

# 小型衛星コンステレーションと宇宙天気

## 第17回 宇宙天気ユーザーズフォーラム 講演資料

2022/12/13

株式会社アクセルスペース エンジニアリング本部 シニアエンジニア

國母 隆一



# 目次

- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望



# アクセルスペース会社紹介

- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望

## 〔Vision〕

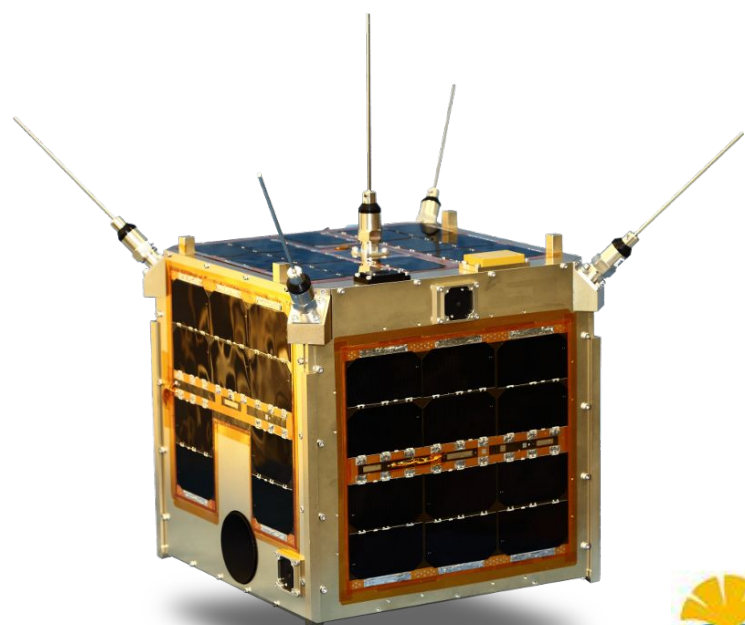
Space within Your Reach  
宇宙を普通の場所に

## 〔Mission〕

We are pioneers of microsatellite technology advancing the frontiers of space business, reimagining traditional ways of using space, and creating a society where everyone on our planet can make space part of their life.

私たちは小型衛星技術のパイオニアとして、宇宙ビジネスの先頭に立ち続けることで、従来の宇宙利用の常識を打ち破り、地球上のあらゆる人々が当たり前のように宇宙を使う社会を創ります。

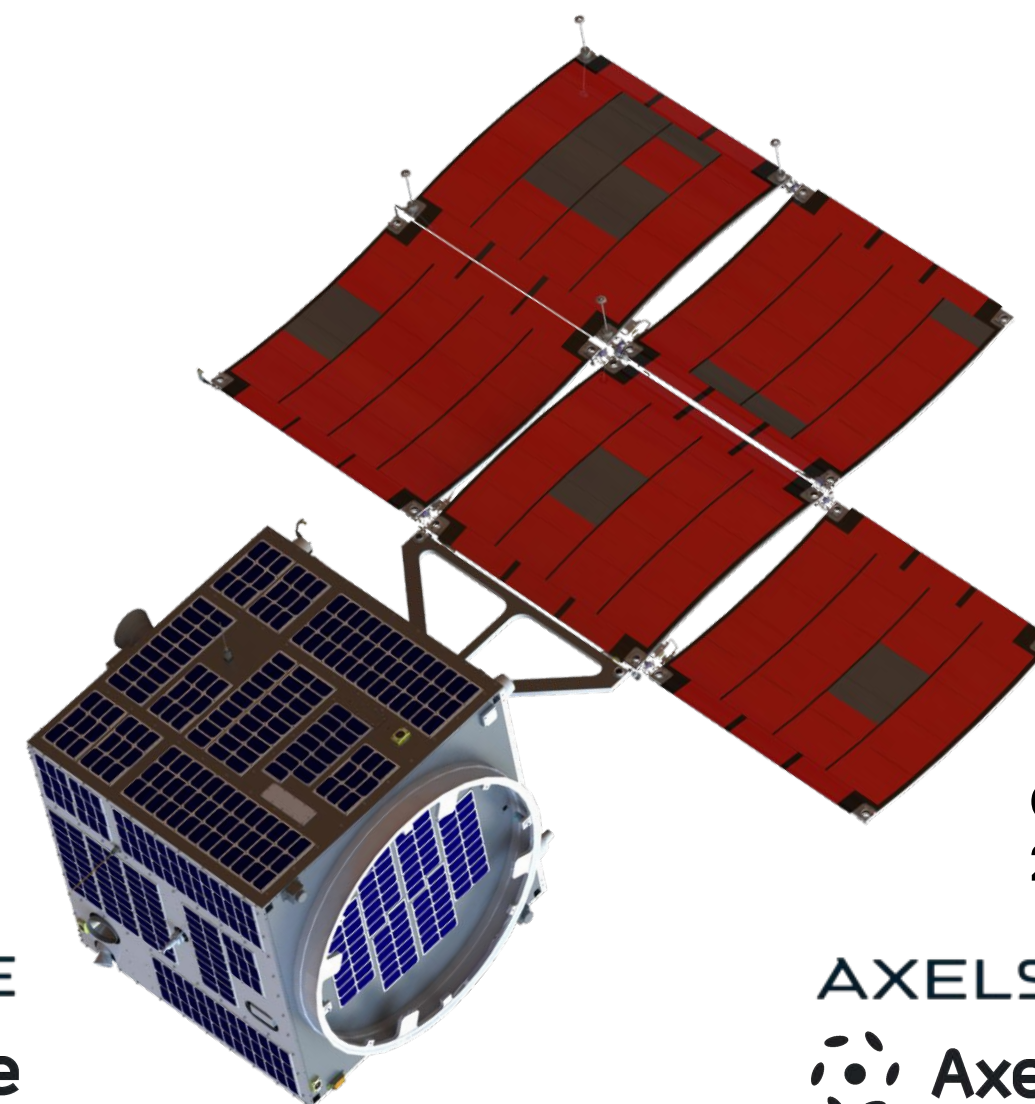
# 衛星開発実績



Hodoyoshi-1  
2014



GRUS-1A  
2018



GRUS-1B,C,D,E  
2021



WNISAT-1  
2013



WNISAT-1R  
2017



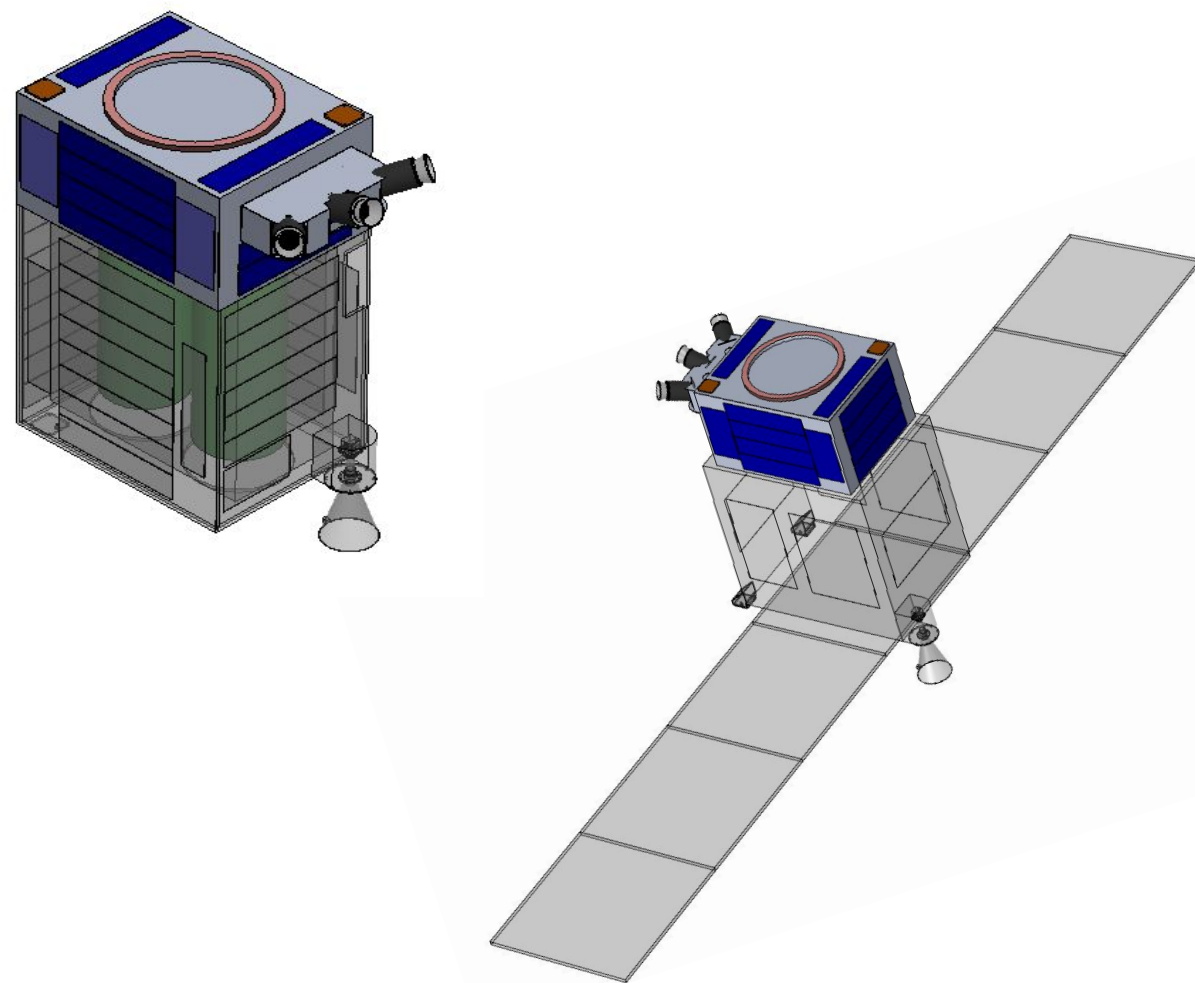
RAPIS-1  
2019



## 衛星製造からソリューション提供までを扱うユニークな事業形態



100kg 級小型衛星  
開発・量産・運用 サービス



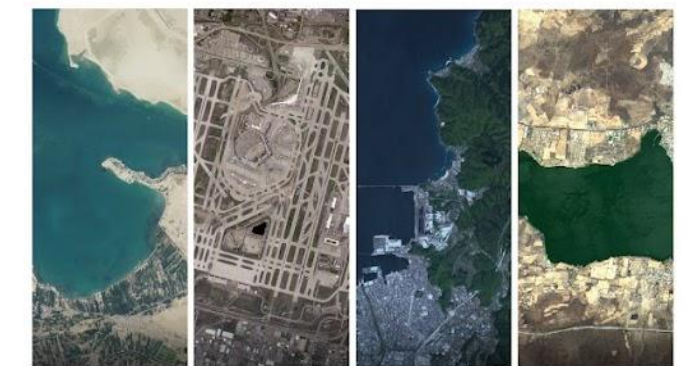
高頻度地球観測サービス



小型衛星  
コンステ構築



データ取得・  
蓄積



画像提供

コンサル・解析サービス

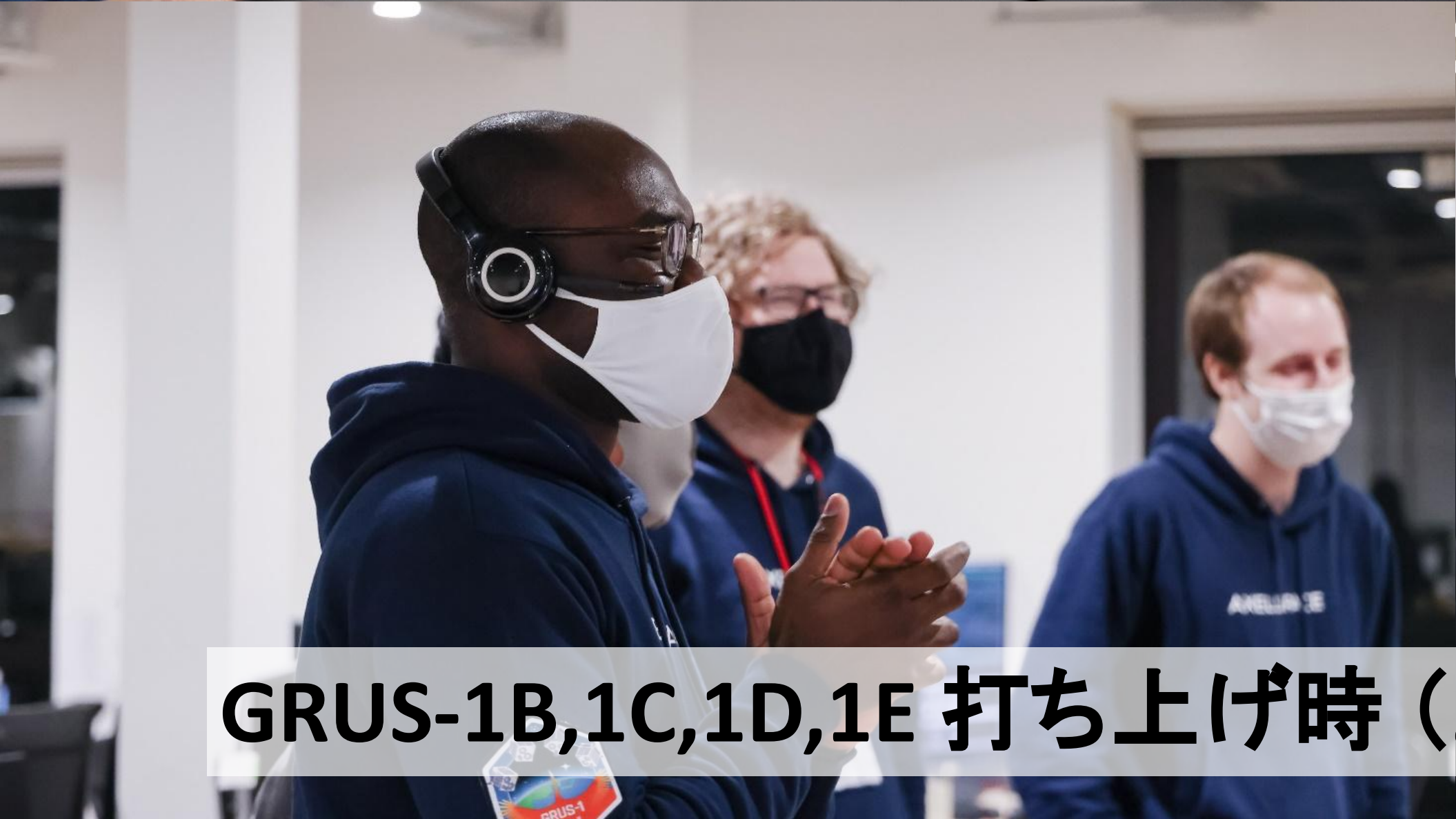


ソリューション提供

人工衛星プロジェクトの立ち上げから、設計・製造・運用・データ提供まで



東京都内(日本橋)にて衛星の設計・開発・製造・運用まで全て行う



**GRUS-1B,1C,1D,1E 打ち上げ時（2021年3月22日）**

# アクセルスペースあれこれ

**14**

**Years of  
History**

**130**

**Team  
Members**

**9**

**Satellites  
Track Record**

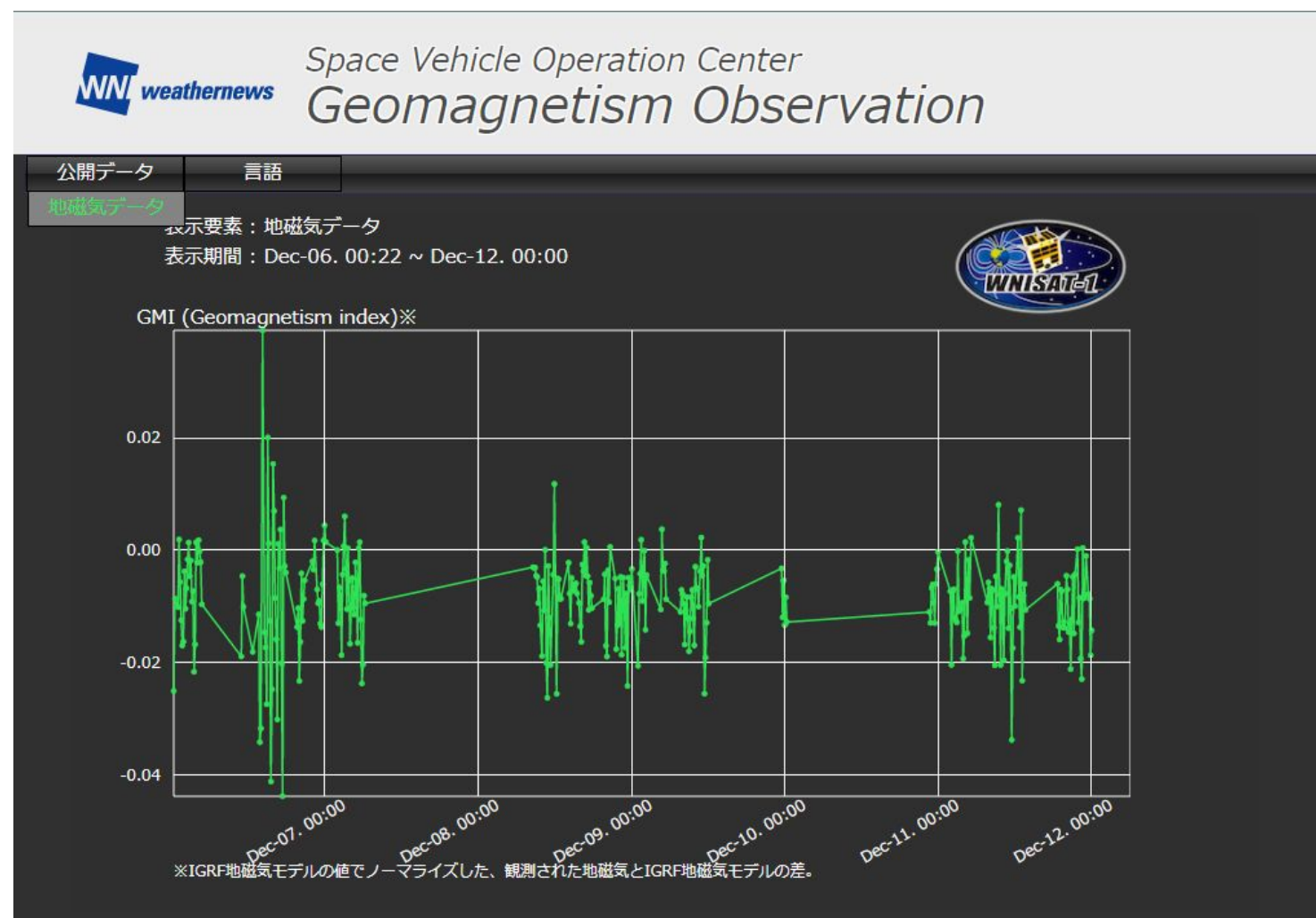
**More than 40 members  
are from overseas**

# 宇宙天気に関わるミッション



WNISAT-1

地磁気観測をミッションの一つに



出典: <https://jp.weathernews.com/news/3928/>



RAPIS-1

粒子エネルギー spektrometer  
SPM の実証



計測粒子種 / エネルギー範囲

電子 (0.21MeV~)

陽子 (5.5MeV~300MeV)

重粒子 (7.12MeV/n~)

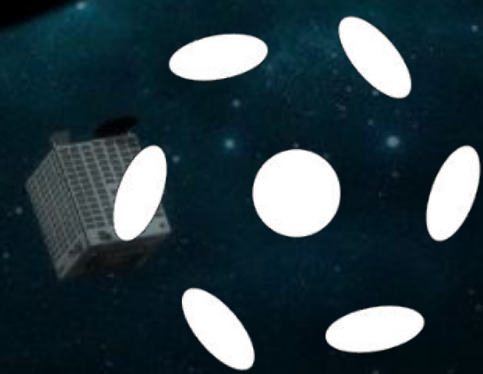
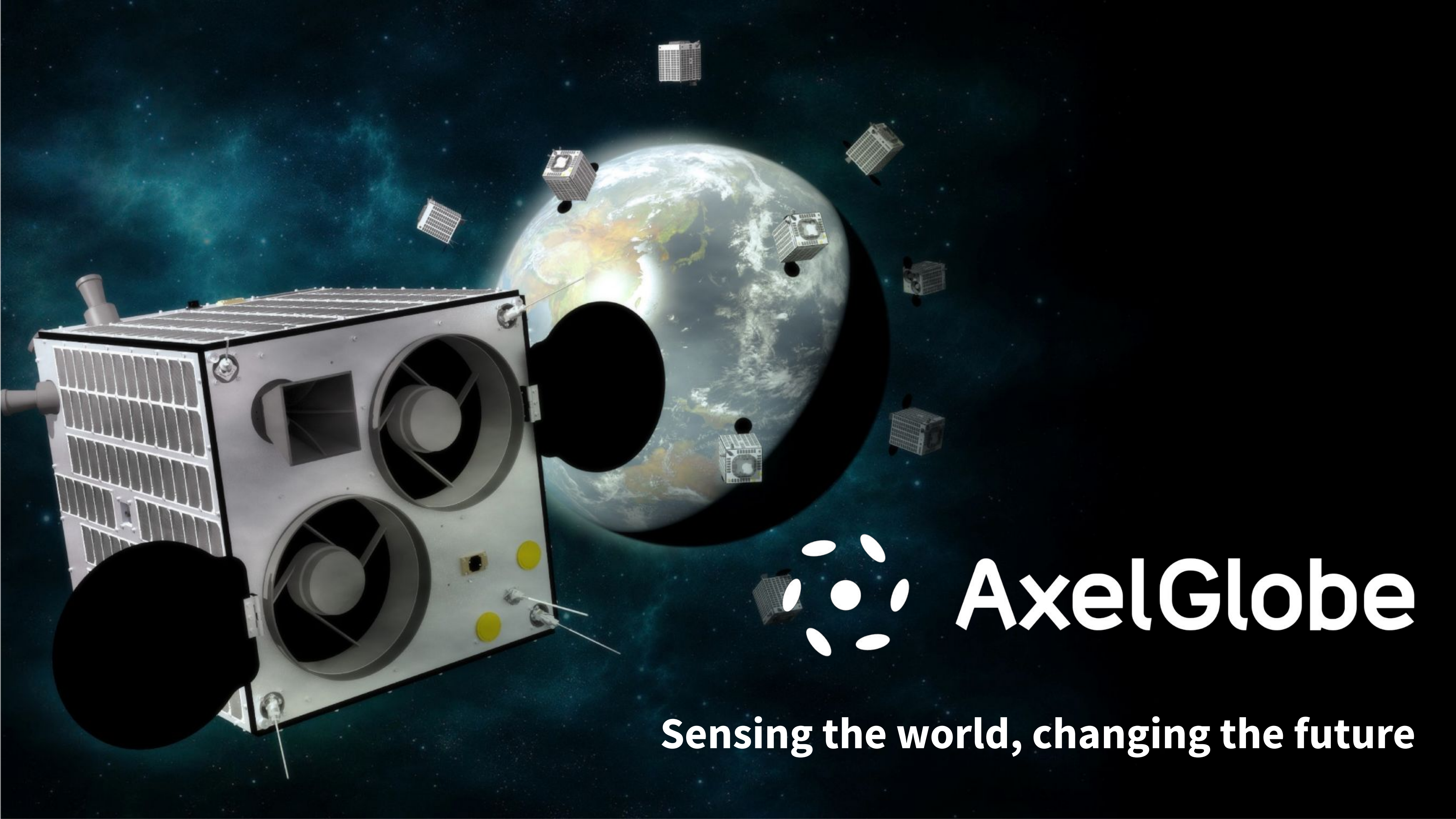
出典: <https://www.kenkai.jaxa.jp/kakushin/kakushin01.html>

SPM 成果報告:

[https://www.kenkai.jaxa.jp/publication/event/2020/pdf/ws2020\\_05\\_09.pdf](https://www.kenkai.jaxa.jp/publication/event/2020/pdf/ws2020_05_09.pdf)

# 地球観測サービス AxelGlobe

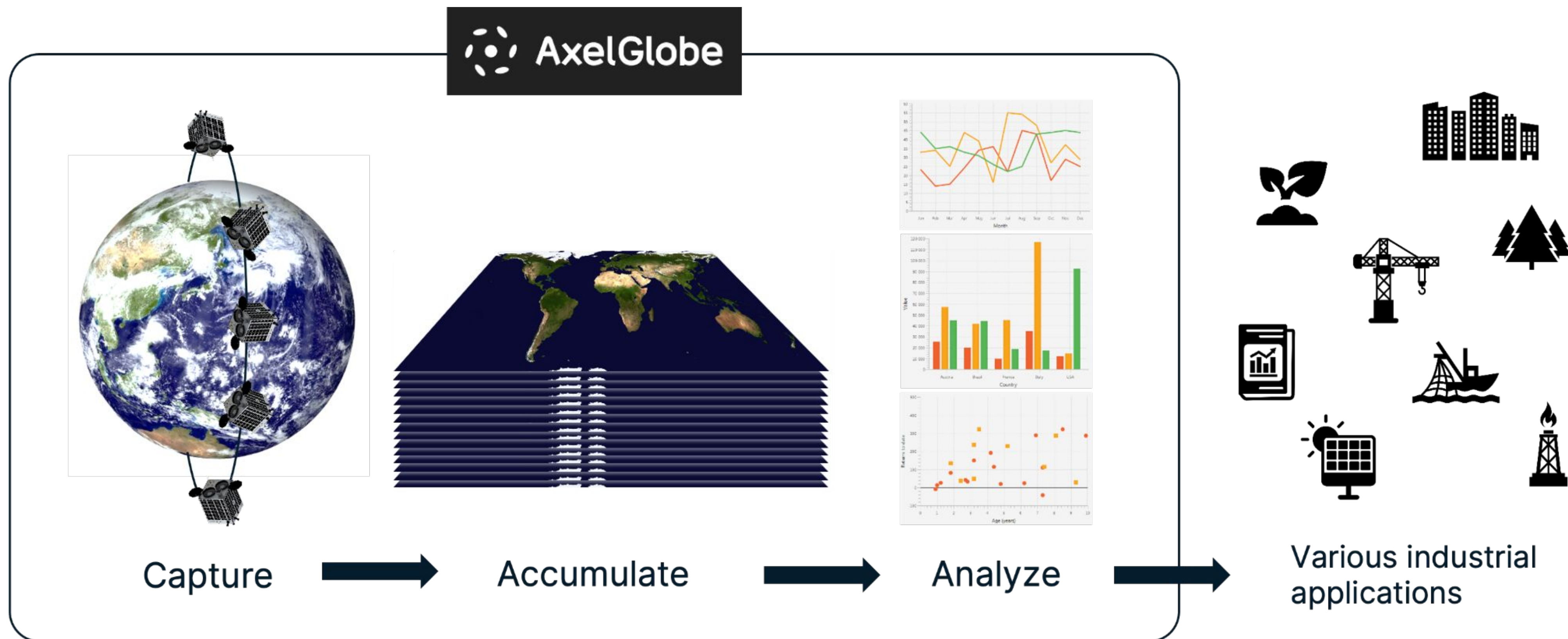
- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望



**AxelGlobe**

**Sensing the world, changing the future**

# AxelGlobe as a data solution service platform



# GRUS-1A



Mass: 110kg

Dimensions:

600mm x 600mm x 800mm

Launch Date: Dec. 27, 2018

Launch Vehicle: Soyuz

Launch Site: Vostochny, Russia

# GRUS-1B,C,D,E



Mass: 110kg

Dimensions:

600mm x 600mm x 800mm

Launch Date: Mar. 22, 2021

Launch Vehicle: Soyuz

Launch Site: Baikonur, Kazakhstan

Ground Resolution

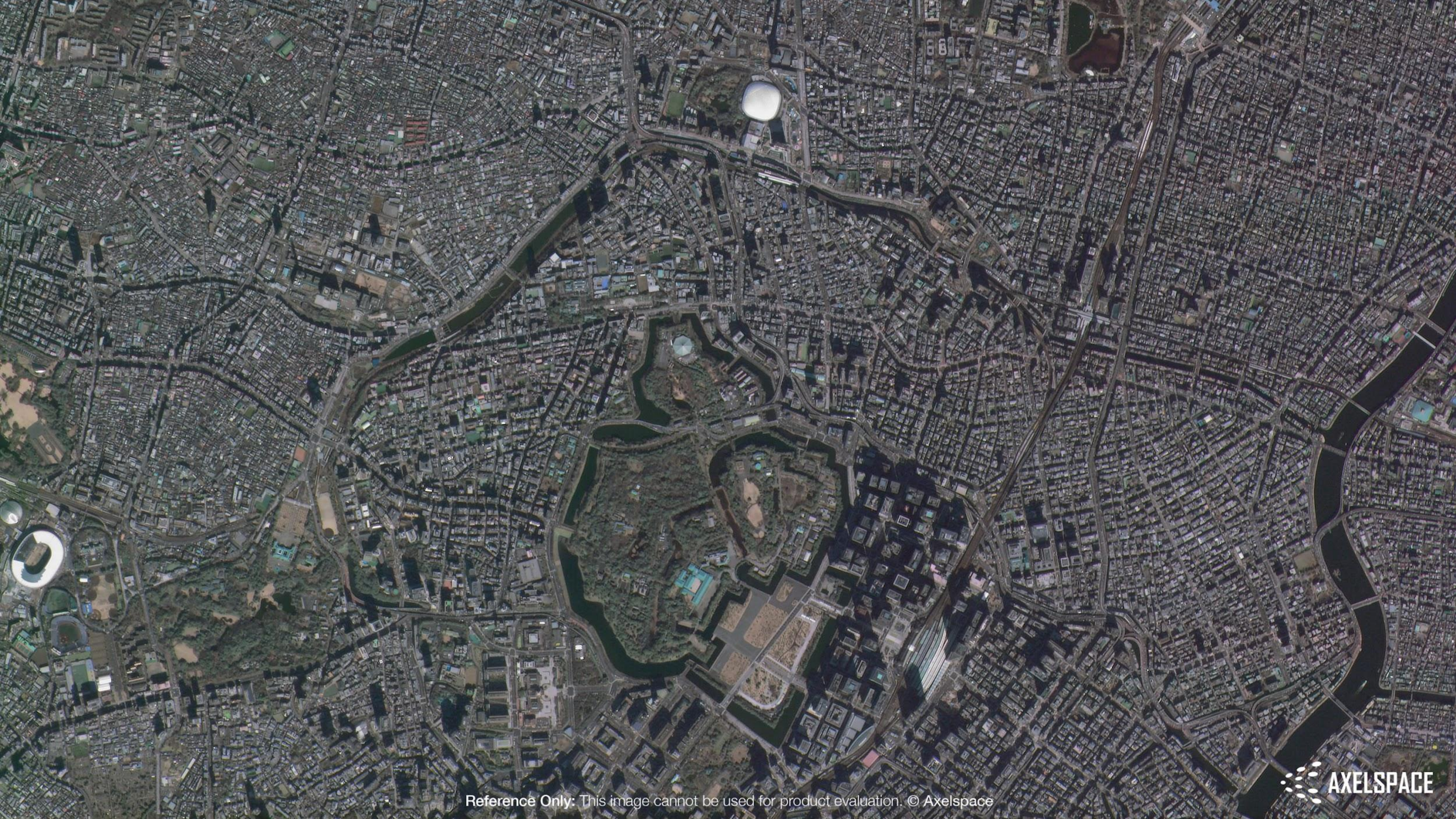
**2.5m**

Swath

**57km**



Tokyo Haneda International Airport, Japan



## 用途例：農業

NDVI解析により農作物の育成状況のモニタリングが可能  
収穫計画、収量予測、病気等異常検知、農地管理 等

GRUS-1A RGB Trueカラー例  
ブラジル：さとうきび畑

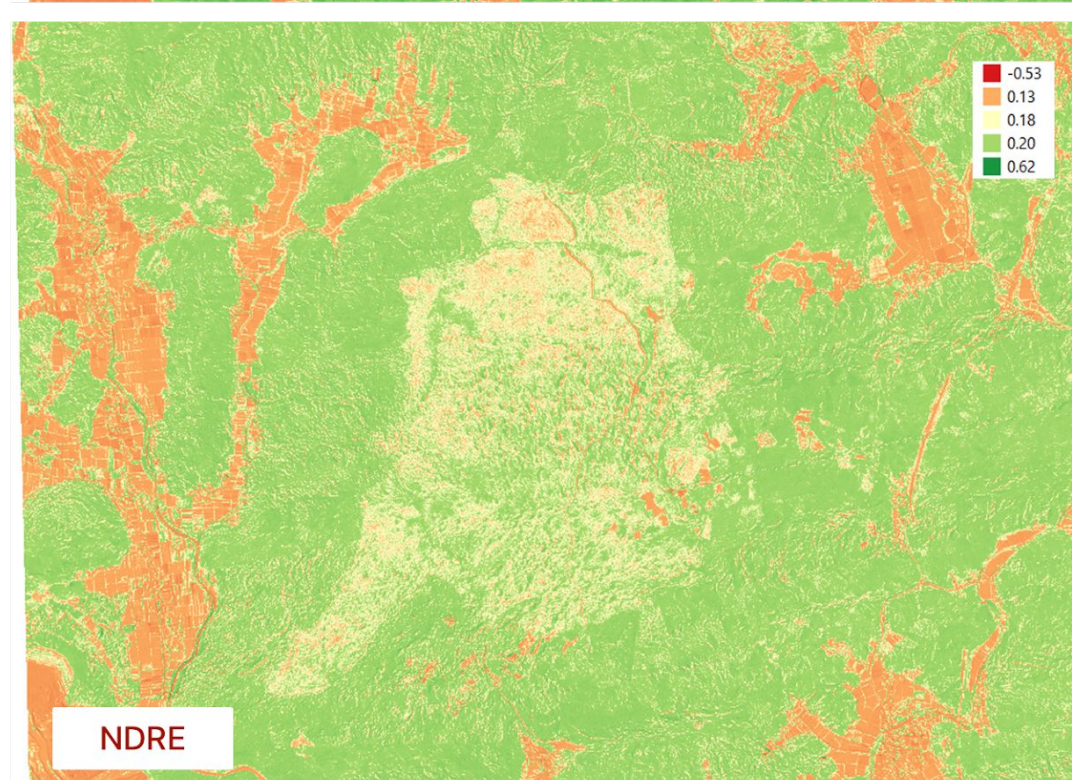
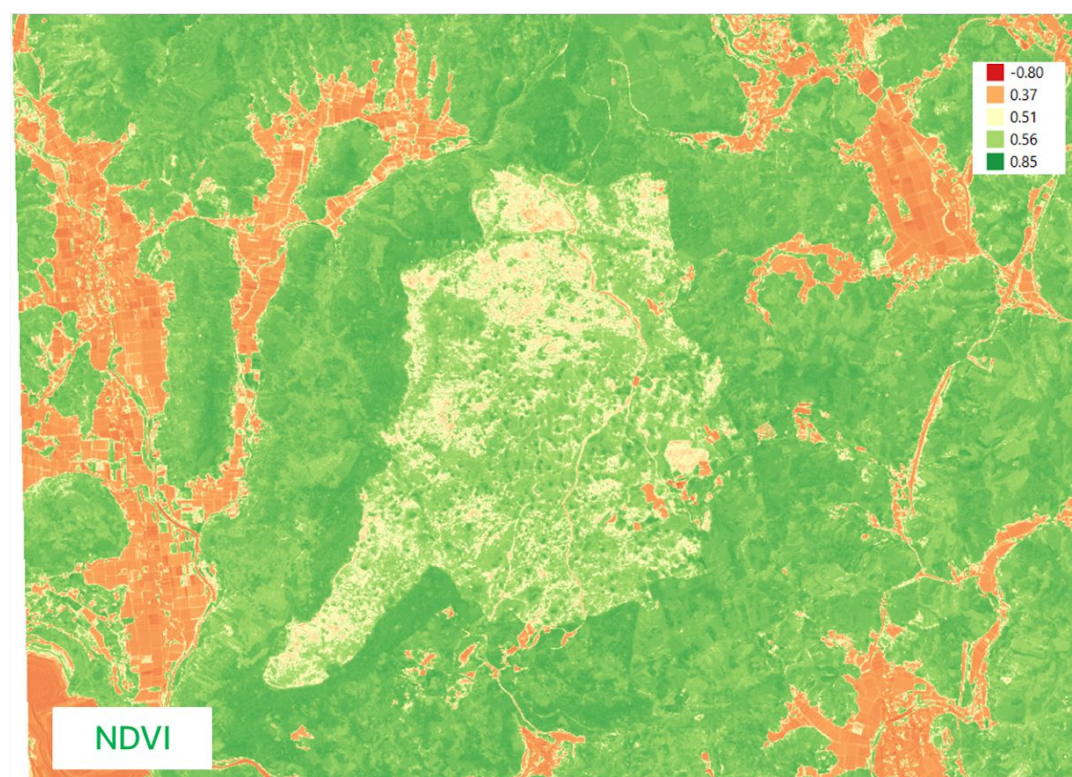
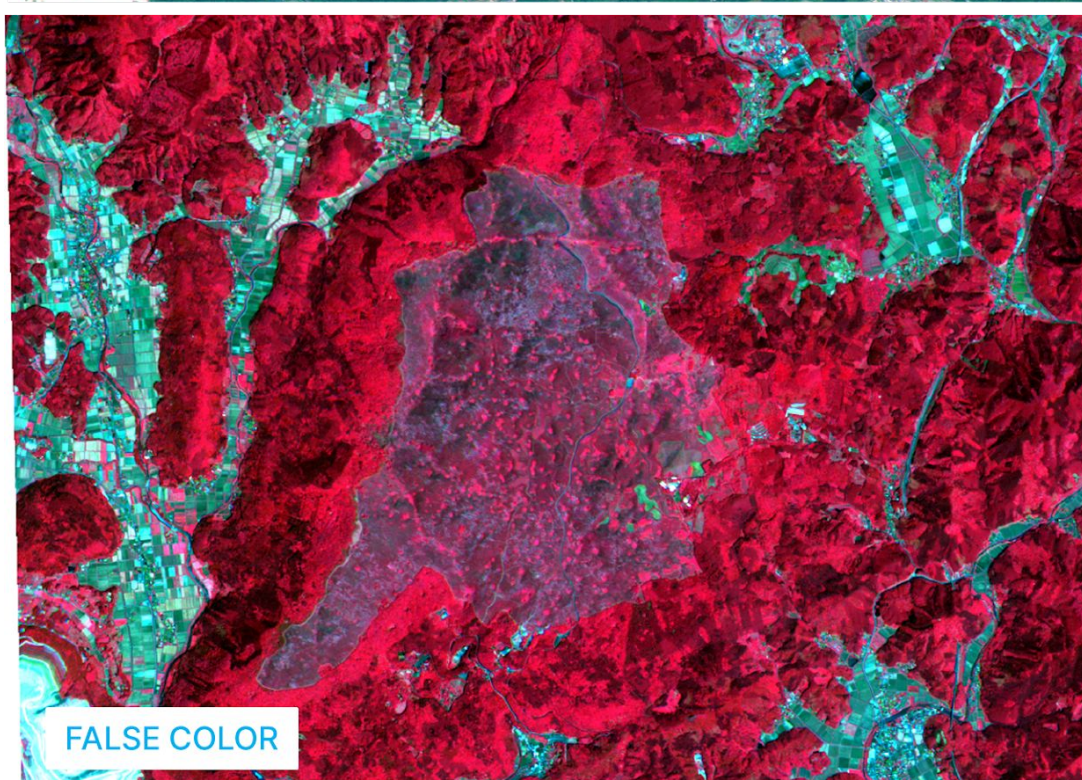
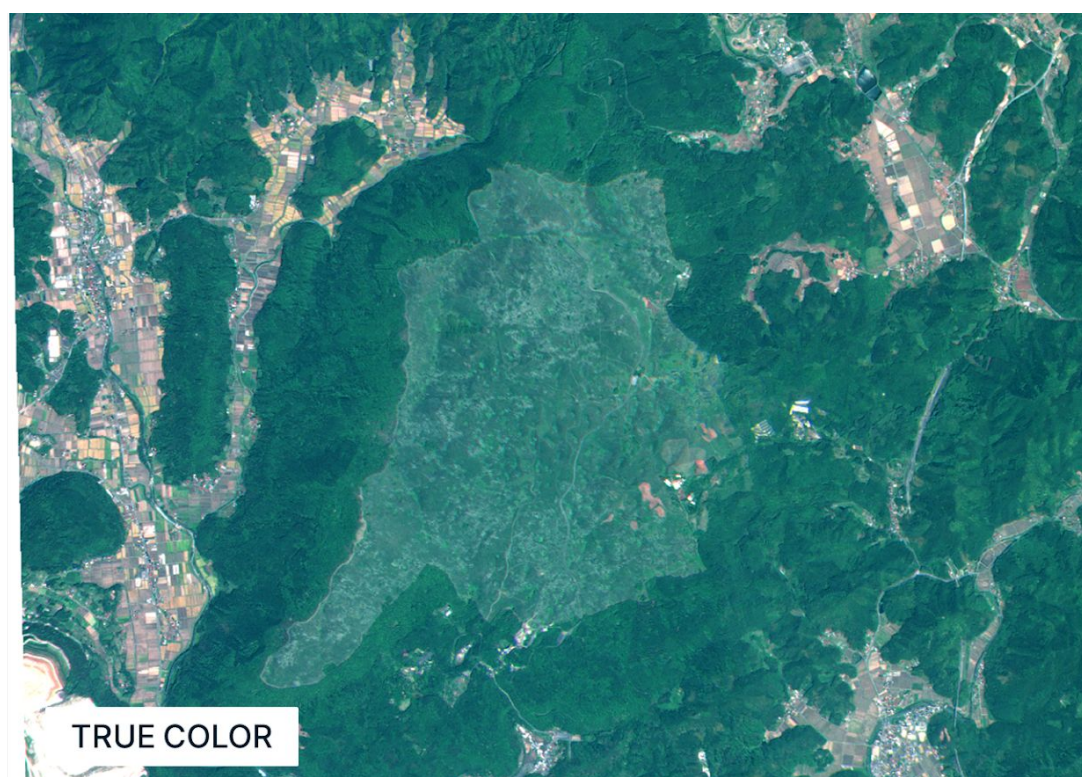


# 用途例：森林管理、森林モニタリング、バイオマス測定

AXELSPACE

行政や民間企業の森林管理、環境調査ニーズに幅広く対応可能

定期的現地目視が難しい山間部でタイムリーかつ広範囲に観測可能



## 保有森林におけるCO2収支解析事例

### 1. 前処理



衛星画像の大气補正、位置合わせ、座標変換など

### 2. 領域分割



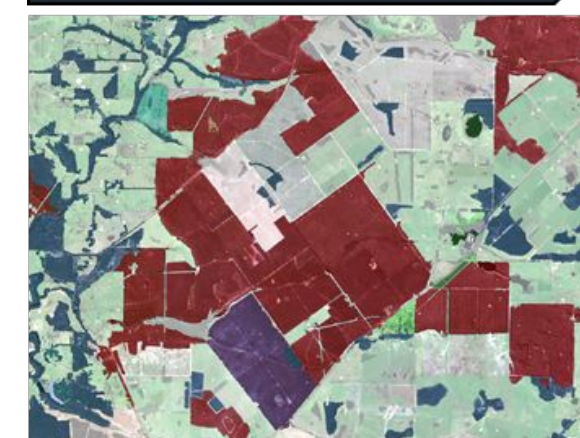
テクスチャ情報等を用いて、各特徴ごとに画像の領域を分割

### 3. 森林域抽出



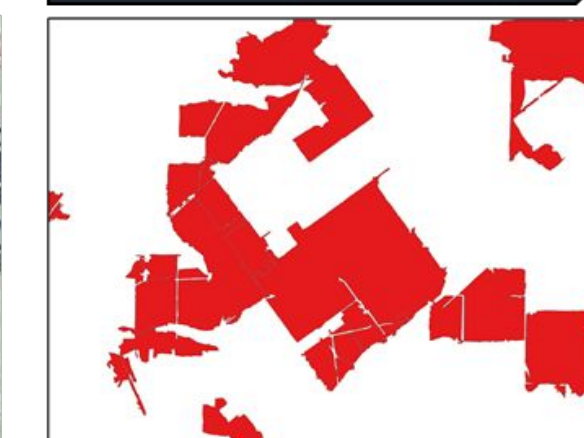
分割した領域から森林の領域を抽出

### 4. 領域分類



森林と分類された領域をさらに分類し、該当林の領域を特定

### 5. ゾーン統計



抽出された領域の総面積を算出

### 6. 精度検証



高分解能画像の目視判読結果と比較検証

# 用途例：インフラモニタリング

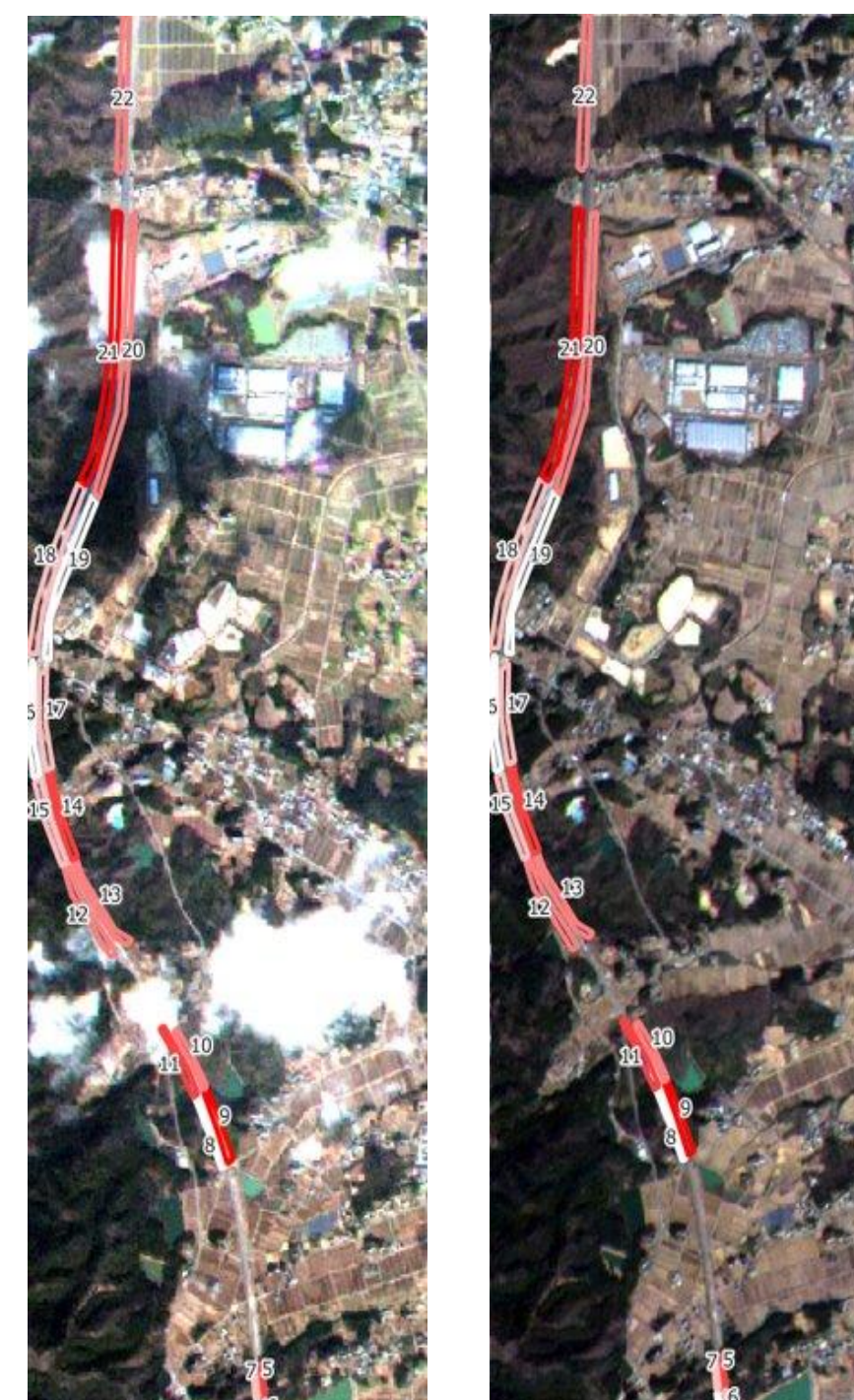
洪水、地震、火災等被害状況詳細分析、発災前発生地域/被害状況の予測  
他衛星画像やドローン、航空写真組み合わせ分析も可能

## 1. インフラ工事進捗管理事例

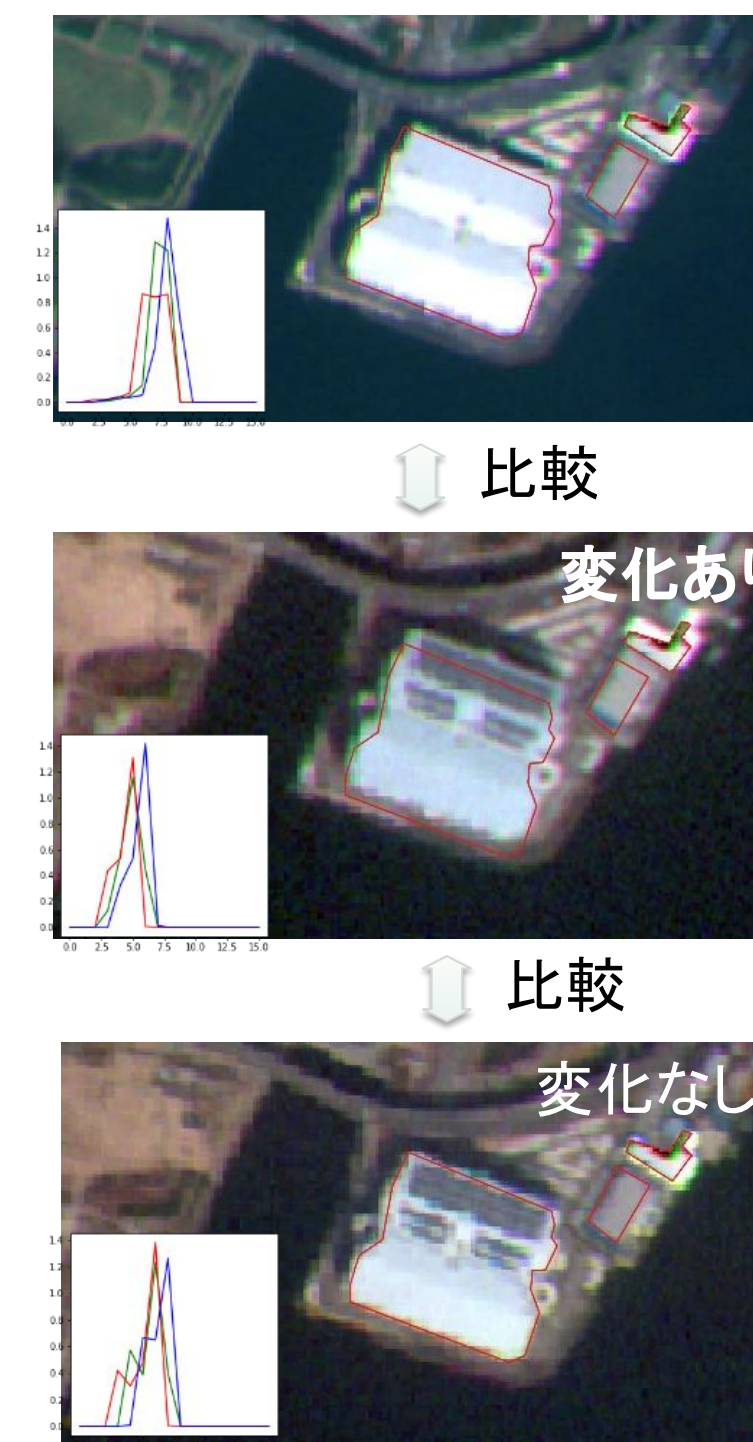


## 2. スペクトル解析によるインフラ劣化/異常検知

高速道路の異常検知事例  
(常磐道 2020年2月 VS 2021年2月比較)



大型施設の屋根劣化解析事例



# 専用衛星サービス AxelLiner

- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望



# Axelliner

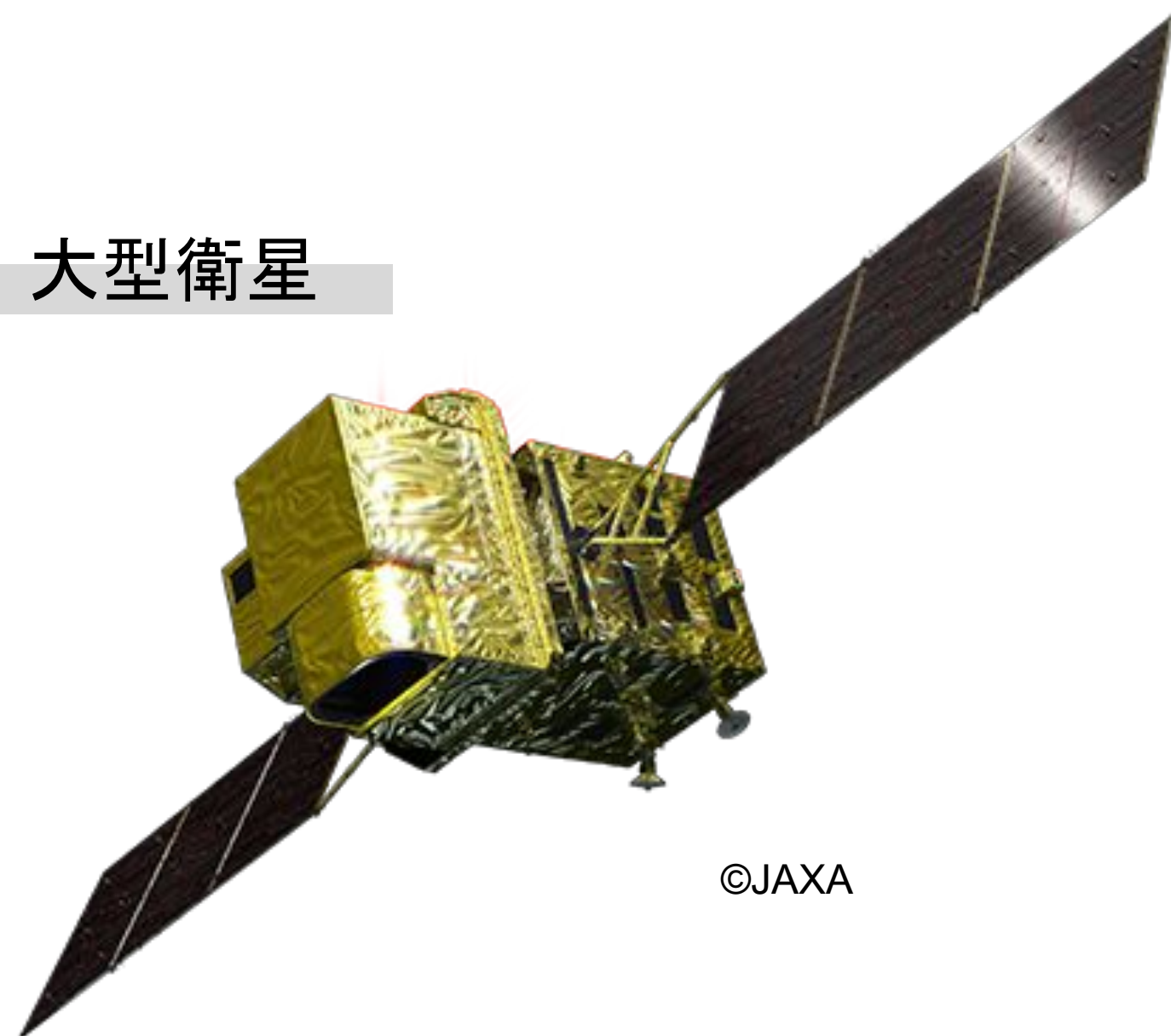
Liner = Regular flights



**Realizing your idea in space**

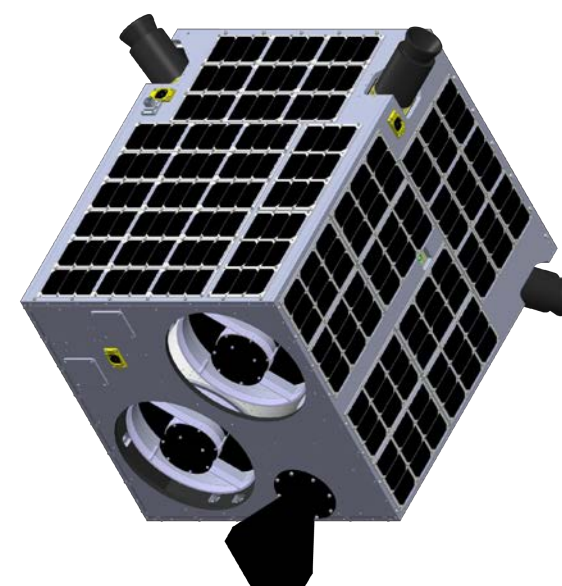
# 小型衛星の需要が急速に増加

大型衛星

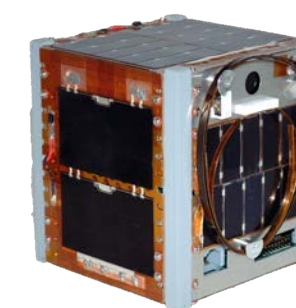


コンステレーションを前提とするミッションが増加

小型衛星  
(Microsatellite)



超小型衛星  
(Nanosatellite)



質量

1000kg

100kg

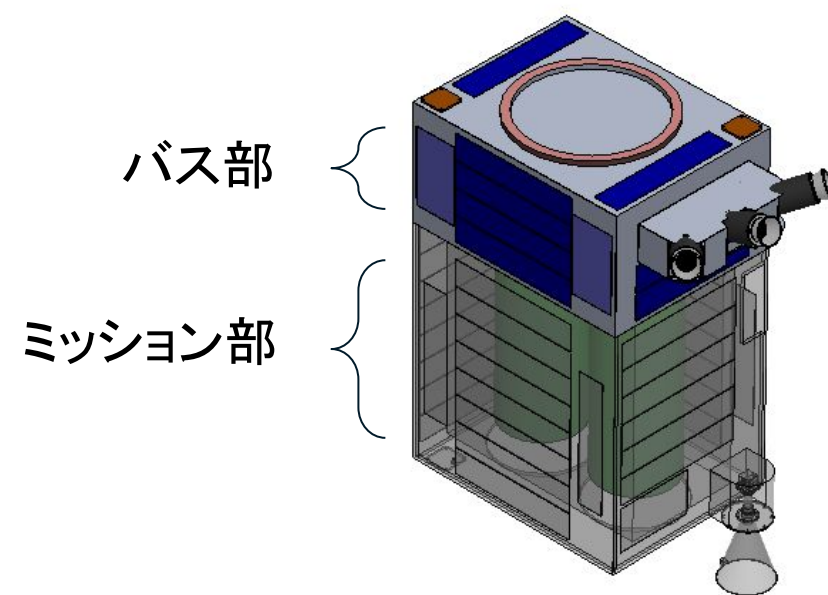
10kg

1kg

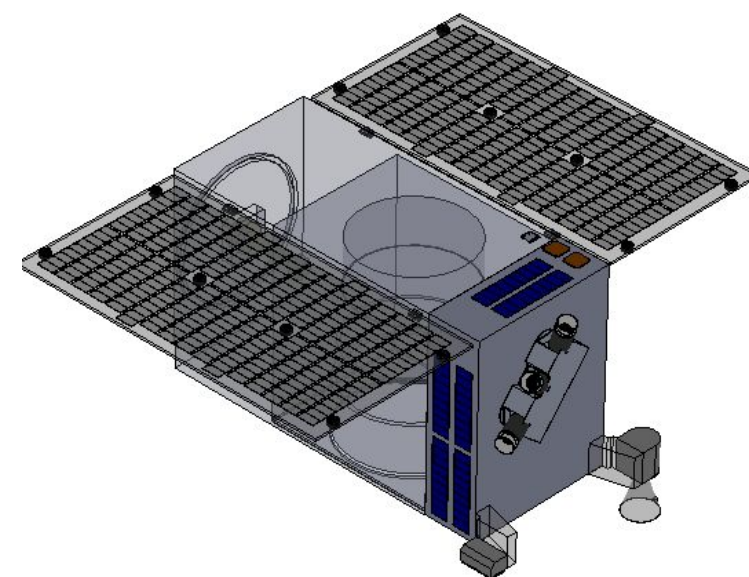
技術の進歩により一部が  
小型衛星でも実現可能に

性能向上要求により  
一部が小型衛星に移行

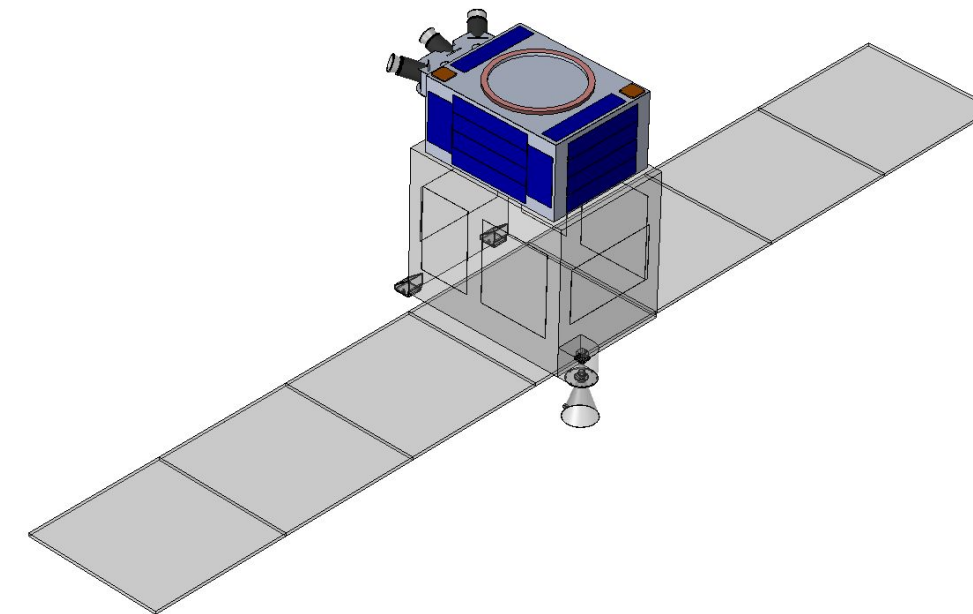
多種多様なミッションに最小限のカスタマイズで対応し、短期間で提供可能な汎用の衛星バス



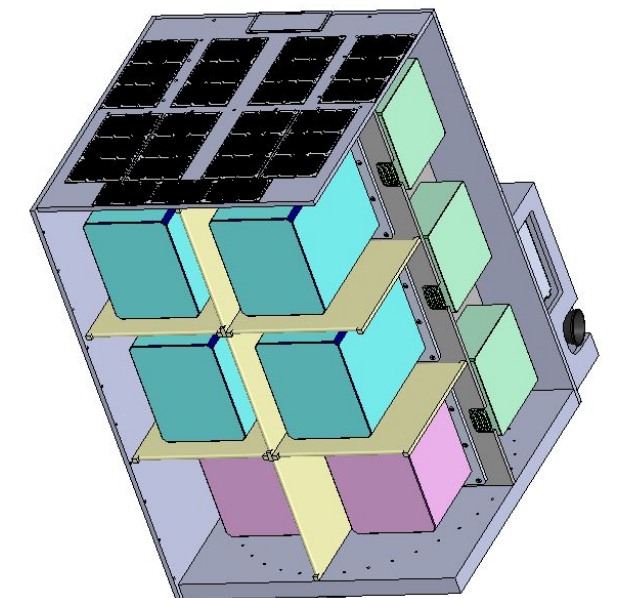
中分解能衛星イメージ



高分解能衛星イメージ



SAR衛星イメージ



複数機器実証衛星イメージ

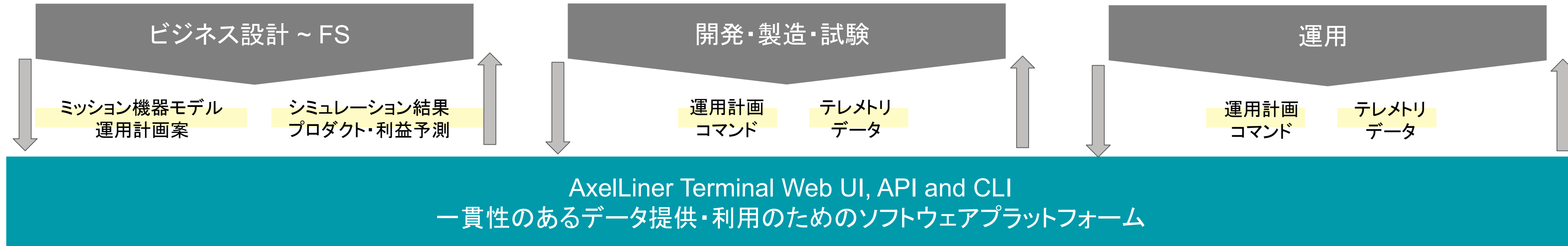
汎用で一定の調整が可能なバス部分

+

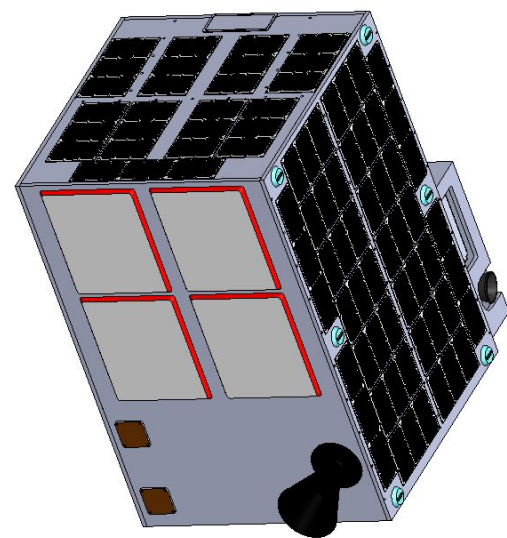
ユーザーのミッション機器

# 迅速なサービス提供を実現する Web UI & UX

AxelLiner Terminal による、設計から運用まで一貫したウェブサービス



シミュレーター&運用計画 システム



衛星バス数値モデル

開発・製造・テスト支援システム

Ground Sat + ミッション機器  
(地上用 AxelLinerバス)

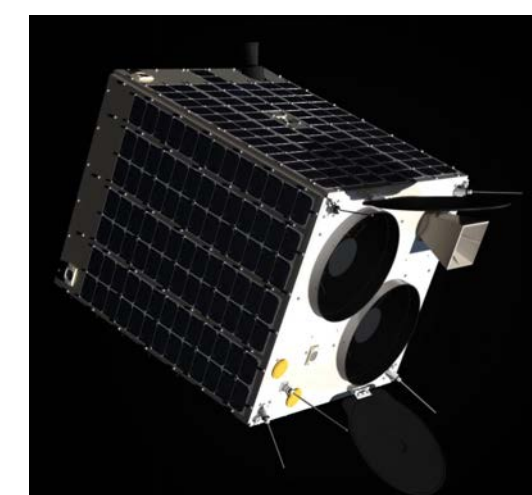


+



運用システム

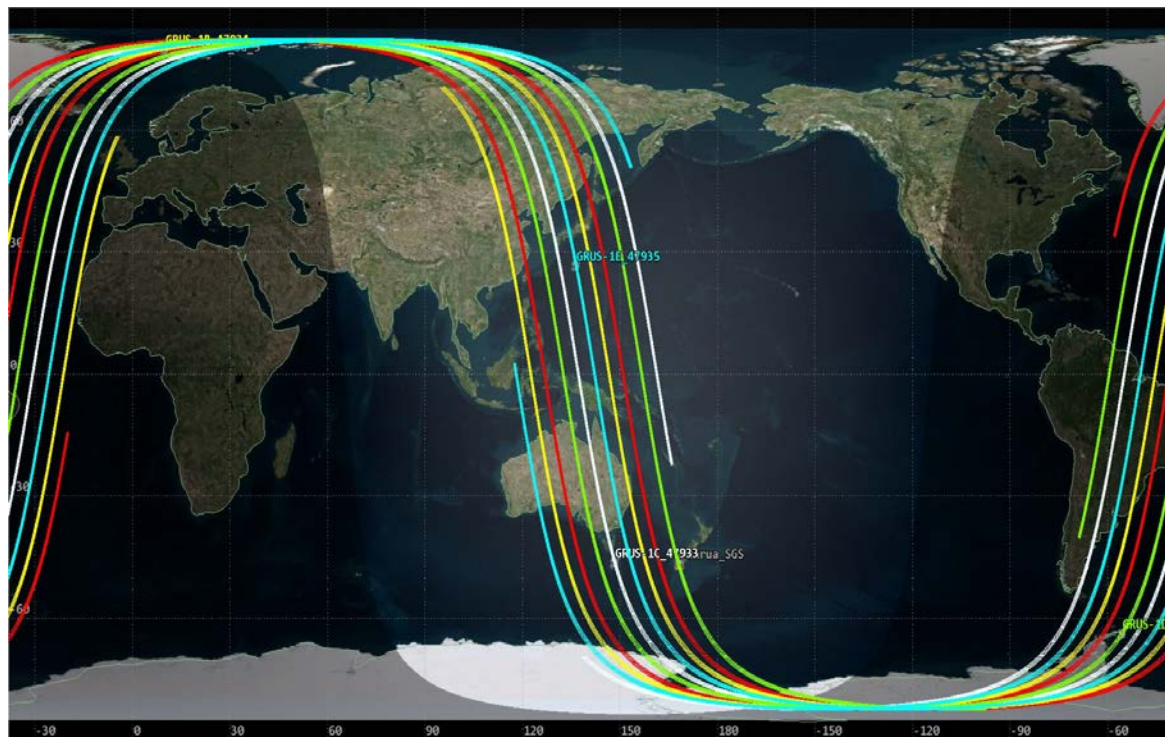
地上局制御システム



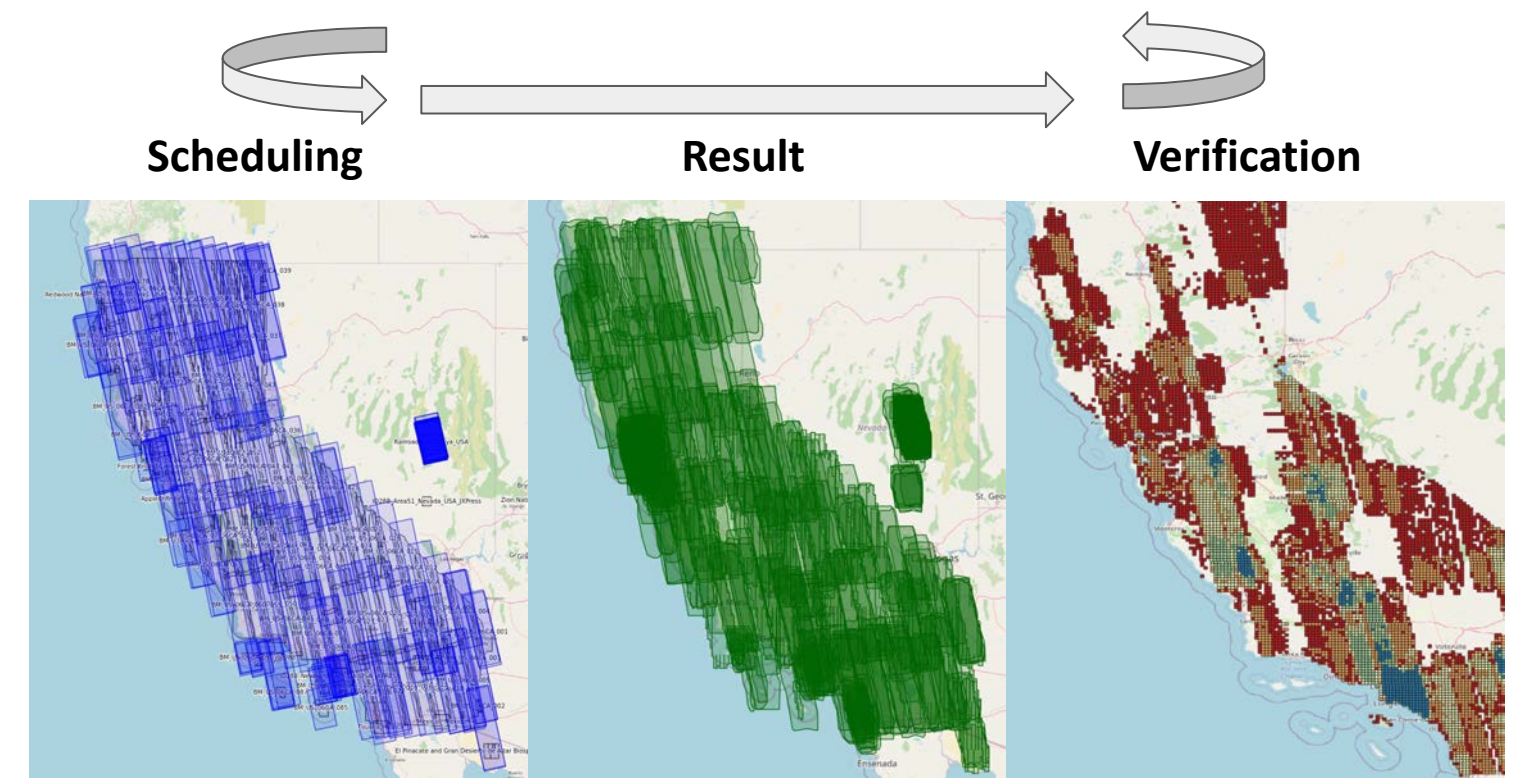
軌道上 FM

自社のコンステレーション運用で築いた衛星運用の自動化によるスケーラビリティ

- ✓ 衛星の24時間・365日運用・管制・監視機能の自動化
- ✓ 衛星の運用データ・ミッションデータ等のクラウドストレージへの提供
- ✓ ミッションコマンド自動生成



## Visualization of automated operation





それぞれの専門性を持つ  
アライアンスメンバー企業と協力した  
スケーラブルな製造プロセス



観測・通信など幅広いミッション機器に対応することを念頭に置いた衛星システムを提供

## 観測



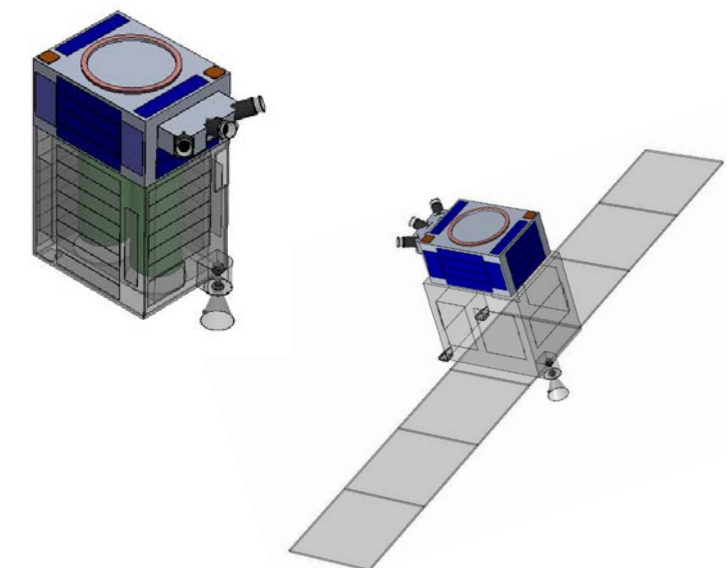
AxelGlobeで培ってきた地球観測における運用ノウハウを活用。  
特定の場所・エリアを希望の頻度で観測するといった観測特有のリクエストに応えられるような自動運用システムを提供

## 通信



AxelGlobeで培ってきたコンステレーションの運用ノウハウを活用。  
低軌道の通信衛星を、自動化を前提とした衛星および運用システムで提供する

## 実験



RAPIS-1で培ってきた様々な実験機器の軌道上実証リクエストを処理するノウハウを活用。複数の機器を含む特殊な実験用途に活用できる柔軟なシステムの提供を行う



# Axelliner

Liner = Regular flights



**Realizing your idea in space**

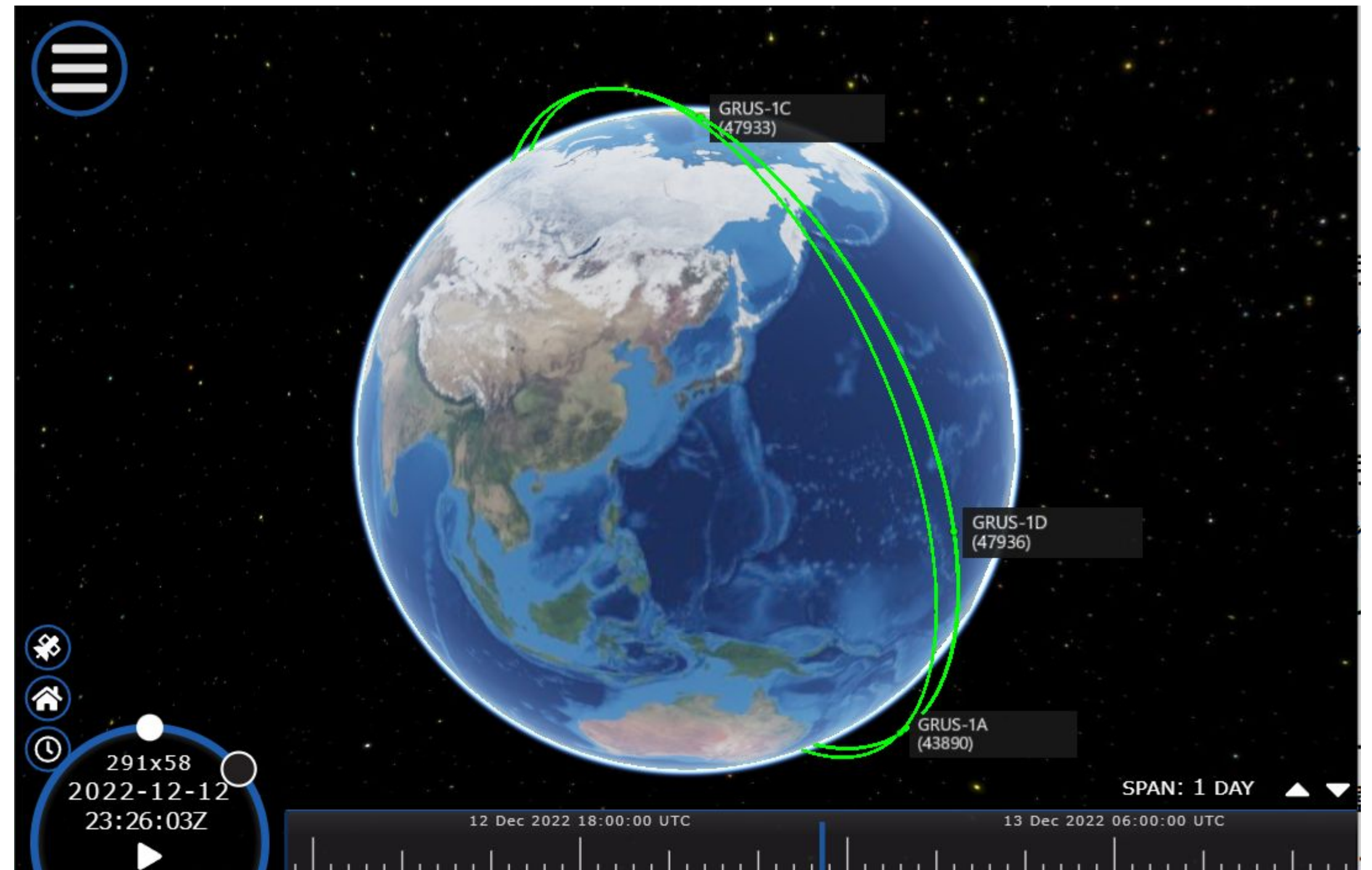
# コンステレーションと宇宙天気について

- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望

# AxelGlobe 地球観測コンステレーションについて

5機の小型低軌道衛星による  
コンステレーション。観測頻度の均  
一化を重視した配置。

- 太陽同期準回帰軌道
  - 回帰日数 14 日
- 日照側を南から北に周回
  - 軌道傾斜角 97.5 - 97.6 度
- 赤道通過時刻(LST)
  - 10:40 AM - 11:30 AM
- 標準の位相差 72 度



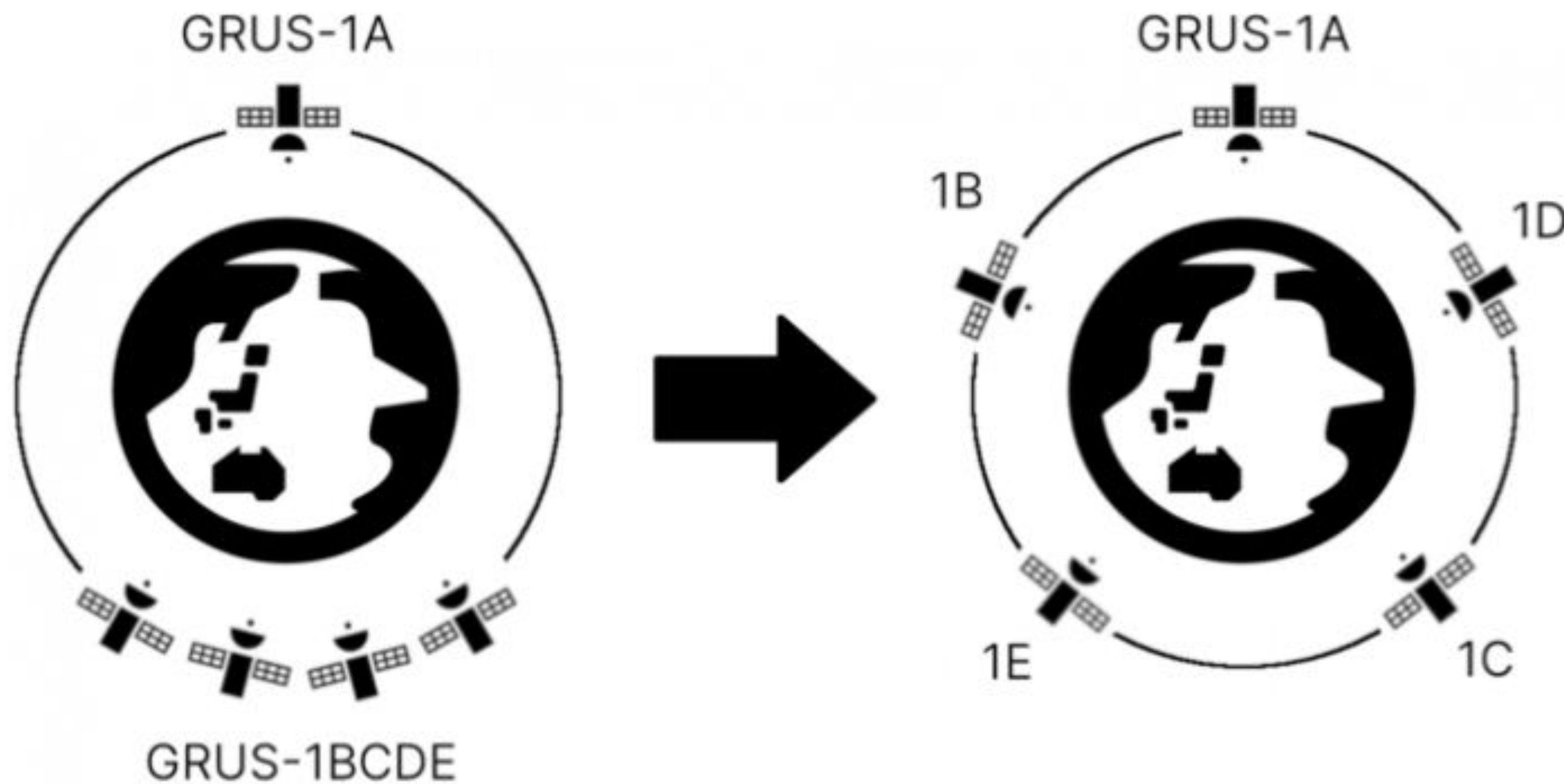
<https://spaceaware.io/> による可視化

衛星アイコン -> 衛星名を入力 -> リストの左の + をクリック

# 衛星コンステレーションの構築

AXELSPACE

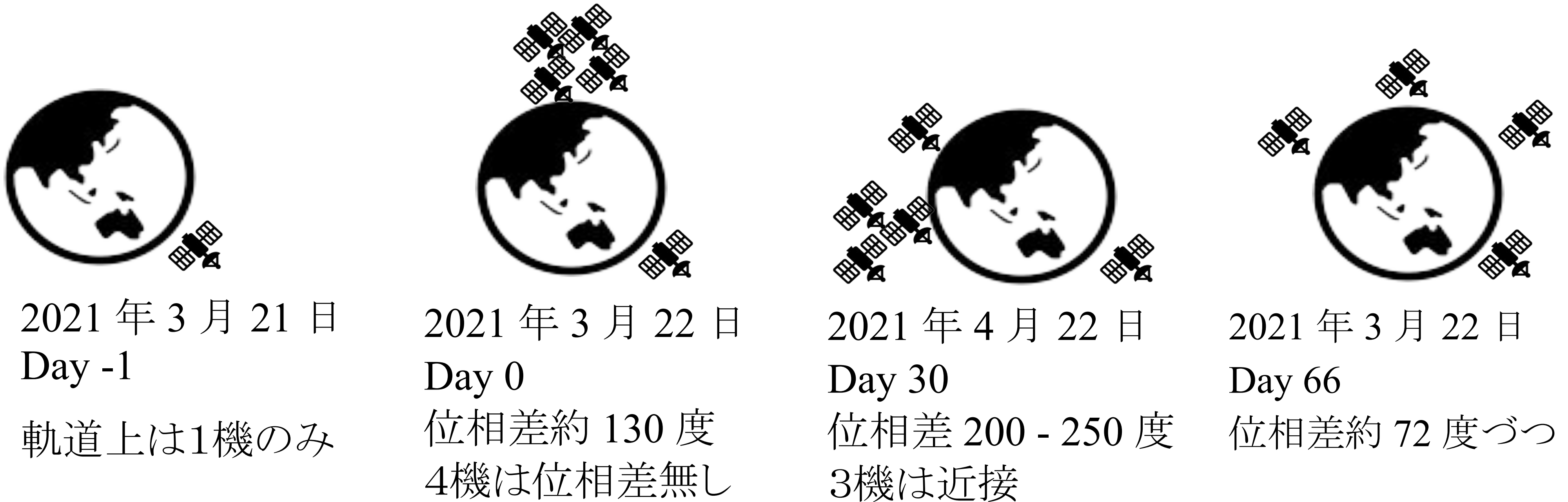
フェー징ング運用について



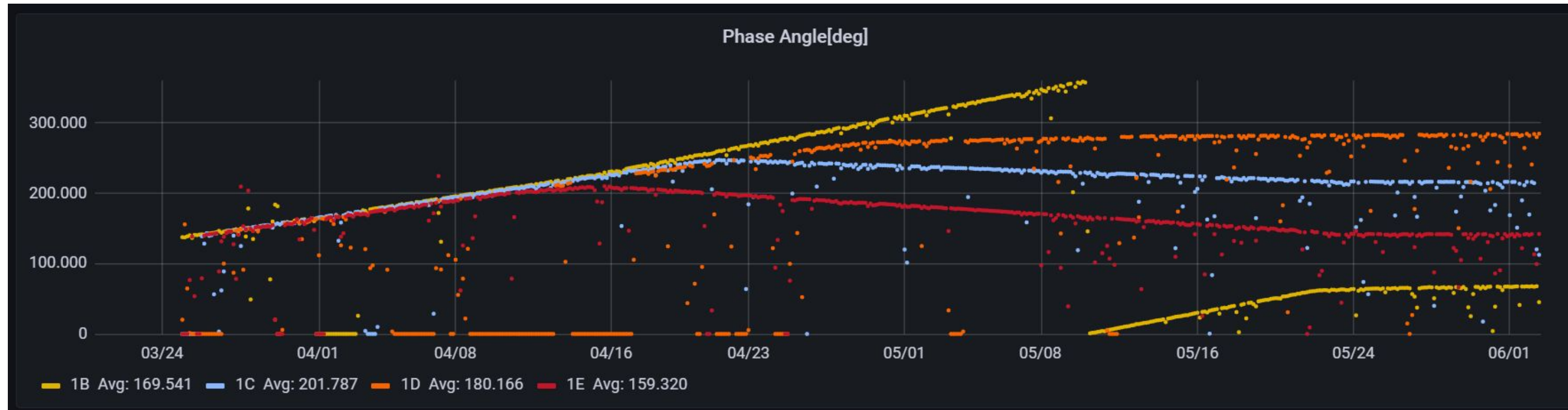
# 打ち上げとフェー징運用1

2018 年 12 月 GRUS-1A 打ち上げ

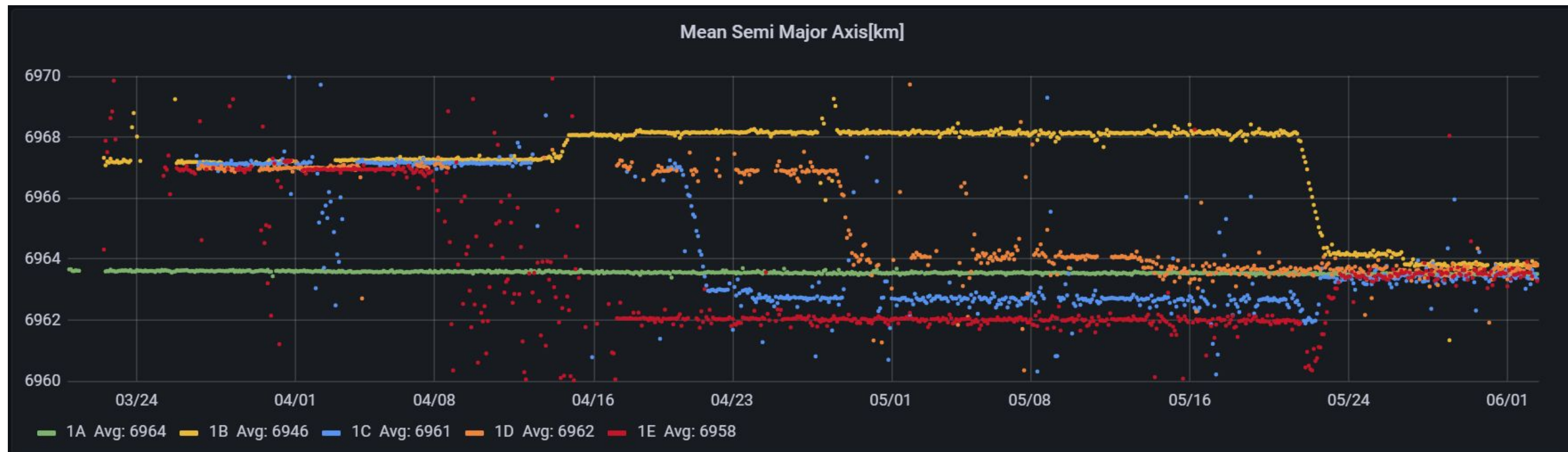
2021 年 3 月 GRUS-1B/1C/1D/1E 打ち上げ



# 打ち上げとフェーディング運用2



フェーディング期間中のGRUS 1A を基準とした位相差 : 2021/3/20 - 2021/6/2



フェーディング期間中の軌道長半径推移 : 2021/3/20 - 2021/6/2

# 軌道高度の低下について

大気抵抗によって軌道高度が低下する。

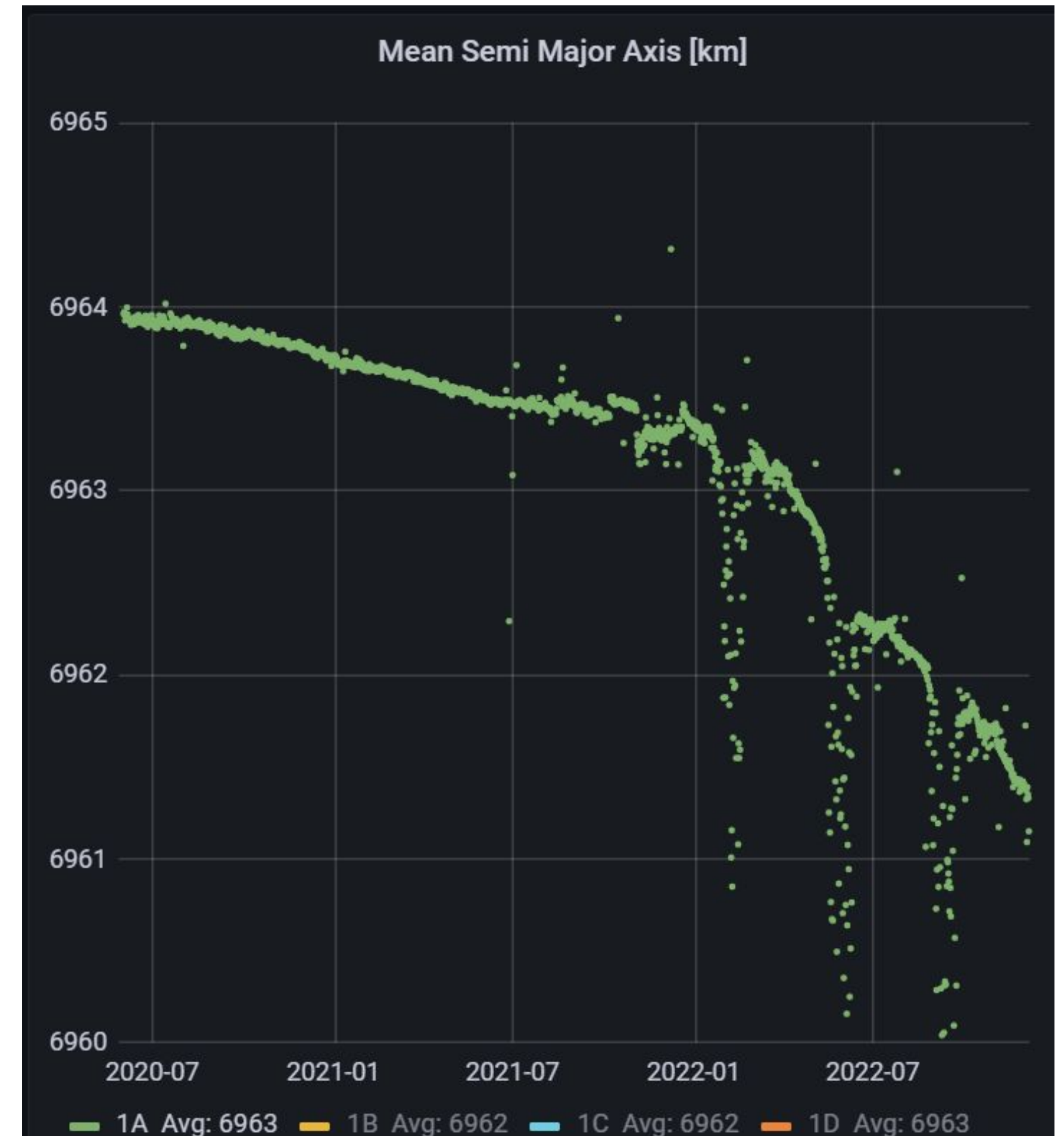
2020 年 6 月 - 2021 年 6 月で約 500 m 高度が低下した。

2021 年 6 月 - 2022 年 6 月では約 1000 m 高度が低下した。

この間、複数回にわけて、延べ約 + 350 m の高度維持運用を実施した。

また、2022 年 6 月に、- 165m 高度を低下させる運用を実施した。

2022 年 6 月から 12 月で、約 1000 m 高度が低下している。



GRUS-1A 軌道長半径: 2020-06 - 2022-12

# 低軌道衛星のライフサイクル

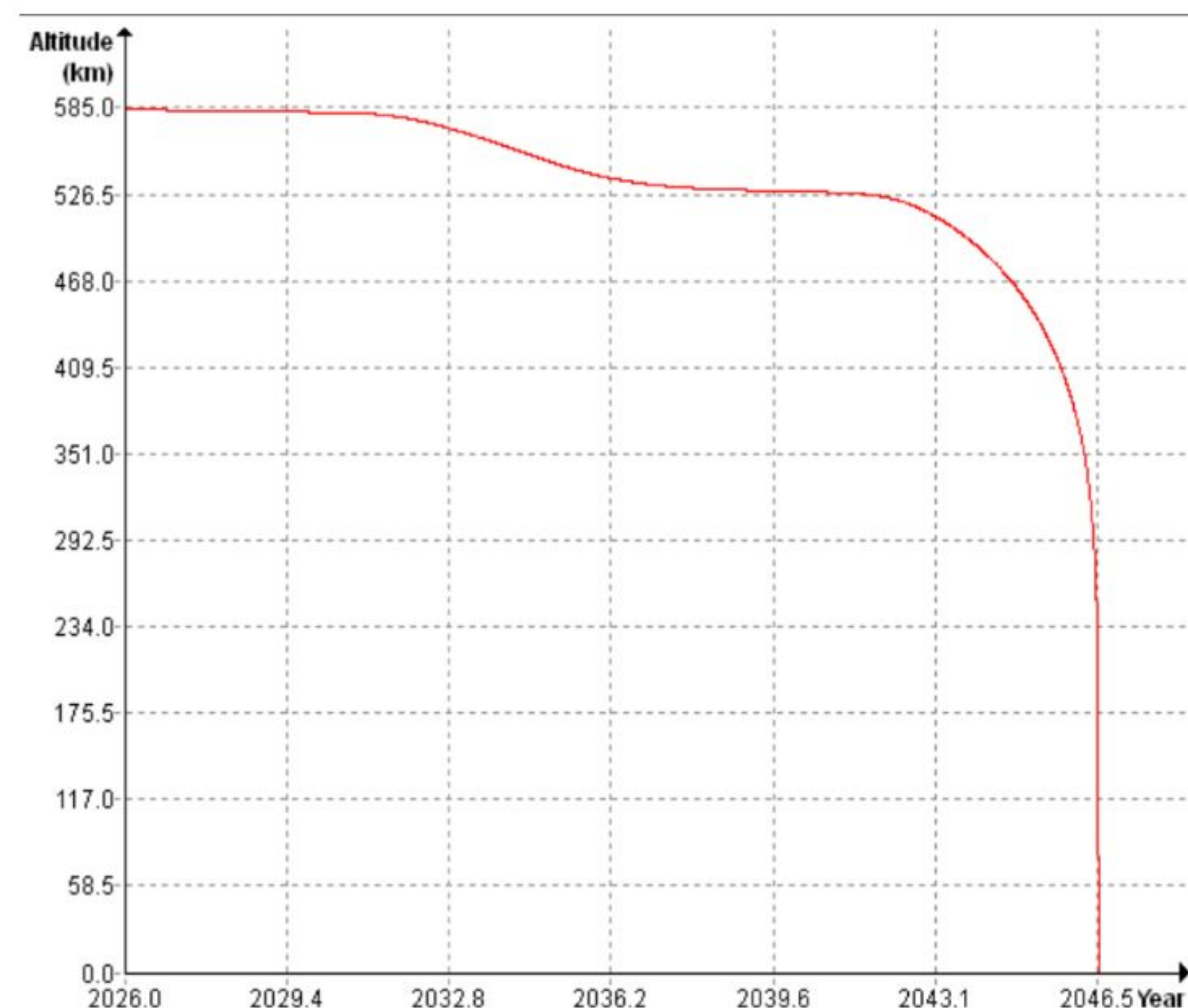
仮に、2026 年に運用を停止した場合の軌道高度の変化についてのシミュレーション。

2036 年ごろに落下スピードが大きくなるのは、活発な太陽活動による影響を考慮したもの。

日本では、宇宙活動法のガイドラインで、運用終了後 25 年以内に落下させることが、努力義務となっている。

[人工衛星等の打上げ及び人工衛星の管理に関する法律\(宇宙活動法\)](#)

[人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン](#)



運用終了後の軌道高度の変化についてのシミュレーション

NASA の DAS を利用してアクセルスペースが作成

<https://software.nasa.gov/software/MSC-26690-1>

注: 高度 0 km まで線が届いていますが、実際にはその前に燃え尽きます

# 米国 FCC の通称「5年ルール」について

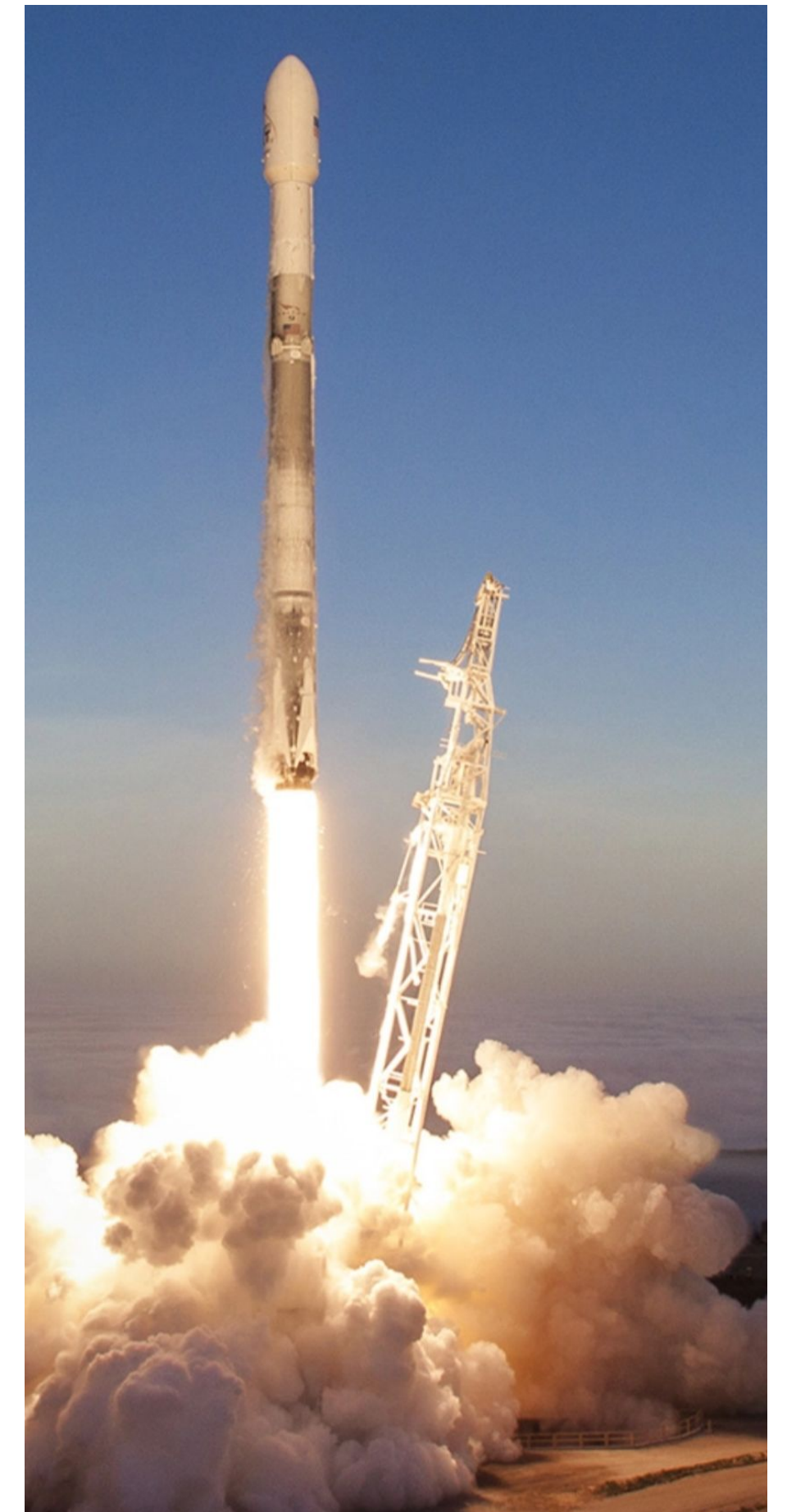
FCC 自身が '5-Year Rule' についてのニュースリリースを、2022 年 9 月 29 日に出している。

## [FCC Adopts New '5-Year Rule' for Deorbiting Satellites](#)

これはFCC が認可する低軌道の衛星について、5年以内に軌道離脱するように求めるもの。2年の猶予があり、本来はFCC の認可を要する米国の衛星が影響を受ける。

ただ、打ち上げサービス事業者の Space X が、海外の衛星（打ち上げ利用者）に対しても、スケジュールを繰り上げての適用を求めている。

SpaceX: [Rideshare Payload User's Guide](#)

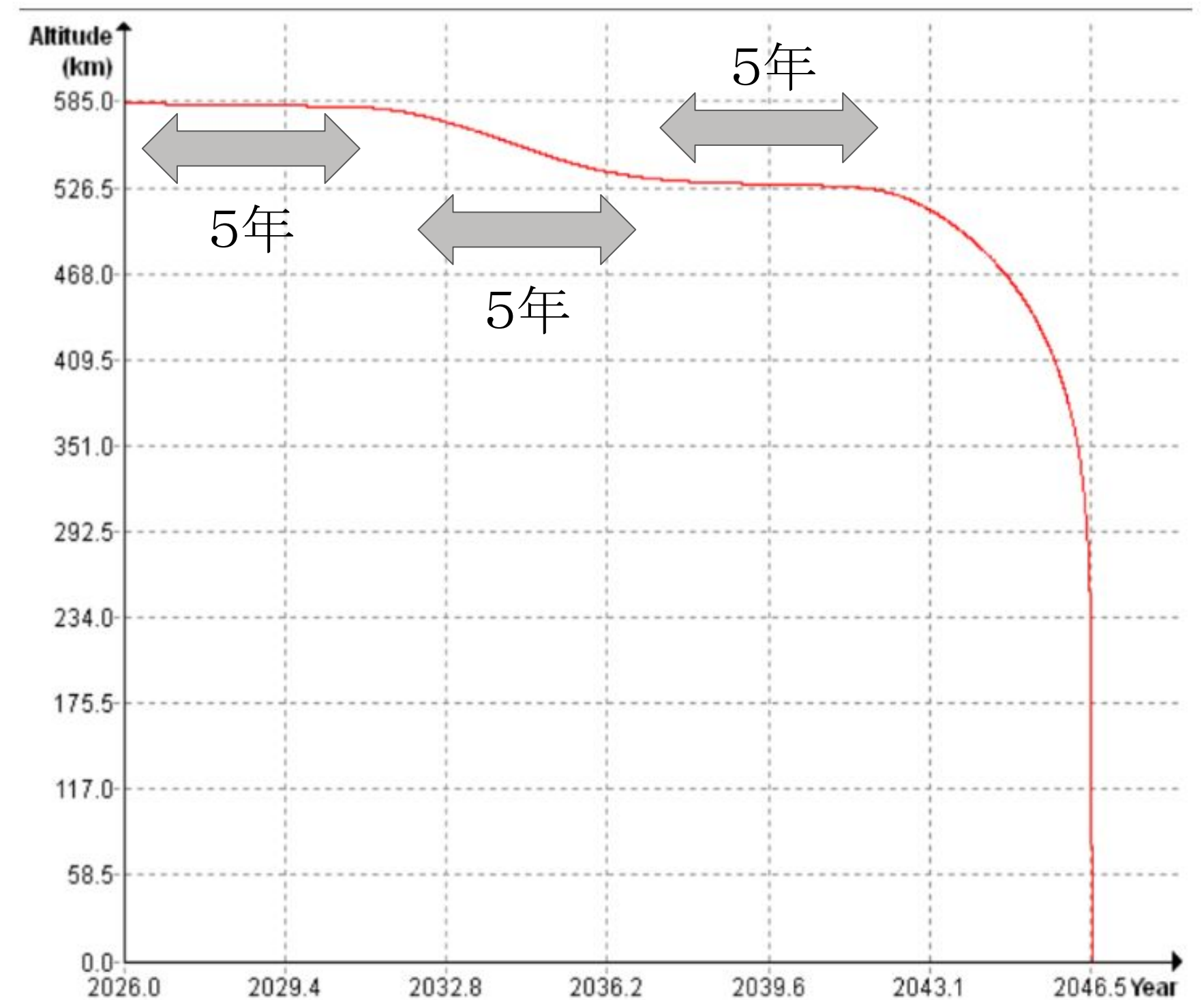


# 「5年ルール」と宇宙天気の関係

太陽活動は約 11 年周期。5年間でどこに該当するかで、軌道高度低下の度合いが大きく異なる。

そのため、大気密度の中長期モデルの重要性が増大する。

例えば、衛星によっては運用期間を延長することもある。延長と運用終了のタイミングに依存して、軌道高度低下の度合いが変わるため、運用が難しくなる。衛星の廃棄に必要な推進剤の量が変わるなどが予想される。



運用終了後の軌道高度の変化についてのシミュレーション  
NASA の DAS を利用してアクセルスペースが作成

<https://software.nasa.gov/software/MS-C-26690-1>

# 今後の展望

- アクセルスペース会社紹介
  - 地球観測サービス AxelGlobe
  - 専用衛星サービス AxelLiner
- コンステレーションと宇宙天気について
- 今後の展望

# 小型衛星活用の展望

- 軌道高度の変化
  - 1000 km よりも高い低軌道
    - 広範囲と通信が可能。
      - 例: OneWeb, Starlink
    - 放射線の影響がより大きくなる
  - 400 km よりも低い、超低軌道
    - 高解像度の地球観測が可能
      - 例: つばめ
    - 大気の影響がより大きくなる
- 小型衛星の高機能化
  - 太陽電池パドルの搭載
    - 現在はボディマウント
    - 大気の影響がより大きくなる
    - 姿勢制御への信頼性要求が大きくなる

超低軌道の利用における、  
宇宙天気予報の重要さの例



SpaceX Starlink コンステレーションの大気ドラッグ増大による軌道  
投入失敗後の再突入

出典: [Sociedad de Astronomía del Caribe \(YouTube\)](#)

当該打ち上げの情報: [Spaceflight Now](#)

高効率だが推力密度が低い電気推進を採用

# センサーとしての小型衛星

専用衛星や Hosted payload による観測の可能性。

「AxelLiner」の実証衛星初号機における LPWA の軌道上実証について



ご清聴ありがとうございました



AXELSPACE