Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2022-2026

革新的衛星技術実証２号機（RAISE-2）

ソニー製スマートセンシングプロセッサ搭載ボード
「SPRESENSE™」の軌道上実証

ソニーセミコンダクタソリューションズ（株）
太田　義則

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

発表内容

- SPRミッション概要
- SPRシステム概要
- マルチIMU及びGNSS測位モジュールによる姿勢推定
- 地表と星空の撮影、ファームウェア更新
- まとめ

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

RAISE-2におけるSPRミッション概要

- **ミッション概要**

  次世代の宇宙機器としての潜在能力を持つソニー製マイコンボード SPRESENSE™ の軌道上実証を行い

  将来的な衛星・探査機への搭載、衛星・探査機の自律制御性能向上を目指す

- **フルサクセス・クライテリア**

  ① IMUアレイによる衛星姿勢測定実験により、姿勢データを取得、評価する

  ② 測位衛星システム(GNSS)の搬送波による衛星位置姿勢推定実験により、位置、姿勢データを取得、評価する

  ③ 地表撮影用カメラ、星空撮影用カメラによる衛星姿勢測定実験により、地表画像データを取得、星空画像によって推定した姿勢データを取得、評価する

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPRシステム概要

SPRESENSEとは？

ソニー製低消費電力 マルチコアプロセッサー

SPRESENSE は、最大クロック数156MHzで動作し、0.7Vで駆動可能な「ARM® Cortex® M4F」を6個搭載してます。

ハイレゾ出力 高性能DAC

192kHz/24bitのハイレゾ音源が再生可能なオーディオコーデックをサポート。D級アンプを内蔵し超音波まで出力できます。

ハイレゾ入力 高性能ADC

アナログマイク・センサなら最大4ch、ダイナミックレンジ90dBで、全て同時に192kHz/24bitの高解像度で高速ADCができます。

カメラ機能搭載

ソニー製5百万画素CMOSセンサを搭載したCMOS8ビット専用パラレルインターフェースのカメラボードを接続できます。

GPS機能搭載

GPS、みちびき、GLONASS、Galileo、BeiDouをサポートし、世界各地で高精度な位置情報の取得が可能です。

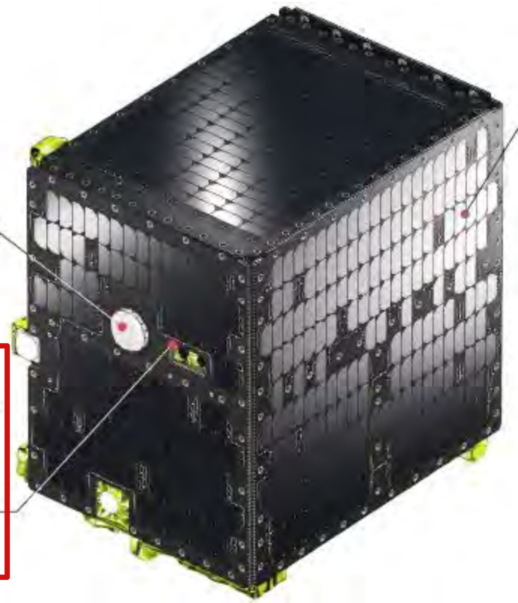
人工知能

SPRESENSEは、ソニーのニューラルネットワークコンソールを使って人工知能を組み込めます。

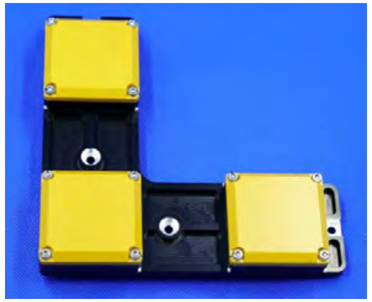
SPRESENSE

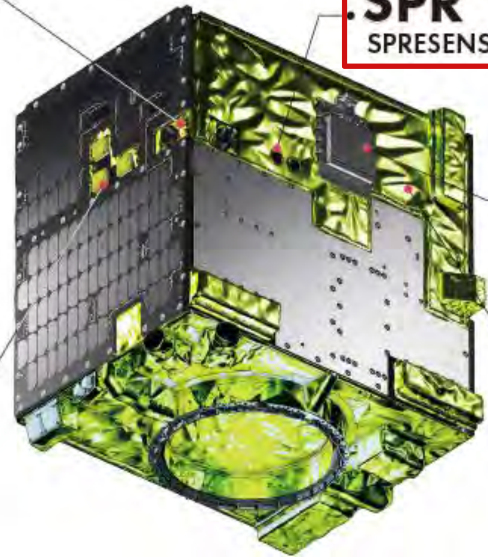
Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

「SPR 」の取付位置



©JAXA

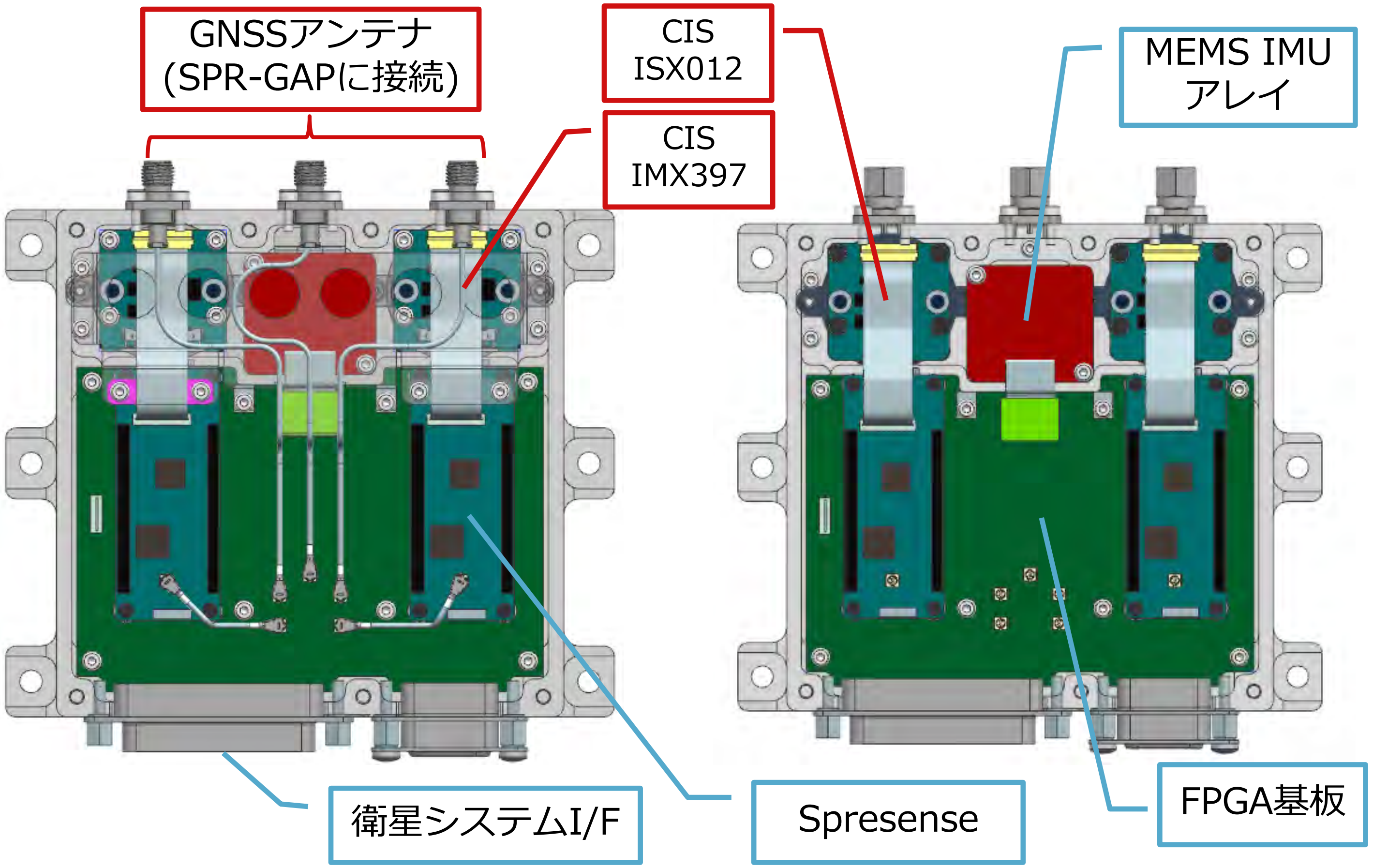




©JAXA

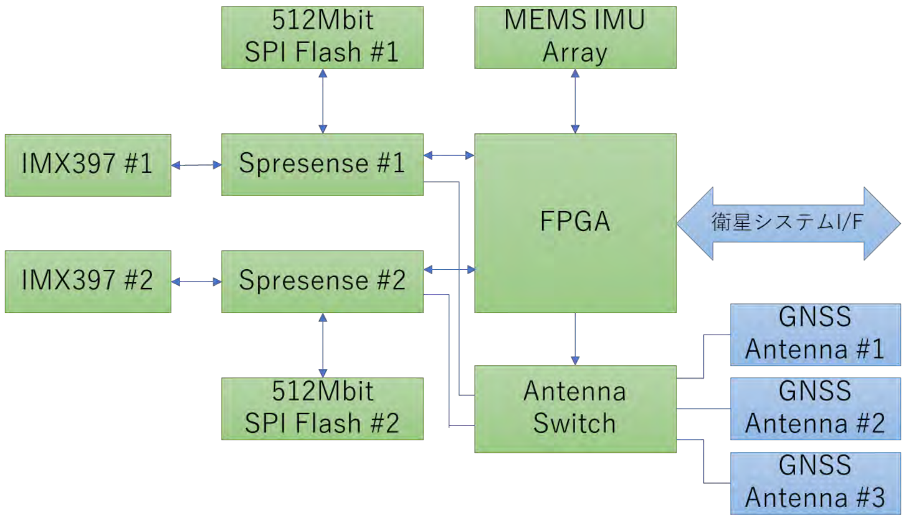
Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPR-BOXの内部構成



SPR-BOX-S　　SPR-BOX-E

構成	SPR-BOX-S	SPR-BOX-E
CPUボード	Spresense x 2	
イメージセンサ	IMX397 x 2	ISX012 x 2
レンズ焦点距離	7.87mm	2mm
IMU	MEMS IMU アレイ x 1	
GNSSアンテナ	Patch Ant. x 3	非搭載
ストレージ	512MビットSPIフラッシュx 2	
インタフェース	D-Sub25	
寸法	100 x 100 x 33mm	
質量	460g	450g



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

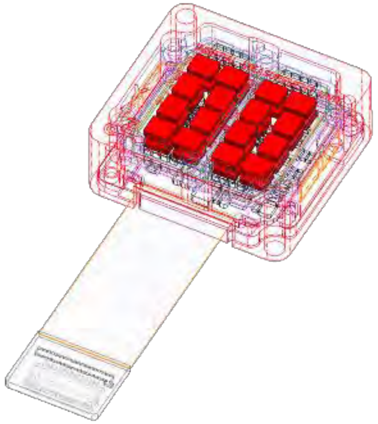
マルチIMU及びGNSSによる姿勢推定

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

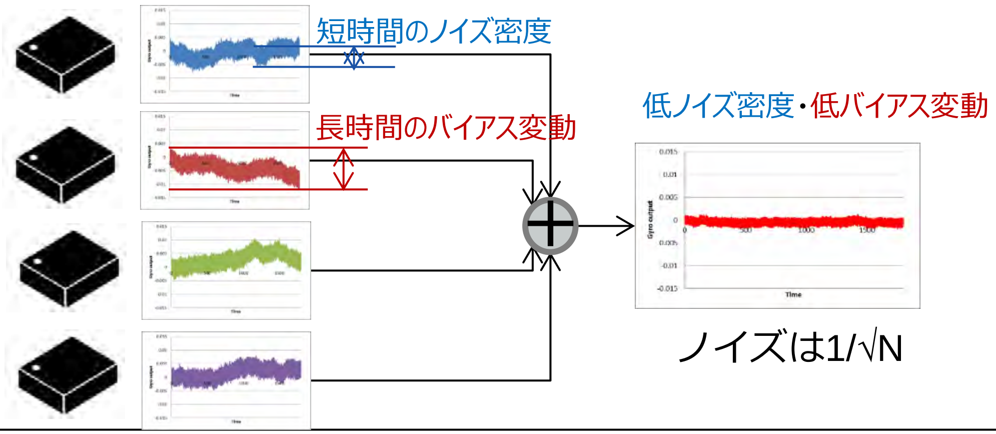
ミッション概要

SPR-BOX-E

MEMS IMUアレイによる姿勢推定

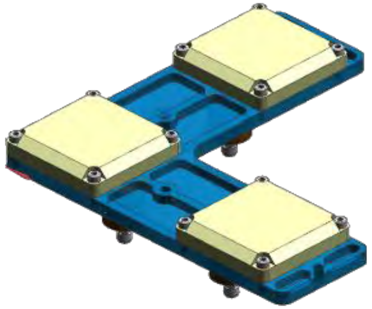


32個の民生6軸MEMS IMUを約25mmのパッケージに収め独自のフィルターによって高精度IMUを実現。
FOGに匹敵する0.5deg/hr達成。

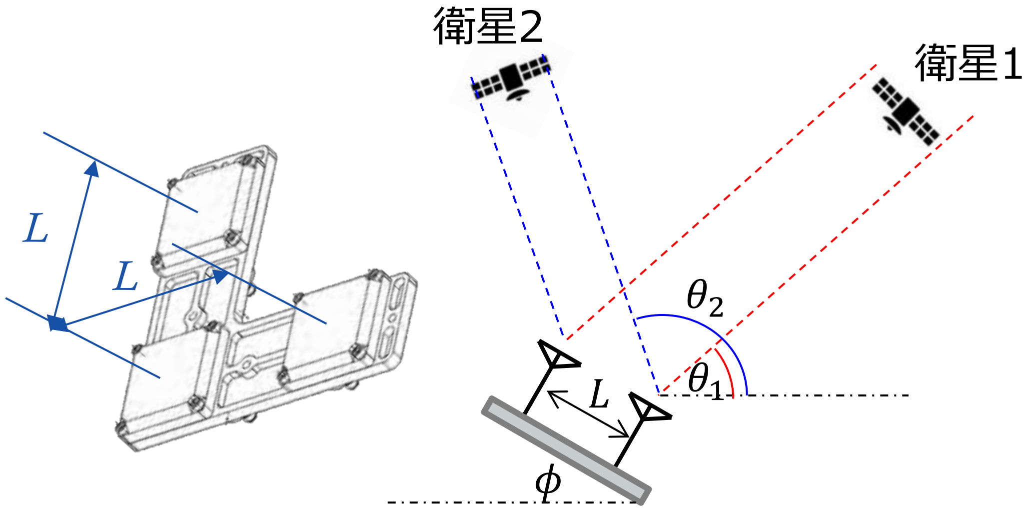


SPR-BOX-S

GNSS測位モジュールによる姿勢推定

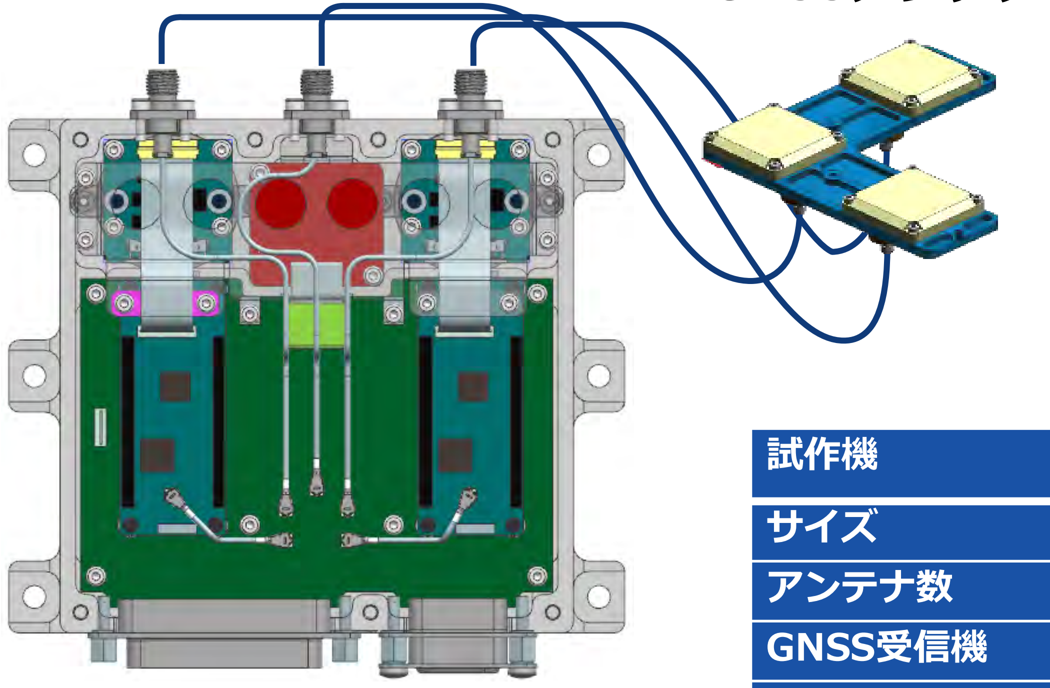


３つのGNSSアンテナで受信した測位衛星からの搬送波の位相を比較して衛星の姿勢を推定する

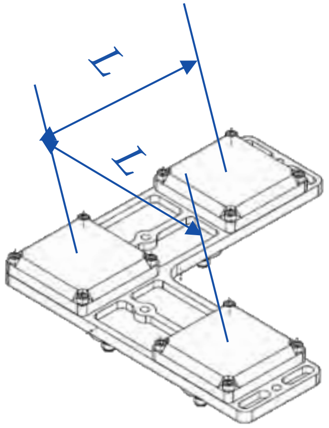


Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

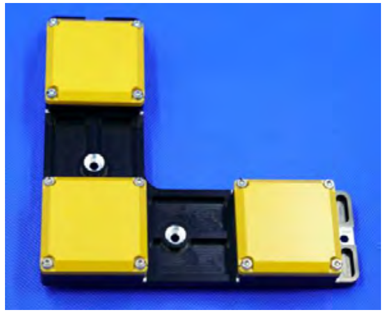
GNSS測位モジュールによる姿勢推定



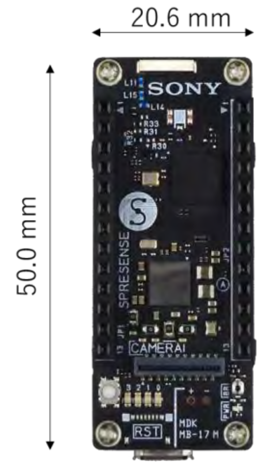
SPR-BOX-S



L=10cm



SPR-GAP



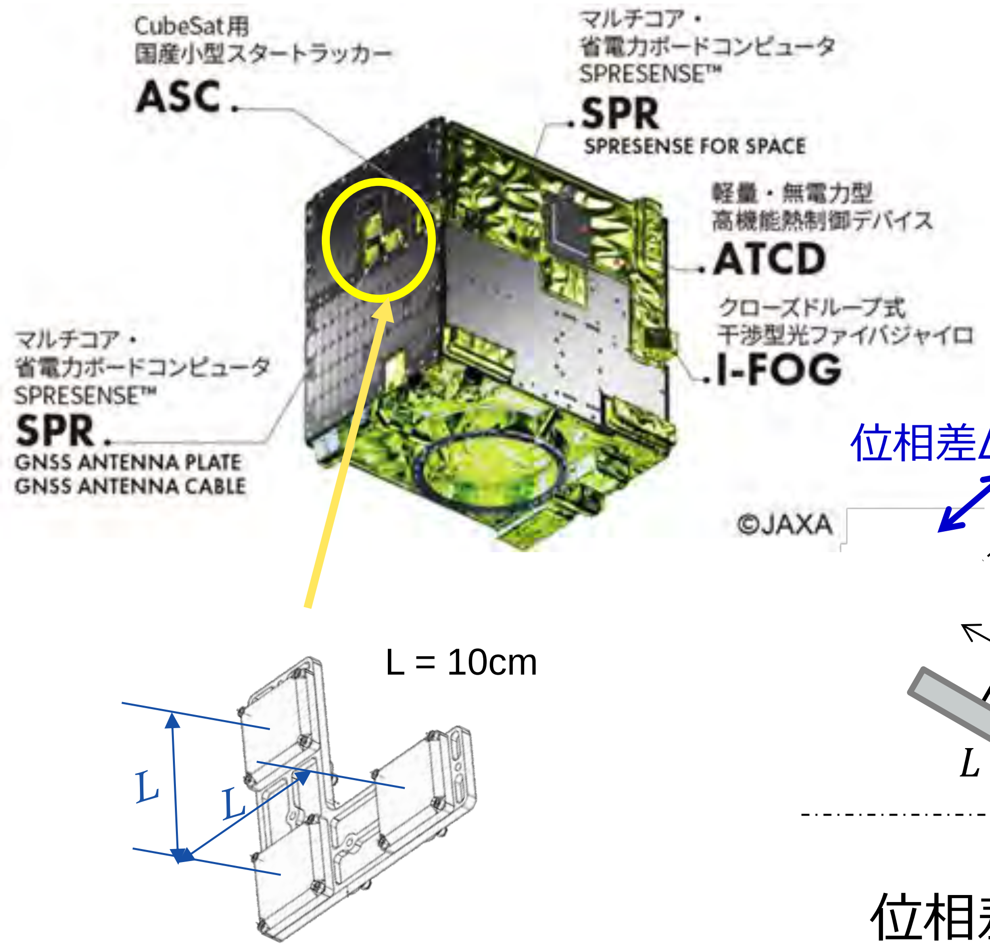
SPRESENSE™内蔵
GNSS受信機

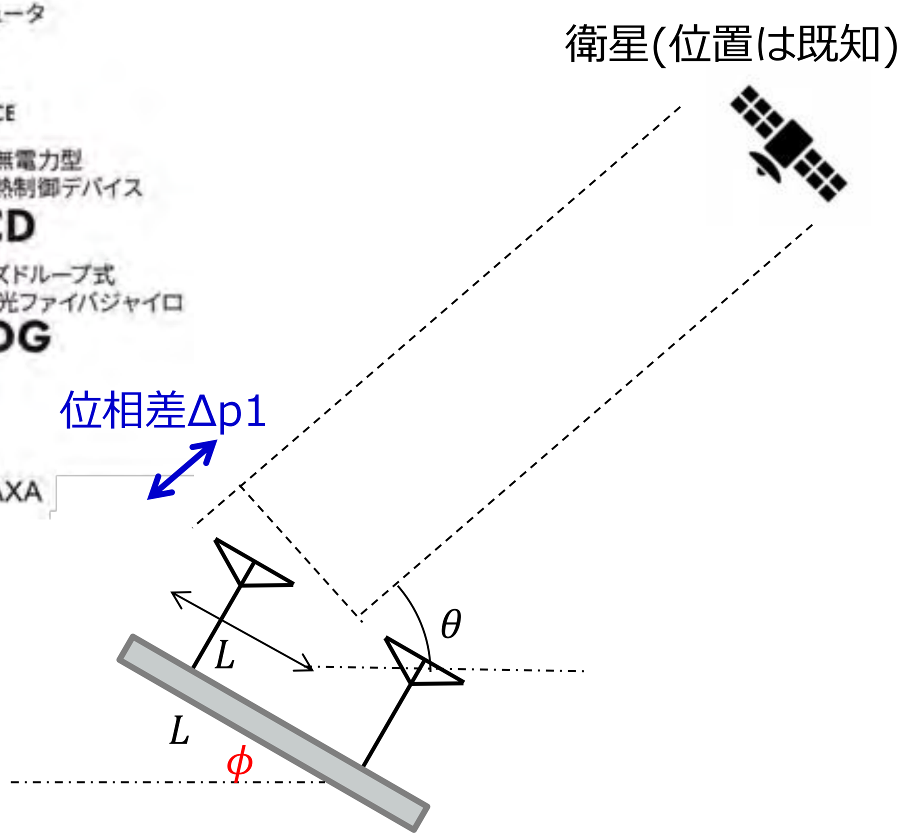
試作機	仕様 (暫定仕様のため変更可能性有り)
サイズ	アンテナ間基線長 10 [cm]
アンテナ数	3 [個]
GNSS受信機	SPRESENSE™内蔵GNSS受信機 (宇宙向けカスタム)
測位精度目標値	約2 [m]
姿勢推定精度目標値	約3 [deg]
測位システム	GPS、みちびき、GLONASS (地球・宇宙)、 BeiDou、Galileo (地球のみ ※本試作機暫定仕様)
出力レート	0.17 [Hz]

SPRESENSE

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

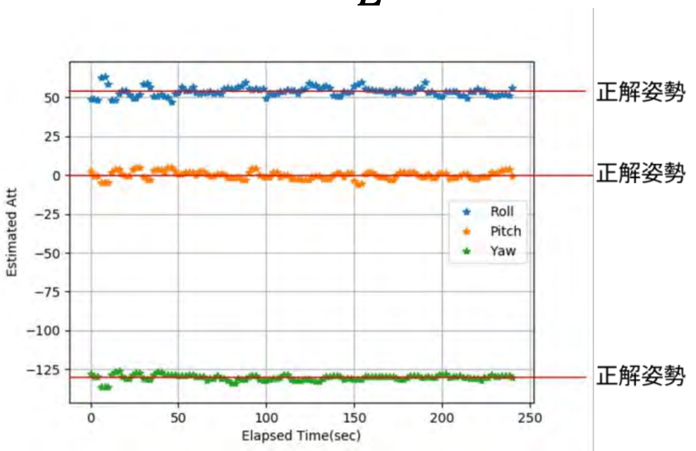
GNSSアンテナ間の搬送波位相差による姿勢推定





$$\Delta p_1 = \frac{L\cos(\theta - \phi)}{\lambda}$$

$$\phi = \arccos\frac{\lambda \Delta p_1}{L} - \theta$$



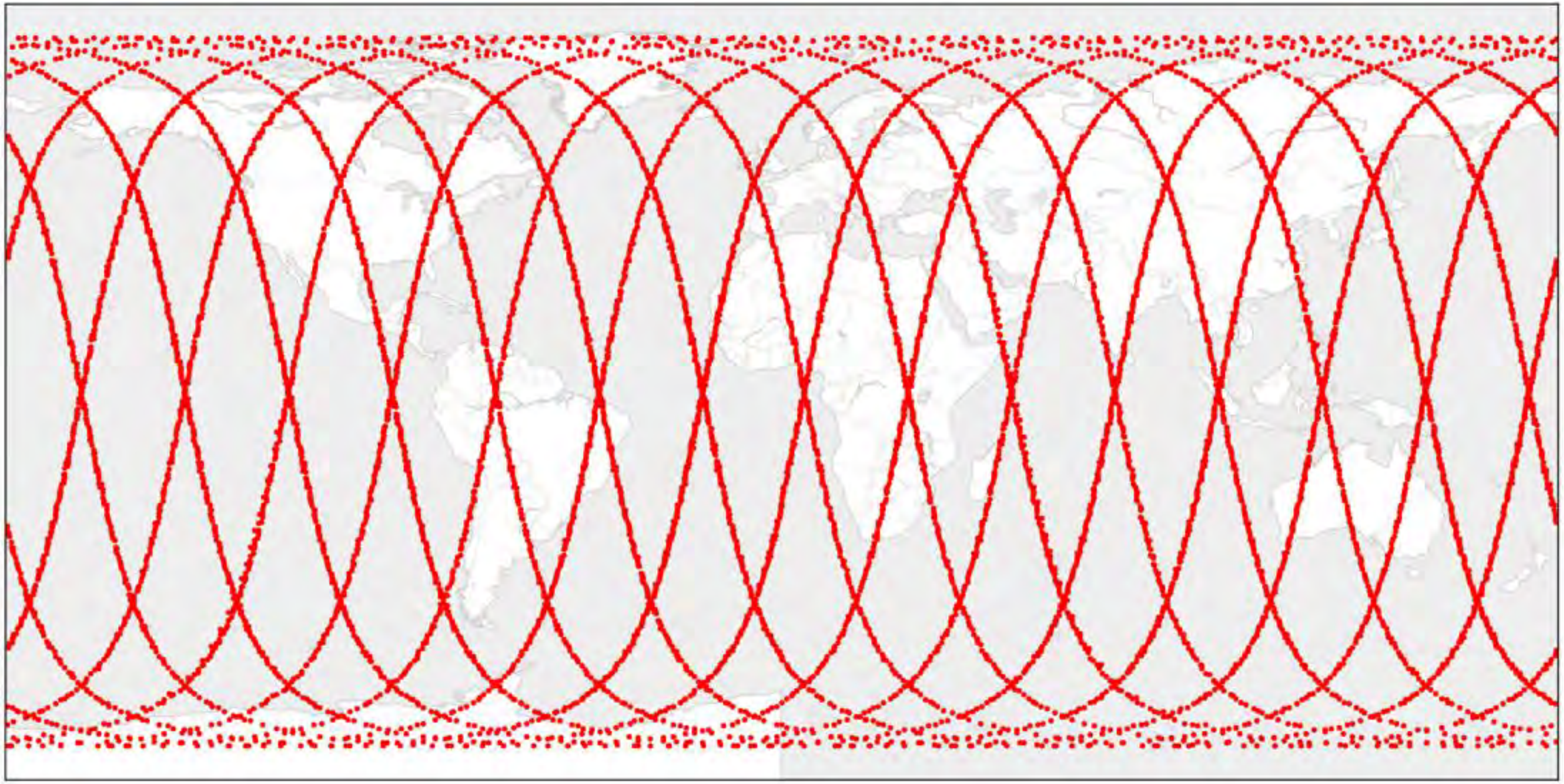
位相差情報で3次元
絶対姿勢を推定可能

高精度な時刻補正技術を搭載。
低軌道上にて姿勢推定の精度検証を実施

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPRESENSE™内蔵GNSSによる低軌道衛星測位

SPRESENSE™内蔵GNSS(宇宙向けカスタマイズ)により衛星測位に成功

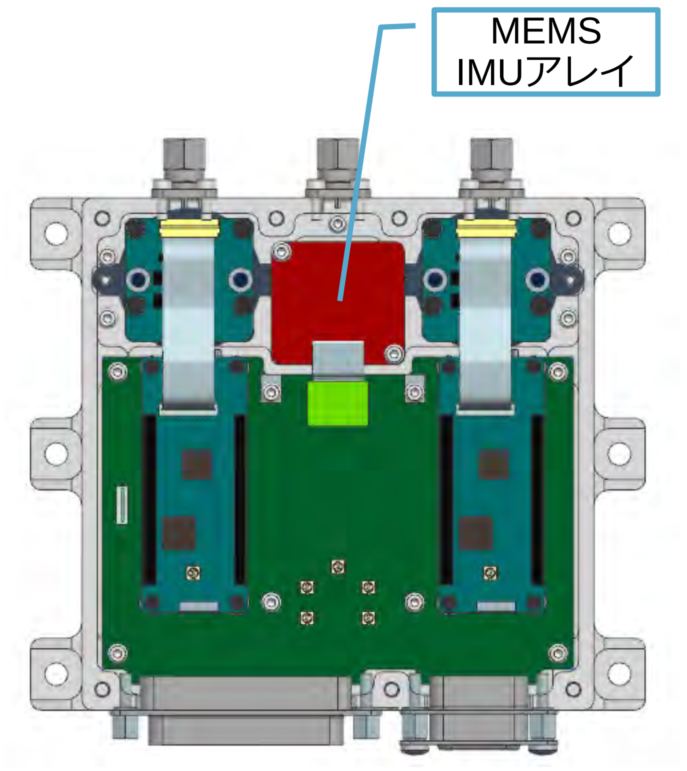


１秒間に一回測位し、データを間引いて１分に一回テレメトリで送信。地球周回周期は約97分であり、地球一周で約97個のデータをプロット

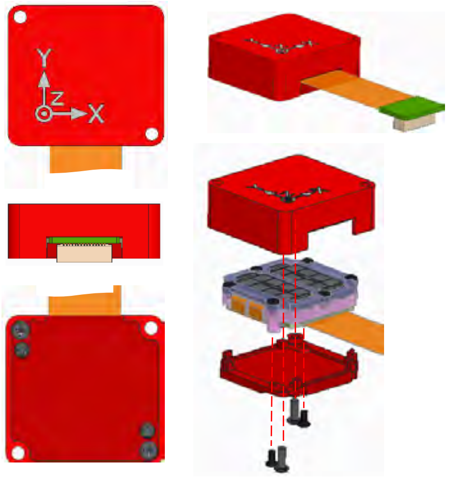
SPRESENSE

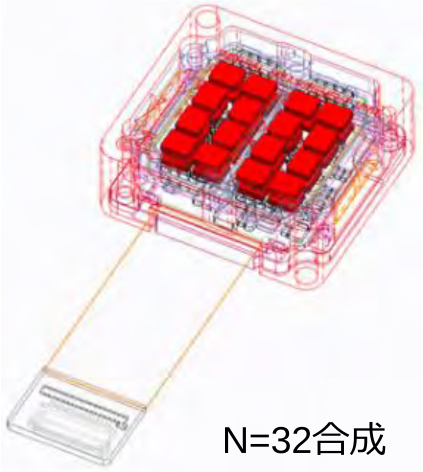
Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

マルチIMUアレイによる姿勢推定



SPR-BOX-E



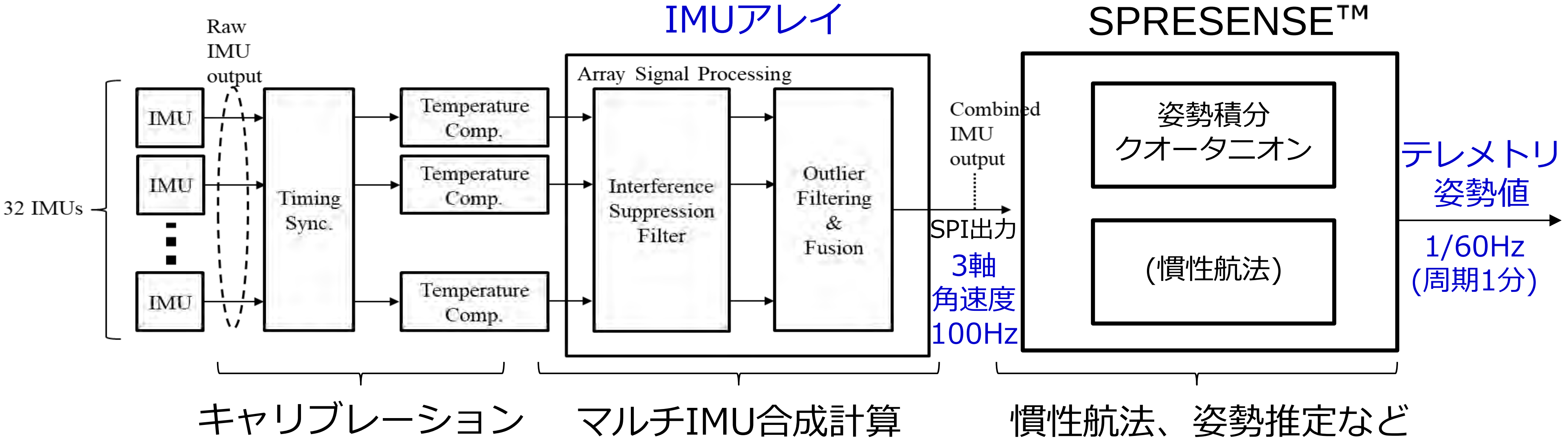


IMU試作機	仕様
サイズ	24 x 26 x 9.45 [mm]
重量	12.1 [g]
IMUアレイ	6軸IMU x 32 [個]
Gyroバイアス安定性	0.5 [deg/hr]
Gyroノイズ密度	0.042 [deg/√hr]
加速度ノイズ密度	10 [uG/√hr]
データ幅	16 / 24 [bits]
インターフェース	SPI / UART

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

マルチIMUとSPRESENSE™で姿勢計算

- キャリブレーション計算とマルチIMU合成計算をリアルタイムで実行
- 後段処理にて高精度な姿勢推定値を計算



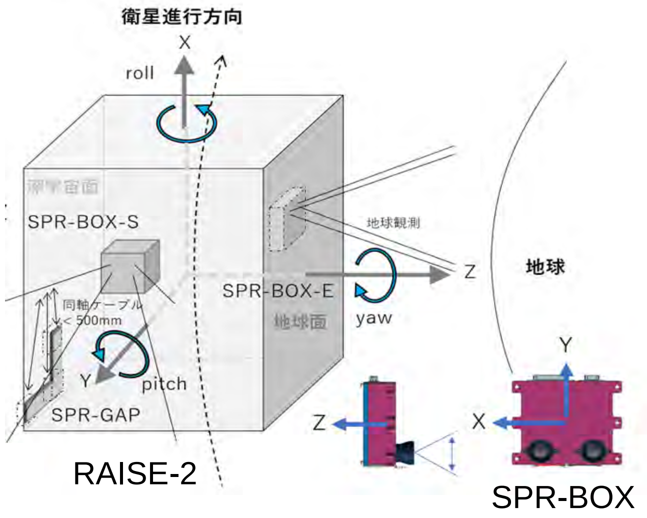
LEO軌道レート
0.001 rad/sの検出

SPRESENSE

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

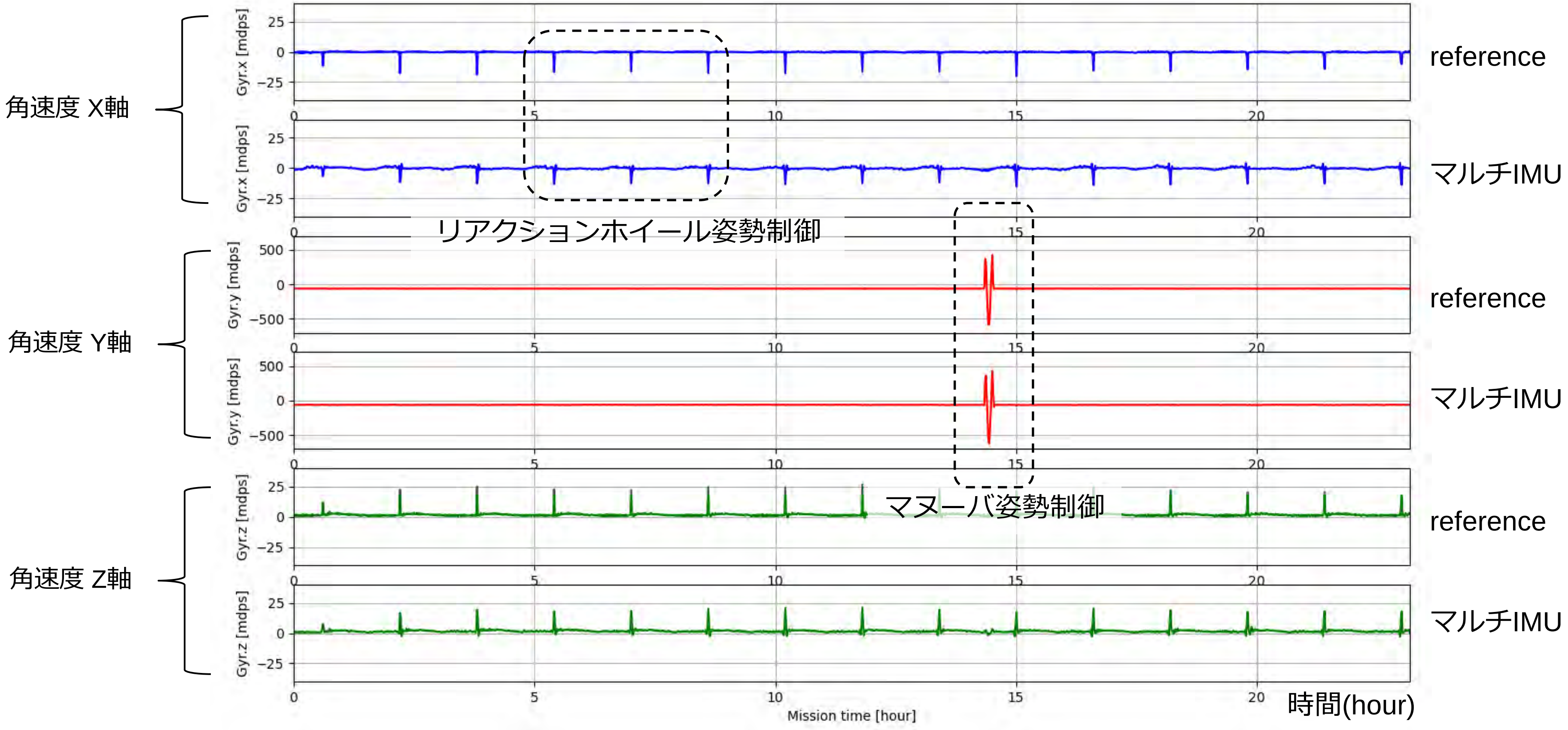
マルチIMUによる人工衛星の姿勢推定結果

人口衛星の３軸角速度をRAISE-2搭載ジャイロと比較し同等精度であることを確認



RAISE-2人工衛星姿勢の検出(3軸姿勢)

マルチIMUの3軸角速度出力

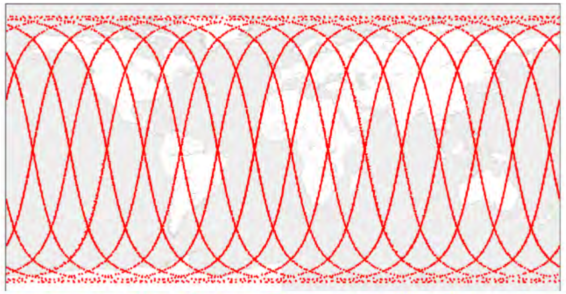


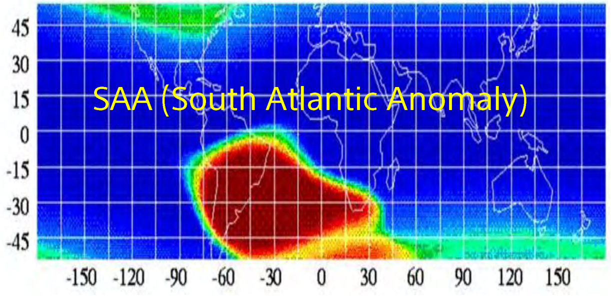
（マルチIMUのテレメトリ出力からバイアス値を推定して除去した結果を表示）

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

マルチIMUの冗長性を活用した放射線耐性

運用期間中、放射線由来の異常値は観測されなかった





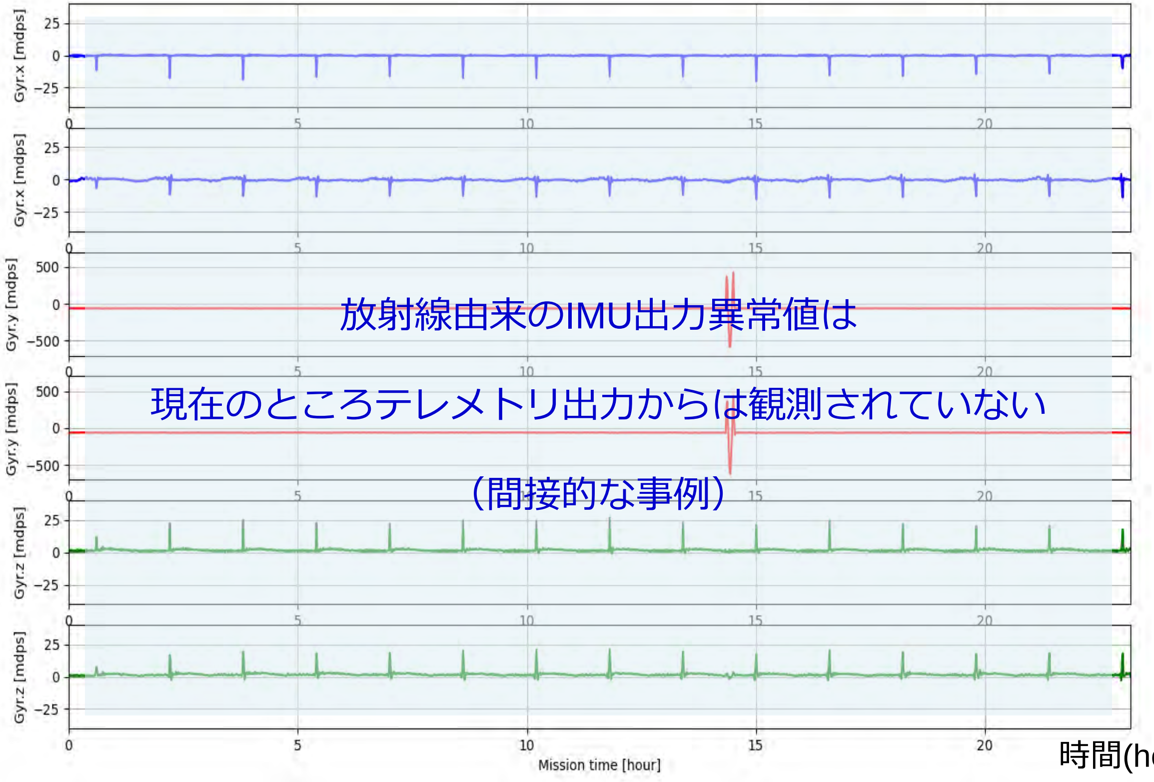
放射線が強いエリアSAAを何度も通過

https://ja.wikipedia.org/wiki/南大西洋異常帯

角速度 X軸

角速度 Y軸

角速度 Z軸



reference

マルチIMU

reference

マルチIMU

reference

マルチIMU

時間(hour)

放射線由来のIMU出力異常値は

現在のところテレメトリ出力からは観測されていない

（間接的な事例）

（マルチIMUのテレメトリ出力からバイアス値を推定して除去した結果を表示）

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2024

SPRESENSEマルチIMUアドオンボード

■ 製品概要

複数のIMUを合成するソニー独自の合成技術により、工業用光ファイバージャイロ(FOG)に匹敵する超高精度6軸慣性センサを小型＆低価格で実現

■ 特長

低バイアス変動：ドリフト誤差0.39deg/h以下

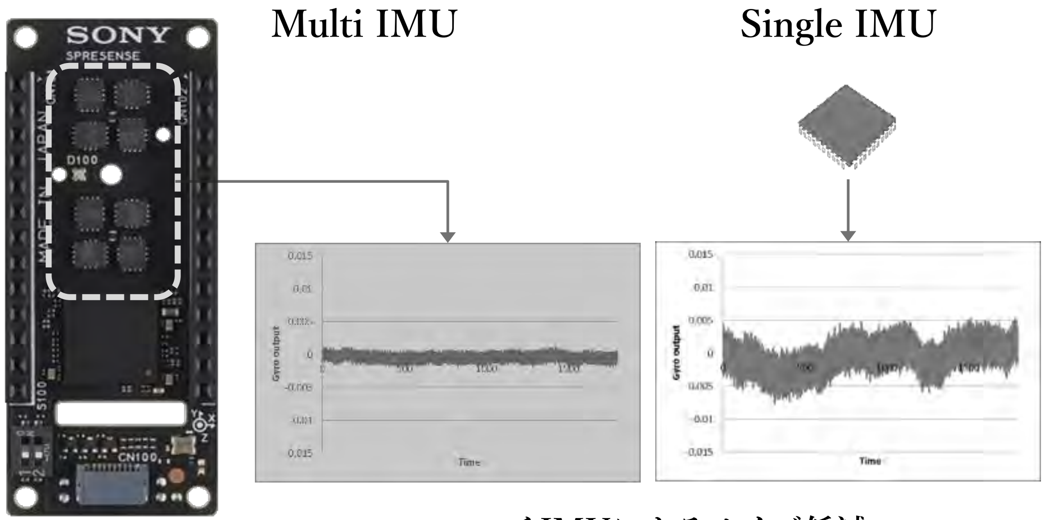
低ノイズ密度：地球自転検出が可能(地磁気センサ不要)

軽量・低コスト：工業用FOGに対し価格、重量が約1/100

高信頼性：リアルタイム異常値除去による高信頼性を実現

スケーラブル： ２枚スタックにより更に高精度化可能

超低周波振動：精度が高いため超低周波振動の計測も可能



マルチIMUによるノイズ低減

製品仕様		
サイズ（試作品）		44 x 20.6 x 7 [mm]
重量（試作品）		10 [g]
出力レート		～1920 [Hz]
出力形式		SPI
動作温度		-20～65 [℃]
消費電力		128 [mW]、247 [mW] (２枚スタック時)
ダイナミックレンジ	ジャイロ	～2000 [dps]
	加速度	～16[G]
ノイズ密度	ジャイロ	1.0 [mdps/√Hz]、 0.7 [mdps/√Hz](２枚スタック時)
	加速度	14 [uG/√Hz] 、 9.8 [uG/√Hz] (２枚スタック時)
バイアス安定性	ジャイロ	0.39 [dph] 、 0.27 [dph] (２枚スタック時)
	加速度	4.43 [uG/√Hz] 、 3.13 [uG/√Hz] (２枚スタック時)

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

地表と星空の撮影、ファームウェア更新

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPR-BOXによる撮影とファームウェア更新

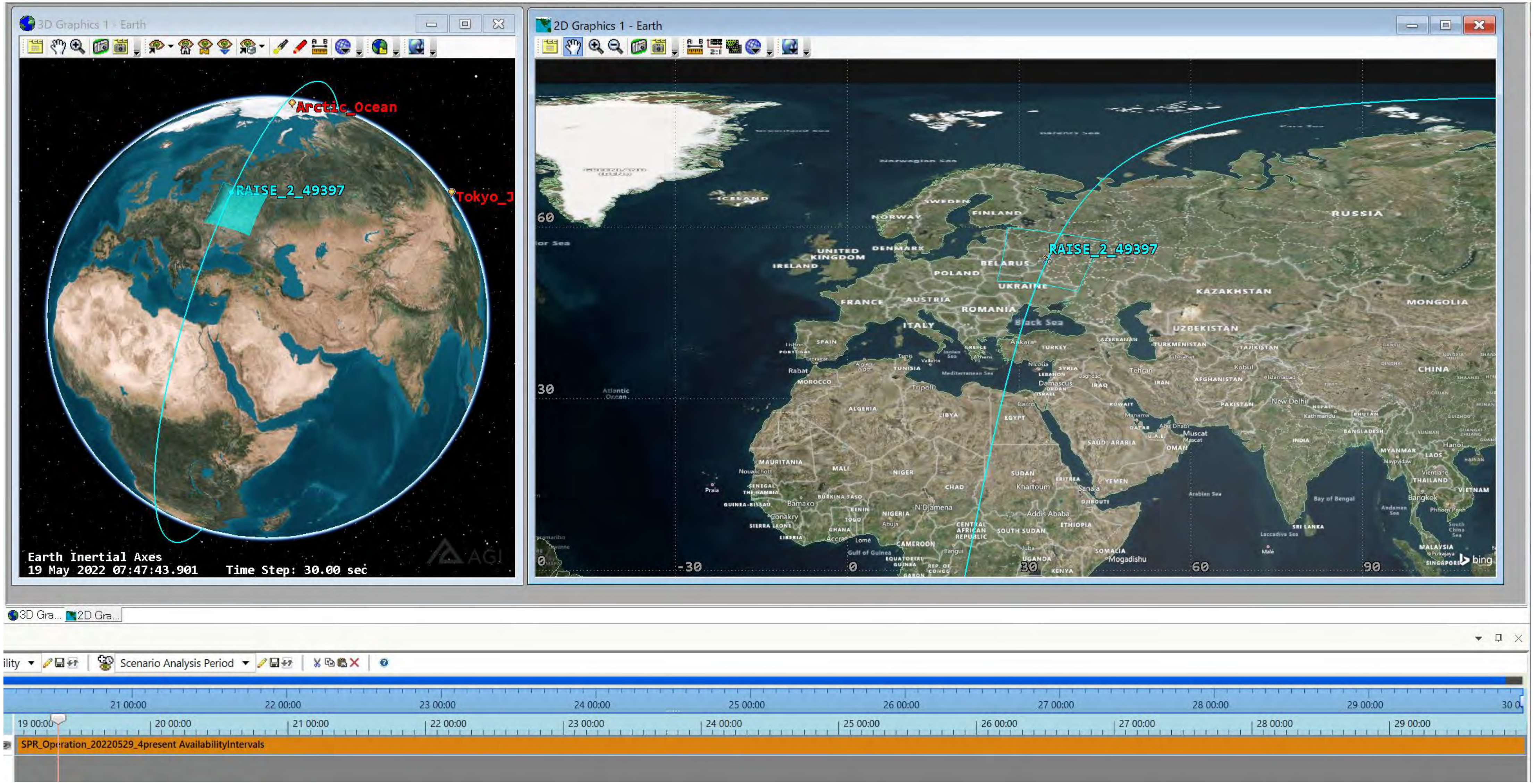
- SPR-BOXによる撮影画像
  - SPR-BOX-E搭載カメラと、SPR-BOX-S搭載カメラによる、地表と星空の撮影と、その画像データ伝送と取得、そして画像生成に成功した。取得出来たそれぞれ数百枚の画像の中から地表撮影画像と、星空撮影画像をいくつか紹介する。

- SPR-BOX ファームウェア更新
  - SPR-BOX-EとSPR-BOX-Sの両コンポーネントに搭載されている計4つのSpresenseのファームウェアを軌道上で更新し成功した

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

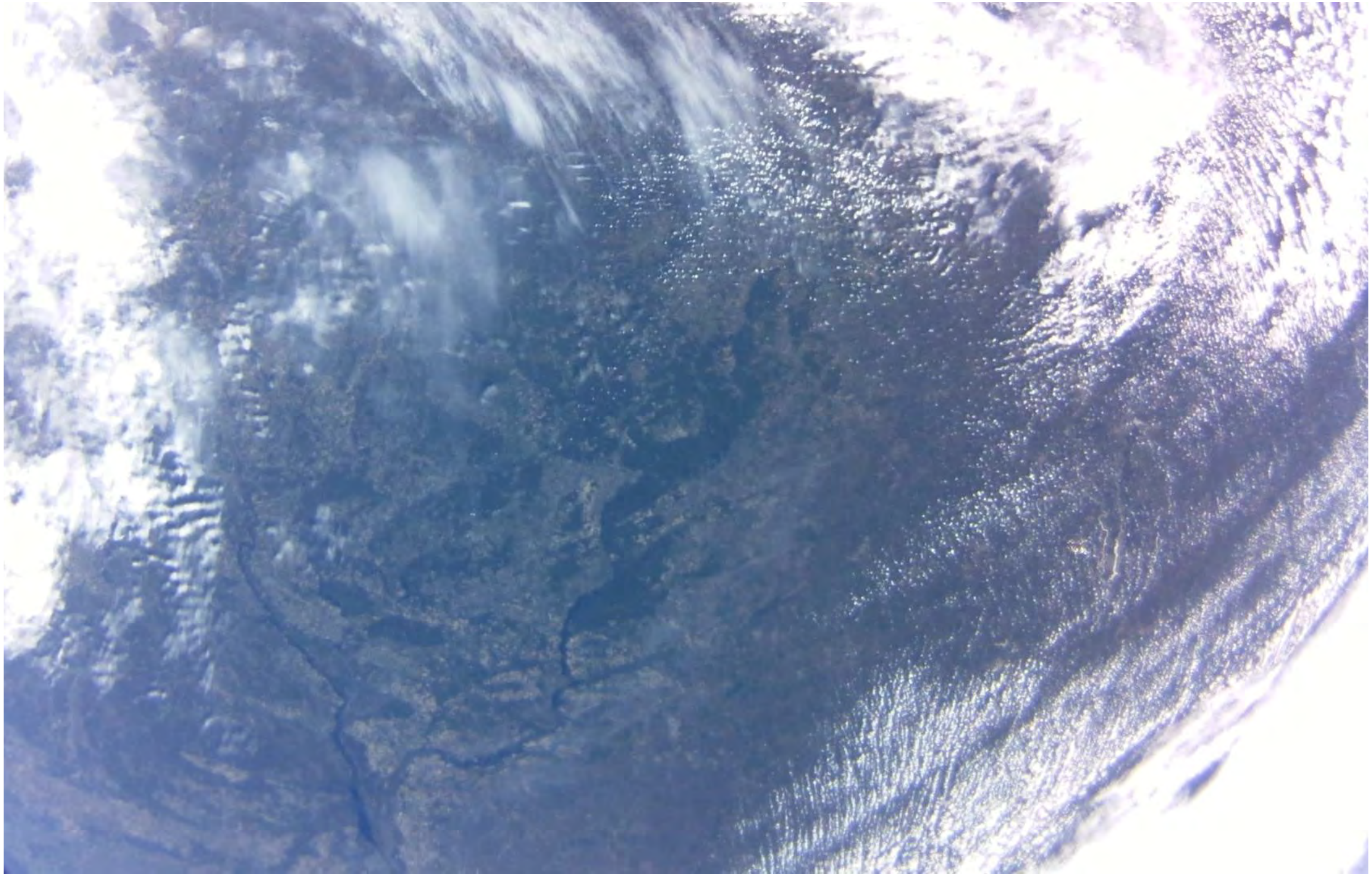
SPR-BOX-E撮影ミッション1

SPR-BOX-E SPRESENSE#1
による地表撮影 (1920 x 1080 pixels, 2022/05/19撮影)



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

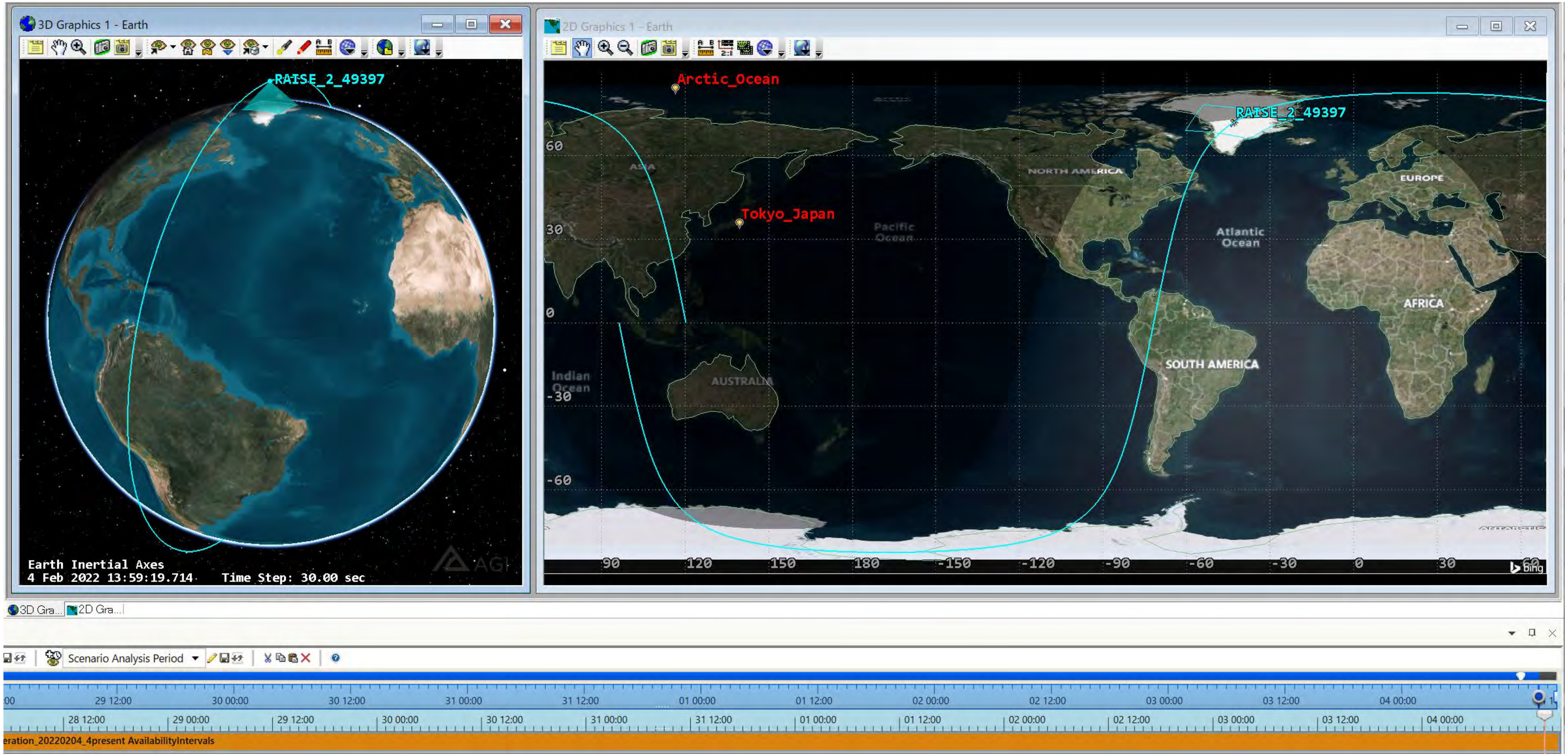
モスクワ ~ ウクライナ ~ 黒海 ~ トルコ ~ 地中海 ~ エジプト (UTC 2022年5月19日 7時47分55秒から)



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

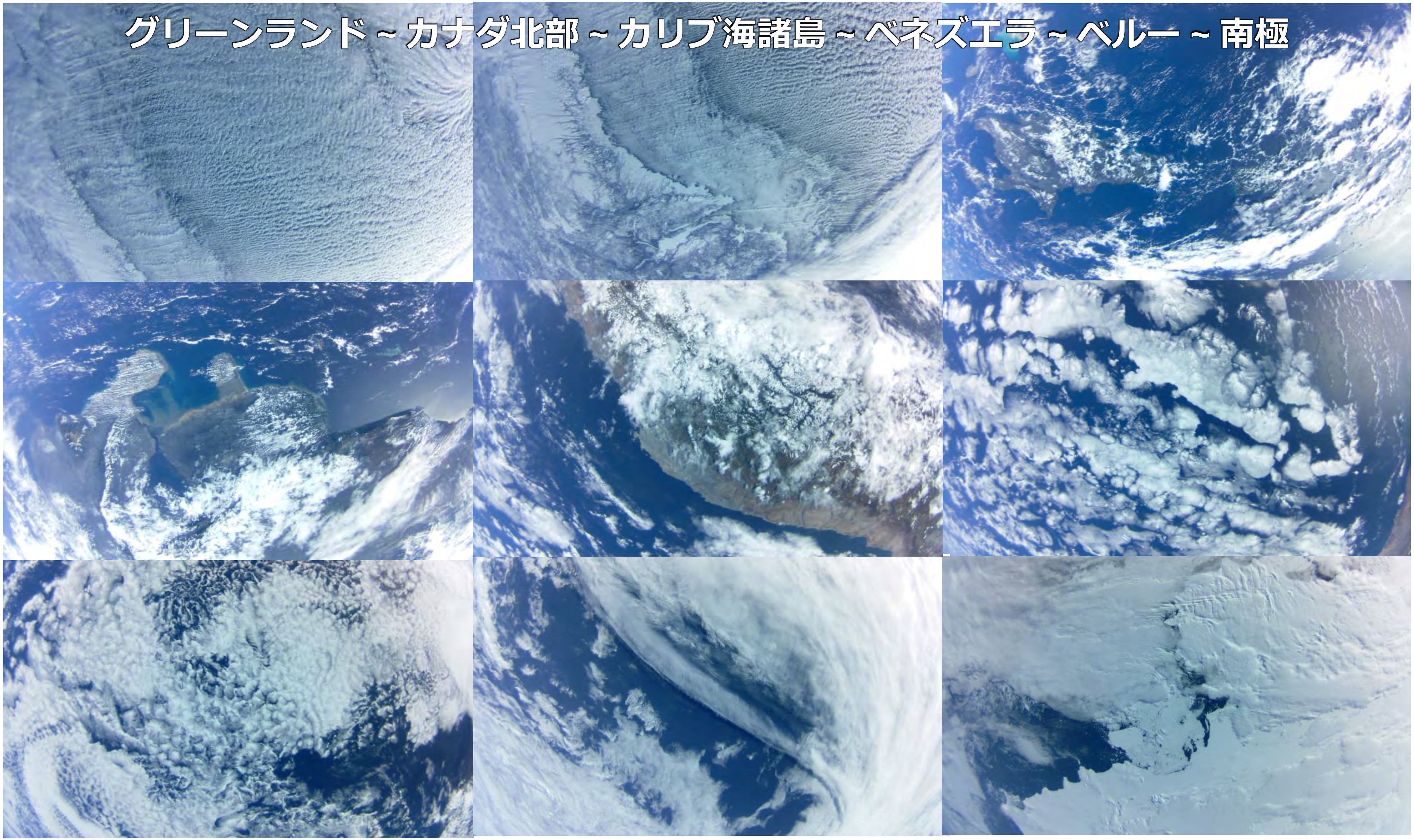
SPR-BOX-E撮影ミッション2

SPR-BOX-E SPRESENSE#2
による地表撮影 (1920 x 1080 pixels, 2022/02/04撮影)



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

グリーンランド ~ カナダ北部 ~ カリブ海諸島 ~ ベネズエラ ~ ベルー ~ 南極



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPR-BOX-Sによる星空(深宇宙側)画像

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

SPR-BOX-E
SPRESENSE#1
による星空(深宇宙)撮影
(648 x 492 pixels,
2022/02/4撮影)

SPRESENSE

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

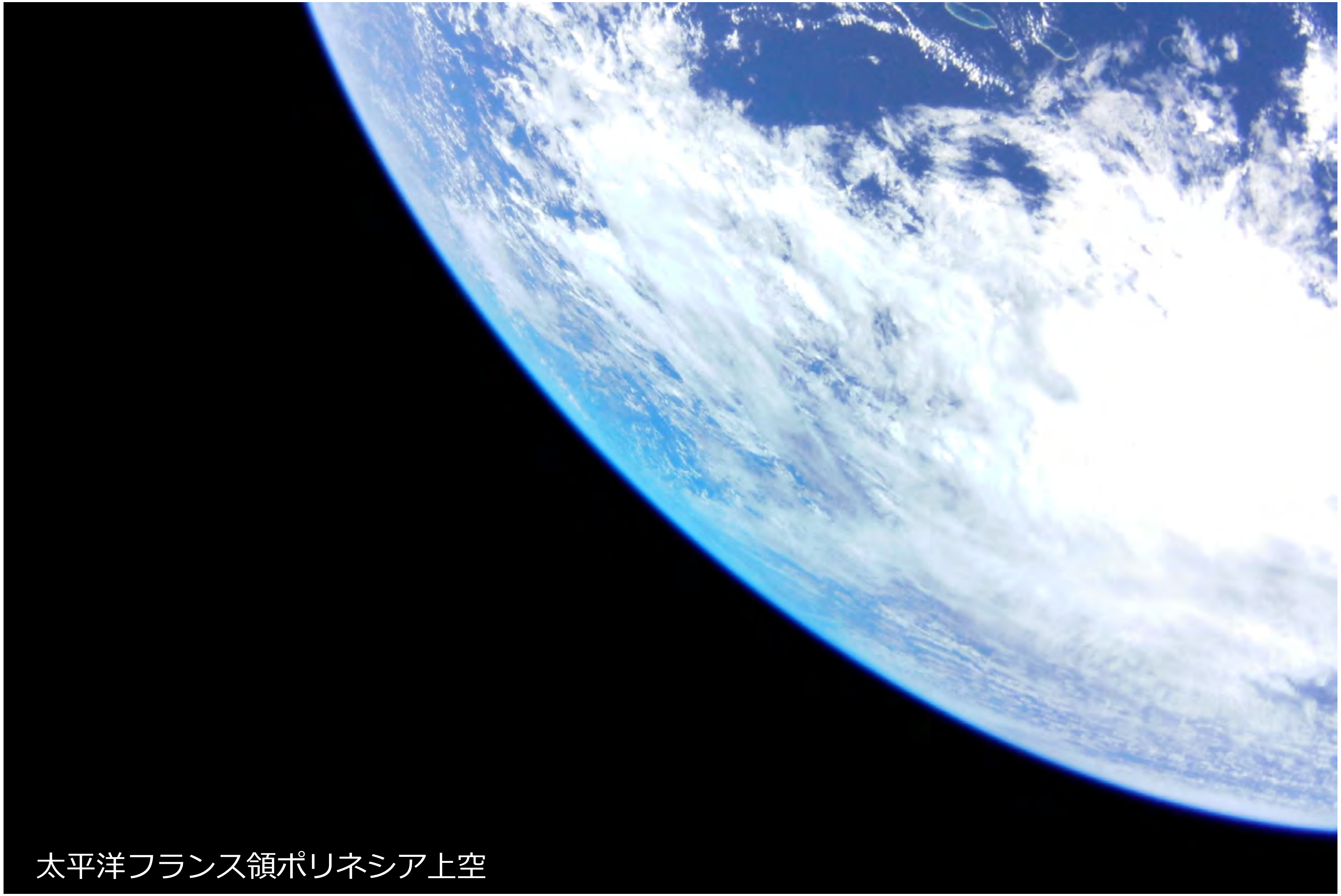
姿勢変化中の地球画像

SPR-BOX-E
SPRESENSE#1 and #2
2560 x 1920 pixels, JPEG

エジプト上空 (紅海、アラビア半島)

イタリア上空 (コルス島、サルデーニャ島など)

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026



Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2026

RAISE-2におけるSPRミッション まとめ

① マルチIMUによる衛星姿勢測定実験による姿勢データを取得、高精度姿勢推定ができることを確認した

② GNSSによる衛星位置姿勢推定実験により、SpresenseでのGNSS測位と姿勢推定が可能であることを確認した

③ 地表撮影用カメラ、星空撮影用カメラによる地表画像、深宇宙画像の撮影ができた

④ ファームウェアアップデートを実施し成功した

⑤ Spresenseメインボード、カメラボード、マルチIMUユニットについて、宇宙環境耐性を実証することができた

Sony Semiconductor Solutions Corporation © 2019 - 2024

宇宙機で高度ミッションを実現する

ローパワーエッジコンピューティング

SPRESENSE

MADE IN JAPAN

月面探査ロボットの他、数多くの人工衛星で採用されています
また、月面探査機や火星探査機への採用も検討されています