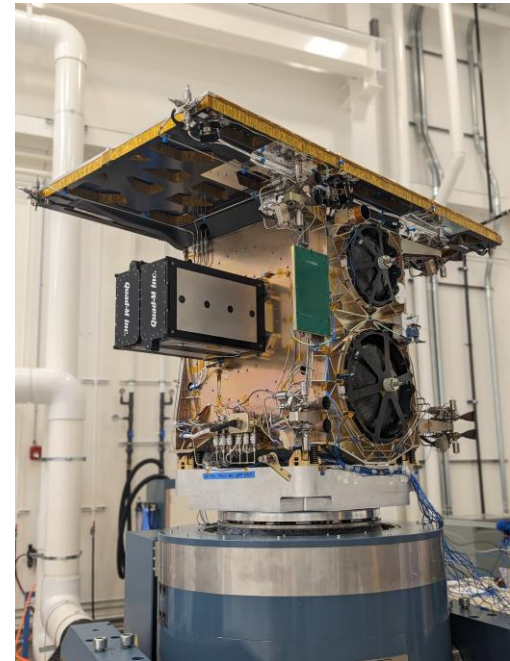
7) <https://www.sda.mil/space-development-agency-completes-successful-launch-of-first-tranche-1-satellites/> (最終閲覧: 2025年10月11日)

TrustPoint(米国): TrustPoint(仮称)

概要

- 2020年に創設した、米国TrustPoint社により構築される高精度PNT(測位・航法・時刻)LEO衛星コンステレーションである。¹
- 約300基規模の超小型衛星群を展開し、GPSやGalileoなどの既存の中軌道GNSSを補完・代替する高精度PNTサービスを目指す。²
- 2023年から計3基を打ち上げており、最新の「Time Flies」(2025年6月打上げ)は高出力Cバンドペイロードを搭載し、実証段階にある。³
- AI・機械学習による運用最適化や衛星間通信の高度化研究も進行中である。⁴
- 2025年4月、米海軍航空システム司令部(NAVAIR)と約120万USDのGNSS受信機・デモ契約を締結した。⁵

TrustPoint:Time Flies衛星



出所) <https://www.newspace.im/constellations/trustpoint>
(最終閲覧: 2025年10月14日)

出所)1. https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2023/ICG_WG-S_LEO-PNT_Workshop_June_2023/ICG_LEO-PNT_Workshop_2023_03.pdf(最終閲覧: 2025年10月14日)

2. <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=20325>(最終閲覧: 2025年10月14日)

3. <https://www.businesswire.com/news/home/20250625377848/en/TrustPoint-Launches-Third-Satellite-and-Successfully-Establishes-First-Contact>(最終閲覧: 2025年10月14日)

4. <https://arxiv.org/pdf/2507.15574>(最終閲覧: 2025年10月14日)

5. <https://www.gpsworld.com/trustpoint-secures-navair-contract-for-c-band-gnss-receivers/>(最終閲覧: 2025年10月14日)

Xona Space Systems(米国): PULSAR

概要

- 米国のXona Space Systemsにより構築される高精度PNT(測位・航法・時刻)衛星コンステレーションである。
- LEO軌道に250~300基の小型衛星を配置し、GPS(MEO軌道)を上回るセンチメートル級精度と強力な信号を世界規模で提供することを目指す。¹
- 2024年3月に初の量産機「PULSAR-0」を打上げ、現在軌道上で性能検証と試験利用を実施中である。²
- 英アストロスケール社と提携し、衛星にドッキングプラットフォームを搭載。将来的な軌道上サービス(技術アップグレード・安全な軌道離脱)に対応し、宇宙デブリ管理も配慮した持続可能な運用方針を示している。³
- 2025年前半に約9,200万USDのシリーズB資金調達に成功し、次段階の衛星打ち上げとコンステレーション構築に充てられている。これまでの資金総額は1億5,000万USDを超えている。⁴

PULSAR衛星のイメージ



出所) <https://www.eoportal.org/satellite-missions/pulsar#eop-quick-facts-section>(最終閲覧日: 2025年10月14日)

出所)1. <https://www.eoportal.org/satellite-missions/pulsar#spacecraft>(最終閲覧日: 2025年10月14日)

2. <https://www.xonaspace.com/news/launching-pulsar-0>(最終閲覧日: 2025年10月14日)

3. <https://www.gpsworld.com/xona-pulsar-satellites-to-leverage-astro-scale-tech-for-resilient-and-secure-navigation/>(最終閲覧日: 2025年10月14日)

4. <https://www.xonaspace.com/news/series-b>(最終閲覧日: 2025年10月14日)

NRO(米国): pLEO(proliferated Low Earth Orbit)(仮称)

概要

- 米国家偵察局(NRO)は、proliferated Low Earth Orbit(pLEO) constellation(普及型LEOコンステレーション)を構築中である。¹
- 2025年4月、ヴァンデンバーグ宇宙軍基地からファルコン9ロケットにより、コンステレーションの一部を担う「NROL-145」ミッションが打ち上げられた。この打上げはpLEOにおける通算10回目の打上げであり、2025年内では4回目にあたる。²
- 過去2年間で、NROは200基以上の衛星を軌道に投入している。2025年も約12回の打上げが予定されており、その半数はコンステレーションの増強に重点を置いたものである。さらに2029年まで追加打上げが計画されており、持続的な成長と技術革新が見込まれる。²
- これら200基の衛星には、軌道上でAIや自律技術を試験する研究衛星も含まれており、衛星全体に平易な指示を与えると、AIが必要なセンサを適切な角度で作動させてデータを取得し、さらに自動で報告書を作成するシステムの構築を目指しているとされる。¹

pLEO衛星(NROL-107)打上げ写真



出所) <https://breakingdefense.com/2025/09/nro-needs-ai-to-manage-more-than-200-and-counting-satellites-director-says/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

出所)1、<https://breakingdefense.com/2025/09/nro-needs-ai-to-manage-more-than-200-and-counting-satellites-director-says/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

2、<https://www.nro.gov/Portals/135/Documents/news/press/2025/NROL-145%20Press%20Release%20Final.pdf?ver=aL8PeRAKocp0f0Sc4yBBIQ%3d%3d>(最終閲覧: 2025年11月7日)

Telesat(カナダ): Lightspeed

概要

- カナダのTelesatにより構築されている通信衛星コンステレーションである。
- 最初のLEO衛星は2018年1月に打上げられ¹、2023年7月に3基目の試作機LEO 3が打ち上げられた²。2023年に初号機は運用終了し、現在稼働中はLEO 3のみ³。
- 2026年に最初のTelesat Lightspeed衛星を打ち上げる予定であり⁴、合計で198基の予定である¹。
- 2024年12月に予備設計審査を通過し、主契約者MDA Space社がモントリオールに製造設備を拡張中である⁵。
- カナダ政府から21億4000万加ドル、ケベック州政府から4億加ドルの投融資など支援を受けている⁴。
- カナダ軍への能力提供を通じて、北アメリカ航空宇宙防衛司令部(NORAD)やNATOの活動を支援する予定⁶。

Lightspeed衛星のイメージ



出所) <https://www.telesat.com/leo-satellites/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所) 1. <https://www.telesat.com/leo-satellites/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.telesat.com/press/press-releases/telesats-leo-3-demonstration-satellite-successfully-launched/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://www.satellitetoday.com/manufacturing/2023/05/30/telesat-orders-lightspeed-phase-1-leo-demo-satellite-replacement-from-torontos-sfl/> (最終閲覧: 2025年9月3日)

4. <https://www.telesat.com/press/press-releases/telesat-completes-2-54-billion-funding-agreements-for-telesat-lightspeed-satellite-constellation-with-strong-government-backing/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

5. <https://www.telesat.com/press/press-releases/telesat-and-mda-space-complete-key-milestone-for-telesat-lightspeed-constellation/> (最終閲覧: 2025年9月3日)

6. <https://www.telesat.com/blog/telesat-lightspeed-secure-resilient-connectivity-architecture-to-ensure-information-superiority-for-canadas-armed-forces/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

EU(欧州): IRIS²

概要

- IRIS²*は、欧州委員会、欧州理事会、そして欧州議会が合意したコンステレーションプロジェクトである。
- 経済、環境、安全保障、防衛に不可欠なアプリケーションを支援する政府系ユーザに安全な衛星接続を提供することを目的としており、2024年に初期サービスを提供することを目指していた¹。
- 2024年、プロジェクト費用が計画を上回る120億ユーロと推定されることを受けて、ドイツ政府は計画の見直しを主張したが^{2,3} 12月に2031年初頭までに290基以上の衛星でサービスを開始する契約が締結された⁴。(プロジェクト予算の60%は民間からの資金提供、契約全体の30%以上を小規模事業者との契約と規定されていたが、具体的な達成方法が不明な点が懸念されていた⁵。)
- 契約を締結したSpaceRISEとESAは、2025年9月に地上インフラ供給・運用に関する調達入札を開始した⁶。

IRIS²衛星のイメージ



出所)

<https://www.groundstation.space/business/iris%C2%B2-the-new-eu-secure-satellite-constellation/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

※Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite

出所) 1. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/iris2-secure-connectivity_en (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.politico.eu/article/iris-2-eu-satellite-project-germany-delay/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/raumfahrt-streit-um-starlink-alternative-kosten-steigen-stark/100035051.html> (最終閲覧: 2026年2月24日)

4. <https://spacenews.com/europe-signs-contracts-for-iris%C2%B2-constellation/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

5. <https://spacenews.com/europe-weeks-away-from-finalizing-sovereign-broadband-proposal/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

6. <https://www.satellitetoday.com/government-military/2025/09/26/iris%C2%B2-consortium-kicks-off-procurement-process-for-ground-segment/> (最終閲覧: 2025年11月5日)

Eutelsat OneWeb(英国): OneWeb

概要

- 英国のOneWebにより構築されている通信衛星コンステレーションである。
- 2025年8月時点で、654基のLEO衛星が運用されている¹。2020年代末までには440基を追加で展開し、機能向上とサービスの継続性確保を目指している²。
- 2020年3月に連邦倒産法第11章を適用後、英国政府とBharti Global(インド)のコンソーシアムが買収した³。
- 2022年、GEO衛星を運用するEutelsat社(フランス)の傘下に入った⁴。同社は現在約34機のGEO衛星を保有する²。
- IRIS²のアーキテクチャーとの互換性を確保し、2030年に運用を開始する予定である⁵。
- 2025年6月にはフランス軍と最大10億ユーロの10年契約を締結し、OneWebの優先利用権を獲得予定⁶。

OneWebのイメージ



出所) <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2021-07-oneweb-is-on-top-of-the-world-after-its-latest-launch> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1. <https://soraef.info/ssn/20241022-oneweb20.html> (最終閲覧: 2025年8月21日)

2. <https://spacenews.com/eutelsats-bright-leo-outlook-clouded-by-geo-decline/> (最終閲覧: 2025年9月18日)

3. <https://www.bharti.com/press-release-2020-2021-oneweb-successfully-emerges-from-chapter.html> (最終閲覧: 2025年9月18日)

4. <https://oneweb.net/resources/eutelsat-and-oneweb-combine-leap-forward-satellite-connectivity> (最終閲覧: 2026年2月24日)

5. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2024-12-airbus-awarded-eutelsat-contract-to-build-oneweb-low-orbit> (最終閲覧: 2026年2月24日)

6. <https://www.mobileworldlive.com/network-tech/eutelsat-agrees-e1b-french-military-deal/> (最終閲覧: 2025年9月18日)

Roscosmos(ロシア): Sfera

概要

- Sferaは露Roscosmosが主導する大規模衛星コンステレーション計画で、地球観測・通信・測位衛星を含む¹。
- 露国家全体で2036年までに計2,600基の衛星打上げを構想しており、その一部にSferaを含む予定である²。
- 当初Sferaは約600基を想定していたが²、予算や計画の見直しにより162基に縮小された³。
- Sfera衛星のひとつMarafon-IoTは2025年上半期打上げ予定と報道されているが⁴、現状は不明。
- 政府はSfera衛星向けに1,800億ルーブル(約22億米ドル(2025年9月時点レートに基づく))を承認したが、実際の割当は950億ルーブルにとどまり、2035年までに必要な6基の静止衛星打上げも控えているため、計画には不確実性があるとされている²。
- 2025年9月報道では、高コスト化を背景に、Sfera計画は事実上延期・縮小され、低コスト・迅速開発が可能な民間スタートアップ衛星コンステレーション「Rassvet」の方の支援に軸足を移したとされている⁵。

Marafon-IoT衛星のイメージ



ИСЗ МАРАФОН IoT

出所) <https://kosmosnews.fr/2024/04/16/deux-satellites-marafon-iot-lances-en-2024/> (最終閲覧: 2025年11月26日)

出所) 1. <https://www.urdupoint.com/en/technology/roscoms-needs-148-launches-to-put-over-600-814253.html> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 2. <https://www.defensenews.com/space/2024/07/08/russia-wants-2600-satellites-in-orbit-by-2036-is-this-realistic/> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 3. <https://sputnikglobe.com/20221022/russia-launches-rocket-with-first-satellite-of-sfera-orbital-constellation-1102538121.html> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 4. <https://interfax.com/newsroom/top-stories/108816/#:~:text=Dec%2024%20%28Interfax%29%20-%20Marafon-IoT%20satellites%20of%20the,half%20of%202025%2C%20Roscosmos%20head%20Yury%20Borisov%20said.> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 5. <https://aviationweek.com/space/budget-policy-regulation/roscoms-turns-private-company-earth-observation-constellation> (最終閲覧: 2025年11月26日)

SatRevolution(ポーランド): STORK/REC

概要

- STORKはポーランドのSatRevolution(現SatRev)が開発する3Uクラスの地球観測・技術実証用キューブサットで、完成時には14機を目標としている¹。打ち上げ済み5基のうちSTORK-1/2のみ2024年時点で運用中で、残りは再突入または打ち上げ失敗となっている²。
- 同社はリアルタイム地球観測コンステレーション「REC(Real-time Earth-observation Constellation)」も構想しており、STORKはそのサブコンステレーションの位置付けと考えられる。最終的にRECでは1,500機超の機数が予定されている。¹
- RECコンステレーションの構築は2028年を予定しているとあるが³、SatRev社の公式サイトでは詳細の掲載が無く、進捗は不明である。
- 報道ベースでは、RECプロジェクト全体(衛星製造拠点整備を含む)の投資規模は約4,000万ズロチ(約1,000万米ドル(2025年9月時点レートに基づく))程度と見積もられている⁴。

STORK衛星のイメージ



出所) <https://sky-brokers.com/supplier/satrevolution/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1. <https://sky-brokers.com/supplier/satrevolution/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.eoportal.org/satellite-missions/stork#spacecraft> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://polsa.gov.pl/wp-content/uploads/2023/09/POLISH-SPACE-SECTOR-CATALOGUE.pdf> (最終閲覧: 2026年2月24日)

4. <https://www.space.com/polish-space-startup-puts-first-nanosats-into-orbit-eyes-satellite-constellation-and-production-facility.html> (最終閲覧: 2026年2月24日)

Shanghai Yuanxin Satellite Technology(中国): Qianfan

概要

- 中国のShanghai Yuanxin Satellite Technologyにより構築されている通信衛星コンステレーションである¹。以前は「G60 Starlink」と称していたが、2025年初頭より「Qianfan」または「Spacesail Constellation」へと名称変更された²。
- 2024年8月、最初の18基が打ち上げられた¹。18基の衛星は軌道に乗ったものの、打上げに用いた長征ロケットが分解し、700～900個のスペースデブリが発生した³。
- 2025年3月までに90基が運用されている⁴。2025年末までに約648基が軌道投入され初代コンステレーションを形成する予定で⁵、2030年末までには15,000基のネットワークを構築することを目指すとしている⁶。
- 本システムは上海市松江区が主導して構築している。
- 衛星を製作するShanghai Spacecom Satellite TechnologyのシリーズA資金は、上海市政府や中国科学院傘下組織が出資しているファンドが提供した⁷。

Qianfan衛星を打ち上げた長征ロケット



出所) <https://www.china-in-space.com/p/qianfan-returns-with-taiyuan-launch> (最終閲覧: 2025年11月26日)

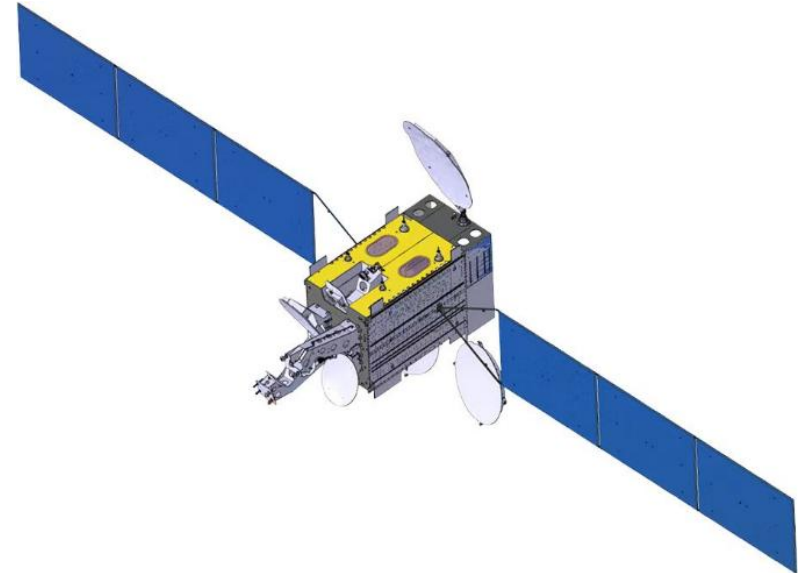
出所) 1. <https://spacenews.com/china-launches-fourth-batch-of-thousand-sails-megaconstellation-satellites/> (最終閲覧: 2026年2月24日)
 2. <https://stcsm.sh.gov.cn/news/20250108/0c780a41d4474dc7883ebdaec61ab170.html> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 3. <https://gigazine.net/news/20240815-chinese-rocket-space-junk/> (最終閲覧: 2026年2月24日)
 4. <https://www.globaltimes.cn/page/202503/1329950.shtml> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 5. <https://www.chinadaily.com.cn/a/202510/17/WS68f23c4ea310f735438b5a82.html>
 6. <https://www.china-in-space.com/p/qianfan-returns-with-taiyuan-launch> (最終閲覧: 2025年11月26日)
 7. <https://uchubiz.com/article/new38992/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

China Satellite Network Group(中国): Guowang

概要

- 中国のChina Satellite Network Groupが構築を進めている通信衛星コンステレーションである。China Satellite Network Group Co. Ltd.は、国有企業を監督する政府機関である国有資産監督管理委員会(SASAC)によって設立された。²
- CASCがHongyan、CASICがHongyunとしてそれぞれ数百基のコンステレーションを計画していたが、それらが統合された¹。
- 中国がITUに提出した周波数割り当て申請書によれば、合計12,992基の衛星運用が計画されている²。
- 2024年12月に最初の衛星を打ち上げた。ITUの規制により、2032年までに計画の半数を打上げることが義務付けられている³。
- 2025年11月には、Guowangコンステレーション第13群の9基が長征ロケットで打ち上げられ、軌道上の衛星は104基となった⁴。

CASCの衛星イメージ



出所)

<http://english.csat.spacechina.com/n931903/c3552212/content.html>(最終閲覧:2026年2月24日)

出所)1. <https://www.jdsupra.com/legalnews/innovations-in-space-chinese-satellite-7389054/>(最終閲覧:2026年2月24日)

2. <https://spacenews.com/china-establishes-company-to-build-satellite-broadband-megaconstellation/#:~:text=China%20establishes%20company%20to%20build%20satellite%20broadband%20megaconstellation,-by%20Andrew%20Jones&text=HELSSINKI%20E2%80%94%20The%20Chinese%20government%20has,a%2013%2C000%2Dsatellite%20broadband%20constelation>(最終閲覧:2026年2月24日)

3. <https://spacenews.com/china-kicks-off-guowang-megaconstellation-with-long-march-5b-launch/>(最終閲覧:2026年2月24日)

4. <https://www.china-in-space.com/p/guowang-reaches-100-satellites-deployed>(最終閲覧:2025年11月26日)

Shanghai Lanjian Hongqing Technology(中国): Honghu-3

概要

- Shanghai Lanjian Hongqing Technologyは2024年5月、国際電気通信連合(ITU)に10,000機規模の衛星コンステレーションHonghu-3の計画を提出した¹。これは低遅延・大容量の衛星インターネットサービスの提供を目的としている²。
- 中国民間ロケット企業LandSpace Technologyが約48%を出資している。同社は今年打ち上げ予定のZhuque-3ロケットなど打ち上げサービスも開発しており、衛星と打ち上げ能力を一体で構える方針を立てているとみられる²。
- Honghu-3衛星は6つの軌道面に配置され、軌道高度は340~550kmの範囲となる予定で、2025年9月時点では開発中のステータスである²。
- Shanghai Lanjian Hongqing Technologyは当初ホールスラスト推進技術の開発で知られ、同社開発のスラスタは2023年12月にZhuque-2ロケットで打ち上げられたHonghu-2衛星でも実証済みである¹。

Honghu-2衛星打ち上げの様子



出所) <https://spacenews.com/chinese-firm-files-plans-for-10000-satellite-constellation/> (最終閲覧: 2025年11月27日)

出所) 1. <https://spacenews.com/chinese-firm-files-plans-for-10000-satellite-constellation/> (最終閲覧: 2025年11月27日)

2. <https://circleid.com/posts/chinese-leo-satellite-internet-update-guowang-qianfan-and-honghu-3> (最終閲覧: 2025年11月27日)

Geespace(中国): GEESATCOM

概要

- 中国の自動車会社であるGeelyの子会社であるGeespaceが構築している測位衛星コンステレーションである。
- 自動運転の実現のため、センチメートル単位の高精度な測位システムを実現することを目指している¹。
- 2024年9月までに30基が打ち上げられている。自動運転をサポートするフェーズ1では72基の打ち上げを予定している。携帯電話へのサービス提供を目指すフェーズ2では264基、高速LEOブロードバンド通信を提供するフェーズ3では5,676基を追加で打ち上げるとしている。²
- 2025年8月に11基³、同年9月に12基を打ち上げ、合計64基が軌道上で稼働している。今後フェーズ1の72基の全展開を通じた全球サービスエリアで3～4層のリアルタイムカバレッジ達成を目指している⁴。

GEESATCOM衛星のイメージ



出所) <https://global.geely.com/en/news/2025/geely-launch-11-satellites-4th-orbital-plane> (最終閲覧: 2025年11月26日)

出所) 1. <https://gearsme.com/en/geely-launches-11-satellites-to-boost-smart-mobility/#:~:text=Geely%E2%80%99s%20GEESATCOM%20satellite%20constellation%20forms%20the%20backbone%20of,even%20in%20areas%20with%20poor%20conventional%20network%20coverage.> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://kr-asia.com/geesatcom-completes-third-orbital-deployment-bringing-its-satellite-network-closer-to-full-global-coverage> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://global.geely.com/en/news/2025/geely-launch-11-satellites-4th-orbital-plane> (最終閲覧: 2025年11月26日)

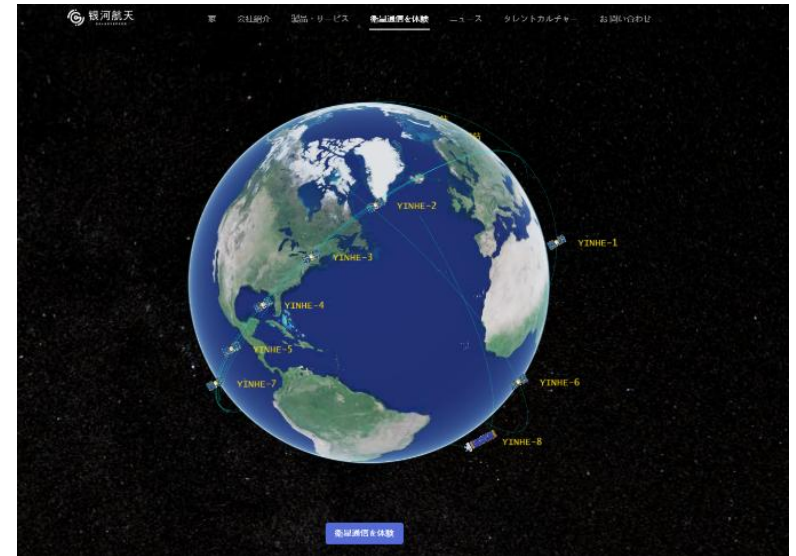
4. <https://zgh.com/media-center/news/2025-09-24/?lang=en> (最終閲覧: 2025年11月26日)

Galaxy Space(中国): Yinhe

概要

- 中国のGalaxy Spaceにより構築が進められている通信衛星コンステレーションである。
- 2025年11月現在、8基の衛星が打ち上げられている¹。
- 最終的に数千基の通信衛星を打ち上げる可能性がある²。
- リリースにおいては、タイへの進出は一带一路に沿ったものとしている。また、タイで開催したセミナーには在タイ王国中国大使館の参事官が出席している。³

Yinheのイメージ図



出所) <https://www.yinhehangtian.cn/satellites> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1、<https://www.yinhehangtian.cn/satellites> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2、<https://www.jdsupra.com/legalnews/innovations-in-space-chinese-satellite-7389054/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3、<https://www.yinhehangtian.cn/news/149> (最終閲覧: 2026年2月24日)

Changguang Satellite Technology(中国): Jilin-1

概要

- Changguang Satellite Technologyは2014年に設立された中国初のリモートセンシング衛星事業者である¹。
- 同社は、中国科学院(CAS)の長春光学精密機械・物理研究所(CIOMP)と吉林省政府の合併企業である³。
- 同社は、軍民融合企業であり、衛星関連の製品は 中国人民解放軍(PLA) にも利用されている³。
- 地球観測コンステレーション「吉林一号(Jilin-1)」を保有・運用しており、2025年1月時点で117機の衛星を打ち上げており、2025年末までに300機の衛星コンステレーションを構築する予定である^{2,3}。
- 2025年6月にMaxar(米)のWorldView Legion衛星が中国政府の技術実証・探査衛星「Shijian-26」を撮像したと公表し、それを受けて、2025年9月、同社のJilin-1衛星がWorldView Legion衛星を約40～50kmの距離から撮像し、その画像を公開した⁴。

Jilin-1衛星



出所)

<http://www.guangyuanol.cn/news/newspaper/2021/0703/1154295.html> (最終閲覧2025年11月26日)

出所)1、<https://www.jl1.cn/EWeb/about.tw.aspx?id=9> (最終閲覧:2025年11月26日)

2、<https://www.jl1global.com/jilin1-inorbit-satellites-reach-117-global-coverage-6-times.html> (最終閲覧:2025年11月26日)

3、<https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2024-04-01%20Chang%20Guang%20Satellite%20Company%20overview.pdf> (最終閲覧:2025年11月26日)

4、<https://economictimes.indiatimes.com/news/international/us/chinese-and-us-satellites-play-i-spy-up-in-the-space-a-new-era-of-espionage-starts/articleshow/123939221.cms> (最終閲覧:2025年11月26日)

Hanwha Systems(韓国): Hanwha(仮称)

概要

- Hanwha Systemsは韓国最大級の防衛電子・ICT企業であり、宇宙分野でもSAR衛星パイロードや小型衛星システムの開発、地上局運用を含む衛星ソリューションを幅広く提供している¹。
- 2021年に、6G時代向けの通信衛星網構想の一環で、都市型ドローンや物流車両、航空機向けの高速度インターネット通信を目的とした、2,000基規模のLEO衛星コンステレーション展開構想を示した²。名称は未定。
- 当初は2030年までに2,000基を展開する計画であったが²、最新の計画では2030年以降に目標が変更されている³。
- Hanwha Systemsがこれまでに打ち上げた衛星は2023年12月の小型SAR衛星1基であり¹、通信コンステ用衛星は未だ打上げていない。
- 同社は、衛星通信事業向けに2023年までに約4.2億ドルを投資するとともに、資金調達手段として2021年に1.2兆ウォン規模の新株発行を計画していた²。

Hanwha衛星のイメージ



出所) <https://www.hanwha.com/companies/hanwha-systems.do> (最終閲覧: 2025年11月27日)

出所) ¹、<https://www.hanwha.com/companies/hanwha-systems.do> (最終閲覧: 2025年11月27日)

²、<https://www.satellitetoday.com/mobility/2021/03/31/hanwha-systems-plans-2000-satellite-leo-constellation-for-mobility-applications/> (最終閲覧: 2025年11月27日)

³、<https://m.dongascience.com/en/news/48673> (最終閲覧: 2025年11月27日)

2-1-2. SSA

- 政府機関によるSSAの取組み
- 民間事業者によるSSAの取組み

【概要】政府機関によるSSAの取組み(1/2)

- 日本では、防衛省がSSAシステムを2023年3月に運用開始するとともに、2026年度にはSDA衛星の打ち上げを予定しており、SDA能力の整備を進めている。
- 米国では長年、国防総省がSSAシステムの運用を担ってきたが、2018年の米大統領令SPD-3により、民生および商業向けサービスについては商務省への移管の方針が出され、TraCSS(Traffic Coordination System for Space)と呼ばれるシステムの開発が進められてきた。
 - TraCSSでは、民間企業との連携を重視している。民間企業の情報提供能力を評価する複数プロジェクトの実施を経て2024年9月末にサービスイン(フェーズ1.0開始)し、2025年9月にはフェーズ1.2に移行した。2026年2月には、TraCSS利用を希望する衛星運用者向けウェイトリスト受付が開始され、本格運用への移行を進めている。
 - 2025年6月には大統領予算案により、TraCSS終了方針が提示されるも、2026年1月に昨年度とほぼ同様の予算を確保する法案が大統領署名のもと成立したため、2026年度もTraCSSが継続する見立てが示された。
- 欧州では、EU-SST (Space Surveillance and Tracking)のSST Service Provision Portalを通じて、当初、EU加盟国に対してのみ一連のサービスが無料で提供されていたが、2023年以降、EU域外へのサービス提供も開始された。
 - 2025年6月に法案が提出されたEU宇宙法の中でも、EU域内におけるEU-SST利用を促進するルールが規定されており、欧州全体でEU-SSTの普及を後押しする動きがみられる。
- 英国ではEU離脱等の影響もあり、国防省とUKSA(宇宙機関)とでNSpOC(National Space Operations Centre)が設立され、安全保障目的と商業目的とのデュアルユースである宇宙領域把握(SDA)システムの構築を推進している。政府の認可を受けた衛星運用者と政府部門に対して、SSA/SDAサービスの提供を開始済である。
- 中国では、Shijian-29A/29Bの打ち上げなど、軍・国家主導の宇宙ベースSSA(軌道上監視・追跡)を継続強化している。
 - 中国のSSA能力に関する動向・課題についてはp.51～53にて整理している。
- 宇宙天気関連の情報については、NOAAのSpace Weather Prediction Center(SWPC)やESAのESA SWE Network、英国気象庁のMet Office Space Weather Operations Centre(MOSWOC)など、世界各国で宇宙天気を監視・予報する体制が整備されている。

【概要】政府機関によるSSAの取組み(2/2)

● 政府機関によるSSAの取組み一覧

国	組織・システム	機関	主なサービス形態	主な観測データ	主な観測装置	現況	ページ番号
日本	—	防衛省	観測データ提供、解析・運用支援(予報・警報)	位置情報	地上系+衛星系	運用中	38
日本	NICT 宇宙天気予報センター	NICT	観測データ提供、解析・運用支援(予報・警報)	宇宙天気	地上系+衛星系	運用中	39
米国	CSpOC(Combined Space Operations Center)	国防総省	解析・運用支援	位置情報	光学望遠鏡、レーダー、SSA衛星など	運用中	40
米国	TraCSS	商務省	解析・運用支援	位置情報	—	開発中(一部運用開始)	41~44
米国	宇宙天気予報センター(SWPC)	NOAA	観測データ提供、解析・運用支援(予報・警報)	宇宙天気	地上系+衛星系	運用中	45
米国	SDO(Solar Dynamics Observatory)	NASA	観測データ提供	宇宙天気	衛星系	運用中	46
欧州	EU-SST	EU	解析・運用支援	位置情報、衛星の外観	望遠鏡、レーダーなど	運用中	47
欧州	ESA SWE Network	ESA	観測データ提供、解析・運用支援(予報・警報)	宇宙天気	地上系+衛星系	運用中	48
英国	NSpOC	国防省、UKSA	解析・運用支援	位置情報	—	開発中(一部運用開始)	49
英国	Met Office Space Weather Operations Centre(MOSWOC)	Met Office	解析・運用支援(予報・警報)	宇宙天気	地上系+衛星系	運用中	50
中国等	APOSOS	NAOC等	解析・運用支援	位置情報等	光学望遠鏡(地上系)	運用中	54

※並び順は、日本の取組みの後に、国・サービス形態/観測データ別・現況の順に整理している。

【概要】民間事業者によるSSAの取組み(1/2)

- SSA分野については、LeoLabsやExoAnalyticsなど、既にサービス運用を開始している事業者が多数存在する米国のプレゼンスが大きい一方で、ドイツのVyomaやオーストラリアのHEOなど、各地でサービス運用を開始する事業者が増えつつある。
- 観測装置としては、地上のセンサ・レーダーを配備・統合・運用している事業者に加え、観測システムを搭載した衛星・パイロードの製造・運用をしている事業者も存在する。
- 民間顧客も増えつつあるものの政府機関がメインカスタマーであり、研究開発等の資金の獲得やサービス提供契約など様々な形態で政府機関との関わりを持っている。
- LeoLabsのように個社で地上のレーダ網を拡充し、観測データ提供から解析・運用支援まで一貫して実施している企業や、Star Signal Solutionsのように個社で光学望遠鏡を活用した観測サービスを持ち、また他社の衛星を利用した解析結果提供・運用支援も実施する企業など、様々な業態が存在する。
- 観測対象としては、位置情報や衛星の外観を扱うサービス・企業以外にも、Spireなど、太陽活動や地球磁気圏関連等の宇宙天気情報を扱う企業も存在する。

国	企業	主なサービス形態	主な観測データ	主な観測装置	現況	ページ番号
日本	富士通株式会社	解析・運用支援	衛星の位置情報等	他社のレーダ・光学望遠鏡	運用中	55
日本	日本電気株式会社(NEC)	解析・運用支援	衛星の位置情報等	他社製光学望遠鏡・フェーズドアレイレーダ ※自社でもセンサ開発	運用中	56
日本	Star Signal Solutions株式会社	解析・運用支援	衛星の位置情報等	他社の衛星（スタートラッカを利用）	開発中	57
日本	株式会社インフォステラ	解析・運用支援	衛星の位置情報等	電波情報監視設備	開発中	58
日本	アクセルスペース	観測データ提供	衛星の位置情報等	光学望遠鏡	運用中	59
日本	スカパーJSAT株式会社	観測データ提供	衛星の位置情報等	SSA衛星	開発中	60

※並び順は、日本の取組みの後に、国・サービス形態/観測データ別・現況の順に整理している。

【概要】民間事業者によるSSAの取組み(2/2)

国	企業	主なサービス形態	主な観測データ	観測装置	現況	ページ番号
日本	株式会社IHIエアロスペース	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡	運用中	61
日本	三菱電機株式会社	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡、レーダー等	開発中	62
米国	LeoLabs	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	フェーズドアレイレーダ	運用中	63
米国	ExoAnalytics	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡	運用中	64
米国	Slingshot	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡	運用中	65
米国	Kratos	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	RFアンテナ	運用中	66
米国	Scout	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	SSA衛星	運用中	67
米国	Turion Space	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	SSA衛星	運用中	68
米国	SpaceX	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	スタートラッカ	運用中	69
米国	TRL11	観測データ提供	衛星の位置情報等	SSA衛星(パイロード)	運用中	70
米国	Spire	観測データ提供	宇宙天気	衛星系	運用中	71
米国	PlanetiQ	観測データ提供	宇宙天気	衛星系	運用中	72
カナダ	NorthStar	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	SSA衛星	開発中	73
英国	Spaceflux	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡	運用中	74
ドイツ	Vyoma	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	SSA衛星	運用中	75
オーストラリア	HEO	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等	SSA衛星(パイロード)	運用中	76
インド	Digantara	観測データ提供、解析・運用支援	衛星の位置情報等、宇宙天気	SSA衛星	運用中	77
中国	Origin Space	観測データ提供	衛星の位置情報等	SSA衛星	運用中	78
中国	Kaiyun United	解析・運用支援	衛星の位置情報等	光学望遠鏡、SSA衛星	運用中	79

※並び順は、日本の取組みの後に、国・サービス形態/観測データ別・現況の順に整理している。

防衛省(日本)

政府

概要

- 2023年3月より、SSA情報の集約、処理、共有等を行うSSAシステムの本格運用を開始した¹。
- 2025年3月より、主に静止軌道上で運用されている人工衛星及びその周辺を常時継続的に監視するSSAレーダーの運用を開始した²。
- 2026年度にはSDA衛星の打上げを予定しているほか、将来的な複数機運用に関する検討を実施している^{2,3}。

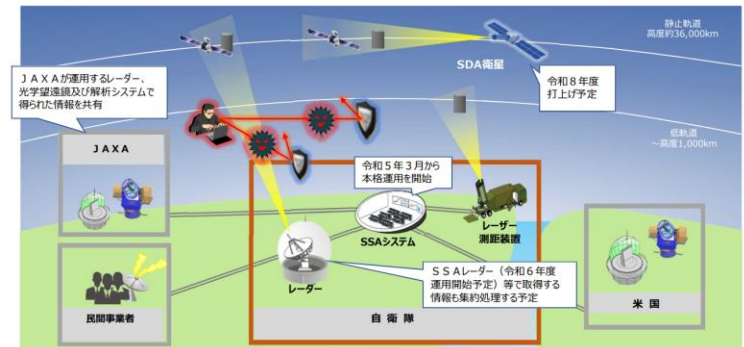
産業界との関わり

- 上記のSSAシステムの本格運用開始に伴い、宇宙作戦群から民間事業者等に対し、他の人工衛星、スペースデブリ等、宇宙物体の軌道情報等に関するSSA情報を提供開始した¹。
- 2024年3月、キヤノン電子と、低軌道から静止軌道までの衛星を観測する光学衛星の実証試験に係る契約を締結した⁴。

出所)

- 1、 <https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/debris/stm/dai2/siryou3.2.pdf>(最終閲覧2026年2月24日)
- 2、 <https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/debris/stm/dai3/siryou2.3.pdf>(最終閲覧2026年2月24日)
- 3、 <https://www.mod.go.jp/j/press/news/2025/07/28a.02.pdf>(最終閲覧:2026年2月26日)
- 4、 <https://www.mod.go.jp/j/press/news/2024/04/09a.html>(最終閲覧2026年2月26日)

SDA体制の概念図



出所) <https://www8.cao.go.jp/space/taskforce/debris/stm/dai2/siryou3.2.pdf>
(最終閲覧2026年2月24日)

NICT 宇宙天気予報センター(日本)

政府

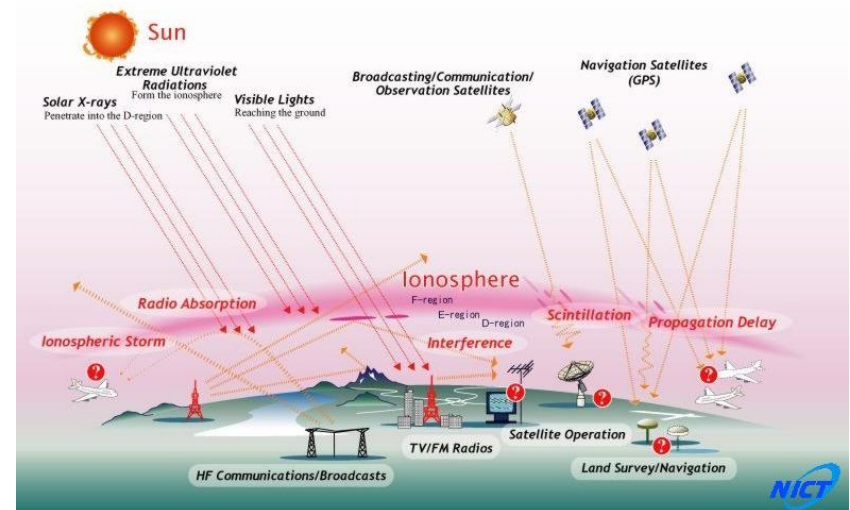
概要

- NICT電磁波研究所宇宙環境研究室は、宇宙天気予報専門の情報配信サービスを運営しており、太陽・太陽風・磁気圏・電離圏などの観測データと予測モデルを総合解析し、予報・現況・警報を提供している¹。
- DSCOVRやGOES、SDOなどの観測衛星データや、NICTが稚内・国分寺・山川・沖縄と、昭和基地(南極)に設置している地上の電離圏観測(イオノゾンデ)※拠点などを利用している²。

産業界との関わり

- 2025年6月に、社会的影響を踏まえた新警報基準に基づく「宇宙天気イベント通報(SAFIR)」を開始するとともに、「宇宙天気情報利用ガイドライン」及び「宇宙天気情報利用の手引き」を作成、公表した。これらは、宇宙システム運用事業者等における、宇宙天気現象の迅速な把握と適切な対処を支援するものである。³

イオノゾンデのコンセプト図



出所) <https://wdc.nict.go.jp/Ionosphere/en/> (最終閲覧2025年10月14日)

※ 地球の大気が太陽の光(極端な紫外線)によってイオン化され、帯電した状態にある領域で、地球の磁場と太陽活動の影響で変動する

出所)

1、 <https://swc.nict.go.jp/> (最終閲覧2026年2月24日)

2、 <https://wdc.nict.go.jp/Ionosphere/en/> (最終閲覧2026年2月24日)

3、 <https://www.nict.go.jp/press/2025/06/19-1.html> (最終閲覧2026年2月24日)

CSpOC(米国)

政府

概要

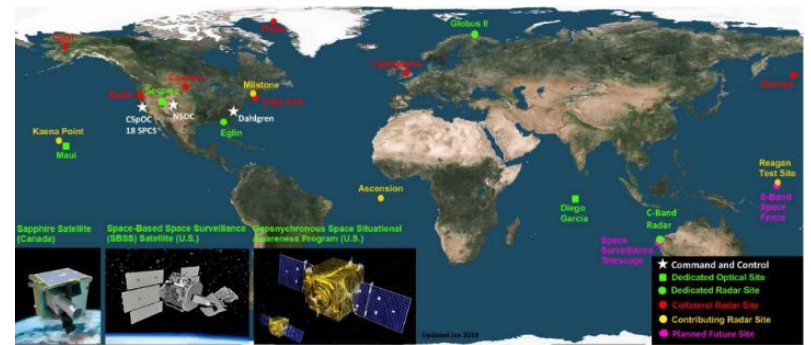
- 米国の宇宙監視ネットワークから得られた情報を集約し、ウェブサイトを通じて民間事業者を提供している。
- CSpOCが提供しているサービスは、以下の3つに分かれている。¹
 - Basic: 衛星カタログ情報、TLE、衛星の落下・再突入予測
 - Emergency: 異常解決(状態ベクトル、画像分析)、接近解析・衝突回避(通知メール、CDM)
 - Advanced: 打上げ接近解析、打上げ初期軌道決定、廃棄/End-of-Life(EOL)支援(接近通知メール、CDM)等

産業界との関わり

- 事業者には運用する衛星を18 SDS (18th Space Defense Squadron)に登録することを推奨している。
- 顧客が米国政府組織以外であり、かつSSA Sharing Agreementを締結していない場合、18 SDSの承認後、追加確認のためにUSSPACECOMに要求が転送され、審査される。

出所)1、<https://www.space-track.org/documentation#/odr>(最終閲覧: 2026年2月24日)

米国の宇宙監視ネットワーク



出所)<https://swfound.org/media/206348/weeden-us-policy-and-capabilities-for-ssa.pdf>
(最終閲覧2026年2月24日)

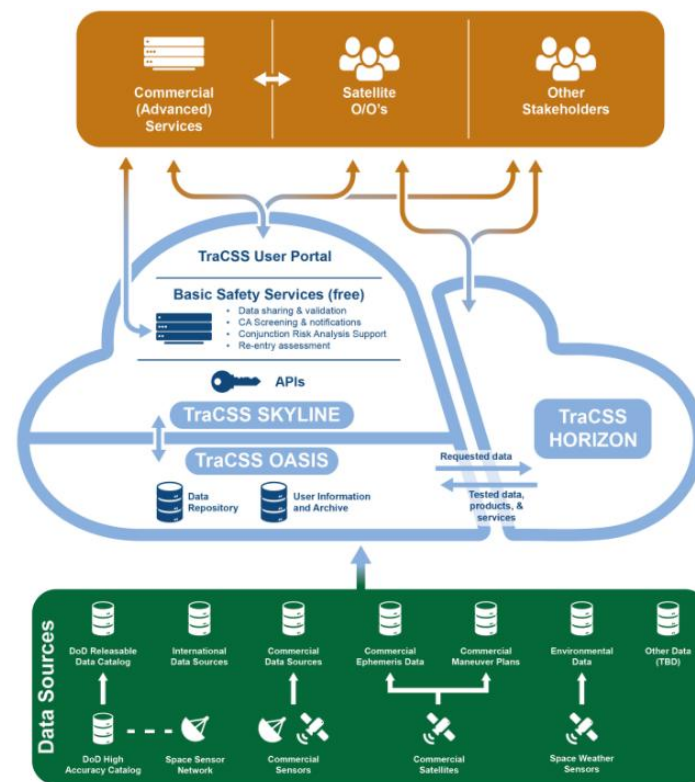
TraCSS(米国)

政府

概要(1/2)

- Space Policy Directive-3(2018年)により、民生・商用向けSSAサービスが国防総省から商務省への移管が進められTraCSSが開発されている。
- 「OASIS」(データリポジトリ)、「SKYLINE」(SSAアプリケーションサービス)、「HORIZON」(R&D環境及び試験・統合環境)の3つの機能を有する。
- 2024年9月末にサービスイン(フェーズ1.0開始)した。
- 9事業者(NOAA、Maxar、Telesat、Intelsat、Georgia Tech、Planet Labs、Eutelsat、Oneweb、Iridium、Aerospace Corporation)の約1000機の衛星を対象として、ベータ版サービスを提供
- 2025年3月にフェーズ1.1に、同年5月にはフェーズ1.2に移行した。
- 定期的なCDM(Conjunction Data Message)の配信に加え、ユーザーの衛星位置情報をもとにした即時的な衝突解析結果が提供可能に
- 2026年初頭に予定されている製品版リリースに向け、ユーザー数の拡大を準備中²

TraCSSのシステムイメージ



出所) <https://www.space.commerce.gov/wp-content/uploads/2023-04-12-SSA-RFI-update.pdf>
(最終閲覧: 2026年2月24日)

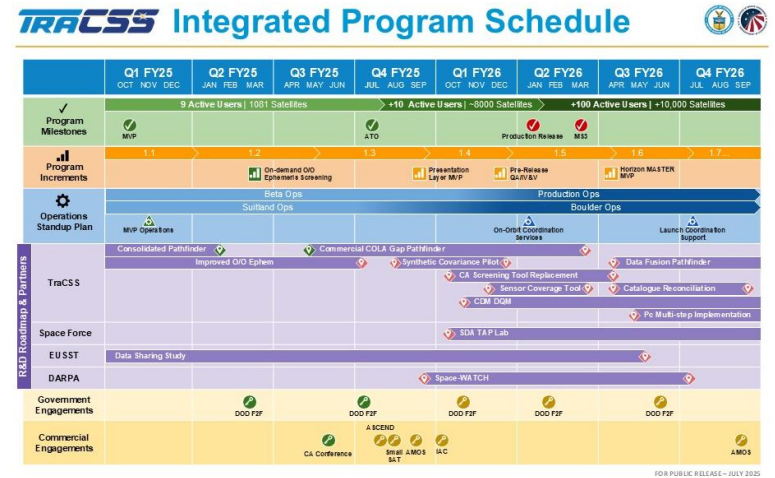
TraCSS(米国)(続き)

政府

概要(2/2)

- 2025年6月、大統領予算案によりTraCSS終了方針が提示された³。
- 2025年7月、産業界(SpaceX, Amazon Leoなど計450社)が反発し、TraCSS継続を求める共同書簡を提出⁴
- 米上院及び下院はTraCSS終了を拒否し、従来通りの予算を確保する方針を表明⁵
- 2026年1月、米上院で昨年度とほぼ同等の予算をTraCSSに確保する法案が可決され、大統領も本法案に署名した⁶
- 2025年7月、最新のTraCSS開発・運用のロードマップを公開した。
- 同ロードマップには、2026年末までにユーザー数を100(約1万衛星)へ増加させること、2026年第二四半期までに正式リリースすること、などが記載されている⁷
- 2025年9月、商用接近判定スクリーニング・サービス(CASS)に係るデータ提供事業者およびデータ品質評価事業者の公募を開始した⁸。
- 2026年2月、TraCSS利用を希望する衛星運用者向けウェイトリスト受付が開始された⁹。

TraCSSのシステムイメージ



出所) <https://space.commerce.gov/osc-publishes-updated-tracss-schedule-roadmap/> (最終閲覧:2025年9月11日)

出所)

- 1, <https://www.space.commerce.gov/office-of-space-commerce-initiates-tracss-pathfinder-projects/> (最終閲覧:2025年6月13日)
- 2, <https://space.commerce.gov/tracss-implements-program-increment-1-2-on-demand-ephemerides-screening-and-bulk-submissions-now-live/> (最終閲覧:2025年6月13日)
- 3, <https://www.noaa.gov/sites/default/files/2025-06/NOAA%20FY26%20Congressional%20Justification.pdf> (最終閲覧:2025年8月20日)
- 4, <https://spacepolicyonline.com/news/aerospace-industry-urges-congress-not-to-kill-tracss/> (最終閲覧:2025年8月20日)
- 5, <https://breakingdefense.com/2025/07/appropriators-restore-funding-for-commerces-tracss-spacewatch-effort/#:~:text=WASHINGTON%20%E2%80%94%20The%20fiscal%202026%20budget%20bills%20approved,monitoring%20capabilities%20on%20potential%20n-orbit%20threats%20from%20adversaries.> (最終閲覧:2025年8月20日)
- 6, <https://spacepolicyonline.com/news/final-fy2026-nasa-noaa-appropriations-bill-clears-senate-white-house-is-next/> (最終閲覧:2026年2月26日)
- 7, <https://space.commerce.gov/osc-publishes-updated-tracss-schedule-roadmap/> (最終閲覧:2025年9月11日)
- 8, <https://space.commerce.gov/tracss-update-delivering-on-spd-3-and-advancing-spaceflight-safety/> (最終閲覧:2025年10月16日)
- 9, <https://space.commerce.gov/osc-opens-tracss-waitlist-for-satellite-operators/> (最終閲覧:2026年2月24日)

TraCSS(米国)(続き)

政府

産業界との関わり(1/2)

- TraCSSサービスに関与する民間事業者等を下表に示す。
- 民間主体のSSA能力をテスト・統合するためのプロジェクト「Consolidated Pathfinder」の一環として、LeoLabs等のSSAデータ提供事業者に加え、データ品質を評価する事業者も参画
- AWS等のサービスプロバイダーがTraCSSのシステム基盤構築を担当
- 米国事業者を中心とした10事業者がベータ版ユーザーとして参加しているほか、2025年9月にはAmazon Leo(当時Amazon Kuiper)が新たにパイロットユーザとして参加

役割	企業	概要
データ/サービス供給 ¹	LeoLabs(米)	「Consolidated Pathfinder」に参画し、LEOの物体のカタログ・関連サービスを提供
	Slingshot Aerospace(米)	
	COMSPOC(米)	「Consolidated Pathfinder」に参画し、軌道決定サービスを提供
データ品質監視 ²	Kayhan Space ² (米)	「Consolidated Pathfinder」の精度、一貫性、品質を評価
	SpaceNav(米)	
システム基盤	Parsons Corporation ³ (米)	クラウドホスティングサービス(SSA関連情報をインターネット経由で提供するサービス)の基盤となるプラットフォームを構築
	Amazon Web Services (AWS) ⁴ (米)	TraCSS専用クラウドを開発するほか、クラウドホスティングサービスを提供
	Science Applications International Corporation, Inc.(SAIC) ⁴ (米)	クラウドホスティングサービスを提供

TraCSS(米国)(続き)

政府

産業界との関わり(2/2)

役割	企業	概要
ユーザー ⁵⁶⁷	The Aerospace Corporation(米)	2024年9月に開始されたフェーズ1.0ベータ版サービスのユーザーとなり、以降のサービス改良に関するフィードバックを提供
	Eutelsat OneWeb(仏、英)	
	Georgia Tech(米)	
	Intelsat(米)	
	Iridium(米)	
	Maxar(米)	
	NOAA(米)	
	Planet(米)	
	Telesat(カナダ)	
	SpaceX(米)	共同研究開発契約(CRADA)の中で、OSCが同社の自動衝突回避を支援するソフトウェアを評価。2025年7月にベータ版ユーザーとして参加 ⁶
Amazon Leo(米)	2025年9月にパイロット ユーザーとして参加	

出所)

- <https://spacenews.com/office-of-space-commerce-starts-commercial-pathfinder-project-for-civil-space-traffic-coordination-system/>(最終閲覧:2025年6月13日)
- <https://space.commerce.gov/office-of-space-commerce-places-orders-for-ssa-data-quality-monitoring-pathfinder/>(最終閲覧:2025年6月13日)
- <https://payloadspace.com/inside-the-worlds-first-civil-space-traffic-coordination-system/>(最終閲覧:2025年6月13日)
- <https://space.commerce.gov/noaa-awards-4-8m-tracss-cloud-services-order/>(最終閲覧:2025年6月13日)
- <https://spacenews.com/commerce-begins-beta-tests-of-space-traffic-coordination-system/>(最終閲覧:2025年6月13日)
- <https://space.commerce.gov/tracss-welcomes-spacex-as-10th-beta-user/>(最終閲覧:2025年8月20日)
- <https://space.commerce.gov/tracss-update-expanding-space-safety-partnerships/>(最終閲覧:2025年9月11日)

Space Weather Prediction Center(SWPC)(米国)

政府

概要

- SWPCは米国海洋大気庁(NOAA)に属する宇宙天気
の警報・注意報の発信機関で、太陽活動や地球近傍の宇
宙環境を常時監視し、予測・影響情報を提供している¹。
- ラグランジュ点L1※に配備されたDSCOVRや静止軌
道に配備されているGOESシリーズなどの衛星¹や、
GONGネットワーク(6拠点)²やUSGS地磁気プログ
ラム(14拠点)³などの地上系観測所を運用・活用して
いる。
- 2025年9月には、宇宙天気観測専用衛星SWFO-L1
を打ち上げ、2026年半ばまでにラグランジュ点L1に
おいて運用を開始する見込みである⁴。

産業界との関わり

- SWPCは「Space Weather Prediction
Testbed(SWPT)」を運用し、顧客(産業ユーザー)・
研究者・予報官が新たな観測・モデル・製品を共同で評
価・改良する場を提供している⁵。
- 2025年4・5月には、上記の枠組みでArtemis II 有
人飛行支援演習を実施し、産業界・学术界・国防関係者
を含む参加者が放射線嵐シナリオを共同で検討した⁶。

※ 地球と太陽の遠心力が釣り合う点の1つで、地球から太陽方向に約150万kmにある

出所)1、<https://www.swpc.noaa.gov/>(最終閲覧2025年10月14日)

2、<https://nso.edu/telescopes/nisp/gong/>(最終閲覧2025年10月14日)

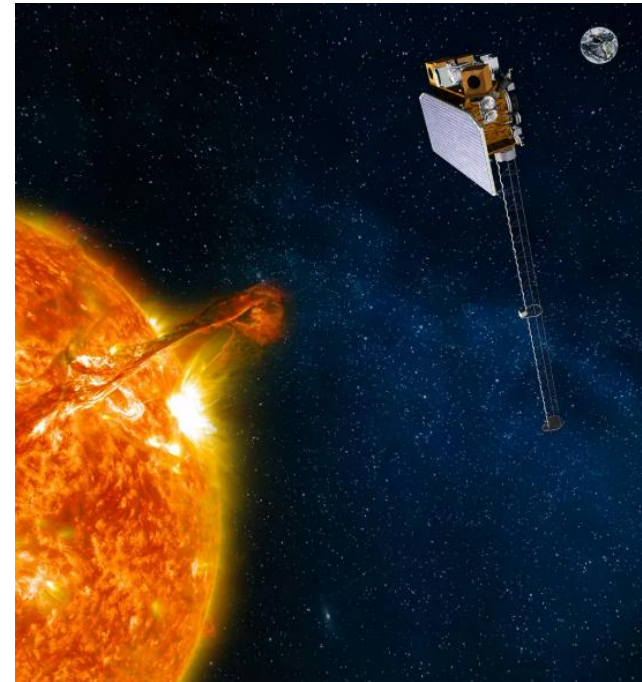
3、<https://nso.edu/press-release/critical-solar-observations-from-nsfs-gong-network-now-maintained-by-noaas-space-weather-prediction-center/>(最終閲覧2025年10月14日)

4、<https://www.swpc.noaa.gov/news/swfo-l1-successfully-launched>(最終閲覧2025年10月14日)

5、<https://testbed.spaceweather.gov/>(最終閲覧2025年10月14日)

6、<https://www.swpc.noaa.gov/news/artemis-ii-testbed-exercise-showcases-noaa%E2%80%99s-readiness-human-spaceflight>(最終閲覧2025年10月14日)

宇宙天気観測衛星SWFO-L1のイメージ図



出所)<https://www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/future-programs/swfo/space-weather-follow-lagrange-1-swfo-l1>(最終閲覧2025年10月14日)

Solar Dynamics Observatory(SDO)(米国)

政府

概要

- SDOは、「Living With a Star(LWS)」計画で最初に打ち上げられた太陽観測ミッションで、太陽変動の理解と宇宙天気の予測力向上を目的とし、太陽大気を多波長・高時間分解能で連続監視を実施している。
- 2010年2月に、傾斜静止軌道上に打ち上げられた。
- SDOには、太陽地磁気を観測するHMI (Helioseismic and Magnetic Imager)、太陽大気を画像化するAIA (Atmospheric Imaging Assembly)、太陽の放射照度を測定するEVE (Extreme Ultraviolet Variability Experiment)が搭載されている。¹

産業界との関わり

- AIAはLockheed Martin先端技術センターの太陽・天体物理学研究所で製作されたほか、HMIは同社とスタンフォード大学の共同で設計された²。
- NASAでは、企業、大学、研究機関を対象都市、SDOデータを用いた助成金プロジェクト「ROSES」を実施している³。

SDOのイメージ図



出所)
https://www.universemonitor.com/info/Solar_Dynamics_Observatory(最終閲覧2025年10月14日)

出所)

1. <https://sdo.gsfc.nasa.gov/>(最終閲覧2025年10月14日)

2. <https://news.lockheedmartin.com/2010-02-11-Lockheed-Martin-Built-Instruments-Launched-on-NASAs-Solar-Dynamics-Observatory>(最終閲覧2025年10月14日)

3. <https://nspires.nasaprs.com/external/solicitations/summary.do?method=init&path=&solId=%7B2A1D139B-B9C7-CE8C-2E81-223FD08460F9%7D&>(最終閲覧2025年10月14日)

EU-SST(欧州)

政府

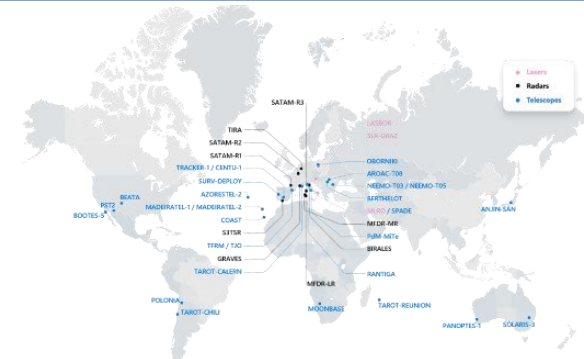
概要

- 加盟機関が収集したSSAデータをカタログ化して、専用のポータルを通じてSSAのデータおよびサービスを欧州のユーザに提供している¹。
- 基盤となる処理機能はドイツSSAセンターが担当し、衝突回避サービスはフランスとスペインが、再突入分析サービスとフラグメンテーション分析サービスをイタリアがそれぞれ担当している²。

産業界との関わり

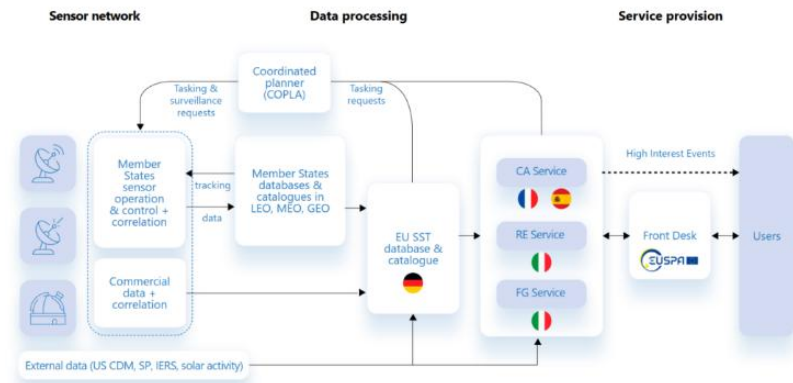
- 2023年から2025年にかけての優先事項として、産業界に関わるものとしては以下が挙げられている。
- SST サービスの国際ユーザへのオープン化
- 商用センサおよびデータ提供におけるEU エコシステムの強化および向上
- 民生および防衛の能力のシナジーの養成
- SSA分野におけるEU域内の大手企業(6Roads、Aldoria、Arianegroup、Deimos、GMV、Safran、Sybilla)の保有する商用センサーと統合している³。

EU-SSTのセンサネットワーク



出所) <https://www.eusst.eu/about-us/> (最終閲覧2026年2月24日)

EU-SSTのアーキテクチャ



出所) <https://www.eusst.eu/about-us/> (最終閲覧2026年2月24日)

出所)

1. <https://www.eusst.eu/services/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.eusst.eu/about-us/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://www.eusst.eu/newsroom/news/eu-sst-expands-its-user-community-and-sensors-network> (最終閲覧、2025年8月20日)

ESA Space Weather Service(SWE) Network(欧州)

政府

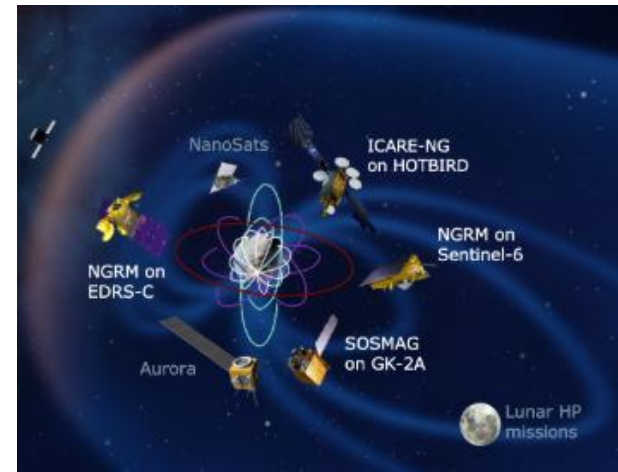
概要

- SWE NetworkはESAが自ら運用する宇宙天気センサー群に加え、欧州の地上局や商用衛星のデータを用いて、宇宙天気の監視・予測等を提供する¹。
- ESAが開発する電子・陽子フラックスを測定するNGRM(Next Generation Radiation Monitor)(LEO、GEO)²や韓国の静止衛星GEO-KOMPSAT-2Aに搭載された磁力計SOSMAG(Service Oriented Spacecraft Magnetometer)³などの衛星配備パイロードに加え、スウェーデン地質調査所(SGU)とデンマーク工科大学(DTU)が運用する10局の変動磁力計⁴などからデータを収集・分析している。

産業界との関わり

- ESAは、2024年5月にAirbus Defence and Space UKと3億4千万ユーロの契約を締結し、ラグランジュ点L5※に配備する運用型宇宙天気衛星「Vigil」の開発を発注した。2031年に打ち上げ予定である⁵。
- ESAはHEMERIA(仏)と宇宙気象超小型衛星ミッションであるSwingの開発について、980万ユーロ相当の契約を締結した。2026年に打ち上げられ、2027年からデータサービスを開始する予定である⁶。

SWE Networkのコンセプト図



出所) <https://swe.ssa.esa.int/ngrm>(最終閲覧2025年10月14日)

出所)

1、<https://swe.ssa.esa.int/>(最終閲覧2025年10月14日)

2、<https://swe.ssa.esa.int/ngrm>(最終閲覧2025年10月14日)

3、<https://swe.ssa.esa.int/sosmag>(最終閲覧2025年10月14日)

4、<https://swe.ssa.esa.int/mag-swe-dan>(最終閲覧2025年10月14日)

5、

https://www.esa.int/Space_Safety/Vigil/Airbus_to_build_ESA_s_Vigil_space_weather_fo_recasting_mission(最終閲覧2025年10月14日)

6、

https://www.esa.int/Space_Safety/Hemeria_to_implement_ESA_s_first_space_weather_nanosatellite_mission(最終閲覧2025年10月14日)

NSpOC(英国)

政府

概要

- 2024年4月、国防省とUKSAによってNSpOC※が創設された¹。
- 2024年6月より、SSA情報プラットフォーム「Monitor Space Hazards」の運用を開始したほか、再突入や衝突、宇宙天気などのSSAに関する情報を定期的に発信している。

産業界との関わり

- 2023年4月に発出されたRFIは、RSO(Resident Space Object)の追跡能力と、静止軌道の潜在的な特性評価または近隣監視の能力を可能にすることが目的とされた²。
- 同年7月、UKSAはガイダンスを制定し、デュアルユースのSDAシステムを支えるユーザおよびシステム要件を整理した。³ 要件は今後も定期的に見直される。
- 英国は外国企業を誘致して英国でライセンス取得を促す方針であり、本サービスも英国でのライセンス取得の誘因とすることが意図されていると考えられる。

※National Space Operation Centre

出所)

1. <https://www.raf.mod.uk/our-organisation/squadrons/1-space-operations-squadron/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
2. <https://www.contractsfinder.service.gov.uk/Notice/1d37dbb2-cbaf-4664-a182-866ea7978308>(最終閲覧: 2026年2月24日)
3. <http://www.govwire.co.uk/news/ministry-of-defence/guidance-space-domain-awareness--requirements-57317>(最終閲覧: 2026年2月24日)
4. <https://www.gov.uk/government/news/how-we-protected-the-uk-and-space-in-july-2025>(最終閲覧: 2026年2月24日)
5. <https://www.monitor-space-hazards.service.gov.uk/>(最終閲覧: 2025年8月20日)

デュアルユースの全体像

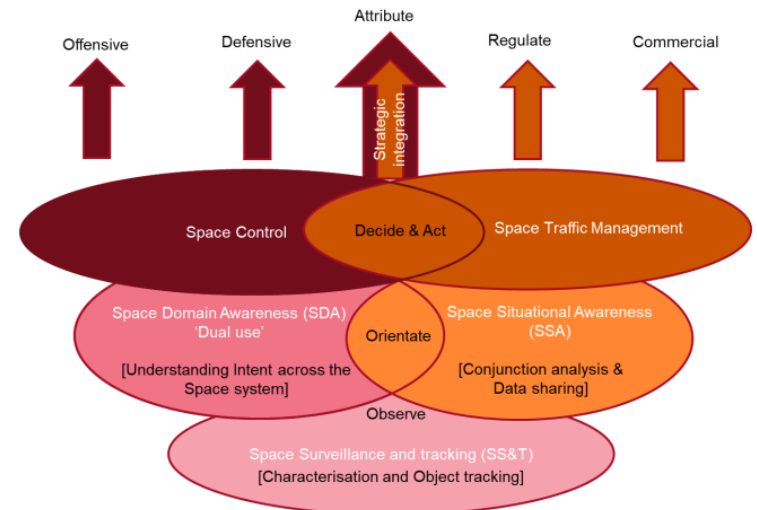


Figure 2: Scope and boundaries of SDA

出所) <https://www.ukspace.org/new-space-domain-awareness-study-published/>(最終閲覧2026年2月24日)

Met Office Space Weather Operations Centre(MOSWOC)(英国)

政府

概要

- MOSWOCは、2014年に設立された24時間365日運用の宇宙天気予測センターであり、英国内外のインフラと産業に向けた監視・警報・助言を提供している。
- DSCOVRやGOES、SDOなどの観測衛星データや、Lancaster UniversityやUK Atomic Energy Authority(UKAEA)、Mirion Technologiesが共同で開発・製造した地上設置型の中性子モニターなどを利用している^{1,2}。

産業界との関わり

- UKRI(UK Research and Innovation)は、英国の宇宙気象監視と予測能力を向上させる2,000万ポンドの4年(2019年-2024年)プログラム「SWIMMR」の中で、MOSWOCを支援する、新しい機器・モデル・サービスの開発・展開を支援した。
- 上記の枠組みに採択された大学や研究機関は、中性子モニターの試験・評価や宇宙天気データを用いた衛星リスク予測等に関する研究・開発を実施した。³

地上の中性子モニターの様子



出所)<https://www.metoffice.gov.uk/blog/2025/advancing-the-monitoring-of-space-weather-events>(最終閲覧2025年10月14日)

出所)

1. <https://www.metoffice.gov.uk/blog/2025/advancing-the-monitoring-of-space-weather-events>(最終閲覧2025年10月14日)

2. <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/business/public-sector/space-weather/importance-of-heliospheric-observations-and-measurements-for-space-weather-forecasting.pdf>(最終閲覧2025年10月14日)

3. <https://www.ukri.org/what-we-do/strategic-priorities-fund/space-weather-innovation-measurement-modelling-and-risk/>(最終閲覧2025年10月14日)

中国におけるSSAの動向(1/3)

政府

● 中国におけるSSA^{1、2、3}

- 中国は国際的なデータ共有活動には参加していないが、機密性の高い独自の監視ネットワークを運用している。
- 自国のLEO衛星コンステレーションを衝突から守るため、混雑化しているLEOの監視を重要視しており、LEO用SSA衛星の開発に注力している。
- さらに、LEO用SSA衛星の自律的な運用を実現するためのテストを実施している。
- 2018年のIDA(国際開発協会)レポートでは、国内のSSA能力への投資を増やすことに戦略的な関心を有しているが、SSAデータを処理し、自国のソフトウェアを使用してSSAプロダクトを開発する能力については不明であり、米国ほど成熟しているとは考えられないと記されている。
- 米国国防総省は、2025年、中国がLEO衛星からの自動検知・追跡など新技術を投資・配備していると指摘している。
- CASIは、中国で月周辺SSA(lunar SSA)に関する新規プロジェクトが進展していると報告しており、SSAの適用範囲が地球周回から地月空間へ拡張していると考えられる。

● 独自のネットワーク網構築の動き⁴

- アジア太平洋宇宙協力機構(APSCO:Asia Pacific Space Cooperation Organization)において、加盟国に対しSSAのデータと情報を共有するように働きかけている。
- APSCOのAPOSOS(Asia-Pacific Ground-based Optical Space Objects Observation System)の開発をリードし、APSCO加盟国の光学望遠鏡を用いた地上宇宙物体観測ネットワークの構築を目指している。

出所)

1. <https://www.airuniversity.af.edu/CASI/Articles/Article-Display/Article/3980318/chinas-different-approach-to-space-situational-awareness/> (最終閲覧:2026年2月24日)
2. <https://media.defense.gov/2025/Dec/23/2003849070/-1/-1/1/ANNUAL-REPORT-TO-CONGRESS-MILITARY-AND-SECURITY-DEVELOPMENTS-INVOLVING-THE-PEOPLES-REPUBLIC-OF-CHINA-2025.PDF> (最終閲覧:2026年2月24日)
3. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2025-06-09%20Chinas%20Lunar%20Space%20Situational%20AwarenessAn%20Update.pdf?ver=1Kldpu3xNj_ao2fx3qlntg%3D%3D (最終閲覧:2026年2月24日)
4. <http://www.apSCO.int/html/comp1/content/GBSOON/2018-07-05/44-180-1.shtml> (最終閲覧:2026年2月24日)

中国におけるSSAの動向(2/3)

政府

● SSA衛星

- 中国はSSA用に少なくとも10機の衛星をLEOに打ち上げている。さらに、軌道上にある詳細不明の衛星もSSAタスクを実行しているとされている。¹
- 中国のSSA衛星には、ShiyanとShijianといった技術実証衛星、そして吉林リモートセンシングコンステレーションを運用しているChangguang Satellite Technology (長光衛星技術有限公司)や宇宙資源会社Origin Spaceなどの民間企業の衛星も含まれている¹。
- 上記に加え、Kaiyun Unitedの開発する、Aseem Data System(ADS)のような、米国のTraCSSに相当するサービスも存在し、既に民間衛星運用事業者に対する販売が開始されている²。
- 実データなどの情報からSJ-15またはCX-3によりSSAを実施していたことが確認されている。³

確認及び推測されている中国のSSA衛星²

Name (NORAD)	Orbit to Orbit	Sensor	Launch Date	Status
Specific Confirmation				
BanXing-1 (33392)	LEO to LEO	Optical	2008	Deorbited
ChuangXin-3 (39209)	LEO SSO to LEO and LEO SSO to GEO	Optical	2013	Operational
ShiJian-15 (39210)	LEO SSO to LEO (maybe also GEO)	Optical and RF	2015	Operational
TianTuo-2 (40144)	LEO to LEO	Optical, Video, and Star Tracker	2014	Operational
BanXing-2 (41834)	LEO to LEO	Visible, Infrared, and RF	2016	Deorbited
JiLin-1 ShiPin 04-06 (43022, 43023, 43024)	LEO SSO to Beyond GEO	Optical and Video	2017	Operational
ShiYan-6 01, 02, 03 (43711, 43859, 48157)	LEO SSO LEO and LEO SSO to GEO	?	2018, 2020, 2021	Operational
YangWang-1 (48841)	LEO SSO to LEO and LEO SSO to Beyond GEO	Optical and Ultraviolet	2021	Deorbited
TianZhou-3 (49222)	LEO to LEO	Optical	2021	Deorbited
JiLin-1-XX	LEO SSO to LEO/MEO	Optical, Video, and Star Tracker	2019-present	Operational
Real Data				
Unknown 1	LEO SSO to LEO. Spacecraft at 508.6km, inclined 99.82°. Targets in LEO altitudes 323km and 616km.	Optical	by 2014	?
Unknown 2	Circular high LEO/MEO to lower and higher orbits. Spacecraft at 1,600km altitude, inclined 54°. Target 1 at 20,000 km altitude, inclined 30°, ascending node right ascension 0°, and a true anomaly of 40°. Target 2 at 300 km altitude, inclination 45°, ascending node right ascension 358.8°, and true anomaly of 345.2°.	Optical	by 2018	?
Unknown 3	LEO to GEO. Spacecraft at 670km, inclined 54°.	Optical	by 2021	?
Unknown 4	LEO to LEO. Spacecraft at 550km altitude and target at 580km altitude, both inclined 53°.	Optical	by 2022	?
General Capability				
Unknown 5	LEO to LEO	RF	by 2011	?
Unknown 6	MEO to high MEO or to lower MEO/LEO	RF	by 2020	?
Unknown 7	GEO to GEO	RF	by 2023	?
Unknown 8	GEO to GEO or MEO to GEO or MEO to MEO	Infrared and Optical	by 2023	?

出所)1. <https://spacenews.com/china-is-building-on-orbit-space-situational-awareness-capabilities-to-navigate-crowded-orbits/> (最終閲覧:2026年2月24日)
 2. <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2025-10-06%20China's%20Commercial%20SSA%20Company.pdf?ver=LulDX8ZlvkzVJp2l6-1oPA%3d%3d>(最終閲覧2025年10月20日)
 3. <https://www.airuniversity.af.edu/CASI/Articles/Article-Display/Article/3980318/chinas-different-approach-to-space-situational-awareness/> (最終閲覧:2026年2月24日)

中国におけるSSAの動向(3/3)

政府

● 中国のSSA能力

- 中国のSSA衛星では光学センサ(赤外線含む)及びRFセンサを使用しており、特にRFセンサは有効範囲が11,800kmにまでと広範囲に達する。¹
- 赤外線センサを活用し、監視・追跡対象である宇宙物体が地球の影に入り条件が悪い環境でも対象を検知する検討が進められている。²

● 中国の定義する宇宙ベースのSSA

- 宇宙ベースのSSAには、SSA衛星からの宇宙物体のスキャン、追跡、カタログ作成、情報融合、分析、意図の決定、場合によってはマヌーバ決定プロセス、の全ての要素が含まれている。¹

● 中国のSSA能力に係る課題^{3,※}

- 宇宙産業データは形式や基準が統一されておらず、地域をまたいだ統合・共有が難しい。
- データ所有権・価値評価・収益分配の仕組みが整っていないため、データ提供者が第三者機関に情報を提供しようとする意欲が乏しい。

※米国防空軍大学の見解である。

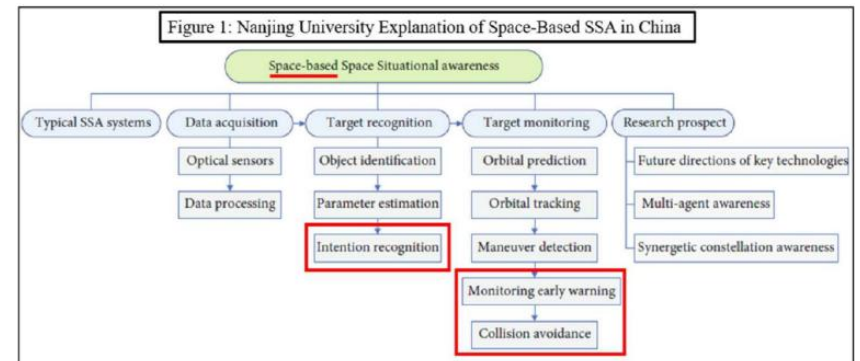
出所)1. <https://www.airuniversity.af.edu/CASI/Articles/Article-Display/Article/3980318/chinas-different-approach-to-space-situational-awareness/>
(最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2024-12-02%20China's%20Different%20Approach%20to%20Space%20Situational%20Awareness.pdf> (最終閲覧: 2026年2月24日)

3. <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2025-10-06%20China's%20Commercial%20SSA%20Company.pdf?ver=Luldx8ZlvkzVJp2l6-1oPA%3d%3d> (最終閲覧2025年10月20日)

SSAのセンサーの種類¹

Broad Category	Sub-Category	Missions Discussed	Ranges Discussed
Optical	Visible Light	Scanning; Tracking; Maneuver Detection; Feature Recognition	2km - 1,300km
	Star Tracker		
	Mid-Far Infrared		
	LiDAR		
Radio Frequency	X-Band Radar	Maneuver Detection; Collision Avoidance; Feature Recognition	3km - 11,800km
	Millimeter-Wave Radar		
	SAR and ISAR		



APOSOS

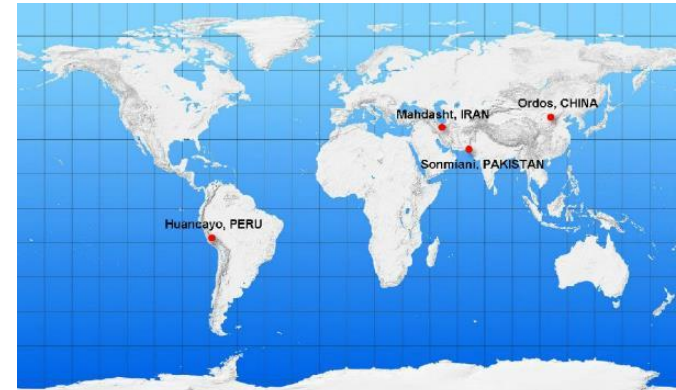
(Asia-Pacific Ground-based Optical Space Objects Observation System) (中国等)

政府

概要¹

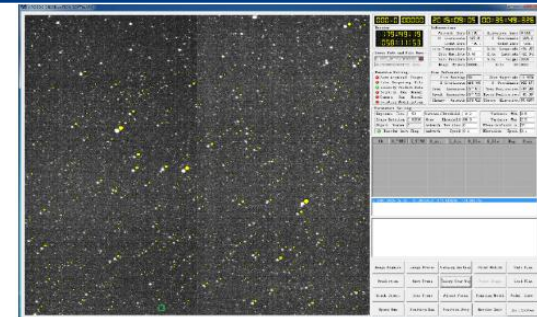
- 加盟国に分散データ処理センターを設置し、宇宙物体の高品質・精密な軌道データの提供を目指すプロジェクトである。
- APOSOSのデータ・運用管理センターは中国科学院国家天文台(National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences: NAOC)に設置されており、ネットワーク調整、観測スケジュール、データ処理、軌道決定などを担っている。
- フェーズ1(2012年～):LEOの宇宙物体を対象とした、加盟国の宇宙アセットの衝突回避及び早期警戒サービスのためのインフラの確立が目的とされた。3か国に計3台の望遠鏡を恒久的に導入(2015年にパキスタンとペルー、2016年にイラン)。2015年にはAPOSOSデータセンターを北京に設立した。
- フェーズ2(2017年～):広視野観測と精密追跡が可能な直径300～500mmの大型望遠鏡を全加盟国に設置予定である。システム完成後は、LEOで直径10cmの小さな物体を検出可能。さらに、MEO(中軌道)、GEO(静止軌道)などの観測のためにシステムを大幅に強化する。

APOSOSの観測網



出所) <http://www.apsco.int/html/comp1/content/APOSOS/2019-03-01/59-261-1.shtml>(最終閲覧: 2026年2月24日)

APOSOSの宇宙物体追跡ソフトウェア



出所) <http://www.apsco.int/html/comp1/content/GBSOON/2018-07-05/44-180-1.shtml>(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1. https://english.nao.cas.cn/research/researchdivisions/appliedastronomy/202103/t20210321_265690.html(最終閲覧2026年2月24日)

富士通(日本)

民間

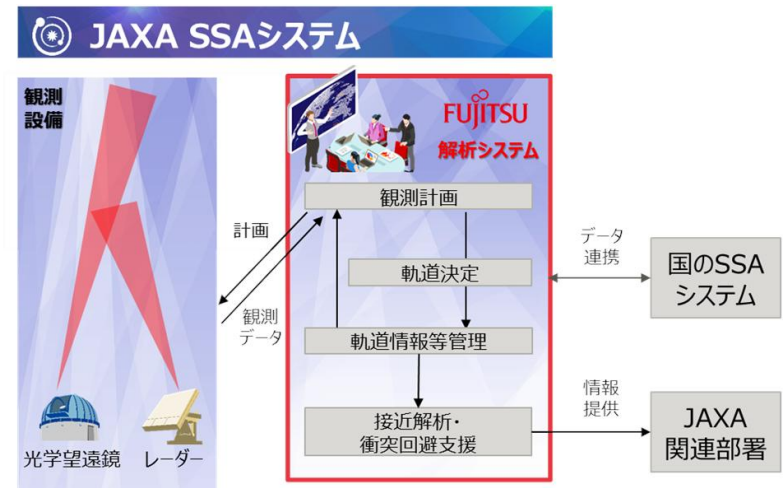
概要

- 自社で観測アセットは保有していないものの、JAXAのSSAシステムの構築支援を行っている。2022年4月、デブリの軌道解析システムを構築し稼働を開始したことを発表した¹。
- 観測計画の策定や観測データの処理などの定常的な作業は自動で行い、解析運用者の作業が処理結果の確認と緊急時の対応に集約されている¹。
- JAXAのSSAシステムのほか、防衛省が運用管理しているSSAシステムとの連携が可能な機能を搭載している¹。

政府機関・政策との関わり

- 1990年代初頭にJAXAがスペースデブリ対策に関する検討を開始した当初からスペースデブリに関するシステムを構築してきた¹。
- 防衛省の宇宙状況監視運用システムの開発維持、運用役務も担務し、JAXA-防衛省連携を支援。
- 政府系組織のSSAにおけるデータ解析を実施。センサーデータの精度評価や較正等も支援²。

JAXA SSAシステム概要



出所) <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2022/04/5.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1. <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2022/04/5.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)

2. https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/keizai.anzen.hosyo_sc/dai5/siryu4.pdf(最終閲覧: 2026年2月24日)

日本電気(NEC)(日本)

民間

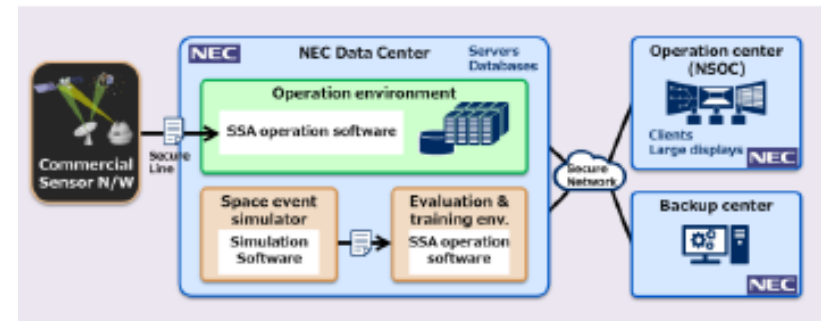
概要

- NEC ComSpOCの説明
 - NEC ComSpOCと呼ばれるSSA運用システムを商用技術に基づき構築しており、各種解析情報は自社衛星の運用支援のために利用されている。¹
- SSAセンサーの説明
 - SSAレーダー²、SLR等、電波、光学両方の観測用センサー開発の実績を有する。SSAセンサーに関する知見は、SSAレーダー維持、機能性能向上事業のために利用されている。

政府機関・政策との関わり

- NEC ComSpOCは他機関と共同研究等の実績がある。
- SSAレーダーでは、JAXAに対して、スペースデブリ観測レーダー、SSAレーダーを納入した実績がある。また、JAXAとISAR等の将来レーダーに関する共同研究の実績がある。
- SSAレーダーでは、JAXAに対して、種子島SLRを納入した実績がある。また、この実績を活用して、防衛省のSSAレーダー開発にも貢献している。

NEC ComSpOCの概要



出所) <https://amostech.com/TechnicalPapers/2019/Space-Situational-Awareness/Mori.pdf>(最終閲覧: 2026年2月24日)

SSAレーダーの概要

上齋原スペースガードセンター (レーダー)



出所) <https://track.sfo.jaxa.jp/project/ssa.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1. <https://amostech.com/TechnicalPapers/2019/Space-Situational-Awareness/Mori.pdf>(最終閲覧: 2026年2月24日)
2. <https://track.sfo.jaxa.jp/project/ssa.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)

Star Signal Solutions(日本)

民間

概要

- 日本橋に拠点を置くJAXAスタートアップ企業である¹。
- 軌道上物体の観測、軌道解析を行い、宇宙での衝突事故回避ナビ(SaaS型の「サテナビ S-CAN」)を開発・提供している¹。
- 独自の画像解析・処理技術を用いて10cm以下のデブリを含む暗く小さな物体を検出可能としている²。

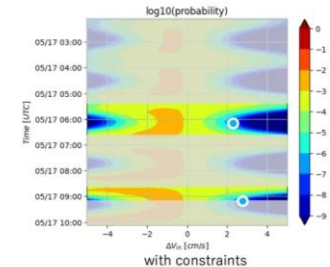
政府機関・政策との関わり

- JAXAベンチャーに認定されている。
- APRSAF-31にて、フィリピン宇宙庁との間で宇宙状況把握分野での協力強化に向けた覚書(MOU)を締結。
- 航空自衛隊第1宇宙作戦隊とSSAにおける官民連携強化・推進に向けた覚書(MOU)を締結。



衝突事故回避ナビS-CAN概要

- 宇宙物体衝突回避支援ナビゲーションサービス「S-CAN」は、接近物体との衝突を回避する人工衛星の運用を効率的に実施するためのナビゲーションソフトウェアである。
- 衝突確率等の計算結果をもとに、ユーザ衛星の持つ制約も考慮したうえで、複数の推奨計画を提示する。優先する指標をあらかじめユーザ側で設定しておけば、制御計画の決定を自動化することも可能である。



小型デブリ把握技術

- 宇宙戦略基金「空間自在利用の実現に向けた技術」に採択され、民間SSAビジネスの展開を念頭に、これまで捕捉が困難であった10cm以下の小型デブリ把握技術の獲得に取り組んでいる。

出所) <https://starsignalsolutions.com/service/#observation-service>(最終閲覧:2025年12月4日)

出所)

1. <https://www.utokyo-ipc.co.jp/story/star-signal-solutions/>(最終閲覧:2025年12月4日)

2. <https://starsignalsolutions.com/service/#observation-service>(最終閲覧:2025年12月4日)

インフォステラ(日本)

民間

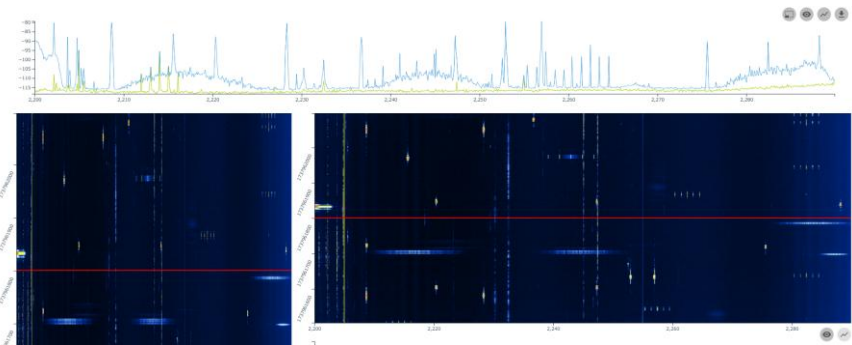
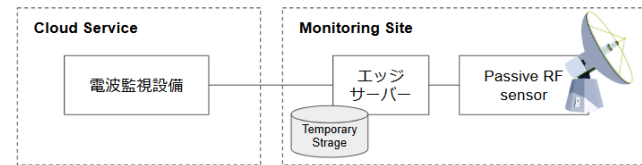
概要

- 主事業として、地上局ネットワークを衛星運用者に提供している。StellarStationというクラウドプラットフォームを通じて世界中で28サイトのアンテナを利用可能である。
- これまでのRFやアンテナに関する知見をもとに、SDA (Space Domain Awareness) 領域の事業を開発中である。
- 国内外の地上のアンテナを用いて宇宙空間の電波情報を収集するためのシステム、および、電波情報の解析ツールを開発中である¹。

政府機関・政策との関わり

- J-Startup認定企業である。
- 2023年度と2024年度、JAXAから電波環境調査に関する実現性検討業務等を受託した。
- 2024年度、防衛装備庁から衛星周波数解析技術の概念実証業務を受託した。

電波情報監視設備の概要



出所)インフォステラ社提供資料

出所) 1, <https://www.infostellar.net/jp> (最終閲覧: 2026年2月24日)

アクセルスペース(日本)

民間

概要

- 2008年に設立された企業で、自社で運用する衛星により取得した画像を用いたサービスであるAxelGlobeや、衛星を活用してサービスを展開したい企業向けのAxelLinerサービスを展開している¹。
- AxelGlobeサービスでは、地上のみならず軌道上を周回する物体を撮影することもできるため、SSAサービスも提供可能である¹。

政府機関・政策との関わり

- AxelGlobeは、国土地理院が進める「衛星・AIを活用した地図更新の効率化」に採用された。電子国土基本図の整備・更新に利用される。²

AxelGlobeによる物体画像



出所) <https://www.axelspace.com/ja/services/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)1, <https://www.axelspace.com/ja/services/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2, <https://www.axelspace.com/ja/news/axelglobe-gsi/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

スカパーJSAT(日本)

民間

概要

- 宇宙事業において、アジア最大の民間衛星運用事業者として、衛星通信や地球観測に関するサービスを提供している企業である。
- 宇宙環境を守るSpace Sustainabilityに関連する取り組みとして、静止軌道上から光学望遠鏡により周辺状況を把握するGSOM(静止軌道設置型光学望遠鏡)をはじめとしたSSA(宇宙状況把握)事業を推進している。今後、これらの分野でのサービス提供に向けて投資を積極的に行い、事業拡大を目指している。¹
- NTT株式会社との合併で、宇宙RANや宇宙データセンターを含む新たな宇宙統合コンピューティング・ネットワーク事業を目指す「株式会社Space Compass」を設立し²、光データリレーサービスにより宇宙観測データの大容量・準リアルタイム伝送を目指している。
- 社内スタートアッププログラムから、世界初のレーザーを使ったスペースデブリ除去衛星を設計・開発する「株式会社Orbital Lasers」を設立した³。

政府機関・政策との関わり

- 防衛省Xバンド通信衛星(きらめき)のPFI事業の受託や防衛省をはじめとした官公庁向けに衛星通信回線の提供などを行っている⁴。

出所)1. https://www.skyperfectjsat.space/ir/library/jsat_report/2023/assets/pdf/2023report.pdf(最終閲覧: 2026年2月24日)

2. https://www.skyperfectjsat.space/news/detail/ntt_space_compass.html(最終閲覧: 2026年2月24日)

3. https://www.skyperfectjsat.space/news/detail/orbital_lasers.html(最終閲覧: 2026年2月24日)

4. <https://www.skyperfectjsat.space/ir/files/pdf/373d308becf34287ac6baecc80a566bd.pdf>(最終閲覧: 2026年2月24日)

スカパーJSATの将来構想



出所)

<https://www.skyperfectjsat.space/ir/files/pdf/373d308becf34287ac6baecc80a566bd.pdf>(最終閲覧: 2026年2月24日)

IHIエアロスペース(日本)

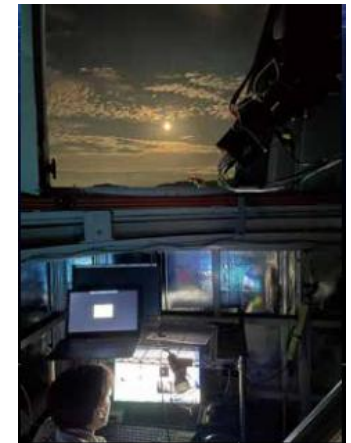
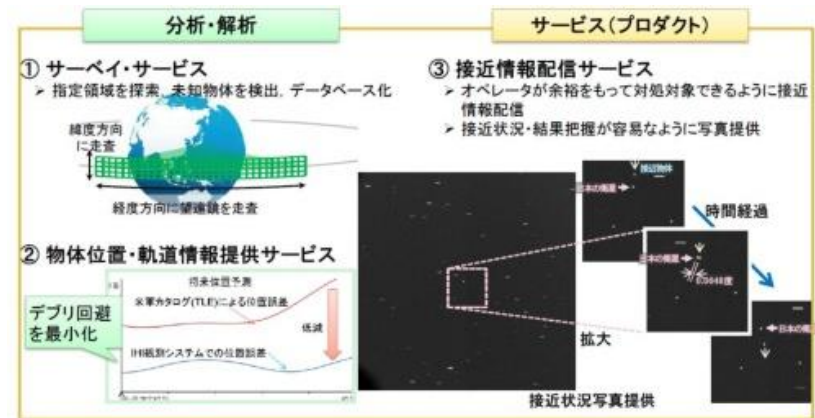
民間

概要

- 2015年度より、民生向けのSSAデータプロバイダーとしてのサービスを行っている¹。
- 2か所に設置された光学望遠鏡を用いて、静止軌道について以下のサービスを提供している¹。
 - サーベイ・サービス
 - 物体位置・軌道情報提供サービス
 - 接近情報配信サービス
 - 物体分析サービス

政府機関・政策との関わり

- 2021年度には、SSAデータサービス契約を航空自衛隊と締結している¹。
- 防衛省向けを想定し、IHIとノースロップ・グラマンが小型・高機動人工衛星に関して協業している²。

IHI SSAサービスの概要³相生観測局⁴

出所)1. <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02438/050800004/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
 2. https://www.ihico.jp/all_news/2022/aeroengine_space_defense/1198210_3479.html(最終閲覧: 2026年2月24日)
 3. <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02438/050800004/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
 4. <https://www.ihico.jp/ia/download/i/info.pdf>(最終閲覧: 2026年2月24日)

三菱電機(日本)

民間

概要

- 政府・研究機関向け基幹衛星の管制局・管制システム及び望遠鏡システム等の製造業者として日本の宇宙事業に貢献している。
- 上記の経験を踏まえ、将来混雑化が進むLEOにおいて、特に衛星廃棄運用(PMD)やデブリ除去活動(ADR)時の非定常物体の高精度追跡を目指したサービス事業を計画している。
- 高精度な軌道推定技術を開発し、SSA事業者の観測ネットワーク(光学望遠鏡、レーダー等)を活用しながら、密集領域での衝突回避支援や軌道実績データ提供等を目指している。
- サービス開始後は衛星運用事業者や政府機関等へのサービス提供だけではなく、国際機関/コンソーシアム等にも参画し、宇宙交通調整(STC)で国際プレゼンスの発揮を想定している。

政府機関・政策との関わり

- JAXA向け美星スペースガードセンターのスペースデブリ観測用光学望遠鏡や、防衛省が配備するSSAシステム向けのディープスペースレーダを納入する等、政府機関による宇宙状況把握(SSA)での関わりがある。



スペースデブリ観測用光学望遠鏡

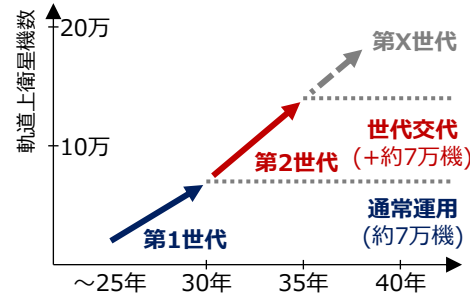


ディープスペースレーダ

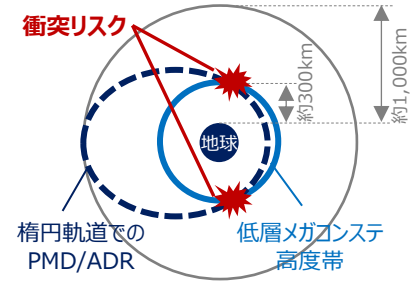
課題意識・提供価値

- メガコンステ事業者の台頭により、LEOでの混雑化が進んでおり、PMD/ADR等で他の衛星がメガコンステ高度帯を横断する際の衝突リスクが顕在化しつつある。

2030年以降の宇宙空間混雑化状況(仮説)



楕円軌道によるPMD/ADRの例(仮説)



- 特にPMD/ADR等に付随する、通常の衛星とは異なる非定常な衛星の軌道を高精度に推定し、追跡することにより、将来混雑化したLEOにおける衝突確率を下げることが、宇宙空間の持続可能な利用に不可欠と考えている。
- 非定常な衛星の軌道に関する情報を獲得するために、SSA事業者の観測ネットワークを活用し、広域・高頻度な観測技術と高精度な軌道推定技術に関する技術を開発する想定である。
- 上記技術を基とした高品質データを提供するシステム基盤を構築し、衛星運用事業者や政府機関等へのSTCサービス開始を予定し、国際機関/コンソーシアム等にも参画する予定である。

出所)電子通信システム製作所 採用サイト、三菱電機 防衛事業部説明会資料

LeoLabs(米国)

民間

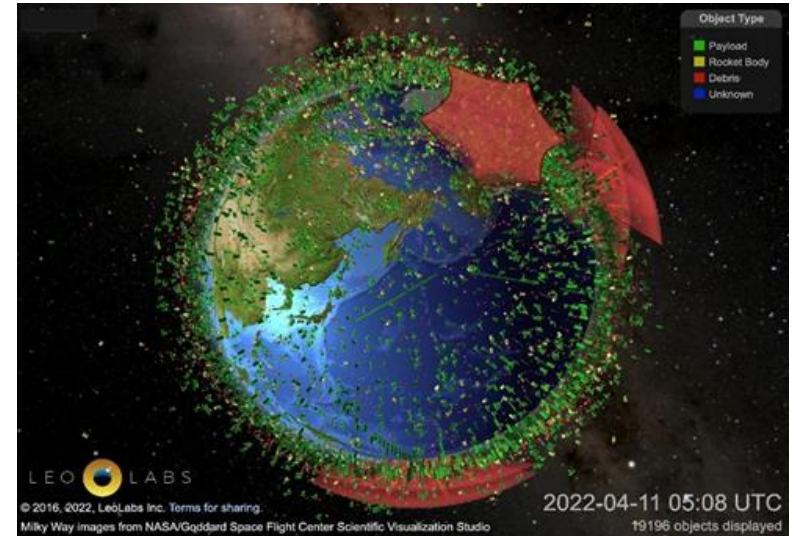
概要

- 運用しているレーダーはフェーズドアレイレーダーである。
- 米国テキサス州、アラスカ州、ポルトガル、コスタリカ、オーストラリア、ニュージーランドにそれぞれレーダーを設置・運用しているほか、アルゼンチンにもレーダー設置を進めている。
- 機械学習アルゴリズムを用いてデータを処理し、観測後2分で測定値が利用可能であり、リアルタイムでのアラート提供、マヌーバの検知が可能としている。¹
- 2025年4月、同社は軌道展開型SDAレーダー「Scout」の展開計画を発表した²。

政府機関・政策との関わり

- 2022年9月、米商務省の宇宙交通管理システム開発支援プロジェクトにおいて、追跡および連動アラートデータ製品を提供する契約を獲得した³。
- 2024年1月に、TraCSSに関するプロジェクトにおいて、米商務省に低軌道のSSAデータおよびサービスを提供する契約を締結した⁴。
- 2025年3月に、米国宇宙軍による戦略的資金増額(STRAFI)の中で、インド太平洋地域に次世代レーダー設備を2026年後半までに配備する契約を締結した⁵。

LeoLabsの利用画面イメージ



出所)<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000001.000101792.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)

- 1, <https://leolabs.space/radars/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 2, <https://leolabs.space/press/leolabs-announces-next-generation-expeditionary-radar-for-advanced-space-domain-awareness-missions/>(最終閲覧: 2025年8月21日)
- 3, <https://www.prnewswire.com/news-releases/leolabs-awarded-contract-from-the-us-department-of-commerce-to-support-space-traffic-management-prototype-301620999.html>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 4, <https://www.space.commerce.gov/office-of-space-commerce-initiates-tracss-pathfinder-projects/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 5, <https://spacenews.com/leolabs-wins-contract-to-deploy-space-monitoring-radar-in-indo-pacific-region/>(最終閲覧: 2025年8月21日)

ExoAnalytics(米国)

民間

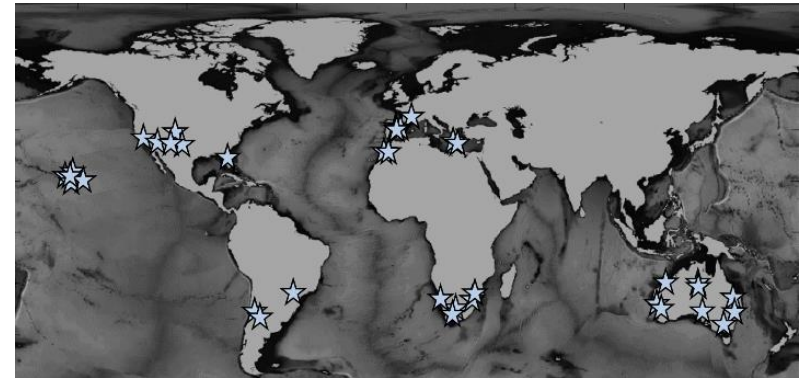
概要

- 光学望遠鏡ネットワーク ExoAnalytic Global Telescope Network(EGTN)を運用している。
- 自社のソフトウェアであるExoAnalytic Space Operations Center (ESpOC)が情報の収集、ネットワークの指揮制御を行っている¹。
- 2019年、軌道上SSAサービスの提供を目指すNorthStar社とパートナーシップを締結した。気象条件の影響を受けやすい光学観測の欠点を補うことを意図している。
- 2021年、地上ベースの光学センサシステム HARRIER Systemを開発した。
- 2024年11月、英国のSSA企業「3S Northumbria」を買収し、英国及び欧州でのプレゼンスを強化した²。

政府機関・政策との関わり

- HARRIER SystemはSBIR/SBTTプログラムの支援を受けており、空軍のセンサがダウンした際のSSA観測をカバーするものである³。

EGTNを構成する光学望遠鏡の位置



出所) <https://exoanalytic.com/space-domain-awareness/>
(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)

1、<https://exoanalytic.com/company/leadership/william-therien/>(最終閲覧: 2026年2月24日)

2、<https://www.burges-salmon.com/burges-salmon-supports-us-space-client-as-it-acquires-uk-start-up/>(最終閲覧: 2025年8月21日)

3、<https://www.sbir.gov/awards/166349>(最終閲覧: 2026年2月24日)

Slingshot(米国)

民間

概要

- 光学望遠鏡ネットワーク Numerica Telescope Network (NTN)を運用している。
- 世界各地に20か所以上、150基以上の光学望遠鏡を運用し、昼間においても衛星追跡サービスを提供している。
- 非常に暗い物体や異常な挙動を示す物体を検知可能だとしている。
- 遅延時間は10分未満であるとしている。
- 2025年7月、同社は宇宙環境のモデリングやシミュレーションのためのAI「TALOS」の発売を発表した¹。

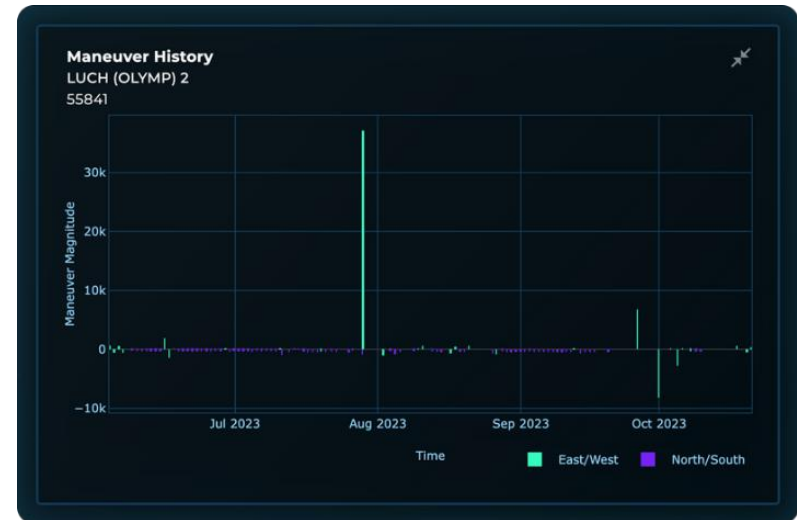
政府機関・政策との関わり

- 2022年、Strategic Funding Increase (STRATFI)プログラムにおいて、米宇宙軍から2500万ドルの契約を得ている。
- 2023年、LEOのSSAデータとサービスをTraCSSに提供する契約を得た。
- 2025年1月、米国宇宙軍 (USSF) から、GPS妨害およびなりすまし検出技術に関する契約を得ている (PNT-SENTINEL)³。

出所)

- 1、<https://www.slingshot.space/news/slingshot-aerospace-selected-to-provide-technology-to-ussf-to-detect-gps-jamming-and-spoofing-threats-to-international-security>(最終閲覧、2025年8月27日)
- 2、<https://www.slingshot.space/about>(最終閲覧：2026年2月24日)
- 3、<https://www.slingshot.space/news/slingshot-aerospace-launches-talos-ai-agent-for-mission-ready-space-operations-and-strategy>(最終閲覧、2025年8月27日)

Slingshotのマヌーバレポートイメージ



出所)<https://www.slingshot.space/solutions/data-insights#space-object-tracking-data>(最終閲覧:2024年9月17日)

Kratos(米国)

民間

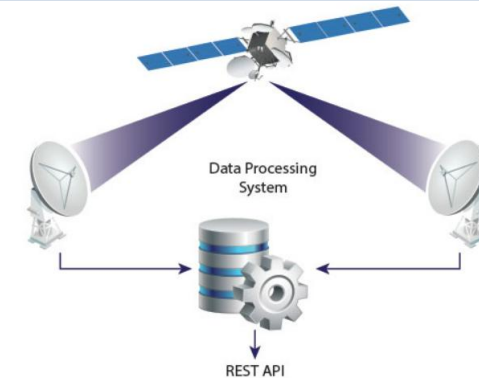
概要

- RFアンテナによるネットワークを運用している。
- 世界各地に20か所以上、140基以上のアンテナを運用している¹。
- RFにより、気象条件・地理的制限や近接する物体同士など、従来のレーダや光学望遠鏡では観測できない情報を得られるとしている²。

政府機関・政策との関わり

- 米国宇宙軍のプログラムである **Geolocation Global Support Services** において、2012年に1300万ドル以上³、2019年に3900万ドル⁴、2025年1月には4800万ドル以上⁵の契約を獲得している。
- 2024年4月、米陸軍未来司令部の「**Network Cross-Functional Team (N-CFT)**」による資金支援プログラムの中で、**OpenSpace Platform**(ソフトウェア定義型の衛星地上システム)を用いた完全仮想化SATCOM地上システムの通信実証に成功した⁶。
- 2025年6月には、米宇宙軍の進化型戦略衛星通信(ESS)プログラムにおいて、**OpenSpace Platform**を用いた通信インフラ強化に関する2500万ドル以上の契約を獲得している⁷。

Kratosのサービスイメージ



出所)<https://www.kratosdefense.com/systems-and-platforms/space-systems/military-and-government/space-domain-awareness/tracking-and-maneuver>(最終閲覧: 2026年2月24日)

- 出所)1、<https://www.kratosdefense.com/systems-and-platforms/space-systems/military-and-government/space-domain-awareness>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 2、<https://ir.kratosdefense.com/news-releases/news-release-details/kratos-announces-space-domain-awareness-services-assess>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 3、<https://www.defensedaily.com/u-s-space-force-plans-new-contract-for-geolocation-global-support-services/space/>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 4、<https://ir.kratosdefense.com/news-releases/news-release-details/kratos-awarded-39-million-sole-source-contract-24-hour-space>(最終閲覧: 2026年2月24日)
- 5 <https://www.kratosdefense.com/newsroom/kratos-awarded-48-million-contract-for-geolocation-global-support-services>(最終閲覧2025年9月9日)
- 6 <https://www.kratosdefense.com/newsroom/kratos-demonstrates-fully-virtualized-satcom-over-leo-for-u-s-army>(最終閲覧2025年9月9日)
- 7 <https://www.stocktitan.net/news/KTOS/kratos-awarded-25-million-task-order-for-u-s-space-force-s-evolved-vmpw18dapk2g.html>(最終閲覧2025年9月9日)

Scout(米国)

民間

概要

- 衛星搭載用光学カメラやセンサーを開発しており、長距離での宇宙領域認識向け装置のほか、近接操作向けの装置を開発している。
- 2024年3月、SpaceXにより打ち上げられた試験機 Sparrowが宇宙空間での画像撮影に成功した¹。
- 2025年8月、Dawn Aerospaceのサブオービタル宇宙機「Aurora」に、Scout SpaceのSDAペイロード「Morning Sparrow」を搭載し、初の統合試験飛行を実施した²。

政府機関・政策との関わり

- 米空軍研究所のプログラムAFWERXを通じ、2021年にフェーズⅠ、2023年にフェーズⅡの資金を獲得している³。
- 2022年には、米宇宙コマンドが提供した軌道事象・接近・以上に関するデータセットに基づきデータ製品を生成する協定を締結した⁴。
- 2023年10月、IARPA(インテリジェンス高度研究計画局)の、軌道上の小さなデブリ検出を目的とする「SINTRA」プロジェクトの元受け事業者に選定された⁵。
- 2024年、米宇宙システムコマンドの SDA Tools Applications and Processing Lab Apollo Accelerator Cohort 4に選出された⁶。
- 2024年7月、DARPAによる「BRIDGES」プログラムにおいて、自律型衛星のシミュレーションに関する契約を獲得した⁷。

- 2025年4～5月、米宇宙軍の戦術資金増額(TACFI)(Sequential Phase II)において、GEO向けSDAセンサーの提供、RSO追跡・管理のためのデータ管理システムの開発、に関する契約を締結した^{8,9}。

Scoutが開発する衛星(Raven)



出所) <https://www.scout.space/product>(最終閲覧: 2026年2月24日)

出所)

1. <https://www.scout.space/post/scout-space-sparrow-successfully-captures-first-in-space-image>(最終閲覧: 2026年2月24日)
2. <https://www.dawnaerospace.com/latest-news/suborbital-sda-test-flight>(最終閲覧2025年9月10日)
3. <https://www.scout.space/post/scout-space-awarded-afwerx-phase-ii-to-develop-autonomous-satellite-software-suite>(最終閲覧: 2026年2月24日)
4. <https://www.scout.space/post/scout-usspacecom-sign-agreement-to-share-space-situational-awareness-services-data>(最終閲覧: 2026年2月24日)
5. <https://news.satnews.com/2023/10/04/scout-to-deliver-space-based-sensing-payload-for-iarpa-sintra/>(最終閲覧2025年9月10日)
6. <https://www.scout.space/post/scout-space-joins-u-s-space-system-command-s-space-domain-awareness-tap-lab-accelerator>(最終閲覧: 2026年2月24日)
7. <https://breakingdefense.com/2024/07/scout-space-nabs-darpa-deal-to-simulate-autonomous-satellite-swarming/>(最終閲覧2025年9月10日)
8. <https://www.satellitetoday.com/government-military/2025/05/22/scout-space-wins-space-force-funding-for-geo-space-domain-awareness/>(最終閲覧2025年9月10日)
9. <https://www.scout.space/news/scout-space-tacfi-2>(最終閲覧2025年9月10日)

Turion Space(米国)

民間

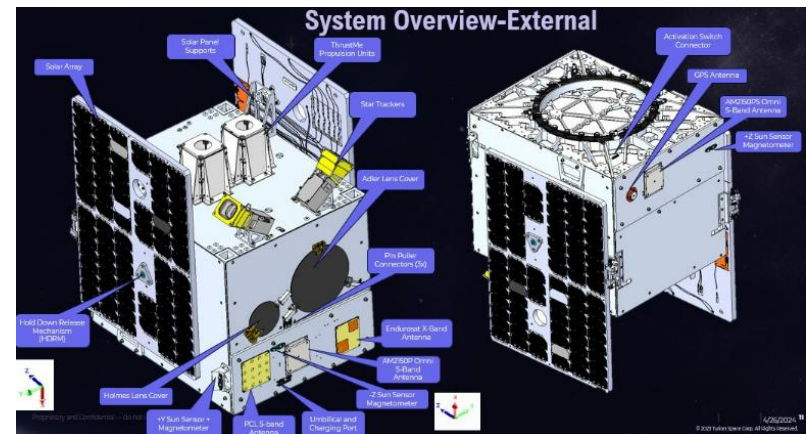
概要

- AIを用いた衛星運用支援ツール「Starfire」や、電気推進エンジン「Turion Ion Engine」、SSA観測器を搭載した「DROID」衛星、LEO監視のための地上センサ、などを展開・提供している¹。
- 2025年3月に、HEO(豪)の光学カメラ2台を含むSSA観測衛星「DROID.002」を打ち上げた²。
- 2025年9月に、同社が開発している「Starfire™ Nexus」プラットフォームを用いてTychee Research Group(米)が開発する運用支援力学モデルTychee's Mission Planning Library(TMPL)を「DROID.002」にインストールし、軌道上での動作を検証した³。
- 2025年9月、Areté(米)の開発する次世代イベントカメラを2027年打ち上げ予定の「Turion DROID.alpha」衛星に配備することを発表した⁴。

政府機関・政策との関わり

- 2022年から1年間で、NASA、USAF、USSFから、デブリ捕獲機構やデブリ観測パイロードの開発を含む計6件、総額680万ドルの契約を獲得した⁵。
- 2025年6月、TraCSSの「Commercial COLA Gap Pathfinder」にデータ提供事業者として選定された⁶。

Turion Spaceが開発するDROID.002の概観



出所) <https://www.nasaspaceflight.com/2025/03/t13/> (最終閲覧2025年10月15日)

出所)

- <https://turionspace.com/> (最終閲覧2025年10月15日)
- <https://www.nasaspaceflight.com/2025/03/t13/> (最終閲覧2025年10月15日)
- <https://turionspace.com/articles/turion-space-and-tychee-research-group-achieve-major-milestone-with-successful-on-orbit-execution-of-tmpl-via-starfire-nexus> (最終閲覧2025年10月15日)
- <https://turionspace.com/articles/turion-space-and-aret%C3%A9-partner-to-advance-space-domain-awareness-with-next-generation-event-camera-payload> (最終閲覧2025年10月15日)
- <https://payloadspace.com/exclusive-turion-space-wins-six-nasa-and-usaf-contracts/> (最終閲覧2025年10月15日)
- <https://space.commerce.gov/osc-announces-awardees-of-the-commercial-cola-gap-pathfinder/> (最終閲覧2025年10月15日)

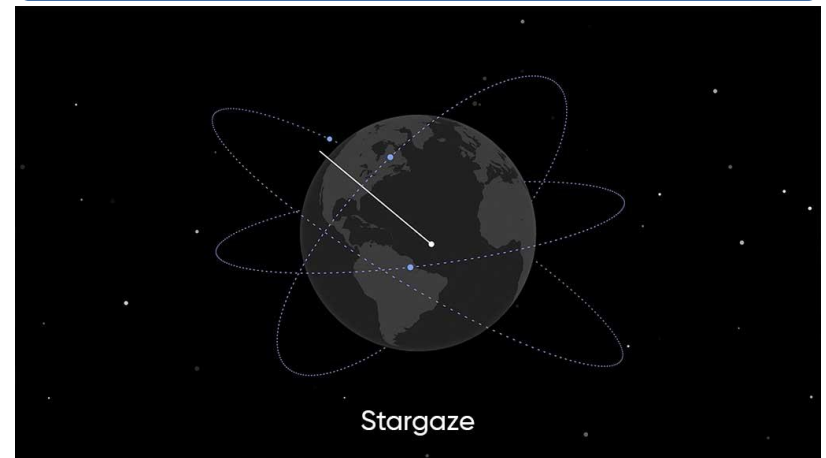
SpaceX(米国)

民間

概要

- SpaceXは「Stargaze」というSSAプラットフォームを2026年1月に発表。Starlink衛星群に搭載された約3万基のスタートラッカー由来データを活用する¹。
- Stargazeでは1日約3,000万回の近傍物体の通過観測(トランジット)を検出し、地上観測より大幅に高密度な観測から、他衛星やデブリの軌道、位置・速度を準リアルタイムに推定する¹。また、接近スクリーニング結果は数分以内に返す設計とされる²。
- 今後、より広範な展開を予定しており、自らの衛星軌道予測データをプラットフォームに提出する運用者は、StargazeからのCDMに加え、他の参加運用者の位置情報(エフェメリス)も受け取れるようになる²。
- Stargazeでは今後、他の衛星運用者に対し、接近解析に用いるデータや接近警報(CDM)を無償で提供する方針である。ベータ版段階では既に複数社がエフェメリス共有と接近解析に参加済みで、Starlinkと他社衛星の接近回避を支援した事例も報じられている。¹

Stargazeによる衛星位置把握のイメージ図



出所)<https://www.eonmsk.com/2026/01/29/spacex-stargaze/>(最終閲覧2026年3月10日)

政府機関・政策との関わり

- SpaceXはNASA Amesとの協力の一環として、衛星運用者間の接近回避に向けた運用調整用APIを開発中である³。

出所)
 1 <https://www.spacevoyaging.com/news/2026/02/01/spacex-unveils-stargaze-new-space-situational-awareness-system/>(最終閲覧2026年3月10日)
 2 <https://www.satellitetoday.com/sustainability/2026/01/30/starlink-to-launch-free-space-situational-awareness-platform/>(最終閲覧2026年3月10日)
 3 <https://docs.space-safety.starlink.com/docs/>(最終閲覧2026年3月10日)

TRL11(米国)

民間

概要

- 衛星に搭載し軌道上で運用する光学カメラや、そのデータプロセッサ、これらを配信・共有するプラットフォーム「Video Intelligence Platform」等を開発している¹。
- 2025年8月、TRL11はStarris(米)と相互供給契約を締結しており、TRL11の光学カメラにStarrisの開発するモノリシック望遠鏡※を組み込むことで、より解像度の高い光学カメラの開発を目指している。同技術はSDAをはじめとするデュアルユースでの活用を想定している。²

政府機関・政策との関わり

- 2024年2月、AFRLが主導する、技術企業による国防エコシステムへの参入加速を支援する「Catalyst Accelerator」プログラムの参加事業者として選定された³。
- 2025年1月、米宇宙軍が主導する、衛星自身の状況認識に焦点を当てた「Prime Fusion Pilot Accelerator Program」の参加企業に選定された。当該プロジェクトではBlackVe(米)と共に技術開発に取り組む⁴。

※ 主鏡が1枚の一体構造で作られた望遠鏡

出所)

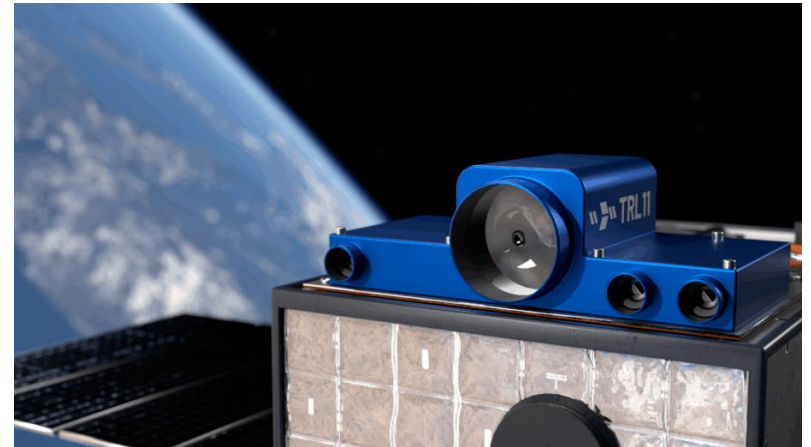
1 <https://www.trl11.com/>(最終閲覧2025年10月15日)

2 <https://payloadspace.com/trl11-starris-partner-on-better-eyes-in-orbit/>(最終閲覧2025年10月15日)

3 <https://www.trl11.com/post/air-force-research-laboratorys-catalyst-accelerator-program-announces-13th-cohort-including-trl11>(最終閲覧2025年10月15日)

4 <https://www.fedtech.io/resource/prime-fusion-accelerator-cohort-announcement>(最終閲覧2025年10月15日)

TRL11がStarrisが共同で開発するRPOシステムのイメージ図



出所)<https://payloadspace.com/trl11-starris-partner-on-better-eyes-in-orbit/>(最終閲覧2025年10月15日)

Spire(米国)

民間

概要

- Spireは、SSAや電離層観測など、幅広い用途に構成変更可能なモジュラー型衛星システム「LEMUR」を用いた衛星の製造や、打上支援、25か国以上に80拠点以上設置する地上ネットワークを用いた地球-衛星間通信、などのサービスを提供している¹。
- 上記以外にも、RF(無線周波数)検出技術や電波掩蔽観測技術※を用いた地上監視サービス等も展開している¹。

政府機関・政策との関わり

- 2021年4月、NASAによる「Commercial Smallsat Data Acquisition (CSDA)」プログラム契約を獲得し、宇宙天気予報や軌道決定に資する電波掩蔽データを収集した²。
- 2022年から2023年にかけて実施された、NOAAによる「Space Weather Data Pilot (SWDP)」プロジェクトにPlanetiQとともに選定され、LEOに搭載されたGNSS受信機から得られる電波掩蔽データを提供した³。
- 続けて2023年3月、NOAAはSpireとPlanetiQの2社と総額約5900万ドルの電波掩蔽データ提供に係る5年間契約を締結している⁴。

Spireの提供する衛星システムLEMURの外観



出所) <https://spire.com/space-services/lemur-space-platform/>(最終閲覧2025年10月16日)

※ 地球の大気を通過するGNSS衛星の電波の屈折を測定し、その屈折データから大気の種類・湿度・圧力・電子密度などを推定する手法

出所)

- 1 <https://spire.com/>(最終閲覧2025年10月16日)
- 2 <https://spire.com/case-study/federal/supporting-climate-and-earth-science-research-through-nasas-csda-program/>(最終閲覧2025年10月16日)
- 3 <https://www.nesdis.noaa.gov/s3/2024-09/NESDIS-RPT-8001.1-Commercial-Data-Program-Space-Weather-Data-Pilot-Report-Executive-Summary.pdf>(最終閲覧2025年10月16日)
- 4 <https://space.commerce.gov/noaa-awards-2nd-delivery-order-under-radio-occultation-data-buy-2/>(最終閲覧2025年10月16日)

PlanetIQ(米国)

民間

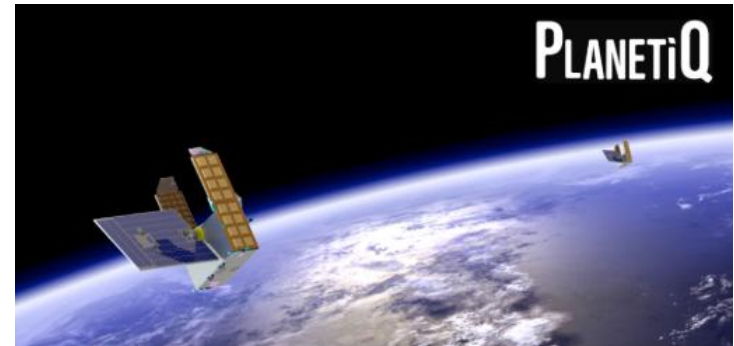
概要

- PlanetIQは、電波掩蔽センサー「Pyxis」を搭載した3基の電波掩蔽衛星「GNOMES」シリーズをLEOで運用しており、同衛星で取得された観測データは宇宙天気の前報・分析に資する^{1,2}。
- 同社は最終的に20基の電波掩蔽衛星からなるコンステレーションを構築する予定である²。

政府機関・政策との関わり

- 2022年から2023年にかけて実施された、NOAAによる「Space Weather Data Pilot (SWDP)」プロジェクトにSpireとともに選定され、LEOに搭載されたGNSS受信機から得られる電波掩蔽データを提供した³。
- 続けて2023年3月、NOAAはSpireとPlanetIQの2社と総額約5900万ドルの電波掩蔽データ提供に係る5年間契約を締結している⁴。

PlanetIQが運用するGNOMES衛星のイメージ図



出所) <https://news.satnews.com/2023/12/06/planetiq-gnomes-4-satellite-launched/>(最終閲覧2025年10月16日)

出所)

1 <https://planetiq.com/technology/>(最終閲覧2025年10月16日)

2 <https://www.businesswire.com/news/home/20231204601048/en/PlanetIQ-GNOMES-4-Satellite-with-the-Worlds-Most-Accurate-Weather-Forecasting-Sensor-Launches-into-Orbit-aboard-SpaceX-Falcon-9-Rocket-from-Vandenberg-Space-Force-Base-in-California>(最終閲覧2025年10月16日)

3 <https://www.nesdis.noaa.gov/s3/2024-09/NESDIS-RPT-8001.1-Commercial-Data-Program-Space-Weather-Data-Pilot-Report-Executive-Summary.pdf>(最終閲覧2025年10月16日)

4 <https://space.commerce.gov/noaa-awards-2nd-delivery-order-under-radio-occultation-data-buy-2/>(最終閲覧2025年10月16日)

NorthStar(カナダ)

民間

概要

- 衛星によるSSA、および衝突回避情報提供サービスを開発中である。
- 計24機のSSA衛星によるコンステレーション Skylarkを構築する計画である。
- 2024年1月に4基の Skylark衛星を打ち上げた。¹
- 気候・地理的条件に左右されない観測が可能であり、地上ベースのセンサーが取得した情報と統合可能としている。

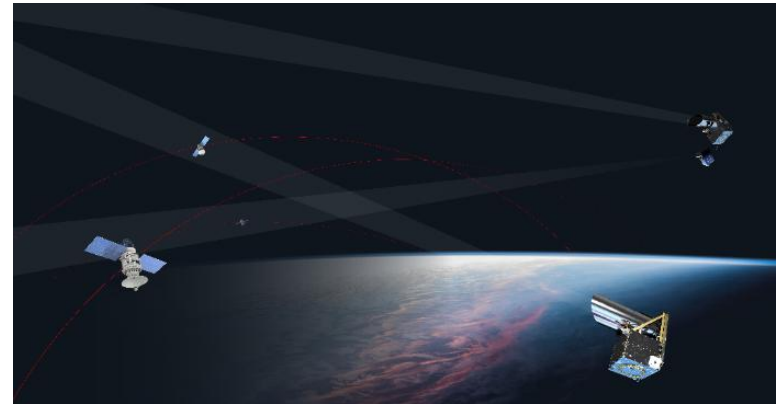
政府機関・政策との関わり

- 2022年12月、米宇宙商務省と国防総省から、STM関連の商用技術を実証する「Space Traffic Coordination Pilot Project」の中で、契約を獲得した²。
- 2023年、ルクセンブルク国家宇宙計画 LuxIMPULSEにおける契約を通じて、ルクセンブルク政府の資金提供を受けた³。
- 2024年、サウジアラビア宇宙庁との間でパートナーシップを締結した⁴。

出所)

1、<https://northstar-data.com/successful-launch-of-northstar-1-space-based-ssa/>(最終閲覧: 2026年2月24日)2、<https://spacenews.com/defense-commerce-departments-select-companies-to-prototype-space-traffic-management-solutions/>(最終閲覧2025年9月10日)3、<https://northstar-data.com/ja/luximpulse-%E3%81%AF%E3%80%81northstar-earth-space-%E3%81%A8-%E5%AE%87%E5%AE%99%E3%81%AE%E6%8C%81%E7%B6%9A%E5%8F%AF%E8%83%BD%E6%80%A7%E3%82%92%E5%90%91%E4%B8%8A%E3%81%95%E3%81%9B%E3%82%8B-ssa/>(最終閲覧: 2026年2月24日)4、<https://northstar-data.com/ja/%E3%82%b5%E3%82%a6%E3%82%b8%E5%ae%87%E5%ae%99%E5%ba%81%E3%81%A8-northstar-earth-space%E3%81%8c-%E5%ae%87%E5%ae%99%E3%81%ae%E6%8c%81%E7%B6%9A%E5%8F%af%E8%83%bd%E6%80%A7%E3%82%92-%E9%ab%98%E3%82%81/>(最終閲覧: 2026年2月24日)

Skylarkのイメージ図



出所)Start of the production https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/press_release/start-production-skylark-constellation-of-the-Skylark-constellation | Thales Group(最終閲覧: 2026年2月24日)

Spaceflux(英国)

民間

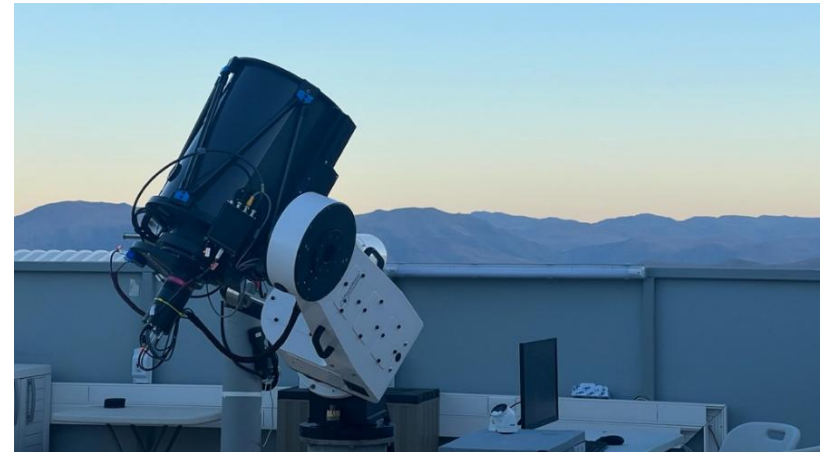
概要

- Spacefluxは、光学望遠鏡ネットワーク・AI解析でLEO・GEO・Cislunarにおける人工物体・デブリを追跡する光学系SSA事業者である¹。
- 2025年1月時点で、スペイン、オーストラリア、チリ、米国など、5大陸に15の望遠鏡拠点を有しており、2026年までに25拠点到増設する予定である^{1,2}。
- SWIR(Short-Wave Infrared:短波赤外)帯※を光学望遠鏡により、LEO・GEOにおける昼間も含めた24時間監視システムの開発に取り組んでいる³。

政府機関・政策との関わり

- 2023年11月、英国宇宙軍と英国宇宙庁と、GEOにおける衛星追跡データ提供とキプロスへの地上SDAセンサーの建設などに関する契約を締結した⁴。
- 2024年9月、英国国防省の執行機関である国防科学技術研究所(Dstl)から、SDAのための赤外線センサー技術実証システムの設計・建設に関する契約を獲得した⁵。

Spacefluxのチリの光学望遠鏡



出所)<https://spaceflux.io/spaceflux-expands-its-worldwide-leo-capable-optical-sensor-network/>(最終閲覧2025年10月15日)

※ 波長0.6~1.7 μmの電磁波を利用する光学技術で、可視光領域と比較して散乱の影響が少なく、昼夜問わず衛星観測を維持することが可能

出所)

1 <https://spaceflux.io/>(最終閲覧2025年10月15日)

2 <https://spaceflux.io/the-spaceflux-story-fast-track-from-startup-to-ssa-leader/>(最終閲覧2025年10月15日)

3 AMOS Conference 2025, Maui, Hawaii, 2025年9月

4 <https://spaceflux.io/spaceflux-secures-uk-government-contracts-to-enhance-sovereign-space-domain-awareness-capabilities/>(最終閲覧2025年10月15日)

5 <https://battle-updates.com/update/38424/>(最終閲覧2025年10月15日)

Vyoma(ドイツ)

民間

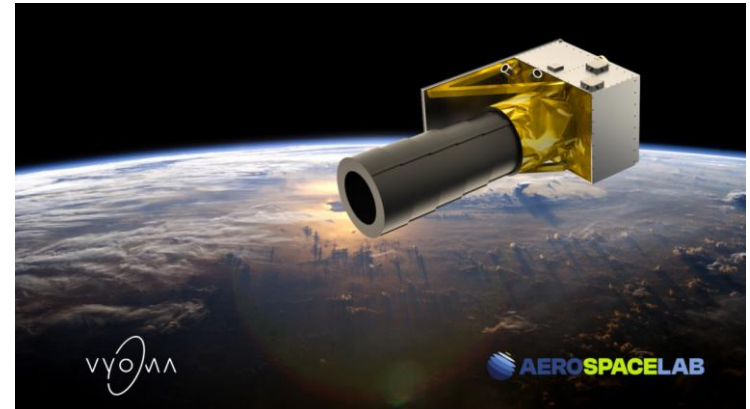
概要

- Vyomaは地上観測ネットワークおよび軌道上に配備した光学望遠鏡を用いたSSAデータ提供・軌道推定・衝突回避サービスを提供している^{1, 2}。
- Vyomaは、2025年から数年間で最大12機からなるFlamingo衛星コンステレーションを構築し、LEO～GEOを運動する物体を監視することを予定している。衛星の製造はEnduroSat(ブルガリア)やAerospacelab(ベルギー)などに委託している。³

政府機関・政策との関わり

- 2024年6月、欧州委員会の欧州防衛基金（EDF）プログラムから、欧州におけるSDA強化を目的とした、地上・軌道上のセンサネットワーク開発等を実施する「EMISSARY」プロジェクト、軌道上の脅威検出・特性評価等を実施する「STAALION」に関する契約を締結した⁴。

Vyoma・Aerospacelabが製造するSSA衛星のイメージ図



出所) <https://spacenews.com/aerospacelab-to-build-debris-tracking-satellite-for-vyoma/> (最終閲覧2025年10月15日)

出所)
 1 <https://www.vyoma.space/technology/> (最終閲覧2025年10月15日)
 2 <https://blog.satsearch.co/2023-03-01-spotlight-how-to-avoid-perils-in-orbit-with-vyoma/> (最終閲覧2025年10月15日)
 3 <https://spacenews.com/aerospacelab-to-build-debris-tracking-satellite-for-vyoma/> (最終閲覧2025年10月15日)
 4 <https://www.vyoma.space/news-items/vyoma-awarded-two-european-defence-fund-contracts-to-enhance-space-security/> (最終閲覧2025年10月15日)

HEO(オーストラリア)

民間

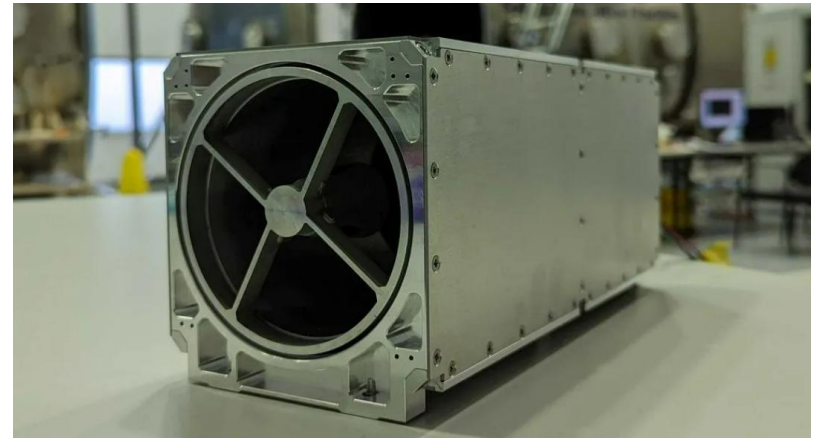
概要

- 宇宙機への搭載を想定した光学系non-Earth imaging (NEI)カメラを開発・運用している他、軌道上の同カメラのデータを統合し、AI/MLを用いた衛星やデブリのモニタリング等を含むサービスを提供している¹。
- 上記カメラは、2025年時点で、LEO上の他の衛星事業者が運用する40以上の衛星に搭載されており、2025年末までに60以上に拡大し、2027年までに、MEO、GEO、そして月遷移軌道(Cis-Lunar)にも展開することを目標としている^{2,3}。

政府機関・政策との関わり

- 2024年1月、英国宇宙庁のプロジェクトの中で、地球観測衛星「ELS-2」の大気再突入の様子を同社のNEIカメラを用いた撮影した⁴。
- 2024年3月、豪州政府から、安全かつ持続可能な宇宙利用のための、次世代衛星撮像カメラの開発に、約74万ドルの助成をうけた⁵。
- 2025年4月、オーストラリアとインドの共同で実施されている、2026年後半に打ち上げ予定の軌道上サービスおよび宇宙デブリ低減実証ミッション「Space-MAITRI」に対して、同社のNEIカメラを提供することを発表した⁶。

HEOが開発するNEIカメラ



出所)<https://www.heospace.com/resources/stories/meet-holmes-imager-the-next-generation-telescopic-space-camera>(最終閲覧2025年9月11日)

出所)

- 1 <https://www.heospace.com/technology/non-earth-imaging-software-platform>(最終閲覧2025年9月11日)
- 2 <https://www.heospace.com/resources/stories/heo-boosts-in-space-capability-with-back-to-back-nei-camera-launches>(最終閲覧2025年9月11日)
- 3 <https://www.heospace.com/resources/stories/meet-holmes-imager-the-next-generation-telescopic-space-camera>(最終閲覧2025年9月11日)
- 4 <https://www.heospace.com/resources/stories/uk-space-agency-project-captures-images-of-satellite-returning-to-earth>(最終閲覧2025年9月11日)
- 5 <https://www.minister.industry.gov.au/ministers/husic/media-releases/support-cutting-edge-aussie-space-projects>(最終閲覧2025年9月11日)
- 6 <https://www.heospace.com/resources/stories/heos-nei-camera-to-launch-on-space-maitri-mission>(最終閲覧2025年9月11日)

Digantara(インド)

民間

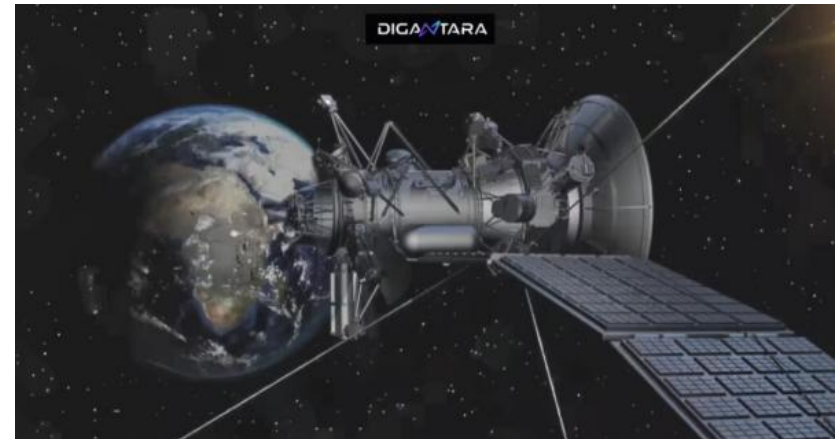
概要

- 宇宙天気監視ペイロード「ROBI(ROBust Integrating proton fluence meter)」や光学SSA衛星「SCOT」(Space Camera for Object Tracking)、データ解析・運用支援プラットフォーム「Space Map」等を開発・運用している^{1,2,3}。
- 2025年3月、アストロスケールとインド市場での協力関係を推進するMOUを締結したと発表した^{4,5}。

政府機関・政策との関わり

- 2025年2月、米空軍や宇宙軍を含む複数の米国国防総省の機関と防衛関連の契約を確保したことを発表した。2025年の間に1,000万ドルから1,500万ドルを投資し、コロラド州に宇宙船製造および宇宙光学生産施設を設立する予定である。⁶

Digantaraの開発するSSA衛星「SCOT」のイメージ図



出所)<https://news.satnews.com/2025/01/14/digantara-launches-indias-1st-homegrown-space-surveillance-mission-via-spacexs-transporter-12/>(最終閲覧2025年10月16日)

出所)

1 <https://www.digantara.co.in/>(最終閲覧2025年10月16日)

2 <https://news.satnews.com/2022/07/07/digantara-successfully-launches-their-space-based-weather-monitoring-system/>(最終閲覧2025年10月16日)

3 <https://news.satnews.com/2025/01/14/digantara-launches-indias-1st-homegrown-space-surveillance-mission-via-spacexs-transporter-12/>(最終閲覧2025年10月16日)

4 <https://www.reuters.com/technology/space/japans-space-debris-firm-astrocale-tie-up-with-indias-digantara-bellatrix-2025-03-21/>(最終閲覧2025年10月16日)

5 <https://www.astrocale.com/ja/news/astrocale-signs-launch-agreement-with-newspace-india-limited-for-satellite>(最終閲覧2025年10月16日)

6 <https://businessreviewlive.com/indian-space-tech-firm-digantara-targets-30m-revenue-with-us-expansion/>(最終閲覧2025年10月16日)

Origin Space(中国)

民間

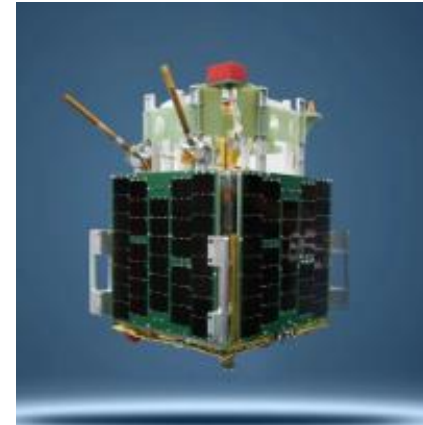
概要

- 中国初の、宇宙資源の探索・開発・利用に特化した商業宇宙事業者で、紫外線・X線・可視光など複数波長の宇宙望遠鏡や小天体観測衛星など、複数の衛星・宇宙機を開発・運用し、小天体データベースの構築を進めている¹。
- 2020年までに、中国初の紫外線波長域商業衛星とX線観測衛星を打ち上げた²。
- 2021年6月には光学センサを搭載した地球近傍小惑星探知衛星「Yangwang-1」を打ち上げ、Starlinkや中国宇宙ステーションなどの軌道上人工物体の撮影に成功している^{3,4}。

政府機関・政策との関わり

- 2022年9月、対外投資・国際協力を担う江蘇省の国有企業・江蘇海投公司(JOCIC)と戦略協力協定を締結し、アブダビに設置されている中国・UAE間の産業能力協力実証区に、R&Dセンターおよび製造拠点を同社が優先的に設置することを計画している。⁵

Origin Spaceが開発するX線観測衛星の概観



出所) <https://36kr.jp/100699/>(最終閲覧:2025年11月26日)

出所)

1 https://www.smeis.cn/company_show.aspx?compid=962f474386884086971d5a4661ced833(最終閲覧:2025年11月26日)

2 <https://36kr.jp/100699/>(最終閲覧:2025年11月26日)

3 <https://www.space.com/china-launches-commercial-asteroid-hunting-satellite>(最終閲覧:2025年11月26日)

4 <https://www.sensorexpert.com.cn/article/42115.html>(最終閲覧:2025年12月1日)

5 https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztl/jwtzcx/202210/t20221028_1339725.html(最終閲覧:2025年11月26日)

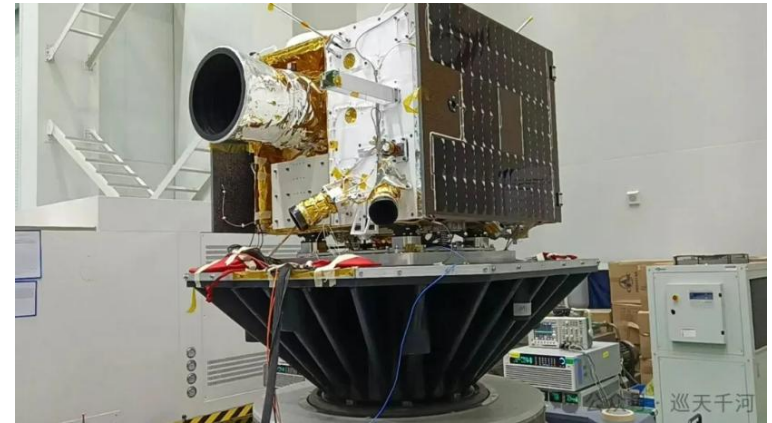
Beijing Kaiyun United Information Technology Group Limited(中国)

民間

概要

- SSAおよび衛星運用データを、AIを用いて安全なクラウド上で統合・運用することに注力する、データ分析事業者である。
- 宇宙物体カタログの生データ、軌道決定解析ツール、通過予測、衝突回避・警報などを備えたプラットフォーム「Aseem Data System(ADS)」(米国の中国航空航天研究所はTraCSSに相当するサービスと説明)を開発・運用している。
- 30基の光学地上局を建設しているほか、光学観測を行うSSA衛星を少なくとも3種類開発しており、2026年末までにSSA専用衛星108基を配備する計画である¹。
- 2025年9月、同社と衛星製造事業者「上海巡天千河宇宙技術有限公司」が共同開発したデブリ検知などを目的とするSSA衛星「開運1号」が打ち上げられた²。

Kaiyun Unitedが開発する衛星「開運1号」



出所) <https://mp.weixin.qq.com/s/OQPdw3wNIGHztT5MiIGfpQ>(最終閲覧2025年11月26日)

政府機関・政策との関わり

- 上記の「開運1号」衛星の開発は、中国四川省の宇宙・AI・電子などの新技術を重点的に育成するための特別経済区「Leshan High-tech Zone」がスポンサーとなっている³。

出所)

1 <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Space/2025-10-06%20China's%20Commercial%20SSA%20Company.pdf?ver=LuldX8ZlvkzVjp2l6-1oPA%3d%3d>(最終閲覧2025年11月26日)

2 <https://news.qq.com/rain/a/20250906A04CXM00>(最終閲覧:2025年11月26日)

3 <https://www.sarthaks.com/3824574/chinas-shiyan-29-hits-geosynchronous-orbit-ceres-1-follows-with-three-satellites>(最終閲覧:2025年11月26日)

2-1-3. 軌道上サービス

- 軌道上サービス
- 寿命延長
- 燃料補給
- 組み立て・リサイクル
- ADR
- EOL

【概要】軌道上サービス

- デブリ等の軌道上物体を増やさない(抑制)、あるいは減らす(低減)ために、第三者が衛星事業者向けに軌道離脱を支援する技術の開発が進められている。
- 軌道上サービスについては将来的なマーケットとなる期待もあり、米国ではISAM(In-space Servicing, Assembly, and Manufacturing)戦略および計画が制定され研究開発が進められ、欧州でも関連技術開発プログラムが推進されている。
- 軌道上サービスの主な分野を下表に示す。このうち、「寿命延長」「燃料補給」「組み立て」「リサイクル」は宇宙機が運用時のサービス、「能動的デブリ除去(ADR)」「終了サービス(EOL)」は運用終了以降のサービスである。

サービス タイミング	分野	概要
宇宙機 運用時	寿命延長	燃料が枯渇した衛星に対して、軌道を維持するためのサービスを提供するもの
	燃料補給	燃料が枯渇した衛星に対して、軌道上で燃料を補給するサービスのこと
	組み立て	宇宙空間で構造物の構築を行うサービスのこと
	リサイクル	宇宙空間で不要衛星・部品の再利用を行うサービスのこと
宇宙機 運用終了 以降	能動的デブリ 除去(ADR)	一般的に既存のデブリ(機能を停止した衛星やロケットの上段など。姿勢制御の出来ない物体(unprepared space objects)を含む。)に対してランデブー・接近(RPO)、捕獲技術等を用いて、能動的にデオービットさせ、十分低い軌道まで軌道降下を行ったり、大気への再突入を支援するサービスのこと
	終了サービス (EOL)	クライアントとなる対象物体について、その打上げ前に捕獲用インターフェース等を搭載するなど「サービスを受ける用意ができている(prepared)」物体に対して、デオービット、大気圏への再突入支援を行うサービスのこと

【概要】寿命延長

- 衛星ドッキング後の軌道調整や衛星点検等のカテゴリに属すサービスが開発されており、一部商用化に至る。
- インド発の企業(Inspection社)も参入し、日Orbital Lasers社とも協業している¹。

寿命延長のサービス一覧：

カテゴリ	小カテゴリ	企業名*1	現況*2	ページ番号
寿命延長	軌道調整	Northrop Grumman(旧Space Logistics)(米国)	サービス運用中	87
		D-Orbit(イタリア)	開発中	88
		Inspection(インド)	開発中	89
	軌道調整・修理	Quantum Space(米国)	開発中	90
	軌道調整・衛星点検	Starfish Space(米国)	実証済(2026年サービス開始予定)	91
		アストロスケール(米国)	開発中(LEXI-P)	92
衛星点検・修理	Thales Alenia Space(フランス)	実証予定(2026年)(EROSS)	93	

*1: 並び順は、小カテゴリ毎に、日本のサービスの後、国・現況の順に整理している。

*2: 2025年12月時点の情報である。

出所)1、<https://www.orbitallasers.com/2024/12/17/orbital-lasers-x-inspection%E3%80%81%E8%BB%8C%E9%81%93%E4%B8%8A%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%93%E3%82%B9%E9%A0%98%E5%9F%9F%E3%81%AE%E5%8D%94%E6%A5%AD%E3%81%AB%E5%90%91%E3%81%91%E3%81%9Fmou%E7%B7%A0/>(最終閲覧日:2025年10月12日)

【概要】燃料補給

- 最近は補給ステーション利用を前提としたデポ方式の燃料補給技術の開発も進んでいる。
- 技術開発が不調で中止となるプロジェクトも存在するが、実証・運用予定までに至るサービスも現れている。

燃料補給のサービス一覧：

カテゴリ	小カテゴリ	企業名*1	現況*2	ページ番号
燃料補給	タンク充填式(直接給油)	アストロスケール(日本)	開発中(2029年打上予定)(REFLEX-J)	94
		Motiv Space Systems(米国)	開発中	95
		英国宇宙庁、Orbit Fab(米国)	開発中(2027年実証予定)(ETPプログラム)	96
		Orbit Fab(米国)	開発中(2025年以降運用予定)(静止軌道向け)	97
		アストロスケール(米国)	開発中(2026年夏打上予定)(APS-R)	98
		Thales Alenia Space(フランス)	実証予定(2026年)(EROSS)	93
	燃料カートリッジ交換式	Northrop Grumman(旧Space Logistics)(米国)	開発中	87
		Maxar(米国)	中止	99
	デポ方式(軌道上燃料補給ステーションを利用)	Quantum Space(米国)	開発中	90
		Orbit Fab(米国)	構想中	97
不明	Obruta Space Solutions(カナダ)	開発中	100	
	CASC(中国)	実証予定(2025年1月打上、年内実証予定)	101	

*1: 並び順は、小カテゴリ毎に、日本のサービスの後、国・現況の順に整理している。

*2: 2025年12月時点の情報である。

【概要】組み立て・リサイクル

- 組み立ては特に軌道上での3Dプリント技術や展開・接合・解体などを軌道上プラットフォームで行うロボティクスの開発が進んでおり、日本企業も参入している。
- デブリを溶解して金属リサイクルを行うサービスも開発中である。

組み立て・リサイクルのサービス一覧：

カテゴリ	小カテゴリ	企業名*1	現況*2	ページ番号
組み立て	ロボティクス	Arkisys(米国)	実証予定(2025年~2026年)	102
		GITAI(米国)	実証予定(2026年)	103
		Thales Alenia Space(フランス)	実証予定(2026年)(EROSS)	93
		Rovial Space(フランス)	開発中	104
	溶接	Space Quarters(日本)	開発中	105
		ThinkOrbital(米国)	開発中	106
	切断	Voyager Space(旧Nanoracks)(米国)	開発中	107
	3Dプリント	Orbital Composites(米国)	実証予定(2026~28年)	108
		Redwire(米国)	中止(2023年)	99
		Airbus(フランス)	実証済(2024年)	109
Orbital Matter(ドイツ/ポーランド)		実証済(2024年)	110	
不明	Maxar(米国)	中止	99	
リサイクル	資源再利用・組立	CisLunar(米国)	開発中	111
	構造材作成	Orbit Recycling(ドイツ)	開発中	112

*1: 並び順は、小カテゴリ毎に、日本のサービスの後、国・現況の順に整理している。

*2: 2025年12月時点の情報である。

【概要】ADR

- ロボットアームや磁気捕捉の他、捕獲支援のためのレーザーによるデタンブリングや形状・サイズ問わずデブリ捕獲を可能とするキャプチャーバッグ式など多様なADRが開発されている。
- 日本企業が多数参入し、実証済のものもあるため今後本格的な商業展開が期待される。

ADRのサービス一覧：

カテゴリ	小カテゴリ	企業名*1	現況*2	ページ番号
ADR	ロボットアーム	JAXA、アストロスケール(日本)	フェーズ1:実証済/フェーズ2:2027年以降打上予定(CRD2)	113
		アストロスケール(日本)	実証済(ADRAS-J2)	113
		Kall Morris(米国)	開発中(2027年実証予定)	114
		Motiv Space Systems(米国)	開発中	115
		アストロスケール(英国)	開発中(COSMIC)	116
		Thales Alenia Space(フランス)	実証予定(2026年)(EROSS)	93
		ClearSpace(2件)(スイス)	開発中(2028年実証予定)	117,118
		Sustain Space(中国)	開発中(2028~2035年実証予定)	119
	レーザー	Orbital Lasers(日本)	開発中(2029年打上予定)	120
		Thales Alenia Space(フランス)	開発中	121
	キャプチャーバッグ	TransAstra(米国)	開発中(2025年後半実証予定)	122
	ネット	Origin Space(中国)	実証済(2021年)	123
	伸展ブーム	川崎重工業(日本)	実証済(2021年)	124
		Orbit Guardians(米国)	構想中	125

*1: 並び順は、小カテゴリ毎に、日本のサービスの後、国・現況の順に整理している。

*2: 2025年12月時点の情報である。

【概要】EOL

- ドッキングプレートについてはアストロスケール社、Voyager Space社ともにサービスインしており、商業契約締結に至っている。
- 特にVoyager Space社は2016年よりOneWeb社と共同で同社衛星に取付可能な鉄製の把持装置の開発に着手しており、2019年に最初の衛星群向け約600個のプレートの製造・納入契約を獲得している。¹

EOLのサービス一覧：

カテゴリ	小カテゴリ	企業名*1	現況*2	ページ番号
EOL	ドッキングプレート	アストロスケール(日本・英国)	実証済(ELSA-d)	126
		Voyager Space(旧Altius Space Machines)(米国)	実証済(2021年)	127
		アストロスケール(英国)	実証予定(2026年)(ELSA-M)	126

*1: 並び順は、小カテゴリ毎に、日本のサービスの後、国・現況の順に整理している。

*2: 2025年12月時点の情報である。

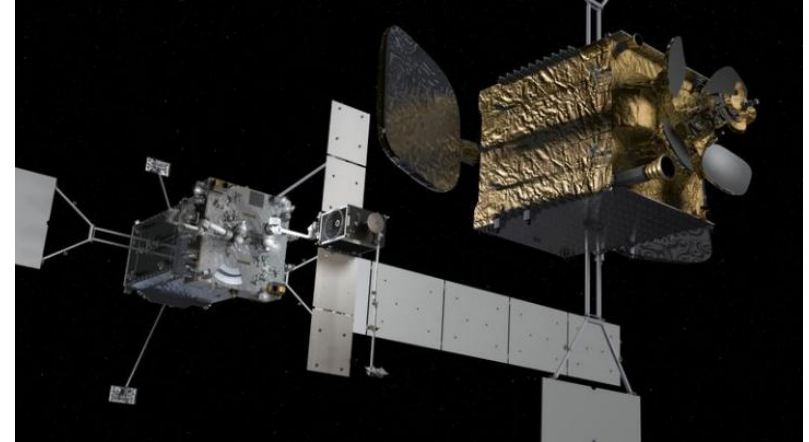
出所)1、https://assets.oneweb.net/s3fs-public/assets/documents/IOC-Paper_ADR_Final.pdf?VersionId=sCaOpPjSI7bQm5K6K.MddWuv81DKS7o1 (最終閲覧日: 2025年10月12日)

【寿命延長・燃料補給】Northrop Grumman(米国)

概要

- 商業衛星サービスを提供する目的で設立された、ノースロップ・グラマンの完全子会社Space Logisticsが担当している。
- 燃料補給を実施するとともに衛星の姿勢制御や軌道維持を支援し、運用寿命を延ばし長期間のミッションを可能にするシステムであるMEPやMEV、宇宙でのロボット作業を行うためのシステムで、衛星の修理や宇宙デブリの除去に使用されるMRVを開発している¹。
- MEV-1は2020年にIntelsat-901へドッキング、5年間の寿命延長を行い、2025年4月に分離した。現在MEV-1は次ミッションへ移行し、引き続き静止軌道衛星への寿命延長サービスを提供している²。
- MEP/MEVは、DARPAが実施したプログラムであるRSGSの支援を受けて開発された。
- MRVは、MEVで用いられた技術に加えて米国海軍研究所が開発しDARPAが提供したロボットアームペイロードが組み込まれている¹。

MRVのイメージ(左の機体)



出所) <https://alev.cc/cosmonautics/mrv/> (最終閲覧: 2026年2月24日)

出所) 1. <https://www.northropgrumman.com/space/space-logistics-services> (最終閲覧: 2026年2月24日)

2. <https://www.space.com/space-exploration/satellites/2-private-satellites-undock-after-pioneering-life-extension-mission> (最終閲覧: 2025年8月29日)

【寿命延長】D-Orbit（イタリア）

概要

- ESAは2024年10月、D-Orbit社を共同受注先としGEO衛星寿命延長ミッション「RISE」に着手する契約（約1.19億ユーロ）を発表した。¹
- RISEは2028年打上予定で、GEO傘下からデブリ軌道上の衛星をドッキング・姿勢制御し、寿命延長性能を実証する計画である¹。
- その後衛星は合計8年間軌道上に留まり、GEO衛星向けにサービスを提供予定。初の利用例として、燃料が少なくなった通信衛星を補助して世界の通信を維持することが想定される¹。
- 燃料補給そのものは初期ミッションには含まれないが、将来的に燃料補給技術へ拡張することが視野にある¹。
- ミッション後はD-Orbit社が商業的に継続運用する。現在ESAは欧州企業と協力し「サービス衛星インフラ」を整備中で、RISEは実用化直前の段階（企業プロジェクト）にある。¹

RISEミッション



出所) https://www.esa.int/Space_Safety/ESA_to_build_first_in-orbit_servicing_mission_with_D-Orbit(最終閲覧:2025年11月13日)

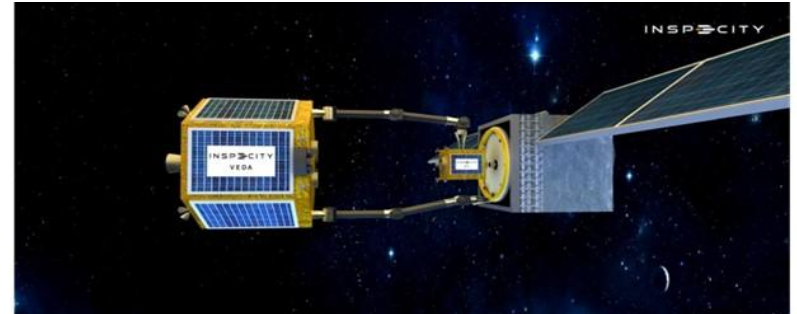
出所)1. https://www.esa.int/Space_Safety/ESA_to_build_first_in-orbit_servicing_mission_with_D-Orbit(最終閲覧:2025年11月13日)

【寿命延長】Inspecity(インド)

概要

- 衛星の寿命延長に関連する軌道上サービスを目的としたインドのスタートアップで、推進、ロボティクス、RPOD技術を自社開発している¹。
- 独自の衛星プラットフォーム「VEDA(Vehicle for Life Extension & De-orbiting Activities)」を設計しており、軌道上で推進力を供給して寿命を延長したり、ロボットアームを用い不要衛星を処分することを想定している¹。小型衛星にも搭載可能で、LEOからGEOまで対応可能としている²。
- 2025年5月に560万米ドルのシード資金を調達しており¹、2027年に軌道上実証を計画している³。
- 日Orbital Lasers社と2024年12月にMOUを締結。VEDAプラットフォームとOrbital Lasersのデタリングレーザー技術を組み合わせた共同運用(ConOps)を検討中²。ホワイトペーパーも共同発表している⁴。

衛星プラットフォームVEDA



出所) <https://www.orbitallasers.com/2024/12/17/orbital-lasers-x-inspecity%e3%80%81%e8%bb%8c%e9%81%93%e4%b8%8a%e3%82%b5%e3%83%bc%e3%83%93%e3%82%b9%e9%a0%98%e5%9f%9f%e3%81%ae%e5%8d%94%e6%a5%ad%e3%81%ab%e5%90%91%e3%81%91%e3%81%9fmou%e7%b7%a0/>(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)

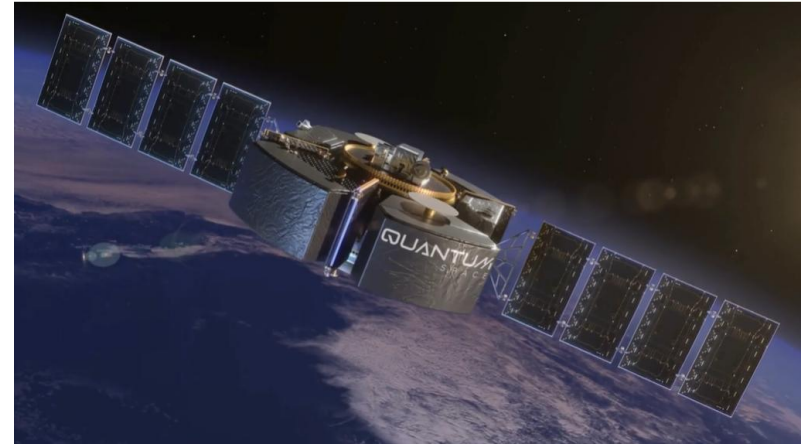
1. <https://www.inspecity.com/in-the-news/inspecity-secures-5-6-million-in-seed-funding-to-pioneer-the-future-of-in-orbit-satellite-servicing>(最終閲覧:2025年11月19日)
2. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000004.000151266.html>(最終閲覧:2025年11月19日)
3. <https://www.entrepreneur.com/en-in/news-and-trends/inspecity-raises-usd-56-mn-round-led-by-ashish-kacholia-to/491227>(最終閲覧:2025年11月19日)
4. <https://www.orbitallasers.com/2025/06/28/orbital-lasers-and-inspecity-jointly-publish-white-paper-on-integrated-operations-of-space-laser-and-robotics-technologies/>(最終閲覧:2025年11月19日)

【寿命延長・燃料補給】 Quantum Space(米国)

概要

- 2020年に設立した衛星サービス新興企業であり、「Ranger」という多目的宇宙船を開発中である¹。
- 15年以上の運用寿命を目指しており、主にGEO衛星を対象とした寿命延長サービスとして、古い衛星にドッキングして修理・姿勢維持を行い、3～5年延命するとされている。また、軌道上で燃料補給ステーションとしても機能する¹。
- これらは防衛用途としても想定されており、軌道間移動等の複雑なミッションに対応可能なだけでなく、防衛機能として、宇宙迎撃、脅威追跡・妨害・破壊などの能力も搭載するとされている¹。
- 初号実証機「Ranger Prime」にて、Ranger 500バスを用い、バス性能確認とリモート近接操作実証を実施予定である²。製造準備審査(MRR)をクリアし、2026年早期には組み立て・打上げの上実証予定である³。
- 2025年6月にシリーズA拡張ラウンドで4,000万ドルの調達完了しており、シリーズA全体では累計5,700万ドルの資金を確保している⁴。

Ranger衛星プラットフォーム



出所) <https://www.securities.io/investing-in-quantum-space-pre-ipo/> (最終閲覧: 2025年10月31日)

出所)

1、<https://www.quantumspace.us/> (最終閲覧: 2025年10月31日)

2、<https://news.satnews.com/2025/10/23/quantum-spaces-ranger-prime-mission-is-targeting-june-of-2026-for-launch/> (最終閲覧: 2025年10月31日)

3、<https://www.satellitetoday.com/manufacturing/2025/10/22/quantum-spaces-ranger-500-spacecraft-clears-review-for-upcoming-validation-mission/> (最終閲覧: 2025年10月31日)

4、<https://www.quantumspace.us/blog/quantum-space-secures-40-million-series-a-extension-to-accelerate-development-of-maneuverable-spacecraft-for-national-defense> (最終閲覧: 2025年10月31日)

【寿命延長】 Starfish Space(米国)

概要

- 2019年設立の米国スタートアップで、RPO技術を活用した軌道上サービスを手掛ける¹。GEO衛星の寿命延長とLEOでのデブリ除去を想定した小型宇宙機「Otter」を開発中で²、全電気推進を採用している³。
- 初号機Otter Pup 1は2023年に打上げ済で、ドッキング未実施ながら相対航法や姿勢制御データを取得している⁴。
- 2024年6月にIntelsatと契約し、次号機Otter Pup 2で2026年に予定される初ミッションでは、墓場軌道の退役衛星でドッキングを実証し^{4,5}、その後運用中衛星で軌道維持を行い、数年規模の寿命延長を図る⁶。
- 資金面では2023年に1400万ドル³、2024年に追加で2900万ドルを調達²。さらに米宇宙軍から3750万ドルの契約を受注し、Otterを用いたGEO軌道上サービスの開発を進めている⁵。

Otter Pup 2イメージ(左)



出所) <https://spacenews.com/starfish-space-ready-to-launch-docking-demonstration-mission/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

出所)

1. <https://www.starfishspace.com/company/> (最終閲覧: 2025年11月19日)

2. <https://techcrunch.com/2024/11/13/starfish-space-raises-29m-to-launch-satellite-servicing-spacecraft/> (最終閲覧: 2025年11月19日)

3. <https://www.starfishspace.com/press-release/starfish-space-raises-14m-to-develop-otter-satellite-servicing-vehicle/> (最終閲覧: 2025年11月19日)

4. <https://www.starfishspace.com/press-release/starfish-space-unveils-otter-pup-2-mission/> (最終閲覧: 2025年11月19日)

5. <https://spacenews.com/starfish-space-to-extend-intelsat-satellite-life-in-first-commercial-mission/> (最終閲覧: 2025年11月19日)

6. <https://www.businesswire.com/news/home/20240626723807/en/Intelsat-Starfish-Space-Reach-Deal-for-Satellite-Servicing-Mission> (最終閲覧: 2025年11月19日)

【寿命延長】アストロスケール(米国):LEXI-P

概要

- LEXI-Pはアストロスケールが開発する多目的・静止軌道サービス衛星である。主目的は商業衛星の寿命延長(LEX)の実証であり、GEO上の衛星とドッキングし、軌道維持などのサービスを行う計画である¹。
- 小型・軽量のドッキング衛星で、GEO衛星の運用延長や傾斜修正、衝突回避など多様なミッションを提供可能。電気推進とロボットアーム、LiDAR・IR・VisCamセンサーを備え、複数衛星へのマルチクライアントサービスやオンデマンド観測も実現する。¹
- 2024年7月時点では2026年4月に打上予定とされていた²。
- 上位の事業用量産モデルとしてLEXI-Gがあり、子会社である米Astroscale U.S.が静止衛星向け寿命延長サービスを順次展開予定である²。
- 実証ミッションに係る想定契約金額規模は121百万ドルに及ぶとされる³。

LEXI-P衛星



出所) <https://www.astroscale.com/ja/missions/lexi-p>(最終閲覧:2025年11月18日)

出所)

1. <https://www.astroscale.com/ja/missions/lexi-p>(最終閲覧:2025年11月18日)

2. <https://disclosure2dl.edinet-fsa.go.jp/searchdocument/pdf/S100U4JR.pdf>(最終閲覧:2025年11月18日)

3. <https://www2.jpx.co.jp/disc/186A0/140120240613528175.pdf>(最終閲覧:2025年11月18日)

【寿命延長・燃料補給・組み立て・ADR】Thales Alenia Space(フランス):HORIZON 2020/EROSS

概要

- 2014年～2020年に総額800億ユーロの規模で実施された研究イノベーション促進プログラムである。現在は、2021年～2027年までのHorizon Europeに引き継がれている¹。
- HORIZON 2020のテーマの一つに宇宙ロボティクス技術に関する戦略的研究クラスター(SRC)があり、LEO/GEO衛星向けの軌道上サービスを開発するプロジェクトであるEROSSに支援が実施された²。
- EROSSプロジェクトは、2026年までに衛星のランデブー、捕獲、ドッキング、燃料補給、パイロード交換の能力を実証するとしている³。
- 燃料補給に加え、軌道維持等による衛星の寿命延長、ロボット技術による軌道上組み立て、ADRも想定サービスとして位置づけられている⁴。
- このEROSSプロジェクトのリーダーを、Thales Alenia Space社が務めている³。Thales Alenia Space社が結んだ初期フェーズの契約は390万ユーロ、開発フェーズの契約は2598万ユーロである⁵。

EROSSプロジェクトイメージ図



出所) <https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/thales-alenia-space-lead-eross-iod-orbit-servicing-project> (最終閲覧: 2026年2月25日)

出所)

1、https://www.eeas.europa.eu/eeas/%E3%83%9B%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%82%BA%E3%83%B32020_ja (最終閲覧: 2026年2月25日)

2、https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_SPACE-27-TEC-2020 (最終閲覧: 2026年2月25日)

3、<https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/thales-alenia-space-lead-eross-iod-orbit-servicing-project> (最終閲覧: 2026年2月25日)

4、<https://cordis.europa.eu/project/id/101004346/reporting> (最終閲覧: 2026年3月12日)

4、<https://www.kratosdefense.com/constellations/articles/thales-alenia-space-led-team-wins-255m-contract-for-leo-in-orbit-refueling-mission> (最終閲覧: 2026年2月25日)

【燃料補給】アストロスケール(日本):REFLEX-J他

概要

- REFLEX-Jは、アストロスケールが科学技術振興機構(JST)のKプログラムに採択され委託研究事業として開発する、軌道上燃料補給技術の実証衛星である。「Refueling for Extension and Flexibility-Japan」の略称であり、衛星の寿命延長と柔軟な利用拡張を目的としている。¹
- 実証時期は2029年頃に見込まれており、低軌道での化学推進剤補給ミッションが計画されている¹。
- 研究開発期間の目安は5年程度で、予算総額は最大108億円(税別)である¹。
- また、アストロスケール(日)の燃料補給ミッションにおいてはその他、2025年5月に本田技研(Honda)と共同で、衛星燃料補給用の接続システムを開発すると発表している。Hondaはロボティクス技術を応用し、アストロスケールのRPOD技術と組み合わせた接続機構を開発し、将来的なLEO燃料補給デモ(2029年頃予定)に利用する計画である。²

REFLEX-Jイメージ図



出所) <https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-japan-announces-reflex-j-refueling-spacecraft-to-advance-space>(最終閲覧:2025年11月18日)

出所)

1. <https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-japan-announces-reflex-j-refueling-spacecraft-to-advance-space>(最終閲覧:2025年11月18日)

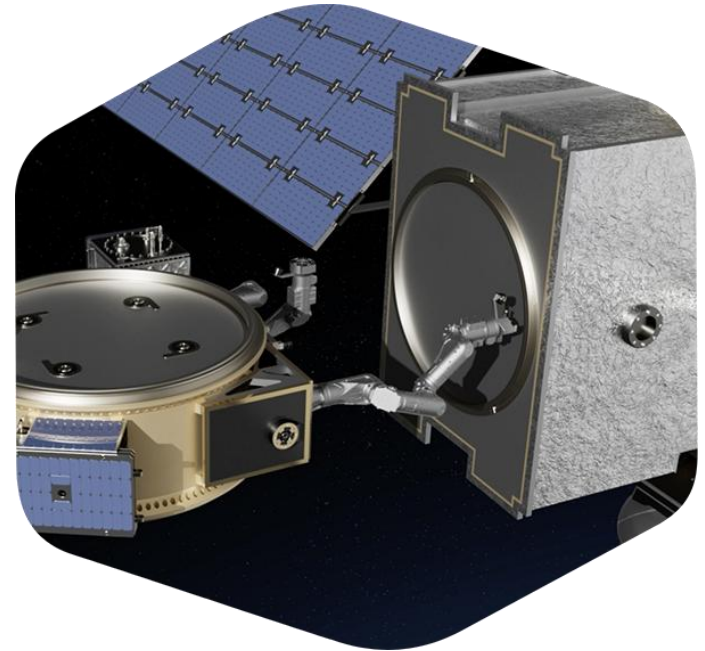
2. https://global.honda.jp/topics/2025/c_2025-05-30.html(最終閲覧:2025年11月18日)

【燃料補給】 Motiv Space Systems(米国)

概要

- 国防総省の傘下組織であるDefense Innovation Unit(DIU)は、Modularity for Space Systems(M4SS)という、国家安全保障上に寄与する商用技術を支援することを目的としたプログラムを実施している。
- 静止軌道以遠で運用される宇宙プラットフォームに対して、アップグレード、燃料補給を実施できる技術の開発を目指している。
- 本プログラムに基づいて、Tethers Unlimited、Maxar Technologies、Motiv Space Systemsが技術開発を行っている¹。
- Motiv Space Systems社は本プログラムでModuLinkと呼ばれる衛星を開発した。衛星の修理と交換、燃料補給、デブリ除去、軌道上組立、衛星軌道の変更が可能であるとしている。²

ModuLinkのイメージ



出所) <https://motivss.com/products-capabilities/robotics/modulink/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

出所)

1、<https://www.diu.mil/latest/modularity-for-space-systems-m4ss-press-release> (最終閲覧: 2026年2月25日)

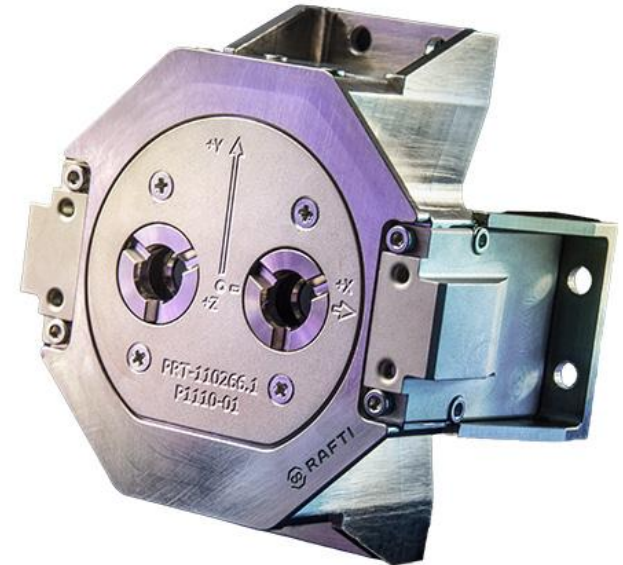
2、<https://motivss.com/products-capabilities/robotics/modulink/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

【燃料補給】英国宇宙庁、Orbit Fab(米国):ETP/GRASP

概要

- ETP※は、先進的な技術を開発する目的で英国宇宙庁が行う資金提供プログラムである。
- 対象は軌道上サービスおよび光学システムに関連するテーマとされている¹。
- 全6回の募集が行われる予定であり、2024年10月現在第4回までの募集がなされている²。1プロジェクト当たりの助成額は最大25万ポンドである³。
- 第3回の募集において、Orbit Fab社がGrasping and Resupply Active Solution for Propellants (GRASP)と呼ばれる軌道上燃料補給インターフェースの開発を提案し採用されている²。
- フライトモデルを2025年末までに製作するとしていた⁴。

Orbit Fabが開発する機器の例



出所) <https://www.orbitfab.com/refueling-services/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

※Enabling Technology Programme

出所)

1. <https://www.gov.uk/government/publications/announcement-of-opportunity-enabling-technologies-programme-call-one> (最終閲覧: 2026年2月25日)

2. <https://www.gov.uk/government/publications/enabling-technologies-programme/enabling-technology-programme-funded-projects-2023-ongoing> (最終閲覧: 2026年2月25日)

3. <https://space.blog.gov.uk/2024/09/17/what-is-the-enabling-technologies-programme/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

4. <https://indico.esa.int/event/450/contributions/8917/attachments/5740/9496/01%20GRASP%20Presentation%20Clean%20Space%20Industry%20Days%202023.pdf> (最終閲覧: 2026年2月25日)

【燃料補給】Orbit Fab(米国):GEO衛星向けサービス

概要

- 2018年に設立された、運用中の衛星に燃料を補給するシステムを開発する企業である。RAFTIと呼ばれる専用のインターフェースを搭載した衛星にドッキングして燃料を補給する。¹
- 燃料補給サービスの開始は2025年を予定している。GEO衛星に100kgのヒドラジン燃料を補給するサービスを2000万ドルで提供するとしている¹。
- 2025年には、アストロスケールのGEO衛星に最大1000kgのキセノンを補給する予定である¹。
- 2022年に米国宇宙軍と契約を締結した。2025年に宇宙軍の衛星に燃料を補給する予定である。¹
- 英国宇宙庁(UKSA)が主導するCLEARミッションに参加し、ClearSpaceの衛星にRAFTIを搭載した。今後燃料補給を実施する予定である²。
- 2025年7月には、UKSAよりGEO通信衛星への燃料補給を目的とした75万ユーロの契約を授与された³。

軌道上に設置する燃料タンクのイメージ



出所) <https://www.orbitfab.com/news/hydrazine-fuel-price/> (最終閲覧:2026年2月25日)

出所)

1、<https://www.orbitfab.com/> (最終閲覧:2026年2月25日)

2、<https://www.orbitfab.com/news/clear-mission/> (最終閲覧:2024年10月21日)

3、<https://www.orbitfab.com/news/orbit-fab-wins-esa-contract-and-unveils-in-orbit-test-of-new-refueling-port/> (最終閲覧:2025年10月29日)

【燃料補給】アストロスケール(米国):APS-R

概要

- アストロスケールの米国子会社Astroscale U.S.が、GEOでの在軌燃料補給機「APS-R(Astroscale Prototype Servicer for Refueling)」を開発中。
- 米国宇宙軍(USSF)のために静止軌道にある米国国防省(DoD)衛星への燃料補給を2回行う予定。成功すれば米軍資産初の燃料補給となる予定である。¹
- 質量約300kgの小型サービス機であり、独自燃料タンクでドッキングして衛星にヒドラジンを2回注入する。2026年夏に打上げ予定。¹
- 衛星バスの開発にSouthwest Research Institute (SwRI)、燃料補給インターフェースにOrbit Fabを選択した¹。
- 2024年～2025年にかけて、複数回の資金調達を実施しており、米軍案件として総額約60億円規模の契約が成立している²。

APS-R衛星



出所) <https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-u-s-to-lead-the-first-ever-refueling-of-a-united-states-space>(最終閲覧:2025年11月18日)

出所)

1、<https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-u-s-to-lead-the-first-ever-refueling-of-a-united-states-space>(最終閲覧:2025年11月18日)

2、<https://www.nikkei.com/nkd/disclosure/tdnr/20250408510754/>(最終閲覧:2025年11月18日)

2-1-3. 軌道上サービス

【燃料補給・組み立て】Maxar(米国):TDM/OSAM-1(中止)

【組み立て】Redwire(米国):OSAM-2(中止)

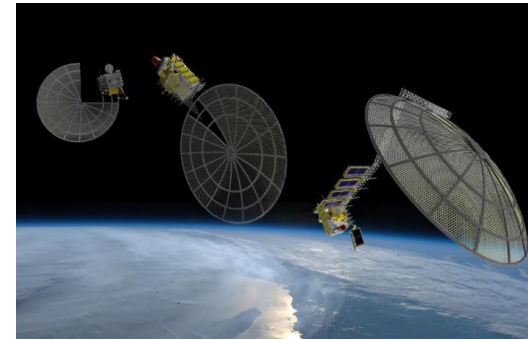
概要

- TDM※は、初期の概念実証テストを支援することで費用対効果の高い革新的な新技術が実用化されることを目指すNASAのプログラムである¹。
- 軌道上の衛星に推進剤を補給する衛星を開発するOSAM-1(2024年度予算2.27億ドル予定、中止)²、軌道上での衛星部品製造・組立技術を実証するOSAM-2(フライトデモに関して、5年間で7400万ドル)に資金を提供した^{3,4}。
- OSAM-1はMaxar Technologiesが主契約者として進められていたが、同社の業績不振やロボットアームが含まれるシステム「SPIDER」を提供できなかったことが原因でプロジェクト中止となった⁵。
- OSAM-2はRedwireが主契約者であるが³、2023年2月にOSAM-2ミッションの終了を発表した。地上試験で得られた成果・設計データはNASAに引き継がれ、今後のISAMプログラムに活用される予定。³

※Technology Demonstration Missions

- 出所)
- 1、<https://www.nasa.gov/tdm/#.VQb6XUjJzyE> (最終閲覧:2026年2月25日)
 - 2、<https://www.nasa.gov/mission/on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-1/>(最終閲覧:2026年2月25日)
 - 3、<https://www.nasa.gov/mission/on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-2-osam-2/>(最終閲覧:2025年12月5日)
 - 4、<https://ntrs.nasa.gov/citations/20220007646>(最終閲覧:2026年2月25日)
 - 5、<https://sorabatake.jp/35721/>(最終閲覧:2026年2月25日)

軌道上組立のイメージ図



出所)<https://www.nasa.gov/mission/on-orbit-servicing-assembly-and-manufacturing-2-osam-2/>(最終閲覧:2026年2月25日)

Maxarが開発したアーム



出所)<https://www.maxar.com/maxar-space-systems/products/robotics-and-support>(最終閲覧:2026年2月25日)

【燃料補給】Obruta Space Solutions(カナダ)

概要

- Obruta Space Solutions は、自律的なドッキング技術であるRPOD技術を開発しており、衛星同士のドッキング、燃料補給、軌道修正、メンテナンスを自動で実施できる仕組みの実現を目指している¹。
- 同社は、ターンキーソリューションとして「RPOD Kit (右図)」を開発しており、顧客衛星に組み込みやすいモジュール構成を特徴として、軌道上での燃料補給、衛星機能の延命、デブリ除去などのサービスを可能にする¹。
- 技術実証の進展としては、2023年12月から ISS(国際宇宙ステーション)上で自律飛行・ドッキング技術の試験を開始し、2024年10月までに一連の自律ドッキング試験を成功裏に完了した。これらの成果を踏まえ、将来的には軌道上での燃料補給やメンテナンスサービスへの応用が期待されている。²
- さらに、2025年3月にはカナダ宇宙庁から35万ドルの資金を獲得し、AIを活用した自律航行技術の開発を加速している³。

RPOD Kit



出所) <https://www.obruta.com/products> (最終閲覧: 2025年11月18日)

出所)1. <https://www.obruta.com/products> (最終閲覧: 2025年11月18日)

2. <https://spaceq.ca/obruta-successfully-concludes-autonomous-docking-tests-on-iss/> (最終閲覧: 2025年11月18日)

3. <https://www.obruta.com/news> (最終閲覧: 2025年11月18日)

【燃料補給】CASC(中国)

概要

- 実践25号(Shijian-25)は「衛星燃料補給と寿命延長技術の検証」を目的として、2025年1月に打ち上げられた。GEO衛星の寿命延長やコスト低減、持続可能性の向上を狙っている¹。軍事・戦略用途の可能性も指摘されており、民生利用にとどまらない双用性があるとみられる²。
- COMSPOCなど軌道観測機関の解析によれば、7月2日～6日にかけて、光学観測データ上でShijian-25がShijian-21に「結合した状態」とみられる期間があり、この間にドッキングした可能性が指摘されている³。
- Shijian-25は、レーザー・レーダー・光学センサーを用いた自律航法による高精度ドッキング能力に加え、ロボットアームと給油ポートを備えて燃料補給を行える在軌サービス技術を備えているとみられる⁴。
- 一度に約1.3トンの燃料を搭載でき、1基あたり50キログラムの燃料補給を行うと仮定した場合、理論上は最大26基の衛星にサービスを提供できるとされている⁴。

Shijian-25衛星打ち上げの様子



出所)

<http://www.news.cn/20250107/bd1fef5b22947a7a5548cfe984c3348/c.html>(最終閲覧:2025年11月19日)

出所)1. <http://www.news.cn/20250107/bd1fef5b22947a7a5548cfe984c3348/c.html>(最終閲覧:2025年11月19日)

2. <https://news.creaders.net/china/2025/07/11/2890726.html>(最終閲覧:2025年11月19日)

3. <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3318050/chinas-shijian-satellite-pair-appears-dock-orbit-historic-refuelling-mission>(最終閲覧:2025年11月19日)

4. <https://www.guancha.cn/baiyujing/2025.01.09.761588.shtml>(最終閲覧:2025年11月19日)

【組み立て】Arkisys(米国)

概要

- 多目的に利用可能な自律型軌道上プラットフォーム「The Port」を開発している。The Portはモジュール式のアーキテクチャである¹。
- 軌道上でペイロードをホスティングし、実験や製造技術の実証を支援することを主な用途としている¹。各々のモジュールは最大60のペイロードを同時にホスティングすることができ、各々のペイロードは最大50kg、平均12Uのサイズが想定されている¹。一方で、モジュールに搭載されたロボットアームを使用した、3軸安定方式の衛星の組立て技術の実証も予定されている²。
- 2023年3月、軌道上衛星組立技術の実証を目的として、SpaceWERXから160万米ドルの契約を授与された。実証に利用されるロボットアームはMotiv Space Systems社が提供する予定である²。
- 2024年9月、米国の宇宙開発局向けオンデマンド型軌道離脱サービスのフィージビリティスタディを行うことを目的とした契約を、Arkisys社含む6社が締結した(合計190万米ドル)³。
- 運用開始時期は2023年時点で2025～2026年とされている⁴。

The Portプラットフォーム



出所)

<https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5718&context=smallsat>(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)1. <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5718&context=smallsat> (最終閲覧:2025年10月29日)

2. <https://spacenews.com/arkisys-and-partners-show-how-they-would-build-a-satellite-in-orbit/> (最終閲覧:2025年10月29日)

3. <https://www.sda.mil/sda-makes-commercial-disposal-services-study-awards-under-stec-baa/> (最終閲覧:2025年10月29日)

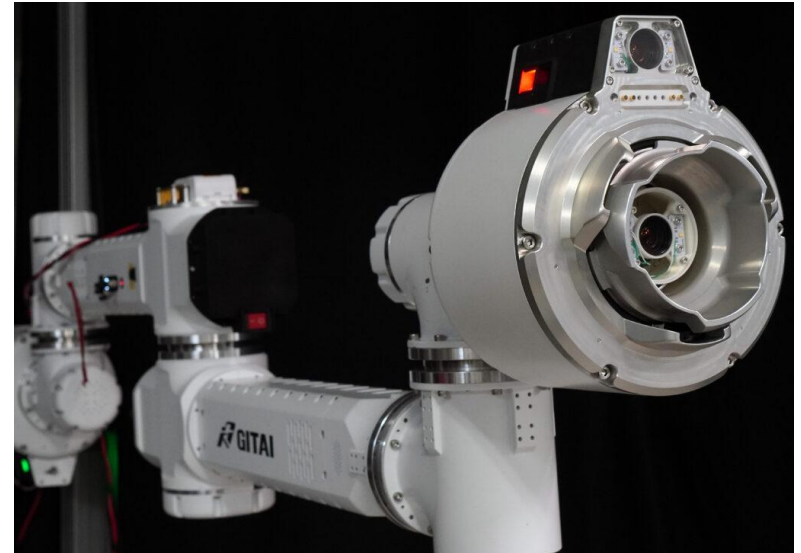
4. <https://www.flyingmag.com/meet-arkisys-the-startup-building-the-worlds-first-private-spaceport/> (最終閲覧:2025年10月29日)

【組み立て】GITAI(米国)

概要

- 宇宙機を含む様々な宇宙物体に対して、組立・製造・燃料補給・点検等の軌道上サービスを提供することを目的として、ツール交換機能を持つロボットアーム「Inchworm Robot」を開発している¹。
- アーム先端部にカメラ・LEOを搭載しており、取得データを利用した対象の認識・モーションプランニング・検証を通じて自律操作が可能とされている²。
- 地上熱真空チャンバー内で、同社の自律型ロボットがソーラーパネルの組立てや軌道上交換ユニット(ORU)の交換等の組立作業を、自律的に実行することに成功した¹。
- 2024年3月、ロボットアームシステムを用いてISS船外でのISAM関連技術の実証実験を行った³。
- 2024年6月、自律型月面ロボットを用いて月面にトラス構造の塔を建設することを目的としたSBIR Phase I 契約を獲得した⁴。
- 2024年11月、シリーズB Extensionの資金調達ラウンドにて、1,550万米ドルの資金調達を実施。同資金調達ラウンドでの合計調達額は6,050万米ドルである⁵。
- 運用開始時期は2026年予定である³。

ツール交換インタフェース



出所) <https://gitai.tech/isam-service/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

出所)1. <https://gitai.tech/isam-service/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2. <https://gitai.tech/wp-content/uploads/2023/04/Inchworm-Brochure-Web.pdf> (最終閲覧: 2025年10月29日)

3. <https://gitai.tech/2024/03/19/gitai-completes-fully-successful-technology-demonstration-outside-the-iss/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

4. <https://gitai.tech/2024/06/13/gitai-announces-selection-for-nasa-sbir/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

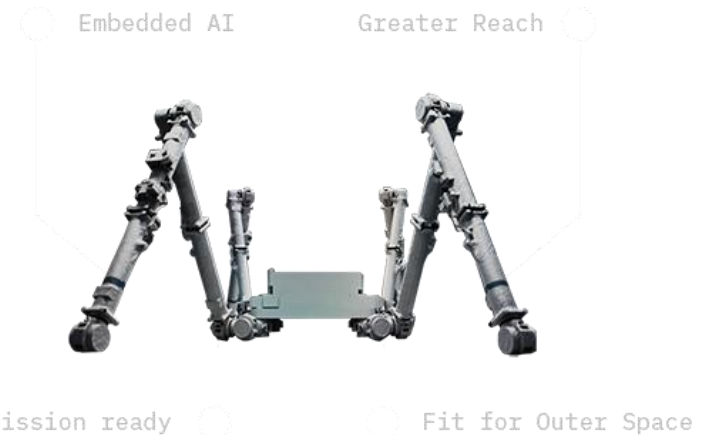
5. <https://gitai.tech/2024/11/13/gitai-raises-an-additional-us15-5-million-in-funding/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

【組み立て】Rovial Space(フランス)

概要

- 組立・自律的修理機能を具備するためにAI搭載ロボティクスを備えた、大発電量の宇宙太陽光発電システム(SSPS)の開発を構想している。初期は100KWクラスの衛星を開発し、その後数十MWにスケールすることを目指す¹。
- 構想中のフラッグシッププラットフォームである「Rovial Breakthrough」は、1度の打上げで組立可能な100～500KWの発電能力を持つSSPSである²。
- 2024年、Eutelsat OneWeb GroupとGEOにおける宇宙太陽光発電ミッションのフェーズビリティスタディを6か月間共同で行うことが決定した³。

AI搭載型のロボットアーム



出所) <https://rovial.space/#technologies> (最終閲覧: 2025年10月19日)

出所)1. <https://rovial.space/blog/rovial-space-leading-the-space-power-revolution-with-ai-enabled-robotics> (最終閲覧: 2025年10月19日)

2. <https://rovial.space/#technologies> (最終閲覧: 2025年10月19日)

3. <https://rovial.space/blog/6-month-study-with-Eutelsat> (最終閲覧: 2025年10月19日)

【組み立て】Space Quarters(日本)

概要

- 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・基地防護壁3などの大型構造物の建造を目的として、宇宙空間で建材の組立・電子ビーム溶接を行えるロボットシステム(Assembly Robot・Welding Robotから成るDAIQ System)の技術開発に取り組んでいる¹。
- 2023年9月、GEOの軌道上サービスを実施できる超大型宇宙構造物の建築手法の検討業務を受託した²。
- 2024年6月、エンジェルラウンドとして1.6億円超の第三者割当増資を実施した³。
- 2024年6月、大林組より月面基地建築技術開発プロジェクトを受注し、同社が製造するレゴリスを模擬したシミュラントの焼成体の接合・組立に取り組み、レゴリス材料の接合技術の開発を行う⁴。
- 2024年9月、JAXA/宇宙探査イノベーションハブの第11回RFPに「月面・軌道上における壁面自走型の電子ビーム溶接ロボットによる金属・レゴリス材料の革新的接合技術」をテーマとして採択された⁵。

Assembly Robot・Welding Robot



出所) <https://space-quarters.com/SOLUTION/en> (最終閲覧: 2025年10月19日)

出所) 1. <https://space-quarters.com/SOLUTION/en> (最終閲覧: 2025年8月29日)

2. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000008.000115275.html> (最終閲覧: 2025年8月29日)

3. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000009.000115275.html> (最終閲覧: 2025年8月29日)

4. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000010.000115275.html> (最終閲覧: 2025年8月29日)

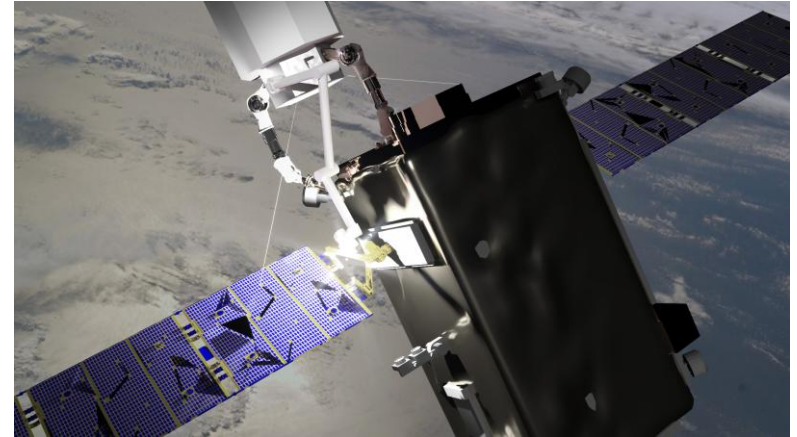
5. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000011.000115275.html> (最終閲覧: 2025年8月29日)

【組み立て】ThinkOrbital(米国)

概要

- 溶接技術などを利用して組み立てられる多用途軌道上プラットフォームシリーズ「ThinkPlatform」や、電子ビーム溶接・X線検査機能が具備されたロボットアーム (Toolkit)を開発している。ロボットアームによる溶接は、1パスで30cmの鋼をエネルギー効率90%以上で溶接できるとされている。¹
- 2023年6月、NASAが主導するCCSC-2 (Commercial Space Capabilities-2)イニシアチブにパートナー企業として選定された。資金提供を伴わず、NASAによる技術開発協力が主軸とされている²。
- 2024年5月、電子ビーム溶接機の軌道上実証 (Flight-1)を行い、そのサンプルを地球に帰還させることに成功した³。
- 2024年11月、宇宙機向けX線検査技術の開発を目的として、SpaceWERXからSBIR Phase II契約を授与された⁴。
- 2024年12月、電子ビーム溶接機等が搭載されたペイロードがSpaceX社の相乗りミッション Bandwagon-2のもとで打ち上げられた (Flight-2)^{5,6}。

ロボットアームによる溶接イメージ



出所) <https://thinkorbital.com/in-space-construction/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

出所)1. <https://thinkorbital.com/in-space-construction/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2. <https://www.nasa.gov/news-release/seven-us-companies-collaborate-with-nasa-to-advance-space-capabilities/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

3. <https://thinkorbital.com/news/launch-of-first-welding-system/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

4. <https://thinkorbital.com/news/spacewerx-has-selected-thinkorbital/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

5. <https://apps.fcc.gov/els/GetAtt.html?id=361252&x=>. (最終閲覧: 2025年10月29日)

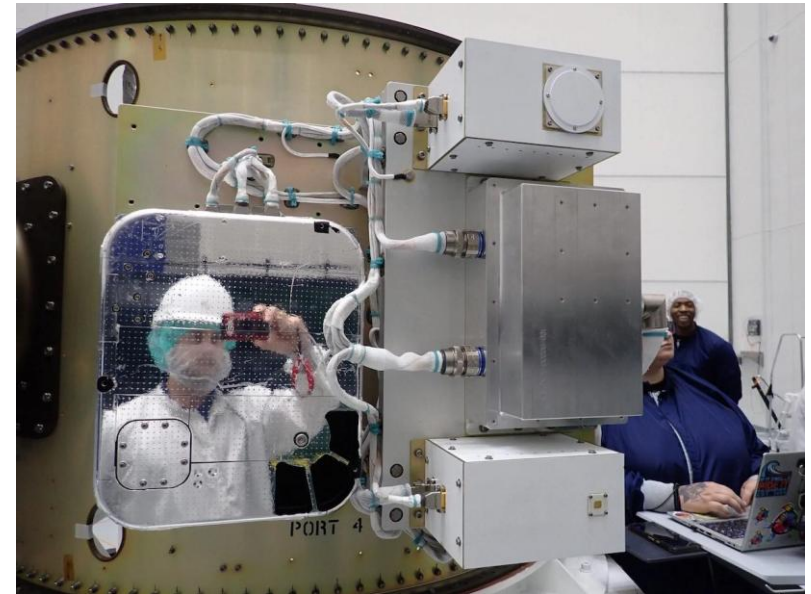
6. <https://spacenews.com/spacex-launches-second-mid-inclination-rideshare-mission/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

【組み立て】Voyager Space(旧Nanoracks)(米国)

概要

- Maxar社の切削工具を高速回転させ、金属を溶かしながらか断する技術(フライス加工技術)を利用して、デブリを発生させることなく耐食鋼を軌道上で切断する実証試験を実施した^{1,2}。
- 2017年6月、Nanorack社はNASAのHabitat Systems to the Next Space Technologies for Exploration Partnerships-2(Next STEP-2)により資金提供を受け、使用済みロケットの上段部分の再利用に焦点を当てた実証を実施した³。

切断ミッションのペイロード



出所) <https://spaceflightnow.com/2022/05/24/nanoracks-experiment-poised-to-demonstrate-metal-cutting-in-orbit/> (最終閲覧:2025年10月29日)

出所)

1. <https://voyagertechnologies.com/insights/nanoracks-successfully-completes-historic-demo-of-structural-metal-cutting-in-space/> (最終閲覧:2025年10月29日)

2. <https://spaceflightnow.com/2022/05/24/nanoracks-experiment-poised-to-demonstrate-metal-cutting-in-orbit/> (最終閲覧:2025年10月29日)

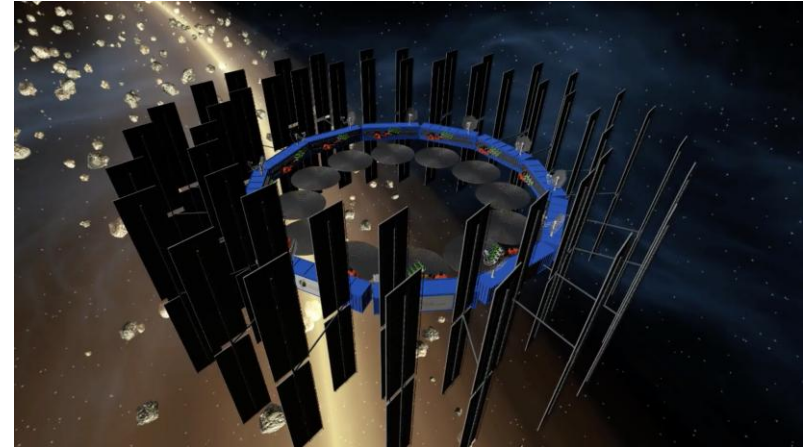
3. <https://voyagertechnologies.com/insights/new-chapter-opens-for-commercial-space-nanoracks-and-nasa-sign-nextstep-contract-for-commercial-habitat-concept-study/> (最終閲覧:2025年10月29日)

【組み立て】Orbital Composites(米国)

概要

- Axiom Space社、Northrop Grumman社、Southwest Research Institute社と協力し、宇宙機のセルラーブロードバンドアンテナ・宇宙太陽光発電用アンテナの製造に係る、3Dプリントを含むISAM技術の開発に取り組んでいる¹。
- 2023年7月時点では、2026～2028年に軌道上製造施設の完成を予定していた¹。
- 対象軌道はLEO(約400km)、GEOとしている。²
- 2023年6月、Virtus Solis社とメガワット級の発電が行える宇宙太陽光発電ステーションの開発に関するMoUを取り交わした³。
- 2023年7月、USSF/SpaceWERXよりLEOにおけるキロメートル規模アンテナ・宇宙ステーション構成要素の軌道上製造技術開発に係るSBIR Phase II契約を170万米ドルで授与された¹。
- 2023年8月、USSFよりOrbital Composites社が独自に開発するQuantum Antennaに係るSBIR契約を授与された⁴。

アンテナ構造が製造されている様子



出所) <https://www.compositesworld.com/news/orbital-composites-wins-award-from-us-space-force-to-build-space-factories-for-antennas>(最終閲覧:2025年10月7日)

出所)

1、<https://spacenews.com/orbital-composites-wins-1-7-million-space-force-contract/> (最終閲覧:2025年10月7日)

2、<https://www.compositesworld.com/news/orbital-composites-wins-award-from-us-space-force-to-build-space-factories-for-antennas> (最終閲覧:2025年10月7日)

3、<https://virtussolis.space/blog/virtus-solis-enters-into-manufacturing-agreement-with-orbital-composites> (最終閲覧:2025年10月7日)

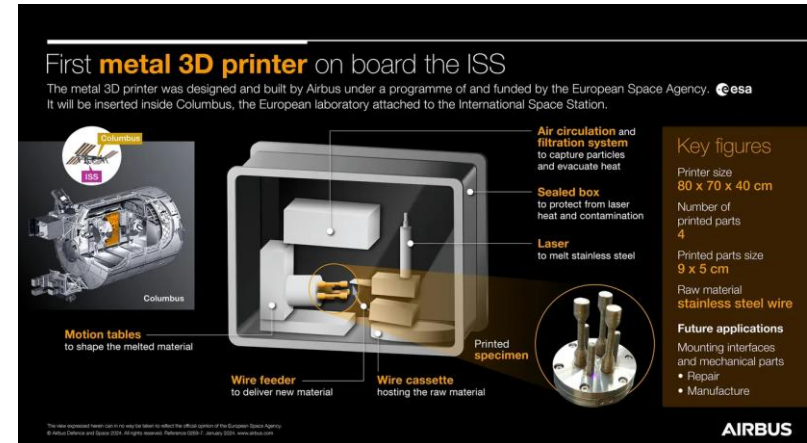
4、<https://www.orbitalcomposites.com/updates/orbital-composites-secures-sbir-grant-from-us-space-force-to-develop-quantum-antennas-for-secure-communications> (最終閲覧:2025年10月7日)

【組み立て】Airbus(フランス)

概要

- 放射線シールド等の製造を3Dプリンティングにより実現する、ESAのMetal 3DというLEO軌道上ミッションの一環で開発している¹。
- ワイヤ状の金属を高出力レーザーで1,200℃以上に加熱・溶融した後に積層し、放射線シールド・工具・装置などの構造物を製造する技術を、AddUp社・Cranfield University・Highftech Engineering社も参画するコンソーシアム内で開発している²。
- 2024年にISS船内でステンレス積層技術の実証を実施した。約4ヶ月のプリント期間で2次元(単層)プリントされたS字状物体1つ及び3次元(200層以上)プリントされた棒状物体(9×5cm)1つの製造を完了している²。
- 2016年にESAから金属3Dプリント技術の研究開発に係る契約(金額不詳)を授与され³、2024年にISS船内でのプリント技術実証を実施した。²

装置概要・作成された金属部品



出所) <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2024-09-behind-the-scenes-of-the-first-metal-part-to-be-3d-printed-aboard-the-iss> (最終閲覧:2025年10月7日)

出所)1、<https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2022-05-in-space-manufacturing-and-assembly> (最終閲覧:2025年10月7日)

2、<https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2024-09-behind-the-scenes-of-the-first-metal-part-to-be-3d-printed-aboard-the-iss> (最終閲覧:2025年10月7日)

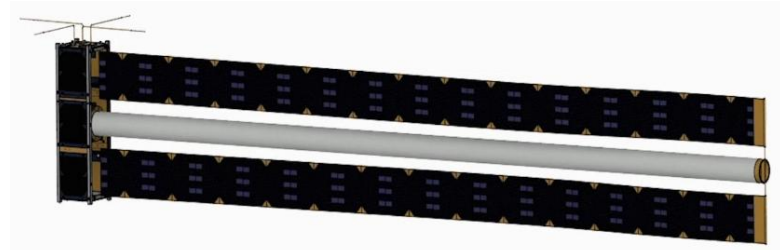
3、<https://3dprintingindustry.com/news/first-metal-3d-printed-part-from-space-returns-for-testing-237244/> (最終閲覧:2025年10月7日)

【組み立て】Orbital Matter(ドイツ／ポーランド)

概要

- 液体材料と押出式プリント手法を組み合わせ¹、熱を発生させずに製造可能な軌道上3Dプリント技術を開発している²。
- 冷却に時間を要する宇宙空間で、熱を伴わない製造により高速化が期待される³。
- 1モーターで回転と昇降を担うビーム用プリンターを採用し、長尺構造物の製造が可能とされ、ロケットフェアリングの約20倍の構造物を造形できるとされている⁴。
- 2024年7月、ESAが主導するPUSHコンテストで選定され³、技術実証目的の3Uキューブサット「Replicator」が打ち上げられた²。
- 同衛星で50cmのポリマービームを軌道上で製造予定³(進捗不明)。
- 今後はThales Alenia Space社との共同プロジェクトで、2m規模のビーム構造プリントの軌道実証を計画している⁴。

ビーム状構造の製造イメージ



出所) <https://earlygame.vc/portfolio/oribtal-matter> (最終閲覧: 2025年10月29日)

出所) 1. <https://www.clubitc.eu/2025/08/11/early-game-invests-e1-million-in-space-tech-startup-oribtal-matter/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2. <https://www.arianespace.com/news/ariane-6-post-launch-update/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

3. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Ariane/Ariane_6_launches_Replicator_3D_printing_in_open_space (最終閲覧: 2025年10月29日)

4. <https://earlygame.vc/portfolio/oribtal-matter> (最終閲覧: 2025年10月29日)

【リサイクル】 CisLunar(米国)

概要

- 宇宙空間において利用可能な電力システムと金属加工技術を開発している企業である¹。
- 国際宇宙ステーション内の金属廃棄物のリサイクルであるMPaaS、スペースデブリの回収・リサイクルを行うJunkRサルベージサービスなどを開発している²。
- 軌道上サービスのほか、月面上でのインフラ構築に関する技術も開発している³。
- NASAのSBIRにて、CisLunarが提案するFoundry for On-Orbit Recycling and Metal Materials Productionが採用された。
- 月面でのインフラ構築に向けた検討を行うDARPAのLunA-10に参画した³。

CisLunarの試作機



出所) <https://www.cislunarindustries.com/products> (最終閲覧: 2026年2月25日)

出所)1、<https://www.cislunarindustries.com/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

2、<https://www.cislunarindustries.com/products> (最終閲覧: 2026年2月25日)

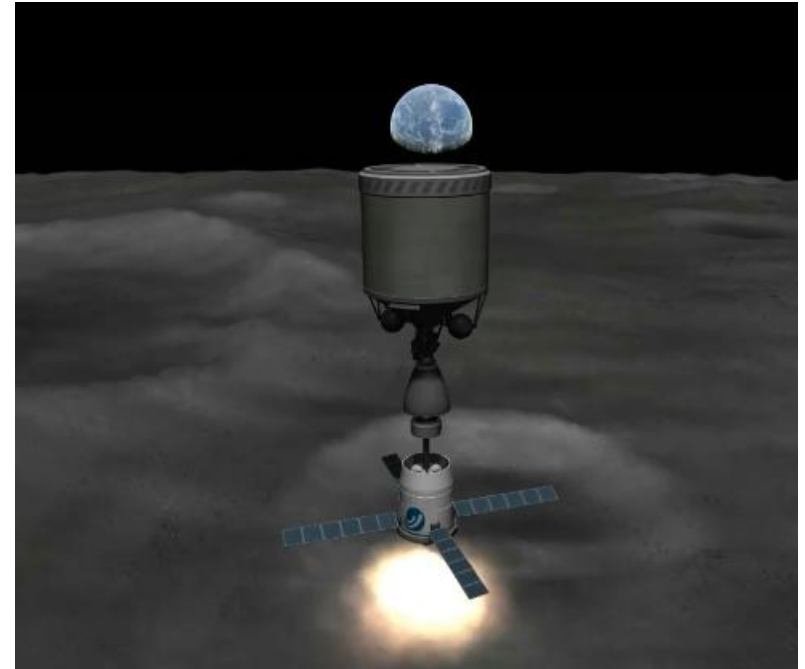
3、<https://www.cislunarindustries.com/post/cislunar-industries-secures-lunar-foothold-with-darpa-luna10-award> (最終閲覧: 2026年2月25日)

【リサイクル】 Orbit Recycling(ドイツ)

概要

- 軌道上のデブリを回収し、月面へ輸送して建設資材として再利用する構想を推進している¹。
- 欧州の旧型ロケット上段部だけで150トン以上のアルミを回収可能で、月面基地の主要構造物(壁面・送電線・熱蓄積システム等)に活用できるとされる。これにより建設費を数十億ユーロ削減できるほか、他の宇宙活動におけるデブリ衝突リスクの低減にも寄与する¹。
- 軌道上のデブリは、欧州製ロケットで低コスト打上げが可能な小型推進モジュール(右図下部)でドッキング・回収し、月面へ輸送する¹。
- また、ESAの委託研究として、リサイクルに最適なデブリの選定や、小型衛星による対象デブリの観測と回転率実測のための実証構想が報告されている²。
- 月面拠点構築に向け、独自手法でレゴリス(月の砂)と宇宙デブリ由来材料を混合し、物理特性を強化した新複合素材「ALReCo」を開発している³。

リサイクル用デブリの月面輸送イメージ



出所) <https://orbitrecycling.space/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

出所) ¹、<https://orbitrecycling.space/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

²、<https://blogs.esa.int/cleanspace/2022/01/10/recycling-in-space-wannabe-or-reality/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

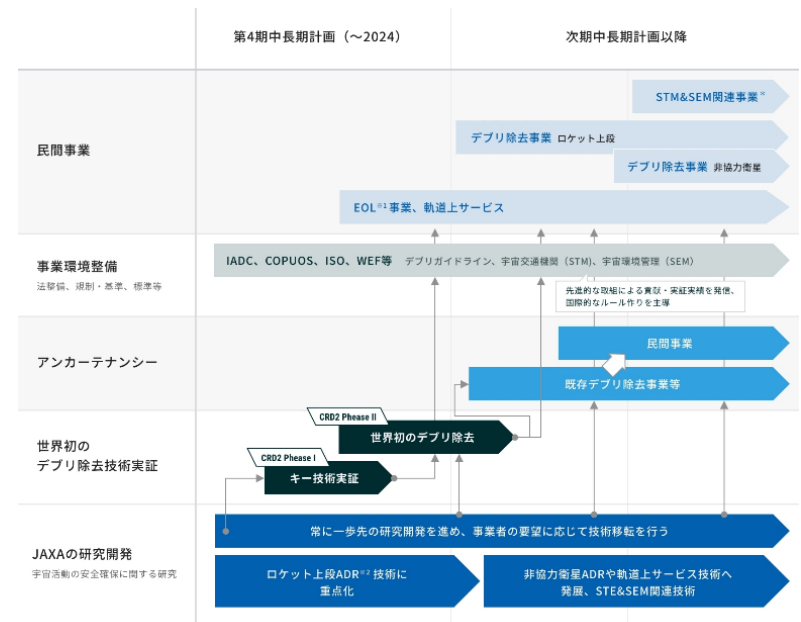
³、<https://innospace-masters.de/alreco-orbit-recyclings-new-composite-material-for-sustainable-moon-exploration-2/> (最終閲覧: 2025年11月7日)

【ADR】アストロスケール(日本):CRD2(ADRAS-J/J2)

概要

- CRD2はJAXAが行うADRの技術開発プログラムであり、目的として、民間事業への寄与が明示されている。
- スペースデブリに接近し映像を取得するフェーズⅠ、さらなる映像を取得したのちに除去技術の実証を行うフェーズⅡの2段階で構成されている。
- フェーズⅠ、フェーズⅡともにアストロスケールと契約を締結している。
- フェーズⅠの衛星(ADRAS-J)は2024年2月に打ち上げられ、デブリへの接近・画像の取得に成功した¹。
- フェーズⅡ(ADRAS-J2)の衛星は、2026年度以降に打ち上げられる予定である²。ADRAS-J2では、非協力的な大型デブリであるロケット(H-IIA)の上段をターゲットとして、ターゲットへのランデブ・近傍制御・映像の取得・除去を行う実証を行う予定である¹。
- サービス衛星の打上げは、2027年度以降を予定している³。

CRD2の目的



出所) <https://www.kenkai.jaxa.jp/crd2/project/> (最終閲覧: 2026年2月25日)

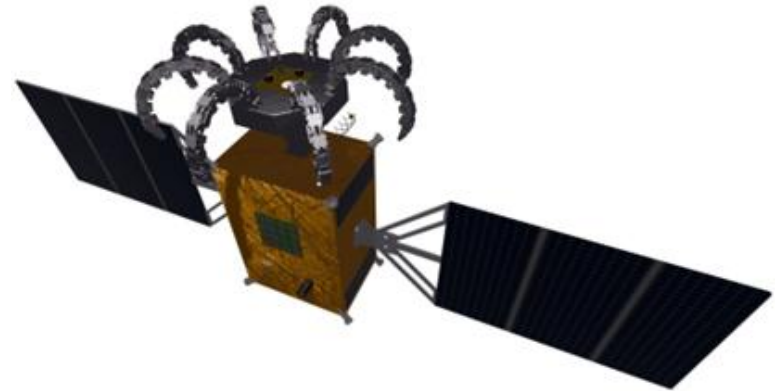
出所) 1、<https://www.kenkai.jaxa.jp/crd2/news/index.html> (最終閲覧: 2026年2月25日)
2、<https://astroscale.com/ja/missions/cosmic/> (最終閲覧: 2025年9月27日)
3、<https://www.kenkai.jaxa.jp/eng/crd2/project/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

【ADR】 Kall Morris(米国)

概要

- 不規則な形状のデブリや、ドッキング構造を持たない物体も把持できるロボットアームを備えたエンドエフェクター-Responsive Engaging Arms for Captive Care and Handling(REACCH)とその宇宙機Lealapsを開発している¹。
- 機械的な把持と「ヤモリ型粘着(Gecko adhesive)」技術を組み合わせており、サービサーより大きな対象物も非破壊的に捕獲可能である¹。
- デブリとほとんどゼロの相対速度でランデブーし、その自転に合わせてデブリの動きを安全に停止させる独自の機能を搭載している¹。
- 軌道上実証は2027年実施予定である³。
- 2023年にAFWERXより300万米ドルの助成金を獲得した。また、同時期に米空軍のDirect-to-Phase IIの選定で125万米ドルの助成金を獲得し、他の調達金も併せて500万米ドルの資金調達を実施した。^{4,5}

Lealaps



出所) <https://universemagazine.com/en/kall-morris-tested-an-orbital-tug-on-the-iss-a-step-towards-cleaning-up-space-debris/> (最終閲覧:2025年10月29日)

出所)

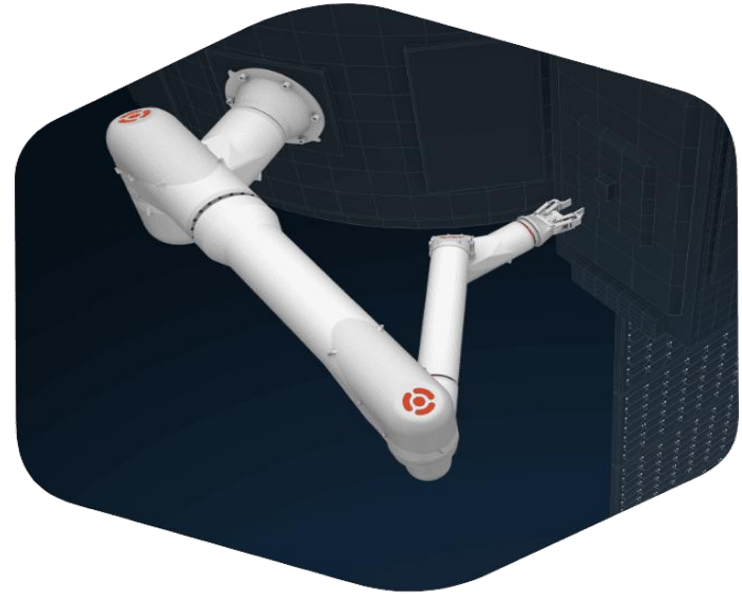
1. <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc9/paper/406> (最終閲覧:2025年10月29日)
2. <https://static1.squarespace.com/static/5dcf4be7b6529511f6c6445e/t/62bf5228776c1f3e9c54fb53/1656705580170/KMI+Engineering+Dept+Capability+Statement.pdf> (最終閲覧:2025年10月29日)
3. <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/deorbit-systems/> (最終閲覧:2025年10月29日)
4. <https://static1.squarespace.com/static/5dcf4be7b6529511f6c6445e/t/6541436d947f727f9bf94701/1698775944811/KMI+%245+Million+in+Funding+2023> (最終閲覧:2025年10月29日)
5. <https://www.secondwavemedia.com/upword/features/kmicontracts.aspx> (最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】 Motiv Space Systems(米国)

概要

- 宇宙ロボットマニピュレーターxLinkの技術に基づいたxLink Debris Removal System(xDRS)の開発に米国海軍研究所と共同で取り組んでいる¹。
- Vanguard-1宇宙船を捕縛、修復し、地球に帰還させることを目標とする¹。
- 操作システム用の制御ソフトウェアとして、Robot Operating System(ROS)を導入予定であり、状況把握とマシンビジョンは可視光スペクトルカメラとLiDARセンサーを活用する¹。
- 7自由度のロボットアームを使用し、自律アルゴリズムを用いて衛星を追跡・捕捉する¹。
- 2022年から2023年にかけてSpaceWERX Orbital Prime STTRにおいて、総額約25万ドルの助成を受けた¹。
- 対象軌道は650～3,800kmとされている²。

xLinkシステム



出所) <https://motivss.com/products-capabilities/robotics/xlink/> (最終閲覧:2025年10月29日)

出所)1. <https://www.sbir.gov/awards/199210> (最終閲覧:2025年10月29日)

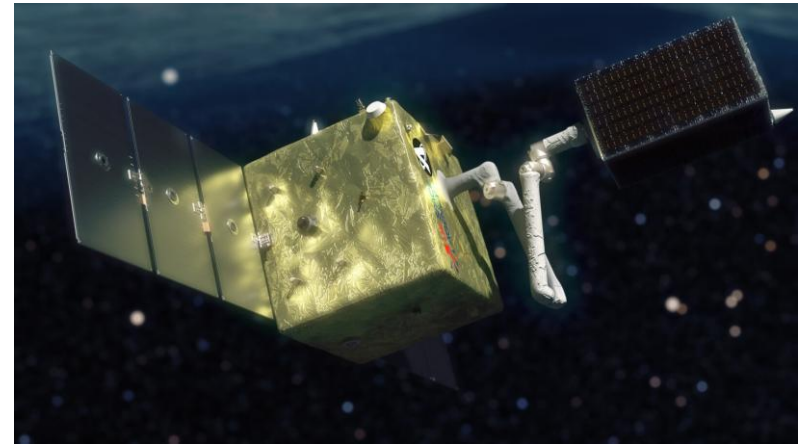
2. <https://www.satcat.com/sats/5> (最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】アストロスケール(英国):COSMICミッション

概要

- LEOを周回する運用を終了した英国の非協力的な衛星2機をターゲットとして、ロボットアームを用いた磁力による捕捉・除去を行う技術を開発している¹。
- Plume impingement※と呼ばれるデタンプリング技術を活用することでターゲットの回転運動を抑制し、非協力的な衛星を正確に捕獲するを目指す¹。
 ※:COSMICサービサーのスラスタを利用して、タンプリングしているクライアントに向けて排気プルームを当てることにより、クライアントの回転に対抗するトルクを発生させデタンプリングを実現する技術²
- 対象物は数10kgを想定し³、打上げ予定は2026年である⁴。
- 2022年にUKSAから170万ポンドの資金を調達。⁵
- 2024年にUKSAとCOSMICフェーズ2の195万ポンドの契約を締結した⁶。
- 2025年5月に、上記フェーズ2について、変更契約(202万ポンド)を完了した⁷。

除去対象捕獲時のイメージ



出所) <https://www.astroscale.com/en/missions/cosmic> (最終閲覧: 2025年10月29日)

出所)

1. <https://www.astroscale.com/en/missions/cosmic> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2. <https://www.hou.usra.edu/meetings/orbitaldebris2023/pdf/6075.pdf#page=7> (最終閲覧: 2025年10月29日)

3. <https://indico.esa.int/event/516/contributions/9975/attachments/6380/11004/CSID%20Conference%202024%20Present%20-%20Forshaw%20v1.1.pdf#page=10> (最終閲覧: 2025年10月29日)

4. <https://indico.esa.int/event/450/contributions/8897/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

5. <https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-forges-ahead-with-uk-active-debris-removal-mission-with-support-from-uk-space-agency> (最終閲覧: 2025年10月29日)

6. <https://finance-frontend-pc-dist.west.edge.storage-yahoo.jp/disclosure/20240911/20240911583684.pdf> (最終閲覧: 2025年10月29日)

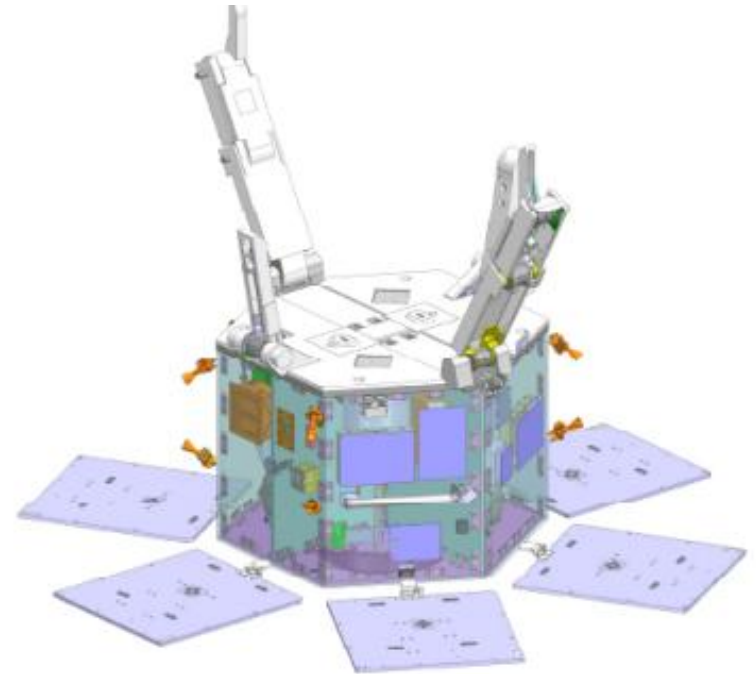
7. <https://www.nikkei.com/nkd/disclosure/tdnr/20250526566065/> (最終閲覧: 2025年10月29日)

【ADR】 ClearSpace(スイス):ClearSpace-1ミッション

概要

- ESAのClearSpace-1ミッション(低軌道において非協力的な既存の宇宙物体に対して、ランデブー・捕獲・除去を実証するミッション)にて、捕獲システムを開発している¹。対象軌道は615kmである²。
- 4つの多自由度ロボットアームで除去対象を囲むように把持しサービサーに固定することで、除去対象の損傷と新たなデブリの発生を回避することができる¹。
- 次の4つの主要な機能を果たすよう設計されている。
 - ① 除去対象の周囲でアームを閉じるタイミングを正確に設定する。
 - ② 除去対象に直接触れずに囲む。
 - ③ 接触負荷を吸収し、除去対象やサービサーを損傷から守る。
 - ④ サービサーの姿勢制御システム(AOCS)に乱れが生じないように、除去対象を固定する。¹
- 2020年に8,600万ユーロの契約をESAと締結している³。
- 2024年4月にミッションの計画が大幅に変更され、除去対象がVegaロケットの二次ペイロードアダプターからProba-1衛星に変更となり、コンソーシアムの主導はOHB社(ドイツ)に引き継がれた⁴。

ClearSpace-1



出所)

<https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc9/paper/317/SDC9-paper317.pdf>(最終閲覧:2025年10月29日)

1、<https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc9/paper/317/SDC9-paper317.pdf>(最終閲覧:2025年10月29日)

2、<https://earth.esa.int/eogateway/missions/proba-1#instruments-section>(最終閲覧:2025年10月29日)

3、<https://clearspace.today/news/clearspace-sa-signs-service-contract-with-esa-to-carry-out-the-first-mission-to-remove-space-debris-in-orbit-in-2025>(最終閲覧:2025年10月29日)

4、<https://europeanspaceflight.com/esa-selects-ohb-se-to-take-over-clearspace-1-mission-leadership/>(最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】 ClearSpace(スイス):CLEARミッション

概要

- LEOを周回する運用を終了した非協力的な英国の衛星2機を安全に除去するためのサービサーを開発している¹。打上げは2028年の予定である²。
- CLEARは4本のロボット触手で構成されている捕獲システムを搭載している。ターゲットが一度捕縛されると、触手はサービサーとターゲットの強固な機械的な接続を確立する。追加搭載機器としてロボットアームを搭載しており、将来の軌道上サービス向け技術実証内容として、ターゲットの捕獲前後の検査、移動、操作を予定である。³
- 2023年1月、OTB VenturesとSwisscom Venturesが主導するシリーズAラウンドで技術開発のために2,600万ユーロを調達した⁴。
- 2024年9月UKSAからミッションの更なる開発のための契約を獲得し、235万ポンドの資金を確保した⁵。
- 2025年5月に打ち上げや画像処理等に関する技術テストをクリアし、CLEARミッションのフェーズ2を完了した⁶。

ClearSpace-1



出所) <https://clearspace.today/missions/clear>(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)

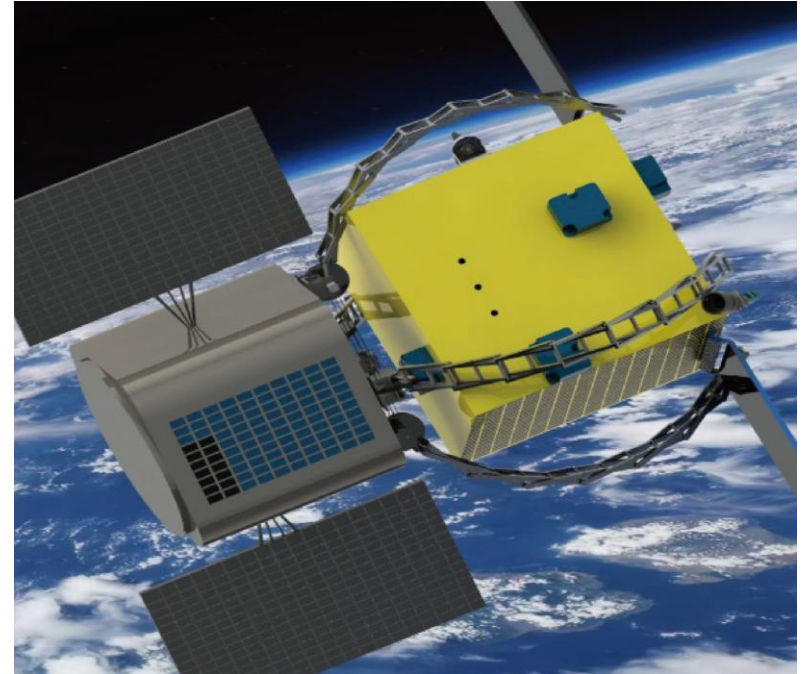
1. <https://www.gov.uk/government/news/uk-builds-leadership-in-space-debris-removal-and-in-orbit-manufacturing-with-national-mission-and-funding-boost> (最終閲覧:2025年10月29日)
2. <https://clearspace.today/> (最終閲覧:2025年10月29日)
3. <https://www.hou.usra.edu/meetings/orbitaldebris2023/pdf/6075.pdf> (最終閲覧:2025年10月29日)
4. <https://clearspace.today/news/clearspace-raises-e26-million-to-cleanup-space-in-a-series-a-round-led-by-otb-ventures-and-swisscom-ventures> (最終閲覧:2025年10月29日)
5. <https://clearspace.today/news/clear-debris-removal-mission-uk> (最終閲覧:2025年10月29日)
6. <https://clearspace.today/news/clearspace-completes-phase-2-of-mission-clear-strengthening-uk-s-leadership-in-orbit-services> (最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】 Sustain Space(中国)

概要

- 宇宙デブリを捕捉する2種のロボットアーム機構を開発している。I型は包絡範囲 10cm^3 で捕獲距離 500mm 以内、II型は包絡範囲 1m^3 で捕獲距離 10m 以内である¹。
- ADRに限らず、燃料補給、軌道上製造・修理サービスの提供も目指しており、下記の通り軌道上サービス衛星による段階的なコンステレーション構築を企図している²。
- 第1段階(2025~2027年)は高度 500km に衛星3機を打ち上げ、重要技術の実証を予定(初号機である西垣0号は2025打上げ予定)である²。
- 第2段階(2028~2035年)は高度 $800\sim 1,200\text{km}$ に9機の衛星を打ち上げ、衛星コンステレーション運用者や政府ユーザに対してデブリ除去・燃料補給サービスの提供を予定している²。
- 第3段階(2035年~)は顧客ニーズに応じたテーラーメイドの衛星を打ち上げ、様々なサービスの提供を予定である²。
- 2024年9月、Pre A+の資金調達ラウンドにて数千万円(同時期において1元は約20円に相当)を調達している³。

ロボットアームによるデブリの捕捉



出所) <https://sustain-space.com.cn/index.php/elementor-1798/>(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)1、<https://sustain-space.com.cn/index.php/elementor-1806/>(最終閲覧:2025年10月29日)

2、<https://sustain-space.com.cn/index.php/elementor-1798/>(最終閲覧:2025年10月29日)

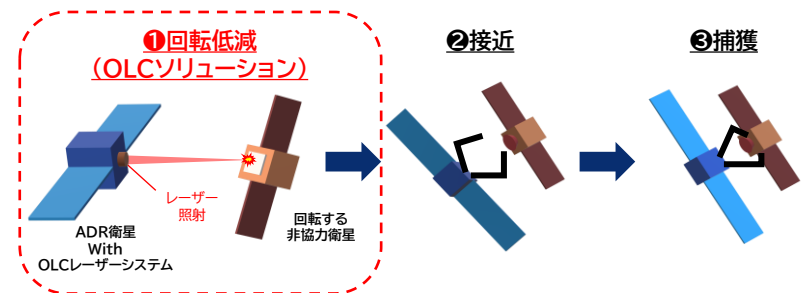
3、<https://sustain-space.com.cn/index.php/2024/09/10/prea/>(最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】 Orbital Lasers(日本)

概要

- スカパーJSATからカーブアウトした企業であり、スペースデブリ除去事業と、衛星からのレーザーにより地表面観測を行う衛星ライダー事業を行っている¹。
- デブリ除去事業では、ハイパワーなレーザー光をデブリに照射することで表面の物質をプラズマ化・気化させるレーザーアブレーション技術を使用する²。
- レーザーアブレーションによりわずかな推力を発生させ、デブリの軌道を変更する。どんな物体にも適用可能である点、回転物体に適用し安全に回転運動を止めることができる点が利点とされている。²
- 2024年10月、地表面の高さを計測する高度計ライダー衛星の研究開発契約をJAXAとの間で締結した³。
- 2024年12月には、インドのInspeCity社と軌道上サービス領域の協業に向けたMOUを締結した⁴。

ソリューションイメージ



アルミニウムにレーザーを照射した際のアブレーション発生の様子

出所)Orbital Lasers提供資料

出所)

1、<https://www.orbitallasers.com/ourstory/>(最終閲覧:2026年2月25日)

2、<https://www.orbitallasers.com/business/>(最終閲覧:2025年12月1日)

3、<https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1627882.html>(最終閲覧:2026年2月25日)

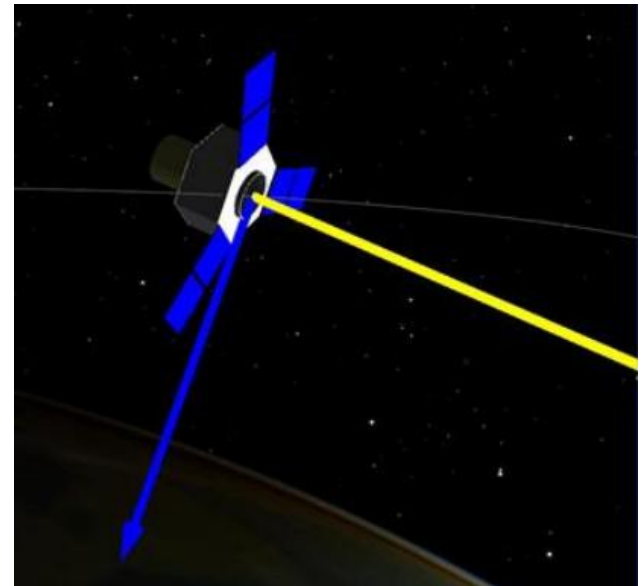
4、<https://www.orbitallasers.com/2024/12/17/orbital-lasers-x-inspecity%E3%80%81%E8%BB%8C%E9%81%93%E4%B8%8A%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%93%E3%82%B9%E9%A0%98%E5%9F%9F%E3%81%AE%E5%8D%94%E6%A5%AD%E3%81%AB%E5%90%91%E3%81%91%E3%81%9Fmou%E7%B7%A0/>(最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】Thales Alenia Space(フランス):OLaMoT

概要

- 宇宙空間から照射するレーザーによって、宇宙物体の運動を制御する技術に関するフェージビリティ調査(Orbit Laser Momentum Transfer: OLaMoT)を実施した¹。
- レーザー照射を行い光の放射圧によってデブリを偏向させることで、微小な軌道修正を行うことが可能となる¹。
- 照射対象は1cm~10cmサイズのデブリを想定している(地上からの容易な監視が難しい一方、衝突した場合にミッションに重大な損害を与える可能性ある大きさ)²。
- レーザー照射には、大型光学系(直径0.63m以上、4kW出力の高出力連続波レーザー)を使用する^{1,2}。
- 計8機の衛星を所定の軌道(下表参照)に配備することで、2日以内にレーザー照射対象にアクセスすることが可能となる³。
- ミッションの主な課題として、高出力(10kW)の電力生成/高出力(6kW)の廃熱処理/衛星の機動性と指向精度の3点が挙げられている^{1, 2}。

OLaMoT衛星



出所)

https://ilrs.gsfc.nasa.gov/lw22/presentations/InvitedTalks/Flohrer_ILRS2022.pdf
(最終閲覧: 2025年10月29日)

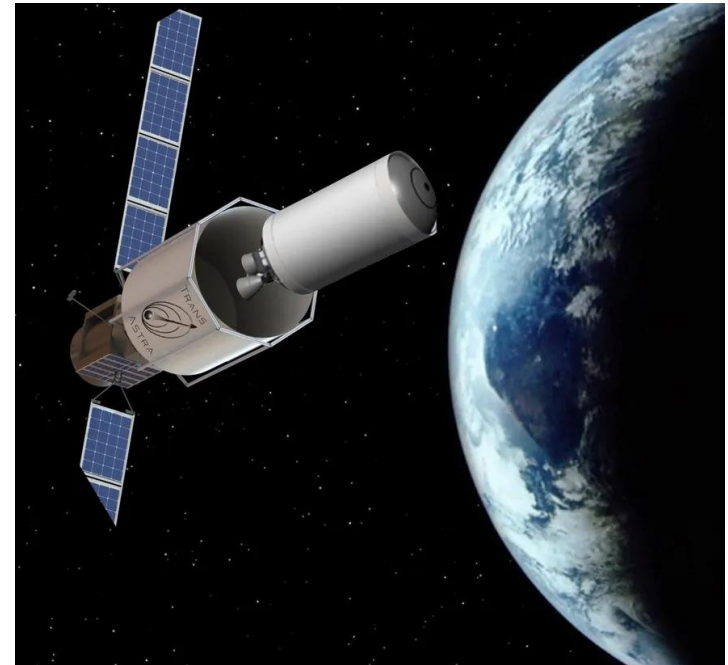
出所)1、<https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc8/paper/180/SDC8-paper180.pdf> (最終閲覧: 2025年10月29日)
2、https://nebula.esa.int/sites/default/files/neb_study/2519/C4000129470ExS.pdf (最終閲覧: 2025年10月29日)
3、https://ilrs.gsfc.nasa.gov/lw22/presentations/InvitedTalks/Flohrer_ILRS2022.pdf (最終閲覧: 2025年10月29日)

【ADR】TransAstra(米国)

概要

- デブリを把持する装置や、サービサーと対象間のドッキングが不要で、キューブサットからアステロイドまであらゆる形状・サイズの物体を捕獲できる装置「Capture Bag」を開発しており^{1, 2}、打上げ予定は2025年後半とされている³。
- Capture Bagは、リップストップ(破れ防止)仕様の膨張型バッグから成り、キューブサット・大型衛星・ロケットの上段等、軌道上の非協力的な除去対象を取り囲み、捕獲することができる¹。
- 将来的には、Capture Bagを使用して小惑星を捕獲し、採掘する計画を公表している¹。
- 2023年、NASAとキャプチャーバッグの製造と地上実証を実施する85万米ドルの契約を締結²、2024年には、国防総省と技術研究開発に関する契約を締結した⁴。
- CASISと2025年に国際宇宙ステーションでキャプチャーバッグ技術を実証する契約を締結した。本契約により、CASISは実証費用の半分を負担する予定³。

キャプチャーバッグによる捕獲イメージ



出所) <https://spacenews.com/transastra-claims-nasa-contract-for-debris-capture-bag/>(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)1. <https://www.transastra.com/capabilities/capturing> (最終閲覧:2025年10月29日)

2. <https://spacenews.com/transastra-claims-nasa-contract-for-debris-capture-bag/> (最終閲覧:2025年10月29日)

3. <https://aeromorning.com/en/transastra-to-demonstrate-capture-bag-on-the-international-space-station/> (最終閲覧:2025年10月29日)

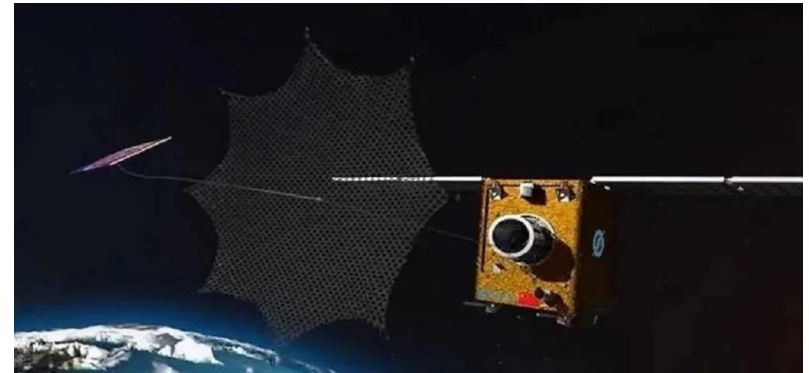
4. <https://www.newswire.com/news/transastra-awarded-first-defense-department-contract-for-flytrap-22227603> (最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】Origin Space(中国)

概要

- Origin Spaceは北京拠点の民間宇宙資源企業で、2017年に設立された。中国初の宇宙資源利用専門企業と自称している¹。
- 同社は2021年に実証衛星「NEO-1」をLEO軌道に打ち上げた。質量は30kgであり、網でデブリを捕獲し、電気推進システムで焼却する仕組みである。²
- 同社は、NEO-2による月探査も視野に入れており、打ち上げは2021年末から2022年初頭目標、LEOから段階的に月軌道へ到達、観測後に月面にハードランディングする計画とあるが¹、その後の詳細は不明。
- Origin Spaceは2045年までに小惑星の商業採掘を実現するため、数十基の宇宙望遠鏡や追加の宇宙機を打ち上げる計画とされている²。
- また、2025年末にPre-Aラウンドで資金調達を行い、月探査ミッションの資金を確保する予定である¹。

NEO-1衛星イメージ



出所) <https://www.rs-online.com/designspark/the-scourge-of-space-junk-part-2-solutions>(最終閲覧:2025年12月1日)

出所)1. <https://spectrum.ieee.org/china-to-launch-space-mining-bot>(最終閲覧:2025年12月1日)

2. <https://www.reuters.com/lifestyle/science/china-launches-robot-prototype-capable-catching-space-debris-with-net-2021-04-27>(最終閲覧:2025年12月1日)

【ADR】川崎重工業(日本)

概要

- 実証試験で用いられる衛星DRUMSのミッションシステムには、航行センサ(画像センサ、加速度センサ)、アクチュエータ、捕獲機構(伸展ブームであり、導電性テザーの役割も果たす)、ターゲット放出機構を搭載している¹。
- デブリ捕獲システムは捕獲機構と接近用画像センサから構成されている。質量の大きいロケット上段を除去対象として、ロケット上段にある衛星分離部の内側を4本の伸展ブームで固定する方法で捕獲する。²
- JAXAの革新的衛星技術実証プログラムとして、DRUMSは革新型技術実証2号機に搭載され、2021年12月にイプシロンロケット5号機によって打ち上げられた³。
- 軌道投入・地上局とのデータ送受信に成功後、2023年2月に1回目の技術実証試験として模擬デブリを放出したが捕獲に至らなかった。同年12月に再度模擬デブリを軌道上に放ち、自律的に追尾・接近、捕獲機構を進展するまでの一連の実証を行った。^{3, 4, 5}
- デブリへの接近と捕獲技術の展開先として、ロボットアームを用いた軌道上サービスも想定している⁶。

DRUMSの模擬デブリ捕獲イメージ



出所)

https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/interview/02/interview02_11.html(最終閲覧:2025年10月29日)

出所)1. <https://jaxa.repo.nii.ac.jp/record/49239/files/AA2230027048.pdf>(最終閲覧:2025年10月29日)

2. https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2007/02/news019_3.html(最終閲覧:2025年10月29日)

3. https://www.khi.co.jp/news/detail/20211111_1.html(最終閲覧:2025年10月29日)

4. https://www.khi.co.jp/news/detail/20240315_1.html(最終閲覧:2025年10月29日)

5. https://www.mext.go.jp/kaigisiryō/content/20230627-mxt_uchukai01-000030648_5.pdf(最終閲覧:2025年10月29日)

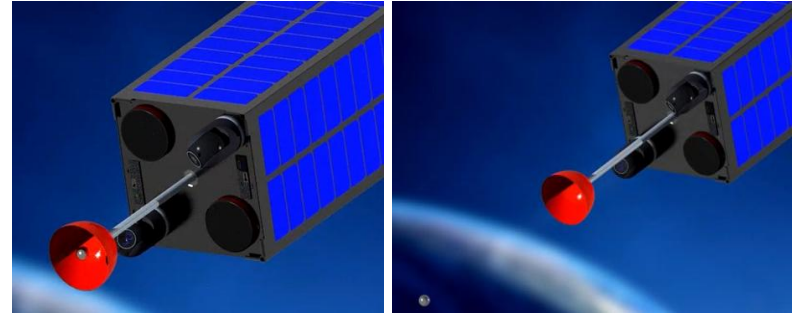
6. https://www.kenkai.jaxa.jp/event/2021/pdf/ws2022_14.pdf(最終閲覧:2025年10月29日)

【ADR】 Orbit Guardians(米国)

概要

- 一度の打上げで40個の除去対象を伸展ブームを用いて軌道離脱させる技術コンセプトを公開している^{1, 2}。当該技術の詳細・開発進捗については不明。
- 同社はAIとIoTを用いてデブリデータを収集し、20cm未満のデブリを低コストのADRで除去することで宇宙空間の安全性向上を図るとしている³。

伸展ブーム



出所) <https://orbitguardians.com/product> (最終閲覧: 2025年10月29日)

出所) 1. <https://orbitguardians.com/services> (最終閲覧: 2025年10月29日)
2. <https://orbitguardians.com/product> (最終閲覧: 2025年10月29日)
3. <https://bolognalawreview.unibo.it/article/download/19718/17874/79411> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2-1-3. 軌道上サービス

【EOL】アストロスケール(日本・英国):ELSA-d

【EOL】アストロスケール(英国):ELSA-M

概要

- アストロスケールはデブリ除去に関する技術を実証する商業ミッションとして、ELSA-dを開発している¹。
- ELSA-dは2021年に軌道投入され、ドッキングプレートと磁石を用いた捕獲機構における技術実証が2022年には完了し¹、2024年1月に軌道離脱制御の運用を終えミッションを完了した²。
- 英国宇宙庁とESAから資金提供を受け、次号機ELSA-Mミッションにおいて複数の運用終了機の除去を目指している。ELSA-Mを進化させたCOSMICプロジェクト(ロボットアームによるADR)も英国から受注している。³
- ELSA-Mは磁気ドッキングプレートを用い、最大高度1,325km・重量800kgの衛星捕獲を目的に開発中である⁴。
- ESAとEutelsat OneWebのSunriseプログラムおよびUKSA支援のもと、2026年にLEO実証を予定である⁴。
- ELSA-Mのドッキングプレートは569基の衛星に搭載済みである(Onewebの内訳は不明)。また、Airbus衛星コンステ向けに100個以上のドッキングプレートを納入予定である。⁵

出所)1、<https://www.astroscale.com/ja/news/astrocales-elsa-d-mission-successfully-completes-complex-rendezvous-operation>(最終閲覧:2025年10月29日)

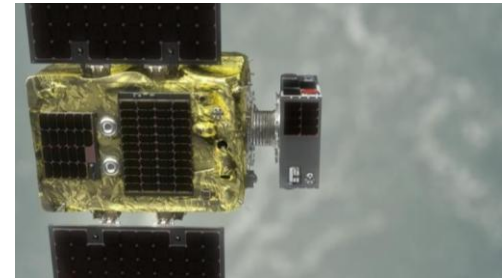
2、<https://www.astroscale.com/ja/news/astrocales-elsa-d-finalizes-de-orbit-operations-marking-successful-mission-conclusion>(最終閲覧:2025年10月29日)

3、<https://astroscale.com/ja/missions/cosmic/>(最終閲覧:2024年10月21日)

4、<https://www.astroscale.com/ja/missions/elsa-m>(最終閲覧:2025年10月29日)

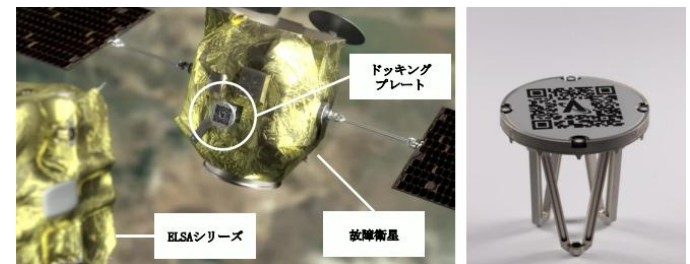
5、<https://finance-frontend-pc-dist.west.edge.storage-yahoo.jp/disclosure/20250325/20250206565668.pdf>(最終閲覧:2025年10月29日)

ELSA-d



出所)<https://www.astroscale.com/ja/missions/elsa-d>(最終閲覧:2026年2月25日)

ELSA-Mドッキングプレート



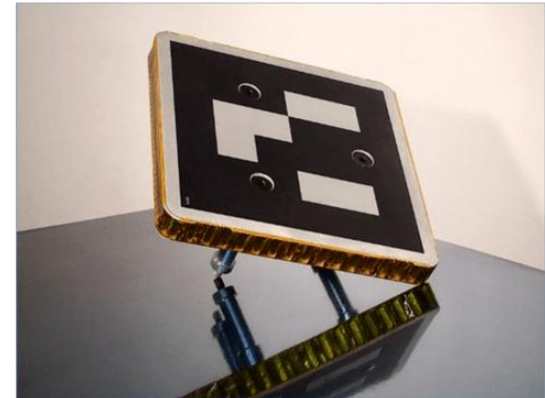
出所)<https://finance-frontend-pc-dist.west.edge.storage-yahoo.jp/disclosure/20250325/20250206565668.pdf>(最終閲覧:2025年10月29日)

【EOL】Voyager Space(米国)

概要

- 軌道上サービスを実施する際のドッキングプレート「DogTag」を開発し、2025年2月時点で計500個以上のDogTag搭載衛星が宇宙に展開されている¹。
- サイズは150mm x150mm x 65mm、総重量は250gであり、磁気捕捉、ロボットアーム、粘着など様々な捕獲手法との互換性を持つ¹。
- 2019年、OneWebはAltius Space Machines (2020年にVoyager Spaceが買収)と提携し、2022年2月までにAltius製DogTagが搭載された34機のOneWeb衛星が打ち上げられた¹。
- DogTagを搭載した対象を捕獲するサービスの開発情報は確認されていない。

DogTagの外観と諸元



Bounding Volume	150mm x150mm x 65mm
Total Mass	250g
Mounting Interface	3x M5x0.8 threaded inserts on an 84.5mm bolt-hole circle
Compatible Gripping Methods	Magnetic Capture Adhesive Capture - Electrostatic - Gecko - Hot-Melt - Chemical Mechanical Capture - Pinch-Grasp - Snare Penetrating Capture (Harpoon)

出所) <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2025/02/13-soa-deorbit-2024.pdf?emrc=67af972fb394f> (最終閲覧: 2026年2月25日)

出所)1. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2025/02/13-soa-deorbit-2024.pdf?emrc=67af972fb394f> (最終閲覧: 2025年10月29日)

2-1-4. デブリ発生抑制と低減

- デブリ発生抑制と低減に関する技術
- 自動マヌーバ
- 推進機
- デブリ放出・破砕の防止
- 制御再突入
- 無害化措置
- 自己除去

【概要】デブリ発生抑制と低減に関する技術(1/2)

- デブリ等の軌道上物体を抑制あるいは低減するための技術のうち、軌道上サービス以外の技術製品について、関連する技術・製品を、下表のカテゴリに分類し、それぞれの技術の概要と開発・実装動向を調査・整理した。
 - 個別の技術・製品が見つからなかった技術カテゴリについては、関連する技術要件や事故事例について調査した。

カテゴリ	小カテゴリ	開発主体:製品名	現況	ページ番号
衝突回避	自動マヌーバ	SpaceX(米国)	実装済	131
	推進機	Pale Blue(日本):PBI	実証済	132
		Aurora propulsion technologies(フィンランド):ARM-C	実装済	133
		CU Aerospace(米国):MVP	開発中	134
		Arianspace(フランス):Arclight	開発中	135
デブリ放出・破砕の防止	(個別技術・製品は見つからず)			
自己除去	制御再突入	三菱重工業(日本):H-II B, H3ロケット	実装済	137
		Arianspace(フランス):Arian 5,6, Vega	実施済	138

※並び順は、日本の製品の後に、国・現況の順に整理している。

【概要】デブリ発生抑制と低減に関する技術(2/2)

● (続き)

カテゴリ	小カテゴリ	開発主体:製品名	現況	ページ番号
自己除去	膜構造展開	BULL(日本):HORN	開発中	139
		アクセルスペース(日本):D-SAIL	開発中	140
		MMA Design(米国):dragNET	実証済	141
		DLR(ドイツ):ADEO	実証済	142
		SFL Missions(カナダ):CanX-7	実証済	143
		NPC Spacemind(イタリア):ARTICA	実証済	144
		Applied Aerospace & Defence(米国) (旧Vestigo Aerospace(米国)):Spinnaker	実証済	145
		Gama(フランス):Astrobrake	実証中	146
		SAST(中国):名称不明	実証中	147
		FronD Space Systems(ニュージーランド): NANO dragsail, MICRO dragsail	実証中	148
	SPACEO(ポルトガル):SWIFT	開発中	149	
	導電性テザー	ARKA(旧Tethers Unlimited(米国)):Dragracer	実証済	150
Aurora Propulsion Technologies(フィンランド): Aurora Plasma Brake		実証済	151	
無害化処置	残留燃料	三菱重工業(日本):H-II B, H3ロケット	実装済	137
	指令破壊用火工品の誤爆防止	三菱重工業(日本):H-II B, H3ロケット	実装済	137

※並び順は、日本の製品の後に、国・現況の順に整理している。

【自動マヌーバ】SpaceX(米国):Starlink搭載の自動衝突回避システム

概要

- Starlink衛星には自動衝突回避システムが搭載されている。
 - Starlink衛星に搭載されているGPSからの位置情報とマヌーバ計画を含む将来のエフェメリスがSpace-Track.orgに送信され、LeoLabsと米国宇宙軍第18宇宙防衛隊がダウンロード
 - LeoLabsと第18宇宙防衛隊が軌道スクリーニングを行い、接近解析の上で接近検出メッセージ(CDMs)をSpaceXに送信
 - 衝突確率が1/100,000を超える場合(事業者平均である1/10,000の10分の1の閾値)、衛星が回避マヌーバを計画し、実施
 - マヌーバの実施によって新たな接近リスクを生じさせないように配慮しているとのこと
- SpaceXは全ての衛星運用者に対して、軌道情報の提供による透明性の確保を推奨している。

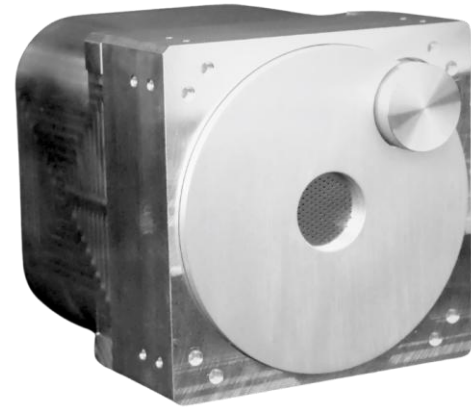
【推進機】Pale Blue(日本):PBI

概要

- 2020年設立の小型衛星向けの推進機(エンジン)の研究開発、製造、及び関連サービスを提供する企業である。
- 3Uキューブサットから700kg級衛星まで、様々なミッションに適した複数の推進システム(レジストジェット・イオン・ホール)を提供している。
- 提供するシステムは推進剤として安全性、入手性が高く、低コストである「水」を主に使用し、持続可能なソリューションの提供を目指している。
- 自社設備により推進機の製造から検査までを一貫して実施する体制を構築済み。
- 2023年、文部科学省の中小企業イノベーション創出推進事業(SBIRフェーズ3)に採択され、人工衛星の軌道離脱及び衝突回避のための超小型水イオンスラスタ及びホールスラスタの開発・実証を行っている。
- JAXAの革新的衛星技術実証4号機に水を推進剤とする超小型統合推進システムが搭載され技術実証予定。

PBI(水イオンエンジン)

- 2025年9月に世界初となる水イオンエンジンの軌道上作動に成功



- ✓ 1U+のコンパクトサイズ
- ✓ >7,000Nsのトータルインパルス
- ✓ 短時間起動での推力生成が可能

出所)Pale Blue提供資料

【推進機】Aurora propulsion technologies(フィンランド):ARM-C

概要

- 2018年に設立された、人工衛星の推進機を手掛ける企業である。
- ARM-Cは水を推進剤とする、衝突回避用の推進機であり、1kgから250kgまでの衛星に適用可能である¹。
- 2024年に3Uサイズの衛星に初号機を納品しており、軌道上にて接近アラートを受けた衛星が実際にマヌーバーを実施したことを確認している¹。
- より大型の推進機であるARM-Oの開発も進めており、2026年に軌道上実証を実施する予定である²。

ARM-C



ARM-C

出所) <https://aurorapt.space/wp-content/uploads/2024/08/ARM-C-datasheet-APT-SM-DS-005-rev1.2.pdf> (最終閲覧:2025年10月20日)

出所)

1、<https://aurorapt.space/wp-content/uploads/2024/08/ARM-C-datasheet-APT-SM-DS-005-rev1.2.pdf> (最終閲覧:2025年10月20日)

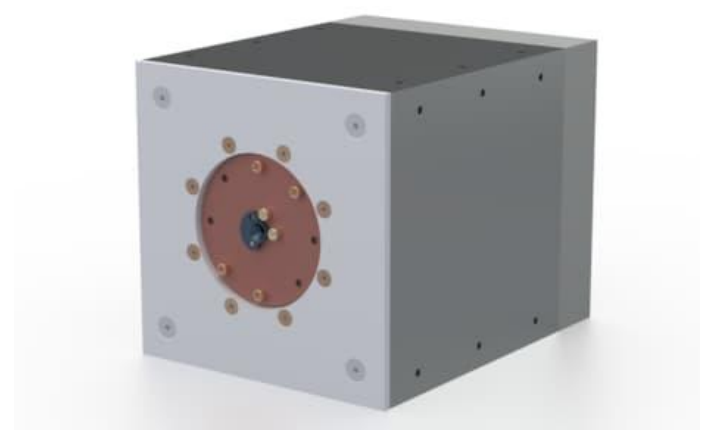
2、<https://aurorapt.space/product/> (最終閲覧:2025年10月20日)

【推進機】CU Aerospace(米国):MVP

概要

- 2006年に設立された、航空宇宙関連の研究開発、製造を手掛ける企業である。
- MVP(Monofilament Vaporization Propulsion)は、固体不活性ポリマーを電気によって蒸発させることで推進力を得る、電気推進である¹。
- 3U以上のキューブサットに適用可能である¹。
- 推進剤に圧力容器が不要であることや小型かつ低コストであることが長所である¹。
- 2025年の第3～4四半期に打上げ・実証が行われる予定である²。
- CU Aerospace社はMVP以外にも、推進剤や適用衛星サイズの違いにより、6種類の推進システムを開発している³。

MVPの外観



出所) <https://www.cuaerospace.com/spacecraft-solutions/propulsion-systems> (最終閲覧:2025年10月20日)

出所)

1、<https://www.cuaerospace.com/products-services/space-propulsion-systems/monofilament-vaporization-propulsion-mvp/> (最終閲覧:2025年10月20日)

2、<https://www.cuaerospace.com/Portals/0/siteContent/assets/pdf/250801-MVP-Datasheet.pdf> (最終閲覧:2025年10月20日)

3、<https://www.cuaerospace.com/spacecraft-solutions/propulsion-systems> (最終閲覧:2025年10月20日)

【推進機】Arianspace(フランス):Arclight

概要

- 2015年にエアバスとサフランによる合弁会社として設立された企業である。
- Arclightは、人工衛星向けの電気推進であり、小型衛星やメガコンステレーション衛星に適用可能としている¹。
- 開発の基となったRIT(Radiofrequency Ion Technology)は宇宙での実証済とされているものの、具体的なミッション等は不明である¹。
- 完全な電気推進システムとしても、他の推進システムとのハイブリッド方式としても利用可能としている¹。
- ArianeGroupはArclight以外に、水を推進剤とする電気推進システムの開発を進めており、2026年秋頃に軌道上での実証実験を実施する予定である²。

電気推進システムの試験



出所)<https://ariane.group/en/equipment-services/for-spacecraft/orbital-propulsion-systems/> (最終閲覧: 2025年10月20日)

出所)

1、https://ariane.group/app/uploads/2024/06/Orbital_Propulsion_2019_07_PB_EN_Web.pdf (最終閲覧: 2025年10月20日)

2、<https://ariane.group/en/news/water-the-propellant-of-the-future/> (最終閲覧: 2025年10月20日)

【デブリ放出・破砕の防止】

概要

<標準・ルール動向>

- UN COPUOSによる「宇宙の長期的持続可能性ガイドライン」やIADCによる「スペースデブリ低減ガイドライン」等において、デブリの放出や破砕を防止することが求められているが、具体的・定量的な法規制・標準等は存在しない。

<事故事例>

- 衛星の軌道上での破壊・爆発事例が近年複数報告されている。
 - 2024年10月、Boeing社が製造しIntelsat社が運用していた人工衛星が軌道上で爆発・破砕した。¹
 - ExoAnalytics Solutions社は軌道上に少なくとも500個以上のデブリが放出されたと分析している。²
 - 2024年12月には、運用終了後4年経過した米宇宙軍の軍事用気象衛星が軌道上で分解した。³
 - LeoLabs社は50個以上のデブリを追跡している。
 - 運用終了後の不動態化は設計されていたものの、同型の衛星は過去に複数回軌道上で分解している。

<技術動向>

- 爆発の原因の一つである、バッテリーの発火・爆発を防ぐために、衛星部品製造メーカーは衛星用バッテリーの開発を進めている。また2025年7月のEUCASSにおいても、バッテリーの発火を防ぐ研究が見られるなど、研究開発は進められている。

出所)

1、<https://www.bbc.com/news/articles/ce8d886l028o> (最終閲覧:2025年10月14日)

2、https://uk.news.yahoo.com/boeing-satellite-exploded-least-500-141431347.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuYmluZy5jb20v&guce_referrer_sig=AQAAAkTIAIv5KAwbAt7yPasdlaYJ6MKdtivXstIvHc2g706Qv13lMEhARSrYgZKJdCiSroq2quJ7q0TCZdNQhxm77rIwIIM58OZxjXMzuJieq_1V2oBbGg7tjL2YZQRtKBfluEuO6F2yEI28xrerLexgByrKHtEgLsKjaLEo_XtQa (最終閲覧:2025年10月14日)

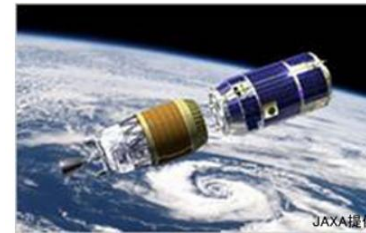
3、<https://spacenews.com/retired-military-weather-satellite-breaks-up/> (最終閲覧:2025年10月14日)

【制御再突入・無害化措置】三菱重工業（日本）：H-II B・H3ロケット

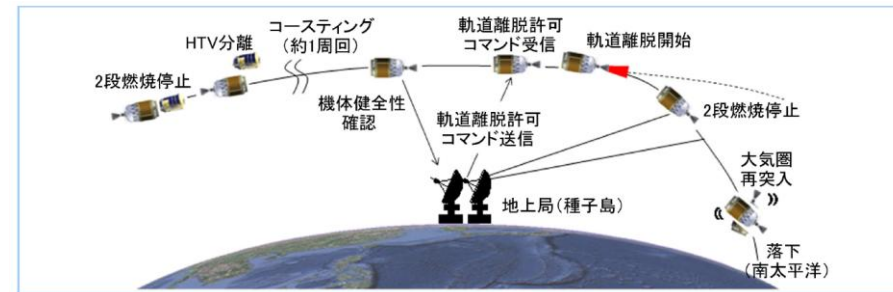
概要

- 三菱重工業(MHI)は、宇宙開発分野で特にH-IIA、H-IIB、H3ロケットの開発・製造・打ち上げにおいて重要な役割を担っている¹。
- ミッション終了後のロケット上段を安全な海域への制御落下(コントロールドリエンリ)をJAXAと協力し進めており、H-IIBでは全ミッション成功、H3も2号機で成功し、ミッションに応じて継続実施中。
- ロケット上段の残存推薬の排出や、指令破壊用火工品の誤爆防止等によりデブリ発生リスクを低減する取り組みをしている。
- ロケット上段の軌道上での挙動モニタや、飛行経路修正により軌道上物体との衝突回避に関する技術開発に取り組んでいる。
- ロケット上段モニタ技術に関して実証・実用化構想を検討中。

ロケット上段によるコントロールドリエンリ



制御落下(Controlled Reentry) H-IIB/H3の全実行ミッションで成功



出所) <https://www.mhi.co.jp/technology/review/jp/abstractj-48-4-17.html> (最終閲覧: 2025年2月6日)

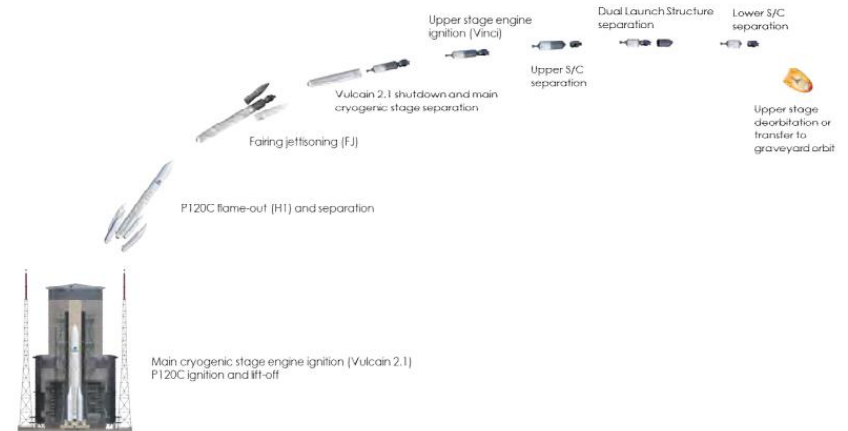
出所) 1、<https://www.mhi.com/jp/business/products-services/space-defense#11006> (最終閲覧: 2026年3月12日)

【制御再突入】Arianespace (フランス): Ariane 6ロケット

概要

- Arianespaceは、ヨーロッパのロケットの開発・製造・打ち上げにおいて重要な役割を担っている¹。
- Ariane 6はミッション終了後のロケット上段の墓場軌道への軌道離脱もしくは大気圏再突入による廃棄を実施することとなっており、どちらの廃棄方法を選択するかは打上げ軌道等のミッション設計によって決まる²。
- これまでに実施された3回の打上げにおいてもいずれかの方法により破棄されたとみられるが、詳細は不明である。
- 同様のミッション設計はAriane 5ロケットやVegaロケットにおいても組み込まれている。

典型的な軌道推移



出所)

https://arianespace.com/app/uploads/sites/4/2024/10/Mua-6_Issue-2_Revision-0_March-2021.pdf (最終閲覧: 2025年10月20日)

出所)

1、<https://www.arianespace.com/ariane-6/> (最終閲覧: 2025年10月20日)

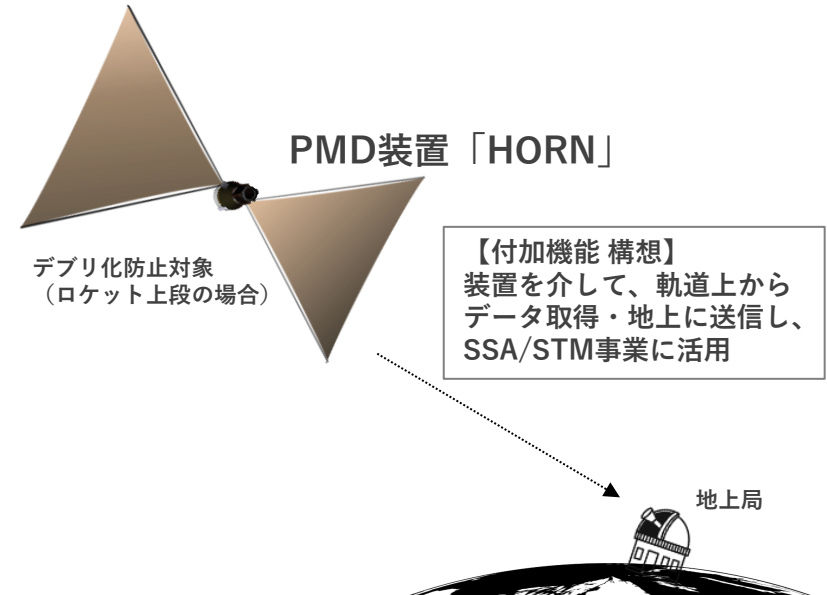
2、https://arianespace.com/app/uploads/sites/4/2024/10/Mua-6_Issue-2_Revision-0_March-2021.pdf (最終閲覧: 2025年10月20日)

【自己除去】BULL(日本): HORN

概要

- 栃木県宇都宮市を拠点におくスタートアップであり、現在はロケットや人工衛星向けに大気抵抗で減速・軌道離脱させるデブリの発生防止(Post Mission Disposal、PMD)装置を開発する企業である。
- ①Ariane 6ロケット向けにArianespace社と¹、②Vega-C向けに伊国Avio社と²の搭載に向けて協議を進めており、海外ロケット事業者との連携を見込む。
- 各宇宙機の標準装備品として軌道上に当装置が多く存在する状況を活かすべく、当装置を介し軌道上からデータ(搭載宇宙機の姿勢情報等)を取得・地上に送信する付加機能を開発中。取得データをSSA/STM事業に活用予定。
- 2023年、栃木県のスタートアップ企業グロースサポートプログラムの支援を受けた³。
- 文部科学省のSBIRで支援を受けており、2023年にフェーズ3にも採択され衛星等のデブリ化を防止する軌道離脱促進装置の開発・実証を行う⁴。
- 2024年、経済産業省・JETROによるJ-StarX「Europe Long-term Program (France)」に採択⁵。

PMD装置を活用したデータ取得



出所) 株式会社BULL 提供

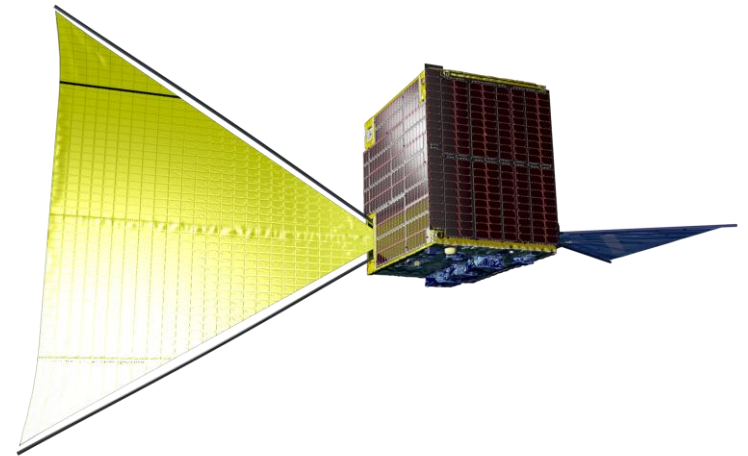
- 出所) 1、
<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000020.000113020.html> (最終閲覧: 2025年12月4日)
- 2、
<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000014.000113020.html> (最終閲覧: 2025年12月4日)
- 3、
<https://www.pref.tochigi.lg.jp/f03/startup/r5.sgp.html> (最終閲覧: 2025年12月4日)
- 4、
<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000007.000113020.html> (最終閲覧: 2025年12月4日)
- 5、
<https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000013.000113020.html> (最終閲覧: 2025年12月4日)

【自己除去】アクセルスペース(日本): D-SAIL

概要

- 2008年に設立された企業で、自社で運用する衛星により取得した画像を用いたサービスであるAxelGlobeや、衛星を活用してサービスを展開したい企業向けのAxelLinerサービスを展開している¹。
- 膜状の軌道離脱装置であるD-SAILを開発している。
- D-SAILは、JAXAの革新的衛星技術実証4号機に搭載されることが決定している。

D-SAILの展開状態のイメージ図



出所) https://www.axelspace.com/ja/news/dsail_raise4/
(最終閲覧: 2025年12月2日)

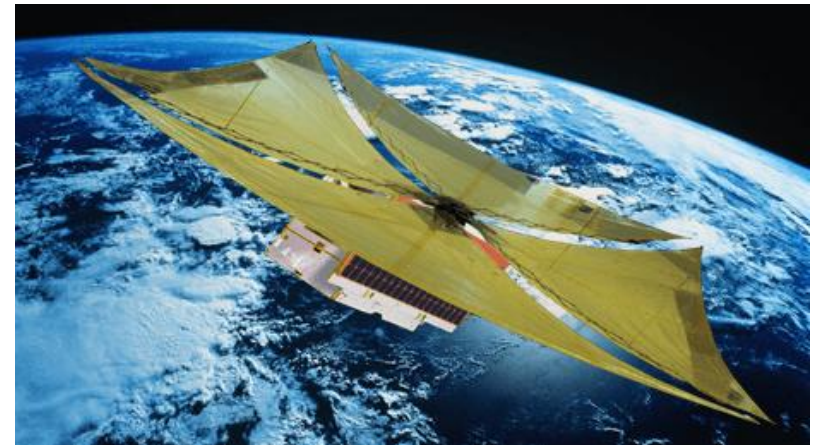
出所) 1. <https://www.axelspace.com/ja/services/> (最終閲覧: 2024年10月21日)

【自己除去】MMA Space(米国): dragNET

概要

- MMA Space社は2007年に設立された企業で、軌道離脱装置だけでなく人工衛星用の太陽電池パネル等を開発・製造する企業である¹。
- 膜状の軌道離脱装置であるdragNETは、低軌道衛星に装備する軌道離脱装置である²。
- 最初の実証実験は2013年に実施し、ORS-3 Minotaurロケットの上段を約2年かけて軌道離脱させた。2022年にはGAzelle衛星に装着した同装置が打上げられ、2025年9月現在作動中である。²
- 2024年8月には次世代型のdragNETの開発完了を発表した。旧世代に比べてコストを半分以下に削減したほか、FCCの5年ルールに対応し低軌道の3,000kg程度の人工衛星を5年以内に軌道離脱させられるとしている³。

展開後のdragNET



出所)<https://mmadesignllc.com/products/deorbit-systems/>
(最終閲覧:2025年9月17日)

出所)

1、<https://spacenews.com/mma-space-launches-flexarray-solar-array-system-at-2025-small-satellite-conference/>(最終閲覧:2025年9月17日)

2、<https://mmadesignllc.com/products/deorbit-systems/>(最終閲覧:2025年9月17日)

3、<https://mmadesignllc.com/download/36106/?tmstv=1758051900>(最終閲覧:2025年9月17日)

【自己除去】DLR(ドイツ): ADEO,ADEO-2

概要

- GSTP※は、最先端の技術を宇宙ミッションで利用可能にするためにESAが設けた技術開発プログラムである。プログラムの年間予算は最大1億2000万ユーロである。¹
- GSTPの支援を受けて、ドイツ航空宇宙センター(DLR)がADEO、ADEO-2を開発している。ドイツのHPS GmbHが生産を行っている。カスタマイズ品のほかに既製品も利用可能であり、ホームページから見積もりを請求することも可能である。³
- サブシステムが衛星のミッションの終了や故障を認識し、4本のカーボン繊維製アームを展開する。アームにはアルミニウムでコーティングされたポリアミド製の膜を展開するシステムである。²
- 展開した膜によって抗力を生んで衛星を減速させ、大気圏に突入させる。²
- D-Orbit社のION Satellite Carrier(衛星展開用の宇宙タグボート)へ装備したADEO-N2は2022年12月に軌道離脱段階に入り、2024年12月に軌道からの離脱成功を確認した。⁴
- 2025年にオランダの衛星システムインテグレーターのISISPACEの衛星用にADEO-Nを納入した⁵

※General Support Technology Programme

出所) 1、<https://technology.esa.int/program/general-support-technology-programme>(最終閲覧:2024年10月21日)

2、https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/06/ADEO-2(最終閲覧:2024年9月30日)

3、<https://www.hps-gmbh.com/portfolio/adeo-deployable-dragsails/>(最終閲覧:2024年10月7日)

4、<https://www.hps-gmbh.com/en/wild-ride-mission-ends-with-fireworks-of-success-for-deorbit-sail-adeo-n2/>(最終閲覧:2026年3月12日)

5、<https://www.hps-gmbh.com/en/hps-successful-delivery-of-adeo-deorbit-modules-to-isispace-nl/>(最終閲覧:2025年9月11日)

ADEO-2



出所)

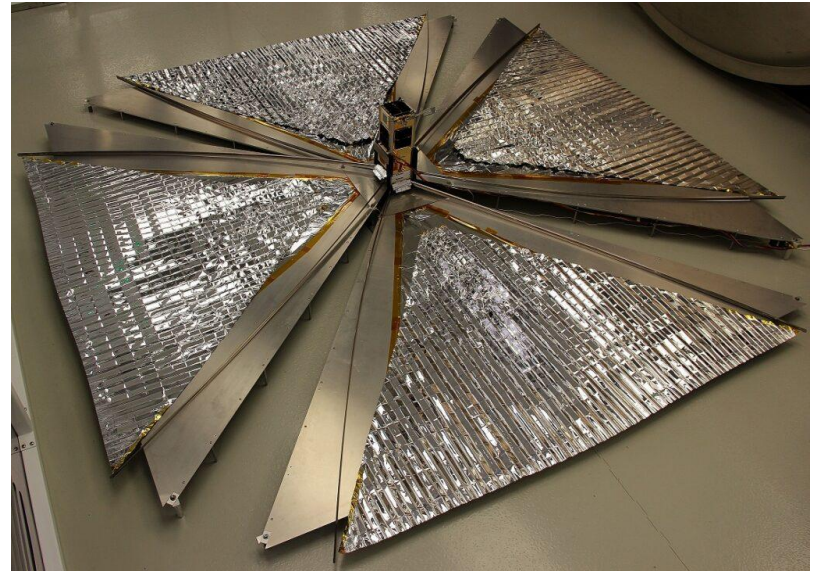
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/06/ADEO-2(最終閲覧:2024年9月30日)

【自己除去】SFL Missions(カナダ): CanX-7

概要

- SFL(Space Flight Laboratory) Missionsは1998年に設立され、小型衛星の開発・製造を行っている¹。
- CanX-7はSFL(SFL Missionsの前身)によって開発・製造されたナノ衛星である。約1m²の膜状の軌道離脱装置を4枚格納していた²。
- 2016年に打上げられ、2017年に軌道離脱装置を展開した。その後、2022年に大気圏に再突入した。¹

打上げ前の膜構造



出所)<https://sflmissions.com/canx-7/> (最終閲覧: 2025年10月3日)

出所)

1、<https://spacenews.com/space-flight-laboratory-announces-successful-deorbiting-of-nanosatellite-with-drag-sail-technology/> (最終閲覧: 2025年10月3日)

2、<https://sflmissions.com/canx-7/> (最終閲覧: 2025年10月3日)

【自己除去】NPC Spacemind(イタリア): ARTICA

概要

- NPC Spacemindは2013年に設立されたイタリアの宇宙企業であり、ナノ衛星・キューブサットや衛星部品の製造を行っている¹。
- ARTICAは最大16Uのキューブサットの軌道離脱が可能な、膜構造の軌道離脱装置である。高度650kmから5年以内に軌道離脱が可能としている。²
- 第一世代のARTICAの実証を2017年から2020年にかけて計3回実施しており、2022年と2023年には3Uと6Uのキューブサットの軌道離脱に成功している³。

膜構造の展開イメージ



出所) <https://www.npcspacemind.com/product/artica/> (最終閲覧: 2025年10月6日)

出所)
1、<https://www.npcspacemind.com/about-us/> (最終閲覧: 2025年10月6日)
2、<https://www.npcspacemind.com/product/artica/> (最終閲覧: 2025年10月6日)
3、<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/deorbit-systems/#13.2> (最終閲覧: 2025年10月6日)

【自己除去】Applied Aerospace & Defence(米国) (旧Vestigo Aerospace(米国)): Spinnaker

概要

- 太陽光を帆に受けて推力を得ることを試みた LightSail プログラムに触発されて2019年に設立されたベンチャー企業である¹。
- 軽量のアームとそれに付随した膜を展開し、抗力を生んで衛星を減速させ、大気圏に突入させるシステムを開発している²。FCCによって制定された「5年間ルール」に対応可能であるとしている²。
- NASAによるSBIRにおいて、2019年にフェーズⅠ、2020年にフェーズⅡをそれぞれ獲得し研究開発を実施した。¹
- 2022年には、製品ラインの商業製造プロセスの確立を目標として、SBIRフェーズⅡの延長契約を獲得した。¹
- 2025年3月に打上げられたAstro Digital社の衛星に装備し、軌道上で正常に展開したことが確認された。³
- 2026年2月、Applied Aerospace & Defence社がVestigo Aerospace社の買収を発表した。⁴

出所) 1、<https://techstartups.com/2022/09/12/space-startup-vestigo-aerospace-lands-375k-seed-funding-help-remove-space-debris-orbit/> (最終閲覧:2026年3月12日)

2、<https://vestigoaerospace.com/images/Spinnaker-Datasheet.pdf> (最終閲覧:2026年3月12日)

3、<https://spacenews.com/europe-funds-inflatable-satellite-drag-sail-demonstration/> (最終閲覧:2026年3月12日)

4、<https://appliedaero.space/applied-invests-in-deorbit-systems-with-acquisition/> (最終閲覧:2026年3月12日)

Spinnakerの展開イメージ



出所) <https://appliedaero.space/applied-invests-in-deorbit-systems-with-acquisition/> (最終閲覧:2026年3月12日)

【自己除去】Gama(フランス): Astrobrake

概要

- Gamaは2020年に設立されたフランスの宇宙企業であり、ソーラーセイルを用いた深宇宙探査用の推進システムや、膜構造の軌道離脱装置を開発している¹。
- Astrobrakeは膜構造の軌道離脱装置である。0.5Uから12Uまでの対象物体に合わせて、3種の軌道離脱装置を開発している。高度800kmから5年以内に軌道離脱が可能としている。²
- 6UのキューブサットGama Alphaに搭載され、2023年に高度550kmに投入されている(2025年10月現在も軌道上を周回中)³。
- 2025年10月に打上げ予定の衛星にて新たな実証実験を計画している²。

打上げ前の軌道離脱装置



出所)<https://www.gamaspace.com/astrobrake#about-astrobrake> (最終閲覧:2025年10月6日)

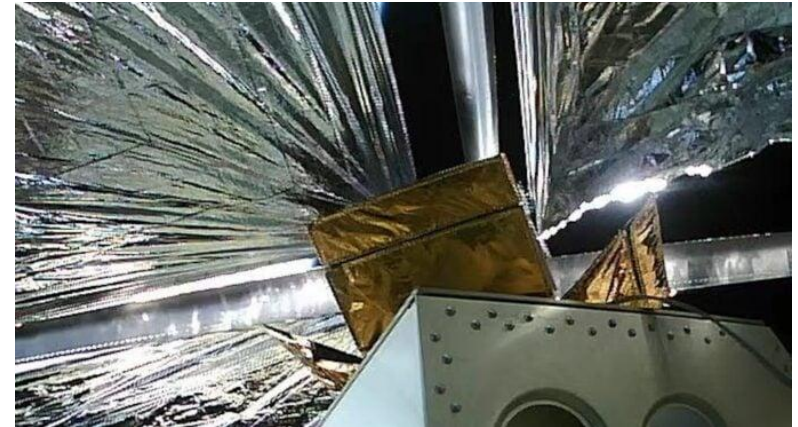
出所)
1、<https://gamaproject.notion.site/Join-Gama-17c49cf04a0a804785d6f99c9ca59ed1> (最終閲覧:2025年10月6日)
2、<https://www.gamaspace.com/astrobrake#about-astrobrake> (最終閲覧:2025年10月6日)
3、<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/deorbit-systems/#13.2> (最終閲覧:2025年10月6日)

【自己除去】SAST(中国):名称不明

概要

- 中国航天科技集团公司(CASC)の傘下である上海宇宙技術研究院(SAST)が軌道離脱システムを開発している。
- SASTは長征ロケットの開発などを行っている大手の宇宙企業である¹。
- 開発しているシステムは、10 μ m程度の薄い膜を展開し、抗力を生んでスペースデブリを減速させ、大気圏に突入させる²。
- 2022年、長征2Dロケットの上段コンポーネントに取り付けて展開された。約2年後に地球の大気圏に再突入すると予測されている¹。

SASTのシステム画像



出所) <https://gizmodo.com/china-tests-drag-sail-for-removing-space-junk-1849164131> (最終閲覧: 2024年10月2日)

出所)

1、<http://www.sast.cn/n1323886/n3333038/index.html> (最終閲覧: 2024年10月21日)

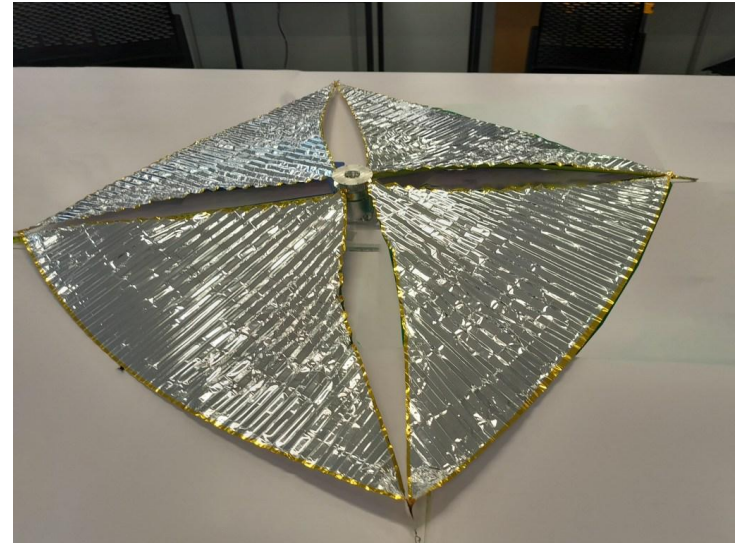
2、<https://gizmodo.com/china-tests-drag-sail-for-removing-space-junk-1849164131> (最終閲覧: 2024年10月2日)

【自己除去】Frond Space Systems(ニュージーランド): NANO dragsail, MICRO dragsail

概要

- Frond Space Systemsは2023年にオークランド大学の宇宙研究所からスピナウトして設立されたスタートアップ企業である¹。
- NANO dragsailおよびMICRO dragsailは膜構造の軌道離脱装置である。NANO dragsailは2Uから12Uまで、MICRO dragsailは超小型衛星に対応する。²
- 2024年11月にMICRO dragsailをGilmour-Space社の100kgサイズの衛星ElaraSatへの納品を完了した³。同衛星は2025年6月に打上げられ、9月に軌道上での作動を確認されている⁴。

打上げ前の軌道離脱装置



出所) <https://frond.space/products/nano-dragsail/>
(最終閲覧: 2025年10月6日)

出所)

1、<https://frond.space/about-us/> (最終閲覧: 2025年10月6日)

2、<https://www.gamaspace.com/astrobrake#about-astrobrake> (最終閲覧: 2025年10月6日)

3、<https://frond.space/frond-space-systems-delivers-micro-sail-system-and-secures-follow-on-order/> (最終閲覧: 2025年10月6日)

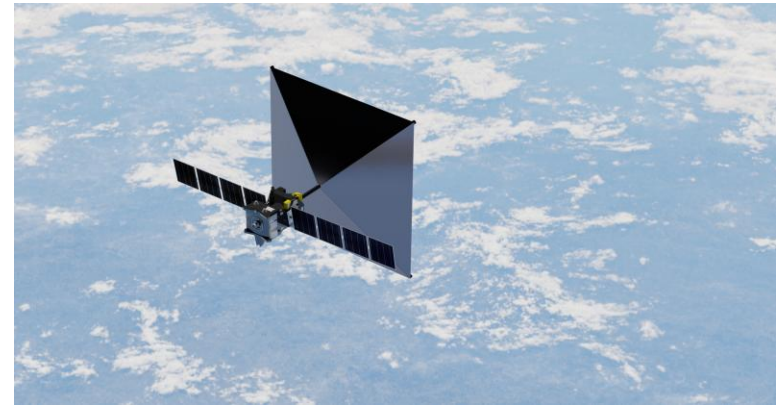
4、<https://www.gspace.com/post/gilmour-space-marks-milestone-with-australian-satellite-in-orbit> (最終閲覧: 2025年10月6日)

【自己除去】SPACEO(ポルトガル): SWIFT

概要

- SPACEO社は2023年に設立されたポルトガルのスタートアップ企業であり、運用終了後の衛星の軌道離脱装置に特化している。
- 運用を終えた衛星の自動的軌道離脱のための膜構造物(Spacecraft With Inflatable Termination: SWIFT)を開発している。
- 最大重量20kg、200×200×300mmの12Uサイズのキューブサットに対応しているが、同様の構造を拡大することにより、大型衛星や衛星コンステレーションにも対応可能としている¹。
- 2025年3月にESAから300万ユーロの低軌道実証契約(2028年までに実施)を獲得した²。
- コンソーシアムで開発を進めており、ルクセンブルクのGomSpace社がホスト衛星を提供し、フランスのSpaceLocker社が膜構造物の統合を担当し、オランダのSolidFlow社は膜面の展開時に必要となるガス発生器を開発している²。

膜構造展開後のイメージ



出所)<https://spaceo.pt/news-item/spaceo-develops-inflatable-sail-to-deorbit-end-of-life-satellites>
(最終閲覧:2025年9月11日)

出所)

1、<https://spaceo.pt/news-item/spaceo-develops-inflatable-sail-to-deorbit-end-of-life-satellites>(最終閲覧:2025年9月11日)

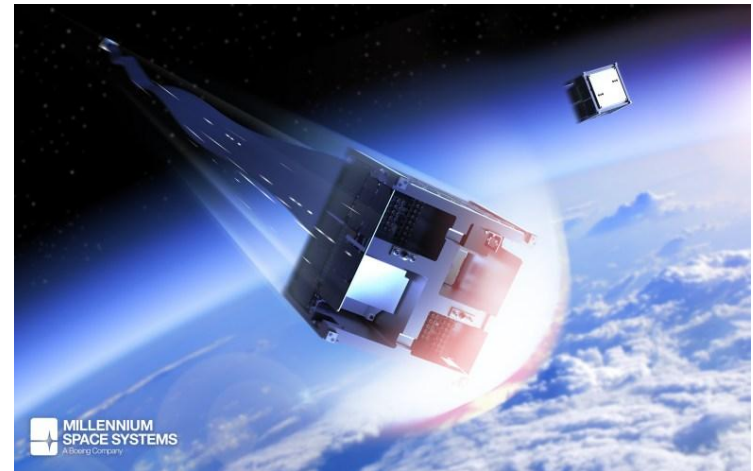
2、<https://spacenews.com/europe-funds-inflatable-satellite-drag-sail-demonstration/>(最終閲覧:2025年9月11日)

【自己除去】ARKA, (旧Tethers Unlimited(米国)): Dragracer

概要

- Tethers Unlimitedは1994年に設立された宇宙企業であり、小型衛星用の無線機やロボットアームなどを開発していた。2020年に衛星地上システムを専門とする米国企業Amegint Technologyに買収された。¹ これにより、米国の宇宙・防衛事業を手掛けるARKAグループに子会社として所属している。
- 全長70m程度のテザー状のテープを展開し、地球大気との相互作用により軌道離脱を早める²。
- 2021年にMillennium Space Systems社の小型衛星により実証実験を実施した。軌道離脱装置を装着した衛星と、同型の非装着の衛星の軌道離脱に要した期間を比較した結果、非装備の衛星は7年間に要したのに対し、装備した衛星は8カ月で大気圏再突入に成功した。²

軌道離脱のイメージ



出所) <https://spacenews.com/millennium-space-systems-demonstrates-deployable-tape-technology/>
(最終閲覧2025年10月7日)

出所)

1、 <https://spacenews.com/tethers-unlimited-acquired-by-amegint-technology/> (最終閲覧2025年10月7日)

2、 <https://spacenews.com/millennium-space-systems-demonstrates-deployable-tape-technology/> (最終閲覧2025年10月7日)

【自己除去】Aurora Propulsion Technologies(フィンランド): Aurora Plasma Brake(APB)

概要

- Aurora Propulsion Technologies社は2018年に設立されたフィンランドのスタートアップ企業である。ESAのBusiness Incubation Centreから資金提供を得ている。¹
- LEOで運用されるCubeSat用に、推進剤不要型自律的軌道離脱システムとしてAurora Plasma Brake(APB)を開発した。金属製のマイクロテザーに荷電することによって生じる電場によって減速力を生み出し、軌道離脱を実現する。²
- 2022年にAuroraSat-1に2基のPlasma Brakeのプロトタイプを搭載して打ち上げ、軌道離脱に成功した⁴。
- 2025年のSpeQtralによるSpeQtral-1ミッションと、C3SによるWisdom衛星にAPBを搭載している⁴。
- 完全自動で自律的軌道離脱を実行する自律型タイプ(APB-SA、APB-LA)を開発中である³。

APBのイメージ



APB-S-TCの外観¹



APB-Lの外観イメージ²

出所)1、

<https://cornestech.co.jp/product/aurorapt/34931>(最終閲覧:2026年3月12日)

2、

<https://aurorapt.space/wp-content/uploads/2025/05/APB-L-Datasheet-APT-SM-DS-010.pdf>(最終閲覧:2025年7月25日)

出所)

1、<https://eicscalingclub.eu/news/aurora-propulsion-technologies-interview>(最終閲覧2025年9月11日)

2、<https://aurorapt.space/wp-content/uploads/2024/10/APB-S-TC-Datasheet-APT-SM-DS-012-rev1.0.pdf>(最終閲覧2025年7月25日)

3、<https://cornestech.co.jp/product/aurorapt/34931>(最終閲覧:2026年3月12日)

4、<https://aurorapt.space/wp-content/uploads/2025/05/APB-L-Datasheet-APT-SM-DS-010.pdf>(最終閲覧:2025年7月25日)

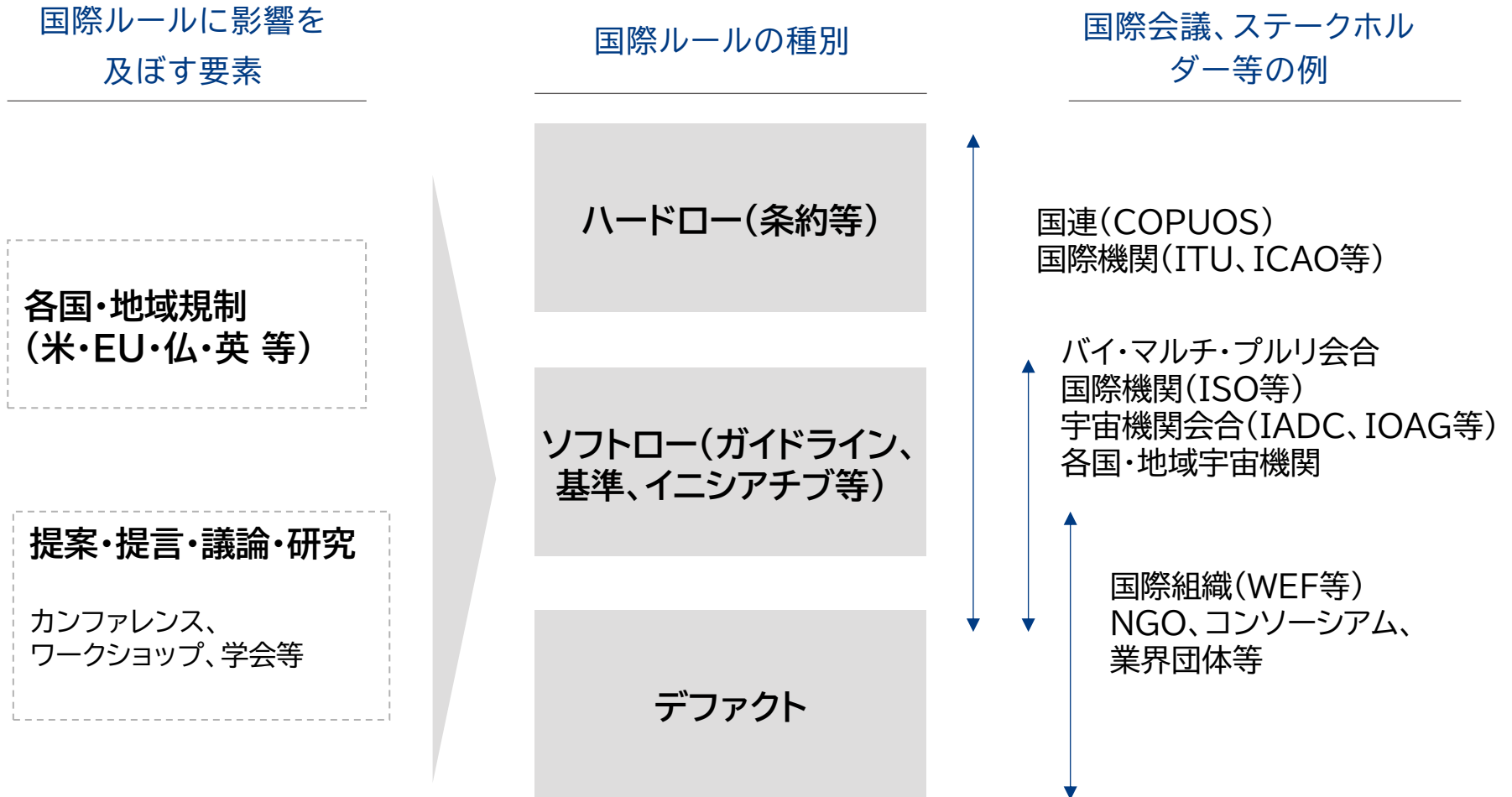
2-1-5. 宇宙交通管理等に関連するルール・標準

- 宇宙交通管理等に関連するルール・標準の概観
- ルール形成に関わる国際会議の構造イメージ
- ハードローの例
- ソフトローの例
- ISO | 衝突回避やスペースデブリに関連する規格
- AIAA | (軌道上サービスに関する4つの標準及び草案)
- 欧州 | ゼロ・デブリ・チャーターの発表
- フランス | 宇宙活動法の改正
- EU宇宙法

【概要】宇宙交通管理等に関連するルール・標準の概観

- 宇宙交通管理に関わるルール・標準を、法的拘束力の有無及び関与する主体が公的機関か否か等により、ハードロー・ソフトロー・デファクトの3種類に大別した
 - 宇宙交通管理に関わるルール・法制度は、国連等の国際機関、各国・地域、そして産業界やアカデミアが参画するコミュニティなど様々なレイヤーで取り組まれている。
 - 民間企業等によるプラクティス整理等のボトムアップの動きも近年進んでいる。
 - 2025年のルール・標準に関わる大きな動向は以下の通りである。
 - 米国では、AIAA(American Institute of Aeronautics and Astronautics, アメリカ航空宇宙学会)が2024年から2025年にかけて軌道上サービスに関する4つの標準及び標準案を発行している。ISO文書に基づき、より詳細な技術要件等を定めているもので、CONFERSに加盟する事業者の多くが支持を表明している。
 - 欧州では、2025年6月25日に欧州委員会によってEU宇宙法案が提出され、同法案にはSTMに関わる内容も含まれている。
- また、ルール・標準は、以下に示すように制定者や合意形成の違いによる整理も良く用いられている。本調査も後段の分析ではこの整理を用いることから、当該分類との関係も整理した。
 - デジュール標準(公的な標準機関による意思決定):
 - 標準化機関(国際機関や国家機関、標準化団体等)により公的な標準として制定。合意形成に時間がかかる。
 - フォーラム標準(関心のある企業同士の合意):
 - 関心のある企業・専門家が形成するフォーラムでの合意によって制定。比較的合意形成のスピードは早い。
 - デファクト形成(市場競争):
 - 市場競争の結果、事実上の標準とみなされるようになったものであり、合意形成は不要

ルール形成に関わる国際会議の構造イメージ



ハードローの例

名称等	発行主体	対象とする技術分野	内容等	
宇宙活動法	日本	<ul style="list-style-type: none"> ・ 打上げ ・ 衛星管理(含む軌道上サービス) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2018年に施工された、人工衛星の打上げや管理、損害賠償等について規定する法律 ✓ 新たな活動形態に対応するため、2023年の宇宙基本計画にて見直しが必要とされ、検討が開始されている。2025年3月には中間とりまとめ、2025年12月には最終とりまとめが公表されている。 	-
大気圏再突入に関する新ルール	米国(FCC)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自己除去(ミッション終了後の廃棄措置) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2022年に、低軌道衛星についてミッション終了後の廃棄措置(大気圏再突入等)の期限を従来の25年以内から5年以内に短縮する方針を発表した。 ✓ 米国外の事業者であっても、米国市場へアクセスする場合には5年ルールの適用対象となる。 	デジュール標準
ロケット上段に関する新ルール	米国(FAA)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自己除去(ミッション終了後の廃棄措置) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 民間打上げ事業者に対して打上げ後のロケット上段等の軌道上デブリの処分について、30日以内に、①制御された廃棄、②廃棄軌道への移動、③地球脱出軌道への移動、を行うことを選択する、あるいは、④ミッション完了後5年以内のデブリの回収、⑤定められたリスクの基準を満たす場合は、25年以内の大気圏再突入を選択することを求めるもの(今後、正式公表予定) 	デジュール標準
宇宙活動法	フランス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自己除去(ミッション終了後の廃棄措置) ・ 軌道上サービス ・ 衝突回避 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ コンステレーションや軌道上サービスに特化した規制を導入した。 ✓ 廃棄確率についてはIADCやISOに対して、基数の多いコンステレーションの運用後の軌道上寿命についてはFCCに対して、それぞれより厳しい基準を設けている。 ✓ マヌーバ能力を持たない衛星は高度600km以上の軌道に投入しないこととされた。 	-
宇宙活動関連法	オーストラリア	<ul style="list-style-type: none"> ・ 打上げ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 打上げ許可の申請にはデブリ軽減戦略を加えなければならないと規定されている。 ✓ 打上げ事業者が作成するデブリ軽減戦略について、国際的に認められたガイドラインまたは基準に基づいて作成すること、依拠したガイドラインまたは基準を明示すること、計画した軽減措置を記述することが求められている。 ✓ 宇宙物体が引き起こす損害への責任や宇宙物体登録の維持について定めている。 	-
宇宙産業法	イギリス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 打上げ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2023年の、英国下院の科学・革新・技術特別委員会による「英国宇宙戦略と英国衛星インフラ:打ち上げに関するライセンス制度の見直し」では、免許付与手続きの合理化等について記載されており、打ち上げライセンスの発行に関わる多数の規制機関間の手続きを改善した。 ✓ 英国国内での宇宙活動を規定し、打ち上げ、運用、及び宇宙空間でのその他の活動に関する免許制度を設ける。また、宇宙港の設置や運営に関する規定も含まれている。 	-

ソフトローの例(1/2)

名称等	国際機関・国・地域	対象とする技術分野	内容等	
国連スペースデブリ低減ガイドライン	UN COPUOS	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ放出・破砕の防止 ・自己除去 ・無害化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 放出されるデブリ数の最小化、ミッション終了後の残留エネルギー除去、低軌道物体の除去、運用が終了した静止軌道衛星の上方離脱などが求められている。 ✓ 詳細についてはIADCスペースデブリ低減ガイドラインを参照することが推奨されている。 	デジュール標準
宇宙の長期的持続可能性ガイドライン	UN COPUOS	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ放出・破砕の防止 ・自己除去 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国家及び国際的な政府間機関に対して、スペースデブリ低減の基準またはガイドラインを満たして宇宙物体が製造者や運用者によって設計されるよう奨励すべきとしている。 	デジュール標準
スペースデブリ低減ガイドライン	IADC	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突回避 ・デブリ放出・破砕の防止 ・自己除去 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 衛星の運用終了後に破裂をもたらす可能性のあるエネルギーは速やかに枯渇させるべきこと、低軌道の物体は直接再突入か25年以下の軌道に投入されるべきことが記載されている。 ✓ 同ガイドラインの参考文書であるSupport to IADC Guidelinesでは、再突入に必要な推進剤の量、再突入の安全性を評価するパラメータ等について記載されている。 ✓ 直近では2025年1月に改訂され、ラージコンステレーションに関する事項が追加された。 	フォーラム標準
ISO 26900	ISO	衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙機の軌道情報の伝達に使用するためのメッセージフォーマットを規定している。 	デジュール標準
ISO 19389	ISO	衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙物体の接近情報に関するメッセージフォーマットを規定している。 	デジュール標準
ISO 24113	ISO	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ放出・破砕の防止 ・自己除去 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙機器や衛星が宇宙空間で運用される際に生成されるデブリを最小化することを目的とし、設計段階でデブリが最小限になるような要件の提供、運用終了後の衛星の軌道変更及び衛星廃棄についての手順などが記載されている。 	デジュール標準
ゼロ・デブリ・チャーター	ESA (19か国と150以上の組織・企業が署名)	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ放出・破砕の防止 ・衝突回避 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本理念として、意図しないデブリの発生は最小化されるべきこと、デブリによる悪影響を可能な限り軽減すべきこと、デブリの数やその影響の理解向上のためには協調的な取り組みを継続する必要があることを掲げている。 ✓ 衝突や粉砕によって生じるデブリの発生確率や低軌道における宇宙物体に対する回避行動について規定されている。 	フォーラム標準
Zero Debris Technical Booklet	Zero Debris community(ESA含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・デブリ放出・破砕の防止 ・衝突回避 ・自己除去 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ゼロデブリ達成のための技術目標として、あらゆる規模の新しいデブリの放出を防ぐ、衝突や分解によるデブリの発生を防ぐなどの6項目を設定している。 ✓ その上で、ゼロデブリ達成のために必要となる、耐久性がありミッション終了後安全に廃棄可能な衛星、打ち上げおよび宇宙機の展開時にデブリが発生しない手段などの4つの技術開発を記載されている。 	フォーラム標準

ソフトローの例(2/2)

名称等	国際機関・国・地域	対象とする技術分野	内容等	
Spacecraft Conjunction Assessment and Collision Avoidance Best Practices Handbook	NASA	衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 人工衛星や宇宙機の運用人・所有者を主な対象とし、宇宙機の接近遭遇評価および衝突回避に関するベストプラクティスを宇宙機のライフサイクルに沿って整理している。 	デジュール標準
Spacecraft Conjunction Analysis and Collision Avoidance for Space Environment Protection	NASA	衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NASAの宇宙プログラム・プロジェクト・宇宙機に適用される、衝突回避に関連する最小限の要求と関連する運用プロトコルを設定することを目的とし、NASAの宇宙プログラム・プロジェクト・宇宙機と、それらの接近分析や衝突回避を管轄する担当機関との間で行われる、文書策定や接近分析や衝突回避の実施に必要な手順や技術的要求について記載されている。 	デジュール標準
軌道上サービスを実施する人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン	日本 (内閣府)	軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 軌道上サービス(OOS)を実施する人工衛星の許可申請において、安全性・正当性・透明性を確保するための技術的・運用的要件を示している。 ✓ 対象物体への権限確認、衝突回避、異常時対応、セキュリティ体制整備などを含む詳細な指針が定められており、事業者はこれに基づき許可申請・運用計画を策定する必要がある。 	デジュール標準
人工衛星等との衝突防止に係るガイドライン	日本 (内閣府)	衝突回避	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 軌道変更能力を持つ人工衛星を対象に、他の人工衛星やスペースデブリとの衝突回避のための設計・運用上の配慮や体制整備の在り方を具体的に示した文書である。 ✓ 「宇宙活動法」第20条に基づく管理許可を受ける人工衛星について、衝突リスクの評価、判断基準の設定、運用体制、情報共有、リスク緩和手段などが段階的に整理され、申請時に提示すべき内容も明示されている。 	デジュール標準

デファクトの例

名称等	国際機関・国・地域	対象とする技術分野	内容等	
(AIAAが発行する4つの標準及び草案)	AIAA(米国)	軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ISO24330(Rendezvous and Proximity Operations and On-Orbit Servicing Programmatic Principles and Practices)に基づき、燃料補給や宇宙機識別マーカ等に関するより詳細な技術要件等を定めている。 ✓ CONFERSに加盟する事業者の多くが支持を表明している。 	フォーラム標準
Rendezvous and Proximity Operations (RPO) and On Orbit Servicing (OOS)	CONFERS	軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> ✓ RPOおよび軌道上サービス(OOS)関係者に対して、ミッション全体の計画や管理に関するレベルでの指針となる原則およびベストプラクティスを定めている。 ✓ 一部の項目はISO24330として認可されている。 	フォーラム標準
Best Practices for the Sustainability of Space Operations	SSC	<ul style="list-style-type: none"> • 打上げ • 衝突回避 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙活動の長期的持続可能性をさらに強化・確保するために、設計・飛行のすべての段階、軌道の種類、宇宙機の形状、ライフサイクルの各段階などについての40以上の具体的なベストプラクティスを収録している。 	フォーラム標準
Space Safety Compendium	Space Safety Institute	<ul style="list-style-type: none"> • SSA • 軌道上サービス 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 規制当局およびその他の政策決定者と宇宙事業者を対象とし、宇宙の安全の確保にとって重要かつ優先度の高い6分野(SSA・宇宙での運用の保全・打上げと再突入・サイバーと周波数・有人宇宙飛行の安全性・シスルナ空間における安全性)について、問題となるトピックや推奨事項を整理し、その中でラージコンステレーションや衛星の打上げと廃棄における衝突などに関する44の勧告が記載されている。 ✓ 2024年版では、主に「シスルナ空間の安全性」に関する項目が追加され、人材育成関連の勧告は減少し、代わりに再突入リスクモデルに関する勧告などが新たに盛り込まれている。 	フォーラム標準
Space Operations Sustainability (SOS) Working Group – Issue B	IOAG (Interagency Operations Advisory Group)	<ul style="list-style-type: none"> • 衝突回避 • 軌道上サービス 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ オペレーター、規制当局、設計者等の関係者を対象とし、スペースデブリ、周波数干渉、EOLなどの分野における、宇宙運用の持続可能性に関する新たなリスクへの対応策や具体的な勧告をまとめている。 	フォーラム標準

ISO | 衝突回避やスペースデブリに関連する標準規格

概要

- 国際標準化機構(ISO)は、国際取引の円滑化を目的として、各種製品やマネジメントサービスの国際的な規格を制定している非政府機関である。
- TC20/SC13において宇宙分野のデータと情報転送システムに関連する標準化を、TC20/SC14においては、宇宙システム・運用分野における、設計・製造、試験、運用システム、維持管理、材料プロセス、デブリ低減、宇宙利用サービスの標準化を取り扱っている。¹
- SC14のWG3では運用及び地上サポートの分野を取り扱っており、衝突回避のためのリスクの予想、アクション、データ共有についての標準の策定を行っている。また、SC14のWG7は軌道上デブリ調整の分野を取り扱っており、デブリ削減に関する国際規格の制定支援、及び体系化及び国際間調整に関する標準を定めている。²

具体的な規制内容

- TC20/SC13では、ISO 26900にて宇宙機の軌道情報の伝達に使用するためのメッセージフォーマットを、ISO 19389にて宇宙物体の接近情報に関するメッセージフォーマットを規定している。³
- TC20/SC13が策定したISO 26900は2024年に改定され、物体の接近状態が衝突につながる確率の計算方法、軌道上物体の衝突回避ワークフローについて記載された。⁴
- TC20/SC14が策定したISO 24113では、宇宙機器や衛星が宇宙空間で運用される際に生成されるデブリを最小化することを目的とし、設計段階でデブリが最小限になるような要件の提供、運用終了後の衛星の軌道変更及び衛星廃棄についての手順などが記載されている。
- 2025年9月時点では、改訂案が検討されているとのこと(改訂箇所は不明)。⁵

出所)

- 1、https://www.sjac.or.jp/pdf/std/std_uchu/20150409.pdf(最終閲覧:2025年2月13日)
- 2、https://www.sjac.or.jp/pdf/std/std_uchu/20230906.pdf(最終閲覧:2025年2月13日)
- 3、<https://sma.jaxa.jp/TechDoc/Docs/JAXA-JERG-2-400-HB201G.pdf>(最終閲覧2025年9月4日)
- 4、<https://www.iso.org/standard/85529.html>(最終閲覧2025年9月4日)
- 5、<https://www.iso.org/standard/92664.html>(最終閲覧2025年9月4日)

AIAA | (軌道上サービスに関する4つの標準及び草案)

AIAAについて

- AIAA(アメリカ航空宇宙学会)は米国内の航空宇宙関連の標準を提案する機関であり、CONFERSがまとめた業界内でのベストプラクティス等の合意を標準化文書としてまとめる役割を担う。
- ANSI(米国規格協会)に認定されると、米国内での標準として政府調達等において参照される場合がある。
- ISO24330においてCONFERS文書の内容が取り込まれたように、AIAAによる標準が国際標準に取り込まれる可能性はある。

出所)

<https://aiaa.org/about-aiaa> (2025年9月9日閲覧)

<https://aiaa.org/get-involved/committees-groups/AIAA-Committees-on-Standards/#aerospace-design-and-structures> (2025年9月9日閲覧)

AIAA | (軌道上サービスに関する4つの標準及び草案)(続き)

具体的な規制内容

- AIAAはCommittee on Standards for On-Orbit Servicing and Assembly (OSA CoS)を内部に設立しており、2024年から2025年にかけて計4つの標準及び標準案を発行している。
 - いずれもISO24330(Rendezvous and Proximity Operations and On-Orbit Servicing Programmatic Principles and Practices)に基づき、より詳細な技術要件等を定めているもので、CONFERSに加盟する事業者の多くが支持を表明している。
1. Rendezvous and Proximity Operations(RPO) and On Orbit Servicing(OOS)-Refueling¹
 - 宇宙での燃料補給に関する設計・試験・運用の基準を記載している。2024年2月発行。
 2. CONFERS Recommendations for Best Practices, Functional Requirements, and Norms for Prepared Free-Flyer Capture and Release²
 - 軌道上でのドッキングやロボットアームによる、フリーフライヤーの捕獲について、ベストプラクティス(アストロスケール社のELSA-dミッションやISSロボットアームによる捕獲を含む)や設計・技術要件・運用手順を記載している。2025年4月までパブリックレビューを行い、最終版発行に向けた作業段階。
 3. Rendezvous and Proximity Operations(RPO) and On Orbit Servicing(OOS)-spacecraft Fiducial Markers³
 - RPOやOOSにおいて利用される宇宙機識別マーカースの機能や物理仕様に関する要件を記載している。2025年4月までパブリックレビューを行い、最終版発行に向けた作業段階。
 4. Best Practices, Functional Requirements, and Norms for In-space Servicing, Assembly, and Manufacturing(ISAM) Power and Data Interfaces⁴
 - 軌道上サービスや組み立て・製造(ISAM)における電力・データインターフェースに関するベストプラクティスや技術要件を記載している。2025年3月に草案を公開し、同年12月に最終版を公開予定。

出所)

- 1、https://cdn.ymaws.com/satelliteconfers.org/resource/resmgr/confers_publications/s-157_confers-recommendation.pdf(2025年9月9日閲覧)
- 2、https://cdn.ymaws.com/satelliteconfers.org/resource/resmgr/confers_publications/confers_recommendations_for_.pdf(2025年9月9日閲覧)
- 3、https://cdn.ymaws.com/satelliteconfers.org/resource/resmgr/confers_publications/confers-spacecraft-fiducial-.pdf(2025年9月9日閲覧)
- 4、https://cdn.ymaws.com/satelliteconfers.org/resource/resmgr/confers_publications/aiaa-proposal-form-and-confe.pdf(2025年9月9日閲覧)

欧州 | ゼロ・デブリ・チャーター

概要

- 2023年6月にESAがゼロ・デブリ・チャーターを策定することを発表した。策定段階からAirbus Defence and Space, OHB, Thales Alenia Spaceなどの欧州企業をはじめとして多くの民間企業を巻き込んだ形で検討された。¹
- 2023年11月に内容が発表され、2025年9月時点で19か国と150以上の組織が署名している²が、法的拘束力を持たない合意である。

具体的な規制内容³

- 基本理念として、意図しないデブリの発生は最小化されるべきこと、デブリによる悪影響を可能な限り軽減すべきこと、デブリの数やその影響の理解向上のためには協調的な取り組みを継続する必要があることを掲げている。
- 各自の能力や制約の範囲内で、以下のような共同目標に貢献することを求めている。
- 衝突や粉砕によってデブリが生じる可能性を軌道上に存在する全期間にわたって1/1000以下にすること、低軌道衛星は運用終了後99%以上の成功率で除去されるべきこと、再突入に伴う事故の可能性を1/10000以下にすること
- 低軌道では最低でも5cm、静止軌道では最低でも20cmの大きさの物体について、回避行動を決定するため正確で即時性のある情報にアクセスできること

出所)1、<https://esoc.esa.int/esa-announces-zero-debris-charter-initiative> (最終閲覧:2024年10月22日)

2、https://www.esa.int/Space_Safety/Clean_Space/The_Zero_Debris_Charter(最終閲覧2025年9月4日)

3、https://esoc.esa.int/sites/default/files/Zero_Debris_Charter_EN.pdf (最終閲覧:2024年10月22日)

フランス | 宇宙活動法の改正

概要

- 2024年7月、French Space Operation Act及びその技術的履行規則であるT4SCが改定された。
- コンステレーションや軌道上サービスに特化した規制を導入した。
- また、廃棄確率についてはIADCやISOに対して、基数の多いコンステレーションの運用後の軌道上寿命についてはFCCに対して、それぞれより厳しい基準を設けている。

具体的な規制内容

- ミッション終了後の廃棄の信頼性を90%以上とすることが定められた。また、コンステレーション衛星の場合は基数に応じて信頼性要件が上昇し、最大で95%以上とすることが定められた。
- 単独で運用される衛星が廃棄後軌道に残存する期間は、運用フェーズが1年未満のシステムについては3年、運用フェーズが1年を超えるシステムについては運用フェーズ期間の3倍または25年のうち短い期間とされた。
- マヌーバ能力を持たない衛星は高度600km以上の軌道に投入しないこととされた。
- 軌道上サービスについてはミッションフェーズごとに技術要件が定められ、意図的に発生させた1mm以上のデブリは回収することなどが記載されている。
- コンステレーションの各衛星については、サービス終了後軌道に残存する期間は1,000機未満のコンステレーションについては5年を、1,000機以上のコンステレーションについては2年を上限とした。

EU宇宙法 | 概要(1/2)

● EU宇宙法とは

- 宇宙における「安全性」・「レジリエンス」・「持続可能性」を確保しながらEUの宇宙産業の競争力を高めることを目的とし、2025年6月25日に欧州委員会によって法案が提出された¹
- 2025年12月5日には、法案初案の妥協案(Presidency compromise text)がEU理事会より公開された²
- 今後、欧州議会と理事会によって交渉・精査され、2030年1月1日から適用される見込みである
- 法案では、EU区域内の宇宙サービスに関する認可・登録制度や、衝突回避に関する軌道交通管理規則などの調和的なルールを定めている

● EU宇宙法の全体構成

条項	概要
TITLE I 一般規則 (第1条～第5条)	<ul style="list-style-type: none"> ● 本規則はEU事業者だけでなく、EU域内でサービスを提供する第三国宇宙事業者※、国際機関も対象としているほか、GEOより外側の軌道、防衛目的の物体、2030年1月1日以前に打ち上げられたもの等には適用されない ● EU域内における宇宙ベースデータおよび宇宙サービスの自由移動の原則を確立
TITLE II 宇宙活動の認可および登録 (第6条～第27条)	<ul style="list-style-type: none"> ● EU区域内で宇宙活動を実施する際は、技術的要件等について欧州宇宙連合宇宙計画機関(以降、機関)等の認可を得て、EU宇宙物体登録簿(URSO)に登録する必要がある ● コンステレーションの打ち上げについては、簡易認可手続きを導入 ● 第三国事業者や国際機関がEU区域内でサービスを提供する際には、追加で機関から発行されるe-証明書が必要となる
TITLE III ガバナンス (第28条～第57条)	<ul style="list-style-type: none"> ● 各加盟国レベルでは、宇宙事業者の本規則への適合可否を判断するため、国家主管当局(NCA)および宇宙活動用適格技術機関(QTB)を設置し、機関に通知する必要がある ● EUレベルでは、機関が委員会を設置し、各国の通知に基づき、URSO、e-証明書等を設置・管理する

※「第三国の宇宙事業者」とは、第三国に設立された宇宙事業者で、以下のいずれかを行うものをいう

- EU宇宙事業者および保有する宇宙アセットに関連して、宇宙サービスを提供するもの
- 宇宙ベースのデータの一次提供者として自ら活動するもの
- 宇宙ベースのデータの一次提供者に対してサービスを提供するもの

出所)

1、https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/0adeee10-af7a-4ac1-aa47-6a5e90cbe288_en?filename=Proposal-for-a-Regulation.pdf(最終閲覧:2025年7月1日)

2、<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16437-2025-INIT/en/pdf>(最終閲覧2026年2月24日)

EU宇宙法 | 概要(2/2)

● EU宇宙法の全体の構成(続)

条項	概要
TITLE IV 技術要件(続) (第58条～第104条)	<ul style="list-style-type: none"> 打ち上げ事業者は打上・再突入時の衝突リスク低減のため、飛行安全システムを設置しデブリ管理措置を実施する必要がある 宇宙機事業者は、宇宙機の追跡可能性を確保するとともに、衝突回避サービスを契約し、再突入調整を行い、一定の機動能力を維持する必要がある 宇宙事業者は、デブリに関する要件を満たし続けることで、ミッション延長を申請できる 宇宙事業者は、設計から廃棄までライフサイクル全体を通じて、デジタル(サイバーセキュリティ)/物理両面のあらゆるリスクを管理する必要がある 重大サイバーインシデントの監視・対応および他のEUサイバー枠組みとの整合を目的に、EU宇宙強靱性ネットワーク(EUSRN)を設置 宇宙事業者は、設計・製造・運用・終末期を含む宇宙ミッションライフサイクル全体で環境フットプリント(EF)(自然環境に及ぼす影響を定量的に示したものを)を算出する必要がある 宇宙機は委員会の定めた設計原則に従い、ドッキング等のサービスを受けられるようなインターフェースを設置しなければならない 「優先権(right of way)」アプローチ(有人機の保護を最優先、コンステレーション衛星の一部かどうか、等を考慮)を導入し、複数の機動可能な宇宙機間の衝突回避マヌーバ実施方法を規定
TITLE V 同等性決定、国際協定および国際機関に関する規則(第105条～第108条)	<ul style="list-style-type: none"> 委員会は第三国宇宙事業者・国際機関へ同等性決定(第三国の法制度が本規則の要求事項と同等と認めること)を付与することができ、EUが所有する宇宙資産を利用する際の協定の枠組みについて規定
TITLE VI 支援措置 (第109～第113条)	<ul style="list-style-type: none"> スタートアップ、スケールアップ、中小企業等が本規則に適合することを支援する 安全性・強靱性・環境持続可能性に関して本規則を上回る要件を自発的に満たそうとする宇宙事業者に対し、「EU宇宙ラベル」を授与する
TITLE VII 経過および最終規定 (第114条～第120条)	<ul style="list-style-type: none"> 本規則はEU官報への公布20日後に発効し、2030年1月1日より適用開始される その他、移行期間、見直し時期についても規定

EU宇宙法 | STM関連部分の概要

● TITLE IV 技術要件の中で記載されている、STMに関連する内容の概要は以下の通り

● 打上機

- 打上機の情報をリアルタイムで把握できる追跡装置や自動作動型の無力化装置を搭載する必要がある
- デブリ発生を防ぐため、LEO・MEO・GEOそれぞれにおけるミッション終了後の廃棄領域について規定（デオービット期間は今後定められる実施規則(implementing act)に規定される）

● 宇宙機

- 宇宙機は追跡可能性や衝突回避に関する技術的手段を有する必要がある（衝突回避については、EU SSTの提供する衝突回避サービスに加入する必要がある）
- 打上機同様、LEO・MEO・GEOそれぞれにおけるミッション終了後の廃棄手順・領域について規定（デオービット期間は今後定められる実施規則(implementing act)に規定される）
- 主管当局に延長申請を行い、デブリ低減に係る要件を引き続き満たしていれば、ミッション期間を延長できる
- 宇宙機は光害・電波干渉を抑制するための対策を講じる必要があり、宇宙機の可視等級は7等級以上にする（特に、コンステレーション衛星において対策が有効でない場合、技術的研究開発を伴う対策を要求される）

● ISOS(in-space operations and services)

- 事前試験の実施やISOSのオペレーションに関する規定など、ISOS事業者が遵守すべき要件を規定
- 重量が200kg以上の宇宙機は、ISOSを受けるための最低限の技術的能力を備える必要がある

● 軌道交通ルール

- 衝突回避行動を実施する際に考慮すべき原則や「優先航行権(right-of-way)」ルールについて規定

EU宇宙法 | STM関連部分の詳細(1/5)

● TITLE IV 技術要件の中の、STMに関連する内容を下表に抽出・整理

条項		概要
Chapter 1 宇宙における安全性と持続可能性	Section1 打上機	<p>第58条 打上安全計画</p> <p>第59条 打上および再突入時の安全および調整措置</p>
		<p>第60条 飛行安全システム</p>
		<p>第61条 打ち上げ機に関する宇宙デブリの軽減</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 打上事業者はデブリ等との衝突リスク軽減措置として以下を実施する必要がある ● 航空航行业務提供機関(ANSP) との空域閉鎖に係る調整と海事当局と航行警報についての調整を実施する ● 打ち上げ衝突回避評価(LCOLA)を実施し、それに基づいて打ち上げ閉鎖ウィンドウ(打上や再突入の際に特定の空域や海域を一時的に立ち入り禁止にすること)を設定する ● 打上および再突入時の人身被害リスクを算定する ● 上記の内容を含む打上安全計画を主管当局(NCA)に提出する必要がある
		<ul style="list-style-type: none"> ● 打上機は位置および速度をリアルタイムで監視可能とする追跡装置、打ち上げ機の性能データを監視するためのテレメトリ送信システム(遠隔地のデータを収集し通信回線を用いて地上に送信するシステム)を搭載する必要がある ● 打上事業者は再突入時や軌道到達失敗時の故障シナリオ等を考慮したリスク評価を実施する必要がある ● 打上事業者は自動作動する無力化(残留エネルギーの無害化)システムを搭載する必要がある
		<ul style="list-style-type: none"> ● 打上事業者は通常運用中のデブリの発生を防ぐため、以下の対策を講じる必要がある ● 単一宇宙機の打上げの場合、発生するデブリの総数は1を超えてはならない(複数機の打上の場合は2を超えてはならない) ● GEOに投入された打上機は少なくとも100年間、GEO保護領域の外に留まらなければならない ● MEO、LEOに投入される宇宙機についての廃棄領域やデオービット期間に関する要件は今後規定する ● 打上事業者は事故による粉砕を回避するため、以下の措置を講じる必要がある ● ミッション終了後に無力化されるよう設計する ● 粉砕確率や衝突によるデオービット期間のリスクの継続時間と閾値については今後規定する ● 寿命終了時の廃棄について、以下の措置を講じる必要がある ● LEOから廃棄する場合は、可能であれば制御再突入を行い、制御再突入が不可能であり、非制御再突入に伴う人的被害リスク(算出手法は今後規定)が低い場合には崩壊軌道(大気抵抗等の影響で最終的に再突入する軌道)へ投入する(ミッション終了後のデオービット期間は今後規定) ● MEOから廃棄する場合は、重要な軌道に干渉しない軌道に投入する(ミッション終了後のデオービット期間は今後規定) ● GEOから廃棄する場合は、重要な軌道に干渉しない軌道に投入し、少なくとも100年間、GEO保護領域の外に留まらなければならない

EU宇宙法 | STM関連部分の詳細(2/5)

● TITLE IV 技術要件の中の、STMに関連する内容(続)

条項		概要	
Chapter 1 宇宙における安全性と持続可能性	Section2 宇宙機	第62条 研究および教育目的の宇宙機に対する特別制度	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究および教育目的の宇宙機は以下の要件が免除される ● 66条(宇宙機の機動性)(位置特定が可能で、軌道能力がないことを説明できる場合) ● 72条(光害および電波の干渉抑制)(軌道上の滞在期間が1年未満の場合)
		第63条 追跡可能性	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機は追跡可能性および軌道位置の正確な決定を可能とする技術的手段を有する必要がある
		第64条 衝突回避 第66条 宇宙機の機動性	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は、特定の衝突回避サービス(EU SST衝突回避サービス)に加入する必要がある ● 宇宙機事業者は以下の要件等を遵守する必要がある ● 衝突回避(CA)マヌーバを実行できる能力を有する ● 運用軌道に関する情報をCAサービス事業者に提出する ● 宇宙機運用者は適切な運用体制を24時間365日維持する(LEOの場合:8時間以内に応答可能な体制、MEOおよびGEOの場合:24時間以内に応答可能な体制)
		第65条 再突入サービス	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は再突入の際に必要な情報をEU SSTに共有するとともに、関係当局および航空交通サービス提供者と他の交通サービスの影響を最小限にするために必要な調整を行う
		第67条 連絡先リストデータベース	<ul style="list-style-type: none"> ● 機関は高関心イベント(HIE)アラートのための連合連絡先リストデータベースを設置・管理し、宇宙機事業者は衝突回避および再突入活動を担当する職員の連絡先を登録する ● 上記のデータベースをCAサービス事業者とも共有する
		第69条 軌道選定	<ul style="list-style-type: none"> ● 打ち上げ前に、宇宙機事業者は軌道の選定理由を分析し、その理由を明示する必要がある ● 軌道選定方法や混雑度算出手法は今後欧州委員会が策定
		第70条 宇宙デブリの低減	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は事故による粉砕を回避するため、以下の措置を講じる必要がある ● 宇宙機に搭載するエネルギー源、電気系・推進系・加圧系など各サブシステムの特性を考慮し、デオービット期間リスクを抑える設計とする ● 無力化の際は、搭載エネルギー源による粉砕リスクを制限するため、冗長機能を備えることや1mm超のデブリは発生させない等の原則に従う

EU宇宙法 | STM関連部分の詳細(3/5)

● TITLE IV 技術要件の中の、STMに関連する内容(続)

条項			概要
Chapter 1 宇宙における安全性と持続可能性	Section2 宇宙機	第70条 宇宙デブリの低減	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は寿命終了時の廃棄について、以下の措置を講じる必要がある ● LEOにおける宇宙機の廃棄については以下のような優先順位で規定 <ol style="list-style-type: none"> ①制御再突入 ②(人的被害リスクの低い場合)準制御再突入 ③(人的被害リスクの低い場合)非制御再突入 ④軌道崩壊による自然再突入 ⑤重要軌道と干渉しない軌道へ投入 ⑥ISOS(In-Space Operations and Services)による廃棄 ● LEOにおけるミッション終了からのデオービット期間に関する要件は今後規定する ● LEOから再突入する際は、「demise設計(大気圏で完全燃焼させる設計)」を考慮する ● LEOから再突入する際は、再突入サービス(再突入の追跡、着地点の予測等を含む)に登録する必要がある ● MEOから廃棄する場合は、重要な軌道に干渉しない軌道に投入する(ミッション終了後のデオービット期間は今後規定) ● GEOから廃棄する場合は、重要な軌道に干渉しない軌道に投入し、少なくとも100年間、GEO保護領域の外に留まらなければならない ● 宇宙機事業者は、以下を含む障害対応計画を策定する必要がある <ul style="list-style-type: none"> ● リスクが最も低い代替的な廃棄方法を選定するための基準 ● 安全な再突入の確保、無力化するための措置 ● ISOS事業者による廃棄手法・可能性を評価する廃棄計画 ● 宇宙機事業者は、設計の信頼性確保のため、宇宙機およびその構成部品・サブシステムの設計および製造は試験、分析等で実証する必要がある ● 宇宙機事業者は、品質および信頼性管理の運用手順(タンク圧やバッテリーの温度等のサブシステムのパラメーターを監視するシステム等を導入することを規定)を策定する必要がある ● 宇宙機事業者は、上記の内容を含む、デブリ軽減計画を策定する必要がある

EU宇宙法 | STM関連部分の詳細(4/5)

● TITLE IV 技術要件の中の、STMに関連する内容(続)

条項		概要	
Chapter 1 宇宙における安全性と持続可能性	Section 2 宇宙機	第71条 ミッションの延長	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は、ミッション終了予定日の3か月前までに、主管当局に延長申請を行い、当局は宇宙デブリ低減に関する要件(70条)を引き続き満たしていれば延長を承認する
		第72条 光害および電波の干渉抑制	<ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙機事業者は、天文観測への影響を最小限に抑えるため、光害および電波干渉を抑制するための適切な技術的および運用的措置を含む計画を策定する必要がある ● 宇宙機の可視等級(明るさ)は、反射防止コーティングや遮蔽の設計要件を含め、常に7等級以上である必要がある
		第73条 コンステレーション	<ul style="list-style-type: none"> ● コンステレーション事業者は、以下の措置を講じる必要がある <ul style="list-style-type: none"> ・ 各衛星が推進システムを備え、かつ地上局にて毎日衝突リスクを評価・検出する ・ 衝突回避戦略の一環として、自動化プロセスが実施できるよう、宇宙機を設計・運用する ・ 衝突リスクを最小化する軌道を考慮する ・ 光害および電波干渉の制限を確保するための特別な措置を講じる(有効性がないと判断された場合は、技術的解決するための研究開発を実施する必要がある) ● コンステレーション事業者は、以下を考慮する必要がある <ul style="list-style-type: none"> ・ 軌道選定に際して、全衛星配置後の軌道混雑への影響、既存のコンステレーションとの重複回避等を考慮する ・ 「Dead-on-arrival」衛星(運用開始前に使用不能)による影響を軽減するため、短時間で再突入可能な軌道かつ衝突リスクが限定的な軌道を選定する ・ ミッション終了後のデオービット期間について、70条が規定する期間よりも短い必要がある ● コンステレーション事業者は、設計・運用段階において、衝突回避に必要な大量の推進剤の確保を示す計画を主管当局に提出する必要がある

EU宇宙法 | STM関連部分の詳細(5/5)

● TITLE IV 技術要件の中の、STMに関連する内容(続)

条項	概要
Chapter 4 宇宙空間内オペレーションおよびサービス(ISOS)	第101条 ISOS <ul style="list-style-type: none"> ● ISOS事業者は、2034年1月1日以降に以下の要件を遵守する必要がある ● 「安全領域(セーフゾーン)」を定義し、その領域内に第三者の存在が確認された場合には、ISOS実施を中止する ● 衝突リスクをリアルタイムで評価し、必要に応じて自動回避機動を実行できる能力を有する ● 事前にISOS関連のシステムの適正確認をするため、軌道上で試験を実施する ● 重量が200kg以上の宇宙機は、宇宙空間内サービスを受けるための最低限の技術的能力(専用の宇宙機サービス・インターフェース(SSSI))を備える必要がある ● SSIの設計原則等は今後規定する
Chapter 5 軌道交通ルール	第102条 衝突回避機関による監督レビューおよび更新 <ul style="list-style-type: none"> ● CAサービス事業者は主管当局に対して、当局が管理している宇宙機事業者が宇宙デブリ軽減の要求を満たしているかや軌道位置が適切かを報告する必要がある
	第103条 高関心イベント(HIE)時の衝突回避機動の条件 <ul style="list-style-type: none"> ● EU SST関連機関がHIEを発行し、衝突回避機動(CAM)を実施すべきと判断した場合、そのCAMは次の原則に基づくものとする ● 有人宇宙機の保護を最優先すること ● 衝突リスクを、HIEが発する閾値より少なくとも1桁下げること ● 二次的接近(別の物体との新たな衝突リスク)を発生させないこと ● 上記で合意できない場合、以下の要素に基づく「優先航行権(right-of-way)」ルールを考慮する ● 有人宇宙機の保護 ● 衛星コンステレーションに属する宇宙機かどうか ● 衝突回避機動の運用能力 ● 宇宙機の状態 ● 軌道の離心率(楕円軌道がどれだけ円軌道から離れているかを示す指標) ● 宇宙機の運用年数 ● 当該宇宙ミッションの段階および種類

2-2. 国際会議の参加報告

参加会議一覧

- STM等に影響を与える各種勧告・規制や技術要求、ガイドラインや規格の制定・改訂等の国際ルールや関連するフレームワーク形成の最新動向について把握するため、以下に示す通り、STM及びその周辺技術、標準、規制、国際ルール等に関連する主要な国際会議へ参加した。
- 各参加報告の詳細は後述の「付録1～付録5」に示す。

名称	開催日時・場所	会議概要	参加結果
EUCASS 2025	6/30～7/4 イタリア／ローマ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州の科学者・技術者によって創設され、科学コミュニケーションの向上や、世界中の研究者と産業界のエンドユーザー間の交流の促進を目的とした非営利団体による国際会議 ・ 欧州のSTM、SSA、デブリ、宇宙環境保全等の最新動向を把握可能 	付録1参照
SPACETIDE 2025	7/7～7/10 日本／東京	<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙ビジネスの未来戦略を議論し、国内外の関係者が交流・協業を促進する国際会議で、宇宙ビジネスや政策、最新技術、産業応用に関する約100のセッション ・ 宇宙スタートアップ、国内外の政府機関、非宇宙事業者が幅広く参加 	付録2参照
GlobalSTM Workshop 2025	8/25～8/28 英国／エディンバラ	<ul style="list-style-type: none"> ・ STMの課題に協調して対処し、宇宙活動の安全性、持続可能性を高める解決策を育む、Chatham House Ruleに則った国際会議 ・ 2025年のテーマは「国家、共同体、国際的な軍事/民間宇宙指揮統制枠組みへの利害関係者の統合」 	付録3参照
AMOS 2025	9/17～9/19 米国／ハワイ	<ul style="list-style-type: none"> ・ STM、SSAに特化した国際会議であり、米軍関係者を主体に民間企業、政府機関、学術機関等、SSA、SDAの関係者が参加 ・ 米国を中心としたSTM動向、米国の官民役割分担等の把握が可能 	付録4参照
IAC 2025	9/29～10/2 豪州／シドニー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 世界最大規模の宇宙関係の国際会議 ・ 宇宙分野全体の中でのSTMの状況等が把握可能 	付録5参照

3. 我が国が先行すべき分野、または我が国が特に注視、関与すべき既存の動向等についての分析

分析方針・方法と分析結果の概要

● 分析方針・方法

- 動向調査にて整理したSTMに関する技術、標準、規制、国際ルール等の最新動向を踏まえ、我が国が先行すべき分野および注視・関与すべき課題を明らかにするため、**STM関連事業者21社へのアンケートを実施し、事業拡大における課題・懸念を整理した(3-1-1項)**。
- 次に、**宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁を体系的に整理し、アンケート意見をマッピングすることで、特にルール・標準化に係る課題を構造的に分類した(3-1-2項)**。
- その上で、抽出されたルール・標準化の論点について、調査検討会において国際動向を踏まえた討議を行った(3-2節)。

● 分析結果(結論)

- 事業拡大の主な障壁のうち、ルール・標準の未整備や不整合に関する事項について追加的な分析を進めることとした。主な課題・リスクとして、衝突回避時の責任分担の不明確さ、回避行動やRPOに関する国際基準の未整備、EU宇宙法案に基づく規格との乖離懸念、SSAデータの品質評価基準の不足等が、事業の予見性を低下させている(3-1-1項)。
- これを踏まえ、**我が国が先行すべき分野(攻め)**としては、**接近回避運用時の事故発生時における責任分担や報告義務の不透明さ、デブリ除去制度の未整備、RPO・撮像行為に関する国際基準の未整備**などが課題として抽出された(3-1-2項)。
- 一方、**注視・関与すべき既存動向(守り)**としては、EU宇宙法案の制度設計の方向性や、**デブリ除去・燃料補給等のインタフェースや運用を規定する国際標準が、我が国の標準・規制と乖離する可能性**などが懸念として整理された(3-1-2項)。
- 検討会では、**STM分野は事業化しなければならない段階に到達している**との認識が示された。また、欧州では早期にサービス実証を進めることで市場での優位性を確保しようとしているとの指摘があった。さらに、**実際に取組みを進めた者が有利となる「やった者勝ち」の状況にある**との認識も共有された(3-2節)。

3-1. 我が国が先行・注視すべき分野の整理と国際標準活用の有効性分析

- 事業者アンケート
- 宇宙事業拡大の各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁のアンケート回答の関係整理

3-1-1. 事業者アンケート

- 事業者アンケート結果サマリ
- アンケート回答企業情報
- 事業の後押しに有効なルール・標準・支援策について
- 現在或いは今後のルール・標準の懸念事項について
- 自社の事業領域に関わらず関心がある動向について
- その他各社からのコメント

事業者アンケート結果サマリ

各宇宙事業者は「国際ルール形成への関与」と「国内市場育成」の両立を期待

- 国際的に共通ルール整備が不可欠という点で事業者の認識は一致しており、STM市場を後押しするためのルールメイキングの起点として、**衛星事業者によるデブリ除去の運用ルール化／法制化、予防的なルール化**(デブリ事故発生前の報告義務、責任分担、SSA観測距離の標準化など)などを求めている。
- 事業者は特に**EU宇宙法案に警戒感**を抱いている。自社が「第三国宇宙事業者」とみなされると、許認可手続きや遵守コストの増加による市場拡大阻害、欧州独自基準の適用による国内サービス排除のリスクを危惧している。また、標準未整備や国際基準間の差異によって開発指針が不透明になる点も課題とされ、意見が反映されなければ海外展開・競争力低下につながるとの懸念が共有されている。特に**国際標準化への積極関与**と**自国事業者の意見反映**を通じた海外展開リスクの軽減を強く求めている。加えて、**輸出管理規制**による技術展開の制約も不安視されており、対処が必要との声も多い。
- もう一つの大きな期待は、**政府主導での市場形成と技術開発支援**である。具体的には、政府衛星におけるSTM/SSAサービスの積極的利用による需要創出や、小型衛星のデブリ回避能力向上に向けた基盤技術開発の重点支援などが挙げられている。
- その他、事業者が注目する動向として、**米国民間企業の台頭、防衛の欧米依存度の高まり、TraCCS等の国際枠組み**が挙げられている。打上げサービス事業者はEU宇宙法案を含むデブリ規制の影響を懸念し、デブリ抑制装置開発事業者やSSA事業者は軌道上サービス市場の成長を注視。衛星運用事業者からは、**自国コンステレーション事業者への配慮**や**中露等を含む国際枠組みの重視**を求める意見が寄せられた。

アンケート回答企業情報

- 回答社数: 21社
- 各社の事業タイプ(複数選択あり)
 - 「衛星・地上機器開発／衛星運用系」、「ロケット開発・打上げサービス」、「地上／軌道上観測型SSA」、「軌道上サービス」、「デブリ抑制装置・システムの開発」、「その他＝宇宙保険」それぞれの事業タイプより回答あり



事業の後押しに有効なルール・標準・支援策について

- 事業の後押しに有効なルール・標準・支援策についての結果を示す。
- 質問内容：
 - 「貴社のサービスに関して、事業の推進や展開を後押しする上で有効と考えるルール・標準・支援策等があれば、できるだけ具体的にご記入ください。」
 - 「それらが必要になると見込まれる時期を年単位でご記入ください。」
- 傾向まとめ：
 - 国際的に共通ルール整備が必要という点は事業者も同じ認識
 - トラブル発生前に予防的にルール化したい傾向あり（事故時の報告義務・責任分担・観測距離など）
 - 持続可能な軌道上サービス市場創出のため、民間コンステレーション衛星事業者のデブリ除去に対する法制化や運用ルール化、またそれに伴う衛星事業者への除去へのインセンティブ付与の必要性に関するコメントあり
 - 政府主導の各種サービス利用や国際連携により民間市場を牽引する支援、各種技術開発支援を求める傾向あり
 - SSAを後押しする支援策がデブリ装置事業の後押しにもなるという声も挙がる
 - 打上げサービス事業者からは、低軌道デブリ規制強化に伴うロケット上段処分の議論や再使用ロケットの国際ルールへの懸念が挙がった

事業の後押しに有効なルール・標準・支援策:カテゴリごとの意見まとめ

カテゴリ	展開事業例	ルール・標準・支援策(要約)	必要時期
1. 衛星・地上機器開発／衛星運用系	<ul style="list-style-type: none"> 衛星運用(その中でデブリ抑制、衝突回避を実施) 	<ul style="list-style-type: none"> 国内技術開発を加速し、他国影響を避けつつルール遵守でビジネス継続性を確保 	<ul style="list-style-type: none"> 技術開発支援は至急対応が必要
2. ロケット開発・打上げサービス	<ul style="list-style-type: none"> 打上げ輸送サービス、次世代エンジン、再使用ロケット 	<ul style="list-style-type: none"> 日本の事業レベルを考慮した、ロケット上段処分・低軌道デブリ規制の強化 再使用打上を許可する国際的なルール 打上ウィンドウ制限に過度な制約のない運用ルール 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年以降:環境安全や上段処理規制 2028年以降:再使用の国際ルール
3. 地上観測型SSA／軌道上観測型SSA	<ul style="list-style-type: none"> 地上レーダー／軌道上センサによる位置把握・接近警報・衝突回避支援 装置によるリアルタイム軌道情報取得 SSAデータ活用アプリケーション 	<ul style="list-style-type: none"> SSAデータの信憑性評価技術の確保 衛星事業者への軌道情報の公開責任・透明性確保 STM管轄機関への事故・イベント報告義務化 政府主導のSSA利用による市場育成 認証制度整備と国際ルール連携、事故時の責任明確化 小型衛星向け推進系の開発支援 他国登録衛星に関わる際の同意取得 近接観測の距離や条件に関する国際的基準・行動規範 	<ul style="list-style-type: none"> ～2026年:政府衛星での衝突回避サービス活用 2027～2030年頃:STM国内外ルール整備、標準化・義務化
4. 軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> 燃料補給、ADR等 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ除去義務、責任分担、透明性確保の法的整備 クレジット制度や政府調達による利用奨励 国際協調・標準化(ISO24330、CONFERSガイドライン、ライセンス制度整備、国際協調プロジェクト推進) 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年まで:制度整備や初期実証・支援 2030～2035年:軌道上サービスの普及 2035年～:インフラ化
5. デブリ抑制装置・システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 膜面展開型デオービット装置 軌道変更・衝突回避用推進機 自律軌道決定・制御システム 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ低減対策を義務化する国際ルールの整備 衛星推進機の搭載必須化・推進剤の使用規制や国内活用の標準化・支援 SSAサービス連動による自律軌道制御の開発・導入支援 	<ul style="list-style-type: none"> 2027～2030年:段階的導入・支援
6. 宇宙保険	<ul style="list-style-type: none"> 軌道上サービス事業者向け保険、その保険付帯サービス等 	<ul style="list-style-type: none"> 事業者間の賠償責任・過失割合を明確化するルール 宇宙サステナビリティに資する基準整備 	<ul style="list-style-type: none"> 2030年代:軌道上サービス連動保険の市場拡大

事業の後押しに有効なルール・標準・支援策: 主なご意見 1/3

主な事業タイプ: ロケット開発・打上げサービス

- 軌道上物体(衛星/デブリ)が増加することは宇宙輸送/宇宙活動のリスクとなり得るため、宇宙交通管理による安全な宇宙環境整備は、産業基盤の維持・発展には必要。
他方、「ロケット上段の廃棄に関する規制」については、国際的にどのように議論していくのか着目している。
- ロケット上段を処分すること、低軌道で安全な環境を確保するためデブリ規制を強化する必要性は理解しているが、国際的な統一ルールが検討される場合には、日本の事業レベル(本件に投じられる予算規模、打上げ能力の改良、製造能力等)を考慮し、必要な施策を検討した上での慎重な判断が必要と考えている。

事業の後押しに有効なルール・標準・支援策:主なご意見 2/3

主な事業タイプ:地上観測型SSA/軌道上観測型SSA

- STMの国際ルール作りにおいてSSAに対する要求(技術面、国際協力や民間データの扱いや、課金システム等の事業スキーム面)が明確でないことと、それにより提案、調整先が不明であることが課題である。
- SSAの利用や情報共有・コミュニケーションに関する国際ルールが未整備であり、衝突回避や誤認防止の観点で不十分。これらが整備されれば、国際的信頼性の向上と商業サービス受容性の拡大が見込まれる。
- 軌道上イベントまたは事故が発生した場合、当事者である衛星所有者が事故の状況・影響等の把握・報告等、どこまでの責務を負うかに関して明確なルールが存在していないと理解しています。
例えば、状況把握してSTM管轄機関に報告することを義務付けるルールがあった場合、安全管理上有効と考えられます。
- 衝突回避運用のための適切な知見がない事業者が、衝突回避運用を行うことにより、軌道上での衝突リスクがむしろ増加させてしまう危険性がある。そのため、適切な衝突回避運用の支援事業者についての認証制度の導入が望ましい。
- 衝突回避可能な人工衛星のデブリ衝突回避運用の義務化
- 既存の枠組みはあるが、異なる登録国の衛星を対象とする場合の登録国の同意取得や事故時の責任分担については不確実性が残る。国際的に整理され、国内法に反映されれば、法的リスクの低減と国際市場参入の加速につながる。
- ドッキングを伴わない近接観測に関するルールが現状曖昧であり、他国に誤解されるリスクが指摘されている。誤認や緊張を引き起こす可能性があるため、距離や条件に関する国際的基準が望まれる。
- 接近、撮像行為が国際的に批判される行為とならないよう、国際行動規範が策定されるとよいと考えています。
- 政府衛星において積極的に民間サービスを利用した衝突回避運用を行っていただくことで、軌道上環境保護に関する国内の認知拡大、意識向上につながるとともに、民間市場への呼び水効果としても有益である。
- 小型衛星向け推進系の開発支援:現状は推進系能力が不十分なために適切な衝突回避運用を行えていない事業者がまだ多く、軌道上での衝突リスクに十分対処できていないため。

事業の後押しに有効なルール・標準・支援策:主なご意見 3/3

主な事業タイプ:軌道上サービス

- ADR市場が本格的に立ち上がるためには、特に多数の衛星を運用する民間コンステレーション事業者が故障・運用不能衛星を能動的に除去するための国際的な仕組みの整備が不可欠となる。
- 現時点では、国連宇宙空間平和利用委員会(UNCOPUOS)が策定した「宇宙活動の長期持続可能性(LTS)ガイドライン」など、デブリ抑制・除去に関する国際的な指針は存在する。しかしながら、これらは法的拘束力を持たない推奨レベルに留まっており、民間事業者が積極的に故障衛星を除去するインセンティブは依然として乏しい。
一方で、デブリの脅威度は年々増大しており、各国は政策・規制面で具体的な措置を強化し始めている。
こうした動向を踏まえると、将来的には以下のような制度的枠組みが構築される可能性が高く、日本としても国際的な議論リードしていけると良いと考える。
 - 規制強化:デブリ除去義務の法制化や運用ルール化
 - 経済的インセンティブ付与:クレジット制度の導入など
 - 国際的責務としての取組み:宇宙大国間による国際協調プロジェクトの推進

現在或いは今後のルール・標準の懸念事項について

- 現在或いは今後のルール・標準の懸念事項についての結果を示す。
- 質問内容：
 - 「現在または今後制度化が予定される国内外のルール・標準等について、貴社のサービスにおける事業展開に影響を及ぼす、またはその懸念がある事項があれば、理由とともに具体的にご記入ください。」
- 傾向まとめ：
 - 多くの事業者がEU宇宙法案を警戒しており、第三国宇宙事業者に自社が含まれた場合の懸念を示している
 - 特に日本の事業者が含まれた場合、許認可手続きの増加等による衛星事業者への過度な遵守責任・コスト負担で自社STMサービスの市場拡大が妨げられる可能性や、準拠が難しい欧州独自基準の採用による自社サービス排除のリスクを懸念している
 - 国際標準策定に自国事業者の意見が反映されない場合の、海外展開や競争力低下の可能性も懸念している
 - 国際標準が未整備あるいは差異があるために自社の開発指針が立たない懸念も抱えている
 - 使用する技術やプロダクトが輸出管理規制対象になる点も懸念がある

現在或いは今後のルール・標準の懸念事項：事業カテゴリごとの意見まとめ

カテゴリ	展開事業例	現行／適用予定のルール・標準に対する懸念事項の傾向(要約)
1. 衛星・地上機器開発／衛星運用系	<ul style="list-style-type: none"> 衛星運用(その中でデブリ抑制、衝突回避を実施) 軌道上実証サービス 	<ul style="list-style-type: none"> デブリ抑制・EOL運用に関連する技術の未成熟によるルール適用への不安 適用予定の国際ルールや標準(例:大気圏突入期限ルール、EU宇宙法案)の影響を受け、運用コスト・手続き期間が変動する可能性
2. ロケット開発・打上げサービス	<ul style="list-style-type: none"> 打上げ輸送サービス、次世代エンジン、再使用ロケット 	<ul style="list-style-type: none"> 軌道上交通管理や衝突回避技術が発展途上で、制度化時期や国内産業整備状況に依存 再使用基準が未整備／各国独自で、輸出や国際参入の障壁になる可能性 STM適用範囲拡大(例:ロケット上段の滞在期間)が手続きや運用負荷増に繋がる懸念
3. 地上観測型SSA／軌道上観測型SSA	<ul style="list-style-type: none"> 地上レーダー／軌道上センサによる位置把握・接近警報・衝突回避支援 装置によるリアルタイム軌道情報取得 SSAデータ活用アプリケーション 再突入予測・宇宙天気予報など民生向け情報提供 	<ul style="list-style-type: none"> 国内電波法で対民間提供が制限され得る 日本の宇宙活動法による許認可制度において事業者負担を減らす施策や保険義務化により、政府補助を踏まえつつ衛星コンステレーション事業者の国際競争力を確保すべき 米欧がSTMルール形成と状況監視への政府支援で先行しており、日本の意見を国際ルールに反映させて国内開発促進と事業者の競争力向上を図る必要あり 第三国事業者にサービス遵守責任を課すEU宇宙法案は負担増を招く可能性があり、認証制度整備で遵守確認の仕組みを働きかける必要あり 相対航法センサや高分解能画像処理技術がワッセナー・ITAR輸出規制対象となり得る 物体ID制約への対応として衛星群管理を含むフォーマット改訂が必要 英仏のような損害賠償付保義務化と政府補償制度はサービス事業を後押し
4. 軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> 燃料補給、ADR等 	<ul style="list-style-type: none"> 内閣府主導の軌道上サービスに関するガイドラインで宇宙用レーザーによるデブリ除去の指針が示されており、他国より先行するため、国際的なルール・標準化をリードすべき 米国の上げは関税によるコスト増が懸念点 EU宇宙法案に基づき除去等の要件が課される際、欧州独自の規格が採用されてしまうと第三国宇宙事業者が排除される可能性を懸念 AIAAでの標準化(燃料補給I/F、運用安全要件、認証など)進行中で準拠の必要性を危惧
5. デブリ抑制装置・システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 膜面展開型デオービット装置 軌道変更・衝突回避用推進機 自律軌道決定・制御システム 	<ul style="list-style-type: none"> 米国FCC5年ルール、欧州25年ルール、日本は努力義務と、国際基準に差異あり開発指針が定まらない EU宇宙法案等によりEU国への部品提供の手続きがかなり負担増に
6. 宇宙保険	<ul style="list-style-type: none"> 軌道上サービス事業者向け保険、それに伴う保険付帯サービス等 	<ul style="list-style-type: none"> ESSIが進める基準作りに日本事業者の意向が反映されなかった場合に事業者の海外展開に影響が生じる可能性あり

現在或いは今後のルール・標準の懸念事項: 主なご意見 1/2

主な事業タイプ: 衛星・地上機器開発／衛星運用系

- ・ミッション終了後大気圏突入まで1年もしくは5年ルールは影響を受ける。
現在小型衛星向けのスラスト技術やデオービット技術が未成熟であり、打上直後やEnd of Lifeにおいて確実に動作するか不明な中で、実現できない可能性がある。
それら技術が確立されるタイミングでルール施行するように変更すべきである。

主な事業タイプ: 地上観測型SSA／軌道上観測型SSA

- ・現在のEU宇宙法案では、第三国の宇宙事業者が第三国のSSA事業者による衝突回避サービスを調達した場合に、当該サービスがEU宇宙法案を適切に遵守しているかについて「第三国の宇宙事業者」自身が判断の責任を負うこととなっている。
これは第三国の宇宙事業者にとって負担が過度になり、結果的に第三国のSSA事業者からサービスを調達するインセンティブが低下し、EUサービスを積極的に利用することになることが想定される。
そのため、①EU宇宙法案を適切に遵守している衝突回避運用サービスの認証制度を創設するようEUへの働きかけとともに②上記の我が国における適切な衝突回避運用サービス認証を受けた事業者はEU宇宙法案を適切に遵守していることを確保できるメカニズムがあると有難い。
- ・EU宇宙法案(第101条:軌道上サービス):衝突リスク低減やクライアント衛星との協調・安全運用モードの義務化の方向性であり、対象サービスにも影響。欧州独自の規格が他地域の規制と乖離すれば、開発・運用コスト増加や市場参入障壁となる懸念がある。
- ・米国ではITAR規制緩和の議論が進む一方、監視衛星や高性能センサは依然として規制対象。高分解能画像処理技術も対象となり得る。
- ・TLEにおける物体ID5桁制約に伴い、公開軌道情報のフォーマット改訂が必要であり、衛星IDを群管理する仕組みが望まれる。
- ・英仏では損害賠償付保義務を課した政府補償制度が確立。損害賠償保険の義務化はサービス事業の後押しになる。

現在或いは今後のルール・標準の懸念事項: 主なご意見 2/2

主な事業タイプ: 軌道上サービス

- EU宇宙法案:** 需要創設の観点ではポジティブな影響もあり得ると考えている。ただし第101条4(b)では「他の宇宙機を脅かすデブリはISOSを通じて除去要件を課す」とされ、**除去・捕獲のためのインターフェースや運用に欧州規格が採用されれば、第三国事業者(日本含む)が排除される懸念**がある。
 こういった規格・標準については、各国・各地域での規格・標準の議論をフォローし、開発を検討している技術規格などが排除されるような規格要求が形成されないよう注視している。
- 米国の関税:** 米国から打上げる場合、**コスト増要因**となり得る。

主な事業タイプ: デブリ抑制装置・システムの開発

- 現行のルールでは、**米国でFCCが5年ルールを義務化している一方、欧州は25年ルールを基準とし、日本では努力義務にとどまっている。**
 このため、**どの基準を前提に製品設計を行うべきかが不明確な状態**であり、安価に提供できる製品を開発したいものの、**国際的な市場展開を見据える際に余計なコストや仕様調整の負担が生じる可能性**がある。
 したがって、**制度設計に関するパブリックコメント等への参加や業界団体を通じた提言活動**を行いつつ、衛星事業者にとって現実的に実現可能な制度となるように働きかけていく必要があると考えている。
- EU宇宙法案において、非EU国がEU国に部品提供する場合の手続きが、実務上かなり負担が大きくなる懸念**がある。

主な事業タイプ: 宇宙保険

- ESSIが基準作りを進めているが、本邦事業者の意向が反映されない場で基準ができてしまった場合、本邦事業者の海外展開にネガティブな影響を及ぼす可能性**がある

自社の事業領域に関わらず関心がある動向について

- 自社の事業領域に関わらず関心があるSTM関連動向についての結果を示す。
- 事業カテゴリで大別の上、整理した。
- 質問内容：
 - 「上記でご記入いただいた事項以外に、自社の事業領域に関わらずSTMに関連して、現在注目している・あるいは関心がある国内外の動向・施策・技術・サービス等があれば、その理由とあわせてご記載ください。」
- 傾向まとめ：
 - 衛星開発・運用系の事業者は、EU宇宙法案やTraCCSの動向等に注目
 - ロケット開発・打上げサービス事業者はデブリ規制による打上げ機への影響を懸念し、EU宇宙法案含む海外宇宙法の動向に注目
 - SSA事業者は軌道上サービスの動向の他、米国民間企業の台頭や防衛の欧米依存度の高まりにも注目
 - 軌道上サービス事業者は軌道混雑やEU宇宙法案における持続可能性議論の行方、さらに他分野での国家間協力に伴う輸出緩和の動向に注目
 - デブリ抑制装置・システム開発事業者も軌道上サービス等の動向に注目

自社の事業領域に関わらず関心がある動向：事業カテゴリごとの意見まとめ

主な事業カテゴリ	自社の事業領域に関わらず関心があるSTM関連事項の動向(要約)
1. 衛星・地上機器開発／衛星運用系	<ul style="list-style-type: none"> GNSS受信機による軌道決定結果シェアの仕組み：衝突確率計算の精度が向上する可能性 TraCSSの去就：立ち上がりCSpoCも縮小というワーストケースがどれだけ現実的か注視 EU宇宙法案等：将来的な事業コストの増大を懸念し状況を注視
2. ロケット開発・打上げサービス	<ul style="list-style-type: none"> 海外宇宙法におけるスペースデブリへの規制(具体的な定量的な規定) 既存のデブリを誰が除去するかの国際的コンセンサスが得られてないこと EU宇宙法案の動向：衛星のみならず打上げ機への影響が出ないか懸念
3. 地上観測型SSA／軌道上観測型SSA	<ul style="list-style-type: none"> 欧米の民間SSA事業者(光学・レーダーによる位置情報提供)の動向：民間データ有償化に期待 衛星故障と原因の因果関係をAIで分析する技術 ADR実用化に向けた対象物把握の仕組み 国内商業プレイヤーや国産技術による観測・分析能力の強化と、その経済安全保障・安全保障上の政策的意義 防衛SSAの海外依存度の高まり：国際ルール形成に日本の意見を反映させるためにも独自SSA技術の強化が必要 ISOにおける関連議論の進展 他社のSSAサービスの動向：利害損失があり適切なパートナーシップ形成が必要 軌道上でのサービスには軌道間通信が必須のため、軌道間通信用の各国の光通信端末の開発動向に関心あり
4. 軌道上サービス	<ul style="list-style-type: none"> 軌道混雑が深刻化する状況：国際協調を通じてADR市場拡大に資する政策を期待 EU宇宙法案内での地球及び宇宙の持続可能性に資する規定 AUKUSについてのITAR免除の発表とその日本に対する影響
5. デブリ抑制装置・システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> 衝突回避支援サービスの動向：デオービット装置の導入敷居が下がる可能性 SSAサービス
6. 宇宙保険	<ul style="list-style-type: none"> ルール化の行方 ESSIでの基準づくり論議

自社の事業領域に関わらず関心がある動向:主なご意見

主な事業タイプ:衛星・地上機器開発／衛星運用系

- ・米国予算に起因するTraCSSの去就は非常に気になっている。NORADのCSpoCがカバーできるうちは良いが、予定通りCSpoCの範囲が縮小し、TraCSSが立ち上がらないようなワーストケースについて、どの程度現実的な懸念として捉える必要があるか、気にしている。

主な事業タイプ:地上／軌道上SSA

- ・米国のLeoLabsが有名だが、その会社以外にも、欧米では光学望遠鏡もしくはレーダーを使った位置情報提供の民間企業が多く立ち上がっているのを注目している。
民間で安定的にデータが供給できる見込みができれば、現在のNORADのようなサービスは将来的に政府が自身に必要な分だけ実施し、民間に対しては無償でなくなる可能性が高いと思っている。
- ・現在、防衛分野において日本国内はSSAデータの一部を海外から購入しており、特に米国への依存度が高い状況と推測する。日本の意見を国際ルールに反映するためのバーゲニングパワーを獲得するためには、海外に頼らない日本独自のSSA技術の強化が必要であると思料する。
- ・ADR:実用化に向けて、対象の軌道上物体とその様子を把握するための仕組み、サービス等の議論が必要と考えておりま
す。

主な事業タイプ:軌道上サービス

- ・EU宇宙法案は、三つの柱(安全性、強靭性(Resilience)、持続可能性(Sustainability))の下で、地球及び宇宙の持続可能性に資する規定(環境負荷の低減、宇宙環境の保護)が規定されている。また、軌道上サービスも3つの柱との関係で持続可能性、循環経済、産業競争力の強化の観点から位置付けがなされ、技術革新・環境配慮の側面から制度的な支援を行うこと、また、持続可能性を担保しつつ、宇宙市場の活性化につながる施策(産業競争力強化に資するもの)と位置付け、重視。そのため、軌道上サービスの技術的な支援・需要創出ということが意図されているということは注目。
- ・2024年にAUKUSについてのITARの免除(§126.7免除)が発表されているが、AUKUS域外国への影響(AUKUSの間では、共同研究・技術移転の迅速化をもたらす、たとえば安全保障面での協力、情報共有の観点からもインターオペラビリティの迅速化が進む可能性がある)と考えるが、日本がそのことで受ける影響)

その他各社からのコメント

● 質問内容：

- 「その他国際ルール整備・標準化の活動に関連して伝えておきたいこと、ご提案など」

● 傾向まとめ：

- 自国の衛星コンステレーションへの配慮や、中国等も含めた国際枠組みへの配慮、国内法優先に関するコメントあり

主な事業者のご意見：衛星・地上機器開発／衛星運用系

- 宇宙交通管理が重要性が高まった背景には、米国、中国の通信衛星コンステレーション(スターリンク等)の打上げ機数の著しい増大があると理解しています。
この観点からは、米国、中国が参加しない枠組みでは制度としての実効性が担保できず、誠実に対応している事業者だけがコスト増などの負担を背負うこととなることが懸念されます
デブリ回収事業者等を中心に宇宙交通管理の制度化に前のめりに取り組む動きがあることは理解するものの、それ以外の衛星コンステレーション事業者には基本的には事業コスト増大などの懸念も強くあり、米国、中国が参加する枠組みの下、実効性あり、かつ、バランスの取れた制度設計とするよう配慮をお願いしたいと考えております。
- (EU宇宙法案が典型的だが)既存のメガコンステが存在していることを理由にして、事業上最適な軌道の利用が制約されるべきではないと考える。事実上の占有権を認める方向であれば既存のITUの静止軌道の権利に近いレベルの調整や権利化が必要だと考えている。
この種の標準化はソフトローでなければ制定が難しい部分ではあるが、中露とも連携・議論が可能な貴重な領域であるとも感じられる。是非西側諸国だけでなく幅広く議論の上でのルール化を目指していただきたい。

3-1-2. 宇宙事業拡大の各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁のアンケート回答の関係整理

事業者アンケート回答の分析

- 事業者からのアンケート回答について、各回答と宇宙事業拡大との関係について構造的に整理した。
- 具体的には、宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁を体系的に整理し、当該整理にアンケートの回答を重ね合わせることで、構造化を行った。
 - アンケート回答の重ね合わせはSSAと軌道上サービスに分けて行った。
- ルール・標準化に分類された回答については、更なる分析を行った。

宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁

フェーズⅠ： R&D	フェーズⅡ： 実証(軌道上含む)	フェーズⅢ： 事業化・商用化
① 技術成熟度向上の難しさ <ul style="list-style-type: none"> 事業に必要な技術の目標未達 実装・運用段階での不具合や信頼性リスク残存 		R&D
	② 実証環境・機会の制約 <ul style="list-style-type: none"> 宇宙実証実績が求められるが実証機会が限られ、タイムリーな実証困難 	リスク分散・解消
ルール形成		③ 地政学・サプライチェーンリスク <ul style="list-style-type: none"> 供給元が海外依存、或いは顧客が海外の場合、安全保障環境や外交情勢により調達・提供困難、為替・輸出・打上げ制限等の可能性あり
		④ 市場・顧客獲得の難しさ、競合の出現・成長 <ul style="list-style-type: none"> 初期顧客獲得、宇宙実証実績の証明 市場形成のための動機付け施策不足(政府調達、インセンティブ等) 技術のコモディティ化、価格競争化
	⑤ ルール・標準の未整備・不整合・不統一 <ul style="list-style-type: none"> 規制・ルール・の未整備(許可要否、責任範囲などが不明確)により事業成立性検討困難 設計・運用の基準、評価軸等の不統一による(連携、横展開などの)事業検討困難 国際標準不整合や他国主導ルールによる事業環境の悪化(不利・制約等の懸念) 	
	⑥ 資金不足 <ul style="list-style-type: none"> 事業収支のアンバランスさ(開発費膨張、補助金変動、等)による資金不足 	民間資金の呼び込み
	⑦ 人材不足(技術・事業・国際対応) <ul style="list-style-type: none"> 技術系のみならず、事業開発・契約交渉・制度調整面等での専門人材が希少 	人材育成

アンケート回答の重ね合わせ:SSA(1/2)

フェーズⅠ： R&D	フェーズⅡ： 実証(軌道上含む)	フェーズⅢ： 事業化・商用化
<p>① 技術成熟度向上の難しさ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 事業に必要な技術の目標未達 ・ 実装・運用段階での不具合や信頼性リスク残存 	<p>(1) データの透明性を確保し、精度・信頼性等を評価できる技術が不足</p> <p>② 実証環境・機会の制約</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙実証実績が求められるが実証機会が限られ、タイムリーな実証困難 	<p>(2) 政府調達衛星での衝突回避サービス等の民間サービスの活用が不足</p> <p>(3) ベンダが、民間サービスと密に連携してデータ評価/分析を実施できる機会が少ない</p>
	<p>(4) 監視衛星や高性能センサ、高分解能画像処理技術等が、米国輸出規制の対象</p>	<p>③ 地政学・サプライチェーンリスク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 供給元が海外依存、或いは顧客が海外の場合、安全保障環境や外交情勢により調達・提供困難、為替・輸出・打上げ制限等の可能性あり
	<p>(5) EU宇宙法案に基づく欧州規格が他地域の規制・規格と乖離すると、EU市場への参入が困難</p>	<p>④ 市場・顧客獲得の難しさ、競合の出現・成長</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 初期顧客獲得、宇宙実証実績の証明 ・ 市場形成のための動機付け施策不足(政府調達、インセンティブ等) ・ 技術のコモディティ化、価格競争化
<p>⑤ ルール・標準の未整備・不整合・不統一</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 規制・ルール・の未整備(許可要否、責任範囲などが不明確)により事業成立性検討困難 ・ 設計・運用の基準、評価軸等の不統一による(連携、横展開などの)事業検討困難 ・ 国際標準不整合や他国主導ルールによる事業環境の悪化(不利・制約等の懸念) <p style="text-align: right;">(次頁に拡大図を示す)</p>		
<p>⑥ 資金不足</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 事業収支のアンバランスさ(開発費膨張、補助金変動、等)による資金不足 		<p>(6) EU宇宙法案に基づく欧州独自規格が他地域の規制・規格と乖離すると、開発・運用コストが増加する懸念あり</p>
<p>⑦ 人材不足(技術・事業・国際対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 技術系のみならず、事業開発・契約交渉・制度調整面等での専門人材が希少 		

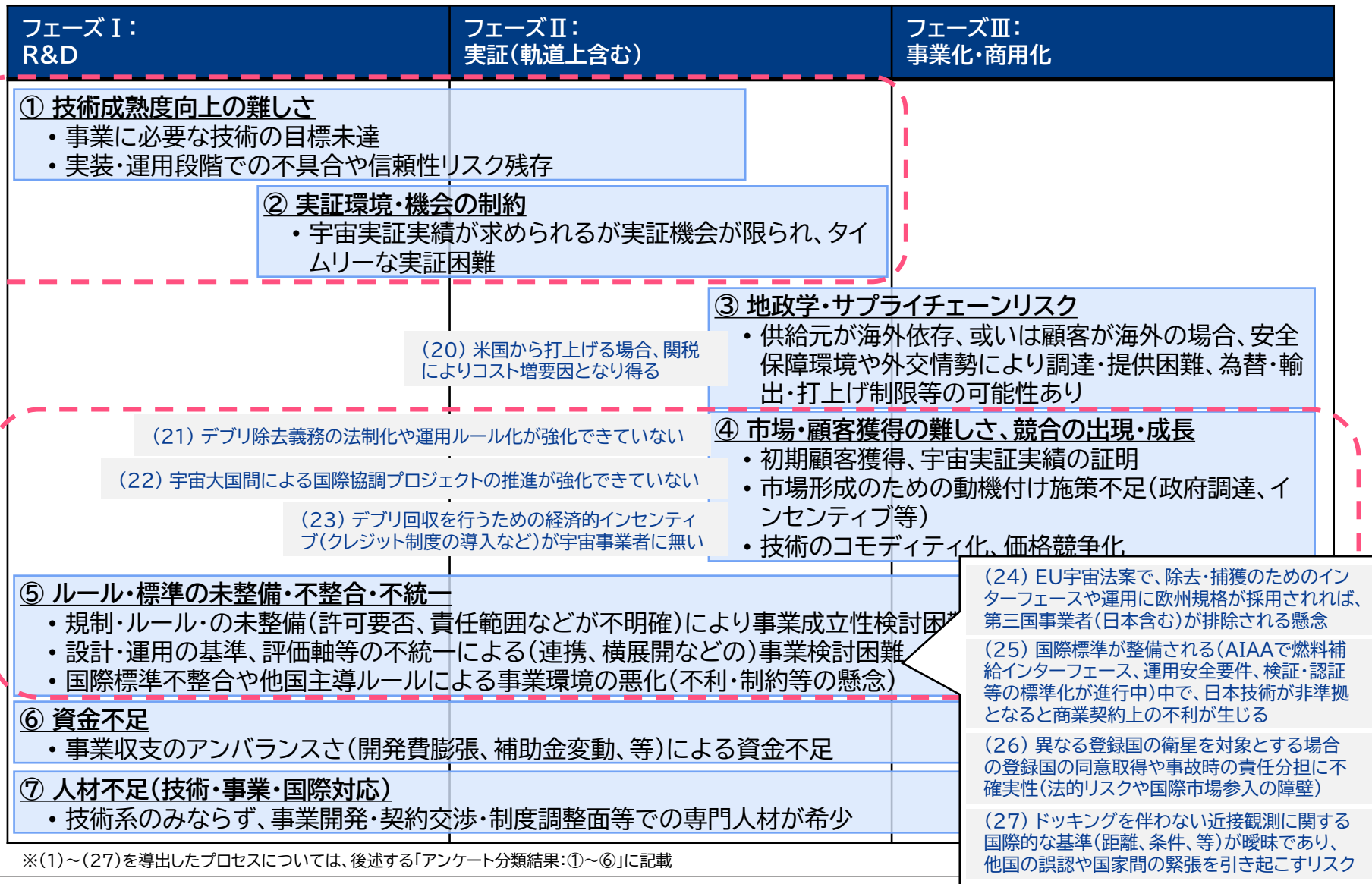
※(1)~(27)を導出したプロセスについては、後述する「アンケート分類結果:①~⑥」に記載

アンケート回答の重ね合わせ:SSA(2/2 ⑤拡大)

フェーズⅠ： R&D	フェーズⅡ： 実証(軌道上含む)	フェーズⅢ： 事業化・商用化
⑤ ルール・標準の未整備・不整合・不統一 <ul style="list-style-type: none"> 規制・ルール・の未整備(許可要否、責任範囲などが不明確)により事業成立性検討困難 設計・運用の基準、評価軸等の不統一による(連携、横展開などの)事業検討困難 国際標準不整合や他国主導ルールによる事業環境の悪化(不利・制約等の懸念) 		
(7) TLEの物体ID5桁制約によりIDが不足することから、公開軌道情報のフォーマット改訂や衛星IDを群管理するような新方法が必要		(13) SSAに対する要求(技術面、国際協力や民間データの扱いや、課金システム等の事業スキーム面)が明確でなく、提案、調整先不明
(8) 異なる登録国の衛星を対象とする場合の登録国の同意取得や事故時の責任分担に不確実性(法的リスクや国際市場参入の障壁)		(14) 軌道上イベント/事故が発生した場合、当事者の衛星所有者が事故の状況・影響等の把握・報告等、どこまでの責務を負うかに関して明確なルールがない
(9) 他国の衛星への接近、撮像行為についての国際行動規範がなく、国際的批判が生じるリスク		(15) データの透明性を確保し、精度・信頼性等を評価できる基準が不足
(10) 国内では損害賠償付保義務やそれを課した政府補償制度が未整備		(16) 衝突回避運用支援事業者についての認証制度がないため、衝突回避運用に係る適切な知見がない事業者が、衝突回避運用を行うことにより衝突リスクが増大
(11) ドッキングを伴わない近接観測に関する国際的な基準(距離、条件、等)が曖昧であり、他国の誤認や国家間の緊張を引き起こすリスク		(17) 接近回避運用の責任所在/回避ルールに基づく、打上事業者/衛星運用事業者への警報情報連携が不十分
(12) SSAの利用や情報共有・コミュニケーションに関するルールが国際的に統一されていない		(18) 運用衛星の現在軌道に関する衛星運用事業者による公開責任(レイテンシ・精度・公開手段)が決まっていない
		(19) EU宇宙法への適合性確認の仕組みがなく、EU市場参入に支障がある。

※(1)~(27)を導出したプロセスについては、後述する「アンケート分類結果:①~⑥」に記載

アンケート回答の重ね合わせ:軌道上サービス



ルール・標準化に係る課題整理

- 前頁までに整理した課題・リスクのうち、ルール・標準化に係る項目※について、その性質・特性に応じて下表のとおり整理した。

※前頁までの整理における⑤「ルール・標準の未整備・不整合・不統一」に分類される項目全般に加え、④「市場・顧客獲得の難しさ、競合の出現・成長」のうち、ルール・標準化に関連する項目を対象とした

SSA

軌道上サービス

	A:守り(ルールが乱立、日本が劣後)	B:攻め(ルールが不足、日本が先行)		A:守り(ルールが乱立、日本が劣後)	B:攻め(ルールが不足、日本が先行)
運用に関するルール(上位)	(12)(13)(15) SSAの利用や共有に関するルールが不統一	(7) 軌道情報および登録衛星の管理体制が不十分 (8)(14)(17) 接近回避運用時等における事故発生時の責任分担、被害状況の把握・報告義務が不明瞭	運用に関するルール(上位)	(23) デブリ回収を行う経済的インセンティブが無い (21) デブリ除去義務の法制化や運用ルール化が不十分 (26) 他国の衛星を対象とした行為実施時の許認可制度が未整備	(26) 軌道上サービス中の事故発生時の責任分担が不明瞭
技術の性能・品質に関するルール(下位)	(10) 国内では損害賠償付保義務や政府補償制度が未整備	(9)(11) RPO、撮像行為に関する国際的な基準が未整備	技術の性能・品質に関するルール(下位)	(24)(25) デブリ除去や燃料補給等に係るインターフェース・運用等を規定する国際標準と国内標準が乖離する懸念がある	(27) RPOに関する国際的な基準が未整備
	(19) EU宇宙法案への適合性を評価する仕組みがない	(18) データの精度・レイテンシを評価・規定する基準が不足			
	(5) EU宇宙法案に基づく欧州規格が他の規制と乖離	(16) 衝突回避運用支援事業者についての認証制度がない			

アンケート分類結果: ① 技術成熟度の向上困難

- 事業に必要な技術の目標未達
- 実装・運用段階での不具合や信頼性リスク残存 など

大分類*注	小分類*注	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(軌道上)	データの透明性を確保し、精度・信頼性等を評価できる技術が不足している。	(1)

注:本調査では、各事業者のSTM関連事業について、事業者からの回答を基に分類している。

大分類は事業領域に基づき「SSA」および「軌道上サービス」に2分し、小分類は事業内容に応じて整理した

- SSA:『解析・運用支援(地上／軌道上)』、『観測データ提供(地上／軌道上)』、『その他』
- 軌道上サービス:『ADR』、『燃料補給』、『その他』)

アンケート分類結果: ② 実証環境・機会の制約

- 宇宙実証実績が求められるが実証機会が限られ、タイムリーな実証困難 など

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(軌道上)	国内SSAセンサ設備ベンダが、民間SSAサービスと密に連携してデータ評価/分析を実施できる機会が少ない。	(2)
	解析・運用支援(軌道上)	政府調達衛星での衝突回避サービス等の民間サービスの活用が不足している。	(3)

アンケート分類結果: ③ 地政学・サプライチェーンリスク

- 供給元が海外依存、或いは顧客が海外の場合、安全保障環境や外交情勢により調達・提供困難、為替・輸出・打上げ制限等の可能性あり など

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(軌道上)	監視衛星や高性能センサ、高分解能画像処理技術等が、米国輸出規制の対象となっている。	(4)
軌道上サービス	ADR	米国から打上げる場合、関税によりコスト増要因となり得る。	(20)

アンケート分類結果: ④ 市場・顧客獲得の難しさ、競合の出現・成長

- 初期顧客獲得、宇宙実証実績の証明
- 市場形成のための動機付け施策不足(政府調達、インセンティブ等)
- 技術のコモディティ化、価格競争化 など

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(軌道上)	EU宇宙法案に基づく欧州独自規格が他地域の規制・規格と乖離すると、EU市場への参入が困難となる懸念がある。	(5)
軌道上サービス	ADR	デブリ除去義務の法制化や運用ルール化が強化できていない。	(21)
	ADR	デブリ回収を行うための経済的インセンティブ(クレジット制度の導入など)が宇宙事業者に無い。	(22)
	ADR	宇宙大国間による国際協調プロジェクトの推進が強化できていない。	(23)

アンケート分類結果: ⑤ ルール・標準の未整備・不整合・不統一 1/2

- 規制・ルール・の未整備(許可要否、責任範囲などが不明確)により事業成立性検討困難
- 設計・運用の基準、評価軸等の不統一による(連携、横展開などの)事業検討困難
- 国際標準不整合や他国主導ルールによる事業環境の悪化(不利・制約等の懸念) など

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(地上)	TLEにおける物体IDの5桁制約によりIDが足りなくなるため、公開軌道情報のフォーマット改訂や、衛星IDを群管理するような新しい方法が必要である。	(7)
	観測データ提供(軌道上)	既存の枠組みはあるが、異なる登録国の衛星を対象とする場合の登録国の同意取得や事故時の責任分担については不確実性が残り、法的リスクや国際市場参入の障壁となる。	(8)
	観測データ提供(軌道上)	他国の衛星への接近、撮像行為についての国際行動規範がなく、国際的批判が生じるリスクがある。	(9)
	観測データ提供(軌道上)	国内では損害賠償付保義務やそれを課した政府補償制度が未整備。	(10)
	観測データ提供(軌道上)	ドッキングを伴わない近接観測に関する国際的な基準(距離、条件、等)が曖昧であり、他国の誤認や国家間の緊張を引き起こすリスクがある。	(11)
	観測データ提供(軌道上)	SSAの利用や情報共有・コミュニケーションに関するルールが国際的に統一されていない。	(12)
	解析・運用支援(地上)	STMの国際ルール作りにおいてSSAに対する要求(技術面、国際協力や民間データの扱いや、課金システム等の事業スキーム面)が明確でないことと、それにより提案、調整先が不明であることが課題。	(13)

アンケート分類結果: ⑤ ルール・標準の未整備・不整合・不統一 2/2

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	解析・運用支援(地上)	軌道上イベントまたは事故が発生した場合、当事者である衛星所有者が事故の状況・影響等の把握・報告等、どこまでの責務を負うかに関して明確なルールが存在していない。	(14)
	解析・運用支援(地上)	データの透明性を確保し、精度・信頼性等を評価できる基準が不足している。	(15)
	解析・運用支援(軌道上)	適切な衝突回避運用の支援事業者についての認証制度がないため、衝突回避運用に係る適切な知見がない事業者が、衝突回避運用を行うことによって、かえって衝突リスクが増大している。	(16)
	解析・運用支援(軌道上)	接近回避運用の責任所在/回避ルールに基づく、打上事業者/衛星運用事業者への警報情報連携が不十分。	(17)
	解析・運用支援(軌道上)	運用衛星の現在軌道に関する、衛星運用事業者による公開責任(レイテンシ・精度・公開手段)が決まっていない。	(18)
	解析・運用支援(軌道上)	EU宇宙法への適合性確認の仕組みがなく、EU市場参入に支障がある。	(19)
軌道上サービス	ADR	EU宇宙法案で、除去・捕獲のためのインターフェースや運用に欧州規格が採用されれば、第三国事業者(日本含む)が排除される懸念がある。	(24)
	燃料補給	国際標準が整備される(AIAAで燃料補給インターフェース、運用安全要件、検証・認証等の標準化が進行中)中で、日本技術が非準拠となると商業契約上の不利が生じる。	(25)
	ADR・燃料補給	異なる登録国の衛星を対象とする場合の登録国の同意取得や事故時の責任分担に不確実性がある。(法的リスクや国際市場参入の障壁)	(26)
	ADR・燃料補給	ドッキングを伴わない近接観測に関する国際的な基準(距離、条件、等)が曖昧であり、他国の誤認や国家間の緊張を引き起こすリスクがある。	(27)

アンケート分類結果:⑥ 資金不足

- 事業収支のアンバランスさ(開発費膨張、補助金変動、等)による資金不足 など

大分類	小分類	アンケート回答詳細	番号
SSA	観測データ提供(軌道上)	EU宇宙法案に基づく欧州独自規格が他地域の規制・規格と乖離すると、開発・運用コストが増加する懸念がある。	(6)

アンケート分類結果: ⑦ 人材不足(技術・事業・国際対応)

- 技術系のみならず、事業開発・契約交渉・制度調整面等での専門人材が希少 など
⇒今回は特に無し

3-2. 調査検討会(宇宙交通管理等に係る産業政策に関する調査検討会)の開催

- 調査検討会の概要および計画
- 調査検討会での議論結果

3-2-1. 調査検討会の概要および計画

- 調査検討会の背景・目的
- 調査検討会の概要とアジェンダ
- 調査検討会：メンバ構成

調査検討会の背景・目的

- 各国政府、民間プレイヤーによる宇宙開発利用、ビジネスが急速に拡大する中、衛星コンステレーションの構築等による人工衛星の増加とこれに伴うスペースデブリの発生等により、軌道上が人工物体で急速に過密状態になってきている。
- こうした状況は、持続的な宇宙活動や宇宙に関する企業活動等において様々な問題を生じさせ得る一方、宇宙状況把握(SSA:Space Situational Awareness)、軌道上サービス(OOS:On-Orbit Servicing)等の新たな技術領域・市場を創出し得る面もあり、我が国にとってリスクとなると同時に、産業振興等の観点でチャンスにもなり得るものである。また、こうした軌道上の過密状況は、宇宙交通管理(STM:Space Traffic Management)等の新たな技術、国際ルール、標準等に関する議論を急速に進展させている。
- 様々な国際機関等が宇宙空間の持続的利用に向けた警鐘を鳴らし、各国でガイドライン・基準等を制定する動きもある中、宇宙交通管理等に係る他国による規制や国際的なルールメイクの今後の在り方によっては、我が国宇宙活動の自立性や企業の成長等に対し、不要に抑制的な影響を与える可能性もある。我が国が競争力を持ち国際市場において持続的に成長していくためには、我が国の民間企業が持つ技術や強みを整理し我が国の立ち位置を認識するとともに、ルール形成戦略において連携すべき国や機関、アプローチ方法を検討する必要がある。また、宇宙関連市場は未だ発展途上段階にあり、スタートアップ等の企業体力に乏しいプレイヤーも多く存在する状況にあることや、宇宙産業のルール形成戦略には各国政府や政府宇宙機関等の公的組織による関与が必須となるケースが多い事等から、本調査は国の事業として実施する。
- 宇宙交通管理等における標準化およびルール形成は、我が国の経済安全保障、産業振興、技術革新、そして持続可能な宇宙活動の基盤構築に対して大きな影響を与え得るものであることから、本調査では、我が国として自立的な宇宙産業基盤を構築、維持強化し、国際市場での競争優位性を確立するため、(1)宇宙交通管理等に関する技術、標準、規制、国際ルールの最新の国際動向について調査を実施し、(2)我が国が先行すべき分野、または我が国が特に注視、関与すべき既存の動向等について分析を行った上で、(3)我が国が取るべき宇宙交通管理等に関する標準化およびルール形成戦略について検討を行う。

- 宇宙交通管理(STM)について、軌道上混雑の現状、各国での技術開発や制度・ルール作りの状況等の動向を把握するとともに、これらを踏まえた我が国の対応を検討し、成長促進的な宇宙交通管理を実現するべく、標準化およびルール形成戦略の検討に資する情報としてとりまとめる。
- 上述のとりまとめた情報をもとに議論するため、有識者および関連事業者等を集めた調査検討会を開催する。

調査検討会の概要とアジェンダ

- 検討会名称:「宇宙交通管理等に係る産業政策に関する調査検討会」
- メンバ:3名の検討会委員及びオブザーバ
- 開催回数:2回

開催日と各回のアジェンダ

回	アジェンダ	議論のゴール・狙いなど
#1 (10月21日)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査検討会の目的および計画の説明 ・ 初期調査結果報告 ・ 認証制度についてのプレゼン ・ 事業者アンケート結果報告 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査検討会の目的の理解・共通認識の醸成 ・ 調査報告・事業者アンケート結果を通じた現状理解の促進、参加者間での問題意識等の共有
#2 (12月9日)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査報告(追加調査報告) ・ 我が国が先行すべき分野、または我が国が特に注視、関与すべき既存の動向等についての分析 ・ 我が国の標準化およびルール形成戦略の方向性 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査・分析結果の報告による現状理解の促進 ・ 我が国の標準化およびルール形成戦略の方向性についての議論

調査検討会：メンバ構成(1)

- メンバは検討会委員(有識者)とオブザーバ(主に関連省庁・企業)から構成。
- 関係者間の相互理解促進・事業推進の課題特定・コミュニティ形成等の目的から、オブザーバにも発表や発言を求める形で運営。

検討会委員(有識者)

構成員・組織	所属・肩書等
鈴木 一人 (座長)	・ 東京大学公共政策大学院 教授
新谷 美保子	・ TMI総合法律事務所 パートナー(弁護士)
吉原 徹	・ JAXA 安全・信頼性推進部 システム安全・軌道利用安全推進ユニット ユニット長

オブザーバ(関連省庁等)

構成員・組織
内閣府
総務省
外務省
文部科学省
防衛省
JAXA

※オブザーバ(関連企業)は次頁に示す。

調査検討会：メンバ構成(2)

オブザーバ(関連企業等)

カテゴリ	構成員・組織
SSA/SDA	日本電気株式会社(NEC)
	富士通株式会社
	Star Signal Solutions株式会社
	株式会社インフォステラ
軌道上サービス	株式会社アストロスケール
	株式会社BULL
	株式会社Orbital lasers
	株式会社Pale Blue
	株式会社Cosmobloom
	株式会社アークエッジ・スペース
衛星開発・運用	スカパーJSAT株式会社
	株式会社アクセルスペース
	株式会社Synspective
	株式会社QPS研究所
	株式会社アークエッジ・スペース

カテゴリ	構成員・組織
衛星開発・運用 (続き)	日本電気株式会社(NEC)(再掲)
	株式会社パスコ
	三菱電機株式会社
輸送	三菱重工業株式会社
	株式会社IHIエアロスペース
	インターステラテクノロジズ株式会社
	スペースワン株式会社
	将来宇宙輸送システム株式会社
保険	東京海上日動火災保険株式会社
	三井住友海上火災保険株式会社

3-2-2. 調査検討会での議論結果

第1回検討会での関連意見:総合討議(1/2)

● 現状認識・課題認識

- STM分野は事業化しなければならない段階に到達していると認識している。
- STM分野は国内では宇宙活動法、海外ではEU宇宙法など、目まぐるしく状況が変化している。
- 現在、STM分野は各衛星事業者の活動領域が干渉する際のルール形成の在り方を検討する時代に入っており、従前と比較して危機感が高まっていると感じている。
- 昨年と比較して、衛星事業者を含めてPMDに対する意識が向上していると感じる。(中略)また、欧州では、早期にサービス実証を進め、実用性を示すことで市場での優位性を確保しようとしているため、日本としても早急に対応が必要だと感じる。
- 欧米を中心に国際的な標準・基準化の動きが既に活発であるため、標準化は「攻め」の観点だけでなく、「守り」の観点も存在する。IACにおいても、SSA・STMに関する議論が活発で、特にTraCSSとEU-SST間における、衝突回避等に関するオペレーターレベルでの対話・議論が進んでいる報告があったが、日本はその議論に参加できていない。
 - 日本がTraCSS・EU-SST間の対話に参画できていないのは、日本のSSAの担当機関が明確でないことも原因である。
 - SSA事業を進める中で、日本にSSAに係る専門機関が存在しないことは開発段階でも課題となっている。
- 宇宙賠償責任保険において、2つの課題がある。1点目は引き受ける保険事業者が当社を含めて数社しかない点である。(中略)今後軌道上における事故が生じた場合、保険事業者が少ないことも相まって、保険料が一気に高騰する可能性がある。2点目は、軌道が混雑し衝突リスクが高まった特定の軌道において、保険の引受ができなくなる可能性がある点である。(中略)打上げ許可制度の中に保険に関する制約を組み込んでいる例は各国でみられるが、宇宙保険市場は必ずしも安定しているわけではない。

第1回検討会での関連意見：総合討議(2/2)

● 注目すべき動向

- COPUOSにおいて、STM分野では、ドイツから提案があったほか、UAEからSSAに関する専門家WGを作るという提案が出ている。
- 国連の「UNOOSA Space Bridge」という会議がニューヨークで開催され、SSAに関係するTrack1.5の専門家を集めて議論がなされた。その結果、SSAデータ共有に係る段階的なアプローチを採用する方針が定まったが、こういったTrack1.5での会議はCOPUOS等における議論の潮流を作るうえで重要である。11月にはUNOOSAが主催する「Space Law Conference」が開催されるが、このような機会に官民のプレイヤーが広く参加することが望ましい。

● 産業政策への示唆

- 標準化を進めるうえでは当該技術の社会実装・普及を見据えておくことが重要である。
- 認証制度・標準化を推進し、ISO等で国際的に認知されたとしても必ずしも国際的に普及するわけではない。特に中国製品・サービスが独自の標準で普及した場合、デファクトとなる危険性がある。
- 日本では、技術を保持していても、ルール・標準化する前に海外の技術に先行されて、市場でのシェアを獲得できないというケースが多い。技術を社会実装する過程の中で規制を同時に作成することが重要である。
- データ統合の際に誤った、あるいは精度が悪いデータが混入しないよう、データ品質評価技術を国内で獲得する必要がある。そのためにも、海外のLeoLabs、ExoAnalyticsなどのSSA事業者と肩を並べられるような国内SSA事業者を育成する必要がある。
- 米国のSSAにおいて、もともとは政府がカタログ管理からサービス提供までを担っていたが、TraCSSの台頭以降、米国軍が一定品質のカタログを民間事業者へ提供し、民間事業者は自身でもデータを保管しながらサービス提供を行っている。日本においても、官民の役割の境界線を明確に設定し、事業者が自身の事業としてフォーカスできる領域を明確化できる状況を作る必要がある。
- 米国の工場に掛ける火災保険を例にご説明したい。火災保険に加入したい工場に対し、通常の公的機関よりも厳格な設計基準を保険事業者が設定し、基準を満たすことができれば保険加入を認めるという仕組み(ロスプリベーション)が存在する。宇宙分野においては現状では技術が標準化されていないものが多いが、標準化された場合は同様な支援が可能になるだろう。日本の宇宙保険業界を有効活用すれば、標準化を主導できる可能性がある。

第2回検討会での関連意見:企業オブザーバからの意見(1/5)

【宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁に関連した意見】

● 技術成熟度向上の難しさ

- 近年、軌道離脱を加速させる技術が複数提案されているが、(中略)どの手法が合理的かを検証するため、**国として統合的なシミュレーションを行う環境を整備すべき**ではないかと考えている。

● 実証環境・機会の制約

- 実証を含むエコシステム形成を民間事業者のみで行うのは困難であるため、特に**実証実験を希望するパイロット事業者を中心に、経済的支援が必要**である。
- 早期に実証を行い市場投入まで到達した企業が競争上優位に立つ状況にあることから、国内プレイヤーに対する実証機会が提供されることが望ましい。
- 宇宙における実証機会が限られていることを課題と捉えており、実証機会の提供を通じて産業を後押ししたいと考えている。一方、**現状ではコストや手続き面の制約から、十分に選択肢として検討されていない**との認識もある。

● 市場・顧客獲得の難しさ、競合の出現・成長

- ADRに収益性を見出す衛星事業者は少ないと感じており、当面はデュアルユースとして安全保障分野での収益確保を重視している。今後は、**ADR分野における市場予見性をいかに高めるかについて議論を深める必要がある**。
- 衝突回避マナーバの運用自体は売上に直結するものではなく、主にコスト側の課題として認識されている。このため、衝突回避に要する時間や工数をいかに削減するかが重要な論点である。(中略)運用工数の削減においては自律運用の実現が鍵となる。衝突回避においては、各種データをどのように活用するかが極めて重要であり、**複数のデータを基に自動的にマナーバを実行できる仕組みの構築**が求められる。

第2回検討会での関連意見:企業オプザーバからの意見(2/5)

【宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁に関連した意見】

- ルール・標準の未整備・不整合・不統一
- 国際的な衝突防止ルールの欠如への懸念
 - ◆ 衝突防止関連の明確なルールが定められていない現状に危機感を覚えている。現状は定期的な軌道修正によって対応しているものの、緊急マヌーバを実施せざるを得ないケースも発生している。同領域に係るルール化や国家間の調整が必要不可欠である。
 - ◆ 衛星運用においては、情報量が増加するだけではリスク低減にはつながらず、明確な衝突回避ルールの整備が不可欠である。現時点では、ルールや国際社会における一般的な行動規範が十分に形成されておらず、衛星数の増加に伴い、国際的な危機感が高まっている。
- STMにおける国内の統括・国際的な窓口の必要性
 - ◆ アジア太平洋地域での連携も含め、国際的な議論の場に参画し、政策・技術両面でのプレゼンス向上が必要である。また、国内においては、全体を統括する中核的な体制を明確化した上で、ハードローおよびソフトローの双方について戦略を策定し、官民連携の下で取り組みを推進していく必要がある。
 - ◆ STMにおける国際的な調整窓口を明確化し、中国・ロシア等との国家間の議論の機会を確保することが重要である。
 - ◆ 国際的なSSA連携における窓口や体制を明確化する必要がある。こうした構造は多くの産業分野にも共通しており、注力すべきポイントや勝ち筋をパターン化した上で、戦略的に取組を進めることが求められる。
 - ◆ 日本におけるSSA関連の担当機関を明確に設けることの必要性を感じた。

第2回検討会での関連意見:企業オプザーバからの意見(3/5)

【宇宙事業拡大までの各フェーズにおける主な課題・リスク・障壁に関連した意見】

- ルール・標準の未整備・不整合・不統一
- 他国主導ルールによる不利・制約等の懸念
 - ◆ デオービット時に必要な表面積等に関するルールが後から定められた場合、技術開発の投資の回収が困難となる懸念がある。このため、**規制・制度の基本方針について早急に方向性を示してほしい**。また、衛星を何年以内に軌道から離脱させるべきかといった国際ルールが変更される場合、それに対応した設計変更が必要となり、追加的なコストが発生する。
 - ◆ 今後EU宇宙法が施行された場合には、同法に基づくルールへの対応も求められる可能性がある。**規制対応が後手に回らないよう、制度面だけでなく技術的要件についても早期から注視・整理していきたい**。
 - ◆ **ルール形成に先行して個別協定が積み重なることで、政府衛星や民間衛星を含む日本の衛星にとって不利な前提が既成事実化される可能性がある**。このため、国際的なルール形成を待つだけでなく、**メガコンステレーション事業者との間でどのような協定を結ぶべきか、その是非や方針について議論する場を設けることが有意義ではないか**と考えている。

第2回検討会での関連意見:企業オブザーバからの意見(4/5)

【その他の意見】

● 軌道環境の悪化への懸念

- 軌道上における安全性確保について懸念がある。
- 今後のデブリ増加により、**打上げタイミングに制約が生じる可能性**がある。

● 事業者間や省庁間の連携について

- 各事業者の有する情報を収集・共有して、**事業者間の交流の機会を確立することが重要**である。
- **SSAサービス提供者と衛星運用事業者が円滑に連携できる仕組み**とすることが望ましい。
- SSAデータをいかに安全かつ正確に流通させるかが重要な課題である。ソフトウェアや運用も含め、**データの取得から利活用に至るまでのライフサイクル全体を俯瞰した議論**を行うことが望ましい。
- 複数省庁による施策が重複し、結果として取組の分散を招かないよう、**省庁間の連携強化**が求められる。

● 手続きの煩雑さへの懸念

- 国が求める年間30回以上の高頻度打上げを前提とすると、**現行手続きは煩雑であり、改善が必要**だと考えている。
- 今後、打上げ回数が増加した場合、(CSpOCへの登録)手続きが一層煩雑化することが懸念される。このため、**登録等の手続きについて簡素化**を図ってほしい。

第2回検討会での関連意見:企業オブザーバからの意見(5/5)

【その他の意見】

● 国際会議の活用について

- オーストラリアがIACを自国事業者の発信・アピールの場として活用していたことを踏まえ、日本の宇宙産業についても、日本で国際会議等を開催し、それを活用した効果的なプロモーションの場を戦略的に構築していくことが望ましい。

● 保険業界の活用について

- スペースサステナビリティを促進する仕組みとして、保険の役割が重要であるとの指摘が多く見られた。今後は、国内方針が整理され次第、国際機関に対して戦略的なアプローチを行っていくべきである。
- 保険会社として何ができるのかを民間の立場から検討しつつ、政府や他の事業者からの意見も取り入れながら、航空や海事分野で構築されてきたような国際的な仕組みが、宇宙分野においても形成されていくことが望ましい。

第2回検討会での関連意見:総合討議(1/2)

- **基礎研究・シミュレーションツール開発の重要性について**
 - 科学的知見の不足や不確実性によって議論や制度設計が左右されることへの懸念がある。欧州ではモデル主体のシミュレーション研究が先行している一方で、日本国内においては基礎研究が十分とは言えず、超高層域における大気密度モデル等の整備が課題となっている。こうした**基礎研究やモデル整備を推進することで、より実効性の高い戦略立案が可能になると考えられる。**
- **実証機会の確保について**
 - 実証機会の確保については、国のファンド等による支援への期待もある一方で、**現場レベルでは、使いやすく共通化された作業環境の整備が重要**であり、事業者には同領域に取り組むことを期待している。

第2回検討会での関連意見:総合討議(2/2)

- 先行者利益の獲得(特許の活用を含む)について
 - ルール形成において日本が国際的にリードするためには、**特許や契約関連も含めた戦略を検討する必要がある**。先行して取り組んだ者が有利になる、いわば「やった者勝ち」の状況になっていると認識している。このため、実際に事業を進め、契約を締結し、特許を取得するといった方針を着実に進めていく必要があると考えている。
 - 宇宙開発は常に「やった者勝ち」で進んできた分野であり、**実際の実績や契約、特許取得といった既成事実を積み重ねる**ことで、後からルールや相場が形成されてきたと認識している。そのため、市場・ルールに先んじて相場を作り出し、先行者利益を獲得するための能力・アイデア・発想力が重要である。
- STM分野への政府支援のあり方について
 - STM分野において、受益者が衛星事業者である場合(例:PMD装置など)は、市場・エコシステムが形成される一方で、**受益者が衛星事業者以外の場合(例:マイクロデブリ除去など)は市場が形成されづらいため、政府あるいは各国間が連携して推進すべき領域**であると認識している。
 - ◆ 宇宙デブリ除去は国際公共財的な性格を有する一方で、実際の除去を担う主体が不在であるという課題がある。マイクロデブリについては、排出主体が不明確であるため、責任所在を決定するのは困難である。そのため、公海上における汚染者負担原則のように、**デブリ排出に寄与した主体がデブリ除去の責任を負うという仕組みをルール化する必要がある**。
 - STM分野の支援には政府が関与すべき一定の公共性があることを、国民に対して説明可能な形で整理する必要がある。

4. 我が国が取るべき宇宙交通管理等に関する標準化およびルール形成戦略(案)の検討

- 標準化およびルール形成戦略(案)の検討
- 創出・拡大できる市場規模の調査分析

4-1. 標準化およびルール形成戦略(案)の検討

- 【再掲】ルール・標準化に係る課題整理
- 標準化およびルール形成戦略(案)の検討に向けた整理
- 標準化活動のステップ

【再掲】ルール・標準化に係る課題整理

- 課題・リスクのうち、ルール・標準化に係る項目について、その性質・特性に応じて下表のとおり整理した。

SSA

	A:守り(ルールが乱立、日本が劣後)	B:攻め(ルールが不足、日本が先行)
運用に関するルール(上位)	<p>(12)(13)(15) SSAの利用や共有に関するルールが不統一</p> <p>(10) 国内では損害賠償付保義務や政府補償制度が未整備</p>	<p>(7) 軌道情報および登録衛星の管理体制が不十分</p> <p>(8)(14)(17) 接近回避運用時等における事故発生時の責任分担、被害状況の把握・報告義務が不明瞭</p> <p>(9)(11) RPO、撮像行為に関する国際的な基準が未整備</p>
技術の性能・品質に関するルール(下位)	<p>(19) EU宇宙法案への適合性を評価する仕組みがない</p> <p>(5) EU宇宙法案に基づく欧州規格が他の規制と乖離</p>	<p>(18) データの精度・レイテンシを評価・規定する基準が不足</p> <p>(16) 衝突回避運用支援事業者についての認証制度がない</p>

軌道上サービス

	A:守り(ルールが乱立、日本が劣後)	B:攻め(ルールが不足、日本が先行)
運用に関するルール(上位)		<p>(23) デブリ回収を行う経済的インセンティブが無い</p> <p>(21) デブリ除去義務の法制化や運用ルール化が不十分</p> <p>(26) 他国の衛星を対象とした行為実施時の許認可制度が未整備</p> <p>(26) 軌道上サービス中の事故発生時の責任分担が不明瞭</p> <p>(27) RPOに関する国際的な基準が未整備</p>
技術の性能・品質に関するルール(下位)	<p>(24)(25) デブリ除去や燃料補給等に係るインターフェース・運用等を規定する国際標準と国内標準が乖離する懸念がある</p>	

ルール・標準化活動のステップ

1. 対象の評価

- 我が国の状況(先行/劣後、優位性の有無、等)
- 国際ルールの状況(乱立、制定途上、不足、等)

⇒ 先行あるいは優位性があり、かつ国際ルールが不足している場合、市場獲得の手段としてルール・標準化活動を行う価値あり(攻め)

2. 目標の設定

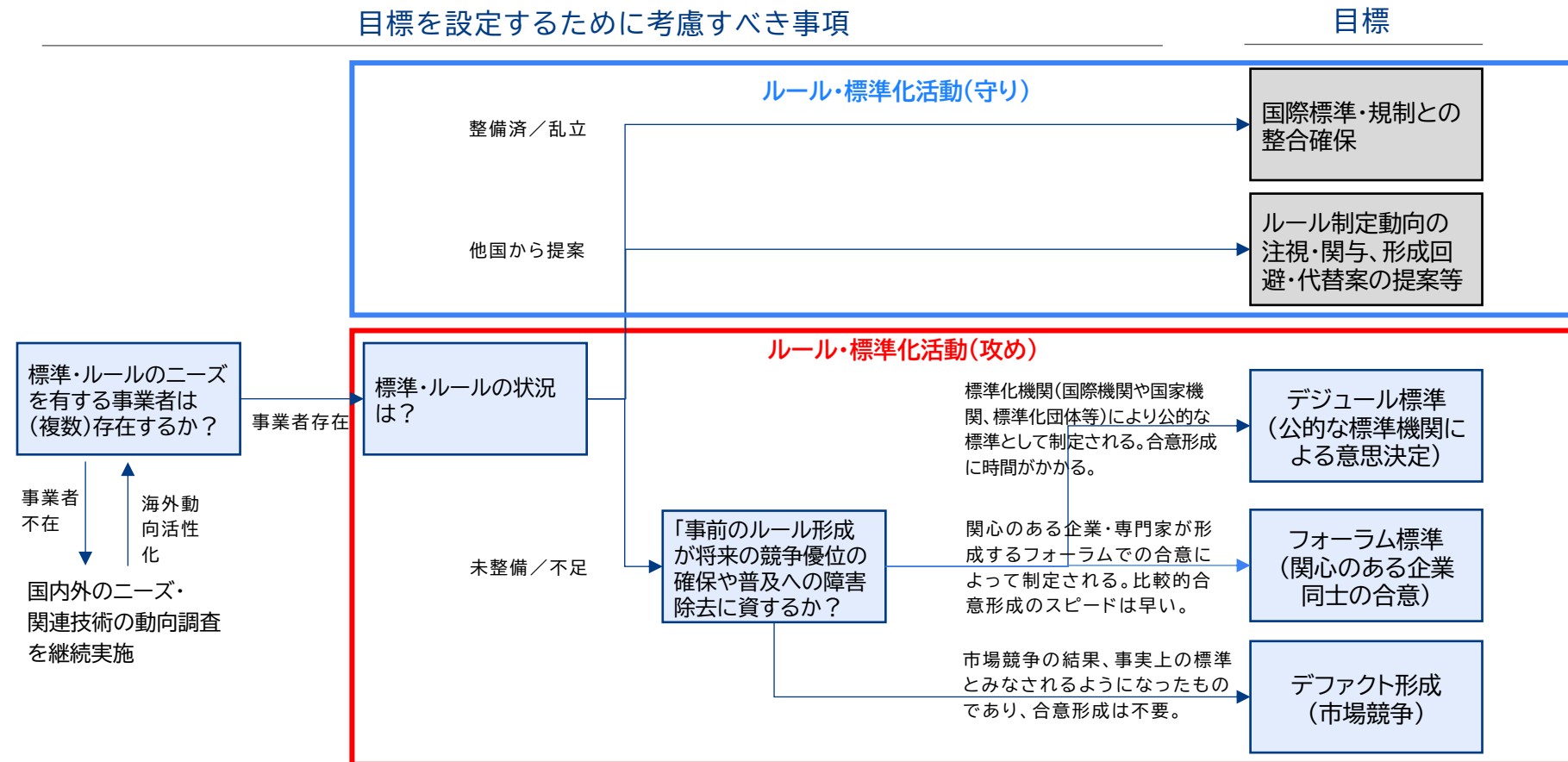
- ルール・標準化活動の目標(最終ゴール)を設定
 - デジュール標準(公的な標準機関による意思決定):標準化機関(国際機関や国家機関、標準化団体等)により公的な標準として制定される。合意形成に時間がかかる。
 - フォーラム標準(関心のある企業同士の合意):関心のある企業・専門家が形成するフォーラムでの合意によって制定される。比較的合意形成のスピードは早い。
 - デファクト形成(市場競争):市場競争の結果、事実上の標準とみなされるようになったものであり、合意形成は不要。

3. 目標に応じた手順・ルートを選択

- 最終ゴールにたどり着くための手順・ルートを選択
 - 最初に決めたルート通りにいくことは難しいことから適宜、見直しを行うことが必要
 - トライ・アンド・エラーを重ねながら進めることも多い、複雑なプロセス
- ルール・標準化がゴールではなく、標準の普及(そして市場の獲得)まで考えることを忘れずに

目標の設定

- ルール・標準化活動の目標(出口)と目標を設定するために考慮すべき事項を以下のフロー図に示す。
※本検討では、オープン・クローズドという2種類の方向性のうち、標準化などを伴うオープン戦略について焦点を当てている
- ルール・標準化活動(攻め:下表**赤枠**)を行う対象については、次頁以降で目標に応じた手順・ルートを整理する。



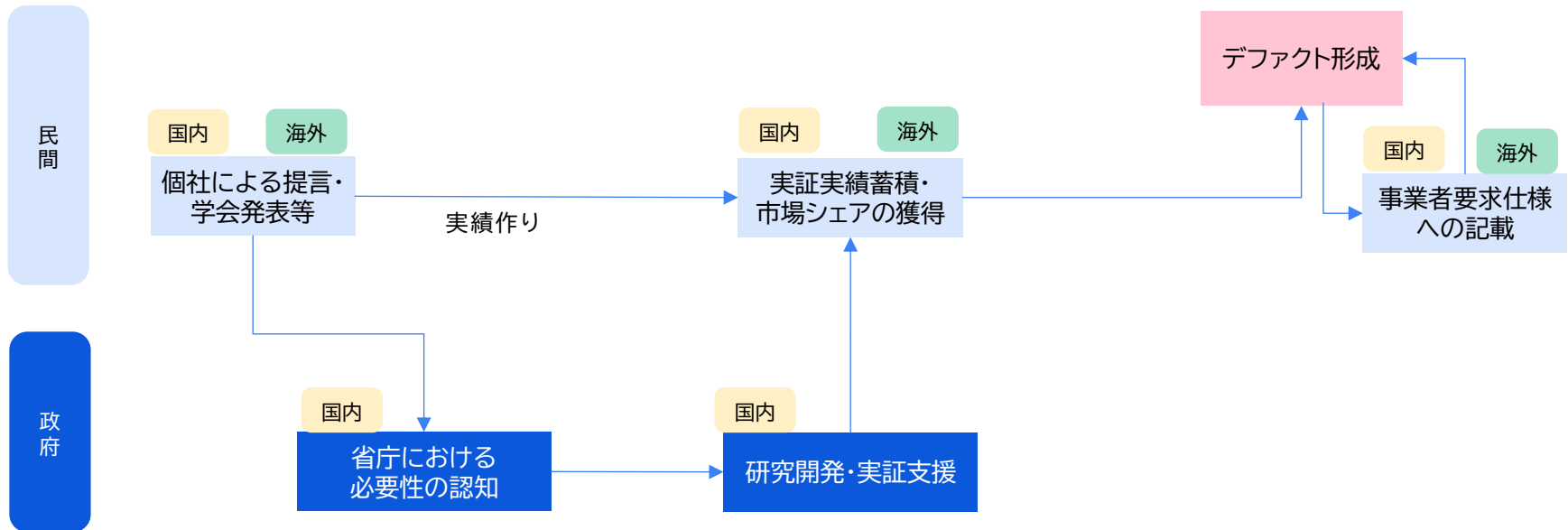
目標に応じた活動・手順の類型化

- 3つの目標ごとに、目標までの実施項目と手順を類型化した。
 - 政府や民間において実施することや目標までの順序を整理することを目的としている。
 - 分かりやすさを重視した整理であり、実際の活動では各活動が並行して行われたり、繰り返し行われたり、といった複雑なプロセスである。また、典型的な例を示したものであり、例外はあり得る点に留意が必要である。
 - トライ・アンド・エラーを重ねながら進めることも多く、最初に決めたルート通りにいくことは稀なことから、活動を進めながら適宜、見直しを行うことが必要である。
 - ルール・標準化活動を行う際には形成段階から普及を見据えた活動(そして市場獲得の活動)をすることが重要であり、その点も表現している。

目標に応じたルートを選択(1/3)

● ゴール①: デファクト形成(市場競争)

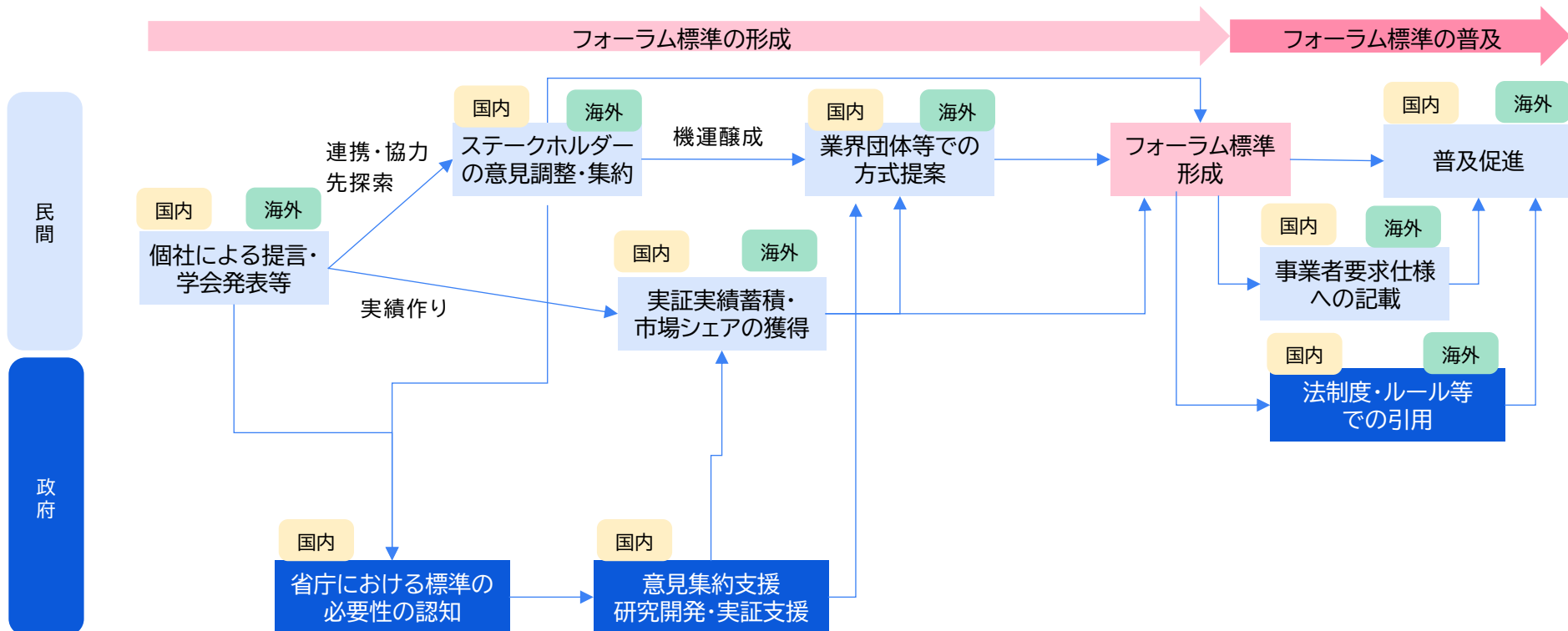
- 市場競争の結果、事実上の標準とみなされるようになったものであり、合意形成は不要である。



目標に応じたルートを選択(2/3)

● ゴール②: フォーラム標準(関心のある企業同士の合意)

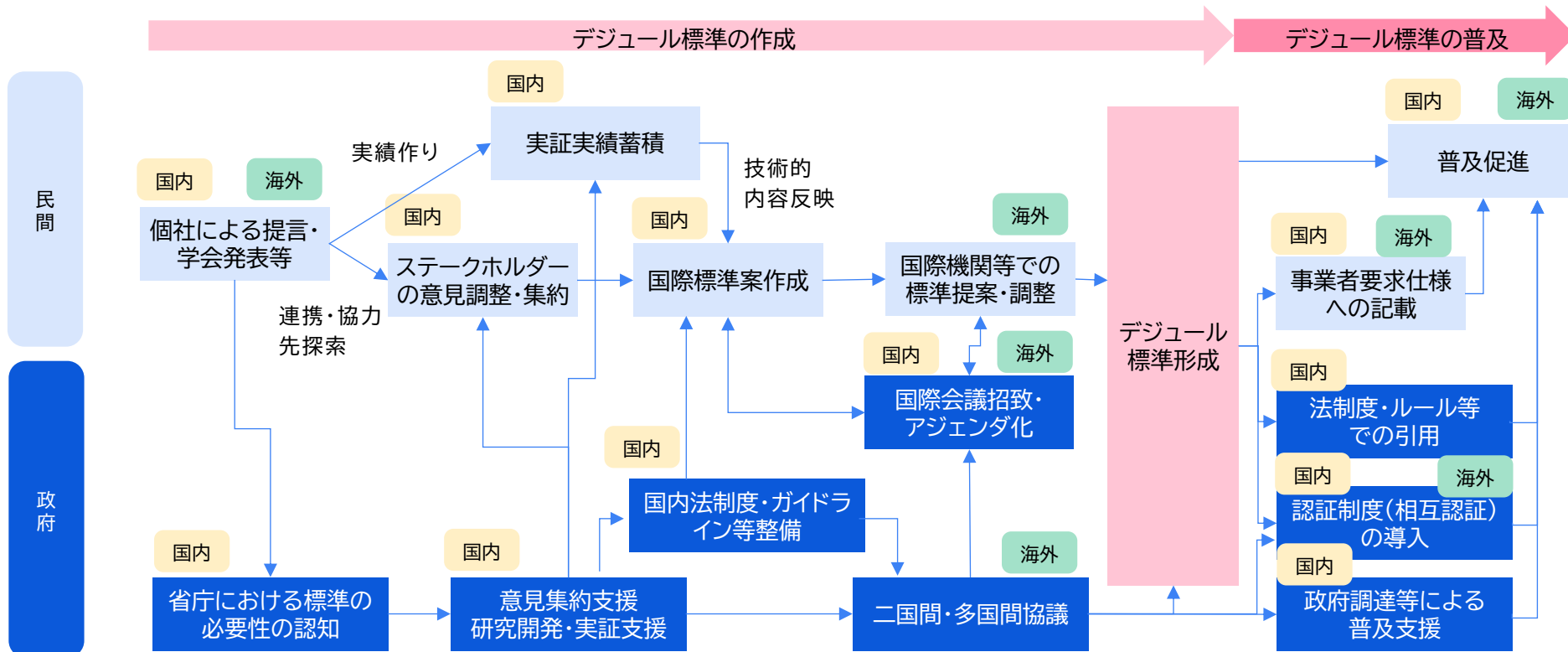
- 関心のある企業が自発的に集まってフォーラムを形成し、合意によって作成される。
- 比較的合意形成のスピードは早い。



目標に応じたルートを選択(3/3)

● ゴール③: デジュール標準(公的な標準機関による意思決定)

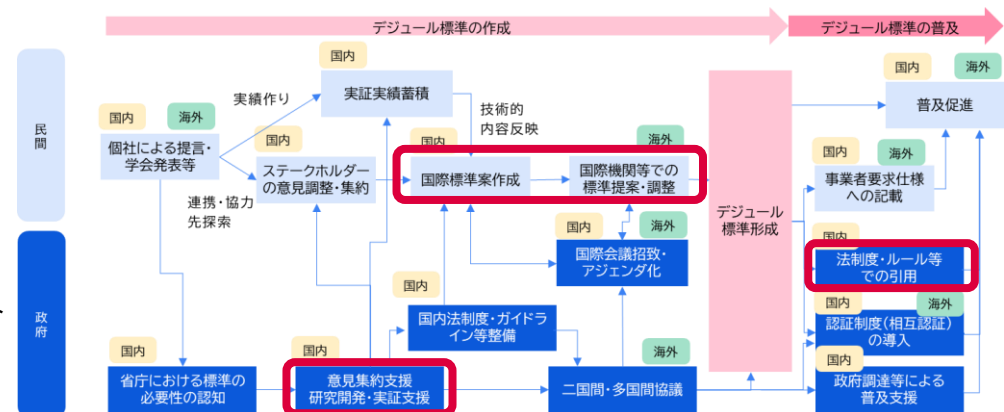
- 標準化機関(国際機関や国家機関、標準化団体等)により公的な標準として策定される。合意形成に時間がかかる。
- 国際標準化の前に、フォーラム標準や国内標準の形成を経る場合もある。
- 国際標準を作成する前に他国の技術戦略と連携(研究開発プログラムへの参加等)し、そこで合意された標準を国内適用・国際標準形成につなげる場合もある。



宇宙分野でのルール・標準化活動の例 | SJACによる活動

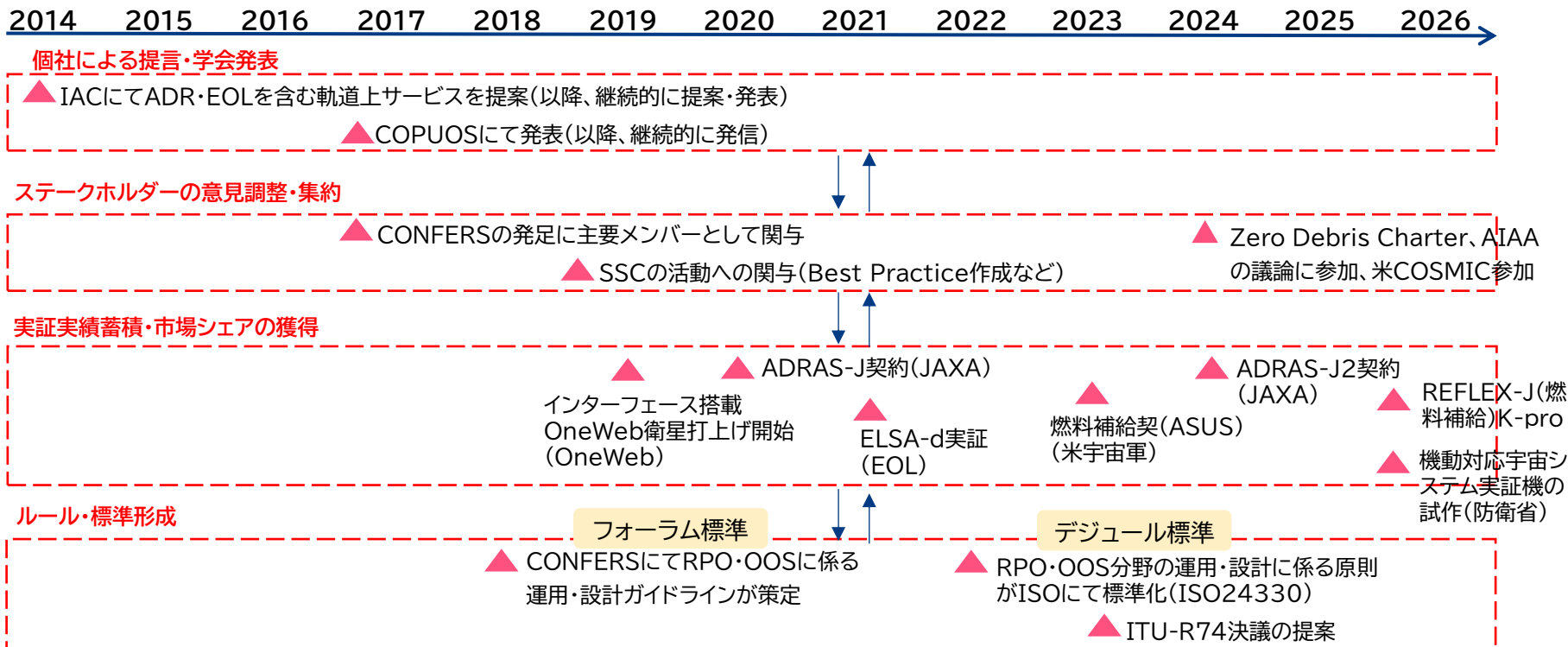
- ISO標準の獲得に向けた事例として、日本航空宇宙工業会(SJAC)の活動が挙げられる。
 - SJACでは、経産省の支援の下、宇宙機及び宇宙システムを扱う専門委員会(TC20)内の宇宙データ・情報転送システムや宇宙システム・運用の分野を所掌する分科会(SC13、14)への標準提案活動を実施している。
 - 例えば、以下のようなISO標準の策定に貢献している。
 - 高精度衛星測位サービスの衛星仕様等に関する標準(ISO 18197)(2014年制定)
 - 2009年:新規提案
 - 2012~2013年:実証実験の実施。専門家による委員会の設置(標準内容の審議や技術検証の評価)
 - 超小型衛星の試験に関する標準(ISO-19683)(2017年制定)
 - 2011年(以後毎年実施):国内外の専門家が参加するワークショップ
 - 2013年:新規提案
- なお、制定されたISO標準は国内の技術文書等で引用され、活用される。例えば、ISO24113(Space debris mitigation requirements, 2019年改定)は、JAXAのスペースデブリ発生防止標準(JAXA, 2020年改定)において参照されている。

上記の活動事例は、デジュール標準形成への手順・ルート(右図)における赤枠内の活動にあたる。



宇宙分野でのルール・標準化活動の例 | アストロスケール

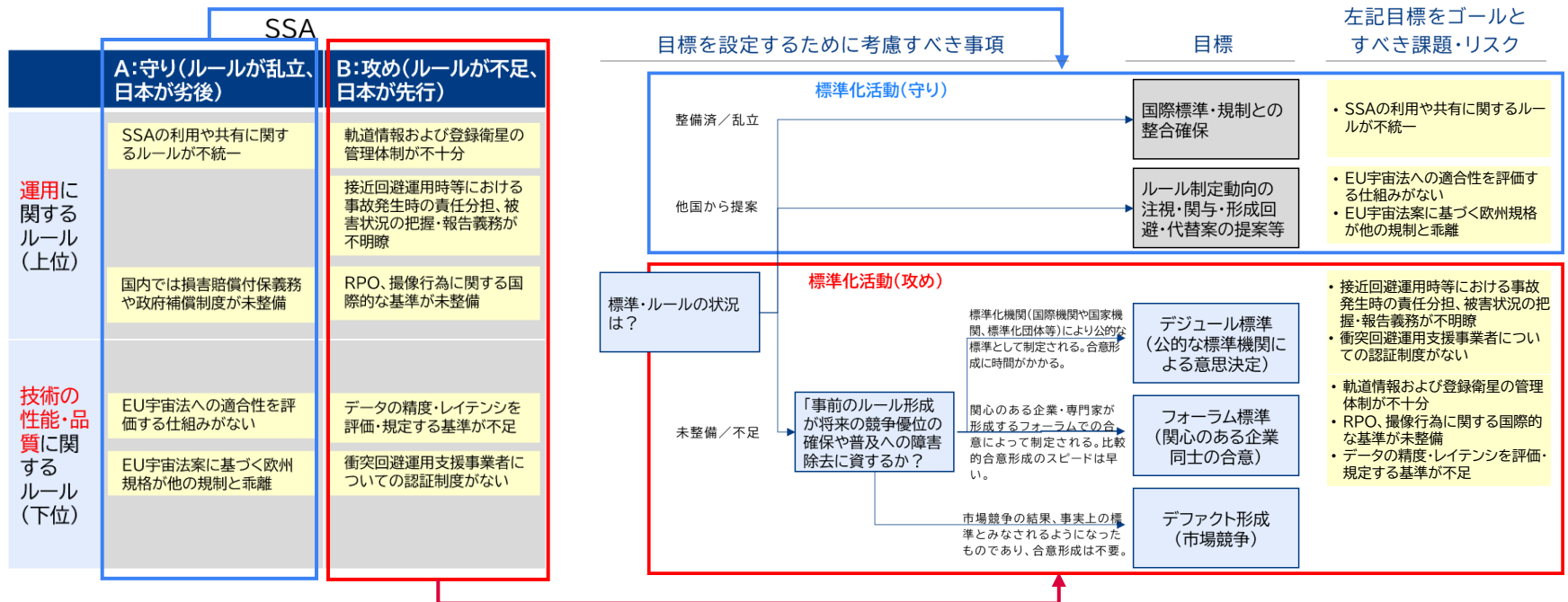
- アストロスケールは軌道上サービス分野において積極的にルール・標準化活動を進めてきている。
 - CONFERS、SSC(Space Safety Coalition)、Zero Debris Community等の活動に積極的に参加し、ペンホルダーとして議論を主導。
 - 並行してJAXA、UKSA、ESA、NASA、米宇宙軍等との契約を通じ、技術的実績を着実に蓄積(代表的な取組例を下図に示す)。
 - 様々な取組みでトライ&エラーを重ねながら、軌道上サービスの社会実装を推進。



SSA分野でのルール・標準化活動の方向性

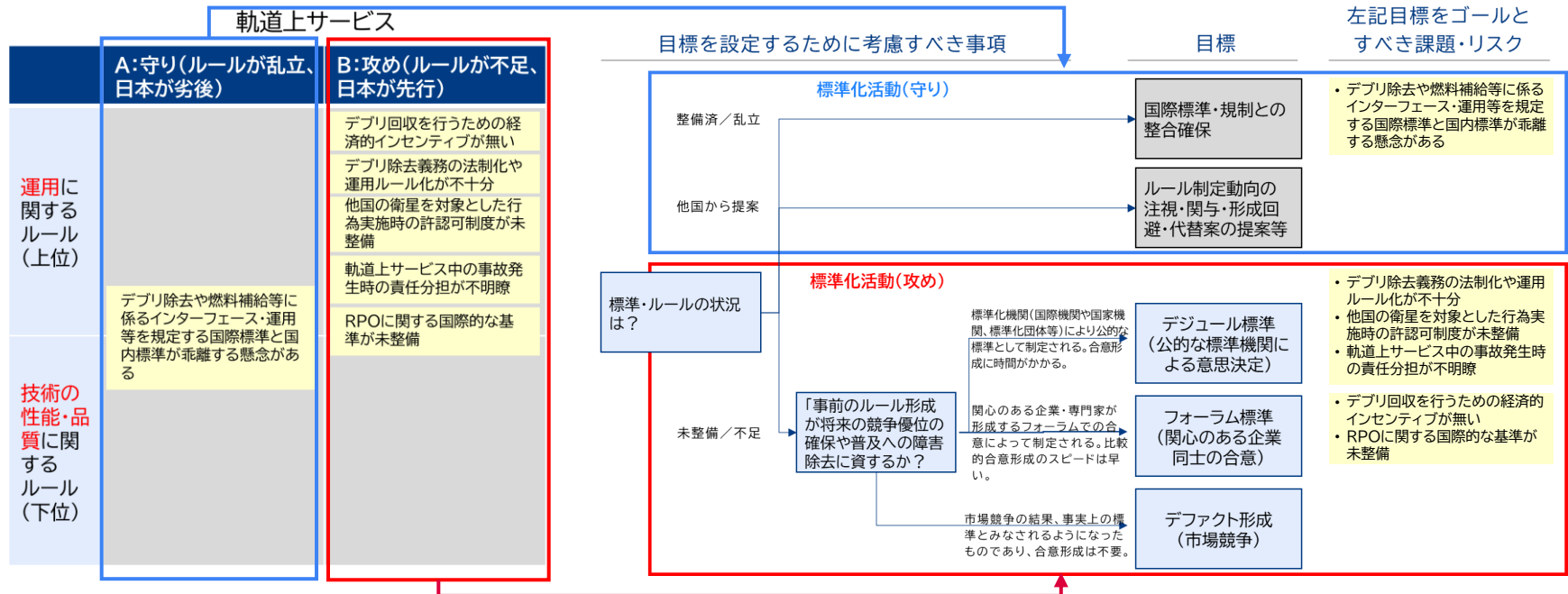
●「SSA分野」のルール・標準化に係る課題・ニーズと目指すべきゴールの関係性を下図に示す。

- 守りの課題・ニーズについては、SSA関連ルールのようにルールが乱立しているものと、EU宇宙法関連のように他国から提案を受けているものに分けて、目指すべき目標を整理
- 攻めの課題・ニーズについては、事故発生時の責任分担や事業者認証制度など、国際的な整合性や国家間の合意が不可欠であるため公的なルールとして整備すべきデジュール標準の対象になる項目と、衛星の管理体制や技術基準など、実務者間の迅速な調整が求められるため業界合意によるフォーラム標準として整理するのが現実的である項目に分けて整理
 ※検討会で得られた課題・ニーズは、ルールや標準化を求めるものを聴取したものであり、特定企業がコンセンサスを介さず市場原理のみでデファクト化を目指す領域は対象外



軌道上サービス分野でのルール・標準化活動の方向性

- 「軌道上サービス分野」のルール・標準化に係る課題・ニーズと目指すべきゴールの関係性を下図に示す。
 - 守りの課題・ニーズについては、デブリ除去や燃料補給関連のルールが存在し、国際間あるいは国際・国内間のルールの整合確保に整理
 - 攻めの課題・ニーズについては、事故発生時の責任分担や許認可制度など、国際的な整合性や国家間の合意が不可欠であるため公的なルールとして整備すべきデジュール標準の対象になる項目と、RPOに関する技術基準など、実務者間の迅速な調整が求められるため業界合意によるフォーラム標準として整理するのが現実的である項目に分けて整理
 ※検討会で得られた課題・ニーズは、ルールや標準化を求めるものを聴取したものであり、特定企業がコンセンサスを介さず市場原理のみでデファクト化を目指す領域は対象外



4-2. 創出・拡大できる市場規模の調査分析

創出・拡大できる市場規模の調査分析の方針

- 宇宙交通管理とは民間企業のビジネスだけでなく政府の活動や法制度・ルールなども含まれることから宇宙交通管理全体の市場規模の算出は難しい。
- そこで、本調査においては、既にビジネスとして立ち上がっている、宇宙交通管理に内包される「On-Orbit Satellite Servicing」と「Space Situational Awareness」の2つの分野について、既存の市場規模調査結果をベースに検討を行うこととした。
- 具体的には、両分野の市場規模についての既存の調査結果を整理するとともに、各調査レポートの予測値から成長率を計算して内挿し、各年の平均値・中央値を算出することで、市場規模の代表値として扱うこととした。
- 既存の市場規模調査レポートを基に算出した市場規模(代表値)は以下の通り。
- On-Orbit Satellite Servicing(OOS):
 - 平均値ベース:2024年33.1億米ドル、2034年97.8億米ドル
 - 中央値ベース:2024年29.5億米ドル、2034年97.8億米ドル
- Space Situational Awareness(SSA):
 - 平均値ベース:2024年17億米ドル、2034年27.8億米ドル
 - 中央値ベース:同上
- 各レポートの推計値等は参考スライドを参照のこと。

2034年125.6億米ドル

4-2. 創出・拡大できる市場規模の調査分析

参考: 既存の市場規模調査の整理(軌道上サービス)

市場規模推計事例			
出版主体	分析対象期間	開始年/終了年の 市場規模推計値(米ドル)	出典
Allied Market Research	2022-2032年	34億/90億	https://www.alliedmarketresearch.com/on-orbit-satellite-servicing-market-A323206
Bizwit Research & Consulting LLP	2023-2032年	37.6億/93.4億	https://bizwitresearch.com/reports/global-on-orbit-satellite-servicing-market-to-reach-usd-9-34-billion-by-2032/
GMI	2024-2034年	27億/80億	https://www.gminsights.com/industry-analysis/on-orbit-satellite-servicing-market
Grand View Research	2025-2033年	32.7億/70.6億	https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/satellite-servicing-market-report
Lucintel	2024-2030年	30億/58億	https://www.lucintel.com/on-orbit-satellite-servicing-market.aspx
Market and Markets	2023-2030年	24億/51億	https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/on-orbit-satellite-servicing-market-206789424.html
Market Glass, Inc.	2024-2030年	29億/54億	https://www.gii.co.jp/report/go1788230-on-orbit-satellite-servicing.html
Precedence Research	2024-2034年	42.2億/115.6億	https://www.precedenceresearch.com/on-orbit-satellite-servicing-market
360iResearch	2024-2032年	27.1億/49.9億	https://www.360iresearch.com/library/intelligence/on-orbit-satellite-servicing

代表値算出

軌道上サービス市場規模 単位(億ドル)	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Allied Market Research	34.0	37.5	41.3	45.5	50.2	55.3	61.0	67.2	74.1	81.7	90.0		
Bizwit Research & Consulting LLP		37.6	41.6	46.0	50.9	56.3	62.3	69.0	76.3	84.4	93.4		
GMI			27.0	30.1	33.5	37.4	41.7	46.4	51.8	57.7	64.3	71.7	80.0
Grand View Research				32.7	36.0	39.6	43.6	48.0	52.9	58.2	64.1	70.6	
Lucintel			30.0	33.5	37.4	41.7	46.5	51.9	58.0				
Market and Markets		24.0	26.7	29.8	33.1	36.9	41.1	45.7	51.0				
Market Glass, Inc.			29.0	32.2	35.7	39.6	43.9	48.6	54.0				
Precedence Research			42.2	46.7	51.6	57.1	63.2	69.9	77.3	85.5	94.6	104.7	115.6
360iResearch			27.1	29.2	31.6	34.1	36.8	39.7	42.8	46.2	49.9		
平均値	34.0	33.0	33.1	36.2	40.0	44.2	48.9	54.1	59.8	69.0	76.1	82.3	97.8
中央値	34.0	37.5	29.5	32.7	36.0	39.6	43.9	48.6	54.0	70.0	77.2	71.7	97.8

斜体は三菱総合研究所の計算値
本資料の中央値・平均値は、表示桁数の関係で元データの内挿値と完全には一致しない場合があります

4-2. 創出・拡大できる市場規模の調査分析

参考: 既存の市場規模調査の整理(SSA)

市場規模推計事例

出版主体	分析対象期間	開始年/終了年の 市場規模推計値(米ドル)	出典
Data Bridge Market Research	2024-2032年	14.3億/20.4億	https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-space-situational-awareness-market
Fortune Business Insights	2024-2032年	19.7億/30.1億	https://www.fortunebusinessinsights.com/space-situational-awareness-ssa-market-105446
Future Market Insights	2025-2035年	18億/29億	https://www.futuremarketinsights.com/reports/space-situational-awareness-market
GMI	2024-2034年	17億/28億	https://www.gminsights.com/industry-analysis/space-situational-awareness-market
Mordor Intelligence	2025-2030年	16.9億/24.3億	https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/space-situational-awareness-systems-market
The Insight Partners	2024-2031年	16.9億/27.6億	https://www.theinsightpartners.com/reports/space-situational-awareness-ssa-market

代表値算出

SSA市場規模 単位(億ドル)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Data Bridge Market Research	14.3	14.9	15.6	16.3	17.1	17.9	18.7	19.5	20.4			
Fortune Business Insights	19.7	20.8	21.9	23.1	24.3	25.7	27.1	28.5	30.1			
Future Market Insights		18.0	18.9	19.8	20.8	21.8	22.9	24.0	25.2	26.4	27.7	29.0
GMI	17.0	17.9	18.8	19.7	20.8	21.8	22.9	24.1	25.3	26.6	28.0	
Mordor Intelligence		16.9	18.2	19.5	21.0	22.6	24.3					
The Insight Partners	16.9	18.7	19.4	20.8	22.4	24.0	25.7	27.6				
平均値	17.0	17.8	18.8	19.9	21.1	22.3	23.6	24.7	25.2	26.5	27.8	29.0
中央値	17.0	17.9	18.8	19.8	20.9	22.2	23.6	24.1	25.2	26.5	27.8	29.0

斜体は三菱総合研究所の計算値
本資料の中央値・平均値は、
表示桁数の関係で元データ
の内挿値と完全には一致し
ない場合があります

標準化およびルール形成によって創出・拡大できる市場の規模(1/2)

- 標準化およびルール形成により創出・拡大できる市場の規模を算出するためには、標準化およびルール形成による効果を定量的に設定する必要がある。
- 一方で、標準化およびルール形成の効果を学術的に研究した事例は限られており、また、生産性の向上への寄与などの分析が主であることから市場規模の拡大を定量的に研究した事例はごく僅かである。ここでは、数少ない研究事例のうち、Blind&Jungmittag(2008)¹の事例を参考に標準化およびルール形成の市場規模拡大への影響の定量化を試みる。
- Blind&Jungmittag(2008)は、欧州4か国・12産業のパネルデータを用いて、標準化が産業成長に与える影響を計量的に分析した研究である。同研究の統合モデル(Table 4)の推計結果によれば、標準ストック(累積された標準の数)が1%増加すると付加価値が約0.079%増加する(弾力性=0.079)と推定されている。
- 標準ストックが毎年どの程度増えるか(増加率)は論文では直接推定されていないが、ISOなどの統計によると標準ストックは長期的に数%程度のペースで増加していることが観察される。仮に標準ストックが年間5~10%程度増加すると仮定すれば、この弾力性を用いた概算として、標準化は産業成長率(産業の付加価値成長率)を年間0.4~0.8%程度押し上げる可能性があると解釈できる。
- ただし、ここで測定されている産業成長率は、売上から中間投入を差し引いた付加価値の成長を指しており、市場規模(売上)の成長率とは厳密には異なる指標である点に注意が必要である。
- 一般的には、短期的には付加価値率(付加価値/売上)が大きく変化しない場合が多いと考えられることから、この仮定のもとではBlind&Jungmittag(2008)の結果は市場成長率も年間0.4~0.8%程度押し上げる可能性を示唆するものと解釈することができる。ただし、この数値は論文が直接推計した結果ではなく、推定された弾力性と標準ストックの増加率の仮定を組み合わせた概算である。

1、Blind, Knut & Jungmittag, Andre, The Impact of Patents and Standards on Macroeconomic Growth: A Panel Approach Covering Four Countries and 12 Sectors, Journal of Productivity Analysis, Vol. 29, pp. 51-60.

標準化およびルール形成によって創出・拡大できる市場の規模(2/2)

- 前頁までの仮定を基に、2034年の市場規模の数値を用いて宇宙交通管理分野での標準化およびルール形成により期待できる年間の市場成長率の押し上げ効果を試算すると、

$$125.6 \text{ 億ドル(2034年)} \times 0.4\% / \text{年} \sim 0.8\% / \text{年}$$

$$= 5,024 \text{ 千万ドル} / \text{年} \sim 1.0048 \text{ 億ドル} / \text{年}$$

$$\div \text{約} 79 \text{ 億円} / \text{年} \sim \text{約} 158 \text{ 億円} / \text{年} (\text{1ドル} 157 \text{円換算})$$

となり、年間で約79億円から約158億円の押し上げ効果があるとの結果が得られた。

5. まとめと今後の課題

まとめと今後の課題

- 本調査は、宇宙交通管理（STM）を巡る課題に対し、我が国として今後取るべき標準化およびルール形成戦略を検討することを目的として実施した。
 - 第2章では文献調査および国際会議参加による、STMに関する国内外の最新動向の調査・分析結果を提示した。
 - 第3章ではSTM関連事業者へのアンケート調査によるルール・標準化に関する事業者の要望や課題を抽出・整理した。加えて、SSAと軌道上サービスの2分野に分けて、抽出された要望・課題と宇宙事業拡大までのフェーズとの関係性を整理するとともに、海外および我が国の状況を踏まえて各要望・課題を標準化・ルール形成に積極的に取り組むべき「攻め」の領域と海外動向の影響を回避あるいは緩和させるべく対応する「守り」の領域に分類した。（第3章）
 - 第4章では、「守り」に整理した要望・課題については、国際標準・規制との整合確保やルール制定動向の注視・関与、形成回避・代替案の提案等を行うこと、「攻め」に整理した要望・課題については、具体的なルール・標準化活動として目標を設定し（デジュール標準・フォーラム標準・デファクト形成の3つから選択）、目標の実現に向けた活動を行うことを内容・手順の例を示しつつ述べた。さらに、SSAと軌道上サービスのそれぞれについてのルール・標準化活動の方向性も示した。
- 今後の取り組みの方向性としては以下が想定される。
 - 本年度の調査結果を踏まえ、特に「攻め」の領域についてより詳細・具体的な活動計画に落とし込んでいくことが重要である。
 - 同時に業界内での合意形成やルール・標準化を主導し、国際市場で勝つことができる事業者の育成も必要であり、ルール・標準化活動や技術開発・実証等を着実に推進するためには官民が連携して進めることが重要である。

付録

- EUCASS2025参加報告
- SPACETIDE2025参加報告
- GlobalSTM Workshop2025参加報告
- AMOS2025参加報告
- IAC2025参加報告

付録1. EUCASS2025参加報告

- 全体概要
- 個別セッション報告 | 講演内容
- STMに関して特に示唆に富む講演(6講演)のまとめ
- 参加報告まとめ・所感

全体概要

- 【EUCASS 2025 (11th European Conference for AeroSpace Sciences)】
- 日時: 6月30日(月)～7月4日(木)までの4日間
- 場所: Congress Center Auditorium della Tecnica, Rome Italy
- 形式: 基調講演(11講演) + テクニカルセッション(7回、約100セッション、約500講演) + ポスターセッション(約70発表)
- EUCASS: ヨーロッパの科学者・技術者によって創設され、科学コミュニケーションの活力の向上や、世界中の研究者と産業界のエンドユーザー間の交流の促進を目的とする非営利団体
- 参加者: 39カ国から750名以上が参加。
 - アジア圏からは韓国(47名)、中国(36名)、日本(20名)から参加
 - ヨーロッパからの参加が最も多く、特にイタリア・フランス・ドイツの3カ国から合計で354名が参加
 - アメリカからの参加者は13名のみ

個別セッション報告 | 講演内容(1/6)

講演タイトル	ZERO DEBRIS BY 2030: FROM STRATEGY TO IMPLEMENTATION
発表者(所属)	Courson Sibyl-Anna(ESA)
テーマ	デブリ抑制に向けたESAの取組状況(技術要件・標準、技術開発、Technical Bookletの作成、Zero Debris Charterと国際的コミュニティ形成の4つ)について
背景	ESAは2030年までに新たなデブリ発生をゼロにする目標”Zero Debris by 2030”を設定している。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> 技術要件・標準:ESA Space Debris Mitigation Policy及びESA Space Debris Mitigation Requirementsを2023年に更新している。後者の文書内には衛星サイズ・軌道残存期間ごとのリスク評価と必要な措置(廃棄措置の成功確率等)が整理されている。ESAが関わる2024年以降のミッションの59%は技術要件に高いレベルで合致している。また、技術要件適合のためのガイドライン(ESA Space Debris Mitigation Compliance Verification Guidelines)を2025年7月に発行 技術開発:技術要件への適合度を評価するツール(MASTER, DRAMA)をそれぞれ2024年と2025年7月に更新している。2023年の技術要件更新から2025年以降の完全な履行に向けて技術開発を急いでいるものの、目標としていたデブリ抑制の各技術ブロックのTRL8達成には更なる開発が必要との認識が示された。2025年11月開催予定の”CMIN2025”というイベントにて、デブリ抑制に向けた技術ロードマップが公開される予定 Technical Booklet:”Zero Debris by 2030”に向けた技術開発目標や解決策等を整理した文書を2025年1月に発行。今後は解決策のマッピングとデータベース化、技術分野ごとの進捗の追跡等を追加・更新予定 Zero Debris Charter:20の国を含む180の署名が集まっており、コミュニティ形成を進めている。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 技術要件に係る文書やガイドラインを積極的に発行する一方で、個別のミッションの制約も考慮し、必ずしも統一的な規制を課す必要はないという認識も示された。 技術要件への適合において、再突入時の地球上での事故発生防止が最も難しい課題の一つとの言及があった。 Bookletの作成にあたっては、ISO等の国際組織や欧州以外の機関との意見交換を積極的に行ったとのこと。

個別セッション報告 | 講演内容(2/6)

講演タイトル	SWISS SPACE SUSTAINABILITY RESEARCH DAYS 2025: OUTCOMES AND STRATEGIC ROADMAP
発表者(所属)	David Emmanuelle(EPFL:スイス連邦工科大学ローザンヌ校)
テーマ	EPFLが2025年1月に実施した宇宙の持続性に関するイベントの報告
背景	EPFLは宇宙の持続可能性におけるスイスが果たすべき役割についての議論等を行うイベントを初めて開催している。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> • イベントは基調講演・ワークショップ・共同セッションから成る。 • 産官学から計55名が参加 • 宇宙天気予報の活用・SSA・ライフサイクルを通じた環境影響評価・天文学への悪影響防止等のテーマについて発表・議論が行われた。 • ワorkshopにおいて、スイスはその中立性を活かし、宇宙交通管理における仲介役を担いとうとの意見で一致した。 • 宇宙の持続可能性や宇宙交通管理における課題を分野と優先度の2軸でマッピングする試みもなされた。この際、立場によって課題の優先度が異なることが改めて認識された。 • イベントで挙げた重要な提案やスイスが果たす役割については、2025年秋に開催されるESAの閣僚級会合にて提案される予定となっている
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> • 衝突アラートやマヌーバーの実施を調停するにあたり、アラートや調停のタイミング・マヌーバー能力の違い・金銭的問題の3点が課題として挙げられた。 • ESA内において各国が存在感を示すことが重要視されていると見られ(懇親会でのESA出向者との会話より)、本イベントとその報告もその傾向に合致するものである。

個別セッション報告 | 講演内容(3/6)

講演タイトル	Space traffic management of sub-orbital and ground support activities: possible way forward
発表者(所属)	Baiocco Paolo(CNES)
テーマ	打上げや大気圏再突入の際の航空機との衝突リスクに注目した研究
背景	人工衛星の大気圏再突入に係る設計への規制や予測技術は存在するものの、非制御再突入の予測や安全確保に関する法規制や予測技術は整備が追いついていない。直近5年間で1,600回(総重量1,200t)の非制御再突入が実施されている。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> IAF(国際宇宙航行連盟)-IAA(国際宇宙航空学会)-IISL(国際宇宙法研究所) working group on STMが、STMに関する現状の軌道環境・技術開発状況等の調査や将来予測、推奨事項の提案等を実施している。 軌道上物体物体(人工衛星、打上げロケット、サブオービタル)の非制御再突入による航空機との事故発生確率は2019年から2024年の間に3~4倍上昇し、0.42~0.84%/年と予測されている。この値は地上での事故発生率の約10分の1程度である。 非制御再突入の軌道予測を行うEU-SST programにより、30日以内に再突入する軌道上物体の監視(監視対象物体はcross-sectionが1m²を超える物体)を行っている。 STMと航空管制の両者を調整するルールや、航空管制に対しての明快なアラートの仕組みを開発することが必要とのこと。 法規制面においては、宇宙物体・航空機・通信でそれぞれ別の法規制が存在するものの、領域横断的・国際的な法規制枠組みやガイドラインが存在しないことが課題として挙げられた。 落下地域についての国際的な合意(South Pacific Ocean Uninhabited Area, SPOUA)の必要性も言及された。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 今回の活動はSTM・航空管制・SSA・法的枠組み・リスク評価といった様々な分野の専門家(宇宙機関だけでなく民間事業者も含む)が関与している点が注目に値する。

個別セッション報告 | 講演内容(4/6)

講演タイトル	Enhancing the Space Sustainability Rating with Digital Innovation: Developing the RATE-SPACE Platform for Scalable and Automated Mission Assessments
発表者(所属)	Senarath Yapa Upekha(Space Sustainability Rating Association)
テーマ	Space Sustainability Rating(SSR)の評価手法の構造や、次世代デジタル手法として導入されるRARW-SPACEについての説明
背景	SSRは宇宙ミッションの持続可能性と安全性の格付け制度であり、2021年からEPFL主導で運用が開始されている。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> Ratingを決定するワークフローや、評価のスコープや有効期限等のSSRの概要について説明があった。 SSRの評価指標6分野と現時点での重み付け割合についての説明があった。発表後の質疑応答にて、軌道上サービス等を受けられるかどうか、データ共有の有無といった分野の重要性は今後変化しうるため、それに伴って将来的に6分野の重み付けが変わりうることにも言及があった。 現状の手作業の評価システムからオンライン評価プラットフォームへの転換や、用いられるシステム(RATE-SPACE)の仕組みについて説明があった。 今後の課題としては、THEMIS(ESAが出資しミラノ工科大学とDeimos UK社により開発された、宇宙環境影響評価手法)との一部インターフェースの統合・光害対策指標の追加・ミッション中の軌道情報を用いた動的評価の導入が挙げられている。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 評価指標の透明性や、評価主体の独立性と事業化の両立に向けた方策に関する質問も出たものの、それらの観点の重要性を確認したのみであった。 SSRは個別ミッションを評価するものであり事業者を評価するものではないことが言及された。 現状はキューブサットも大型衛星も同じ評価手法で格付けしているとの説明があった。

個別セッション報告 | 講演内容(5/6)

講演タイトル	Atmospheric Reentry of Orbital Objects – Can “Design for Non-Demise” Be the Optimal Solution?
発表者(所属)	Antoinette Ott(MaiaSpace)
テーマ	人工衛星及び打上げロケットの大気圏再突入に伴う金属粒子等の放出がオゾン層に与える悪影響に注目した研究
背景	大気圏再突入の際に燃え残った物体が地上に落下して事故を起こすことを避けるため、再突入の際に燃え尽きるように設計されることが広く推奨されている。一方で、再突入物体の急激な増加に伴って、再突入時に放出される金属粒子がオゾン層破壊につながる懸念も広がっている。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> 再突入時に燃え尽きる設計にも数値計算の限界があり、バッテリーやリアクションホイール等の部品は燃え尽きずに落下する可能性があるとしてされている。 人工衛星の再突入に伴って窒素酸化物や酸化アルミニウム、銅や亜鉛の酸化物が放出される。2023年にNASAにより行われた成層圏エアロゾル観測においてアルミニウム粒子が観測されているものの、金属粒子の放出量やオゾン層への影響に関する定量評価は不足している。 現時点での人工物由来の窒素酸化物の放出量は天然由来の流量を大きく下回るものの、将来的には上回るとする研究もあり、気候変動への影響も懸念されている。 観測やモデリング手法の改良が求められるとともに、国際的な調整枠組みの形成が必要である。国際的な議論の枠組みとしては、Atmospheric Impact of Spacecraft Reentry and Launchesというワークショップが例として挙げられた。このワークショップは2025年9月に開催予定であり、EUやESA、NASAなどが参加する予定である。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 質疑応答にて、再利用可能なロケットが人工衛星放出後に空いたスペースで古い人工衛星を回収するというアイデアも提案されたものの、具体的な開発には至っていない。

個別セッション報告 | 講演内容(6/6)

講演タイトル	Investor's Perception on Sustainability Aspects in Space Ventures
発表者(所属)	Belanger Villanueva Sebastian(EPFL)
テーマ	投資家の視点から宇宙分野において持続可能性がどのように受け止められているのかを明らかにしようとした研究
背景	宇宙の持続可能性を考慮する必要があることは広く認識されているものの、投資判断においてどのように定量的・定性的に位置づけられているのかは明らかになっていない。
発表概要	<ul style="list-style-type: none">宇宙分野への民間投資家やスタートアップ創業者に対してインタビューを実施した。宇宙の事業性とデブリ抑制を混同している場合が多いことが分かった。また、持続可能性と金融的な重要性は交換条件もしくは妥協関係にあると認識されている場合が多かった。さらに、持続可能性は”Nice to Have”と位置付けられていることが多く、企業努力の多くは法規制への適合に割かれていることが分かった。SDGsに宇宙活動は含まれていないことが、投資における重要性の向上につながらない理由の一つである可能性が言及された。
特記事項	<ul style="list-style-type: none">特に長期的な持続可能性を定量的に評価することは難しいとされ、投資における重要性の定量評価までには至っていない。(本研究はpreliminary workという位置づけ)持続可能性には”Sustainability in Space”(デブリ抑制など)と”Sustainability for Space”(地球上の資源利用や技術開発の持続可能性)の両面の評価が必要との言及あり

STMに関して特に示唆に富む講演(6講演)のまとめ

- テクニカルセッション「持続可能な宇宙ロジスティクスと宇宙デブリ」内の講演のうち、STMにおける技術開発、標準・ルール動向に関する情報・示唆のまとめは以下の通り。
- 技術動向
 - デブリ発生の抑制と低減について
 - 2025年11月開催予定の”CMIN2025”というイベントにて、デブリ抑制に向けたESAの技術ロードマップが公開される予定。
 - 大気圏再突入の際に燃え残った物体が地上に落下して事故を起こすことを避けるため、再突入の際に燃え尽きるように設計されることが広く推奨されている。一方で、再突入物体の急激な増加に伴って、再突入時に放出される金属粒子がオゾン層破壊につながる懸念も広がっている。
- 標準・ルール動向
 - ルール形成の必要性について
 - IAF(国際宇宙航行連盟)-IAA(国際宇宙航空学会)-IISL(国際宇宙法研究所) working group on STMは大気圏再突入する衛星と航空機の衝突の危険性を研究しており、宇宙-航空の横断的な管制ルールの必要性があると発言している。
 - ガイドライン関連
 - ESAは技術要件への適合のためのガイドライン”ESA Space Debris Mitigation Compliance Verification Guidelines”を2025年7月に発行している。また、技術要件への適合度を評価するツールを2024年と2025年7月に更新している。
 - 産官学連携
 - EPFLは宇宙の持続可能性におけるスイスが果たすべき役割についての議論等を行うイベントを産官学を巻き込んで2025年1月に開催している。
 - SSRについて
 - 評価システムを自動化する新たなシステムを導入している。また、光害対策指標の追加・ミッション中の軌道情報を用いた動的評価の導入等を予定しているとの言及がなされた。

参加報告まとめと所感

- EUCASSは欧州の最大規模の学会の一つ。推進系や空力関係のセッションが多いが、このような規模の学会でのSTM関連の位置づけの確認と、今回から宇宙デブリ関連の専門家が会長に就任したこともあり、STM関連の発表数の増加も期待。
 - 参加者を確認したところ、やはり推進系や空力関係の研究者・事業者が多く、STM関連の発表・調査目的の参加者はSpace Sustainabilityに関連したTechnical Sessionに主に出席していた30名程度と見られ、限定的であった。
 - 今後も引き続きEUCASSを注視する必要があるかどうかについては、フォローアップ調査を受けて判断するのが良いと考える。
 - Space Sustainability関連のTechnical Sessionは特に大学の研究者による講演が多かったこともあり、モデリング手法の研究(環境影響評価、デブリ発生源特定等)が多く、観測結果との整合性の検証については未了のものが大部分を占めた。

付録2.SPACETIDE2025参加報告

- 全体概要
- 全体スケジュール・所感
- 個別セッション報告
- 参加報告まとめ

全体概要

- SPACETIDE Conference2025の概要を下表に示す

開催日時	プレイベント:7月7日(月) (招待制) Day1:7月8日(火) 13:00-19:00 Day2:7月9日(水) 9:00-19:00 Day3:7月10日(木) 9:00-19:00
開催場所	虎ノ門ヒルズフォーラム (サイドイベント:VISION CENTER TOKYO TORANOMON)
テーマ	宇宙ビジネス、宇宙産業 2025年のテーマ:The Next Decade: Unlocking Space for All Humanity
会議形式	3つの会場で、それぞれ基調講演・パネルディスカッションを実施 そのほか、別会場でのサイドイベントや展示セッションも実施
参加者数	1,800名
参加国	30か国以上
参加層	宇宙関連の事業者(スタートアップ)に加え、国内外の政府機関や、自動車、金融、ITなどの非宇宙分野の事業者
特記事項	地理空間データの専門性を強みとする国際的な非営利団体「Geospatial World」と連携し、地理空間データに関する特別イベント「SPACE2EARTH ASIA SUMMIT 2025」を日本で初開催

全体スケジュール・所感

<全体スケジュール>

- 本学会における全体スケジュールは右表のとおりであり、商業宇宙の活性化を主眼とし、官民連携、デュアルユース、投資など多角的な視点から議論が行われた
- STMとの関連性の高いものや本学会で強調されていた商業宇宙への発展策に関するものを中心に報告

SPACETIDE2025全体スケジュール

Ignition Day (July 7)	Special Venue (TBA)			Venue #2
	10 th Anniversary Event (Invitation Only)			
Day 1 (July 8)	Venue #1		Track B	Side Events The registration might be required in advance. Please check the details with each organizer.
	Track A			
Day 2 (July 9)	Track A-1	Track A-2	Track C*	
	Next-Gen. Players and Technologies	Dual Use Commercial Space Policy	Space Infrastructure as a Service For Geospatial Industry	
Day 3 (July 10)				
	Space Economy Expansion Industrial Foundation	Growth Strategies	Applications of Geospatial Technologies in Key Sectors	

*Space2Earth Asia Summit2025

<所感>

- 商業宇宙が主眼であるため、やや投資家層向けの投資戦略や新興技術・スタートアップの紹介、などに関するセッションが多く見られ、STMに直結するセッションは多くなかった印象である
- STM関連では、民間事業者に加え、JAXAや防衛省、海外宇宙機関をはじめとする政府機関によるセッションが一定数存在し、技術面だけでなく、官民連携も見据えた政策面からのアプローチについて議論がなされていた
- 日本としては官民連携のもと国際ルール形成に実効的に関与し、プレゼンスを高めていく必要があると感じた

個別セッション報告(1/5) 下線:STM関連部分

講演タイトル	世界の宇宙ビジネス進展と各国宇宙政策のシナジー(パネルディスカッション)
発表者(所属)	<ul style="list-style-type: none"> • Mishaal Ashemimry(Center for Space Futures(CSF), Managing Director) • Stéphanie Durand(Canadian Space Agency, Vice President) • Tania Celani(Department for Science, Innovation and Technology Deputy Director for Space) • Travis Langster(Tora Consulting Founder & CEO)(モデレーター)
テーマ	宇宙ビジネス、宇宙政策、宇宙デブリ
発表概要	<p><宇宙エコシステム構築に係る戦略></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 「Old Space」は政府主導・費用度外視という側面がある一方で、「New Space」は民間競争で低価格化・他産業へ活用が進んでおり、宇宙新興国は初めから「New Space」の産業構造を取り入れた戦略を策定できるという利点がある。【Mishaal氏】 ● 他産業との連携も踏まえた宇宙産業エコシステム構築戦略を推進するとともに、環境問題、宇宙デブリ、規制の整合性なども考慮しなければならない。【Stéphanie氏】 ● 特に宇宙新興国においては、宇宙産業に関する規制の透明性が、投資の促進の観点で重要である。【Mishaal氏】 ● 宇宙政策を成功させるには、産業と共同設計・共同投資(例:カナダの宇宙技術開発プログラム(STDP))しつつ、政府全体で整合性をとることが重要である。【Stéphanie氏】 ● 英国では、シグナリング(政策的意思表示:打ち上げ能力を優先事項として明確化)、柔軟な規制枠組みによる企業誘致、人材投資に重点を置いている。【Tania氏】 ● 宇宙新興国では、最初は強みのある領域のみを特化して育成し、国際協力の中で不足する領域を補完する戦略が望ましい。【Mishaal氏】 <p><今後の宇宙産業の方向性と重要課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙デブリの問題は既存のデブリと新たに生成されるデブリの2つの要素に分けて捉えるべきである。後者については、「5年以内に衛星を退役させる義務」や「寿命延長を行わない衛星は退役計画を提出しなければならない」といったルールを設けるべきである。今後注目すべき技術としては、宇宙製造、月や火星でのISRU(現地資源利用)、宇宙用原子力技術が挙げられる。【Mishaal氏】 ● カナダでは、宇宙ロボティクス・AI、地球観測能力の強化、宇宙経済の維持と国際連携の加速を重視している。【Stéphanie氏】 ● 他国との相互運用性のある法制度の構築、地球観測データの活用による気候変動への対応が重要であり、将来的には軌道上製造技術(半導体の宇宙製造)が非宇宙産業との連携によって進んでいくだろう。【Tania氏】

個別セッション報告(2/5) 下線:STM関連部分

講演タイトル	Public Policies and Commercialization of Space and Geospatial Industries(パネルディスカッション)
発表者(所属)	<ul style="list-style-type: none"> • Ronda Schrenk(United States Geospatial Intelligence Foundation Chief Executive Officer)(モデレーター) • 伊奈 康二(JAXA 宇宙戦略基金事業部 企画推進課長・新事業促進部 参事) • Robbie Schingler(Planet Co-Founder and Chief Strategy Officer)
テーマ	宇宙政策、STM、SSA
発表概要	<p><各国の政策上の課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 日本では、再使用型ロケットや再突入体など、技術が急速に進歩する一方で、法律が追い付いていないため、規制がボトルネックにならないよう、宇宙活動法制などの制度の見直しが不可欠である。【伊奈氏】 ● 打上げ事業者にとっての課題は飛行終了システムに関する規制負担が非常に大きいことで、特に小規模スタートアップには厳しい状況である。政府が標準的な飛行安全システムを提供する仕組みがあれば新規参入を容易にするだろう。衛星事業者にとっての課題は各国の法制度に統一性がないことで、異なる申請手順(例:着陸権)を踏む必要がある。【Robbie氏】 ● 今の宇宙環境では、民間衛星は妨害行為への対抗手段を有する設計にするとともに、「Geo-Assurance」の考えのもと、利用するデータを用途や信頼性に応じて使い分ける必要がある。【Robbie氏】 <p><STM・SSAにおける官民連携、国際連携の重要性></p> <ul style="list-style-type: none"> ● SSAやSTMは日本国内で完結する話ではないので、欧州、米国、アジア諸国と連携し、共通の枠組みや情報共有プロトコルの整備をすすめている。【伊奈氏】 ● SSAやSTMは単なる技術問題ではなく、国際公共財の整備そのものであり、衛星事業者間の衝突等の事故を回避するためには透明性の確保が必要である。民間企業が「責任ある宇宙運用(Responsible Behavior)」を実践し、ルールメイキングにおいて発言力を持つことが重要である。【Robbie氏】 <p><今後10年で政策的に最も注目すべき課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 1つ目は政策立案や制度設計が技術革新に追いつくこと、2つ目はSSAデータの共有や商業衛星の干渉防止などの国際協力、3つ目は人材育成で、特に技術・政策・ビジネスの3つの側面に明るい人材の必要性が高まっている。【伊奈氏】 ● 軌道上サービス、リアルタイム分析基盤を含む、新たな宇宙インフラの構築が最重要課題である。【Robbie氏】

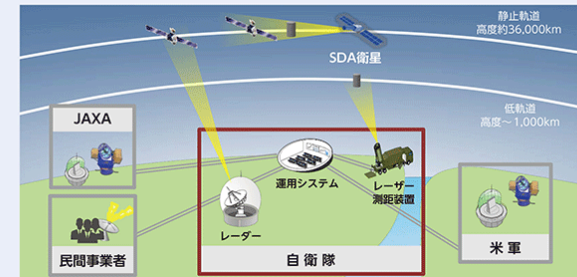
個別セッション報告(3/5) 下線:STM関連部分

講演タイトル	宇宙安全保障:今後10年の政策とテクノロジー(パネルディスカッション)
発表者(所属)	<ul style="list-style-type: none"> • Clayton Swope (Center for Strategic and International Studies (CSIS). Deputy Director of the Aerospace Security Project) • Hermann Ludwig Moeller (European Space Policy Institute, ESPI. Director) • Krystal Azelton (Secure World Foundation. Senior Director, Program Planning) • 福島 康仁(慶應義塾大学 総合政策学部 准教授) • 鈴木一人(東京大学公共政策大学院 教授, 公益財団法人国際文化会館地経学研究所 所長)(モデレーター)
テーマ	宇宙安全保障、宇宙政策、官民連携
発表概要	<p><宇宙安全保障の定義と政策の方向性></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙安全保障とは単にリスクを回避するというより、「宇宙空間を守る能力そのものの保護・維持」であり、対抗能力の確保が含まれる。商業が革新し、それが政府の安全保障ニーズに合致するというボトムアップ構造が今後ますます重要になる。 【Clayton氏】 ● 欧州では11月に約200億ユーロの宇宙関連投資が閣議決定される見通し。安保強化のためのコンステレーション構築や<u>北欧との連携が進む</u>。SpaceX対抗なども視野に入れ、調達前段階からの技術育成投資が必要。【Hermann氏】 ● 宇宙持続可能性に注目し、商業・軍事・民間の透明性ある議論の場を重視。レポート(例:Global Counterspace Capabilities Report等)を通じた新規参入者へのガイドを提供。国際的な宇宙安全保障条約には関心が薄い一方で、実務的なワーキンググループでの議論が有効。特にデブリの扱いについては安保関係のコミュニティも巻き込む必要あり。 【Krystal氏】 ● 宇宙の兵器化が進行中であり、今後10年の技術・政策では、商業と安保の両立が鍵。特に機密情報保護への投資、知財・技術の管理、物理的保護などに対して国家としての取り組みが必要。また、各国で安保・商業の線引きやガバナンスの在り方が問われる中、グローバルなルール形成の必要性が高まっている。【福島氏】 ● 今後、民間による衛星保有・運用と、防衛によるサービス活用(PFIモデル)の拡大が予想される。衛星コンステレーションは打ち落としリスクの分散にも資する。【鈴木氏】 <p><今後10年の宇宙安全保障技術としては何が注目されるか></p> <ul style="list-style-type: none"> ● SSA(宇宙状況把握)が今後の要。B2Bの文脈でも活用進む見込み。【Clayton氏】 ● 射場やシステムの交換性・代替性の確保。特に射場ロケット等の柔軟性が安保観点で不可欠。【Hermann氏】 ● 妨害対抗技術。セキュリティ分野への継続的な投資が必要。【Krystal氏】 ● AI・機械学習。ビッグデータを限られた時間で処理する技術が重要。宇宙空間でのAI活用には運用上の議論が必要。【福島氏】

個別セッション報告(4/5) 下線:STM関連部分

講演タイトル	宇宙安全保障と官民連携(基調講演)
発表者(所属)	・ 石井 浩之(防衛省航空自衛隊宇宙作戦群 宇宙作戦群司令)
テーマ	宇宙安全保障、宇宙領域認識(SDA)、官民連携、国際協力
発表概要	<p><宇宙空間における脅威と安全保障の現状></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 中、露、北朝鮮などの活動で、宇宙空間やサイバー領域の脅威が拡大。DA-SAT(対衛星兵器)等による宇宙デブリ発生も懸念。 ● 2022年のViasat社のハッキング事件を契機に、衛星通信の継続性の重要性が高まった。Starlink、OneWebなどが国家安全保障上のインフラと認識され、政府が出資する動きも生じている。 <p><宇宙関連の国家戦略の方針></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 国家安全保障戦略としては、JAXAと自衛隊の連携強化や、宇宙領域認識(SDA)体制の構築、敵の通信妨害能力、さらには民間宇宙技術の国防利用が重視されている。 ● 国家防衛戦略では、クロスドメイン対応力の向上、新たな宇宙技術(衛星コンステレーションなど)の導入、そして「航空宇宙自衛隊」創設を含む組織改革が打ち出されている。 <p><航空自衛隊による取り組み></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 宇宙領域専門部隊は2020年5月に約20名で発足し、現在は約300名規模に拡大。国家安全保障戦略に基づき、宇宙領域認識(SDA)と指揮統制(SCA)機能の強化を推進。 ● SDAシステムの整備として、レーダー・レーザー技術を強化。SDA衛星にはSSA(宇宙状況認識)システムを搭載し、国内の民間衛星運用者と情報共有を実施。 <p><国際連携・民間連携></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 多国間協力として、米国、ドイツ、フランス、イタリア、ノルウェーなどと連携。日米間では、米宇宙司令部に連絡将校を派遣するなど、二国間連携も強化中。 ● 民間連携として、SDAに関しIHI等が関与。低軌道データにはLeoLabsの商用データを活用。JAXAとも協力関係を築く。 ● 官民連携の取り組みとして、航空幕僚監部が主催するネットワーキングセッションを開催。学術界・産業界の専門家も参加し、幅広い知見の融合を図っている。

図表Ⅲ-1-4-10 宇宙領域把握(SDA)体制構築に向けた取組

日本におけるSDAの構成¹出所)1、<https://www.mod.go.jp/j/press/wp/wp2023/html/n310404000.html>(最終閲覧:2026年2月27日)

個別セッション報告(5/5) 下線:STM関連部分

講演タイトル	デュアルユースが切り拓く新しい宇宙ビジネス領域(パネルディスカッション)
発表者(所属)	<ul style="list-style-type: none"> • Dan Ceperley (LeoLabs. Chief Operations Officer & Co-Founder) • 三好 弘晃 (NECフェロー. エアロスペース・ナショナルセキュリティビジネスユニット) • Paul Wloszek (L3Harris Space Sector. General Manager, Missile Defense - Spectral Division) • 粟津 昂規 (スカイゲートテクノロジズ株式会社. 代表取締役CEO) • Sam Wilson (The Aerospace Corporation. Systems Director, Center for Space Policy and Strategy) (モデレーター)
テーマ	デュアルユース、宇宙安全保障、官民連携、制度・市場形成
発表概要	<p><デュアルユースの現状と展望></p> <ul style="list-style-type: none"> ● デュアルユースを前提に創業されたLeoLabsでは、地上レーダーによる軌道上インテリジェンスを提供。政府による規制緩和・導入支援と、採算性を問わない初期支援が重要であり、近年はDARPA等による商用データ調達も増加。日本の防衛省も先行して商用データを導入している。【Dan氏】 ● 長年にわたり国家宇宙開発に従事し、防衛領域での貢献や、PFI事業への参加経験あり。近年はASNARO-2やLOTUSat-1など、地球環境対応プロジェクトも推進。光ファイバー通信技術により、国際的にも高評価。【三好氏】 ● 赤外線センサーを活用したミサイル防衛などに注力。米国政府からの明確な「購入意志表示」が、民間の巨額投資決定を後押ししたと強調。顧客が単一(防衛)であることが商業面での課題であり、政府主導で市場設計が必要と主張。【Paul氏】 ● 電磁空間とサイバー空間の融合を重視。日本の防衛産業においては、リアルタイムセンシング能力が限定的で、通信やSSA領域での投資余地が大きい。経済・地政学的制約(市場の伸び悩み、防衛技術の平和利用への制限等)を踏まえ、宇宙基本計画や経済安全保障プログラムが成長ドライバーになると指摘。【粟津氏】 <p><政府による商業能力の導入・促進策></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 政府の役割は「明確な需要シグナル」を発信すること。(ex. 民間に対する方向性の提示や市場形成の後押し等。ほぼ全員共通の指摘) ● スタートアップにとって、政府の投資(例:基金)は成長の起点となる。MOD(防衛省)は今後SSAなどにも注目。【粟津氏】 ● 日本の制度は研究開発支援に偏っており、政府が技術を「信頼して使う」体制への転換が必要。制度・文化的障壁が大きく、調達前の制度設計と運用面の支援が重要。【三好氏】 <p><デュアルユース市場と社会的課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ● デュアルユースは単なる技術課題ではなく、社会的・制度的な問題。商業×防衛の相互理解と制度整備が必要。 ● 市場のギャップが大きく、商業ベースでの展開には政府の明確な支援と信頼構築が不可欠。 ● 人材・ソフトウェアなどの運用能力(ケイパビリティ)強化も並行して進める必要がある。

参加報告まとめ | STM関連分野

● 官側のSSA能力について【防衛省宇宙作戦軍】

- 防衛省宇宙作戦軍はSDA体制の整備を進めており、軌道上(GEO)監視衛星の打上げも予定されている
- 安全保障領域のユースケースは民間領域に比べライフサイクルが長いことが特徴である
- 防衛省のSDAシステムへの民間事業者の関与も、国内外を問わず拡大しつつある(IHI等関与の他、低軌道データにLeoLabs商用データを活用)

● 宇宙政策・国際協力について

- 英国ではシグナリング(政策的意思表示:打上げ能力を優先事項として明確化)に重点を置いている【英国 科学・技術イノベーション・技術省】
- 宇宙デブリの問題は既存のデブリと新たに生成されるデブリの2つの要素に分けて、特に後者については規制(例:FCCの5年ルール)を設ける必要がある【Center for Space Futures】
- SSAデータの共有や商業衛星の干渉防止など、国際的なルール形成を推進する必要がある【JAXA】

● 民間事業者が直面する規制・課題

- 打上げ事業者(特にスタートアップ)にとっての課題は飛行終了システムに関する規制負担が非常に大きいことで、政府が標準的な飛行終了システムを提供する必要がある【Planet】
- 衛星事業者にとっての課題は各国の法制度に統一性(例:着陸権の申請手順)がないことである【Planet】
- 民間に対する方向性の提示や市場形成の後押しなど、明確な官側からの「需要のシグナル」がない【NEC, L3Harris, LeoLabs】
- SSA事業者がサービス展開を進めるうえで相互運用性の確保のため、SSAデータの標準化と統一的な基準の確立が必要である【HEO】

● STM分野における注目すべき新興技術

- 宇宙ロボティクス、軌道上製造技術(特に半導体)、衛星側と地上側の統合SSA分析技術などが挙げられる【Center for Space Futures】
- SSA、画像解析、衛星運用にAIが浸透しており、宇宙分野でのAI活用時の基準・ルール整備が必要【LeoLabs】

参加報告まとめ | その他の分野

● 宇宙産業への投資戦略・動向

- 宇宙スタートアップへの投資の際に特に考慮するのは、投資対象がチャンスとリスクを切り分けられていること、忍耐力と深い知見を備えた人材の有無、VCからの資金調達状況の3点である。また、宇宙スタートアップへの投資が拡大するためには、非宇宙産業からの新規参入を促進することも重要である【三井住友銀行 成長事業開発部】
- 米国は国家安全保障を重視しつつ高金利下で投資が慎重化し、中国は地方政府主導の投資が進む一方で出口戦略に課題がある。日本は政府支援のもと国際連携を図り持続可能な産業形成を目指している【Orbital Gateway、日本政策投資銀行、Bryce Space Global】
- 投資促進の観点では、宇宙産業への規制の透明性を確保し、不確実性を下げることが重要である【Center for Space Futures】

● 国際政策動向

- 米国政権交代後のNASA予算再構築は「削減」ではなく月・火星探査能力強化の長期戦略の一環と位置づけられている。現時点でSTMへの追加予算方針は示されていない【米国駐日大使館】
- 宇宙新興国は「New Space」的な低コスト・多用途モデル(非宇宙産業含む)を初期設計から織り込み、得意分野を特化・育成しつつ国際協力で不足領域を補完する戦略を採用できる【Center for Space Futures】

● 人材育成

- 産業全体で人材育成を計画的に進めることが重要であり、実務ノウハウの共有・活用を推進する必要がある【慶応大 白坂先生・アクセルスペース他】
- 技術・政策・ビジネスの三領域を横断的に理解する人材の需要が高まっている【アクセルスペース他】

● 日本の宇宙産業の拡大に向けた政策【JAXA】

- 宇宙活動法の適用範囲を宇宙港、サブオービタル飛行、再使用ロケットといった事業分野に拡大することが必要である
- 安全保障・防災減災に関連した事業分野においてはアンカーテナンシーが特に重要である
- JAXA山川理事長は、高度なミッションや持続可能性実現のための国際協力体制を構築する前に、まずは自律的な宇宙へのアクセス能力を確立することが重要と考えており、宇宙産業において日本の事業者が世界シェアの10%を獲得することが目標と言及した。

● 非STM分野における注目すべき新興技術

- 月や火星でのISRU(現地資源利用)、宇宙用原子力技術などが挙げられる【Center for Space Futures】

付録3.GlobalSTM Workshop2025参加報告

- 全体概要
- ワークショップの進め方
- 参加報告まとめ
- 所感

全体概要

【 Global Space Traffic Management Workshop 2025 】

- 日時:2025年8月25日~28日の4日間(但し8月25日はレセプションのみ)
- 場所: Higgs Centre for Innovation at the Royal Observatory Edinburgh (ROE), Edinburgh, UK.
- 主催: Royal Observatory Edinburgh とLockheed Martin社
- 趣旨(会議目的):宇宙交通管理(STM)の課題に協調して対処し、宇宙活動の安全性、セキュリティ、持続可能性を高める解決策を育む。

2025年のテーマ:「国家、共同体、国際的な軍事/民間宇宙指揮統制枠組みへの利害関係者の統合」
(具体的には、「情報共有のあり方」と「責任ある行動の定義と実践」の確立に関する意見交換)

- 議事: Chatham House Ruleに則る。
- 参加者:41名(招待者のみ。名簿非公開) 国別参加者(推定)は以下の通り。
 - ・イギリス: 26名 ・米国: 4名 ・日本: 3名 ・オーストラリア: 3名 ・ポーランド: 2名
 - ・フランス: 1名 ・シンガポール: 2名

ワークショップの進め方

- 各セッションで関連する議論「テーマ(ターム)」が提示され、ブレインストーミング的に議論
 - 「テーマ(ターム)」は、「データ」、「コミュニケーションと情報共有」、「(想定される)悲劇」、「基準とベストプラクティス」、「赤信号(罰則化)／青信号(インセンティブ化)」、「宇宙交通管理組織」、「宇宙産業とメディアにおける役割」
- 議論は10名程度ごとに4グループ、あるいは20名程度の2グループで行う。適時全体会合を行い意見集約を行う
 - 必ずしも技術の専門家が主体ではないため、技術的な事項は適宜当該技術の専門家が補足説明を実施。
- 議論テーマと関連するプレゼンを「話題提供」的に実施(口頭の場合もあり。各5～10分程度)
- 主なプレゼンは以下の通り
 - 米国JCO(Joint Commercial Operations)の紹介
 - NASAのSpace Sustainabilityに関する取り組みの紹介
 - 宇宙の持続可能性に向けた4つの主要なアプローチの提案
 - IAASS(The International Association for the Advancement of Space Safety)の紹介とIAASSのSpace Traffic Management Committeeの活動計画
 - ESSI(Earth Space Sustainability Initiativeの現状説明)の現状紹介
 - Intelsat 33eの破砕と破片追跡
 - SSA事業及びESAゼロデブリ憲章の産業波及

参加報告まとめ

- STMが直面する多岐にわたる課題について、技術、政策、法律、運用など多様な視点から集中的な議論を行った。議論の中心は、宇宙空間の安全で持続可能な利用を実現するために、「情報共有のあり方」と「責任ある行動の定義と実践」をどう確立するか、が主要議題である。
- 参加者は、安全確保のための透明性と、商業的・軍事的利益保護のための機密性の間で最適なバランスを見出すことの難しさを共有したが適切な解の導出までは至っていない。
- 国際条約のようなトップダウンのアプローチと、業界標準のようなボトムアップのアプローチを組み合わせ、重層的なガバナンスの必要性が強調された。
- 会議全体の成果として、STMに関する喫緊の課題についてコミュニティ全体の共通認識を深めるとともに、今後の具体的な行動計画を複数特定した。
- このコミュニティが優先する研究テーマとして「共有すべき情報の定義」、「責任ある行動を促すためのインセンティブ設計」、「データ共有における相互運用性の確保」が挙げられた。
- 従来非公開であった本WSの内容を広く周知するべきとの意見が出され、国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)への情報提供資料(CRP文書)の作成や、業界標準に関する情報を共有するためのウェブページの構築など、具体的なアクションプランを検討することとした。
- これまでSSR(Space Sustainability Rating:宇宙保全に関する第三者格付け認証制度)に否定的であったNASAがプレゼンテーションの中でSSRを紹介していた。デブリの専門家はSSRに否定的であるが、HQのSTM関連部署はSSRの評価方法に対し一定の注目をしていると推定する。また、議論の中でも(第三者を含む)認証制度の活用の有効性については議論がなされた。

所感

● 所感1:強力な中央機関ではなく、「協調と標準」による統治へ

- 単一の中央集権的STM機関の設立は、国家主権の問題から非現実的であるという空気が主体。法的拘束力のない国際合意(ソフトロー)と、業界主導の技術標準を組み合わせ、各国の国内規制に反映させるという、より現実的で重層的なアプローチである。
- 例えば、ESAのゼロデブリ憲章や業界団体が策定するベストプラクティスがデファクト標準となり、各国の許認可や保険の引き受け条件に組み込まれることで、実質的な規範として機能していく可能性がある。この流れは、EU宇宙法によってさらに加速される可能性がある。ただ、「軍事力・技術力」のハードパワーから「デファクト」化の流れをつくるように見受けられる米国と、あくまで「先進的な規範」と民間活力をベースに「デファクト」化の流れをつくるように見受けられる英&欧州とでどちらが主導権をとるのかは現状では判断困難である。

● 所感2:データが主役へ - 商業SSAの活用と相互運用性の壁

- 米国のJCOが商業データを活用し、従来の軍事システムを凌駕する成果を上げた事例はインパクトが大きい。また、商務省の「TraCSS」が、商業データの統合を前提としたクラウドネイティブな設計であることも、商業SSAデータ利用促進につながる。
- 課題は「データをどう集めるか」から「多様なデータをいかに融合し、信頼性を担保し、異なるシステム間で円滑に流通させるか(相互運用性)」へと移行している。データの標準化(CCSDSなど)、由来(出所)の明確化、そしてITAR(国際武器取引規則)のような共有の障壁をいかに乗り越えるかが、今後のSTMの成否を分ける核心的な技術・政策課題である。

● 所感3:理想と現実のギャップ - 足元の課題の深刻さ

- ワークショップでは未来志向の議論が活発に行われたが、衛星オペレーターが直面する課題も多い。
- 打ち上げ後の衛星識別問題(Launch COLA Gap): ライドシェアで打ち上げた自社の衛星が数週間にわたり識別できず、多大なコストとリスクを強いられる事例がある。
- データの信頼性欠如: 信頼できるとされる複数の物体カタログ間で、位置情報が数百キロも異なる事例がある。
- 連絡網の不備: 緊急時に衝突相手のオペレーターと連絡が取れない場合がある。

付録4.AMOS2025参加報告

- 全体概要
- 個別セッション報告 | 基調講演・Policy Forum等
- 個別セッション報告 | テクニカルセッション
- 参加報告まとめ・所感

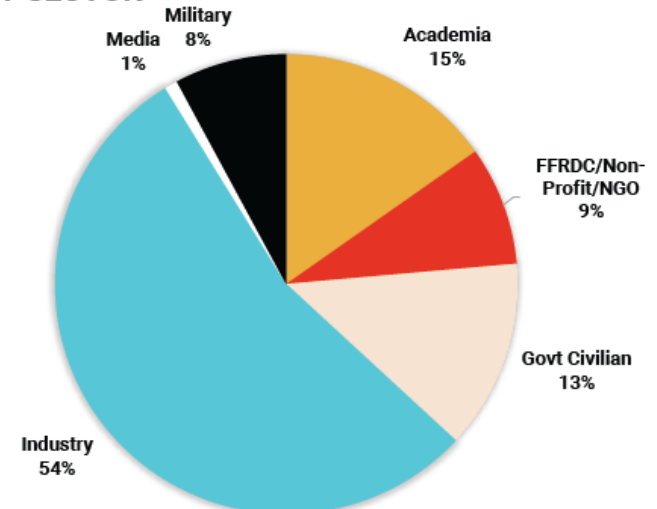
全体概要

【26th AMOS(Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference)】

- 概要: Maui Economic Development Board(MEDB)によって運営されるSpace Situational/Domain Awareness(SSA/SDA)に特化した国際会議。1999年に第1回大会が開催され、以後毎年ごとに開催されており、今年で26回目となる。
- MEDB: マウイ島の経済の多様化に重点を置くために1982年に設立された非営利法人。観光依存からの脱却を目指し、ビジネス支援、教育から雇用への架け橋、地域の対話促進を柱に活動。STEM教育や起業支援、調査研究、会議開催を通じ、多様で持続可能な経済を推進。
- なお、マウイ島には米軍のAir Force Maui Optical and Supercomputing Observatory(AMOS)が置かれ、米国の宇宙監視ネットワーク(Space Surveillance Network)の一部として重要な役割を果たしている。

開催日時	2025年9月17日～9月19日 ※事前にEMER-GEN®(若手・学生向けプログラム:14日～16日)やショートコース(SSA専門家による技術講座:15日～16日)が開催。本格的な基調講演・テクニカルセッションは17日以降に開催
開催場所	Wailea Beach Resort – Marriott, Maui (3700 Wailea Alanui Drive, Wailea, HI 96753)
形式	<p><講演形式> ※以下4つの講演は全て同一会場にて順に実施されるほか、オンラインも併用するハイブリッド形式</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基調講演(3講演) ・ AMOS Policy Forum(SSA/SDAに関する広範な政策課題についての議論)(3講演) ・ 主要プレゼンテーション(6講演) ・ テクニカルセッション(口頭)(10セッション) <p><展示形式></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ポスターセッション(110セッション以上) ・ 展示(スポンサー企業によるブース)(30ブース以上)
参加者数	1313名(1097名:対面参加)、216名:バーチャル参加) (参加者属性は右図参照:産業界からの参加者が半数強を占める。)
参加国	29
参加層	米軍関係者を主体に民間企業、政府機関、学術機関等、SSA、SDAの関係者 (設立当初は光学望遠鏡関係者、光学天文関係者、デブリ&小惑星観測の研究者が主体)

BY SECTOR



AMOS2025参加者の属性

出典) <https://amostech.com/wp-content/uploads/2025/10/2025-AMOS-Summary.pdf> (最終閲覧:2025年11月12日)

個別セッション報告 | 基調講演・Policy Forum等(1/3)

● 軍事・防衛関連組織における動向・今後の方針

● 米国機関

- 米国が高度なSDA能力を構築する上で、商業プレイヤー・データとの連携は必要不可欠である。【USSF SpaceRCO※、SSCなど多数】
- 商業センサーとも統合し、迅速かつ低遅延、高精度のSDAシステムを構築することで、軌道上における中国の活動を監視し、宇宙空間における対中優位性を維持する必要がある。【USSF SpaceRCO】
- 米国の官僚制(承認手続きが複雑であること)がSDA領域における迅速な意思決定を阻害する最大の要因となっている。【USSF SpaceRCO】
- ミッションデルタ2は、2024年10月以降、開発・運用それぞれの指揮系統を一元化したほか、チーム内のDXを推進することで、運用部門と開発部門の結束力が向上した。現在、ハード面では既存センサの性能最適化、ソフト面では宇宙監視ネットワークの可用性・信頼性向上に特に注力している。【USSFミッションデルタ2※2】
- 「GOCO(Government-Owned, Contractor-Operated:政府所有・民間運用)」モデルの活用拡大により、衛星運用等の一部を民間事業者に移管し、政府は軌道上における運用・通信設計が未開拓の領域の整備に注力するという体制構築を目指している。【Air Force Research Laboratory(AFRL)】
- 宇宙軍は軌道上補給技術の確立を最重要課題の一つとして推進しており、Tracker Prime / Tetra-5などの技術実証機を順調にいけば2026年に打ち上げる予定である。【AFRL】

● その他機関

- SOUTHCOM(アメリカ南方軍)は軌道上における対中戦略の強化のため、南米・アフリカに宇宙安全保障に係る投資を進め、南米には現在11機のSDA望遠鏡が建設中である。【NATO】
- NATOはNATO宇宙作戦センター内に、宇宙ベースISR(情報・監視・偵察)部隊を新設し、SDAに係る体制を大幅に強化している。【NATO】
- インドでは国防省内に防衛宇宙機関(Defense Space Agency)を設置したほか、ISROに宇宙管理局を設置し、リアルタイムSSA・SDAに焦点を当てている。今後は、国内宇宙システムのコスト効率化、国内外パートナーとの連携、宇宙スタートアップに注力していく。【The Indian Army, Ministry of Defence】
- Quad内での軍事的SDAデータ共有は、基本的に2国間での共有が中心で、オーストラリアとの共有・連携状況は、米国・日本とは連携体制が構築されているが、インドとの関係性は薄い、といったように各国の技術成熟度に応じた差異が見られる。【Defence Australia】

※Space Rapid Capabilities Office:USSFに属する機関で、緊急性の高い宇宙関連能力を迅速に開発・配備する役割を担う

※2 米宇宙軍Space Operations Command(SpOC)配下のSDA部隊であり、米軍・他国等のセンサー・データを統合し、軌道上物体の監視・カタログ化等を実施

個別セッション報告 | 基調講演・Policy Forum等(2/3)

● 非軍事(商業)関連

● デブリ・衝突回避

- 軌道上における持続可能性の観点で、各国間でのSSAデータ共有を含む、SSAデータの透明性を担保することが重要だが、機微な情報を含むため、機密性の観点で十分にデータ共有が進んでいない。【UNOOSA※、Astroscaleなど多数】
- デブリ抑制にあたって、ADR市場の創生が重要であるほか、日本のデブリ抑制に係るガイドラインをベースに国際的ガイドラインの検討をCOPUOS等の場で促進する必要がある。【UNOOSA】
- デブリ増加の主原因は衛星を現在多数打ち上げているコンステレーション事業者だと誤解されているが、現存デブリの94%がASAT試験や旧来の政府起源、残り6%が商業起源であり、責任の所在明確化のためには論点を丁寧に分解する必要がある。【UNOOSA、Amazon Kuiper】
- 増え続ける衛星間の接近事象に対処するため、衝突回避におけるオペレーション自動化やそのための手順の合理化・標準化に加え、軌道上における「Rules of the Road」についても議論する必要がある。【GMV】

● 米中関係

- 軌道上に衛星運用において、中国は一枚岩ではなく、軍や民間・学术界など多数の運用主体があり、どの窓口と連絡を取るかという問題があるほか、COPUOS由来の全会一致の多国間メカニズムを利用した信頼醸成が不可欠である。【UNOOSA】
- 中国の打ち上げ数は指数関数的に増加している一方で、中国運用者は事前に軌道計画を共有しないため、接近・衝突リスクが増大している。【Kayhan Space】
- SSAデータ共有に関して、拘束力のある国際条約がないほか、米中事業者間に直接的なチャンネルが存在しないため、対話手段が非効率となっている。【Galaxy Space】
- 事業者間では衛星の安全運用のため、SSAデータ共有に係る対話の姿勢が示されている一方で、政府間での対話は地政学リスクも相まって長期間を要するため、政府間の対話を待たずに事業者間での対話を進めるべきである。【Amazon Kuiper, Slingshot等】

※United Nations Office for Outer Space Affairs:宇宙活動を監視・調整するための専門機関で、宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)の事務局を務める

個別セッション報告 | 基調講演・Policy Forum等(3/3)

● 非軍事(商業)関連(続き)

● TraCSS・EU-SSTの動向

- TraCSSの設立根拠である国家方針文書SPD-3(Space Policy Directive-3)自体に問題はないが、ホワイトハウスの予算編成に強く影響を受けているほか、OMB(Office of Management and Budget)、NEC(National Economic Council)、議会の上下院の間で方向性が統一されていないため、TraCSSの展望については引き続き不透明である。【Richard DalBello氏】
- TraCSSを廃止すると、米国は他国から大きく後れを取ってしまうため、継続すべきである。【Richard DalBello氏ほか2名】
- TraCSSの現場レベルでは、パイロットユーザー13社による試験運用・機能面でのフィードバックが進められており、進捗は良好で、2026年1月に世界中の衛星運用者に対して提供を開始する見込みである。【Office of Space Commerce】
- 2025年中にEU-SSTのパートナーシップは15か国から19か国に拡大する見込みであり、SSAの重要性に関する加盟国の政治的認識が高まっているほか、衛星運用者の登録数やセンサー拠点数もここ数年で飛躍的に増加している。【EU-SST】

● その他

- SSA分野では、特に有人活動や安全保障に係る活動を伴う場合、他産業と比較して、評価基準が厳格に設定されており、AI・量子技術のような先端技術の導入への障壁が高い。実証・試験運用等を活用し、低リスクで基準を満たしていくことが重要である。【Purdue University】

個別セッション報告 | テクニカルセッション(1/2)

● 衛星観測アセット

- 受動RF※の展開・分析技術は、従来の光学センサと比較して、天候や昼夜間に影響されず、送信機を持たない分、小型・軽量・省電力であり、商業領域をはじめ、防衛・安全保障領域にも適用される見込みである。【Kratos(米)、Safran Data Systems(仏)】
- SWIR(Short-Wave Infrared:短波赤外)帯を用いたセンサ技術※2は、可視光領域と比較して散乱の影響が少なく、昼夜問わず衛星観測を維持することが可能であり、英国やカナダなど各国が開発を進めている。【Spaceflux(英)、Defence Research and Development Canada(加)など】
- イベントベースセンサ※3は、従来の光学センサと比較して、光強度変化のみを検知し出力するため、低電力・高時間分解能・高ダイナミックレンジ※4という利点を持ち、地球影等の暗部での衛星観測や軌道決定等への活用が見込まれている。【Cornell University(米)、米国空軍など】

● SSAデータ分析の高度化・効率化

- AI・機械学習を用いた、衛星の自動検知、カタログ化、追跡などの技術が進展している一方で、手法の信頼性・汎用性等に課題がある。【米国家偵察局、Slingshot(米)、Defence Science Technology Laboratory(英)など多数】
- AURORAS(Orbit Determination with Just One Look)と呼ばれる解析技術は、従来の角度のみのデータを複数拠点で収集し軌道決定する手法と異なり、単一観測から軌道決定をすることで、短時間かつ高精度での特定を実現している一方で、計算コストの高さ等の課題がある。【Applied Research Associates(米)、National Observatory of Athens(希)】

● SSAデータ・システムの評価手法

- SSAデータの品質・コスト効率や分析精度などを体系的に評価するフレームワーク手法が開発されており、特にTraCSSのサービス化に向けて、衝突回避アルゴリズムの精度検証手法の確立等も進められている。【The Aerospace Corporation(米)、Colorado State University(米)など】
- GEO帯における有害な電波干渉状況を可視化する手法を開発することで、国際的な宇宙環境における透明性・説明責任の向上を目指す事例も存在する。【The University of Texas at Austin(米)】

※ 自ら電波を発信せずに、他の発信源から放射された電波を受信・解析する無線観測・検知手法

※2 波長0.6~1.7 μm の電磁波を利用する光学技術

※3 時間的に連続した全画素のフレームを撮影する(フレームベース)のではなく、変化があったときだけ出力を行うセンサ

※4 太陽反射で非常に明るい箇所から地球影で暗い箇所まで幅広く観測することができる

個別セッション報告 | テクニカルセッション(2/2)

● シスルナ

- シスルナにおける軌道決定は、地球近傍軌道と比較して月や太陽などの重力も考慮に入れた多体重力場であり、従来の軌道決定手法を適用できないため、物理モデルと機械学習を組み合わせたPhysics-Informed Machine Learning (PIML) やゲーム理論モデルなど、新たな軌道決定手法が模索されている。【University of Colorado Boulder(米)、The University of Texas at Austin(米)など】

● 宇宙天気

- 一般的な地球上層の大気モデルは太陽活動・磁気嵐などの指標を十分に反映できていないため、軌道決定などの予測精度を下げる要因となっており、物理ベースや半経験ベース、機械学習などを組み合わせた新たなモデル化手法の開発が進められている。【SpaceNav(米)、Digantara(印)など】

参加報告まとめ・所感

● 全体

- 宇宙業界が抱える「軌道上の混雑」、「商業化の進展」、「各国における競争の激化」などの複合的な課題に対し、技術・政策、軍事・非軍事、官・民などのあらゆる側面からの議論が展開された。
- 参加者・発表者の大半が米国政府機関・事業者であり、日本からの参加は限定的であった。
- AMOS設立当初から地元の産業局による地域産業振興の取り組みに対し、マウイ島に光学観測施設を有する米軍が支援してきた経緯があるが、直近5年間で、特に米国の関与・主導が顕著に見られてきた。

● 基調講演・Policy Forum等

- 軍事・防衛関連のセッションと非軍事のセッションが、おおむね同程度の割合で構成されていた。
- 軍事・防衛関連のセッションでは、対中関係を意識した発言が多く見られたほか、商業分野との連携の重要性も複数のセッションで強調されていた。
- 非軍事のセッションでは、宇宙交通管理(STM)の国際的なルール形成について、SSAデータ共有を含む国際協力、官民連携などの重要性が官民両方の立場から強調されていた。

● テクニカルセッション

- 以前から変わらず、かなり専門的な内容が発表されている一方で、発表テーマについては、10年ほど前には見られた小惑星観測や補償光学系のセッションはなくなり、「マヌーバー検出」などの目的志向のセッションが大多数を占めていた。

● 展示・企業ブース

- 企業・機関による業界人向けの展示のみで、10年ほど前には見られた教育・広報・一般市民向けの展示は消滅していた。

付録5.IAC2025参加報告

- 全体概要
- 個別セッション報告 | Plenary
- 個別セッション報告 | Global Networking Forum
- 個別セッション報告 | Technical Session
- 参加報告まとめ・所感

全体概要

【76th International Astronautical Congress (IAC 2025)】

- 概要:1950年から始まり、非政府組織の国際宇宙航行連盟(International Astronautical Federation (IAF))により運営される世界最大規模の国際宇宙会議で、今年で76回目となる。
- 今年のテーマ:「持続可能な宇宙:レジリエントな地球」
(前回(IAC 2024@ミラノ)でのテーマは「持続可能性のための責任ある宇宙」)
- 環境保全や宇宙資源の持続可能性に加え、デブリ管理や宇宙交通管理、打上げや再突入の環境影響の重要性などがテーマとして明記されており、昨年より前面に出ている。

開催日時	2025年9月29日～10月2日
開催場所	International Convention & Exhibition Centre - ICC Sydney
形式	<p><講演形式> ※以下の講演は会場を分けて同時並行で実施される(参加者は関心分野に応じて選択)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plenaryプログラム(全体会合) <ul style="list-style-type: none"> - Plenaryイベント(各国機関長会議・産業・探査・環境・新興国・次世代など):7セッション - 基調講演(Highlight Lectures):3講演 • Technicalプログラム(他プログラムと並行開催) <ul style="list-style-type: none"> - Technicalセッション(口頭):31のシンポジウム(分野別:宇宙科学・探査・デブリ/STM・地球観測・通信など)、計2,220件以上の口頭発表からなる - Specialセッション(特別講演):計18講演実施 - Interactive Presentations(ポスターセッション):約1,900件発表 • Global Networking Forum(他プログラムと並行開催):20講演実施 <p><展示形式></p> <ul style="list-style-type: none"> • 展示(スポンサー企業によるブース):450ブース以上
参加者数	19,000人以上(うち来場:7,400人以上)
参加国	約99か国(来場)
参加層	各国政府、民間企業、非政府組織、大学・研究機関など

個別セッション報告 | Plenary 1/3

講演タイトル	One-to-One with Heads of Space Agencies(宇宙機関長との一対一対話)
発表者(所属)	Enrico PALERMO(豪州宇宙庁(ASA)), Sean DUFFY(NASA), Josef ASCHBACHER(ESA), Lisa CAMPBELL(カナダ宇宙庁(CSA)), V. NARAYANAN(ISRO), Zhigang BIAN(CNSA),山川 宏(JAXA)
発表概要	<p>【ASA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 先住民の知識を活かしつつ、過去10年で衛星製造・打上げ・資源探査など能力拡張。月探査ローバー「Ruva」なども進行中。米国・ESA・日本・ニュージーランド・インド・太平洋諸国と協力関係を強化し、気候変動対応に宇宙技術を活用。 <p>【NASA】</p> <ul style="list-style-type: none"> アルテミス計画を軸とする月探査と火星探査への連続的ビジョンを提示。民間・国際パートナーと協働し、宇宙経済発展や持続可能な宇宙活動に必要な技術・インフラ整備を強調。NASAの役割を「人類探査に特化する唯一の機関」として、資源配分とミッション主導方針を明確化。 <p>【ESA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「ESA Strategy 2040」に基づき、長期的ビジョンを持つ持続可能な宇宙戦略へ進化。焦点は地球保護・気候対応、欧州の宇宙自律性、国際協力と社会的インスピレーション。協力を維持しつつ技術・経済の強靱性を強化する姿勢を明確化。 <p>【ISRO】</p> <ul style="list-style-type: none"> 農業・水資源・災害対応などに衛星データを活用。民間参入拡大とIN-SPACe設立により、ISROは上流技術に集中。Chandrayaan-3、Aditya-L1が成功し、次はサンプル回収や有人飛行を目指す。JAXAなどとの国際協力も強化。 <p>【CSA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 多国間協力とデュアルユース技術による持続可能な宇宙開発を重視。アルテミス計画やHTV-X捕獲など具体的成果を紹介。政府は90億ドル規模の宇宙・防衛投資を進め、AI・量子・ロボティクスなど民生・防衛両面の技術開発を支援。地球観測では気候変動・山火事・生態系保全に貢献。AI対応ロボティクスCanadarm3を月周回ゲートウェイに投入予定。宇宙を国家レジリエンスと経済成長の柱と位置付け。 <p>【CNSA】</p> <ul style="list-style-type: none"> 過去1年で72回の打上げを実施。小惑星探査や多衛星投入、中国宇宙ステーション国際利用公募で6か国・20超機関と協力。気候変動を国家戦略に位置付け、500機超の衛星で全球監視。宇宙の持続可能性確保のためCOPUOS採択の21のLTSガイドライン対応やSSA・STM強化、デブリ除去研究を実施。 <p>【JAXA】</p> <ul style="list-style-type: none"> GOSAT-3打上げで地球観測能力を強化。月探査LUPEXでローバー提供、HTV-X補給機打上げ、火星探査MMXでフォボスサンプル帰還を目指す。地球観測データを統合提供。宇宙ごみ対策では観測衛星とスタートアップ連携で除去実証を進め、国際ルール策定にも貢献。APRSAFやUNOOSAを通じ新興国支援、人材育成、キューブサット提供も推進。大阪万博では国際協力と二国間関係深化の機会として活用予定。

個別セッション報告 | Plenary 2/3

講演タイトル	How a Circular Economy Framework Unlocks Commercial Success in Space (循環型経済の考え方が宇宙ビジネスの成功を後押しする)
発表者(所属)	Chris BLACKERBY(Astroscale), Max HAOT(Vast), Dana BAKI(The Exploration Company GmbH), Jeffrey HENDRIKSE(ATMOS Space Cargo)
テーマ	循環型経済、持続可能性、軌道上サービス
背景	循環型経済の原則により、資源再利用と軌道インフラ効率化を通じて、宇宙経済の拡大が進む。
発表概要	<p><循環型経済の考え方を宇宙商業にどう適用できるか></p> <ul style="list-style-type: none"> ADRや寿命延長などの軌道上サービスで資源再利用が可能。RPO(近接航行)技術や自律運用を活用し、標準化や規制整備で市場拡大。技術→規制→エコシステムと順に構築。国際標準と国別要求を統合し、持続可能性を実現。【Astroscale】 モジュール式輸送や再利用ロケットで効率化。月面燃料補給やサンプル地球帰還も循環型経済の一環で、初期は政府需要中心だが民間市場にも展開可能。【Exploration Co.】 小型フリーフライヤーで軌道・ラストワンマイル輸送の回収・再利用を柔軟に実現。【ATMOS Space】 <p><政府依存からどのように脱して商業宇宙サービスを開拓するか></p> <ul style="list-style-type: none"> 技術開発は進んでいるが、商業的な需要創出には政府による初期投資が重要。【Astroscale】 月・軌道輸送は政府契約中心。民間企業は政府実証で信頼性確立後に拡大。【Exploration Co.】 コスト削減を通じて新たな需要を生み出すべき。SpaceXが好例。【Vast】 小型フライトやラストマイル輸送は民間需要が重要で、短期間・小規模サービスで市場形成。【ATMOS Space】 <p><規制・標準化と持続可能性></p> <ul style="list-style-type: none"> 持続可能で安全な軌道経済のため標準化と共通規制が不可欠。国際的ベストプラクティス策定に関与。【Astroscale】 技術だけでなく、政府・国際機関との連携や循環型活動を促すインセンティブ設計も重要。【Exploration Co.】 商業有人ステーションは安全運用・ドッキング標準化が必須で、民間・政府双方の承認が必要。【Vast】 小型物流は国際標準整備待ち。初期は柔軟性を確保しつつ、長期的に規制順守。【ATMOS Space】 <p><衛星寿命延長や再利用における技術課題></p> <ul style="list-style-type: none"> RPO技術の自律化、複数衛星同時運用・オペレーション自動化が課題。【Astroscale】 モジュール設計・再利用ロケットによる効率化。月面では燃料補給やサンプル回収技術が課題。【Exploration Co.】 小型衛星実証で運用最適化。大型ドッキングインターフェースと3D設計が重要。【Vast】 軌道物流では短期間・柔軟運用と回収再投入精度が課題。【ATMOS Space】
特記事項	アストロスケールBlackerby氏が、アストロスケールは単なるデブリ除去企業ではなく、燃料補給などを含めたサステナビリティに貢献する軌道上サービス会社であることを強調。

個別セッション報告 | Plenary 3/3

講演タイトル	Space Sustainability: Regional Priorities, Global Responsibility (宇宙持続可能性:地域課題と国際的責任)
発表者(所属)	Josef ASCHBACHER(ESA), Alvin DREW(NASA), Gay Jane P. PEREZ(フィリピン宇宙庁(PhilSA)), Enrico PALERMO(ASA)
テーマ	持続可能性、デブリ回避
背景	宇宙活動の拡大で環境負荷や軌道混雑が深刻化する中、持続可能な宇宙利用の実現に向けた具体的方策を議論。
発表概要	<p><宇宙の持続可能性として一番重視すること></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ デブリ落下や無線干渉など、宇宙空間が地上環境に与える影響の最小化と「きれいな空」の保護。【ASA】 ・ 地球周回軌道での安全運用とデブリ対策を優先。月・火星探査でも持続可能性を考慮。【NASA】 ・ 災害リスクに対応する信頼性あるデータ確保と国際協力・警告発出を推進。また、若年層への教育を重視。【PhilSA】 ・ デブリ管理・デオービット・地球観測データ共有を通じ、多層的に持続可能性を実践。【ESA】 <p><戦略・優位性・国際協力></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ デブリ削減・追跡・回避・パッシベーションなど6つの技術プログラムを展開。月・火星探査も視野。【NASA】 ・ デブリ再突入の影響を懸念(今年8件警告)。ミッション継続のため、タイと連携し軌道環境監視能力を構築中。【PhilSA】 ・ ゼロデブリチャーター策定、180機関が署名。EOL設計推進。地球デジタルツインで環境影響をシミュレーション。【ESA】 ・ COPUOSガイドラインに沿ったルール整備、デブリ低減規制、SSA強化(パッシブレーダー活用)を推進。【ASA】 <p><技術、規制、政府の役割におけるギャップ認識></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ リアルタイムデータ共有の遅れ。中国CNSAとNASA間で最近初めて共同回避行動の意思疎通が成立¹。現在のSSAネットワークは1989年頃の冷戦時代技術ベースで、精度・追跡能力に限界あり。小規模デブリの不確実性も依然大。【NASA】 ・ 航空交通管理の歴史になぞらえ、国際協力と統合システムが必要。地上・宇宙観測の統合で衛星・デブリ・使用済みロケット上段を追跡する必要あり。技術は進展しているが、制度整備が追いつかず。技術革新と国際協力の両立が鍵。【ESA】 ・ 宇宙活動未経験国でのデブリ理解不足や透明性が課題。月周回軌道に向け、SSA用高性能センサ開発が急務。【ASA】 ・ 政府主導の政策・声明を通じて、能力共有や地域連携を強化中。ASEAN地域での協調枠組みづくりを推進。【PhilSA】 <p><民間活用・産業参画></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ゼロデブリチャーターやデオービット設計義務化で、民間企業の責任ある参画を促進。昨年15億ドルの民間投資。【ESA】 ・ 持続可能性を組み込んだビジネスモデル形成を促す。コスト効率の高いイノベーションを奨励。【NASA】 ・ 下流産業の成長ロードマップを策定し、民間のソリューション開発を支援。【PhilSA】 ・ 起業家精神とデータ活用による新たな民間ビジネス創出を提唱。【ASA】
特記事項	<p>※1:各ニュース媒体が本件を報道。 (参考:https://spacenews.com/china-and-u-s-take-initial-steps-toward-space-traffic-coordination/(最終閲覧日:2025/10/21))</p>

個別セッション報告 | Global Networking Forum 1/2

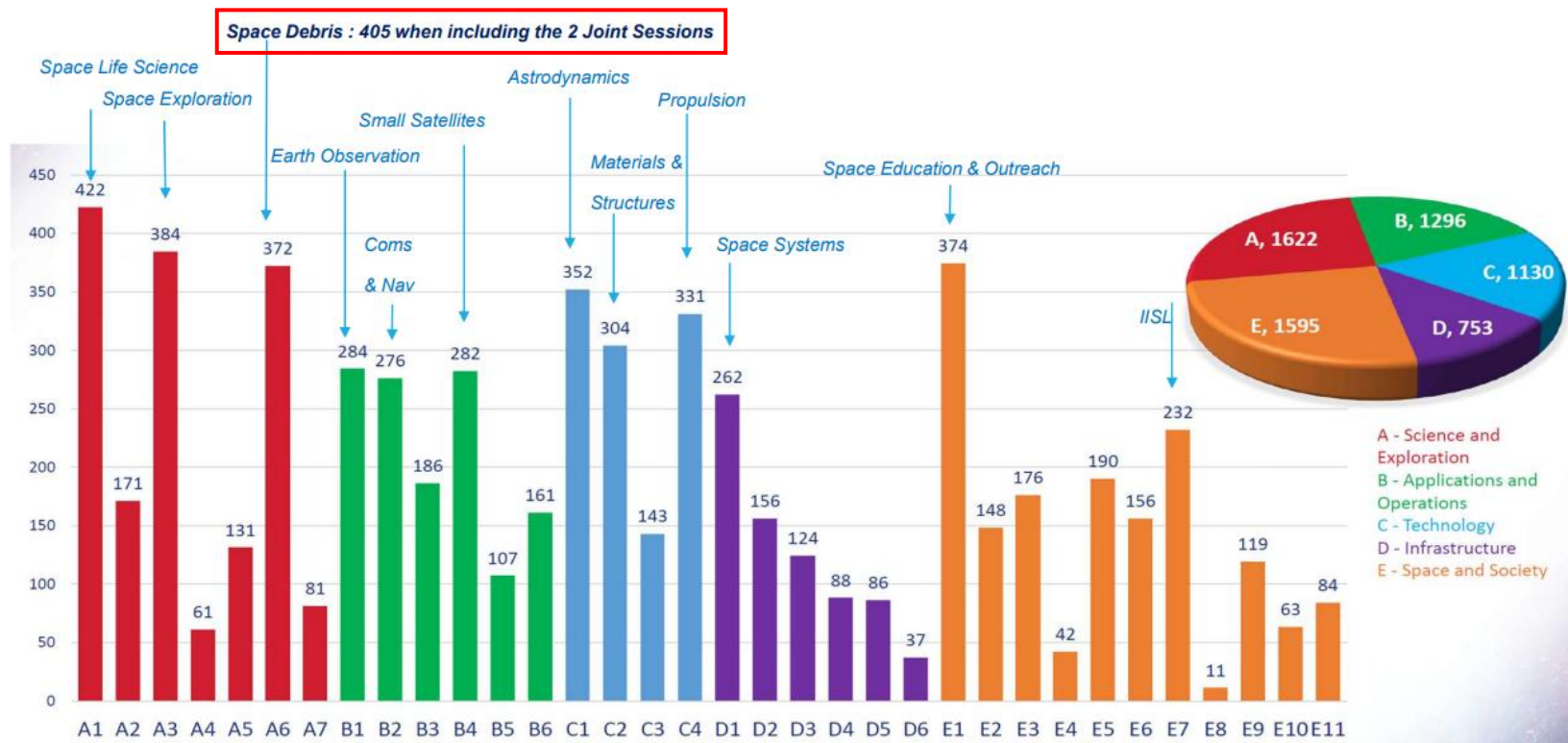
講演タイトル	International collaboration towards safe and sustainable space traffic(持続可能なSTMの国際協力)
発表者(所属)	Fatima AL SHAMSI(UAE Space Agency), Holger KRAG(ESA), Martin REYNDERS(DLR), Thomas SCHILDKNECHT(University of Bern)
テーマ	SSA、メガコンステレーション、国際協調
背景	宇宙交通の急増を背景に、地球周回軌道での安全・持続可能な運用のため、国際・学際的な協力の現状と課題・解決策を議論
発表概要	<p><SSAやSTMにおける最大の課題></p> <ul style="list-style-type: none"> 通信・観測衛星などの国家重要資産を守るため、国際的な情報共有とルール整備を重視。国連で議論を主導。【UAESA】 コンステ間の運用調整が最大課題であり、データ共有だけでなく運用方針の理解と対話(中国含む)が不可欠。【ESA】 最大課題はデータ・情報共有の不備。衝突警告や連絡先、データ形式の統一が不明確で、共通言語の確立が必要。【DLR】 <p><ADRにおける主要な課題></p> <ul style="list-style-type: none"> ADRは高コスト・法的課題を伴うため、多国間協力が必須。中小事業者も含めた持続的ルール整備が必要。【UAESA】 短期的には高精度追跡と衝突回避の体制整備を優先。科学的根拠に基づく除去対象の優先度付けが必要。【ESA】 対象デブリの正確な追跡・位置把握が前提。10cm以下の監視困難、誰が除去するか等不明確な法的権限も障壁。【DLR】 <p><SSAデータ・衝突警告の国際共有・法制度化に関する意見></p> <ul style="list-style-type: none"> 国際的なルール作りへの参加を重視。民間参入の増加に伴い、責任範囲・データ利用ルールの明確化が必要。【UAESA】 ESAではまず協定を結び、コンステレーション間での衝突回避を円滑化できるよう連絡体制を明確化。また、国際条約やEU基準の調和と、法制度・技術ガイドラインの両立が重要。【ESA】 共有には技術的・運用的課題があり、データ精度・形式の統一と機密保持・責任問題の両立が必要。各国・企業が「プリズナーのジレンマ」を回避するため、対話による協調が不可欠。【DLR】 追跡システム・アルゴリズムの標準化、デブリ除去や自己除去の義務化、軌道別ルールの明確化が必要。【Bern Univ.】 <p><近年のメガコンステレーションにおける宇宙環境や運用への影響></p> <ul style="list-style-type: none"> 国際協調による衝突警告や、衛星設計での自己除去技術の義務化など、ルール作りが重要。【UAESA】 各事業者と協調し、回避マナー計画共有とベストプラクティス遵守を推進すべき。【ESA】 軍事衛星コンステの場合は、情報の非公開により衝突予測精度が低下。【Bern Univ.】
特記事項	<p>UAEのSpace Agencyは、「(COPUOSでの)UAEによるSSA専門グループ設立」の趣旨について、次のように説明。</p> <ul style="list-style-type: none"> 各国がSSAの重要性を認識すべきであるが、現在は各国・地域単位の取組が中心でグローバル連携は不足。異なる視点から取り組むため、ドイツ主導の法的側面とは対照的に本グループは技術面を取り扱うこととし、将来的には互換性あるSSAプラットフォームとデータ定義の統一を進め、UAE宇宙資産の安全確保と宇宙の持続可能性を目指す。

個別セッション報告 | Global Networking Forum 2/2

講演タイトル	Tactically Responsive Space(戦術的即応型宇宙ミッション)
発表者(所属)	Eric SALWAN(Firefly Aerospace), Luca ROSSETTINI(D-Orbit SpA), Jeff THORNBURG(Portal Space Systems)
テーマ	戦術的即応型宇宙ミッション、レジリエントな宇宙、国家安全保障
背景	即応型の宇宙ミッション対応に向け、各国・企業の競争と協力、柔軟な宇宙アーキテクチャ構築の課題を議論
発表概要	<p>< 戦術的即応型宇宙ミッション(Tactically Responsive Space)が国家安全保障にとって重要な理由 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 24時間以内で軌道投入可能な「オンデマンド打上げ能力」を実証済(米空軍協力)。迅速な衛星代替で敵国の抑止力を強化。攻撃のリスクを低減し、宇宙ミッションの未来に向けた抑止力を提供。【Firefly】 国際協力が不可欠。単独国家では宇宙インフラの全地球カバーは不可能。商業的観点からも協力は必須。民間企業間・国家間での共同運用やサービス連携が必要。【D-Orbit】 宇宙は「情報支配」の場であり、同盟国間の相互運用性と情報優位性の確保が重要。迅速な打上げだけでなく、軌道上の資産を迅速に移動させる能力も重要。【Portal】 <p>< 規制・政策面の課題 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 現状、航空のような「キープアウトゾーン」は宇宙には存在せず、全地球周回軌道が対象。STMの国際的枠組みが未整備。既存の国際的な情報共有の取り組みにおいても、「中立的な調停者」が不在のため依然として不十分。【Firefly】 商業企業間の軌道上ランデブー操作におけるルールや手順が未整備。商業宇宙産業が軌道上で多数の衛星を運用する現状と、各国規制の遅れのギャップを指摘。政府は技術・商業宇宙の現実に追いつく必要がある。【D-Orbit】 <p>< 持続可能・レジリエントな宇宙・地球の意味 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 迅速対応能力で軌道上攻撃によるデブリ生成を防ぐことで、宇宙環境の汚染を避け、抑止力を維持。【Firefly/Portal】 宇宙を持続可能に管理しなければ市場は消滅。宇宙では地球のように限定された影響域がなく、宇宙全体に影響。軌道上の資産管理、耐久性、サイバーセキュリティの3要素が重要。【D-Orbit】 <p>< 非軍事用途(民間・商業)の可能性 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 軌道上の予備衛星を地上で管理し、迅速に打上げ(衛星故障時の迅速代替)。技術更新済みの衛星を迅速投入できるため、商業的にも有効。自然災害対応で人命救助に貢献。【Firefly/Portal】 <p>< 戦術的即応型宇宙の運用拡張に向けた障壁 ></p> <ul style="list-style-type: none"> 規制調整のためのFAA, FCC, Space Forceの連携が最大の障壁。防衛顧客との契約・調達プロセスが従来型で、変革には時間と信頼が必要。財務面のリスク管理も課題:衛星打上げ前に多額の投資が必要。【Firefly】 商業宇宙企業が主導する時代に、政府の規制と調達の遅れが課題。【D-Orbit】 フル運用には軌道上資産の十分な配置と即応体制が不可欠。自然災害や防衛での迅速対応にはまだ能力不足。【Portal】

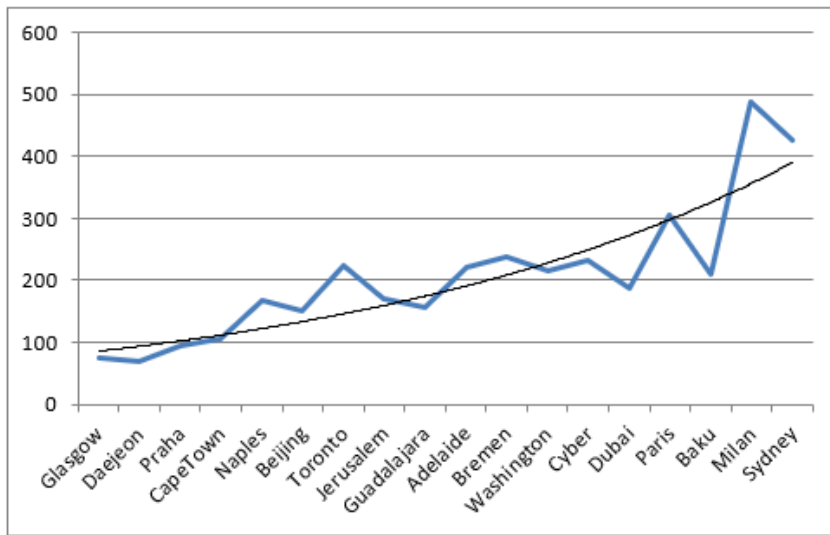
個別セッション報告 | Technical Session:宇宙デブリ論文数傾向 1/2

- Technical SessionではSPACE DEBRISシンポジウム(A6)を主に聴講。
- 今回のIACでのシンポジウム開催により、2008年以降の論文投稿数が他分野含めた全シンポジウム中2番目に多くなる結果となった。

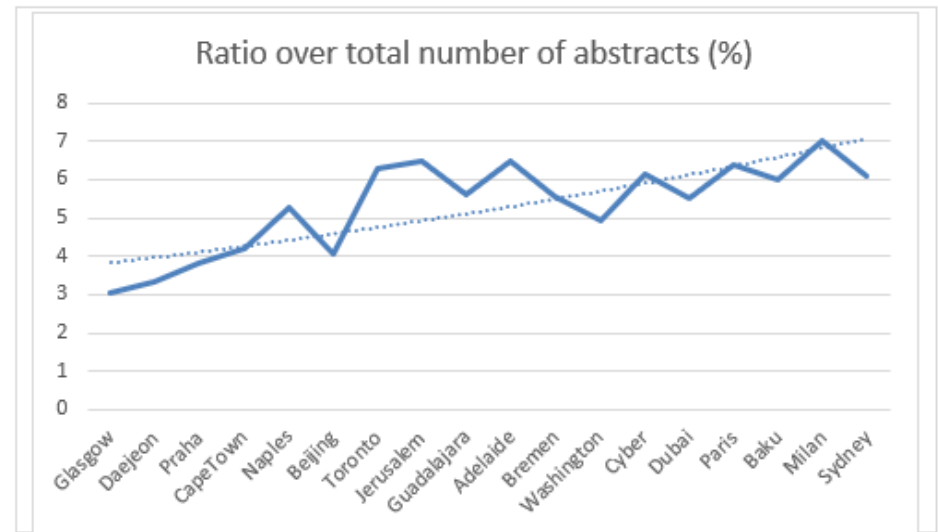


個別セッション報告 | Technical Session:宇宙デブリ論文数傾向 2/2

- 2008年以降のSPACE DEBRISシンポジウムにおける論文投稿数の推移(左図)および全体に占める割合の推移(右図)は、下図の通りである。
- 論文投稿数の増加傾向からも、近年宇宙デブリおよびSTMへの関心が高まっていることが窺える。



SPACE DEBRISシンポジウムにおける論文投稿数の推移



全体投稿数に占めるSPACE DEBRISシンポジウム論文投稿数の割合の推移

個別セッション報告 | Technical Session: 米商務省 1/3

講演タイトル	Advancing Concepts for Global Coordination on SSA(SSA国際協調に向けた新たな概念提案)
発表者(所属)	Mariel Borowitz(Office of Space Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), United States. Department of Commerce)
テーマ	TraCSSとEU-SSTの相互運用・互換性確認、SSA
背景	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙機の急増により、SSAのグローバル調整が宇宙飛行安全に不可欠 独立したSSAシステム間の情報の矛盾は安全リスクとなる
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> 本研究ではEU-SSTとTraCSSの共同研究で、透明性・互換性・相互運用性を高める共有情報を特定することを目的とし、各サービスごとに共有可能なプログラム情報と運用情報を整理。 EU-SSTおよびTraCSSで扱われる「情報」は、「プログラム情報(システム構造・運用手順)」と「運用情報(入力・出力情報)」に分類される。プログラム情報の共有は透明性・互換性を高め、運用情報の共有はリアルタイムでの調整を可能にする。 運用情報はプログラム情報より機密性が高く、リアルタイム共有には時間とリソースが必要なため、優先度の高い共有シナリオを設定した(①接近事象のリスクの高さ、②接近物体がEU-SSTまたはTraCSSに登録されているか、③接近物体のうち少なくとも1つが機動可能か、など)。これらを組み合わせると数百の共有シナリオが考えられるが、代表的4ケースで可能性の幅を示せる。 後述の通り、高リスク接近事象での運用情報共有(シナリオ3)が、生データの機密性と宇宙飛行安全のバランスに最適であると判定された。 本研究成果はTraCSSとEU-SST間の理解・互換性向上に有益であり、国際SSA調整全般にも応用可能である。 システム間の出力を比較して、どちらがより正確かを理解するのは非常に難しい課題で、差異が生じる理由も評価する必要あり。情報を全く共有していない現状から、機密性の低い情報から共有し、相互運用性や互換性、透明性の向上に向けて改善できる部分は多くある、ということを強調。 すべての組織が同じレベルで共有する必要は無いが、ある組織がより多く共有したり透明性を高めたりできれば、それだけでも宇宙飛行の安全に有益と強調。 非常に密接に協力している2つのSSAパートナー間であっても、センサデータや生成される軌道要素等における完全共有はまだ難しいのが現状。そのため実情に即して、リアルタイムでの運用情報共有の優先ポイントを検討することが目的であると強調。
特記事項	米商務省による米TraCSSと欧州EU-SST間でのデータ相互運用検討施策の一環であり、今までにない新しい動きと推察。

個別セッション報告 | Technical Session: 米商務省 2/3

EU-SSTとTraCSSが提供する各サービスごとの共有可能な「プログラム情報」と「運用情報」の整理表

Table 1: Opportunities for Programmatic and Operational Information Sharing A

	EU SST Service	TraCSS Service	Potential Programmatic Information Sharing					
Program Overview			<ul style="list-style-type: none"> Program Policy and Strategy Objectives of the system System architecture Services provided Timeline of the program 6. Future Development Plans 				<ul style="list-style-type: none"> tools provided to operators Response expected from operators (if applicable) Method for communication with operators Procedures for after-event evaluation (if relevant) 	
Services								
1. In-Orbit Collision Avoidance service:								
1. Routine catalog and O/O ephemerides screening and CDM production	Yes	Yes	<ul style="list-style-type: none"> Sensor network architecture description Use of o/o ephemerides and guidance to O/O on ephemeris covariance method Processes used to evaluate the quality of operational data (input & outputs) Cadence of CA screening along with update cadence of screening inputs Screening volume(s) Process to identify primary CDM Hard body radius information source and/or calculation approach Space weather information source and update cadence Methodology for calculating probability of collision Standard/ format used for CDM CDM update frequency Orbit propagation method and/or drag / force model used for orbit propagation 	<ul style="list-style-type: none"> Owner/ operator 		Yes	Yes (Future)	<ul style="list-style-type: none"> Procedures for pursuing additional tracking Potential timing of updated observations Procedures for generating a providing collision avoidan
2. Risk Assessment ⁴ and Detection and Notification of High Interest Events/Emergency Events	Yes	Yes	<ul style="list-style-type: none"> Procedures, criteria, and thresholds for defining high-risk events Source of information on spacecraft maneuverability (if relevant) Procedures for alerting spacecraft operators of high-risk events Additional information and/or 	<ul style="list-style-type: none"> High-risk CDMs 		Yes	Yes (Future)	<ul style="list-style-type: none"> Description of re-monitoring service Process for developing predictions
3. Additional tracking on the secondary and/or primary objects						Yes	Yes (Future)	
4. Basic CAM Options for						Yes	Yes (Future)	
5. Candidate Screening						Yes	Yes	
6. For selected HIE/ Emergency Events, dialogue with O/O						Yes	Yes	
2. Candidate Maneuver Screening								
3. Spacecraft Anomaly Reporting						No	Yes	
4. Reentry Monitoring Service						Yes	Yes (Future)	
5. Fragmentation Notification and Analysis Service						Yes	Yes (Notification only)	

EU-SSTあるいはTraCSSで共有可能な情報が否か

プログラム情報
(例:宇宙天気情報の出所および更新間隔、衝突確率の算出方法、衝突回避メッセージ(CDM)で使用される標準/フォーマット、更新頻度などの基本的な情報)
⇒共有部分が多いと互換性や相互運用性の向上が期待できる

運用情報
(例:宇宙天気情報の出所および更新間隔、衝突確率の算出方法、衝突回避メッセージ(CDM)で使用される標準/フォーマット、更新頻度などの基本的な情報)
⇒共有部分が多いとシステム間でリアルタイムの調整が可能

SSAサービス要素
(例:リスク評価および注目事象/緊急事象の検知と通知、二次的および/または主要対象物の追加追跡など)

出所) Borowitz, Mariel, et al. "Advancing Concepts for Global Coordination on SSA." Proceedings of 76th International Astronautical Congress (IAC 2025), Sydney, Australia, 29 Sep-3 Oct 2025. に三菱総合研究所加筆

以下にも同様の表が掲載: <https://amostech.com/TechnicalPapers/2025/Poster/Borowitz.pdf> (最終閲覧: 2025/12/5)

個別セッション報告 | Technical Session: 米商務省 3/3

SSA情報の各共有シナリオにおける比較表(和訳)

高リスク接近事象での運用情報共有(シナリオ3)が、生データの機密性と宇宙飛行安全のバランスに最適と判定。

シナリオ	共有される情報	共有基準	利点(Pros)	欠点(Cons)
1. 全共有	<ul style="list-style-type: none"> センサーデータ 軌道要素(Ephemerides) 接近情報メッセージ(CDMs) 	<ul style="list-style-type: none"> なし(すべての事象について共有) 	<ul style="list-style-type: none"> あらゆる事象に対応できる 	<ul style="list-style-type: none"> 現行の国家安全保障および機密情報共有の制約と両立しない
2. 全登録ユーザー間での共有	<ul style="list-style-type: none"> 軌道要素 CDMs 	<ul style="list-style-type: none"> いずれか、または両方の物体がEU SSTおよび/またはTraCSSに登録されている場合 	<ul style="list-style-type: none"> 両システムのユーザーにとって関心のあるすべての事象について、幅広い情報共有が可能になる 現在のEU-SSTが米国発のCDMにアクセスしている状況(space-track.org経由で共有)と類似 比較的多くのCDMを共有でき、TraCSSとEU-SSTのCDM間の差異やその原因をより深く理解するための広範な比較が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 現行の情報共有手続きに大幅な更新が必要となる。
3. 高リスク接近事象での共有	<ul style="list-style-type: none"> 軌道要素 CDMs 	<ul style="list-style-type: none"> 事象が高リスク(HIEまたは緊急事象)として指定されている 対象物体の一方または両方がEU SSTおよび/またはTraCSSに登録されている 	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙機運用者にとって関心の高い高リスク事象を優先的に扱える 現行のTraCSS情報共有方針と整合 EU-SSTでも、関心の高い事象に際しては追加情報を共有 	
4. 高リスク接近事象における限定共有	<ul style="list-style-type: none"> CDMs 	<ul style="list-style-type: none"> 事象が高リスク(HIEまたは緊急事象)として指定されている EU SSTおよびTraCSSの両方に登録ユーザーが関与している 少なくとも一方の物体が機動可能である 	<ul style="list-style-type: none"> TraCSSおよびEU SSTユーザーにとって最も運用上関連性の高い事象のみを優先的に共有 限定的な共有は、調整初期段階で必要とされるリソースを少なくできる 	<ul style="list-style-type: none"> 限定的な情報共有により、システム間の差異の広範な傾向や原因の理解が遅れる可能性がある

出所) Borowitz, Mariel, et al. "Advancing Concepts for Global Coordination on SSA." Proceedings of 76th International Astronautical Congress (IAC 2025), Sydney, Australia, 29 Sep-3 Oct 2025. に三菱総合研究所加筆(赤枠)

以下にも同様の表が掲載: <https://amostech.com/TechnicalPapers/2025/Poster/Borowitz.pdf> (最終閲覧: 2025/12/5)

個別セッション報告 | Technical Session: ESA

講演タイトル	ESA activities and vision to enable Space Circular Economy(宇宙循環経済を実現するためのESAの活動とビジョン)
発表者(所属)	Antonio Caiazzo(ESA)
テーマ	ISAM、軌道上サービス、持続可能性
背景	宇宙デブリ増・衛星活動対応のため、軌道上での補修・製造・リサイクルを通じた持続可能な循環型宇宙経済の構築が必要
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> ESAは2030年までに軌道上デブリ中立(neutrality)を達成することを目指している。この目標達成のため、軌道上補修・製造・リサイクルを組み合わせた循環型宇宙経済モデルを推進。 ESAのISAMとして、補修・再利用・修理・リサイクルを統合。ISAMロードマップ策定や標準インターフェース整備を進行中。 短期ロードマップ(~2030)では、軌道上補修のデモと商業実現性検証を進める。 長期ロードマップ(~2045)では、軌道上リサイクルや製造、大型構造物の軌道上組み立てを計画。 産業パートナーと連携した研究(過去数年間で36件の提案を欧州産業から募り、5件を選定)では、次のプロジェクトが進行中(フェーズ0): <ul style="list-style-type: none"> Astroscale(英/日):LEO衛星の補修(IRUS) Growbotics(英):GEO衛星の補修(LOOP) Thales Alenia Space(仏):軌道上リサイクル施設(RSP) KINETIK(独):LEOでの構造部品ロボット製造(ROBOFAB) D-Orbit(伊):GEO衛星の補修(RISE2)
特記事項	上記の他、現在のISAM主要ミッションとして、ClearSpace-1、ELSA-M、InSPoC、RISE、ENCORE、ERASEなどがスライドで紹介された。

個別セッション報告 | Technical Session: Cambrian Works

講演タイトル	Active Debris Remediation and Space Object Mobility Using Electroadhesive Technology(電気吸着のデブリ除去)
発表者(所属)	Kalia Crowder(Cambrian Works, Inc.)
テーマ	ADR、電気吸着、デタンプリング
背景	<ul style="list-style-type: none"> • 現行の接着・捕獲技術は対象物に制約あり、多様な物体に対応困難 • 高価なユニバーサルシステムと限定的な特化型システムの二極化 • 回転制御不能物体の捕獲は依然として課題
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> • SPIDEE(Space Payload for Inertial De-spin Efficient Effects) / eTAP(Electroadhesion Technology)技術開発。 • eTAP:安価で電気吸着可能なパッド • 電場による吸着。導体・絶縁体・誘電体等ほぼ全物体に接着可能。 • 1000回以上の接着/剥離で残留物なしにつき、再利用・非破壊のADRが実現可能。CubeSat～ESPAクラスまで対応。 • SPIDEE:モジュール式eTAPパッドアレイと姿勢制御・推進系を統合した、オープンインターフェースで容易に統合可能なペイロード。 • 回転する制御不能な対象への接続や対象の回転減速(デタンプリング)が可能(衛星が回転するたびに接触して減速。必要に応じて反作用ホイールや推進で補助)。 • 質量:2-50 kg(構成依存)。厚さ<0.5mmで質量影響最小。タイルは2～3インチ程度で、複数枚を衛星表面に配置可能。省スペースで、センサ、通信などペイロードの拡張が可能。 • 1000kgを超える物体にも対応できることが力学スケーリング解析により実証済。 • 曲面にも合う柔軟な形状:不規則形状への配置もカスタム設計不要。 • 低消費電力で長時間運用可能 • 迅速なデブリ除去能力の確立により衝突連鎖も防止。 • NASA Swift Observatory Re-boostミッション研究の一環でAstroscale USと協力して実証
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> • 今回は地上試験における論文であり、今後軌道上実証が見込まれる。 • 発表スライドでは、手のひらサイズ・タイル状のeTAPが写真入りで紹介され、複数枚を衛星ペイロード上に配置可能(曲面への配置も可能)で、デブリ捕捉に有効である点が強調された。 • また、eTAPのactive/disabled状態の比較写真を用いて、材質を問わず吸着できること、および通電停止により対象物の吸着を解除できることが示された。

個別セッション報告 | Technical Session:米海軍調査研究所

講演 タイトル	Lightsheet Anomaly Resolution and Debris Observation (LARADO) Test Results and Pre-Launch Update(光シート異常検出・デブリ観測(LARADO))
発表者(所属)	Andrew Nicholas(U.S. Naval Research Laboratory)
テーマ	微小デブリ観測・追跡、レーザー
背景	<ul style="list-style-type: none"> 直径0.1 mm～3 cmの小型軌道デブリは追跡不能だが、宇宙機に致命的なダメージを与える可能性がある。 この「致命的だが追跡不可(LNT)」デブリの観測には、大面積・長時間のセンサーが必要。
発表概要	<ul style="list-style-type: none"> LARADO:物理的構造を持たない「仮想ウィットネスプレート(VWP)」を光シートで形成し、小型デブリを統計的に検出可能にする技術。10cmから1mm未満の微小デブリを検出することを目的とする。 VWPは宇宙空間に巨大な光シートを形成し微小デブリを検出するコンセプトであり、コリメート光源(例:レーザー)と円錐ミラー(アキシコン)やパウエルレンズ、拡散器などにより光シートを生成し、通過物体からの散乱光をカメラで検出する。 VWPはレーザー出力を高めることで観測範囲や感度が向上し、また光シートを2枚用いることで微小デブリの速度・方向の計測も可能とされる。 主な構成要素:30W CWレーザー(793 nm)、分散光学素子、EBSカメラ2台、制御・処理用電子機器。 NASAと協力し特性を評価済。STPSat-7に搭載済、打ち上げは2026年2月予定。目標軌道:LEO 500 km、傾斜角60°。 793 nm 230 Wレーザーで1 mmのデブリを16 km/sまで計測可能。 ニューロモルフィックカメラ(EBS)を採用:画素単位で明るさ変化が閾値を超えたときのみデータを送信→大幅な低消費電力・低帯域・高速応答。
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> 地上試験でパウダーガン(材料はアルミニウム、強化ガラスなど)を用い、角度等変えて撃つことで実施している点が印象的であった。 発表スライドでは、2枚のレーザーシートを用いたパウダーガン試験モデルも模式図で紹介された。

参加報告まとめ・所感 1/2

- 世界最大規模の宇宙会議であるIACでは、今年もSTM専門家のみならず、ルールメイキングに関与する各国政府関係者、企業幹部、宇宙機関のトップなど多様な登壇者が集結した。今後も、STM分野における国際動向や技術の進展を把握する上で、同会議は有用な情報収集の場と考えられる。
- IAC2015～IAC2025における論文件数は、米国(724件)、アゼルバイジャン(632件)、インド(565件)、イタリア(391件)、ドイツ(299件)に続き、日本が273件と上位を占めた¹。デブリ回収関連のセッションでも、JAXA、東北大学、東京大学、九州大学、BULL社など、日本勢による多数の発表が確認された。
- 昨年度に続き「サステナビリティ」が主要テーマとして掲げられ、パネルを中心に活発な議論が行われた。STMと密接に関連することから、多様な意見が示された。特にESAはサステナビリティを今後の中核テーマと位置づけ、関連企業への支援強化を強調した。
- TraCSSとEU-SSTの互換性・相互運用性の検証など、国や地域を超えた連携が進む中、米・中間でさえも衝突回避に関する直接連絡が行われており、宇宙空間の混雑化を背景に国際協調は新段階に入っていると考えられる。
- 宇宙新興国においても、自国資産の保護を目的とした新たな動きが見られた。UAEは国連の場でSSAに関する専門家会合の設立を提案し、フィリピン宇宙庁もタイとの協力により軌道環境監視能力の構築を進める方針を示した。
- 中国においても、LTSガイドラインへの準拠やデブリ除去研究に関し、国家機関が主導的役割を果たしている点が強調された。

出所)1、<https://www.iafastro.org/news/iac-2025-call-for-abstracts-results.html>(資料閲覧:2026年3月12日)

参加報告まとめ・所感 2/2

- 各国の民間企業からは、STMを持続可能な宇宙経済基盤と捉え、標準化・規制整備による市場拡大や政府実証を通じた商業化を求める声があった。今後の課題として、RPO(近接航行)・再利用・自律運用などの技術成熟と国際的ルール形成の両立が挙げられた。
- 数mm～数cm規模の微小デブリ衝突問題への技術的対策に関する発表が複数見られた。影響は大きいものとされ、レーザーを活用した革新的な観測技術等の研究が進められていた。
- 欧州や豪州を中心にSSA関連ソリューションの展開が活発であり、特に豪州では地理的優位性を活かし、民間企業もSSAサービス開発に注力している印象である。豪州宇宙庁(ASA)長官からも、月周回軌道への応用を見据えた高性能SSAセンサ開発の重要性が強調された。
- STM関連の民間事業ではインドの存在感が高まっており、展示ブースでも幾つか関連サービスが出展されていた。燃料補給実証が近く予定されるなど、実証段階への移行が速く、今後の動向注視が必要と考えられる。
- 韓国においても、米宇宙軍からも引合いを得ている衝突回避サービス事業者の存在や、国家プロジェクトとしてデブリ回収実証が計画されるなど、官民双方でSTMを意識した取組が進められている印象を受けた。

- 本資料に関するお問い合わせ先

株式会社三菱総合研究所

フロンティア政策本部

[担当]

内田 敦 a-uchida@mri.co.jp
牧山 紘 ko_makiyama@mri.co.jp

未来を問い続け、変革を先駆ける

MRI 三菱総合研究所

二次利用未承諾リスト

令和7年度技術開発調査等の推進事業
費（ルール形成戦略に係る調査研究
（宇宙交通管理等に関する標準化およ
びルール形成戦略に係る調査）） 調
査報告書

令和7年度技術開発調査等の推進事業
費（ルール形成戦略に係る調査研究
（宇宙交通管理等に関する標準化およ
びルール形成戦略に係る調査））

株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
10		地上から確認できるデブリ上の数量変化
10		スペースデブリの分布（軌道別）
13		Starlinkの衛星イメージ
14		Lynkのイメージ
15		Amazon Leoアンテナのイメージ
16		Dove衛星のイメージ
17		PWSA Tranche-1のアーキテクチャ
18		TrustPoint : Time Flies衛星
19		PULSAR衛星のイメージ
20		pLEO衛星（NROL-107）打上げ写真
21		Lightspeed衛星のイメージ
22		IRIS2衛星のイメージ
23		OneWebのイメージ
24		Marafon-IoT衛星のイメージ
25		STORK衛星のイメージ
26		Qianfan衛星を打ち上げた長征ロケット
27		CASCの衛星イメージ
28		Honghu-2衛星打上げの様子
29		GEESATCOM衛星のイメージ
30		Yinheのイメージ図
31		Jilin-1衛星
32		Hanwha衛星のイメージ
38		SDA体制の概念図
39		イオノゾンドのコンセプト図
40		米国の宇宙監視ネットワーク
41		TraCSSのシステムイメージ
42		TraCSSのシステムイメージ
45		宇宙天気観測衛星SWFO-L1のイメージ図
46		SDOのイメージ図
47		EU-SSTのセンサネットワーク
47		EU-SSTのアーキテクチャ
48		SWE Networkのコンセプト図

49	デュアルユースの全体像
50	地上の中性子モニターの様子
52	確認及び推測されている中国のSSA衛星
53	Summary of Chinese Space-Based SSA Sensor and Mission Discussions
53	Nanjing University Explanation of Space-Based SSA in China
54	APOSOSの観測網
54	APOSOSの宇宙物体追跡ソフトウェア
55	JAXA SSAシステム概要
56	NEC ComSpOCの概要
56	SSAレーダーの概要
57	政府機関・政策との関わり
57	衝突事故回避ナビS-CAN概要
58	電波情報監視設備の概要
59	AxelGlobeによる物体画像
60	スカパーJSATの将来構想
61	IHI SSAサービスの概要
61	相生観測局
62	スペースデブリ観測用光学望遠鏡
62	ディープスペースレーダ
62	2030年以降の宇宙空間混雑化状況(仮説)
62	楕円軌道によるPMD/ADRの例(仮説)
63	LeoLabsの利用画面イメージ
64	EGTNを構成する光学望遠鏡の位置
65	Slingshotのマヌーバレポートイメージ
66	Kratosのサービスイメージ
67	Scoutが開発する衛星 (Raven)
68	Turion Spaceが開発するDROID. 002の概観
69	Stargazeによる衛星位置把握のイメージ図
70	TRL11がStarrisが共同で開発するRPOシステムのイメージ図
71	Spireの提供する衛星システムLEMURの外観
72	PlanetIQが運用するGNOMES衛星のイメージ図
73	Skylarkのイメージ図
74	Spacefluxのチリの光学望遠鏡
75	Vyoma・Aerospacelabが製造するSSA衛星のイメージ図
76	HEOが開発するNEIカメラ
77	Digantaraが開発するSSA衛星「SCOT」のイメージ図
78	Origin Spaceが開発するX線観測衛星の概観
79	Kaiyun Unitedが開発する衛星「開運1号」
87	MRVのイメージ(左の機体)
88	RISEミッション
89	衛星プラットフォームVEDA
90	Ranger衛星プラットフォーム
91	Otter Pup 2イメージ (左)
92	LEXI-P衛星
93	EROSSプロジェクトイメージ図

94	REFLEX-Jイメージ図
95	ModuLinkのイメージ
96	Orbit Fabが開発する機器の例
97	軌道上に設置する燃料タンクのイメージ
98	APS-R衛星
99	軌道上組立のイメージ図
99	Maxarが開発したアーム
100	RPOD Kit
101	Shijian-25衛星打ち上げの様子
102	The Portプラットフォーム
103	ツール交換インタフェース
104	AI搭載型のロボットアーム
105	Assembly Robot・Welding Robot
106	ロボットアームによる溶接イメージ
107	切断ミッションのペイロード
108	アンテナ構造が製造されている様子
109	装置概要・作成された金属部品
110	ビーム状構造の製造イメージ
111	CisLunarの試作機
112	リサイクル用デブリの月面輸送イメージ
113	CRD2の目的
114	Lealaps
115	xLinkシステム
116	除去対象捕獲時のイメージ
117	ClearSpace-1
118	ClearSpace-1
119	ロボットアームによるデブリの捕捉
120	ソリューションイメージ
121	OLaMoT衛星
122	キャプチャーバッグによる捕獲イメージ
123	NEO-1衛星イメージ
124	DRUMSの模擬デブリ捕獲イメージ
125	伸展ブーム
126	ELSA-d
126	ELSA-Mドッキングプレート
127	DogTagの外観と諸元
132	PBI(水イオンエンジン)
133	ARM-C
134	MVPの外観
135	電気推進システムの試験
137	ロケット上段によるコントロールドリエントリ
138	典型的な軌道推移
139	PMD装置を活用したデータ取得
140	D-SAILの展開状態のイメージ図
141	展開後のdragNET
142	ADE0-2
143	打上げ前の膜構造
144	膜構造の展開イメージ
145	Spinnakerの展開イメージ
146	打上げ前の軌道離脱装置

147	SASTのシステム画像
148	打上げ前の軌道離脱装置
149	膜構造展開後のイメージ
150	軌道離脱のイメージ
151	APBのイメージ
258	SPACETIDE 2025全体スケジュール
262	日本におけるSDAの構成
272	AMOS2025参加者の属性
286	2008年以降の各Technical Sessionにおける論文投稿数
287	SPACE DEBRISシンポジウムにおける論文投稿数の推移
287	全体投稿数に占めるSPACE DEBRISシンポジウム論文投稿数の割合の推移
289	EU-SSTとTraCSSが提供する各サービスごとの共有可能な「プログラム情報」と「運用情報」の整理