

2.3 新たな観測センサ・観測技術に関する調査

サマリー

【vLEO】

- vLEOにて衛星を運用することには、安定飛行の困難、AOによる劣化等のデメリットがあるものの、特にセンサ分解能の点で大きなメリットがある。
- 日本では他国に先行し SLATS での観測衛星運用実績があるものの、今後の衛星開発においては、海外スタートアップが先行し、ここ数年で打上げが開始される状況。
- vLEOにおける衛星運用では、大気抗力（姿勢制御含む）、スラスタ（特に燃料補給）、AOによる機体の劣化の大きく3つの技術的課題が存在し、各企業が対応策を検討・開発している。
- 特に、ABEP (Atmosphere-Breathing Electric Propulsion) や ABIE (Air-Breathing ion engine) など、周辺空気を推進材として活用する画期的なスラスタが検討・開発されつつある。
- 機数・解像度の観点から vLEOにて光学衛星画像の活用が想定される分野は以下のとおり。ただし、解像度の点では、空中写真やドローン等が競合となるため、定期的や広域性等の観点から差別化できるユースケースの発掘や、センサでの差別化等によるユースケースの拡大が必要となる。
 - ◇ 人流モニタリング
 - ◇ パイプラインモニタリング
 - ◇ インフラモニタリング
 - ◇ 詳細地形図、都市計画
- 衛星開発状況が欧米・中国に対して遅れていることは日本の弱みである。
- 一方で、JAXA と民間企業との官民連携による、SLATS 技術を活用した vLEO での光学リモートセンシング事業モデルの構築が開始された。SLATS の実績を継承し他国との差別化を意識した衛星開発が期待されることが日本の強みである。
- 但し、日本はコンステレーション構築のスピードの点からも海外勢に対し劣後することが予想されるため、vLEOにて運用する衛星の開発に向けては、他衛星との連携、熱赤外センサ等の光学以外のセンサの搭載など、他国との差別化を意識した開発が望ましいと考える。

【GNSS-RO】

- GNSS-RO データは、天気予報作成、気候モニタリング、電離層における宇宙天気研究に使用されるが、日本では受信センサを搭載した衛星は現時点で打上げられていない
- GNSS-RO センサ搭載衛星の特徴は、搭載センサ数、衛星機数において官民の間で大きな差があり、民間企業が有する衛星コンステレーションにより、全球における多数の GNSS-RO データが取得されている
- GNSS-RO データは天気予報の基となる数値天気予報モデルの作成において重要なデータとして使用されるものの、データ用途やユーザが限定的であり、また、WMO が定めるデータ流通に関する方針により、気象庁では無償でデータ入手が可能である。また、Spire 等他社が GNSS-RO データを活用して展開するような海事産業向けソリューションなどについても、数値天気モデルやその他データを基に類似ソリューションが展開可能である。
- 上記状況を考慮すると、現時点で GNSS-RO センサを搭載した衛星を保有している機関・企業が日本では存在しないことから、本分野の観測サービスを日本で立ち上げることは困難であり、本分野へのキャッチアップは優先度が低く、他分野への投資の方が望ましいと考える。

1) vLEO での搭載候補となる観測センサや衛星バス技術

A) 基本的な考え方

- vLEO (very Low Earth Orbit) では、多くの地球観測衛星が高度保持する 600~800km の軌道に比べ、大気が濃く、原子状酸素の密度が高く、重力の影響も大きい。この状況下では衛星は約 1,000 倍もの大気抵抗を受け、材料が劣化しやすく、安定飛行が困難である。また、軌道高度の低下により、地上局との通信時間が減少するため、データ伝送容量が減少する。
- 一方で、衛星高度が下がることにより、衛星打上げにかかるコストは軽減され、センサ、データ転送、地上分解能等仕様に必要なスペックを抑えながら高解像度画像を取得することができる。また、運用終了後には大気圏にすばやく突入し、デブリの発生を抑えることができる。
- このように、vLEO にて衛星を運用することには、様々なデメリットがあるものの、特にセンサ分解能などの点から大きなメリットがあり、各企業が vLEO での衛星運用に向け検討している。
- 国外では、2021 年 12 月に NOAA が、vLEO に光学衛星を打ち上げる予定を持つ Albedo Space Corp. に対し平面空間分解能 10cm の衛星画像の販売を許可し、その後、平面空間分解能 15cm の衛星を打ち上げる予定とされている EOI Space 社にも Earth Observant としてライセンスを付与した。なお、EOI Space 社は NTT データ社より 2.5% の出資をうけている。
- vLEO は地球に近い分、LEO に比べ重力を受けることになるが、EOI Space 社によれば、同社が独自に開発した電気推進技術により超低軌道上を安定的に運行可能としている。さらに、大気抵抗の影響を最小とするよう断面積を小さくし、オンボード処理も搭載され低レイテンシーも実現しているとのことである。
- 他方、国内では、JAXA が 2019 年に SLATS で「Lowest altitude by an Earth observation satellite in orbit」としてギネス世界記録に認定されたと発表している。こちらも長年培ってきたイオンエンジン技術や衛星の追跡管制技術など人工衛星の開発及び運用に関わる総合的な基盤技術をベースとして実現したとしている。
- 以上より、vLEO に関する論点としては、以下が想定される。
 - ◇ 重力や空気抵抗がある中、どのようなバス技術やスラスタで安定的な運行が可能か
 - ◇ 解像度が上がる分、衛星データの強みである広域性が若干下がる可能性があり、そのような状況の中、どのような用途が考えられるか
 - ◇ その用途からの要求を充足するにあたり、どのようなセンサやバス技術が必要になるか
- 本節においては、現時点で vLEO での運用が想定される衛星について、デスクトップ調査やヒアリングを実施し、併せて論文による技術的課題も整理したうえで、想定されるエンドユーザに対しヒアリングを行い、ニーズを把握する。そのうえで、具体のユースケースにおける強み・弱みの整理や、これまでの SLATS での成果も踏まえ、SLATS 以降の vLEO 衛星研究開発の方向性について検討する。

B) 衛星スペックの整理

- JAXA にて運用していた SLATS を含め、vLEO に打上げ予定または運用した衛星について、デスクトップ調査等により、スペックを整理した。
- 調査対象となる衛星は下図表のとおり。
- なお、日本では NEDO の 2023 年度 SBIR において、株式会社テクノソルバ及び株式会社三協製作所により「多数の VLEO 衛星からの高分解レーダ観測に適するレーダアンテナと薄型衛星構体」というテーマが選出されているが、それ以上の詳細な情報が出てこないため、本調査対象からは外すこととする。²⁴⁰

図表 100 調査対象衛星

No.	企業等名	衛星名	国名	打上げ時期
1	Albedo Space Corp	不明	アメリカ	2025 年
2	EOI space	Stingray	アメリカ	2024 年
3	MIT Lincoln Laboratory	AMS (Agile microsat)	アメリカ	2022 年 5 月
4	Skeyeon	The Skeyeon NEO™	アメリカ	不明
5	Aerospace	Disksat	アメリカ	2024 年
6	Thales Alenia Space QinetiQ Space	Skimsat	フランス ベルギー	不明
7	CASIC (China Aerospace Science and Industry Corporation Limited)	不明	中国	2023 年 12 月
8	ESA (European Space Agency)	GOCE (the Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer)	EU	2009 年 3 月～ 2013 年 10 月
9	JAXA	SLATS (Super Low Altitude Test Satellite)	日本	2017 年 12 月～ 2019 年 10 月
10	インターステラテクノロジズ	不明	日本	不明
11	The University of Manchester	SOAR (Satellite for Orbital Aerodynamics Research)	イギリス	2021 年 6 月～ 2022 年 3 月

²⁴⁰ <https://www.nedo.go.jp/content/100964252.pdf>

i. 衛星スペック調査結果概要

- vLEO においては、GOCE、SLATS 及び SOAR が運用されていたが、すべての衛星の運用は既に終了している。GOCE の目的が重力・磁場を測定すること、SOAR の目的が軌道上の空気力学研究、大気特性評価、姿勢制御操作であったことから、近年計画されているような光学センサ等による観測衛星としては JAXA の SLATS がその先駆けとなる。
- 現在、軌道上にある衛星は、2022 年 5 月に打上げられた MIT Lincoln Laboratory の AMS があり、自動操縦、画像撮影等の実証試験中であるが、実証結果についてはまだ公表されていない。また、2023 年には CASIC、2024 年には、EOIspace 社及び Aerospace 社、2025 年には Albedo 社がそれぞれ衛星を打ち上げ予定であり、海外スタートアップ企業の取組みが中心となっている。
- 各企業の用途・目的は、技術実証や、高解像度画像撮像、コンステレーション構築による Near-Real-Time などである。
- 搭載センサは光学センサが主であり、Albedo 社のみ熱赤外センサも搭載している。搭載センサが不明な衛星も多く、SAR などのレーダー搭載衛星の打上げが計画されているかどうかは不明である。
- 一方で、大気抵抗を抑えるための本体・バス部形状や、長期の飛行に向けたスラスタなどは、CUBESAT の採用や、ABEP 等のスラスタ開発など、各社により技術的対応に差がみられる。

図表 101 調査結果概要

No.	企業名	官民区分	衛星名	国名	打上げ時期	用途・目的	目標機数	センサペイロード	本体・バス	スラスタ
1	Albedo Space Corp	民	不明	アメリカ	2025 年	高解像度撮像、画像取得の低コスト化	1→24	光学 熱赤外	不明	不明
2	EOI space	民	Stingray	アメリカ	2024 年	解像度向上、コスト削減、デブリとの衝突リスクの低下、コンステレーションによる高解像度と Near Real-Time との両立	1→6→60	光学	大気抵抗を抑えるため小断面積、内部構成配置、材料等含んだ衛星構成で特許取得済み	特許取得済みの独自のホール効果型イオンエンジンスラスタ (EP 燃料と新燃料)
3	MIT Lincoln Laboratory	民	AMS	アメリカ	2022 年 5 月	技術実証 (自動操縦、迅速な撮像、追跡用レーザーポインティング)	1	光学 ビーコン	6U-XL	FEPP 型イオンエンジンスラスタ (インジウム燃料)
4	Skeyeon	民	The Skeyeon NEO™	アメリカ	不明	スケーラブルコンステレーションの基礎、高解像度撮像	不明 ※コンステレーション構築予定	光学	大気抵抗を抑えるため小断面積。耐 AO・低抵抗コーティング等特許取得済み。	不明
5	Aerospace	民	Disksat	アメリカ	2024 年	Cubesat の利点を活かした代替品開発	4 ※将来目標機数不明	不明 ※SAR については別途 JAXA と協議中	円盤型、大気抵抗が小さい	電気推進スラスタ ※詳細不明
6	Thales Alenia Space QinetiQ Space	民	Skimsat	フランス ベルギー	不明	費用対効果の高い高分解能撮像・画像処理	不明	不明	不明	電気推進スラスタ ※詳細不明
7	CASIC	官	不明	中国	2023 年 12 月	技術実証 (飛行、高分解能撮像、インテリジェント処理、データ転送)	1→192→300	不明	不明	不明
8	ESA	官	GOCE	EU	2009 年 3 月～ 2013 年 10 月	重力場・磁場測定	1	重力場、磁場、GPS 受信機等	完全な対称性、大気抵抗を抑えるため小断面積 (1.1m ²)	イオンエンジンスラスタ (キセノン燃料)
9	JAXA	官	SLATS	日本	2017 年 12 月～ 2019 年 10 月	技術実証 (大気密度データ取得、原子状酸素データ取得、高分解能撮像)	1	光学	耐 AO コーティング	イオンエンジンスラスタ (キセノン燃料)
10	インターステラテクノロジズ	民	不明	日本	不明	不明	不明	光学	不明	不明
11	University of Manchester	民	SOAR	イギリス	2021 年 6 月～ 2022 年 3 月	技術実証 (材料の空力性能評価、大気特性評価、軌道及び姿勢制御操作、材料)	1	フィン INMS (イオン及び中性質量分析計)	3U CubeSat	—

出所) デスクトップ調査等を基に DB 社作成

ii. Albedo Space Corp

- Albedo は 2020 年に設立された衛星製造企業である。2021 年 12 月に解像度 10cm の商用画像販売の許可を NOAA から獲得した。衛星を vLEO へ投入することで、高解像度画像の低価格化を目指している。また、長波赤外線画像も 2m 解像度で提供予定である²⁴¹²⁴²。入手しやすい価格の画像と高解像度画像で膨大な価値を産み出すことで市場を成長させることを目指している²⁴³。
- 2021 年 12 月、解像度 10cm の商用画像販売の許可を NOAA から獲得（これは、2021 年 7 月に発表された NOAA の新たな規制に基づくもの）し、可視光センサと熱赤外センサを搭載した衛星を計画している。
- 2023 年 12 月には、NRO（米国家偵察局）が新しいタイプの光学画像を求める戦略的商業強化プログラム（Strategic Commercial Enhancements Program）に選ばれた。第一段階ではセンサ及びコンステレーションレベルで能力評価がなされ、第二段階では、軌道上の能力を評価され、最終的にデータ調達の対象となる。²⁴⁴
- サービス利用は、API もしくはダッシュボードを通しての画像提供を想定している。数時間内でのデリバリーをかかげており、提供されるデータは Analysis Ready Data に留まっているため、分析はクライアント任せになっているものと考えられる。

図表 102 Albedo の計画する衛星

項目	内容
概要	<ul style="list-style-type: none"> • 米国のスタートアップ Albedo 社が計画する衛星 • 2025 年に 1 機目の衛星打上げを開始し、2027 年には 24 機のコンステレーションを構築予定²⁴⁵²⁴⁶
セクター	unknown
目的・ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> • 衛星を vLEO に投入することで画像取得の低コスト化を図ろうとしている。ただし、大気抵抗による姿勢・軌道制御の困難性、原子状酸素や大気による摩擦熱などで衛星が損傷を受けやすく寿命が短くなるなどの課題もある²⁴⁷
実施体制	<p>出資</p> <ul style="list-style-type: none"> • シードラウンド \$10m. (2021 年 4 月) • 投資家：Initialized Capital, Jetstream, Liquid2 Ventures and Soma Capital²⁴⁸ • シリーズ A ラウンド \$48m. (2022 年 9 月) • 投資家：Republic Capital, Giant Step Capital Partners, C16 Ventures, Initialized Capital, Liquid 2, SNR. ²⁴⁹ • シリーズ A-1 ラウンド \$35m. (2024 年 1 月) • 投資家：Standard Investments, Booz Allen Ventures, Cubit Capital and Bill Perkins. Existing investors contributing to the round include Breakthrough Energy Ventures, Shield Capital, Initialized Capital, Y Combinator, Giant Step Capital and Republic Capital. ²⁵⁰

²⁴¹ <https://spacenews.com/albedo-wins-license-to-sell-10-centimeter-imagery/>

²⁴² <https://spacenews.com/albedo-wins-air-force-contract-to-supply-thermal-imagery-at-night/>

²⁴³ Space News : <https://spacenews.com/introducing-albedo/>

²⁴⁴ <https://spacenews.com/nro-signs-agreements-with-five-commercial-suppliers-of-electro-optical-imagery/>

²⁴⁵ <https://albedo.com/>

²⁴⁶ <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/albedo-10cm/>

²⁴⁷ <https://spacenews.com/how-low-can-satellites-go-vleo-entrepreneurs-plan-to-find-out/>

²⁴⁸ <https://techcrunch.com/2021/04/22/satellite-imagery-startup-albedo-closes-10m-seed-round/>

²⁴⁹ <https://spacenews.com/albedo-series-a/>

²⁵⁰ <https://spacenews.com/albedo-raises-35-million-for-commercial-very-low-earth-orbit-constellation/>

	開発・製造	不明
	打上	不明
	地上局	不明
	運用	不明
	データ取扱	不明
	付加価値サービス例	<ul style="list-style-type: none"> 森林火災、ソーラーパネル配置の検査、野生生物の検出・監視、メタンとCO2排出マッピング等を提供予定 インフラ管理²⁵¹：電力線周辺の植生管理が山火事や停電防止のために重要となっており、10cm解像度の画像と熱センサは、Overstory²⁵²やLiveEO²⁵³のような画像とAIを使って山林やインフラ管理を自動化している企業にとって、モデル精度を大きく向上させることができる 廃熱管理²⁵⁴：可視画像と熱画像を比較すると、4本のタワーのうち2本だけが稼働していることがわかる。WattTime.org²⁵⁵のチームは、このヒートシグネチャを使用することで、最終的に世界中の主要な発電所の炭素排出量を正確に計算可能となる
主要ユーザ	不明	
スペック	<ul style="list-style-type: none"> サイズ：不明 軌道：vLEO 高度：不明 バス部：不明 スラスタ：不明 観測波長帯： <ul style="list-style-type: none"> 【可視光センサ】 パンクロマティック：400～700 nm Blue：450～510 nm Green：510～580 nm Red：630～690 nm NIR：770～895 nm 【熱赤外センサ】 7.5～13.5μm 観測幅： <ul style="list-style-type: none"> 【可視光センサ】 35km×7km 【熱赤外センサ】 35km×6km 空間分解能： <ul style="list-style-type: none"> 【可視光センサ】 パンクロ：10cm (Nadir)、12.4cm (30°Off Nadir) マルチスペクトル：40cm (Nadir)、49.7cm (30°Off Nadir) 【熱赤外センサ】 4.0m (Nadir)、5.0m (30°Off Nadir) 回帰日数（緯度<53°）： <ul style="list-style-type: none"> 1衛星あたり：15日 (Nadir)、5日 (30°Off Nadir) コンステレーション：1.5回/日 (Nadir)、5回/日 (30°Off Nadir) その他： <ul style="list-style-type: none"> NIIRS (National Image Interpretability Rating Scale)：画像の質を評価するために使用される米国の主観的尺度で、0 (最低品質) から 9 (最高品質) までの 10 のレベルで評価する。さまざまな画像システムから取得した画像の評価に使用される。 	

²⁵¹ <https://www.linkedin.com/company/albedo-space/posts/?feedView=all>

²⁵² <https://www.overstory.com/>

²⁵³ <https://live-eo.com/>

²⁵⁴ <https://www.linkedin.com/company/albedo-space/posts/?feedView=al>

²⁵⁵ <https://www.watttime.org/>

- 【可視光センサ】 7.1 (Nadir) 、 6.8 (30°Off Nadir)
- 【熱赤外センサ】 3.5 (Nadir) 、 3.2 (30°Off Nadir)
- 通信リンク：不明

図表 103 Albedo の計画する衛星イメージ²⁵⁶



図表 104 空間分解能 10cm の画像イメージ²⁵⁷



²⁵⁶ <https://albedo.com/press>

²⁵⁷ <https://spacenews.com/albedo-series-a/>

iii. EOI Space / Stingray

- EOI Space 社は 2017 年に設立された企業である。
- EOI Space 社も Earth Observant として NOAA からライセンスを付与されており、平面空間分解能 15cm の衛星 (Stingray) を打ち上げる予定とされている。
- 2022 年 8 月に NTT データ社は EOI Space 社の 2.5% の株式を取得しており、2022 年 11 月には、衛星画像販売に関する代理店契約を締結し、日本国内における独占販売権を獲得した。

258

図表 105 Stingray

項目		内容
概要		<ul style="list-style-type: none"> • 米国のスタートアップ EOI Space 社が計画する衛星。 • 2024 年第一四半期に 1 機目の衛星打上げを開始し、12 カ月以内に 6 機のコンステレーションを形成。²⁵⁹最終的には 60 機のコンステレーションとなる。²⁶⁰
セクター		commercial
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • 衛星を vLEO に投入することで、データ解像度の劇的向上、衛星製造・打上げコストの削減、スペースデブリとの衝突リスクの低下を図ろうとしている²⁶¹ • 衛星コンステレーションを活用して、高解像度と Near Real-Time を両立しつつ、安価な衛星画像や、顧客に対して占有衛星を提供可能
実施体制	出資	<ul style="list-style-type: none"> • 株式の 2.5% (2022 年 8 月) • 投資家：NTT データ※シリーズ A ラウンド
	開発・製造	不明
	打上	SpaceX Falcon 9 (ライドシェアプログラム) ²⁶²
	地上局	不明
	運用	不明
	データ取扱	<ul style="list-style-type: none"> • 処理：衛星搭載のスーパーコンピューターにより、ダウンリンク前に画像処理を実施²⁶³ • 蓄積・配布：不明
	付加価値サービス例	<ul style="list-style-type: none"> • オンボードのエッジコンピューティングにより、レイテンシーの大幅改善と AI 生成分析²⁶⁴
	主要ユーザ	<ul style="list-style-type: none"> • 行政、各種企業

²⁵⁸ https://www.nttdata.com/jp/ja/news/services_info/2022/112500/

²⁵⁹ <https://eoi.space/ntt-data-joins-eoi-spaces-global-alliance-program/>

²⁶⁰ <https://eoi.space/eoi-space-signs-multi-launch-extension-with-spacex/>

²⁶¹ <https://eoi.space/#technology>

²⁶² <https://eoi.space/eoi-space-signs-multi-launch-extension-with-spacex/>

²⁶³ <https://eoi.space/#technology>

²⁶⁴ <https://eoi.space/#technology>

<p>スペック 265266267</p>	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ²⁶⁸：幅：2m（本体（バス）部） 最大幅：4m（ソーラーパネル展開） （大気抵抗を最小限に抑えるために断面積を小さくしている。） 重量：330kg • 軌道：vLEO • 高度：不明 • バス部²⁶⁹：衛星の構成について特許取得済み。形状、内部構成物の配置、材料選択等について最適化することで、衛星寿命を延ばしている。 • スラスタ部²⁷⁰²⁷¹：大気抵抗を相殺可能とする独自のイオンエンジンスラスタ（HET-X）。 従来の EP 燃料と、低コスト・非毒性・汎用可能な新しく非公開の推進剤を使用。特許取得済み。 重量：2kg 未満 持続電力入力レベル：350～2,500W スラスタ出力：20～140mN 比推力：1,300～2,200ISP • オンボード処理：地上処理施設における画像配信遅延を避けるため、エッジコンピューティング手法を用いてオンボード処理を行う。 • 観測波長帯： 【可視光センサ】 パングロマトミック：450～800nm Blue：450～520 nm Green：520～600 nm Red：630～690 nm NIR：760～900nm • 観測幅： 【可視光センサ】5km×50km • 空間分解能： 【可視光センサ】（すべての波長帯） 15cm（Nadir）、18cm（30°Off Nadir）、54cm（70°Off Nadir） • 回帰日数： 1 衛星あたり：1.5 日 コンステレーション：45 分（Nadir）、20 分（30°Off Nadir）、8 分（70°Off Nadir） • 通信リンク： ダウンリンク帯域：Ka バンド（26.5～40GHz）
---------------------------	---

²⁶⁵ <https://eoi.space/ntt-data-joins-eoi-spaces-global-alliance-program/>

²⁶⁶ <https://eoi.space/#technology>

²⁶⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/stingray#mission-capabilities>

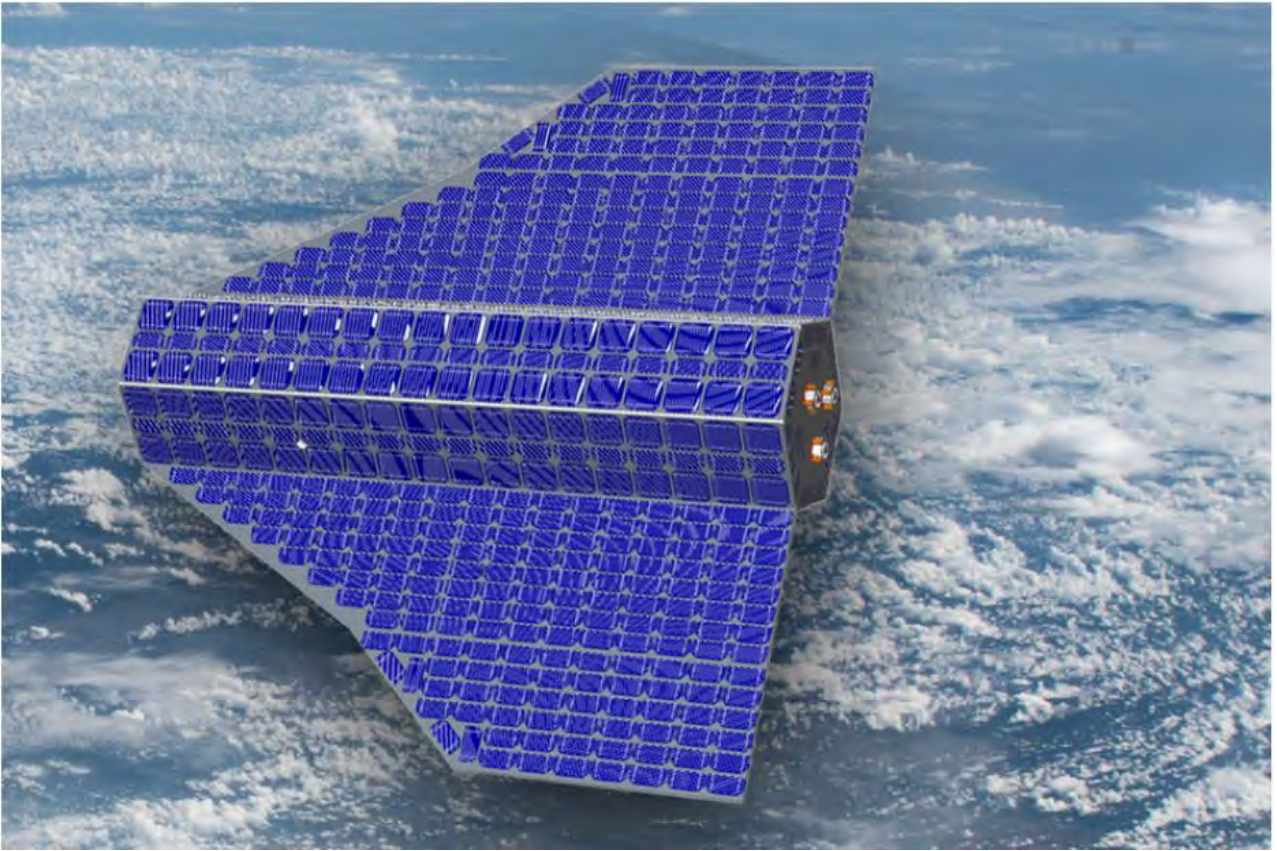
²⁶⁸ <https://www.forbes.com/sites/ericteglar/2022/12/14/satellite-imagery-startup-eoi-space-has-crossed-the-valley-of-death-by-flying-low/?sh=686d8b244beb>

²⁶⁹ <https://eoi.space/technology-patents/>

²⁷⁰ <https://eoi.space/technology-patents/>

²⁷¹ <https://eoi.space/propulsion/>

図表 106 Stingray イメージ図²⁷²



²⁷² <https://spacenews.com/eoi-space-forges-equity-and-sales-pact-with-japans-ntt-data/>

iv. MIT Lincoln Laboratory / Agile MicroSat

- MIT Lincoln Laboratory は、1951 年にマサチューセッツ工科大学がアメリカ国防総省のために管理する連邦資金による R&D センターとして設立された。
- 国家安全保障のニーズを満足するため、幅広い高度な技術を研究開発している。
- AMS は 2022 年 5 月にすでに打ち上げられており、現在、実証実験中。但し、その成果等については、現状公開されていない。

図表 107 Agile microsat

項目		内容
概要		<ul style="list-style-type: none"> • 米国の MIT Lincoln Laboratory が開発した超小型衛星。
セクター		不明
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • vLEO における自動操縦による長時間飛行、災害対応等の迅速な画像撮影、高速移動するターゲット追跡のための補償光学機能（レーザーポインティング）の実証。²⁷³
実施体制	出資 ²⁷⁴	米空軍
	開発・製造 ²⁷⁵	<ul style="list-style-type: none"> • バス部：Blue Canyon Technologies • スラスタ部：Enpulsion GmbH
	打上	SpaceX Transporter 5 (2022 年 5 月 25 日) ²⁷⁶
	地上局	不明
	運用 ²⁷⁷	Blue canyon のミッションオペレートセンター
	データ取扱	不明
	付加価値サービス例 ²⁷⁸	<ul style="list-style-type: none"> • 災害時のオンデマンド撮影 • 正確なレーザーポインティングによる通信やスペースデブリの追跡
	主要ユーザ	不明
スペック ^{279,280}		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：6U (23×11×36 cm)、12kg 未満 • 軌道：vLEO • 高度：不明 • バス部：6U-XL バス • スラスタ部：イオンエンジンスラスタ (Enpulsion NANO AR3)²⁸¹ 動的推力範囲：10～350μN 公称推力：350μN 比推力：2,000～6,000ISP 推進剤質量：0.22kg

²⁷³ <https://www.ll.mit.edu/news/tiny-satellite-tests-autonomy-space>

²⁷⁴ <https://www.businesswire.com/news/home/20191011005017/en/Blue-Canyon-Technologies-Selected-for-MIT-Lincoln-Laboratory-Agile-MicroSatellite-Mission>

²⁷⁵ <https://news.mit.edu/2022/agile-microsat-tests-autonomy-space-1209>

²⁷⁶ <https://spacenews.com/blue-canyon-looks-to-demonstrate-small-satellite-performance-at-very-low-altitude/>

²⁷⁷ <https://spacenews.com/blue-canyon-looks-to-demonstrate-small-satellite-performance-at-very-low-altitude/>

²⁷⁸ <https://www.ll.mit.edu/news/tiny-satellite-tests-autonomy-space>

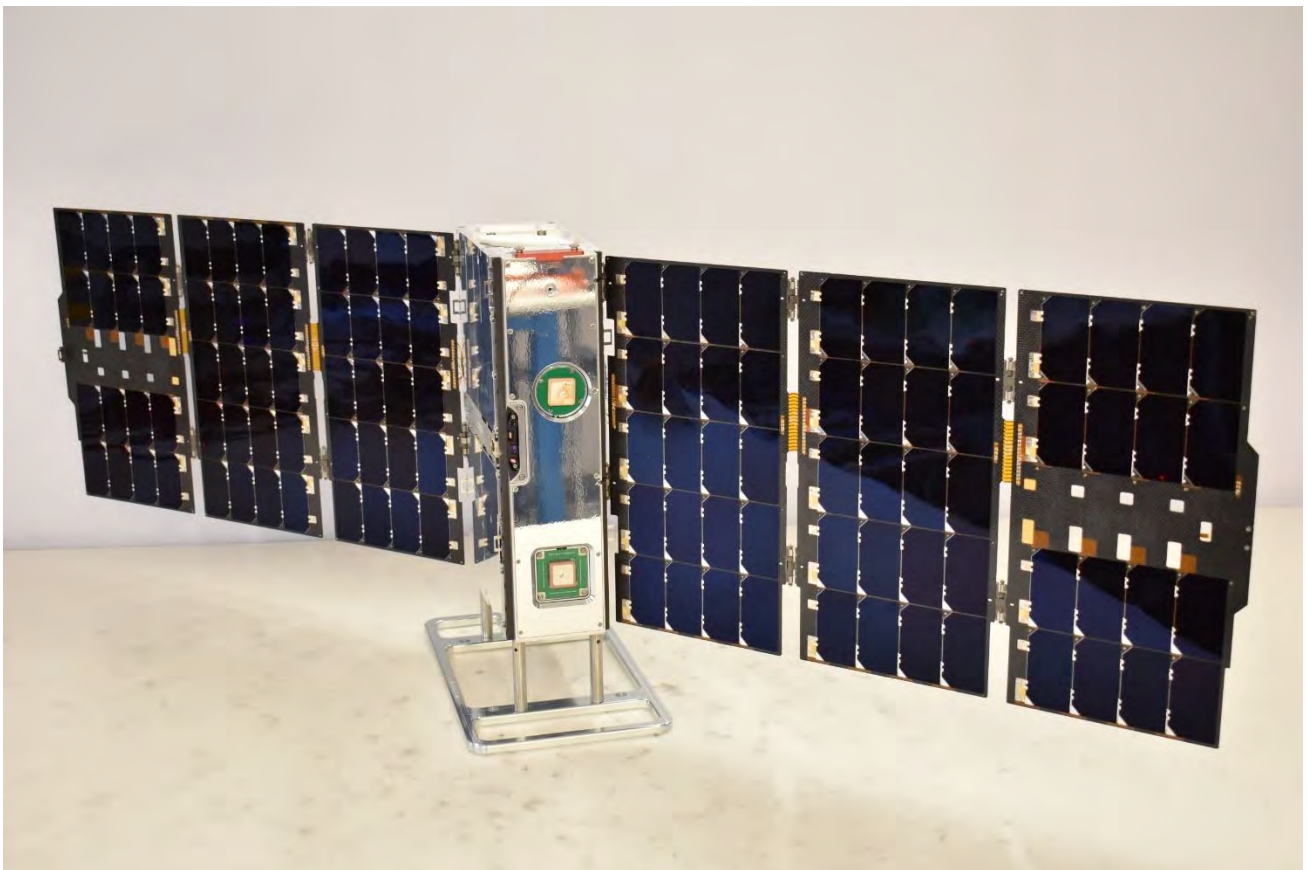
²⁷⁹ <https://www.ll.mit.edu/news/tiny-satellite-tests-autonomy-space>

²⁸⁰ <https://news.mit.edu/2022/agile-microsat-tests-autonomy-space-1209>

²⁸¹ <https://www.enpulsion.com/order/nano-ar3/>

	<p> 全力積：5,000Ns 以上 システム総電力：8-40W 外形寸法：98.0×99.0×95.3mm 乾燥重量：1.23kg 待機電力：3.5W 供給電圧：12V 又は 28V </p> <ul style="list-style-type: none"> • ソフトウェア：the Bus Hosted Onboard Software Suite と呼ばれる実験用ソフトウェア。²⁸² 地上局からの指示を踏まえ、GPS 受信機からの測定値を基に、スラスタを自動操縦し軌道変更。 • オンボード処理：不明 • 機器 <ul style="list-style-type: none"> ➢ カメラ：3D+RGB カラーカメラ (Schneider 社製レンズ) ➢ ビーコン • 観測波長帯：不明 • 観測幅：不明 • 空間分解能：不明 • 回帰日数：不明 • 通信リンク：不明
--	---

図表 108 AMS²⁸³



²⁸² https://engineer.fabcross.jp/archeive/230127_agile-microsat.html

²⁸³ <https://www.ll.mit.edu/news/tiny-satellite-tests-autonomy-space>

v. Skeyeon / Skeyeon NEO

- Skeyeon は、2016 年に設立されたアメリカのスタートアップ企業。²⁸⁴
- Skeyeon Near Earth Orbit (Near Earth Orbiter = 高度 250km) という衛星を計画。打上げ等詳細は未定。
- 衛星システム、AO 耐性・低抵抗コーティング・材料、リモートセンシングデータ生成システム、無線周波数データダウンリンクについて特許を取得済み。²⁸⁵

図表 109 Skeyeon NEO

項目		内容
概要		<ul style="list-style-type: none"> • 米国の Skeyeon 社が計画中の衛星。 • 以下の 4 つの技術を用いて計画は達成される。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 同心折りレンズ望遠鏡：空間分解能 1m を確保しながら、同等性能を有する他の望遠鏡に比べ、体積は 1/25、コストは 1/50~1/10。 ➢ 材料：断面を小さくすることで大気抵抗力を大幅に削減。また、特許取得済みの抵抗力及び耐原子酸素性の自己修復材料。 ➢ フェーズドアレイ高帯域リンク：既存の携帯電話用タワーインフラを活用してリアルタイムのダウンロードを促進し、低レイテンシーの画像配信を実現。 ➢ 低コストのプラットフォームとスケーラブルコンステレーション：低コストなため、再訪問とカバーを満足。衛星重量を減らす、打上げコストを劇的に最小化。 • 寿命が尽きると数週間以内に軌道から外れて燃え尽き、スペースデブリを残さないため、潜在的な衝突リスクを最小限に抑える。
セクター		不明
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • スケーラブルコンステレーションの基礎として機能する、薄型で費用対効果の高い衛星。低地圏の地球監視と高価値の画像データベース開発が可能な 1m 解像度の画像提供。²⁸⁶
実施体制	出資	不明
	開発・製造	不明
	打上	不明
	地上局	不明
	運用	不明
	データ取扱	クラウドベースにて画像を管理。
	付加価値サービス例 ²⁸⁷	<ul style="list-style-type: none"> • 商用ビジネスモデル：画像のリアルタイム表示。他の衛星画像、リアルタイムドローン、地上車両データとの組み合わせ。クラウドベースにて画像を管理し、タイムラプス等の経時的な進行状況を評価する機能を提示。再保険、市民保護、防衛、商品モニタリング、金融市場マッピング、インフラ計画、農業モニタリング、環境モニタリング、災害反応。 • 消費者ビジネスモデル：SNS が Skeyeon の画像レポジトリへのサブスクベースでのアクセス提供することを期待。
主要ユーザ	不明	
スペック		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：不明

²⁸⁴ <https://pitchbook.com/profiles/company/266137-30#overview>

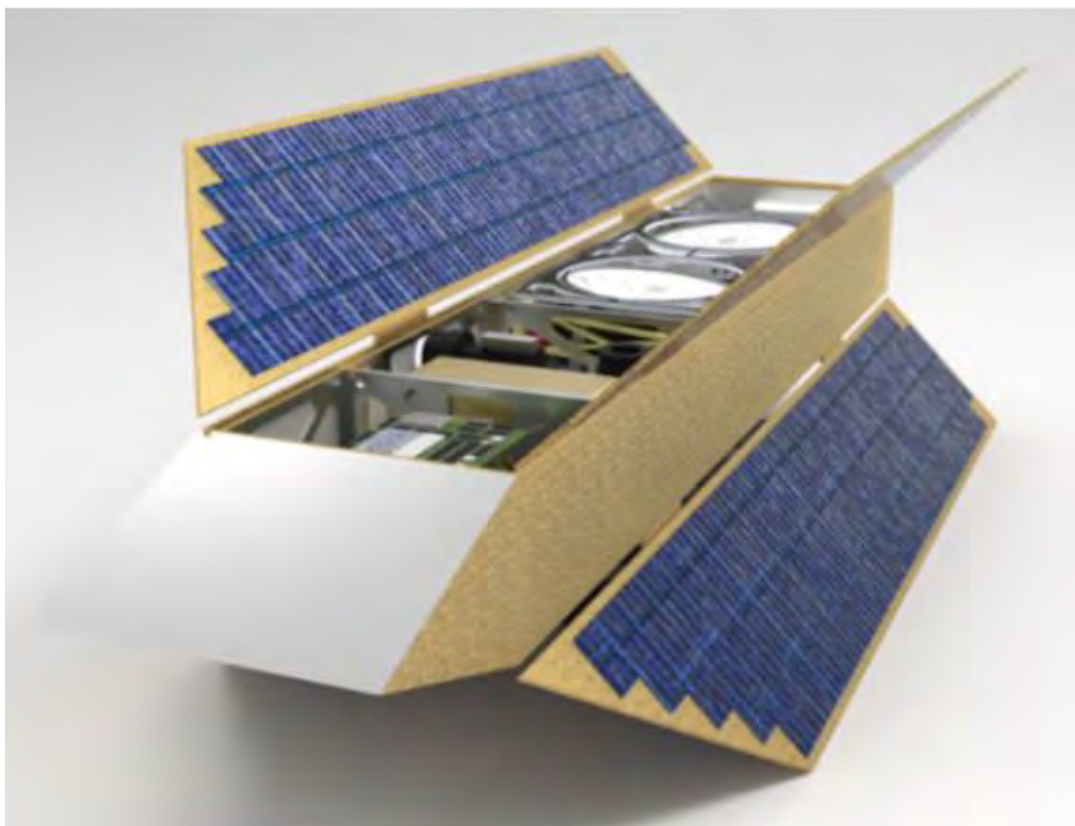
²⁸⁵ <https://skeyeon.com/patents/>

²⁸⁶ <https://skeyeon.com/technology/>

²⁸⁷ <https://skeyeon.com/go-to-market/>

- 軌道：vLEO
- 高度：不明
- バス部：不明
- スラスタ部：不明
- オンボード処理：不明
- 観測波長帯：不明
- 観測幅：不明
- 空間分解能：1.0m²⁸⁸
- 回帰日数：不明
- 通信リンク：フェーズドアレイ高帯域リンク。商用衛星や 5G 通信で主流になりつつあるフェーズドアレイベースの通信リンクを用いることで、リアルタイムのダウンロードを促進し、低レイテンシーの画像配信を実現する。

図表 110 The Skeyeon Near Earth Orbit イメージ図²⁸⁹



²⁸⁸ <https://skeyeon.com/technology/>

²⁸⁹ <https://skeyeon.com/>

vi. Aerospace Corporation / Diksat

- Aerospace社は米国政府より資金提供を受けて研究開発を運営する1960年設立の国の非営利法人。
- NASAのSmall Spacecraft Technology ProgramがDiksatの設計及び開発に対して資金提供しており、2024年には4機のDiksatコンステレーションを打上げる。
- なお、JAXAにて開発した小型SARシステムは、DiskSatとの適合性が高く、Aerospace社とDiskSat SARシステムの共同プロジェクト化について協議中。²⁹⁰

図表 111 Diksat

項目	内容	
概要 ²⁹¹	<ul style="list-style-type: none"> • Cubesatの代替アプローチとして検討されている円形・板状型の小型衛星。Cubesat同様に標準化されたインターフェース、低コストの打上げ、シンプルな設計だけでなく、Cubesatでは不可能であった高出力・大口径も可能。 • 打上げロケットに合わせて寸法の拡大・縮小が可能。 • ペイロードとバスとが標準インターフェース全体で分離されるため、ペイロードの容量の制約が無くなる。 • 1基の小型打上げロケットの中に、20個以上のDiksatを格納可能。 • Diksatの広い表面積は、複数の無線周波数や高ゲインアンテナを必要とする、シグナリングを伴うミッションに役に立つ。 • Diksatが利用可能な高出力により、正確な軌道維持のために継続的な推力を必要とするミッション、大規模な軌道の上昇・下降を必要とするミッション、地球軌道から月軌道まで自力で推進する能力を必要とするミッションなどが向いている。 	
セクター	不明	
目的・ビジネスモデル ²⁹⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Cubesatの主要な制限を克服しながら、そのプラットフォームの利点を維持するCubesat標準から進化した代替品の開発 	
実施体制	出資 ²⁹⁵	NASA (Small Spacecraft Technology Program)
	開発・製造	Aerospace社
	打上 ²⁹⁶	<ul style="list-style-type: none"> • 打上げ機等は不明 • 打上げコストは3U CubeSatと同程度 • 2024年には基本性能・打上げメカニズム実証のため4機のコンステレーションを打上げ予定
	地上局	不明
	運用	不明
	データ取扱	不明

²⁹⁰ https://aerospacebiz.jaxa.jp/jaxa-smash/cubesatlv2023/pdf/4-2_%E6%97%A9%E7%A8%B2%E7%94%B0_%E6%96%8E%E8%97%A4_%E3%82%A2%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%82%A4%E3%83%96.pdf

²⁹¹ <https://aerospace.org/article/aerospace-redefining-future-small-satellites>

²⁹² https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small_spacecraft/diksat/#:~:text=DiskSat%20is%20a%20plate-shaped%20satellite%2040%20inches%20in,expand%20upon%20target%20mission%20objectives%20for%20small%20spacecraft.

²⁹³ https://aerospace.org/sites/default/files/2022-08/DiskSat_0822.pdf

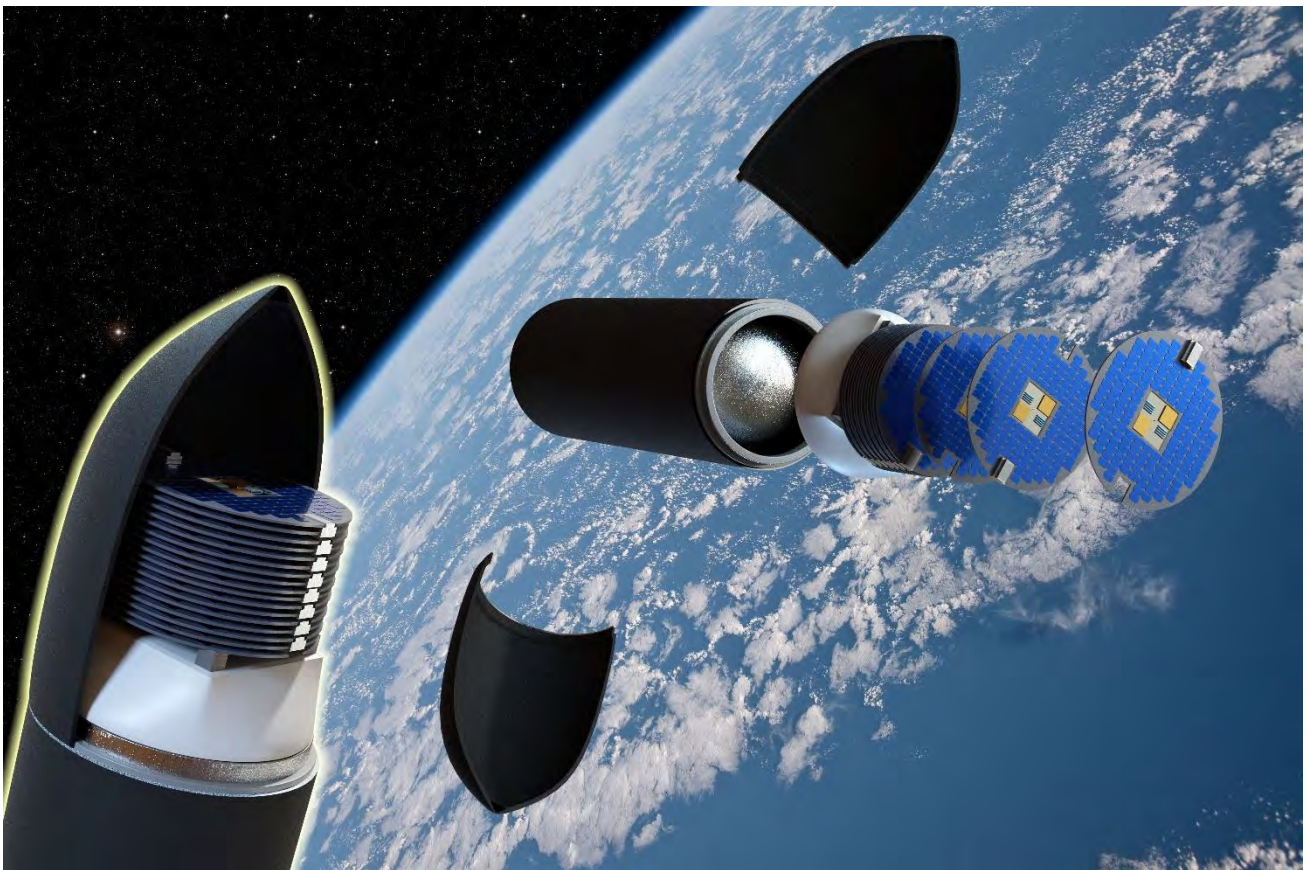
²⁹⁴ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small_spacecraft/diksat/#:~:text=DiskSat%20is%20a%20plate-shaped%20satellite%2040%20inches%20in,expand%20upon%20target%20mission%20objectives%20for%20small%20spacecraft.

²⁹⁵ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small_spacecraft/diksat/

²⁹⁶ <https://aerospace.org/article/aerospace-redefining-future-small-satellites>

	付加価値サービス例	不明
	主要ユーザ	不明
スペック ^{297,298}	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：直径 1m、厚さ 2.5cm、板状の形状のため抗力が非常に低く抑えることが可能 • 軌道：vLEO も可能 • 高度：不明 • バス部：不明 • スラスタ部：電気推進スラスタ※詳細不明 • オンボード処理：不明 • 観測波長帯：不明 • 観測幅：不明 • 空間分解能：不明 • 回帰日数：不明 • 通信リンク：不明 	

図表 112 Disksat イメージ図²⁹⁹



²⁹⁷ https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/small_spacecraft/disksat/#:~:text=DiskSat%20is%20a%20plate-shaped%20satellite%204%20inches%20in,expand%20upon%20target%20mission%20objectives%20for%20small%20spacecraft.

²⁹⁸ https://aerospace.org/sites/default/files/2022-08/DiskSat_0822.pdf

²⁹⁹ <https://aerospace.org/article/aerospace-redefining-future-small-satellites>

vii. Thales Alenia Space / Skimsat

- Thales Alenia Space 社は、2007 年に Thales group がフランスの Alcatel Alenia Space 社を買い取り、残りの出資者である Leonardo S.p.A. 社との合併で誕生した、ヨーロッパ最大の人工衛星開発企業である。
- 2016 年の論文³⁰⁰では、vLEO 用に設計した小型衛星 Skimsats に関して「衛星の高度を 650km から 160km に下げること、レーダー無線周波数出力が 1/64、通信無線周波数出力が 1/16、光学開口径が 1/4 で、同様の性能を達成できる」と説明している。
- 2022 年 7 月には、イギリスの QinetiQ 社と一緒に、vLEO で運用する小型多目的衛星 (Skimsat) の設計を進めるための契約を ESA と締結。ESA の Discovery Preparation and Technology Development (DPTD)活動の一環として、vLEO における空気抵抗を補うために高効率の電気推進を使用する実証機のための 80 万€を含む、230 万€の資金提供を受けた。³⁰¹³⁰²

図表 113 Skimsat

項目		内容
概要		• フランスの Thales Alenia Space 社とイギリスの QinetiQ 社が計画する vLEO 用衛星
セクター		Commercial
目的・ビジネスモデル		• 空気抵抗を避ける高高度の従来の運用方法に挑戦し、より費用対効果の高い衛星を通じて、高解像度画像処理の新たなビジネスモデルを創出する ³⁰³
実施体制	出資	ESA €2.3m (2022 年 7 月)
	開発・製造	Thales Alenia Space 社、QinetiQ 社
	打上	不明
	地上局	不明
	運用	不明
	データ取扱	不明
	付加価値サービス例	高解像度画像処理
	主要ユーザ	不明
スペック		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：不明 • 軌道：vLEO • 高度：不明 • バス部：モジュール化

³⁰⁰ https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-34024-1_1

³⁰¹ <https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/thales-alenia-space-and-qinetiq-pave-way-small-multimission-satellites-very-low>

³⁰² <https://spacenews.com/esa-funds-skimsat-demonstrator-study-for-vleo/>

³⁰³ <https://spacenews.com/esa-funds-skimsat-demonstrator-study-for-vleo/>

- スラスタ部：高効率電気推進スラスタ※詳細不明
- 観測波長帯：不明
- 観測幅：不明
- 空間分解能：不明
- 回帰日数：不明
- 通信リンク：不明

図表 114 Skimsat イメージ³⁰⁴



³⁰⁴ <https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/thales-alenia-space-and-qinetiq-pave-way-small-multimission-satellites-very-low>

viii. CASIC (China Aerospace Science and Industry Corporation)

- CASIC (中国航天科工集団) は、1956年に国防部の一組織として設立され、2001年に現名称となった国有企業。世界の防衛企業トップ100に含まれ、中国の航空宇宙産業の主力である。
- 中国では、現在、vLEOにおける衛星コンステレーションの建設に向け、2023年12月に最初の打上げを予定しており、そのミッションは、vLEO軌道飛行、高解像度画像、インテリジェント処理、データ転送等の主要技術の実証と検証である。³⁰⁵
- 2027年までに192機の衛星コンステレーションを構築し、その後、2030年までに300機に拡大予定である。³⁰⁶
- 打上げ頻度等その他各種詳細は不明。

³⁰⁵ <https://news.cgtn.com/news/2023-03-03/China-gears-up-to-build-very-low-Earth-orbit-satellites-constellation-1hRNvJU2Qpi/index.html>

³⁰⁶ <https://spacenews.com/chinas-casic-to-begin-launching-vleo-satellites-in-december/>

ix. ESA (European Space Agency) / GOCE

- 地球の静止重力場を決定することを目的として、ESA は GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) を 2009 年 3 月に打上げ、2013 年 10 月まで運用した。
- 重力場測定のため、非常に低い軌道 (~260km) が必要であった。

図表 115 GOCE³⁰⁷³⁰⁸

項目		内容
概要		<ul style="list-style-type: none"> 重力・磁場を測定するため ESA が計画した衛星。可能な限り強い重力場信号を観測するため可能な限り低い飛行が求められた。
セクター		Civil / Other
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> 静的な地球の重力場とジオイド (地球の重力場ポテンシャルの等電位面) のモデル作成のため高い分解能と高精度測定値を取得するための地球観測衛星。
実施体制	出資	ESA
	開発・製 309310	<ul style="list-style-type: none"> Thales Alenia Space 社 バス部: Astrium Satellites SAS スラスタ部: QinetiQ 社 製造コスト: 31,070 万\$
	打上 311312	<ul style="list-style-type: none"> 2009 年 3 月 Rokot-KM 打上げコスト: 3,300 万\$
	地上局 313	<ul style="list-style-type: none"> キルナ地上局 (スウェーデン)、スヴァールバル諸島地上局 軌道が低いため通信可能時間が短い。通常 5 分間、1 日あたりの平均値は約 26 分
	運用	ESA
	データ取扱	<ul style="list-style-type: none"> 処理: オンボードコンピューターおよび地上局³¹⁴ 蓄積・配布: 不明
	付加価値サービス例	<ul style="list-style-type: none"> 豊富な調査データは、測地学、地球物理学、測量、海洋循環、海洋学、海面、氷の動向、地球の内部理解のため利用されている。
	主要ユーザ	研究機関
スペック ³¹⁵		<ul style="list-style-type: none"> サイズ: 長さ 5.3m、断面積 1.1m² の細長い八角形、1,050kg (ペイロード含む) 飛行方向に沿った抗力を低減させ、外乱を最小限に抑えるため完全な対象性を備えた形状 軌道: 疑似太陽同期軌道 (near-sunsynchronous orbit) ³¹⁶ 高度: 当初 250~270km→最終的には 224km 構造体: カーボンファイバー、強化プラスチック構造コンパートメント バス部: 不明

³⁰⁷ https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/GOCE

³⁰⁸ <https://earth.esa.int/eogateway/missions/goce>

³⁰⁹ Seradata 社 SpaceTrak より

³¹⁰ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/goce#ipa-ion-propulsion-assembly>

³¹¹ Seradata 社 SpaceTrak より

³¹² https://space.skyrocket.de/doc_lau_det/rokot-km.htm

³¹³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/goce#gocegrace-gravity-recovery-and-climate-experiment-mission-comparison>

³¹⁴ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/goce#gocegrace-gravity-recovery-and-climate-experiment-mission-comparison>

³¹⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/goce#performance-specifications>

³¹⁶ https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/ESA_launches_Earth_Explorer_mission_GOCE

- スラスタ部：キセノン燃料による最大 20mN まで調整可能なイオン推進エンジン。
衛星の軌道が受ける抗力をリアルタイムにて補正する
空気抵抗を連続的に打ち消すことができるドラッグフリーモードという状態が可能。
- 機器
EGG：地球の重力場を測定する静電重力グラジオメーター
SSTI：衛星間追跡機器である GPS 受信機
LRR：レーザーレトロリフレクター
- 観測波長帯：不明
- 観測幅：不明
- 空間分解能：20-20000km（用途により異なる）
- 回帰日数：61 日
- 通信リンク：Sband
アップリンク：4kbit/s、ダウンリンク：最大 1.2Mbit/s

図表 116 GOCE イメージ³¹⁷



³¹⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/goce#eop-quick-facts-section>

x. JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) / SLATS

- 超低高度軌道における地球観測衛星運用を目的として、JAXA は SLATS (Super Low Altitude Test Satellite)を 2017 年 12 月に打上げ、2019 年 10 月まで運用した。
- SLATS は高度 271.5km にて軌道を保持した後、段階的に軌道高度を下げ、最終的に 167.4km にて 7 日間の軌道保持を行い、ギネス世界記録として認定された。
- SLATS の実績は「世界初イオンエンジンを用いた超低高度からの光学画像観測運用」や「世界初超低高度での長期間の原子状酸素データ取得」など、他国に先行するものである。
- SLATS の実証以降では、官民連携による vLEO 衛星コンステレーションの構築などを検討しており、J-SPARC において、AxcelSpace 社と、SLATS で獲得した衛星技術を活用した vLEO での光学リモートセンシング事業モデルの構築を目指している。³¹⁸

図表 117 SLATS

項目		内容
概要 ³¹⁹		<ul style="list-style-type: none"> • 将来的な超低高度軌道における衛星運用に向けた研究のための衛星
セクター		Civil/Other
目的・ビジネスモデル ³²⁰		<ul style="list-style-type: none"> • 超低高度衛星技術の実証 • 大気密度に関するデータの取得 • 原子状酸素に関するデータの取得 • 小型高分解能光学センサによる高分解能撮像
実施体制	出資	JAXA
	開発・製造 ³²¹	<ul style="list-style-type: none"> • 製造・バス部：三菱電機 • 総開発費：約 34 億円
	打上	<ul style="list-style-type: none"> • 2017 年 12 月 23 日 • H-IIA ロケット 37 号機（「しきさい (GCOM-C)」との相乗り打上げ）
	地上局	JAXA
	運用	JAXA
	データ取扱	処理：JAXA
	付加価値サービス例	特になし（技術実証のため）
	主要ユーザ	JAXA（実証用）
スペック ³²² ³²³		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：2.5m×5.2m×0.9m、383kg • 軌道：太陽同期軌道 • 高度：271.5km、250km、240km、230km、216.8km、181.1km、167.4km • バス部：耐 AO コーティング

³¹⁸ <https://aerospacebiz.jaxa.jp/solution/j-sparc/projects/axel2/>

³¹⁹ <https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/slats/>

³²⁰ https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2013/09/06/1338400_8.pdf

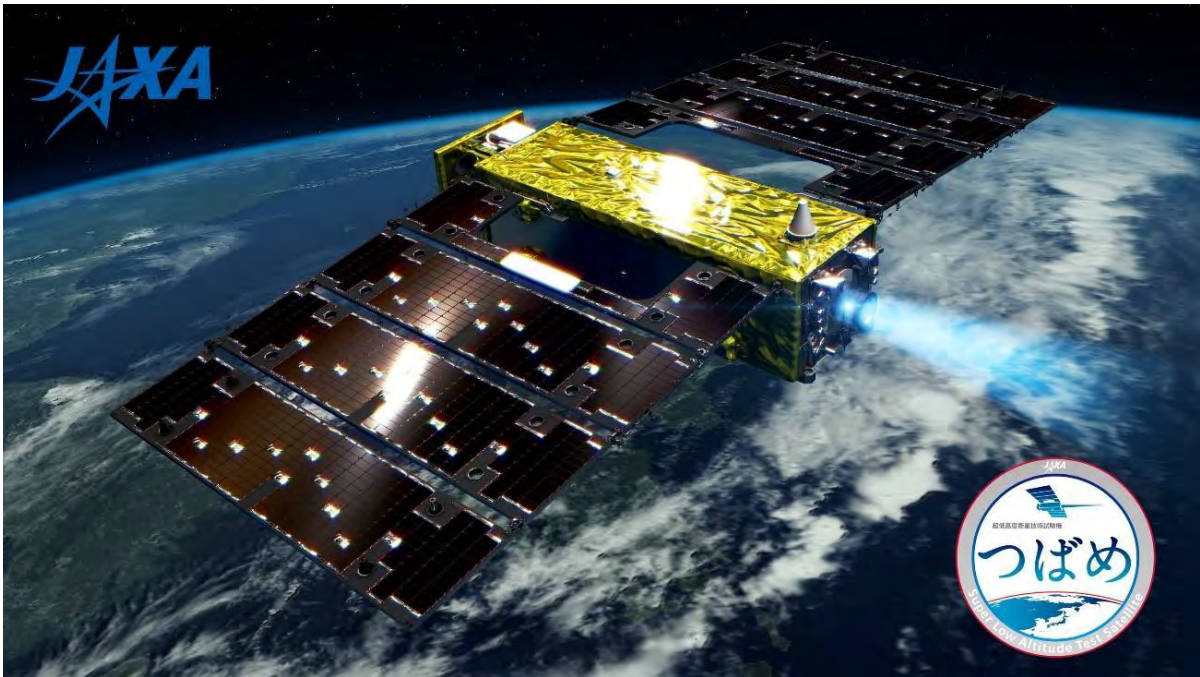
³²¹ https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2013/09/06/1338400_8.pdf

³²² <https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/slats/>

³²³ https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/wp-content/uploads/sites/3/2018/10/slats-ws_20180918_2-1.pdf

- スラスタ部：イオンエンジンスラスタ、キセノン燃料、～200ISP
- 機器：
原子状酸素（AO）モニタシステム：AO 計測センサ、材料劣化モニタ、
小型高分解能光学センサ：カセグレン望遠鏡+補正レンズ
- 観測波長帯：0.48 μ m～0.7 μ m
- 観測幅：2km
- 空間分解能：1.0m 以下
- 回帰日数：不明
- 通信リンク：不明

図表 118 SLATS イメージ³²⁴



図表 119 Axelspace 社との光学リモートセンシング事業³²⁵



³²⁴ https://www.jaxa.jp/press/2019/12/20191224a_j.html

³²⁵ <https://aerospacebiz.jaxa.jp/solution/j-sparc/projects/axel2/>

xi. インターステラテクノロジズ/不明

- 2023年8月1日付で吸収合併³²⁶した、インターステラテクノロジズの100%子会社であるOur Stars社にて実施していた衛星サービスの1つとして、vLEO衛星が開発されていた。
- 国内宇宙機関で開発された高分解能の超低高度衛星の技術実用化を目指すとされる。
- 衛星の詳細については不明。

図表 120 Axelspace 社との光学リモートセンシング事業³²⁷



³²⁶ <https://www.istellartech.com/news/others/8215>

³²⁷ <https://www.istellartech.com/satellite/ourstars>

xii. University of Manchester / SOAR (Satellite for Orbital Aerodynamics Research)

- SOAR ミッションは、EU の研究およびイノベーション資金提供プログラムである Horizon2020 の資金提供を受けた DISCOVERER プロジェクトの一環であり、マンチェスター大学が主導した。³²⁸
- 技術実証を目的とした衛星であり、2021 年 6 月 3 日に打上げられ、8 月 5 日より運用開始、2022 年 3 月 14 日にミッション完了した。

図表 121 SOAR

項目	内容	
概要 ³²⁹	<ul style="list-style-type: none"> • マンチェスター大学が実施する、DISCOVERER プロジェクトの一環であり、空気力学に関する研究を行うための衛星で 2021 年に打ち上げられた。 • その実験結果はマンチェスター大学の ROAR (Rarefied Orbital Aerodynamics Research) 施設にて実施される実験にデータ提供される。 	
セクター	Unknown	
目的・ ³³⁰ ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> • 主目的は、対抗する流れに対する、様々な入射角・様々な軌道高度における、様々な材料及び表面仕上げの空気力学的係数の変化の調査。 • 追加ミッションは以下の通り <ul style="list-style-type: none"> • 熱圏の風速とベクトルの測定 • 大気密度と組成の測定 • 空気力学的トルクを使用した衛星姿勢制御能力の実証 • 空気力学を用いた衛星軌道制御能力の実証 	
実施体制	出資 ³³¹	EU 5.7m€
	開発・製造	<ul style="list-style-type: none"> • 組立：GomSpace (デンマーク) • フィン (空気力学パイロード)：マンチェスター大学 • INMS (大気特性評価パイロード)：ムラード宇宙科学研究所 (MSSL)
	打上 ³³²	Falcon 9 (CRS-22)
	地上局	不明
	運用 ³³³	マンチェスター大学
	データ取扱	不明
	付加価値サービス例	技術実証のため無し
	主要ユーザ	マンチェスター大学
スペック ³³⁴³³⁵	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：バス部 10cm×10cm×30cm • 軌道：vLEO 	

³²⁸ <https://spacenews.com/albedo-wins-air-force-contract-to-supply-thermal-imagery-at-night/>

³²⁹ https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/77878564/IAC_18.B4.2.2x43107_SOAR_CRISP.pdf

³³⁰ https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/77878564/IAC_18.B4.2.2x43107_SOAR_CRISP.pdf

³³¹ <https://discoverer.space/soar-satellite-for-orbital-aerodynamics-research/>

³³² <https://www.eoportal.org/satellite-missions/soar#overview>

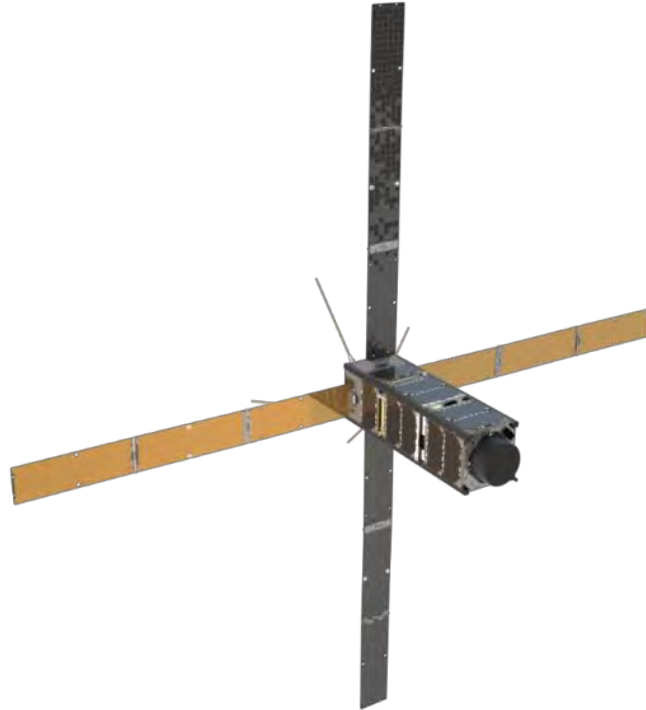
³³³ <https://discoverer.space/soar-satellite-for-orbital-aerodynamics-research/>

³³⁴ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/soar#overview>

³³⁵ <https://discoverer.space/soar-satellite-for-orbital-aerodynamics-research/>

- 高度：不明
- バス部：3U-CubeSat
- スラスタ：なし
- 機器：
空気力学ペイロード：4つの異なる試験材料でコーティングされたフィン
INMS：イオン及び中性質量分析計
通信リンク：不明

図表 122 SOAR イメージ³³⁶



³³⁶ <https://discoverer.space/soar-satellite-for-orbital-aerodynamics-research/>

C) 論文等における技術的課題

- vLEO に関する論文や企業プレス等について確認し、バス部、スラスタ部等に関する技術的課題・対応策等について整理した。

- i. 1st International Symposium on vLEO Missions and Technologies
 - EU が助成金を出す Discoverer プログラムにおいて、2021 年 6 月 28-29 日にオンラインで開催された vLEO に関する最初の国際シンポジウム。プログラムの表紙には SOAR のイメージが記載されている。
 - 以下に示す 5 つのセッションとポスターセッションが開催された。
 - ◇ Session 1: Mission Designs and Concepts
 - ◇ Session 2: Orbital Aerodynamic Control and In-Situ Atmospheric Sensing
 - ◇ Poster Session
 - ◇ Session 3: Materials and Ground Testing
 - ◇ Session 4: Propulsion
 - ◇ Session 5: Business Models and Roadmaps
 - 一部の論文についてはネット上で確認できるため、記載された課題・対応策等について整理した。

図表 123 1st International Symposium on vLEO Missions and Technologies における課題・対応策等

セッション	論文名	著者所属先	課題・対応策等
Session 1: Mission Designs and Concepts	<ul style="list-style-type: none"> In-Orbit-Demonstrator of the Skimsat VLEO Platform 	<ul style="list-style-type: none"> Thales Alenia Space UK QinetiQ Space N.V. ESA 	<ul style="list-style-type: none"> 大気抗力を最小限に抑え、空気安定性を高めるため、衛星の後部に太陽電池アレイの「翼」を備えた細い本体で構成される。
Session 1: Mission Designs and Concepts	<ul style="list-style-type: none"> Development and analysis of novel mission scenarios based on Atmosphere-Breathing Electric Propulsion (ABEP) 	<ul style="list-style-type: none"> University of Pisa and the DISCOVERER team 	<ul style="list-style-type: none"> 従来の推進システムを使用する場合、推進剤の貯蔵量によりミッション寿命が制限されるが、残留大気粒子を収集し、電気スラスタの推進剤とする大気呼吸電気推進システム (ABEP: Atmosphere-Breathing Electric Propulsion) を採用することで回避可能。 シュトゥットガルト大学の宇宙システム研究所 (IRS) では、Horizons 2020 の資金提供を受けた DISCOVERER プロジェクト内で、ABEP システム用のスラスタを開発中
Poster Session	<ul style="list-style-type: none"> Accelerated AO-induced polyimide erosion in VLEO by simultaneous collisions of hyperthermal N₂ molecules: ground-based experiments 	<ul style="list-style-type: none"> Kobe University 	<ul style="list-style-type: none"> vLEO における材料の侵食は N₂ による CID によって加速されるため、vLEO 環境で使用される材料の寿命評価ではこの影響を考慮する必要がある。
Poster Session	<ul style="list-style-type: none"> Refueling Architectures for VLEO Missions 	<ul style="list-style-type: none"> Orbit Fab 	<ul style="list-style-type: none"> vLEO の高レベルの抗力に対抗するため、Orbit Fab 社の軌道上燃料補給機を使用したアーキテクチャを検討し、考慮すべき事項はあるが実現可能である。
Session 3: Materials and Ground Testing	<ul style="list-style-type: none"> On the Utility of Coated POSS-Polyimides for Vehicles in Very Low Earth Orbit 	<ul style="list-style-type: none"> University of Colorado University of Minnesota Skeyeon, Inc 	<ul style="list-style-type: none"> 耐原子状酸素 (AO) 材料として、原子層体積 (ALD) によって成長させた原始的に滑らかな Al₂O₃ の耐 AO コーティングを有するポリイミド POSS 含有フィルムを研究。 Al₂O₃ALD コーティング膜の AO 侵食収率は本質的に 0 であり、vLEO 化における使用が期待される。
Session 4: Propulsion	<ul style="list-style-type: none"> Design of an intake and a thruster for an atmosphere-breathing electric propulsion system 	<ul style="list-style-type: none"> Institute of Space Systems (IRS) University of Stuttgart The DISCOVERER team 	<ul style="list-style-type: none"> ミッション寿命を延長する方法として、ABEP がある。 このシステムでは、推進剤を搭載する必要がなく、大気のあるあらゆる惑星帯にも適用可能である。
Session 4: Propulsion	<ul style="list-style-type: none"> Performance evaluation of a plasma generator and ion optics for air-breathing ion engine 	<ul style="list-style-type: none"> The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI JAXA 	<ul style="list-style-type: none"> ABEP のコンセプトである、Air-Breathing ion engine (ABIE) の実現が期待される。 ABIE は空気が放電チャンバーに入り、ECR 放電によりイオン化され、生成されたイオンはイオン光学系により抽出される。

ii. ASEP (Air-Scooping Electric Propulsion) / Aerospace

- Aerospace 社による vLEO 衛星の寿命を延ばすための新たなスラスタであり、周囲の空気を推進剤として活用する点は、ABEP システムと同じである。
- ASEP 衛星は、太陽電池アレイと電気推進を使用して、衛星周囲の空気を推進剤として利用するため、推進剤搭載の制約が無くなる。現状、技術的な面は未成熟ではあるが、研究開発段階から実証段階へと移行する段階にある³³⁷。

D) vLEO における衛星運用に関する課題・特徴と対応

- 上記迄にて取りまとめた衛星スペック及び論文等による課題を踏まえ、vLEO での衛星運用に関する現況を整理すると共に、技術含む各種課題について項目ごとに整理した。
- 大気抗力（姿勢制御含む）、スラスタ（特に燃料補給）、AO による劣化の 3 点が、vLEO 衛星における課題として整理された。

図表 124 vLEO における衛星運用に関する課題・特徴及び対応

項目	課題・特徴	対応	
用途	<ul style="list-style-type: none"> • 主として高解像度撮像 • 当面は各種実証のための試験飛行もメイン 	—	
衛星	バス	<ul style="list-style-type: none"> • バス部（本体）形状により大気抗力が変わる • 大気抗力により姿勢・軌道制御が困難 	<ul style="list-style-type: none"> • 大気抗力が小さくなるよう小断面積形状 • 十分な能力を有する姿勢・軌道制御装置の設置
	スラスタ	<ul style="list-style-type: none"> • 大気抗力や重力による減衰を補償できる推進力が必要 • 運用期間長期化のために十分な量の燃料が必要 	<ul style="list-style-type: none"> • 十分な推進力を持つスラスタの搭載 • 燃料効率が良く燃料タンクが小さいスラスタ • 周辺大気を推進剤として使用する ABEP、ASEP の開発 • 燃料補給システムによる補給方法の確立
	センサ	<ul style="list-style-type: none"> • 低軌道による超高解像度を活かした光学センサが主流 • 超高解像度のため衛星の強みである観測幅の広域性が若干低下する 	—
	外装等材料	<ul style="list-style-type: none"> • 原子状酸素（AO）による外装材等材料の劣化 	<ul style="list-style-type: none"> • 耐 AO 素材の活用 • 新たな耐 AO 素材の開発
通信	<ul style="list-style-type: none"> • 低軌道による通信電力低減 • アンテナサイズ縮小 	—	
離脱	<ul style="list-style-type: none"> • 運用終了後に大気抗力による自動的な大気圏再突入 	—	
打上げ	<ul style="list-style-type: none"> • 衛星サイズの小規模化による一度の大量打上げ (Disksat) 	—	
コスト	<ul style="list-style-type: none"> • 小規模、低軌道による、開発・製造コスト、打上げコストの低廉化 	—	

³³⁷ <https://aerospacecorp.medium.com/fresh-air-is-good-for-satellites-too-230a35889425>

E) ユースケースの想定

- 本節にて整理した衛星スペック等情報を基に、vLEOにおける衛星の特徴を踏まえたユースケースの検討を行った。

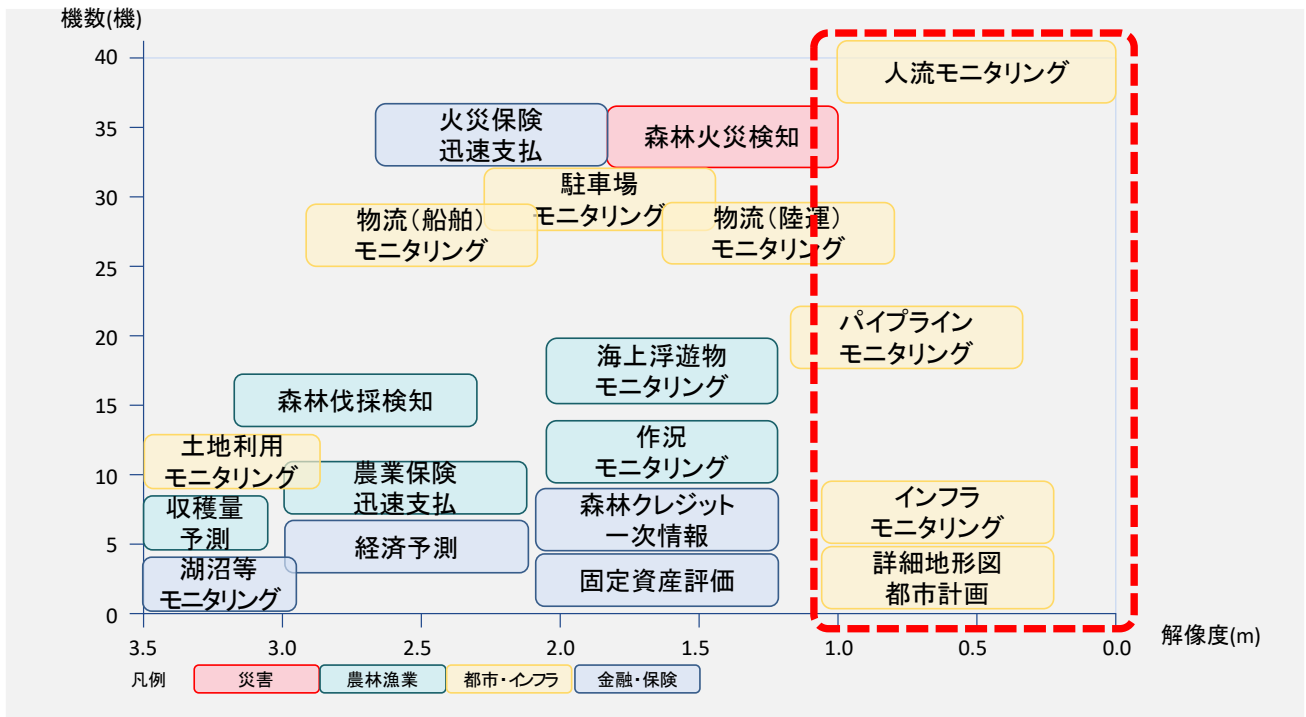
i. 開発事例におけるユースケースの整理

- 本節にて整理した衛星開発事例においては、主に以下のユースケースが想定されている。
 - ◇ 災害関連：災害後の迅速な画像撮影
 - ◇ インフラ：配置等計画・確認、モニタリング、稼働等管理
 - ◇ エネルギー：配置等計画・確認、パイプラインモニタリング
 - ◇ 環境：GHG 排出量算定、マッピング
 - ◇ その他：安全保障、金融市場マッピング、農業モニタリング、検知、画像のリアルタイム表示、タイムラプス表示

ii. 衛星の特徴を踏まえたユースケースの検討

- 本節にて整理した衛星スペック等情報を踏まえ、vLEOにおける衛星の特徴として以下が挙げられる。
 - ◇ 高解像度な平面分解能（GSD1.0m 以下）
 - ◇ 狭い観測幅（Swath：5～7km 程度）
 - ◇ 衛星小型化、衛星高度低下に伴う製造・打上げコストの低廉化
 - ◇ 低廉化によるコンステレーション構築とそれによる時間分解能の向上
- 下図表は、光学衛星の解像度と機数（頻度）の事例を踏まえて主な利用シーンをプロットしたものである。vLEOにおける衛星のユースケースは、上記特徴を考慮すると、下図表の右側に位置する。コンステレーションの機数増大に伴い、ユースケースも拡大していく。
 - ◇ 人流モニタリング
 - ◇ パイプラインモニタリング
 - ◇ インフラモニタリング
 - ◇ 詳細地形図、都市計画

図表 125 民間光学（可視光）コンステレーションのユースケースとの関係イメージ



出所) SeraData 社データベース、各社 HP、Satellogic 社資料などを参考に DB 作成

- これらユースケースにおいて、以下の点での有用性が考えられる。
 - ◇ モニタリング等において航空写真やドローンを活用する場合には、それらよりも定期的・安価に撮影可能であれば、対象地域及び周辺の浸食、崩落等や、対象物のある程度の規模の破損や劣化等まで確認可能。
 - ◇ 熱赤外線などの他データとの組み合わせにより、個別施設レベルでの稼働状況（発熱の有無）や GHG 排出量算定等のモニタリングが可能。
 - ◇ 様々な他データを重ね合わせるための下図・基礎データとして活用可能。
- 一方で、その特性上、以下の点では活用が難しい場合が想定される。
 - ◇ 他の衛星に比べ解像度は非常に高いものの、現地調査で確認するクラック等の規模（数 mm レベル）や、土木・建築等の設計・施工で必要となる精度（mm 単位）までは達していきなく、既存手法のすべてを代替することはできない。
 - ◇ 観測幅が狭く、観測対象物がパイプラインや山林部の詳細地形のように広範囲にわたる場合には、コンステレーションによる大量の衛星画像が必要となり、経済性が低下する。
 - ◇ 光学センサを搭載する事例が多く、夜間や雨天・曇天時には撮像できないため、災害発生時などの Near-Real-Time での対応が求められる場合には、SAR 衛星等に比べ、その利活用性は低下する。
- 上記を踏まえると、解像度の点から競合となる航空写真やドローンに対し、定期的・広域性の観点で優位性が確保されるようなユースケースが望ましい。また、そのユースケースの幅を広げるためには、SAR や熱赤外等のセンサにおける差別化が必要と想定される。

F) 日本の強み・弱みの分析

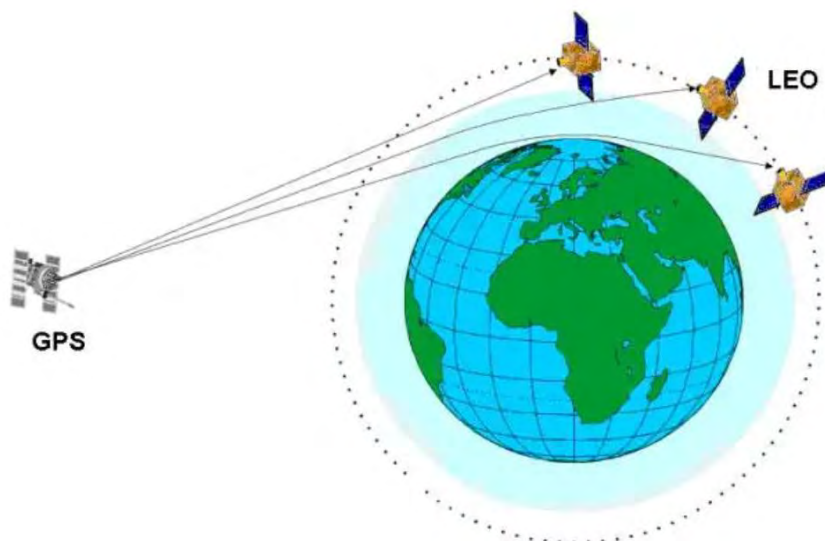
- vLEO にて運用する衛星については、海外スタートアップを中心に開発が進み、2023年～2025年にかけて打上げが予定されている。衛星開発状況が欧米・中国に対して遅れていることは日本の弱みである。
- 一方で、「世界初 イオンエンジンを用いた超低高度からの光学画像観測運用」、「世界初 超低高度での長期間の原子状酸素データ取得」など、vLEO における光学センサ搭載の衛星運用経験については、現状、日本のみが実績を保有（Agile MicroSat の動向は不明）している。また、J-SPRAC にて、JAXA と AxelSpace 社との官民連携による SLATS 技術を活用した vLEO での光学リモートセンシング事業モデルの構築が開始された。このように、SLATS の実績・経験を継承・活用した衛星開発を実施してプレゼンスを発揮することが期待されることが日本の強みである。
- 但し、日本はコンステレーション構築のスピードの点からも海外勢に対し劣後することが予想されるため、vLEO にて運用する衛星の開発に向けては、他衛星との連携、熱赤外センサ等の光学以外のセンサの搭載など、他国との差別化を意識した開発が望ましいと考える。

2) オカルテーション

A) 基本的な考え方

- GNSS 掩蔽観測 (GNSS-RO) とは、GPS 衛星などの GNSS 衛星の電波を用いた地球大気の掩蔽観測である。GNSS の衛星軌道要素 (位置・速度) の決定精度が高い (位置~10cm、衛星速度~0.1mm/秒) ことを利用して観測可能となっている。
- GNSS-RO の原理は以下の図表のとおりである。GPS 等の GNSS 衛星からの無線信号が大気を通過する際に、大気中の分子や電子は、電波の経路を曲げて進行を遅らせる。この極めて小さい電波屈折角から大気・電離層の電波屈折率を求め、大気が球対称であると仮定して電子密度、大気密度 (気温)、湿度の高度プロファイルを算出するものである。
- GNSS-RO の特徴は以下のとおりであり、その観測原理から地球上どこでも均質な精度のデータが得ることができ、数値予報作成において重要なデータとされている。³³⁸
 - ◇ 地上の観測点、地理的制約等に依存せず、衛星からの信号の物理的特性に基づくため、高精度データを入手可能
 - ◇ 地球上のあらゆる場所で使用可能であり、グローバルなカバレッジを提供可能
 - ◇ 複数の GNSS 衛星を用いた精度向上

図表 126 GNSS-RO の原理 (イメージ) ³³⁹



- GNSS-RO センサを搭載した (搭載予定の) 衛星は、まだわが国では打ち上げがなされていない領域であるため、まずは当該センサがどのような用途・ニーズがありうるのかを把握し、わが国が注力して研究開発を行うべき領域か否かを考察する。

³³⁸ https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/45/1_chapter2.pdf

³³⁹ <https://www.newscientist.com/article/dn13329-gps-thermometer-could-flag-up-climate-change/>

B) GNSS-RO 搭載（予定含む）衛星の概要

- OSCAR を用いて、GNSS-RO を搭載した（搭載予定の）衛星を抽出した。抽出条件は以下のとおりである。
 - ◇ センサ：GNSS-RO
 - ◇ 運用開始：直近 10 年及び 2023 年以降
 - ◇ 主観測物理量：地球観測に該当するもの（電離層・宇宙天気は該当しないものとする）

図表 127 代表的な GNSS-RO の衛星概要

搭載衛星名	保有者	センサ名	センサ名略称	運用開始	主観測物理量	解像度	重量	消費電力
Metop-SG-A1 -3 Metop-SG-B1 -3	ESA	Radio Occultation sounder	RO	2025	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	22kg	30W
Meteor-MP N1,N2	Roscosmos	Radio occultation instrument for Meteor-MP	ARMA-MP	2025	温度・湿度・地表	—	—	—
Tianmu-1	CASIC	Tianmu - Receiver	Tianmu - Receiver	2023	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
CICERO-2	GeoOptics	CICERO-2 Instrument for GNSS-RO	CION-2	2022	温度・湿度・海上風・降水・土地被覆・土壤水分	水平：300km 垂直：0.5km	10kg	—
FY-3E,F,G,H,I,J	CMA	GNSS Radio Occultation Sounder - 2	GNOS-2	2021	温度・湿度・海上風速	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
Sentinel-6A,B,C	NOAA	Global Navigation Satellite System - Radio Occultation	GNSS-RO	2021	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	6kg	50W
GNOMES-1～4	PlanetIQ	Pyxis-RO	Pyxis-RO	2020	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
GRACE-FO (2 sats)	NASA	Triple G (GPS, Galileo, GLONASS)	Tri-G	2019	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	6kg	50W
SEOSAR/Paz	CDTI	Radio Occultations and Heavy Precipitation with PAZ	ROHPP	2018	温度・湿度・降雨	水平：300km 垂直：0.5km	4.6kg	16W
CICERO	GeoOptics	CICERO Instrument for GNSS-RO	CION	2017	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	1.2kg	8W
Lemur-2	SPIRE	STRATOS	STRATOS	2016	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
FY-3C,D	CMA	GNSS Radio Occultation Sounder	GNOS	2014	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	—	—
KOMPSAT-5	KARI	Atmosphere Occultation and Precision Orbit Determination	APOD	2013	温度・湿度	水平：300km 垂直：0.5km	5kg	22W

出所) OSCAR より DB 編集

i. 衛星スペック調査結果概要

- 抽出した各衛星について、デスクトップ調査を行い、概要を整理した。
- GNSS-RO データを取得可能な衛星は各国、官民双方で打上げ・運用されているが、その特徴には大きな違いがある。
- 官側の特徴は以下のとおり。
 - ◇ 比較的大型の気象・観測衛星等におけるミッションの1つという位置付けである。
 - ◇ 衛星は GNSS-RO センサ以外の機器も多く搭載している。
 - ◇ 多くは1機又は2機での運用であり、データを取得できるものの民間企業の衛星に比べそのデータ数は少ない。
- 民側の特徴は以下のとおり。
 - ◇ 小型の衛星における主なミッションという位置付けである。
 - ◇ 衛星は GNSS-RO センサのみの場合が多い。その他の機器としては AIS 受信機等であり、衛星データの組合せによるサービス展開に向けた機器搭載と想定される。
 - ◇ 将来的に20機以上の衛星コンステレーションを構成する予定であり、全球における大量のデータ取得を目指している。
 - ◇ NASA や NOAA と GNSS-RO データ提供の契約を締結している。

図表 128 代表的な GNSS-RO センサ搭載衛星のスペック

搭載衛星名	保有者	官民区分	用途・ミッション	センサ	機数
Metop-SG-A1 - 3 Metop-SG-B1 - 3	ESA	官	数値天気予報、ナウキャストアプリケーション、海面風・海面温度・海氷被覆等運用 海洋学、大気化学、水文学、水管理、陸地と大気の相互作用、大規模地表分析、気候モニタリングサポート	SG-A : GNSS-RO 以外に 7 種 SG-B : GNSS-RO 以外に 6 種	6
Meteor-MP N1 Meteor-MP N2	Roscosmos	官	運用気象学、バイオマス、雲量、雲の光学深度、雲頂部の高さ、雲頂温度、統合水蒸気、葉面積指数、正規化植生指数、海面水温、海氷被覆、気温、対流圏界面の高さ、比湿度、対流圏界面の温度、降水強度、風速（地表付近）、植生地の割合、氷河の動き、氷河地形、土地被覆、地表地形、土壌水分、土壌タイプ、植生タイプ、大気化学、アルファ粒子微分方向磁束、エネルギー中世原子、重イオンフラックスエネルギーとマススペクトル、プロトン差動指向性磁束、短波放射照度、電子微分指向性磁束、プロトン積分指向性磁束、PBL 上部の高さ	GNSS-RO 以外に 11 種	2
Tianmu-1	Xiyong Microelectronics Park	民	大気密度、気温、電子密度、対流圏界面の高さ、電離層垂直全電子量(VTEC)、比湿度	GNSS-RO のみ	18
CICERO-1,2	GeoOptics	民	天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング、GNSS-R による洪水、土地被覆（雪、氷、植生）、土壌水分、地形監視	GNSS-RO のみ ※GNSS-R も可能	24
FY-3C,D,E,F,G,H,I,J	CMA	官	大気風、植生、放射収支、アルベドと反射率、大気湿度フィールド、雲の種類、量と雲頂温度、大気温度フィールド、表面温度(海洋)、液体水と降水量、雲の粒子の性質とプロファイル、表面温度(陸地)、オゾン、海洋の色/生物学、微量ガス(オゾンを除く)、積雪、端と深さ、海面風、重力、磁気および地球力学的測定、土壌水分、多目的画像(陸地)、海氷面積、エッジと厚さ	GNSS-RO 以外に 4~12 種 ※衛星により異なる	8
Sentinel-6A Sentinel-6B	NOAA	官	海面高度、波高度、風速、気温・湿度	GNSS-RO 以外に 5 種	2
GNOMES-1 -3	PlanetiQ	民	天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング	GNSS-RO のみ	20
GRACE-FO (2 sats)	NASA	官	水の動き、表面質量変化、重力場、貯水、氷床・氷河監視、海面、温度・湿度	GNSS-RO 以外に 4 種	2
SEOSAR/Paz	CDTI	官	海洋観測、陸地観測、船舶追跡、気象検知	GNSS-RO 以外に 2 種 SAR,LRR	1
Lemur-1,2	SPIRE	民	船舶追跡、気象検知	GNSS-RO 以外に 1 種 SENSEAIS（船舶追跡）	100 以上
KOMPSAT-5	KARI	官	GIS、海洋・土地管理・監視、災害監視、環境モニタリング、気象検知	GNSS-RO 以外に 2 種 SAR,LRR	1

出所) OSCAR、各種 HP より DB 編集

ii. ESA / MetOp-SG

- ESA 及び EUMETSAT により運用予定である気象衛星。気象衛星 MetOp シリーズの後継機である。MetOp-SG とは MetOp-Second Generation のこと。MetOp-SG-A 及び B があり、それぞれ 3 つの衛星が計画されている。
- ESA、DLR、CNES が関与するパートナーシッププログラム EPS-SG (EUMETSAT Polar System-Second Generation) にて運用される。
- GNSS-RO センサである RO は MetOpSG-A 及び-B 共に搭載される。

図表 129 ESA MetOp-SG 概要

項目	内容	
概要 ³⁴⁰	<ul style="list-style-type: none"> • ミッションの主な特徴としては以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 世界中での数値天気予報改善のための情報提供 ➢ ナウキャストリングアプリケーション ➢ 海面風ベクトル、海面温度、海氷被覆、その他の海洋産物による運用海洋学 ➢ 大気化学用途に役立つ、紫外～熱赤外までの高スペクトル・高分解能のサウンディング・画像 ➢ 水文学及び水管理に役立つ降水量、土壌水分、雪の測定 ➢ 光学イメージングを通じた陸地と大気の相互作用と生物圏への応用を支援する大規模地表分析 ➢ EPS プログラムによる遺産観測も含む、関連する気候データ記録の作成に基づく気候モニタリングのサポート 	
セクター	Civil / Other	
目的・ビジネスモデル ³⁴¹	<ul style="list-style-type: none"> • 世界規模での数値天気予報や気候モニタリングの観測を測定・提供し、大気化学、運用海洋学、水文学等でサービス提供することを目的とする。 	
実施体制	出資 ³⁴²	ESA、EUMETSAT
	開発・製造 ³⁴³	Airbus Defence and Space
	打上 ^{344,345}	<ul style="list-style-type: none"> • 打上げ機：Soyuz-ST-B Fregat-MT rocket.、Ariane-62 • SG-A1：2025年、-A2：2031年、-A3：2038年 • SG-B1：2025年、-B2：2032年、-B3：2039年
	地上局	不明
	運用	EUMETSAT / ESA ³⁴⁶
	データ処理配布/蓄積	<ul style="list-style-type: none"> • オンボード処理は圧縮処理程度で、ほとんどの処理は柔軟性と最適な精度を高めるため地上で実行³⁴⁷
	付加価値サービス提供	不明
主要ユーザ	不明	

³⁴⁰ <https://www.eumetsat.int/metop-sg>

³⁴¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/metop-sg-a.html>

³⁴² <https://www.eoportal.org/satellite-missions/metop-sg#metop-sg-metop-second-generation-program>

³⁴³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/metop-sg#metop-sg-metop-second-generation-program>

³⁴⁴ <https://www.eumetsat.int/our-satellites/metop-series?sjid=future>

³⁴⁵ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/metop-sg-a.htm

³⁴⁶ <https://www.restec.or.jp/satellite/metop-sg-a.html>

³⁴⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/metop-sg#instrument-design>

<p>スペック 348349</p>	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：SG-A (6.5m×2.97m×3.46m) 4000kg、SG-B (6.1m×2.91m×3.43m) 3800kg • 軌道：太陽同期軌道 • 高度：830km • 機器 SG-A <ol style="list-style-type: none"> 1. METimage 水蒸気、雲、エアロゾル、植生、雪氷、海面水温、陸面温度等の測定 2. MWS (Microwave Sounder) 気温と水蒸気プロファイルに関する情報の提供 3. IASI-NG (Infrared Atmospheric Sounder Interferometer-Next Generation) 12チャンネル、大気温度と水蒸気のプロファイル、温室効果ガス、雲、エアロゾル、オゾン等の測定 4. RO (Radio Occultation) GNSS信号を利用した対流圏と成層圏での屈折プロファイルの測定 1100～1500 サウンディング/日 5. 3MI (Multi-view Multi-channel Multi-polarization Imager) エアロゾル変数（光学的厚さや粒径、タイプなど）の高品質な画像の取得 6. Radiation Energy Radiometer 7. Sentinel-5 / UVNS オゾン鉛直分布やオゾン量の測定といった極軌道大気モニタリング 8. Low Light Imager • 機器 SG-B <ol style="list-style-type: none"> 1. MWI (Microwave Imaging Radiometer) 晴天及び曇り状態での気温と水蒸気プロファイル、雲水量などの情報提供 2. ICI (Ice Cloud Imager) 微物理変数の値を含む氷雲プロダクトの提供 3. SCA (Scatterometer) 海面の航法散乱断面積の測定、副次的目的として地表の土壌水分、葉面積指数、積雪等の情報収集 4. RO (Radio Occultation) GNSS信号を利用した対流圏と成層圏での屈折プロファイルの測定 5. Argos-4 (Data Collection Service) 6. Search and Rescue 7. Space Environment Monitor • 空間分解能 <ol style="list-style-type: none"> 1. 500m 2.～10. — 11. 25km 12.～15. — • 観測波長帯： <ol style="list-style-type: none"> 1. METimage VII-4 : 0.443 μm、VII-8 : 0.555 μm、VII-12 : 0.668 μm、VII-15 : 0.752 μm、VII-16 : 0.763 μm、VII-17 : 0.865 μm、VII-20 : 0.914 μm、VII-22 : 1.24 μm、VII-23 : 1.375 μm、VII-24 : 1.63 μm、VII-25 : 2.25 μm、VII-26 : 3.74 μm、VII-28 : 3.959 μm、VII-30 : 4.05 μm、VII-33 : 6.725 μm、VII-34 : 7.325 μm、VII-35 : 8.54 μm、VII-37 : 10.69 μm、VII-39 : 12.02 μm、VII-40 : 13.345 μm 5. 3MI 3MI-2b : 0.410 μm、3MI-3 : 0.443 μm、3MI-4 : 0.490 μm、3MI-5 : 0.555 μm、3MI-6 : 0.670 μm、3MI-7 : 0.763 μm、3MI-8 : 0.76 μm、3MI-9 : 0.865 μm、3MI-9a : 0.910 μm、3MI-10 : 1.370 μm、3MI-11 : 1.6503 μm、3MI-12 : 2.130 μm 7. Sentinel-5 / UVNS UV-1 : 270-300nm、UV-2 : 300-370nm、VIS : 370-500nm、NIR-1 : 685-710nm、710-750nm、NIR-2 : 270-300nm、SWIR-1 : 1590-1675nm、SWIR-3 : 2305-2385nm • 観測幅：
--------------------	---

³⁴⁸ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/metop-sg#spacecraft>

³⁴⁹ <https://www.restec.or.jp/satellite/metop-sg-a.html>

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2670km 2. 2210km 3. 2000km 4.~8. — 9. 1700km 10. — 11. 2×660km 12.~15. — <ul style="list-style-type: none"> • 回帰日数：29日 • 通信リンク：ダウンリンク：Kaバンド、Xバンド
--	--

図表 130 MetOp-SG イメージ図³⁵⁰



³⁵⁰ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/metop-sg#eop-quick-facts-section>

iii. Roscosmos / Meteor-MP

- ロシアの気象/環境衛星 Meteor-3M プログラムにおける 10,11 番目の衛星が、Meteor-MP シリーズの 1,2 号機とされる。
- GNSS-RO センサである ARMA-MP は MP 1,2 号機に搭載されている。

図表 131 Roscosmos Meteor-MP 概要³⁵¹³⁵²

項目		内容
概要 ³⁵³		<ul style="list-style-type: none"> • Meteor-3M プログラムの 10,11 番目の衛星であり、Meteor-MP シリーズの 1,2 番目の衛星である。
セクター		不明
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • 主なミッションは運用気象学 バイオマス、雲量、雲の光学深度、雲頂部の高さ、雲頂温度、統合水蒸気、葉面積指数、正規化植生指数、海面水温、海氷被覆、気温、対流圏界面の高さ、比湿度、対流圏界面の温度、降水強度、風速（地表付近）、植生地の割合、氷河の動き、氷河地形、土地被覆、地表地形、土壌水分、土壌タイプ、植生タイプ、大気化学、アルファ粒子微分方向磁束、エネルギー中世原子、重イオンフラックスエネルギーとマススペクトル、プロトン差動指向性磁束、短波放射照度、電子微分指向性磁束、プロトン積分指向性磁束、PBL 上部の高さ
実施体制	出資	ESA、EUMETSAT
	開発・製造	Roscosmos
	打上	不明
	地上局	不明
	運用	RosyHydromet, Roscosmos
	データ処理 配布/蓄積	不明
	付加価値 サービス 提供	不明
	主要ユーザ	不明
スペック		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：不明、3300kg (N1) • 軌道：太陽同期軌道 • 高度：830km • 機器 MP 1,2 号機共に <ol style="list-style-type: none"> 1. SSPD (Data Collection and Transmission System) 位置情報機能を備えた現場データ収集プラットフォームからのデータ収集 2. MSU-MR-MP (VIS/IR Imaging Radiometer for Meteor-MP) 多目的 VIS、赤外線画像 3. IKFS-3 (InfraRed Fourier Spectrometer - 3) 温度/湿度サウンディング、オゾンプロファイル、およびトータルカラム温室効果ガス 4. MTVZA-GY-MP (Imaging/Sounding Microwave Radiometer for Meteor-MP) 降水量改善のための温度/湿度サウンディングチャンネルを備えた多目的イメージャ

³⁵¹ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/meteor_mp_n1

³⁵² https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/meteor_mp_n2

³⁵³ <https://www.eumetsat.int/metop-sg>

5. BRLK “Briz” (Onboard Radar Complex (X-band))
高解像度全天候型陸域観測
 6. ACS-nadir (Atmospheric Composition Spectrometer (nadir-scanning component))
大気化学
 7. ACS-limb (Atmospheric Composition Spectrometer (limb-scanning component))
大気化学
 8. ARMA-MP (Radio occultation instrument for Meteor-MP)
最高の垂直解像度、宇宙天気サウンダ、温度/湿度。また、表面観察。
 9. GORIZONT-MP (Multi-spectral scanner)
高解像度画像
 10. GGAK-M/RIMS-M (Radio-frequency mass spectrometer – M)
電離層と上層大気の状態の変動を監視および予測し、気候および人為起源の傾向を特定
 11. IKOR-M (Broadband SW radiometer)
TOA での発信短波放射の監視、0.3～4.0 μm の範囲の広帯域放射計
 12. GGAK-E/SKIF-6 (GGAK-E / Corpuscular radiation spectrometer)
電子と陽子の微分エネルギースペクトルとエネルギーフラックスを測定
 13. GGAK-E/GALS-E (GGAK-E / Detector of galactic cosmic rays)
銀河宇宙線の陽子の測定
- 空間分解能：
 1. —
 2. 0.25-0.50km
 3. 14km(S.S.P.)
 4. 183km(12GHz)～6.9km(250GHz)
 5. 0.5km, 1.0km
 6. 8～14km (S.S.P.)
 7. 300km (水平) 3km (垂直)
 8. —
 9. 60～120m (S.S.P.)
 10. —
 11. —
 12. —
 13. —
 - 観測波長帯：
 9. GORIZONT-MP (Multi-spectral scanner)
0.41 μm 、0.48 μm 、0.635 μm 、0.555 μm 、0.655 μm 、0.830 μm
 - 観測幅：
 1. 該当なし
 2. 3000km (クロストラック)
 3. 2200km
 4. 2200km
 5. 130,600,750km
 6. 1000km
 7. 100km
 8. —
 9. 960km
 10. —
 11. —
 12. —
 13. —
 - 回帰日数：不明
 - 通信リンク：不明

iv. Xiyong Microelectronics Park / Tianmu-1

- CASIC（中国航天科工集团公司・国有企業）の子会社である Xiyong Microelectronics Park 社が打上げた GNSS-RO センサを用いた気象研究用の衛星コンステレーションであり、2025 年に完成予定（総機数は不明）。³⁵⁴

図表 132 CASIC 社 Tianmu-1 概要

項目		内容
概要 ³⁵⁵		<ul style="list-style-type: none"> • 中国の GNSS 衛星北斗を活用し GNSS-RO による気象研究を実施する衛星コンステレーション
セクター		Commercial
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • 高品質のグローバル気象データ取得を実現し、国家の「一帯一路」および「グローバル監視、グローバル予測、グローバルサービス」戦略の実施を支援および支援し、パークに定住する企業の空間情報応用産業の発展を促進し、空間情報技術の発展を促進して国民経済に力を与えることを目的としている。³⁵⁶
実施体制	出資	不明
	開発・製造	不明
	打上 ³⁵⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Tianmu-1-01,02 : Ceres-1 (2023 年 1 月) • Tianmu-1-03~06 : Kuaizhou-1A (2023 年 3 月) • Tianmu-1-07~10 : Kuaizhou-1A (2023 年 7 月) • Tianmu-1-11~14,19~22 : Kuaizhou-1A (2023 年 12 月) • Tianmu-1-15~18 : Kuaizhou-1A (2024 年 1 月)
	地上局	不明
	運用	不明
	データ処理 配布/蓄積	不明
	付加価値 サービス 提供	不明
	主要ユーザ	不明
	スペック ³⁵⁸	

³⁵⁴ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=2024-004A>

³⁵⁵ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/tianmu-1.htm

³⁵⁶ http://www.xiyongpark.com/xiyong_content/2023-01/11/content_10474637.htm

³⁵⁷ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

³⁵⁸ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/tianmu_1

v. GeoOptics / CICERO, CICERO-2

- 2006年に設立された元 NOAA 長官の Conrad 氏が率いる企業。
- GNSS-RO センサを搭載した自社の超小型衛星コンステレーション (CICERO, CICERO-2) により取得した RO データの提供を事業とする。
- CICERO データは、あらゆる研究目的のために無料で提供する。
- NASA、NOAA に RO データを提供・販売
 - ◇ 2016年 NOAA データ提供契約 (69.5 万米ドル、Spire Global 社とともに) ³⁵⁹
 - ◇ 2018年 NOAA と 2 回目の商用気象データパイロット契約 (GeoOptics 社、Spire Global 社とともに、3 社で 800 万 \$ 以上) ³⁶⁰
 - ◇ 2020年 NOAA データ提供契約 (6 ヶ月間毎日 1,300 プロファイル、最大 2,300 万米ドル、Spire Global 社とともに) ³⁶¹
 - ◇ 2022年 NOAA データ提供契約 (PlanetIQ 社、Spire Global 社とともに) ³⁶²³⁶³
 - ◇ 2022年 NASA にデータ提供契約 (5 年間で最大 700 万米ドル) ³⁶⁴

図表 133 GeoOptics 社 CICERO 概要

項目	内容	
概要 ³⁶⁵	<ul style="list-style-type: none"> • 地球大気の GPS および Galileo 衛星電波の掩蔽 (GNSS-RO) と反射による地表リモートセンシングを行う。 • 高精度な気圧、温度、水分のプロファイル、電離層における電子分布の 3D マップ、海洋や氷の様々な特性を計測。 • 最初の衛星は、2017年に打ち上げられた CICERO6。 	
セクター	Commercial	
目的・ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> • 天気予報、気候研究、宇宙天気モニタリング等の地球観測を行う³⁶⁶ • ミッションの目的は、GNSS-RO 観測のための 24 機の超小型衛星の配備し、地球の電離層と大気圏の詳細な画像の作成³⁶⁷ 	
実施体制	出資	<ul style="list-style-type: none"> • NOAA:データの無期限納入、無期限無限数量契約 (Spire 社と合計 2300 万ドル) ³⁶⁸
	開発・製造 ³⁶⁹	<ul style="list-style-type: none"> • 最初に、UC/LASP と共同で FORMOSAT 7 / COSMIC-2 ミッションに搭載された TriG GNSS-RO ペイロード を用いて、開発 • CION と呼ばれる GNSS-RO ペイロードの大幅な小型化により、Tyvak Nano-Satellite Systems 社が製作した 6U キューブサットベースの小型衛星に設計変更
	打上 ³⁷⁰	<ul style="list-style-type: none"> • CICERO6、7 : PSLV-XL ロケット (2017年 6 月、2018年 1 月) • CICERO1, 2, 3 : Soyuz-2-1a Fregat ブースター (2017年 7 月) (現在動作停止) • CICERO10 : Electron KS ロケット (2018年 11 月) • CICERO8 : PSLV-CA ロケット (2018年 11 月)

³⁵⁹ <https://spacepolicyonline.com/news/spire-geooptics-win-first-noaa-commercial-weather-data-contracts/>

³⁶⁰ <https://spacenews.com/three-companies-win-noaa-commercial-weather-data-pilot-contracts/>

³⁶¹ <https://spacenews.com/noaa-expands-radio-occultation-order/>

³⁶² <https://geooptics.com/geooptics-to-provide-noaa-with-space-weather-data/>

³⁶³ <https://spacenews.com/noaa-cwdp-space-weather/>

³⁶⁴ <https://spacenews.com/geooptics-nasa-contract/>

³⁶⁵ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

³⁶⁶ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

³⁶⁷ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cicero#design>

³⁶⁸ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cicero#design>

³⁶⁹ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

³⁷⁰ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

	<ul style="list-style-type: none"> OSM-1 CICERO : Vega ロケット (2020年9月)
地上局	KSAT ³⁷¹
運用	GeoOptics Inc./ OSM ³⁷²
データ処理 配布/蓄積	<ul style="list-style-type: none"> NOAAによるデータ配布 (2021年2月19日発表) : 3月から9月まで、毎日1300回電波掩蔽観測データを NOAA に提供し、MOAA は米国政府機関との共有の後に24時間後に一般公開³⁷³
付加価値 サービス 提供	<ul style="list-style-type: none"> NOAA:提供された商業電波掩蔽データを運用型数値気象観測モデルに組み込む予定³⁷⁴ GeoPRO : 独自の電波掩蔽データ処理システムであり、より正確かつタイムリーな気象データの提供が可能
主要ユーザ	研究機関
スペック	<ul style="list-style-type: none"> サイズ : 6U CubeSat 軌道 : 太陽同期軌道 高度 : 550km 機器 : CION (CICERO Instrument for GNSS-RO) 数値天気予報に有用であり、温度、密度、気圧、大気の屈折率を計測 約1000 サウンディング/日 6U CubeSat : 質量10kg以下、高速通信 (KSAT との互換性による)、3軸高性能姿勢制御、2Mbit/s の X バンド送信機により1軌道で收拾したすべてのデータをダウンリンク可能 通信リンク <ul style="list-style-type: none"> ペイロードデータダウンリンク : X バンド TT&C : UHF

図表 134 CICERO イメージ図³⁷⁵



³⁷¹ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cicero#design>

³⁷² https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero.htm

³⁷³ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cicero#design>

³⁷⁴ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cicero#design>

³⁷⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/cicero#mission-capabilities>

図表 135 Geoptics 社 CICERO-2 概要

項目		内容
概要 ³⁷⁶³⁷⁷		<ul style="list-style-type: none"> CICERO の改良版で、地球大気 of GPS および Galileo 電波掩蔽 (GNSS-RO) と反射による地表リモートセンシングを行う 6U-CubeSat の第 2 世代コンステレーション。 高精度な気圧、温度、水分のプロファイル、電離層における電子分布の 3D マップ、海洋や氷の様々な特性を計測。
セクター		Commercial
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> 垂直解像度、海面風、降水量マッピング、宇宙天気による温度/湿度のサウンディング。GNSS-R による洪水、土地被覆 (雪、氷、植生)、土壌水分、地形監視³⁷⁸
実施体制	出資	不明
	開発・製造	<ul style="list-style-type: none"> Tyvak Nano-Satellite Systems 社が製作した 6U のキューブサット³⁷⁹ 6U と 12U のキューブサットが混在。さらに大きな衛星も可能性あり³⁸⁰
	打上	<ul style="list-style-type: none"> CICERO-2 1,2 : Falcon9 (2022 年 5 月)³⁸¹ CICERO-2 は、2022 年からの 5 年間で約 50 機以上打上げ予定。³⁸²
	地上局	不明
	運用	GeoOptics Inc. ³⁸³
	データ処理 配布/蓄積	Geo Optics 社から商業ベースで提供 ³⁸⁴
	付加価値 サービス 提供	不明
	主要ユーザ	研究機関
スペック ³⁸⁵³⁸⁶		<ul style="list-style-type: none"> 規模：不明 軌道：太陽同期軌道 機器：CION-2 (CICERO-2 Instrument for GNSS-RO) 空間分解能：水平約 300km、垂直約 0.5km

³⁷⁶ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero-2.htm

³⁷⁷ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/cicero_2

³⁷⁸ https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/cion_2

³⁷⁹ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero-2.htm

³⁸⁰ <https://spacenews.com/geooptics-to-launch-next-generation-earth-science-constellation/>

³⁸¹ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero-2.htm

³⁸² <https://spacenews.com/geooptics-to-launch-next-generation-earth-science-constellation/>

³⁸³ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/cicero-2.htm

³⁸⁴ https://tools.wmo.int/instruments/view/cion_2

³⁸⁵ https://tools.wmo.int/satellites/view/cicero_2

³⁸⁶ https://space.oscar.wmo.int/instruments/view/cion_2

vi. CMA / FY-3(Feng Yun-3) C,D,E,F,G,H,I,J

- FY-3 (風雲 3 号) シリーズは、中国気象局 (China Meteorological Administration) と中国国家航天局 (China National Space Administration) により共同開発された極軌道気象衛星の第 2 世代である。
- RO サウンディング用の機器である GNOS (GNSS Radio Occultation Sounder) は、FY-3C,3D には GNOS-1 が、FY-3E~3J には GNOS-2 が搭載されている。

図表 136 CMA FY-3 シリーズ概要

項目		内容
概要 ³⁸⁷³⁸⁸		<ul style="list-style-type: none"> • より多くの雲と地表の特性データを収集するため、3次元大気探査能力と全球データ取得能力を強化するように設計された衛星。 • 主に以下の4つの側面で応用される。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ バランスの取れた分解能を備えた地球規模の気象パラメータを数値天気予報に提供 ➢ 気候変動研究を含む地球変動研究や気候予測に、多様な気象学および地球物理学的パラメータを提供 ➢ 大規模な自然災害や地表の生態環境を監視 ➢ 空、海洋活動などの特殊な活動のために世界各地の気象情報を提供し、国防のための気象支援を提供 • 測定領域：大気、海洋、重力・磁場、土地、雪、氷 • 測定カテゴリ：大気風、植生、放射収支、アルベドと反射率、大気湿度フィールド、雲の種類、量と雲頂温度、大気温度フィールド、表面温度(海洋)、液体水と降水量、雲の粒子の性質とプロファイル、表面温度(陸地)、オゾン、海洋の色/生物学、微量ガス(オゾンを除く)、積雪、端と深さ、海面風、重力、磁気および地球力学的測定、土壌水分、多目的画像(陸地)、海氷面積、エッジと厚さ
セクター		Civil/Other
目的・ビジネスモデル ³⁸⁹		<ul style="list-style-type: none"> • 大気の3次元温度および湿度サウンディングの地球規模の測定を提供し、NWP(数値気象予測)をサポートする雲および降水パラメータを測定 • 大規模な気象現象や水文現象、生物圏環境の異常に関する全球的な画像を提供 • 地球規模の変化と気候監視をサポートする地球物理学的パラメータを提供 • 航空、船舶などのサービスに従事する専門の気象ユーザに世界規模および地域の気象情報を提供 • 地上セグメントから環境データを収集し中継
実施体制	出資	CMA/CNSA
	開発・製造 ³⁹⁰	SAST (Shanghai Academy of Spaceflight Technology)
	打上 ³⁹¹³⁹²	<ul style="list-style-type: none"> • 長征 3,4 • 3C : 2013年9月、3D : 2017年11月、3E : 2021年7月、3F : 2023年以降、3G : 2023年4月、3H : 2024年以降、3I : 2026年以降、3J : 2027年以降
	地上局	不明
	運用 ³⁹³	CMA/CNSA、NRSCC

³⁸⁷ <http://www.nsmc.org.cn/nsmc/en/satellite/FY3.html>

³⁸⁸ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#eoop-quick-facts-section>

³⁸⁹ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#eoop-quick-facts-section>

³⁹⁰ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#development-phases>

³⁹¹ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#eoop-quick-facts-section>

³⁹² <https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/fy>

³⁹³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#eoop-quick-facts-section>

	データ処理 配布/蓄積 394	<ul style="list-style-type: none"> 中国国家衛星気象センターのデータベースに継続的に受信、アーカイブ化 ユーザはアクセス可能であり、クラウドベースのデータ共有システムにてデータ配信の効率化を図っている。 																																																																																																																																																																																																																								
	付加価値 サービス 提供	不明																																																																																																																																																																																																																								
	主要ユーザ 395	研究機関																																																																																																																																																																																																																								
スペック 396397398	<ul style="list-style-type: none"> サイズ：4.4m×2.0m×2.0m（展開時：4.4m×10m×3.8m）、2300kg 軌道：太陽同期軌道 機器:下表のとおり 																																																																																																																																																																																																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>タイプ</th> <th>目的</th> <th>機器名</th> <th>3C</th> <th>3D</th> <th>3E</th> <th>3F</th> <th>3G</th> <th>3H</th> <th>3I</th> <th>3J</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">光学</td> <td rowspan="2">画像</td> <td>MERSI</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>LL</td> <td>III</td> <td>RM</td> <td>III</td> <td>RM</td> <td>LI</td> </tr> <tr> <td>VIRR</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">パッシブ マイクロ波</td> <td>画像</td> <td>MWRI</td> <td>I</td> <td>I</td> <td></td> <td>II</td> <td>RM</td> <td>II</td> <td>RM</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">サウンダ</td> <td>MWTS</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>III</td> <td>III</td> <td></td> <td>III</td> <td></td> <td>III</td> </tr> <tr> <td>MWHS</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td></td> <td>II</td> <td></td> <td>II</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">アクティブ マイクロ波</td> <td rowspan="2">サウンダ</td> <td>WindRAD</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>PMR</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>オカルテー ション</td> <td>サウンダ</td> <td>GNOS</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">ハイパース ペクトル</td> <td rowspan="2">サウンダ</td> <td>IRAS</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HIRAS</td> <td></td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td></td> <td>II</td> <td></td> <td>II</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">微量ガス</td> <td>GAS</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SBUS</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOU</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>OMS</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>N/L</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">放射線</td> <td rowspan="3">地球放射 線収支</td> <td>ERM</td> <td>I</td> <td></td> <td></td> <td>II</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SIM</td> <td>I</td> <td></td> <td>II</td> <td>II</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>II</td> </tr> <tr> <td>SSIM</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">宇宙天気</td> <td rowspan="4"></td> <td>SEM</td> <td>I</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>II</td> <td>NADD</td> <td>HEPD IMS FGM</td> </tr> <tr> <td>WAI</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IPM</td> <td></td> <td>✓</td> <td>Tri- IPM</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td>Tri- IPM</td> </tr> <tr> <td>X-EUVI</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>	タイプ	目的	機器名	3C	3D	3E	3F	3G	3H	3I	3J	光学	画像	MERSI	I	II	LL	III	RM	III	RM	LI	VIRR									パッシブ マイクロ波	画像	MWRI	I	I		II	RM	II	RM		サウンダ	MWTS	II	II	III	III		III		III	MWHS	II	II	II	II		II		II	アクティブ マイクロ波	サウンダ	WindRAD			✓					✓	PMR					✓		✓		オカルテー ション	サウンダ	GNOS	I	I	II	II	II	II	II	II	ハイパース ペクトル	サウンダ	IRAS	✓								HIRAS		I	II	II		II		II	微量ガス	GAS		✓					✓		SBUS	✓								TOU	✓										OMS				N/L				放射線	地球放射 線収支	ERM	I			II					SIM	I		II	II				II	SSIM			✓					✓	宇宙天気		SEM	I	I	II	II	II	II	NADD	HEPD IMS FGM	WAI		✓					✓		IPM		✓	Tri- IPM				✓	Tri- IPM	X-EUVI			✓					✓
	タイプ	目的	機器名	3C	3D	3E	3F	3G	3H	3I	3J																																																																																																																																																																																																															
	光学	画像	MERSI	I	II	LL	III	RM	III	RM	LI																																																																																																																																																																																																															
			VIRR																																																																																																																																																																																																																							
	パッシブ マイクロ波	画像	MWRI	I	I		II	RM	II	RM																																																																																																																																																																																																																
		サウンダ	MWTS	II	II	III	III		III		III																																																																																																																																																																																																															
			MWHS	II	II	II	II		II		II																																																																																																																																																																																																															
	アクティブ マイクロ波	サウンダ	WindRAD			✓					✓																																																																																																																																																																																																															
			PMR					✓		✓																																																																																																																																																																																																																
	オカルテー ション	サウンダ	GNOS	I	I	II	II	II	II	II	II																																																																																																																																																																																																															
	ハイパース ペクトル	サウンダ	IRAS	✓																																																																																																																																																																																																																						
			HIRAS		I	II	II		II		II																																																																																																																																																																																																															
		微量ガス	GAS		✓					✓																																																																																																																																																																																																																
			SBUS	✓																																																																																																																																																																																																																						
TOU			✓																																																																																																																																																																																																																							
		OMS				N/L																																																																																																																																																																																																																				
放射線	地球放射 線収支	ERM	I			II																																																																																																																																																																																																																				
		SIM	I		II	II				II																																																																																																																																																																																																																
		SSIM			✓					✓																																																																																																																																																																																																																
宇宙天気		SEM	I	I	II	II	II	II	NADD	HEPD IMS FGM																																																																																																																																																																																																																
		WAI		✓					✓																																																																																																																																																																																																																	
		IPM		✓	Tri- IPM				✓	Tri- IPM																																																																																																																																																																																																																
		X-EUVI			✓					✓																																																																																																																																																																																																																
<ul style="list-style-type: none"> TT&C：GPSにより支援される統合Sバンドシステム データ転送 リアルタイム：BPSK変調付きLバンド、データレート=4.2 Mbit/s リアルタイム：QPSK変調付きXバンド、データレート=18.2 Mbit/s 再生：QPSK変調付きXバンド、データレート=93 Mbit/s 																																																																																																																																																																																																																										

³⁹⁴ <https://link.springer.com/article/10.1007/s00376-021-0425-3>

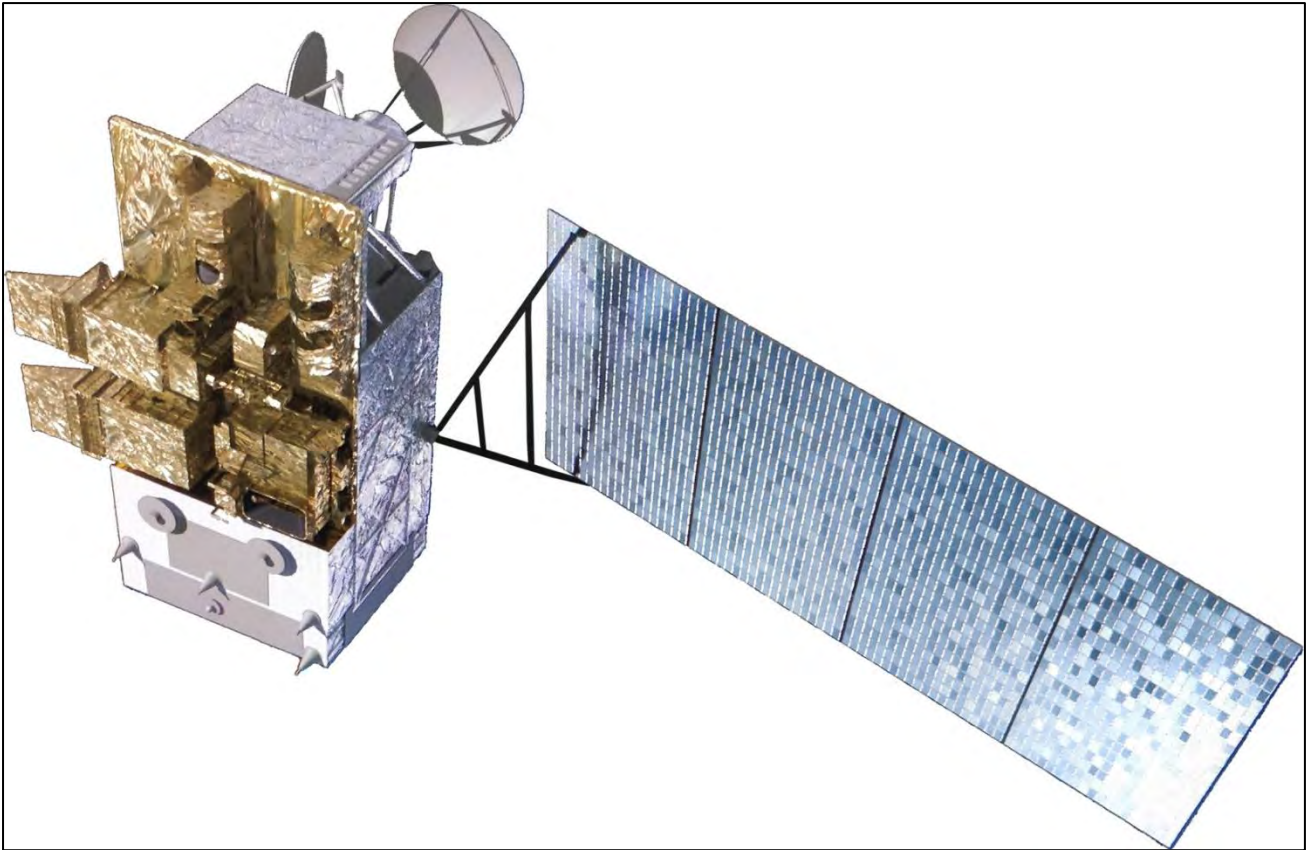
³⁹⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#development-phases>

³⁹⁶ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/fy-3#development-phases>

³⁹⁷ <http://www.nsmc.org.cn/nsmc/en/satellite/FY3.html>

³⁹⁸ <https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/fy>

図表 137 FY-3D イメージ図³⁹⁹



³⁹⁹ <http://www.nsmc.org.cn/nsmc/en/satellite/FY3.html>

vii. NOAA / Sentinel-6

- EC が後援し、ESA、NASA、CNES、EUMETSAT、NOAA が共同運営する国際プログラムで、海面高度測定を行うとともに、GNSS-RO により対流圏と成層圏の温度と湿度を測定する。

図表 138 Sentinel-6 概要⁴⁰⁰

項目	内容	
概要	<ul style="list-style-type: none"> • Sentinel 6A を 2020 年に打ち上げ⁴⁰¹。 • Sentinel 6B は 2026 年に打ち上げ予定⁴⁰²。 • 6A には下記を搭載： <ol style="list-style-type: none"> (1) Poseidon-4 SAR Altimeter Instrument (POS4) /レーダー高度計 (2) Advanced Microwave Radiometer for Climate (AMR-C)/高性能直下観測マイクロ波放射計 (3) Global Navigation Satellite System – Radio Occultation (GNSS-RO)/全地球測位衛星システム (4) GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM – PRECISE ORBIT DETERMINATION (GNSS-POD)/全地球測位衛星システム (5) LASER RETROREFLECTOR ARRAY (LRA)/レーザーレトロリフレクターアレイ (6) DOPPLER ORBITOGRAPHY AND RADIOPOSITIONING INTEGRATED BY SATELLITE (DORIS)/衛星測位システム 	
セクター	Civil/Others	
目的・ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> • TOPEX/Poseidon 衛星、Jason-1、2、3 衛星シリーズによる海面観測を継続するとともに天気予報のモデルに活用される気温と湿度の情報を収集し、改善に貢献する。 • 気候変動が海岸線に与える影響の捕捉、海面上昇の計測、気象予報の精度の向上。 	
実施体制	出資	出資者：EC/ESA/EUMETSAT/NASA/NOAA
	開発・製造	<ul style="list-style-type: none"> • 主契約：Airbus DS⁴⁰³ • NASA/JPL: LRA、AMR-C、GNSS-RO • ESA: Poseidon-4 Sar Altimeter Instrument、GNSS-POD、DORIS • 開発コスト：NASA: \$97 m⁴⁰⁴⁴⁰⁵
	打上	Falcon 9
	地上局	ESA
	運用	ESA/NASA
	データ取扱	データは一般公開されている
スペック	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：1,192 kg, 5.15*2.35*2.58m • 軌道：非太陽同期軌道 • 高度：1,336km • 観測波長帯： <ol style="list-style-type: none"> (1) 5.4GHz, 13.58GHz 	

⁴⁰⁰ 主に eoPortal、WMO OSCAR、RESTEC 衛星情報データベースを中心に参照し作成

⁴⁰¹ <http://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=641>

⁴⁰² https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6_overview

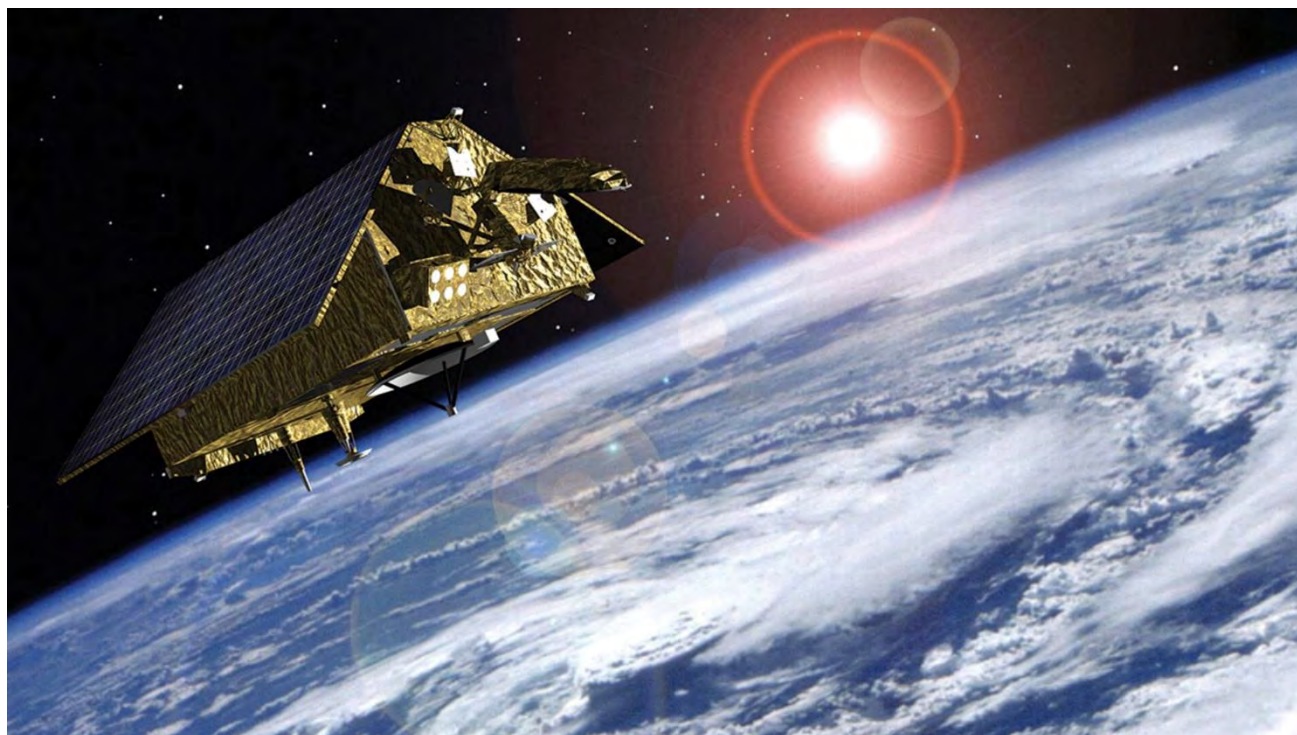
⁴⁰³ http://database.eohandbook.com/database/missionsummary.aspx?missionID=641_rtitle/jason-cs

⁴⁰⁴ https://www.jpl.nasa.gov/news/press_kits/sentinel-6/facts/

⁴⁰⁵ <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-awards-launch-services-contract-for-sentinel-6a-mission>

- (2) 18.7GHz, 23.8GHz, 34GHz
- (3) GPS
- (4) GPS
- (5) -
- (6) Signals from ground station
- 空間分解能 :
 - (1) 20km, SAR mode 300m
 - (2) 25km
 - (3) 300km horizontal, 0.5km vertical
 - (4) -
 - (5) -
 - (6) -
- 観測幅:
 - (1) 30km, 100km
 - (2) 30km, 100km
 - (3) 300km, average 710km
 - (4) -
 - (5) -
 - (6) -
- 運用期間 : 5.5 年
- 回帰日数 : 10 日
- 周期 : 112 分
- 軌道傾斜角 66°
- 通信リンク
 - X-band ダウンリンク (科学データ用) :150Mbps
 - TT&C:S バンド双方向リンク

図表 139 Sentinel-6 イメージ図⁴⁰⁶



⁴⁰⁶ [https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/\(archive\)/0](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/(archive)/0)

viii. PlanetIQ / GNOMES

- COSMIC、COSMIV-2012、KOMPSAT-2、TerraSAR-X、Tandem-X、Paz など複数のミッションや RO に携わった科学者やエンジニアによって 2012 年にアメリカで設立された企業。天気、気候、宇宙天気に焦点を当てた世界初の商用衛星コンステレーションを打上げ予定。
- NOAA に RO データを提供・販売
 - ◇ 2018 年 NOAA と 2 回目の商用気象データパイロット契約（GeoOptics 社、Spire Global 社ともに、3 社で 800 万 \$ 以上）⁴⁰⁷
 - ◇ 2022 年 NOAA データ提供契約（GeoOptics 社、Spire Global 社ともに）⁴⁰⁸

図表 140 PlanetIQ 社 GNOMES 概要

項目	内容	
概要 ⁴⁰⁹⁴¹⁰	<ul style="list-style-type: none"> • 最高品質の HD GPS-RO 気象衛星。将来的には 20 機のコンステレーションを打ちあげる。 • 第 4 世代の「Pyxis」という RO センサが搭載され、GPS、GLONASSGalileo、Beidou などの GNSS から RO データを継続的に提供し、天気予報、宇宙天気予報、気候監視等に関する需要に対応する。 	
セクター	Commercial	
目的・ビジネスモデル ⁴¹¹⁴¹²	<ul style="list-style-type: none"> • 天気予報、宇宙天気予報、気候監視のために、最高品質の RO センサで取得する、費用対効果が高く、グローバルでリアルタイムな RO データを提供する。 • データ購買するセクターとして、事業継続、防衛とインテリジェンス、船舶、農業、高級、エネルギー、オイル・ガス、保険を想定。 • 最高品質の RO センサは正確で、地表まで測定することが可能であり、競合他社との差別化が可能。 • 政府主導の活動から官民パートナーシップへの移行が重要⁴¹³。 	
実施体制	出資 ⁴¹⁴	<ul style="list-style-type: none"> • 2018 年 NOAA : 350 万 \$ (商用気象データ試験プログラム) ⁴¹⁵ • 2019 年シリーズ B ラウンド : 1,870 万 \$ (New Science Ventures, AV8 Ventures, Valo Ventures, Kodem Growth Partners, Access Venture Partners, Hemisphere Ventures, Service Provider Capital, Earth Investments, the Virginia Tech Carilion Innovation Fund, Moonshots Capital, etc...) • 2022 年 NOAA : (RO データ提供契約)
	開発・製造 ⁴¹⁶	Blue Canyon Technologies
	打上 ⁴¹⁷⁴¹⁸	<ul style="list-style-type: none"> • GNOMES-1 : 2020 年 8 月 SpaceX Falcon-9 • GNOMES-2 : 2021 年 6 月 SpaceX Falcon-9 • GNOMES-3 : 2022 年 4 月 SpaceX Falcon-9
	地上局 ⁴¹⁹	<ul style="list-style-type: none"> • KSAT • Atlas Space Operations

⁴⁰⁷ <https://spacenews.com/three-companies-win-noaa-commercial-weather-data-pilot-contracts/>

⁴⁰⁸ <https://spacenews.com/noaa-cwdp-space-weather/>

⁴⁰⁹ <https://planetiq.com/technology/>

⁴¹⁰ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#gnomes-constellation-of-planetiq-gnss-ro-commercial-weather-satellites>

⁴¹¹ <https://planetiq.com/markets/>

⁴¹² <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#overview>

⁴¹³ <https://planetiq.com/the-benefits-of-public-private-partnership-in-weather-and-environmental-data-collection/>

⁴¹⁴ <https://spacenews.com/fresh-18-7-million-funding-round-puts-planetiq-weather-constellation-back-on-track/>

⁴¹⁵ <https://spacenews.com/fresh-18-7-million-funding-round-puts-planetiq-weather-constellation-back-on-track/>

⁴¹⁶ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#overview>

⁴¹⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#overview>

⁴¹⁸ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/gnomes-1.htm

⁴¹⁹ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#overview>

運用	<ul style="list-style-type: none"> PlanetIQ
データ処理 配布/蓄積 420	<ul style="list-style-type: none"> 収集された信号は民間ユーザが自由に利用可能 影響の大きい、価値の高いデータを NWP センターへ提供
付加価値 サービス 提供	不明
主要ユーザ	<ul style="list-style-type: none"> 行政 民間企業
スペック 421422	<ul style="list-style-type: none"> 規模：不明 バス：XB バス スラスタ：イオン推進システム 軌道：太陽同期軌道 高度：600km (GNOMES-1)、525km (GNOMES-2)、645km (GNOMES-3) 機器： <ul style="list-style-type: none"> Pyxis-RO 2,500 件/日のサウンディング 将来的には 20 機で 50,000 件/日のサウンディングを実施 空間分解能：水平約 300km、垂直約 0.5km レイテンシー：3 分未満、静止軌道上にある既存の衛星ベースの中継システムを使用 通信リンク <ul style="list-style-type: none"> X-band ダウンリンク (10Mbit/s) TT&C：X バンド

図表 141 GNOMES-1 イメージ図⁴²³



⁴²⁰ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#gnomes-constellation-of-planetiq---gnss-ro-commercial-weather-satellites>

⁴²¹ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/gnomes_1

⁴²² <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#gnomes-constellation-of-planetiq---gnss-ro-commercial-weather-satellites>

⁴²³ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/gnomes#spacecraft>

ix. NASA / GRACE-FO (2sats)

- GRACE-FO (Gravity Recovery and Climate Experiment - Follow On) は GRACE ミッションの後継機であり、NASA と GFZ (the German Research Centre for Geosciences) の共同プロジェクト。
- GRACE 同様に双子の衛星で構成されており、2 つの衛星は約 220km 離れている。

図表 142 NASA GRACE-FO 概要

項目	内容	
概要 ⁴²⁴	<ul style="list-style-type: none"> • GRACE ミッションの後継機で、双子 (2 機) の衛星。 	
セクター	Civil/Other	
目的・ビジネスモデル ⁴²⁵	<ul style="list-style-type: none"> • 地球全体の水の動きと表面質量の変化を監視することで、地球の重力場の高解像度の変化を測定。 • 貯水、氷床と氷河、海面、固体地球 (重力場) の監視などのアプリケーションが含まれる。 • 二次的な目的として、以下の2つ <ul style="list-style-type: none"> ◇ LRI (Laser Ranging Intergerometer) が低低 SST (Satellite-toSatellite Tracking) 測定性能の向上に効果があるか実証 ◇ RO 測定により、気象サービスへの垂直温度・湿度プロファイルの提供 	
実施体制	出資 ⁴²⁶	<ul style="list-style-type: none"> • BMBF (the Federal Ministry of Education and Research)、BMW (the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy)、HGF (the Helmholtz Association)、DLR (the German Aerospace Center)、the German Research Center for Geosciences
	開発・製造 ⁴²⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Airbus Defence and Space • Astrium GmbH
	打上 ⁴²⁸	<ul style="list-style-type: none"> • Falcon9 (2018 年 5 月)
	地上局	<ul style="list-style-type: none"> • 不明
	運用	<ul style="list-style-type: none"> • NASA,DLR/GSOC
	データ処理配布/蓄積 ⁴²⁹	NASA の HP にて公開
	付加価値サービス提供	不明
	主要ユーザ	研究機関
スペック ⁴³⁰⁴³¹	<ul style="list-style-type: none"> • 規模 : 3m×3m×0.8m、432kg • 軌道 : 極軌道 • 高度 : 490km • 機器 : <ul style="list-style-type: none"> (1)Tri-G (Triple G (GPS, Galileo, GLONASS) : RO センサ。垂直解像度、温度/湿度サウンディング、宇宙天気を測定。 	

⁴²⁴ <https://gracefo.jpl.nasa.gov/>

⁴²⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/grace-fo#eop-quick-facts-section>

⁴²⁶ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/grace-fo#eop-quick-facts-section>

⁴²⁷ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/grace-fo#eop-quick-facts-section>

⁴²⁸ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/grace_fo_2_sats

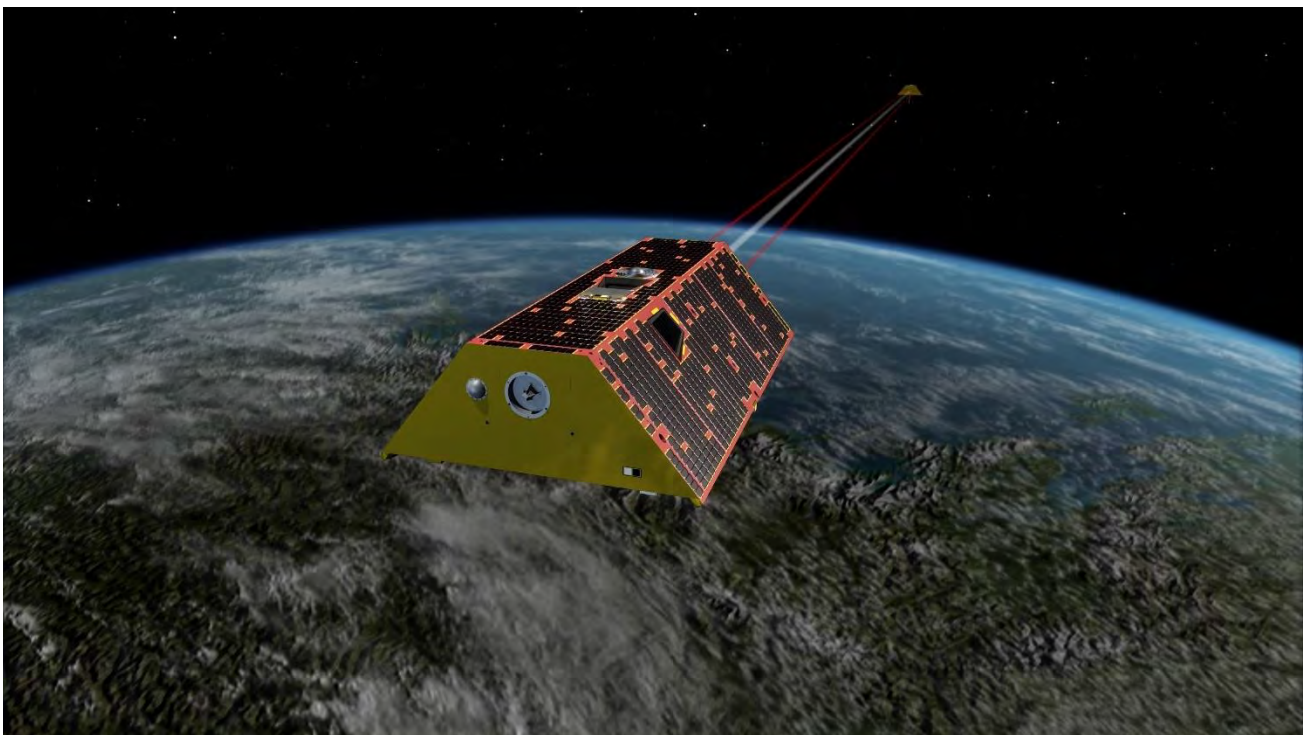
⁴²⁹ <https://grace.jpl.nasa.gov/>

⁴³⁰ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/grace_fo_2_sats

⁴³¹ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/grace-fo#spacecraft>

	<p>約 300 サウンディング/日・機</p> <p>(2)HAIRS (High Accuracy Inter-satellite Ranging System) 軌道に沿った重力場の観察 K-band と Ka-band を使用</p> <p>(3)LRR (Laser Retro-Reflector) 宇宙測地学用</p> <p>(4)SCA (Star Camera Assembly) 精密な軌道撮影と衛星姿勢制御</p> <p>(5)SuperSTAR (Super Space Three-axis Accelerometer for Research) 軌道に沿った重力場の観察</p> <ul style="list-style-type: none"> • 空間分解能： <ul style="list-style-type: none"> (1)水平約 300km、垂直約 0.5km (2) — (3) — (4) — (5) — • 通信リンク <ul style="list-style-type: none"> • X-band ダウンリンク (10Mbit/s) • TT&C : S バンド双方向
--	--

図表 143 GRACE-FO イメージ図⁴³²



⁴³² <https://gracefo.jpl.nasa.gov/news/151/international-cooperation-award-for-nasa-jpls-michael-watkins-michael-gross/>

x. CDTI / SEOSAR/Paz

- CDTI（スペイン政府・産業技術開発センター）と Hisdesat 社による X バンド合成開口レーダーミッション。

図表 144 CDTI SEOSAR/Paz 概要

項目		内容
概要 ⁴³³		<ul style="list-style-type: none"> • TerraSAR-X プラットフォームを使用した X バンド SAR 衛星で、スペイン地球観測プログラムをなす PAZ と Ingenio の 2 機のうちの 1 つ。国防省と Hisdesat 社（通信会社）の軍民両用衛星。Ingenio は光学衛星。 • TerraSAR-X および TanDEM-X と同じ軌道で DLR SAR 衛星コンステレーションとして観測機会向上を図る。
セクター		<ul style="list-style-type: none"> • Civil/Other • Commercial
目的・ビジネスモデル ⁴³⁴		<ul style="list-style-type: none"> • 国防省の安全保障と防衛目的 • 商業用途、船舶追跡、気象検知
実施体制	出資 ⁴³⁵	国防省
	開発・製造 ⁴³⁶	Airbus Defence and Space
	打上 ⁴³⁷	Falcon 9（2018 年 2 月）
	地上局 ⁴³⁸	マドリードとカナリア諸島の INTA（国立航空宇宙研究所）ステーション
	運用 ⁴³⁹	Hisdesat/INTA
	データ処理配布/蓄積 ⁴⁴⁰	<ul style="list-style-type: none"> • マドリードの PDGS（Payload Data Ground Station）にて処理 • Hisdesat 社によりデータ提供
	付加価値サービス提供	不明
	主要ユーザ	研究機関
スペック ^{441,442,443}		<ul style="list-style-type: none"> • 規模：5m×φ2.4m、1341kg • 軌道：太陽同期ドーンダスク軌道 • 高度：514km • 回帰日数：11 日 • 機器： <ul style="list-style-type: none"> (1)SAR-X：海洋、陸、セキュリティのための高解像度全天候型多目的イメージャ (2)ROHPP（Radio Occultations and Heavy Precipitation with PAZ）： <ul style="list-style-type: none"> 垂直分解能による温度/湿度サウンディング、大雨検出

⁴³³ <https://www.restec.or.jp/satellite/paz>

⁴³⁴ <https://www.restec.or.jp/satellite/paz>

⁴³⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/paz#performance-specifications>

⁴³⁶ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/paz#performance-specifications>

⁴³⁷ <https://www.restec.or.jp/satellite/paz>

⁴³⁸ https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/seosar_paz

⁴³⁹ https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/seosar_paz

⁴⁴⁰ https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/seosar_paz

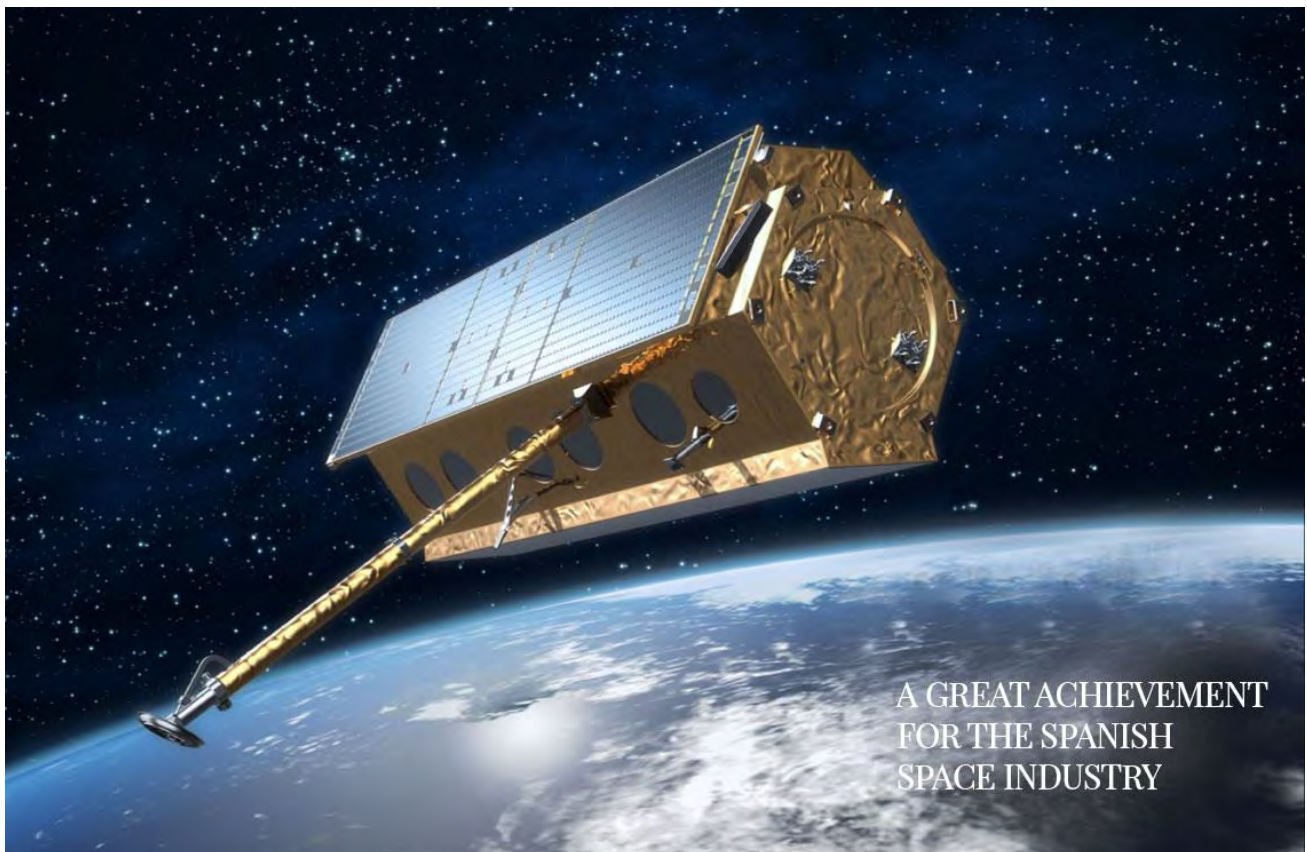
⁴⁴¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/paz>

⁴⁴² <https://www.hisdesat.es/en/paz/>

⁴⁴³ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/seosar_paz

	<p>K-band と Ka-band を使用</p> <p>(3)LRR (Laser Retro-Reflector) 宇宙測地学、精密軌道学</p> <ul style="list-style-type: none"> • 空間分解能： <ul style="list-style-type: none"> (1)スポットライトモード：1m ストリップマップモード：3m スキャン SAR モード：15m (2)水平約 300km、垂直約 0.5km (3) — • 観測幅： <ul style="list-style-type: none"> (1)スポットライトモード：5km ストリップマップモード：30km スキャン SAR モード：100km (2) — (3) — • 通信リンク <ul style="list-style-type: none"> • X-band ダウンリンク (300Mbit/s) (SAR データ用) • S-band ダウンリンク (32kbit/s or 1Mbit/s) • TT&C：S バンド双方向
--	---

図表 145 SEOSAR/Paz イメージ図⁴⁴⁴



⁴⁴⁴ <https://www.hisdesat.es/en/paz/>

xi. Spire Global / Lemur-2

- 2023年7月18日時点で170機が打上げ済み⁴⁴⁵。
- ROデータに関して Geoptics 社と競合。
- 衛星技術の提供、衛星製造～打上げ支援～地上局運用までのパッケージ支援、自社衛星で取得した RO データの提供などを事業とする。
- Covid-19 の影響による航空機搭載センサデータの減少に際し、European Center for Medium-Range Weather Forecasts と英国気象庁にデータを無償提供。
- NASA、NOAA、EUMETSAT などに RO データを提供・販売。
 - ◇ 2016年 NOAA データ提供契約（37万米ドル、Geo Optics 社とともに）⁴⁴⁶
 - ◇ 2018年 NASA テストデータ提供契約（Planet 社、Maxar 社とともに）
 - ◇ 2020年 NASA データバイパイロットで1年700万米ドルの契約⁴⁴⁷
 - ◇ 2020年 NOAA データバイプログラムで6か月間1日あたり3,000プロファイルを提供する契約
 - ◇ 2021年7月 NASA の CSDA プログラムへの参加を継続するため契約更新（12か月・600万米ドル）⁴⁴⁹
 - ◇ 2021年8月 EUMETSAT データ提供契約（詳細不明）⁴⁵⁰
 - ◇ 2021年9月 NOAA の運用数値天気予報モデルにデータ提供契約（6か月・金額不明）⁴⁵¹
 - ◇ 2022年2月 NOAA の無期限無限数量（IDIQ）契約（800万米ドル）⁴⁵²
 - ◇ 2022年6月 NASA の CSDA プログラムへの参加を継続するため契約更新（12か月・600万米ドル）⁴⁵³
 - ◇ 2022年7月 NOAA の商用気象データパイロット（CWDP）宇宙天気契約（12か月・170万米ドル）⁴⁵⁴
 - ◇ 2022年9月 NOAA の無期限無限数量（IDIQ）契約（6か月、990万米ドル）⁴⁵⁵
 - ◇ 2023年3月 NOAA の商用気象データプログラムの Radio Occultation Data Buy II の一環として無期限無限数量（IDIQ）契約（5年間、5900万米ドルを上限）⁴⁵⁶
 - ◇ 2023年8月 NASA の CSDA プログラムへの参加を継続するため契約更新（12か月・650万米ドル）⁴⁵⁷
 - ◇ 2023年9月 NOAA の商用気象データパイロット（CWDP）海洋表面風パイロット研究の

⁴⁴⁵ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/lemur_2

⁴⁴⁶ <https://spacepolicyonline.com/news/spire-geoptics-win-first-noaa-commercial-weather-data-contracts/>

⁴⁴⁷ <https://ir.spire.com/news-events/press-releases/detail/57/spire-global-awarded-noaa-contract-to-deliver-satellite>

⁴⁴⁸ <https://news.satnews.com/2021/09/02/contract-received-by-spire-global-from-noaa-for-satellite-weather-data-delivery/>

⁴⁴⁹ <https://spire.com/press-release/spire-awarded-contract-for-earth-observation-data/>

⁴⁵⁰ <https://spire.com/press-release/spire-global-chosen-to-provide-radio-occultation-satellite-data-to-the-european-organization-for-the-exploitation-of-meteorological-satellites/>

⁴⁵¹ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-noaa-contract-to-deliver-satellite-weather-data/>

⁴⁵² <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-8-million-noaa-contract-to-deliver-satellite-weather-data/>

⁴⁵³ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-6-million-nasa-contract-extension-for-earth-observation-data/>

⁴⁵⁴ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-1-7-million-noaa-contract-to-deliver-space-weather-data/>

⁴⁵⁵ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-9-9-million-noaa-contract-to-deliver-satellite-weather-data/>

⁴⁵⁶ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-national-oceanic-and-atmospheric-administration-contract-for-satellite-weather-data/>

⁴⁵⁷ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-6-5-million-nasa-contract-renewal-for-earth-observation-data/>

- 一部として契約（12 か月・280 万米ドル）⁴⁵⁸
- ◇ 2023 年 10 月 NASA の CSDA プログラムにデータ提供するための無期限無数量 (IDIQ) 契約（5 年間、4 億 7600 万ドルを上限）⁴⁵⁹
- ◇ 2023 年 12 月 EUMETSAT データ提供契約（2024 年～2026 年までの 2 年間、オプションで 1 年間の延長が 3 回、数百万ユーロ）⁴⁶⁰
- ◇ 2024 年 1 月 NOAA データ購入契約（8 か月間・940 万米ドル）。無期限無数量 (IDIQ) 契約の一部⁴⁶¹
- 2023 年 5 月、海事業界向けの気象インサイトプラットフォームをリリース⁴⁶²

図表 146 Spire Global 社 Lemur 概要

項目	内容	
概要	<ul style="list-style-type: none"> • 宇宙から海上、航空、気象活動を追跡する超小型衛星による商業コンステレーション。⁴⁶³ • 140 機以上のキューブサットを運用中。⁴⁶⁴ • Lemur-1:2014 年にソユーズロケットの上に、プロトタイプ衛星を打ち上げ。⁴⁶⁵ • Lemur-2:2015 年にインドの PSLV ロケットで 4 機を打ち上げ。⁴⁶⁶ • Lemur-2 のミッション期間中は段階的な改良を実施。 	
セクター	Civil/Others	
目的・ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> • 衛星プラットフォームとサポートシステムの実証が目的⁴⁶⁷ • 船舶の所在に関するデータの改善⁴⁶⁸ 	
実施体制	出資	NOAA:データの無期限無数量契約（Spire 社と合計 2300 万ドル） ⁴⁶⁹
	開発・製造	<ul style="list-style-type: none"> • 開発費用は 1 機あたり 100 万ドル以下⁴⁷⁰ • 既存の衛星に、SpireChain のソフトウェアをアップロード（2021 年 9 月 28 日にパートナーシップ）→ブロックチェーン技術の宇宙利用⁴⁷¹
	打上	<ul style="list-style-type: none"> • Lemur-1:ソユーズロケット（2014 年） • Lemur-2:インドの PSLV ロケット（2015 年） • ISS から打ち上げることで、一度に複数の小型衛星を低コストに⁴⁷²
	地上局	KSAT ⁴⁷³
	運用	Spire

⁴⁵⁸ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-2-8-million-contract-by-the-national-oceanic-and-atmospheric-administration-for-satellite-weather-data/>

⁴⁵⁹ <https://spire.com/press-release/spire-global-selected-for-nasa-idiq-contract-with-476-million-ceiling/>

⁴⁶⁰ <https://spire.com/press-release/eumetsat-awards-spire-global-multi-million-euro-contract-for-satellite-weather-data/>

⁴⁶¹ <https://spire.com/press-release/spire-global-awarded-9-4-million-contract-by-noaa-for-satellite-weather-data/>

⁴⁶² <https://spire.com/press-release/spire-global-launches-a-space-powered-weather-insights-platform-for-the-maritime-industry/>

⁴⁶³ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

⁴⁶⁴ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁶⁵ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁶⁶ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁶⁷ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁶⁸ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁶⁹ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁷⁰ <https://www.ipa.go.jp/files/000058297.pdf>

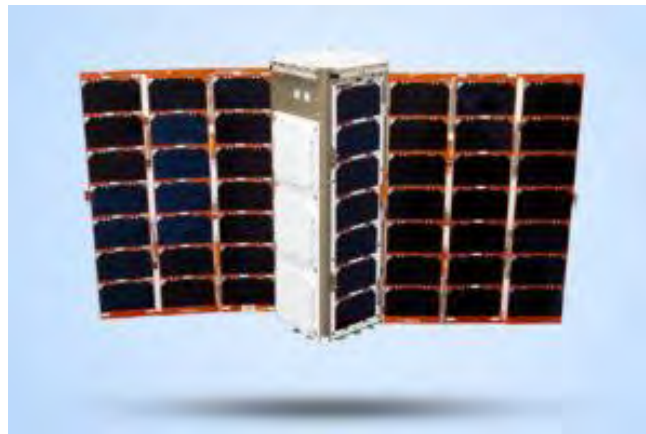
⁴⁷¹ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁷² <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁷³ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

データ処理配布/蓄積	<ul style="list-style-type: none"> • Ball Aerospace と共同で北極圏の海上交通を監視するデータ収集・分析プラットフォームを開発（NGA との関係による） • Spire の超小型衛星が AIS の追跡データを取得→Ball 社のクラウドベースデータ分析アーキテクチャ→ほかの GEOINT データと融合→船舶行動のベンチマークが確立
付加価値サービス提供	<ul style="list-style-type: none"> • 2016 年 9 月、NOAA の商用気象データパイロットプログラムにおいて、37 万ドルのデータ提供契約を締結⁴⁷⁴ • 2021 年 8 月、EUMESAT が 3 年、1100 万ドルで電波障害データを購入⁴⁷⁵
主要ユーザ	<ul style="list-style-type: none"> • 海運会社 • 保険会社 • 沿岸警備隊
スペック	<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：10×10×34.5cm であり、6kg 以下の重量⁴⁷⁶ • 軌道：太陽同期極軌道 • 高度：400-650km⁴⁷⁷ • 機器：Lemur-2:STRATOS GPS 電波掩蔽気象観測装置と SENSEAIS 船舶追跡装⁴⁷⁸ • 運用期間は 2 年⁴⁷⁹ • AIS 受信機、GPS を用いた特殊アンテナを使用⁴⁸⁰ • Lemur-1:中解像度のカラーカメラと低解像度の赤外線画像システムを搭載⁴⁸¹ • Spire ADCS による 3 軸の姿勢制御⁴⁸² • 通信リンク：UHF および S バンド

図表 147 Lemur イメージ図⁴⁸³



⁴⁷⁴ <https://www.ipa.go.jp/files/000058297.pdf>

⁴⁷⁵ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁷⁶ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

⁴⁷⁷ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

⁴⁷⁸ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁷⁹ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

⁴⁸⁰ <https://www.ipa.go.jp/files/000058297.pdf>

⁴⁸¹ <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁸² <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lemur>

⁴⁸³ <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

xii. KARI / Kompsat-5

- KARI（韓国航空宇宙研究院）が開発した、韓国文部科学省による国家開発ミッション計画の一部。
- GIS、海洋管理 (Ocean)、土地管理 (Land)、災害 (Disaster)、環境モニタリング (Environment monitoring) というミッションの特徴から GOLDEN ミッションと呼ばれる。⁴⁸⁴

図表 148 KARI KOMPSAT-5 概要

項目		内容
概要		<ul style="list-style-type: none"> • KOMPSAT プログラムの 5 番目のユニット。 • 主な任務は陸域観測であるが、AOPOD により大気掩蔽を計測し、宇宙天気にも貢献。⁴⁸⁵ • 2014 年 6 月以降に商業配布実施。⁴⁸⁶
セクター		Civil/Others
目的・ビジネスモデル		<ul style="list-style-type: none"> • 地図作成 • 土地利用と計画 • 災害監視⁴⁸⁷
実施体制	出資	KARI
	開発・製造 ⁴⁸⁸	<ul style="list-style-type: none"> • バス部・統合：KARI に加え、民間企業（Korea Aerospace Industries、Korean Air、Hanwha、Doowon Heavy Industries、Satrec Initiative） • X-bandSAR：タレス・アレーニアスペース
	打上	<ul style="list-style-type: none"> • 2013 年 8 月 22 日、ロシアのドンバロフスキー発射場から ISC コスモトラスの Dnepr-1 ロケットで打上げ⁴⁸⁹
	地上局	<ul style="list-style-type: none"> • KARI、スバルバル地上局⁴⁹⁰
	運用	<ul style="list-style-type: none"> • KARI・TAS-i⁴⁹¹
	データ処理配布/蓄積	商業配布
	付加価値サービス提供	特になし
主要ユーザ		不明
スペック		<ul style="list-style-type: none"> • サイズ：4m×2.6m、1,400kg⁴⁹² • 軌道：太陽同期ドーンダスク軌道⁴⁹³ • 高度：550km⁴⁹⁴ • 機器⁴⁹⁵： <ul style="list-style-type: none"> (1)COSI (Corea SAR Instrument) X-band (2)AOPOD(Atmosphere Occultation and Precision Orbit Determination)

⁴⁸⁴ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5#kompsat-5-korea-multi-purpose-satellite-5-arirang-5>

⁴⁸⁵ https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/kompsat_5

⁴⁸⁶ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁸⁷ <https://database.eohandbook.com/database/missionssummary.aspx?missionID=638>

⁴⁸⁸ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5#kompsat-5-korea-multi-purpose-satellite-5-arirang-5>

⁴⁸⁹ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5#spacecraft>

⁴⁹⁰ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹¹ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹² <https://spire.com/spirepedia/low-earth-multi-use-receiver/>

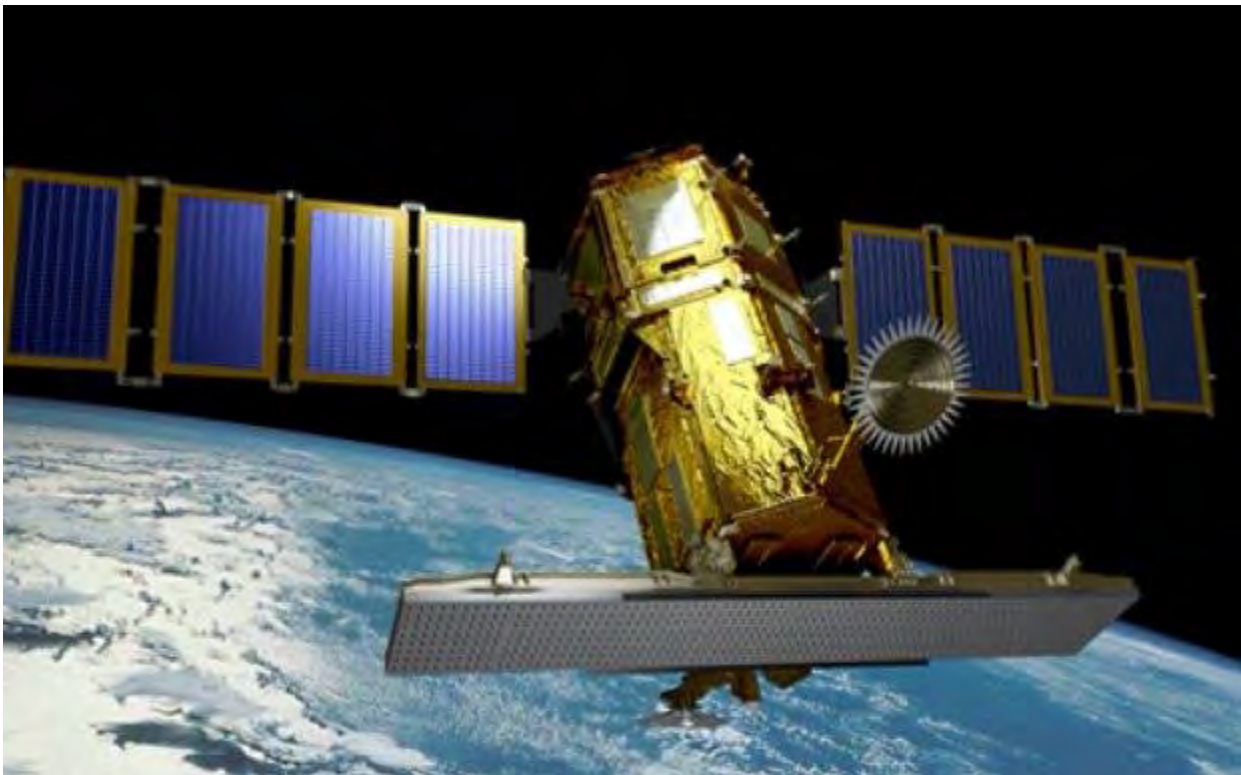
⁴⁹³ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹⁴ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹⁵ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5#mission-capabilities>

	<p>(3)LRRA(Laser Retro-Reflector Array)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 空間分解能：⁴⁹⁶ <ul style="list-style-type: none"> (1)1m (spotSAR) 3m (stripmap) 20m (ScanSAR) (2) — (3) — • 観測幅：⁴⁹⁷ <ul style="list-style-type: none"> (1)5km (spotSAR) 30km (stripmap) 100km (ScanSAR) (2) — (3) — • 通信リンク：S-band、X-band
--	--

図表 149 KOMPSAT-5 イメージ図⁴⁹⁸



⁴⁹⁶ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹⁷ <https://www.restec.or.jp/satellite/kompsat-5>

⁴⁹⁸ <https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-5#eop-quick-facts-section>

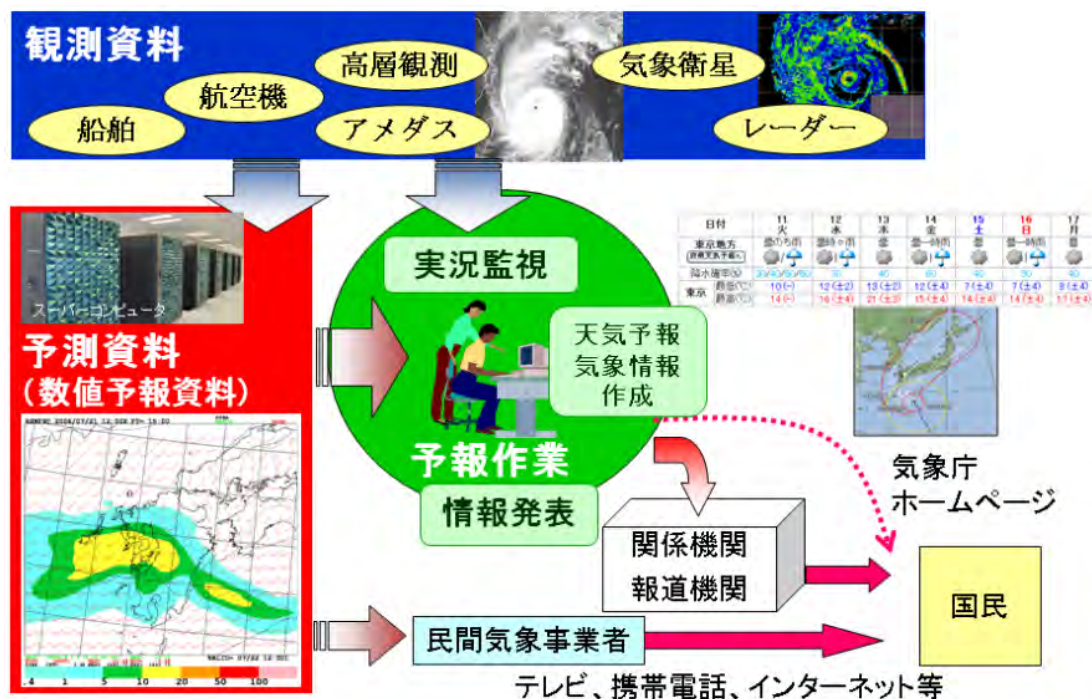
C) GNSS-RO データの用途

- GNSS-RO データを用いた用途としては、天気予報作成、気候モニタリング、電離層における宇宙天気研究がある⁴⁹⁹。宇宙天気研究は地球外の観測となり、また、気候モニタリングは、天気予報作成のためのデータを長期的に利用することになるため、ここでは天気予報作成における GNSS-RO データの利用について整理する。

i. 天気予報作成における利用

- GNSS-RO データは、天気予報の基礎となる数値予報天気図を作成する際に用いられている。
- 数値予報とは、コンピュータを用いて地球大気や海洋・陸地の状態の変化を数値シミュレーションにより予測するものである。衛星、航空機、アメダス、その他様々な観測資料を基に、気象庁が数値予報を作成し、天気予報等防災情報の基礎資料となるとともに、民間気象事業者へも提供している。
- 数値予報は各種観測から得られる物理量をもとに作成されている。GNSS-RO データはまばらではあるものの、全球に比較的均質にデータが分布している。
- GNSS-RO データは地上付近では品質の劣化のため、利用高度の下限が定められている⁵⁰⁰ものの、対流圏上層～中間圏の観測データを得ることができる重要な観測資料である。
- なお、気象庁は、世界気象機関（WMO）が定める気象データに関する新たな方針に則り、無償での相互流通により GNSS-RO データを取得する。⁵⁰¹

図表 150 観測から気象情報までの流れ⁵⁰²



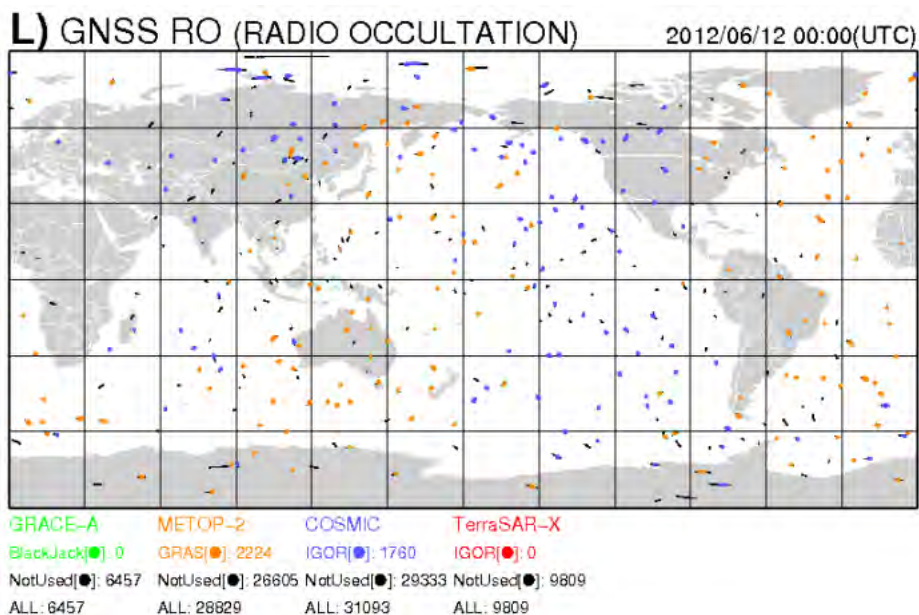
⁴⁹⁹ <https://www.cosmic.ucar.edu/what-we-do/gnss-radio-occultation>

⁵⁰⁰ <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/50/chapter3.pdf>

⁵⁰¹ <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2022/index8.html>

⁵⁰² https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/45/1_chapter1.pdf

図表 151 特定時刻前後 3 時間の GNSS-RO データの水平分布⁵⁰³



図表 152 各種観測データの観測対象高度の分布⁵⁰⁴

種 別		地表	対流圏下層	対流圏上層	成層圏	中間圏	全層積算
直接観測	地上(自動)観測	○					
	海上観測	△					
	航空機観測	▽	▽	○			
	高層観測	○	○	○	○		
	高層風観測	○	○	○	○		
地上リモートセンシング	ウインドプロファイラ		○	○			
	気象レーダー		○				
	気象ドップラーレーダー		○				
	解析雨量	○					
	地上GNSS						○
疑似観測	台風ポーガス	○	○	○			
静止衛星	大気追跡風		△	○			
	晴天放射輝度温度			○			
低軌道衛星	極域大気追跡風		△	○			
	マイクロ波サウンダ	*1	△	○	○	○	
	赤外サウンダ	*1	△	○	○	○	
	マイクロ波イメージャ	○	△				
	マイクロ波散乱計	△					
	GNSS掩蔽観測			○	○	○	

△: 海上のみ, ▽: 空港近傍のみ

*1: 地表に感度はあるが、地表面の細かな影響を受けることから、その計算は非常に複雑であり、利用できていない

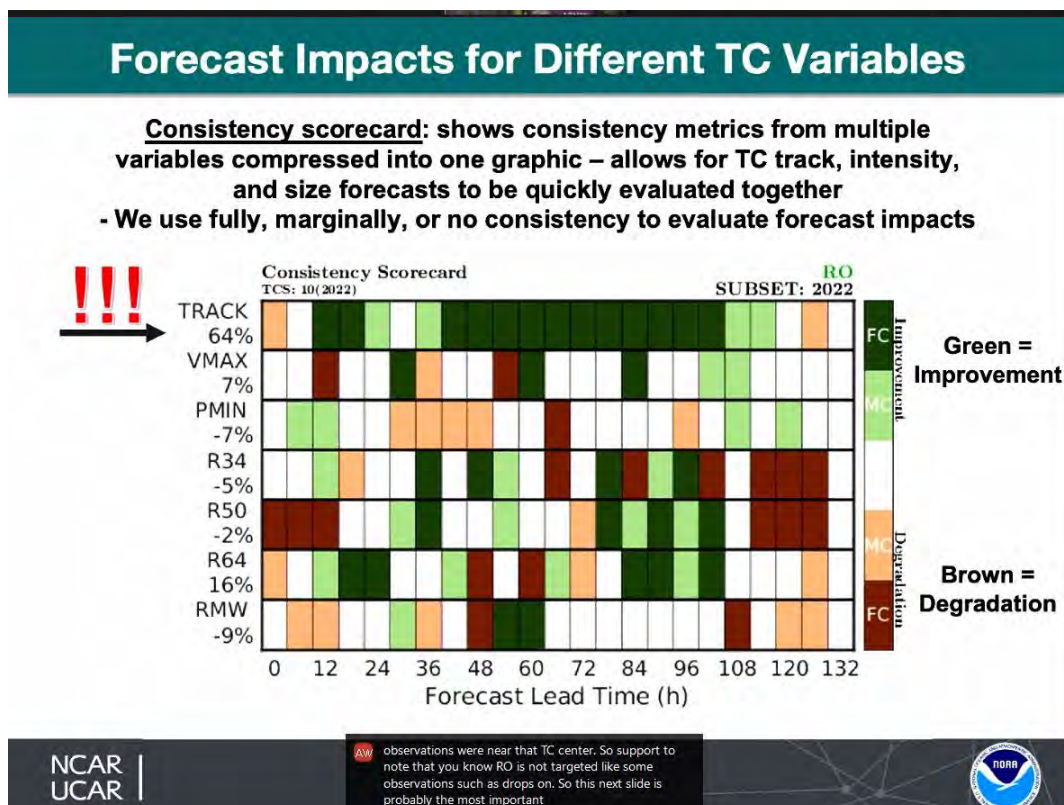
⁵⁰³ https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/45/1_chapter2.pdf

⁵⁰⁴ https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/45/1_chapter2.pdf

ii. 国際会議における言及

- AGU2023 では、GNSS-RO データを用いた AR（大気河川）現象予測や TC（熱帯低気圧）モデルへの同化による予測などの研究が実施されていた。これら研究においても、GNSS-RO データは天気予報、宇宙天気予報などにおいて重要なデータとして実際に使用されていることがうかがえた。但し、気象条件や高度によっては、その誤差も大きく、そのままでは使用できず、品質管理やエラーモデルの見直しなどが研究されている段階であった。
- 具体的研究内容として、TC モデルへの GNSS-RO データの同化について以下に整理する。
- GNSS-RO データの BAs（曲げ角度）を TC モデルに同化する研究が実施されている。比較結果は一貫性スコアカードと呼ばれるもので表現した。これは複数の TC に関する変数（軌道、最大風速など）の予測への影響を示したものである。緑色は改善、茶色は劣化を示しており、X 軸は予測リードタイムを示している。
- RO データを同化しない場合に比べ、軌道予測は向上し、特にリードタイムが長くなるにつれ改善が増加。最大風速では改善も劣化も確認。また上陸地点の予測もタイミングは異なるものの、観測とほぼ同一箇所であった。同化の最適化に向けては、品質管理の設定の見直しや新たなエラーモデルの実装が必要。

図表 153 一貫性スコアカードで示す GNSS-RO データの同化結果



出所：A12B-06 Impacts of Assimilating Optimized GNSS-RO Bending Angle Observations on HAFS Tropical Cyclone Forecasts from the 2022 Atlantic Hurricane Season

D) 日本の強み・弱みの分析

- 日本の強み・弱みとしては、現時点で GNSS-RO センサを搭載した衛星を保有している機関・企業が無いことから、本分野の観測サービスを日本で立ち上げることは困難と考える。
- 一方で、GNSS-RO データの用途やユーザが限定的であること、数値天気予報モデルの作成においては WMO が定める方針により無償でデータを入手できること、Spire 等他社が GNSS-RO データを活用して展開するような海事産業向けソリューションなどについてもその他データを基に類似ソリューションが展開可能なことがうかがえる。
- また、GNSS-RO データを活用するためには、全球をカバーするような大量のデータが望ましく、GNSS-RO データを取得できる衛星を 1,2 機運用するところでは、海外勢へ追いつくことも困難である。
- 以上より、本分野に対するキャッチアップは優先度が低く、他分野への投資の方が望ましいと考える。

2.4 SaaS

サマリー

- SaaS について、主に(1)SaTaaS (Satellite as a Service)、(2)GSaaS (Ground Station as a Service)、(3)SDaaS (Space Data as a Service) の三つのビジネスモデルに分けて検討。
- SaTaaS や GSaaS において、個社レベルでは先進的な取り組みを行っている国内事業者は存在するが、総じて欧米中に大幅に劣後している状況。
- 政府機関からの支出においても欧米中に対しディスアドバンテージがある
- これら踏まえ、海外追随よりも日本固有の特性を活かしたニッチな領域にてソリューション／解析プラットフォームを開発することが肝要か。

1) 本節における基本的な考え方

- 衛星データのニーズが高まる一方で、全ての企業が衛星を購入し、全体を統合し、ミッションを計画して打ち上げ、衛星データを取得するといった一連の能力全てを持てるわけではない。これらの実施には専門的な知識と莫大な資金が必要になるため、宇宙においても必要なソリューションにだけアクセスでき、自社事業にリソースを集中できる **as-a-Service** が求められている。
- 既にグローバルでは様々な企業が **SaaS (Space-as-a-Service)** のサービス提供を謳っており、そのビジネスモデルは多様だが、主に(1)**SaTaaS (Satellite as a Service)**、(2)**GSaaS (Ground Station as a Service)**、(3)**SDaaS (Space Data as a Service)** の三つのビジネスモデルに分けることができる。
 - ◇ **SaTaaS**：複数のミッションをホストし、プラットフォームおよびペイロード機器の両方を複数の顧客間で共有するなどのサービス。衛星センサや宇宙用機器、宇宙飛行用ソフトウェアを搭載してテストするなど、顧客のニーズに応じてミッション運用や実験なども行う。提供されるサービスの構成要素によって、地上における **SaaS (Software as a Service)** /**PaaS (Platform as a Service)** /**IaaS (Infrastructure as a Service)** と類似したものとなる。
 - ◇ **GSaaS**：地上局ネットワークを構築し、衛星事業者が柔軟性と拡張性をもって地上局アンテナを必要な時間だけ借りられるビジネスモデル。複数の衛星事業者でシェアすることで地上局オーナーは稼働率を上げられ、衛星事業者は **API** ベースで衛星との通信スケジューリングを簡単にできて運用負荷を減らすことができる。
 - ◇ **SDaaS**：画像をはじめとした衛星データの提供サービス。ユーザは一定期間契約することで（課金方法は様々）、衛星を持たずに必要な時に必要な量のデータを取得できる。
- **SaaS** は顧客にとっては必要なソリューションに低コスト・低リスクでアクセスできるため、早期にターゲット市場に参入することができるという利点がある。これは、地上ベースの **SaaS (Software as a Service)** と共通している。
- サービス提供者にとっても、安定した収益、高い顧客更新率、拡張性などの利点は共通している。地上ベースでは比較的小さな初期投資でクラウド上にアプリケーションを展開することができるので早期に収益に結びつけることができる一方で、その後の継続した成長には営業やマーケティングリソースへの継続的な資金投入が必要。他方、宇宙の **SaaS** では最初の収益を上げるために衛星やその他の技術を地上に配備するために多額の初期投資が必要となるが、その後は比較的容易に事業拡大が可能となる点で異なる。
- 以下では、上記(1)～(3)に分類される **SaaS** について、地上ベースのビジネスモデルと共通する要素と異なる要素があることを踏まえて、ビジネスモデルの利点、サービスの範囲、必要な技術要素（特に再訪性・迅速性・情報の質）や課題、各国の取り組み動向を可能な限り調査した上で、わが国の強み・弱みを踏まえて今後とるべき戦略をとりまとめる。
- 「再訪性」、「迅速性」、「情報の質」は地球観測衛星データのバリューチェーン毎に異なると考えられる。例えば再訪性については、製造領域ではコンステレーション構築、衛星データサービス領域ではセンサフュージョンが挙げられる。これを踏まえ、本節では以下の通り「再訪性」、「迅速性」、「情報の質」の観点を定義する。

- ◇ 再訪性
 - コンステレーション構築やセンサフュージョン等、時間分解能向上に資する技術的観点。
- ◇ 迅速性
 - 地上局構築、高速通信、衛星間通信等、衛星データのバリューチェーン上のレイテンシー向上に資する技術的観点。
- ◇ 情報の質
 - 上記以外の技術的観点。例えば空間分解能／スペクトル分解能向上、予測精度向上 (AI／ML)、データアクセシビリティ向上等の UX 向上等に資する技術的観点等。

2) SaaS の全体像

- SaaS のサービス範囲および技術要素について、再訪性／迅速性／情報の質の観点別に下図にまとめる。

図表 154 SaaS のサービス範囲およびトレンド

市場	XaaS	トレンド	再訪性	迅速性	情報の質
製造	SaTaaS	大規模コンステレーション構築／運用	○	—	—
		「ソフトウェア定義衛星」の構築／運用	—	—	○
打ち上げ	GSaaS	LEO—GEO/MEO—地上局通信NW	—	○	—
		大規模地上局NWの構築	—	○	—
地上局	GSaaS	地上局シェアリング	—	○	—
		クラウド上でのデータ管理／API等によるデータ提供	—	—	○
衛星運用	SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供	○	—	○
		解析PF／マーケットプレイス提供	—	—	○
衛星データサービス					

出所) DBにて編集

- 市場レポート⁵⁰⁵によると、SaaS 全体として下記の成長要因と障害が存在する。総じて成長要因については今後の発展が見込まれており、SaaS 全体として成長が見込まれている。一方で、衛星データの取り扱いにおける情報管理については何らかの制限がかかる可能性が高く、特に SDaaS において成長阻害要因となる可能性が高い。

◇ 成長要因

- 様々な事業領域での衛星データ／サービスを活用したデジタル化需要増加
- 小型衛星の大規模コンステレーション構築による小型衛星需要の増加
- 市場内の競争による衛星製造／打ち上げコスト価格低下
- As a service model による CAPEX から OPEX へのシフト

◇ 障害

- 機密データの取り扱いに関する基準の欠如や地域毎に異なる規制等
- パンデミック等によるサプライチェーン上のリスク

図表 155 SaaS の成長要因と障害

Growth Drivers

SPaaS: Growth Drivers, Global, 2022–2030

Driver	1–2 Years	3–4 Years	5–9 Years
Demand is Growing for Satellite Data and Services Across Several Different Industry Verticals , including industries that did not use satellite services earlier, as many sectors begin to digitize and automate.	High	High	High
Demand is Growing for Satellites in Space, Especially Small Satellites. With the mega-constellation trend for satellites, the demand for satellite services and data, especially small satellites, is significantly growing and driving the satellite market.	High	High	High
Launch and Satellite Manufacturing Costs are Decreasing. Competition in the space industry is significantly increasing as more players enter the market, impacting the industry in a positive way and driving competitive pricing.	Medium	High	High
Investment is Shifting from Heavy Capital Expenditure (CAPEX) to Operational Expenditure (OPEX). Traditionally, the space industry has been capital-intensive, with companies engaging in activities related to building and operating satellites. With the as-a-Service model and technological advancements, companies can outsource much of the work and focus on OPEX.	Medium	High	High

Source: Frost & Sullivan

FROST & SULLIVAN PDBD-66 11

⁵⁰⁵ Frost & Sullivan, “Global Space as a Service Growth Opportunities”

Growth Restraints

SPaaS: Growth Restraints, Global, 2022–2030

Restraint	1–2 Years	3–4 Years	5–9 Years
Companies are Facing Regional Space Regulatory Issues with Launching Satellites, Spectrum, and Ground Stations. Although the SPaaS model has helped alleviate these obstacles to some extent, new participants entering the market will face regulatory issues because of a lack of specific and updated policies for the space industry.	High	High	Medium
The Space Industry is Facing Supply Chain Issues Owing to the COVID-19 Pandemic. Wider supply chain problems delaying the growth of the space industry continue to have an impact. The pandemic has significantly lengthened lead times from a few weeks to many months.	Medium	Low	Low
The Industry is Facing Challenges with Regulatory Aspects for Handling Sensitive Data Owing to a Lack of Standard for Data Protection in Outer Space. Because no clear rules exist for handling sensitive space data, the as-a-Service model allows participants to sell data to a variety of customers, posing potential problems for the future.	Low	Medium	High

Source: Frost & Sullivan

FROST & SULLIVAN

PDBD-66

12

出所) Frost & Sullivan, “Global Space as a Service Growth Opportunities”

3) SaTaaS

A) ビジネスモデルとその利点・課題

i. ビジネスモデルと利点

- Satellite as a Service (SaTaaS) は、衛星開発／打ち上げ／運用／データ提供を包括的にサービスとして提供するものである。
- 顧客のメリットは、通常大規模な設備投資が必要な衛星開発／打ち上げ／運用において、その設備構築に関する資金的／時間的投資なく必要な衛星データを取得することが可能となることである。
- また、既存の一方プロバイダーのメリットは、プロバイダーが保有するプラットフォーム全体の資産をそのまま多くの顧客に提供できるため、収益性を最大化できることである。

ii. 課題

• 迅速性

- ◇ 「2.5 新たな衛星データ提供環境の分析」で述べるように、気象／海洋気象／災害等の観測において NRT レベルの高いレイテンシーが求められている。
- ◇ WSBW2022 においても、保険領域では 1 時間スケールのデータアップデートが、防衛／インテリジェンス領域では分スケールのレイテンシーが求められており⁵⁰⁶、またレイテンシーを向上するためには、マルチオービットの衛星間通信による地上局との常時接続の必要性などについても議論があった⁵⁰⁷。
- ◇ 上記を踏まえると、SaTaaS として下記のような技術要素が課題となる。
 - 高速 NW（光通信含む）
 - GEO/MEO – LEO の衛星間通信ネットワークの構築

• 再訪性

- ◇ 上記の NRT 観測を実現するために、カバレッジや再訪率の向上も重要であり、SaTaaS としては下記の技術要素が課題となる。
 - 大規模なコンステレーション構築・運用

• データの質

- ◇ 衛星やセンサ等のハードウェアを様々な顧客で共有するスキームであるため、顧客ニーズに応じたスペック／価格の最適化が困難である。
- ◇ ニーズに応じて汎用的に性能をコントロールするためには、SaTaaS としては下記の技術要素が課題となる。
 - 「ソフトウェア定義衛星」の開発／提供

⁵⁰⁶ WSBW2022, “Maritime Awareness: The Quest for New Insights”

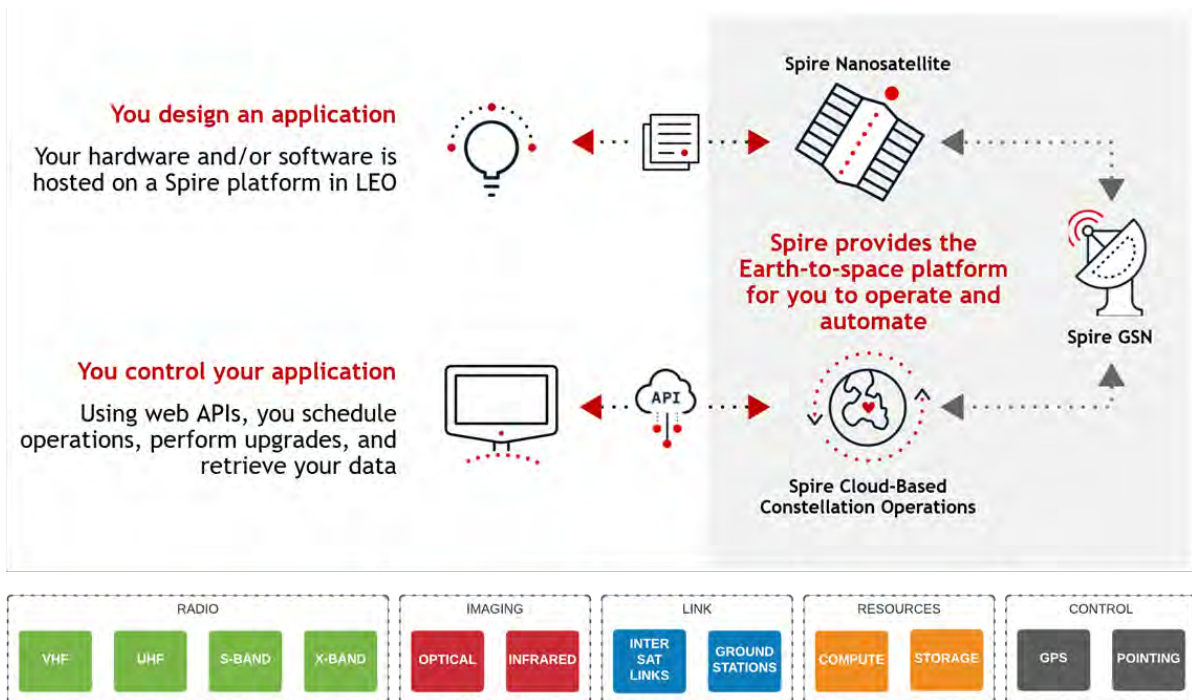
⁵⁰⁷ WSBW2022, “GSaaS: Gateway for Value Creation in the EO Business”

B) 事例

i. Spire Global

- 「ソフトウェア定義性の開発／提供」
 - ◇ ソフトウェア定義衛星（Software Defined Satellite; SDS）によるコンステレーション構築により、軌道上の衛星に対して顧客が開発したソフトウェアをアップロードすることが可能⁵⁰⁸。

図表 156 Spire のソフトウェア定義衛星によるサービス概要



出所) Spire

- 高速 NW（光通信含む）
 - ◇ Kepler Communication 社の大容量 Ku バンドソフトウェア無線ペイロードを搭載した衛星を 2023 年に打ち上げ予定であり、オプションで同衛星を 50 基程度まで拡張する予定⁵⁰⁹。
- 大規模なコンステレーション構築・運用
 - ◇ Lemur と呼ばれる 150 機以上の LEO cubesat コンステレーションを構築し、顧客にコンステレーションの利用サービスを提供。

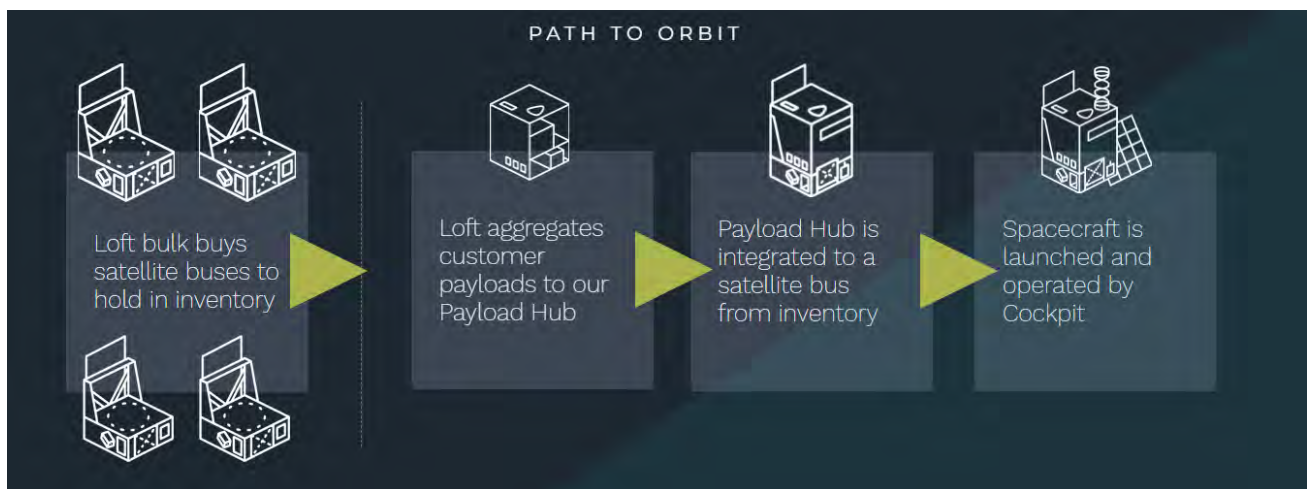
⁵⁰⁸ <https://spire.com/space-services/>

⁵⁰⁹ <https://kepler.space/2022/05/10/kepler-provides-on-orbit-high-capacity-data-service-to-spire-global/>

ii. Loft Orbital

- 大規模なコンステレーション構築・運用
 - ◇ 顧客が開発したペイロードの軌道投入～衛星運用をソリューションとして提供し、顧客のコンステレーション構築を高速かつ安価にサポート。
 - ◇ Loft Orbital が購入した衛星バスに、Payload Hub と呼ばれるバスに依存しない標準化されたハブに様々な顧客のペイロードを格納し、ライドシェア形式で打ち上げ。
 - ◇ 打ち上げ後は Cockpit と呼ばれるソフトウェアを用いて顧客が容易にコンステレーションを管理可能。

図表 157 Loft Orbital サービス概要



出所) Loft Orbital

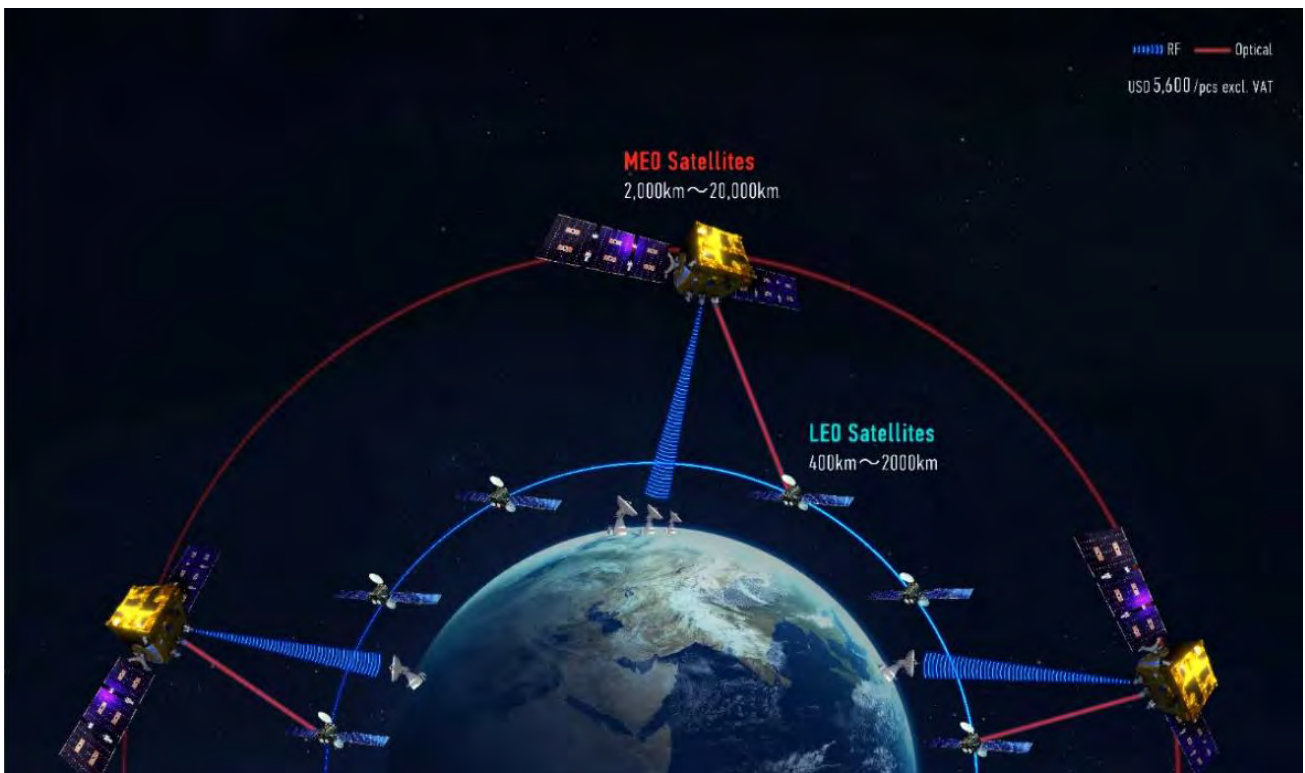
iii. AAC Clyde Space

- 高速 NW (光通信含む)
 - ◇ 顧客のニーズに応じてミッション設計・製造・運用までを包括してサービス提供。
 - ◇ 自社製造している様々な電子機器を組み合わせ、オーダーメイドでペイロードを製造可能。
 - ◇ 自社製造している電子機器の中には、CubeSat と互換性のあるレーザー通信端末 CubeCAT があり、アップリンクで 200Kbps、ダウンリンクで最大 1Gbps の通信が可能。

iv. WARPSPACE

- GEO/MEO – LEO の衛星間通信ネットワークの構築
 - ◇ 光通信機器を搭載した 3 基の中継衛星を高度約 2,000 キロの中軌道 (MEO) に打ち上げ、地上と常時接続できるネットワークシステム「WarpHub InterSat」を構築。
 - ◇ これにより、従来の電波通信では 1 時間に 10 分程度しか許されなかった地上局とのアクセス時間をほぼリアルタイムにまで拡大可能。
 - ◇ また、光通信を用いることにより 1Gbps のデータスループットを実現可能。

図表 158 WarpHub InterSat イメージ



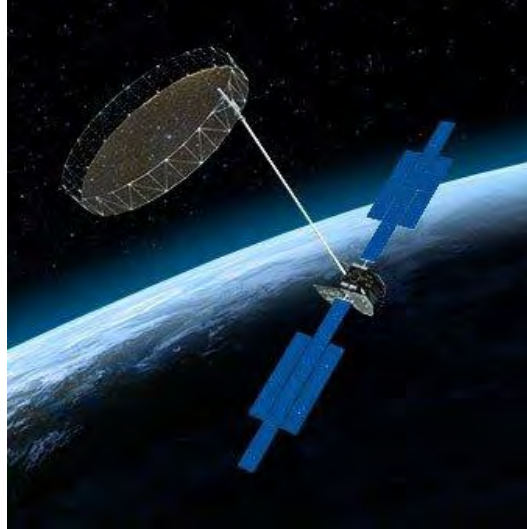
出所) WARPSPACE

v. Viasat

• GEO/MEO – LEO の衛星間通信ネットワークの構築

- ◇ 3つの大容量 Ka バンド通信衛星からなるコンステレーションを GEO に展開し、LEO の地球観測衛星がこれを経由して地上局にデータ転送することにより、24時間365日のダウンリンクを可能とすることを計画中。
- ◇ 2023年5月には1基目となる Viasat-3 Americas が打ち上げに成功済。

図表 159 Viasat-3 イメージ



出所) Viasat

4) GSaaS

A) ビジネスモデルとその利点・課題

i. ビジネスモデルと利点

- Ground Station as a Service (GSaaS) は、地上局設備およびネットワークを顧客に提供することで、顧客の衛星運用／データ処理／データ取得を可能にするサービスである。
- 地上局の専用ネットワークを提供するスキームと、複数の地上局端末をデジタルプラットフォームとして統合し、比較的稼働の少ない地上局へ接続させるスキームの 2 パターンが存在する。
- 顧客の利点は、地上インフラの設備投資なく衛星データの取得が可能となるため、グローバルにサービスを拡大する際の資金的／時間的投資が抑えられる点や、地上局設置に関する規制上の問題（周波数等）を回避できる点などが挙げられる。
- プロバイダーの利点は、SaaS 同様自社資産の価値最大化である。

ii. 課題

- 迅速性
 - ◇ レイテンシー向上のためには撮像後にいかに早く地上局にデータをダウンリンクできるかが重要である。
 - ◇ 地上局と衛星の通信機会を増やすための方法は、1 つは前節で述べた GEO/MEO-LEO の衛星間通信であるが、地上局事業者にも下記 2 つの方法がある。
 - 大規模地上局ネットワークの構築
 - 既存地上局のシェアリング
- データの質
 - ◇ ダウンリンク後にいかにユーザアクセシビリティ高くデータを提供できるかという観点では、クラウド上でのデータ管理や API によるデータ提供等の機能も重要となる。

B) 事例

i. KSAT

- 大規模地上局ネットワーク構築

- ◇ 現在世界中に 270 基以上の地上局アンテナを配備し、これらを衛星事業者に貸し出している KSAT 社では、今後も衛星コンステレーションの発展に伴う利用拡大を見据え、南極や米国本土にアンテナを増築することを計画⁵¹⁰。

図表 160 KSAT の地上局ネットワーク



出所) KSAT

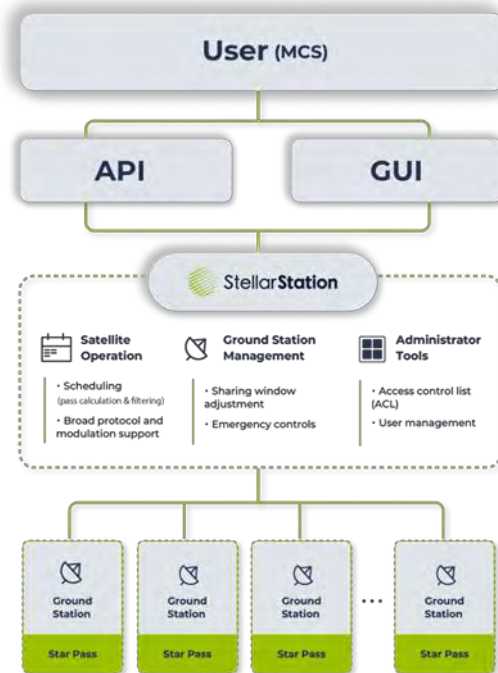
⁵¹⁰ <https://www.ksat.no/news/news-archive/2023/ksat-expands-their-global-ground-network/>

ii. インフォステラ

- 既存地上局のシェアリング

- ◇ 衛星通信事業者が共通のインターフェースを通じて世界中の様々な地上局を利用可能とするクラウドプラットフォーム、Stellar Station を提供。
- ◇ Stellar Station 内で AWS Ground Station を利用可能。

図表 161 Stellar Station のサービス概要

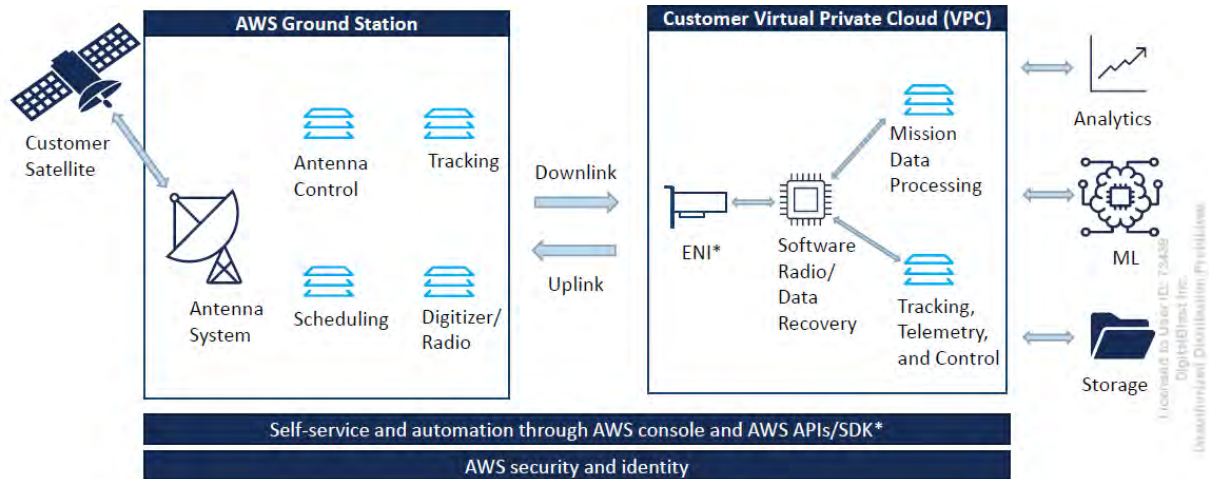


出所) Infostellar

iii. AWS

- クラウドプラットフォーム上でのデータ管理および API 等によるデータ取得
 - 衛星通信のコントロール、衛星データ処理、衛星運営のスケールリングを可能にするサービス AWS Ground Station を提供。
 - 主に AWS 独自に設置した地上局アンテナを利用し、取得した衛星データは顧客の Virtual Private Cloud (VPC) 上に格納される。
 - 顧客は VPC 上でテレメトリ、追跡、制御、取得データの前処理等が可能。

図表 162 AWS Ground Station のアーキテクチャ

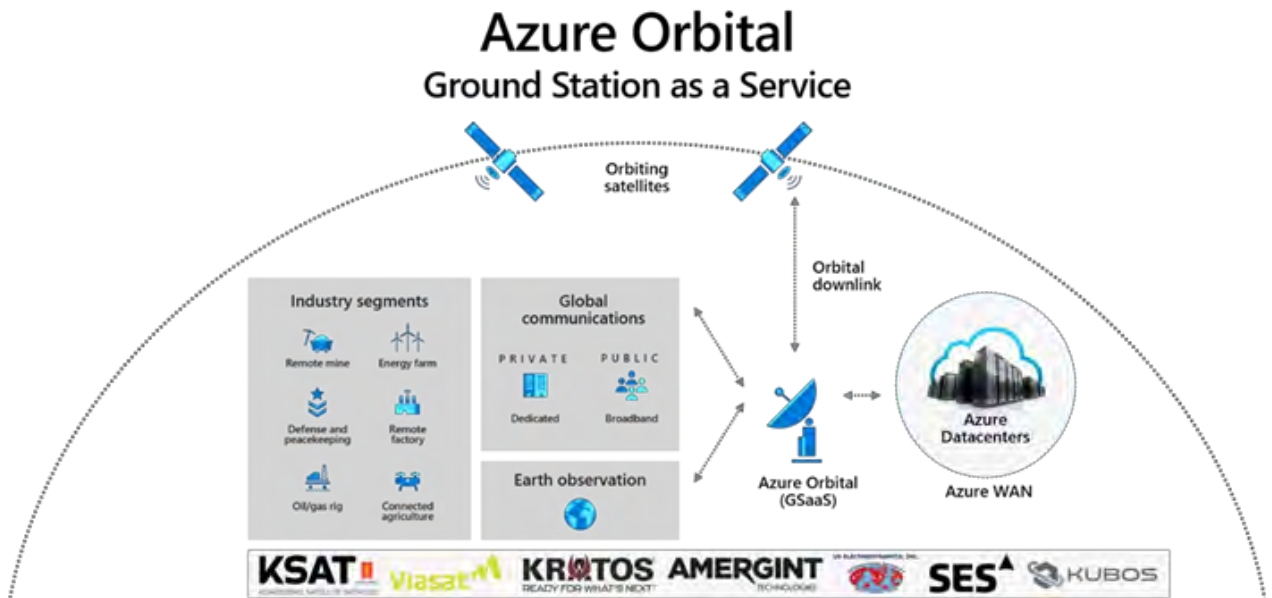


出所) Frost & Sullivan “Global Space as a Service Growth Opportunities”

iv. Microsoft

- クラウドプラットフォーム上でのデータ管理および API 等によるデータ取得
 - ◇ 基本的には AWS と同様のサービスを提供しているが、Microsoft は地上局パートナーである ViaSat/KSAT 等の地上局を統合して利用可能である。

図表 163 Azure Orbital のアーキテクチャ



出所) Microsoft

5) SDaaS

A) ビジネスモデルとその利点・課題

i. ビジネスモデルとその利点

- Satellite Data as a Service (SDaaS) は、顧客が衛星の開発／運用等を行うことなく、要求する衛星データ、またはそれらの解析結果を直接購入することが出来るサービスである。
- 顧客の利点は、SaTaaS や GSaaS 同様、衛星および地上局の構築／運用等にかかる時間的／資金的投資が大幅に節約される点や、都度発生するニーズに応じて様々な衛星データを適切に選択し利用することが出来る点等があげられる。

ii. 課題

- 情報の質
 - ◇ 単一の衛星／センサのデータを処理しても、その解析結果の品質には限界があり、顧客が満足するようなインサイトは提供できない。例えば単一の光学衛星のデータだけの解析においては、十分な時間分解能が得られなかったり、夜間や雲に覆われた地域の情報は取得できなかったりするなど、様々な障壁が存在する。
 - ◇ 近年では様々な衛星のデータを融合し、機械学習を活用することでよりデータの付加価値を高める「データフュージョン」と呼ばれる技術が注目を浴びている。上記の例でいえば、他の光学衛星のデータを掛け合わせることで時間分解能を補完する方法や、夜間や雲に覆われた地域でも地上を観測可能な SAR 衛星データと掛け合わせることで、観測可能な時間帯／地域を拡張する方法などがある。また、フュージョンおよび機械学習により、より精度の高い予測や分類などを実現することも可能となる。
 - ◇ データフュージョンや AI/ML を用いた解析を実現するためには、様々な衛星データを統一的な方式で取得可能としたり、AI/ML を用いた大規模な計算リソースを提供するようなプラットフォームおよびマーケットプレイスの構築が肝要である。
 - ◇ これらを踏まえると、情報の質を向上するためには、SDaaS として下記のような技術要素が課題となる。
 - フュージョン・AI/ML による高付加価値データ提供
 - 解析 PF／マーケットプレイス構築

B) 事例

i. Orbital Insight

- フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供
 - ◇ 光学衛星データとAIにより、世界中の石油の浮屋式タンクの影を識別することで浮屋根式の高さを推定し、各タンクの貯蔵量を推定。これと SAR 観測による浮屋タンクの高さ測定をフュージョンすることで、グローバルな石油の貯蔵量データを日次ベースで提供⁵¹¹。
- 解析 PF/マーケットプレイス構築
 - ◇ 衛星データ、モバイルロケーション、コネクティッドカー、IoT データなど複数の地理空間データを組み合わせることによりさまざまな解析を可能とする SaaS 型のプラットフォーム「Orbital Insight GO」を提供。
 - ◇ 当ソリューションでは、車両/船舶検知、動態分析等の解析が可能となっている⁵¹²。

図表 164 Orbital Insight 石油貯蔵量推定のソリューションイメージ



出所) Orbital Insight

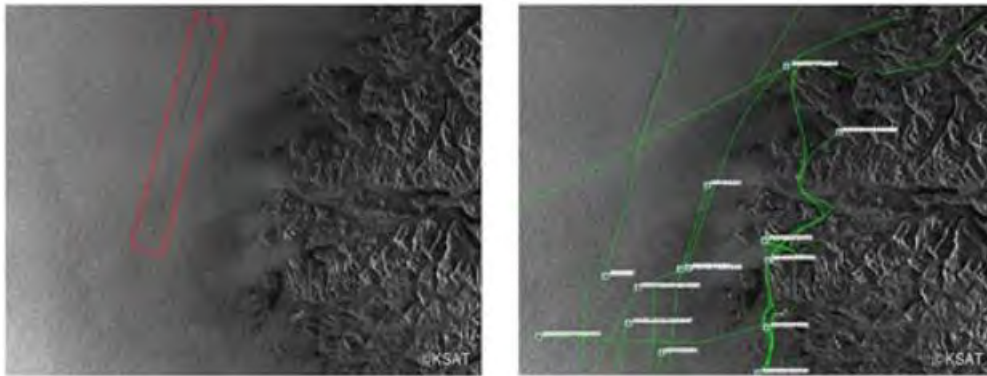
⁵¹¹ <https://orbitalinsight.com/use-cases/oil-inventories>

⁵¹² <https://jp.orbitalinsight.com/archives/blog/first-time-to-use-go/>

ii. スカパーJSAT

- フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供
 - ◇ 政府機関向けに高頻度な船舶オイル漏れ検知サービスを提供しており、2023年6月には伊藤忠商事とKSAT社との協業によりカタール環境省に対し本サービスの提供を開始している。
 - ◇ 同サービスでは、同サービスはKSAT社が保有する様々なSAR衛星（RADARSAT-2、COSMO-SkyMed 1-4、Sentinel-1、Gaofen-3、TerraSAR-X/TanDEM-X等）のデータを利用して時間分解能を改善し、高頻度なオイル漏れ検知を実現している。
 - ◇ 加えて、自社が保有するAISデータを組み合わせることで、オイル漏れを起こした船舶の識別も可能にしている。

図表 165 高頻度オイル漏れ検知サービスのイメージ



左：オイル漏れ画像、右：AIS 情報

出所) スカパーJSAT

iii. EU/ESA

- 解析 PF/マーケットプレイス構築

- ✧ ESA が管理する世界最大の地球観測プログラムである Copernicus Program は、2023 年 1 月から「Copernicus Data Space Ecosystem」と呼ばれるプラットフォームサービスの提供を開始。
- ✧ 特徴は以下 2 点
 - ESA の保持する衛星 (Sentinel 等) だけでなく、光学、赤外線、SAR 等様々な波長帯の民間衛星観測データセットも保持している点。運用期間が長く豊富なアーカイブを持つ Sentinel 衛星のデータセットは機械学習およびデータフュージョンに適している。同サービスにより Sentinel 衛星データと民間の衛星データが 1 つのサービスから取得可能となったことでデータフュージョンが促進されることが期待される。
 - 有料である点。政府系プロジェクトでは、予算が確保されるものの期限付きであり、プラットフォーム構築後の自立性、持続可能性に関して課題となることが多い。一方で同サービスは商用データや解析環境を有料で提供することで、持続可能な運営を目指している。
- ✧ 民間衛星の追加は「Copernicus Contributing Mission」と呼ばれるプログラムの中で実施されており、2023 年 6 月には新たに欧州のスタートアップ 9 社 (下図表参照) と 5 年間 500 万ユーロで地球観測画像提供の契約を締結し、民間衛星データの追加に注力している。

図表 166 Copernicus Contributing Mission にて 2023 年 9 月に契約した企業

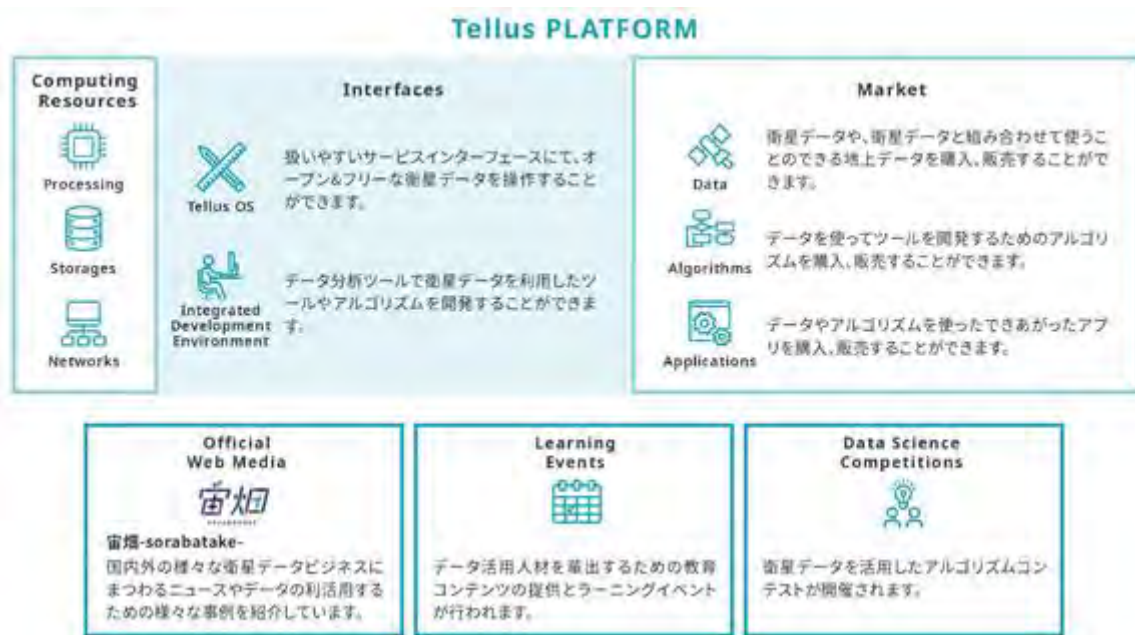
企業名	国	センサ・観測対象
AerospaceLab	ベルギー	光学マルチスペクトル
EnduroSat	ブルガリア	光学マルチスペクトル
KuvaSpace	フィンランド	光学ハイパースペクトル
Constellr	ドイツ	熱赤外線 (農地・水)
Orora Tech	ドイツ	熱赤外線 (森林火災)
Satlantis	スペイン	大気 (メタン)
Prométhée	フランス	光学マルチスペクトル
Absolut Sensing	フランス	大気 (メタン等)

iv. Tellus

- 解析 PF/マーケットプレイス構築

- ◇ 衛星データや地上データ（洪水や雷の観測値や道路中心線マップ等）、およびそれらの解析アルゴリズムのマーケットプレイスと、解析環境をセットにしたプラットフォームを提供。
- ◇ 現在は主に ALOS-1/2（だいち 1 号/2 号）や GCOM-C（しきさい）、HISUI、SLATS（つばめ）などの官主導で開発された国内衛星データに注力。
- ◇ 国内外の民間衛星データについては Maxar やアクセルスペース社のデータにとどまり、豊富に整備されていないのが現状⁵¹³。

図表 167 Tellus プラットフォームの概要



出所) さくらインターネット社

⁵¹³ <https://www.tellusdp.com/ja/catalog/data/>

6) 日本の強み・弱みの分析

- 前述した SaTaaS、GSaaS、SDaaS の現状とデータフュージョンに関する技術研究の動向 (2.8 1) IGARSS) を踏まえると、個社レベルでは一部国内でも先進的な取り組みが行われているが、全体的に欧米に大幅に劣後している状況。

図表 168 SaaS における我が国の強み・弱み

XaaS	トレンド	強み・弱み
SaTaaS	大規模コンステレーション構築／運用	 メガコンステレーションはPlanet、Spire等米国の独壇場 SARコンステレーションではsynspective等が国内に存在
	LEO – GEO/MEO – 地上局通信NW	 Viasat等が先行しているが、国内にもWARPSpaceやSpace Compass等が追随
	「ソフトウェア定義衛星」の開発／運用	 Spireは既にサービス化している一方、国内は圧倒的に劣後
GSaaS	大規模地上局NW構築	 KSAT、SSCなどの海外企業の独壇場
	既存地上局のシェアリング	 ハードはKSAT、SSC等の独壇場 シェアリングのためのソフトウェア／ミドルウェアではinfostellar等の国内企業が先進的
	クラウドPF上でのデータ管理／API等によるデータ提供	 AWS、Microsoft等の海外メガプラットフォーマーの独壇場
SDaaS	フュージョン・AI/MLによる高付加価値データ提供	 技術は圧倒的に欧米中に劣後 国内企業が海外企業と協業でグローバル市場に参入した例はあるが、稀
	解析PF提供	 官民の多様なデータ整備で圧倒的な差がある

A) SaTaaS

- 再訪性を高めるための大規模コンステレーションについては Planet や Spire 等の独壇場。
- 迅速性を高めるための LEO – GEO/MEO – 地上局通信ネットワークについては Viasat が先行しつつ、WARPSpace や Space Compass 等の国内企業も先進的な取り組みを行っている。
- 情報の質を高めるための「ソフトウェア定義衛星」の開発／運用については、地球観測分野では Spire が先行。

B) GSaaS

- 迅速性を高めるための大規模地上局ネットワークの構築や既存地上局のシェアリングについては、KSAT や SSC 等の大規模地上局事業者の独壇場ではあるが、ミドルウェアやソフトウェアの領域については infostellar 等国内でも先進的な取り組みが行われている。
- 情報の質を高めるためのクラウド PF でのデータ管理／API 等によるデータ提供については、海外のメガ IT プラットフォーマー (AWS/Microsoft 等) の独壇場。

C) SDaaS

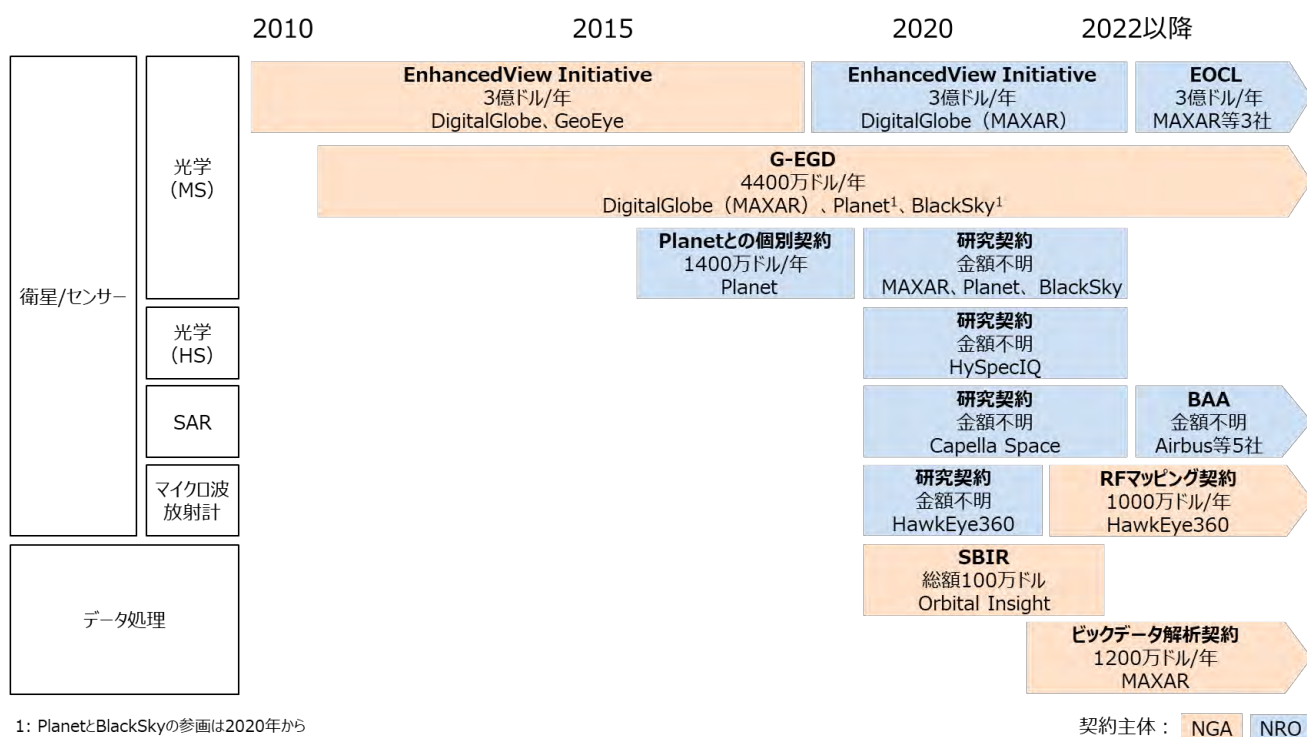
- 再訪性および情報の質を高めるためのフュージョンに関する技術研究においては、欧米中に劣後（「2.81 IGARSS」参照）。
- 解析プラットフォームの提供においては、官民の多様なデータの整備において欧米に大きく劣後。

7) 今後日本がとるべき戦略や取り組むべき研究開発計画の提言

A) 前提

- 地球観測衛星の市場において、官の資金力の観点では欧米とは大きな差があるのが現状である。
- 例えば米国では、下図表の通りインテリジェンス機関が地球観測衛星事業者およびデータ解析事業者に莫大な資金を提供しており、衛星開発では年間で数億ドル、データ解析で年間1,000万ドルの規模となっている。

図表 169 米国におけるインテリジェンス機関からの資金提供



- 加えて、欧州においても前述したとおり Copernicus Contributing Mission において民間衛星事業者に対して5年で総額4,500万ユーロのデータ提供契約を締結する等、民間衛星事業者への資金提供が加速している。

B) 今後日本が取るべき戦略や取り組むべき研究開発計画

- 上記と我が国の強み・弱みを踏まえると、既に先行されている領域や大規模な資本が必要なサービスではなく、よりニッチな領域で、日本の自然環境の特性や地理的特性を活かしたサービスを展開することが肝要と考えられる。
- 以下では、考えられ得る我が国特有の SaaS の案について述べる。

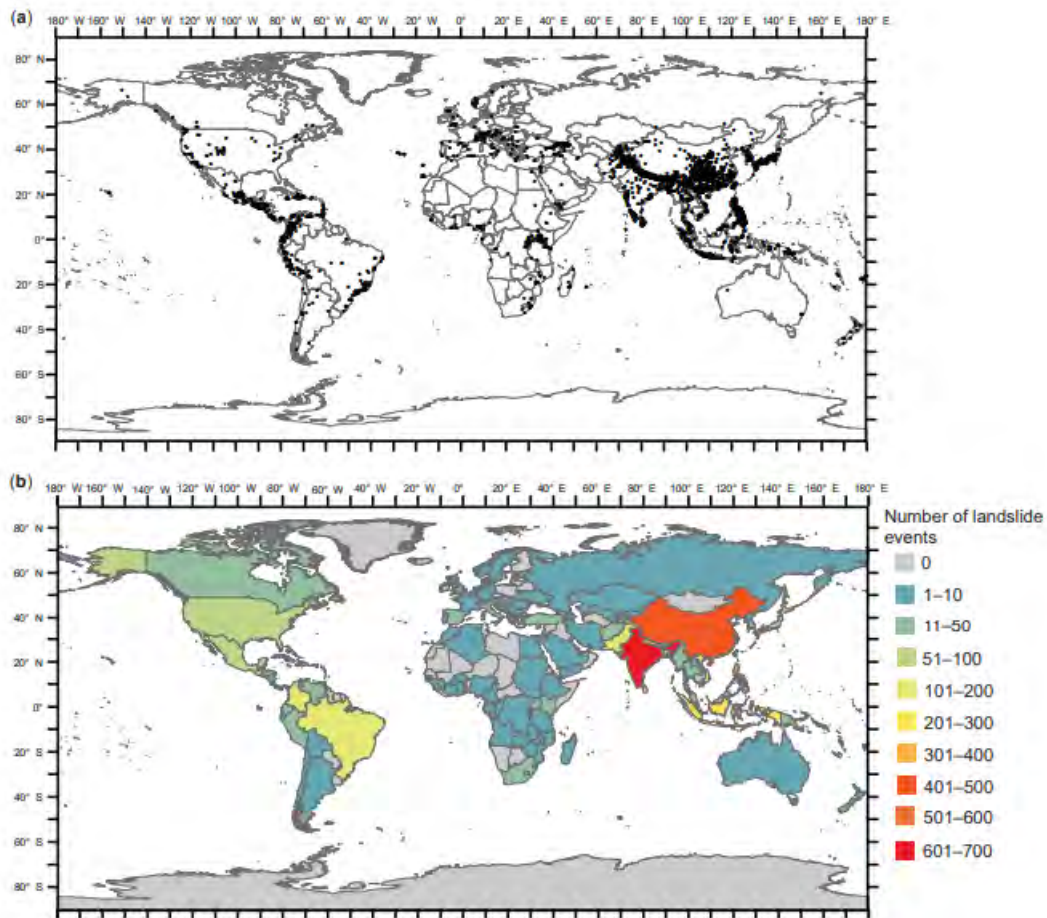
i. 自然環境の特性を活かしたサービス

- 日本は年間を通して降水量が多く、傾斜地も多いことから、非常に多くの地滑り災害に見舞われる国である。
- 地滑りの予兆検知技術については、主に InSAR と呼ばれる SAR 画像解析技術や AI/ML を利用する研究がなされており、たとえば 2023 年の IGARSS においては合計 21 個の発表があった。
- 当該技術については学術的研究がなされている一方で、ソリューションとして展開している企業はカナダの 3vG 社⁵¹⁴やイタリアの TRE ALTAMIRA 社⁵¹⁵等があげられるが、山火事や洪水検知等のその他のソリューションと比べると比較的少数である。その中でも国内の SAR 衛星事業者である Synspective 社では、地滑りリスクを推定するソリューション「Land Displacement Monitoring (LDM)」をリリースしており、世界的に見ても先進的な取り組みを行っているといえる。
- このような地滑りリスクを推定するソリューションは国際的にも需要が高いと考えられる。下図表は 2004 年から 2016 年までに発生した世界各国の非地震起因の大規模な地滑り発生数を示している。この図から、中国、インド、東南アジア、南北アメリカ大陸の西海岸沿いで非常に多くの大規模地滑りが発生していることが確認できる。このことから、当該ソリューションが国際的にも需要の高いサービスであることが示唆される。

⁵¹⁴ <https://3vgeomatrics.com/>

⁵¹⁵ <https://site.tre-altamira.com/>

図表 170 各国の大規模地滑り発生数



出所) M. J. Froude and D. N. Petley, “Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016”

- 上記より、日本の自然環境特性ゆえに国内のニーズが高い地滑りリスク推定ソリューションは、国際的にもプレゼンスを発揮する可能性があり、日本が先行して開発する価値が高いといえる。

ii. 地理的特性を活かしたサービス

- 日本はロシア／東アジア諸国の隣国であり、また東側に太平洋を睨む位置にある。東アジアについてはインテリジェンス関連や洪水などの自然災害等において、太平洋沖については海洋気象や海事において、低レイテンシーでのデータ提供が求められると考えられる（低レイテンシーに対する各事業領域からのニーズは次節参照）。
- 低レイテンシーのデータ提供を実現するためには、衛星から地上局へのダウンリンクをいかに早く実現するかが重要であるため、撮像直後に通信可能な地上局を整備することが重要となる。また、クラウド上でのデータ転送に係る時間を考慮すると、データ解析についても地上局付近のデータセンターにデータを格納し、低次～高次の処理を行うことが望ましい。
- 一方で地上局は地政学的な要因もあつてか、東アジア地域には地上局は多くなく、数社が韓国や日本に設置するのみに留まっている（下図表参照）。

図表 171 各地上局事業者のネットワーク



左上：KSTAR、右上：SSC、左下：Microsoft、右下：AWS
※一部パートナー企業の地上局も含まれていることに留意

出所) 各社公開情報より

- 2023年10月には infostellar 社が北海道大樹町に設置した地上局で Planet 社のホスティングを開始する等、大規模コンステレーション事業者にも日本の地理的な重要性が認識されていることが示唆されている⁵¹⁶。
- 上記のことから、日本に多数の地上局を配備し、ダウンリンクされたデータやそれらの解析結果を低レイテンシーで提供することで、ロシア／東アジアおよび太平洋沖における SDaaS の中心的役割を担えるものと思料する。

⁵¹⁶ <https://www.infostellar.net/jp/news/MIC-approval-for-Planet>