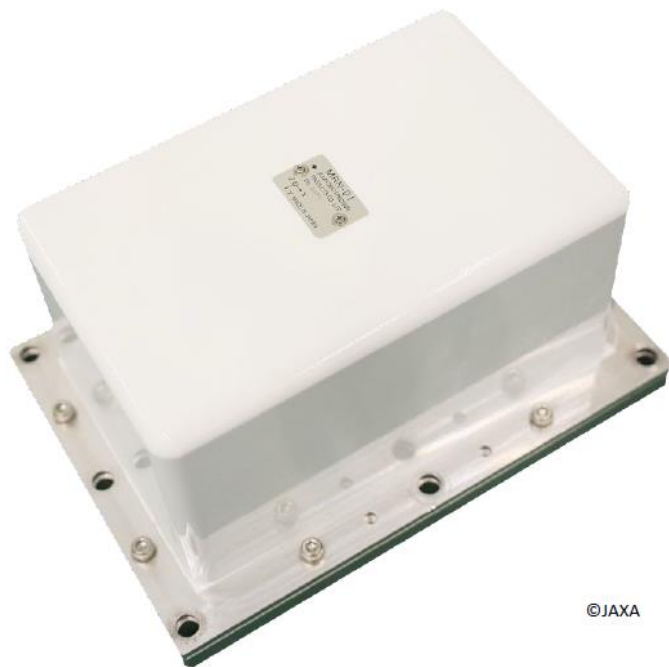




冗長MEMS IMU(MARIN)の軌道上実証の状況



©JAXA

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
研究開発部門 第四研究ユニット 研究開発員

小見山 瑞綺

本日の内容



1. 背景および軌道実証の実証目的
2. 冗長 MEMS IMU「MARIN」について
3. 軌道上実証の現状
4. まとめと今後の展望

1. 背景および軌道上実証の目的



●背景

✓近年、STT(スタートラッカ)やGNSS(衛星測位システム)と
中精度なIMU(慣性計測ユニット)を組み合わせ
宇宙機の位置・速度・姿勢を計測する技術の利用が進んでいる

【宇宙機に搭載する中精度なIMUに求められること】

- ①小型
- ②低価格
- ③放射線耐性



【課題】

現在、中精度で小型な放射線耐性を持つIMUはITAR制約のある海外製の物を輸入して使用している

- ・手元に届くまで時間がかかる。コストがかかる。
- ・不具合が発生した際、技術情報が開示されていないため原因究明が進まない



➡ 宇宙機の開発コスト増加や開発遅延に繋がる為、大きな課題となっている

国産の中精度で小型な放射線耐性を持つIMUが必要

1. 背景および軌道上実証の目的

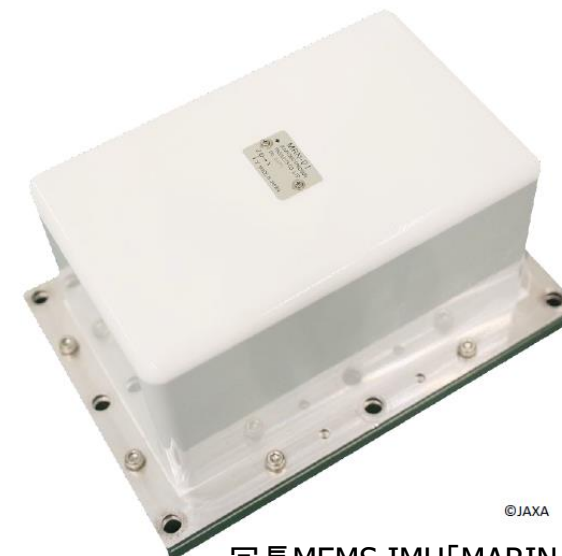


●背景

✓ JAXAでの取り組み

- ① 民生部品と高精度なMEMS IMUの利用
- ② 回路技術によりシステムとして放射線耐性を持たせる

➡ 中精度な小型で低価格な国産IMUである冗長MEMS IMU「MARIN」の研究開発を実施中



© JAXA

冗長MEMS IMU「MARIN」

●軌道上実証の目的

- ・軌道上でMARINの機能と性能を評価する
- ・回路技術によりシステムとして放射線耐性を持たせたMARINの実放射線環境下での放射線耐性を確認する
- ・本実証を通じて中精度な小型で低価格な国産IMUとしてMARINを国内で供給可能とし、ITAR制約のある海外製の物を輸入し利用する際に生じる課題解決に繋げる。また、我が国の自律性と価格競争力に貢献する

2. 冗長MEMS IMU「MARIN」について

・MEMS IMUとは？

▶MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)

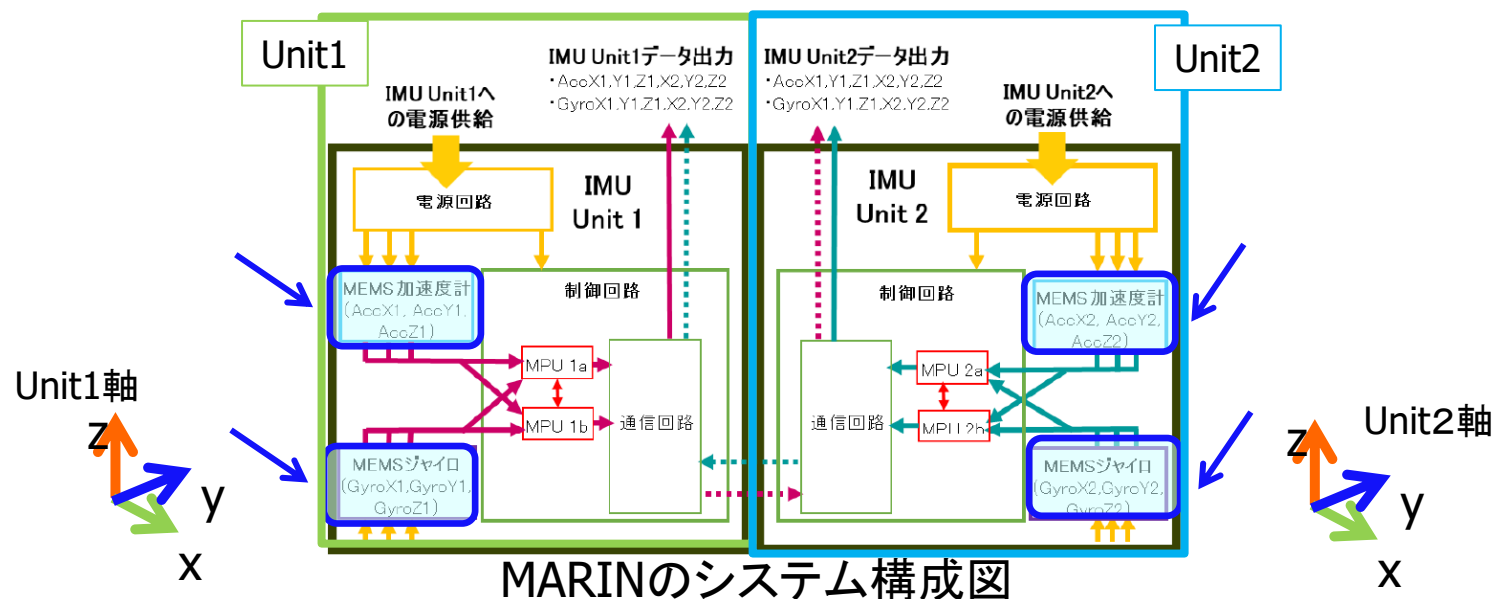
- ・・・半導体集積回路の製造に用いられる微細加工技術を応用し、振動子や駆動系などの機構を組み込んだ超小型の機械システムや微小電気機械システム

▶MEMS IMU

- ・・・MEMS技術により製造された加速度計とジャイロを組み込んだ慣性航法装置

【MARINの特徴】

- ①高精度なMEMS加速度計とMEMSジャイロを計6軸使用
- ②一つの筐体にIMUが2ユニット搭載されている二重冗長構成

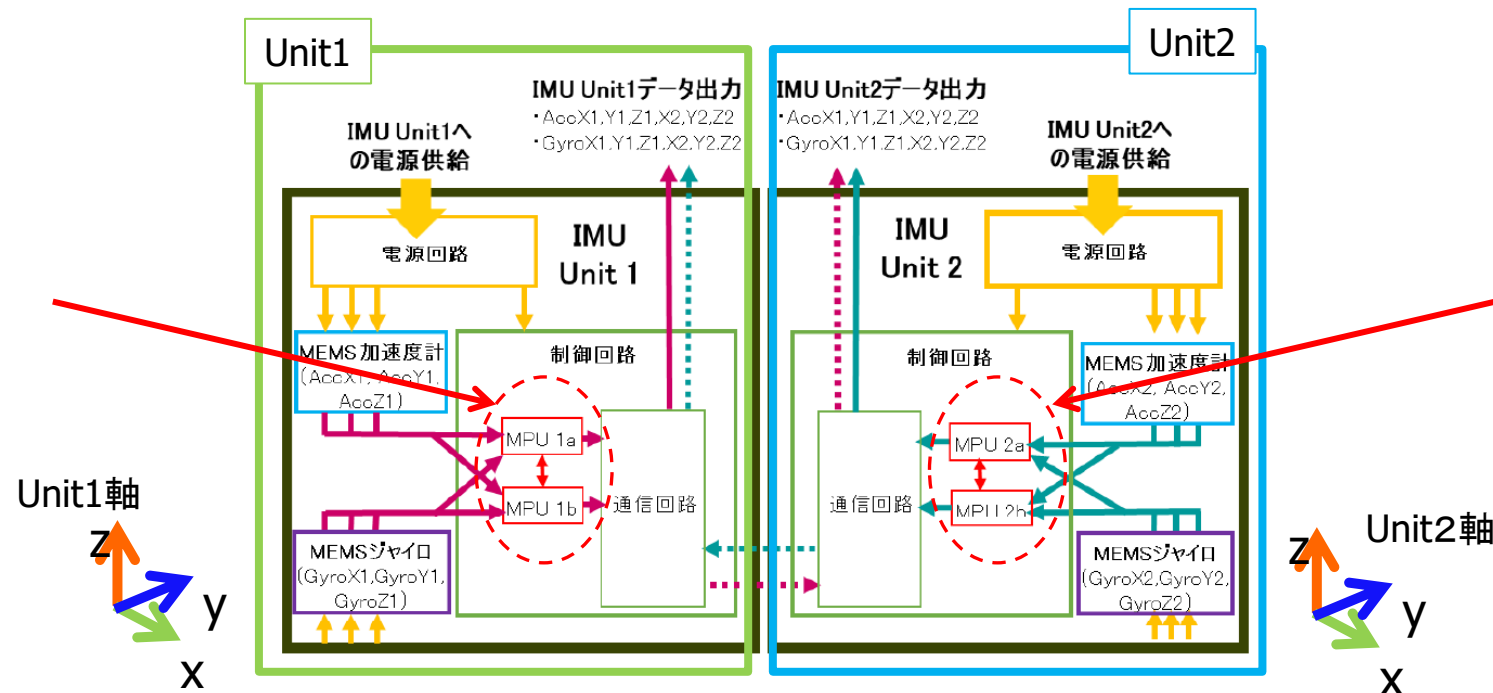


2. 冗長MEMS IMU「MARIN」について



【MARINの特徴】

- ③ センサデータの計算処理に**車載MPU**を使用
- ④ 一つのユニットに**MPUが2つ**あり取得したセンサデータの**計算結果を比較**することでMPUの**故障診断**を実施

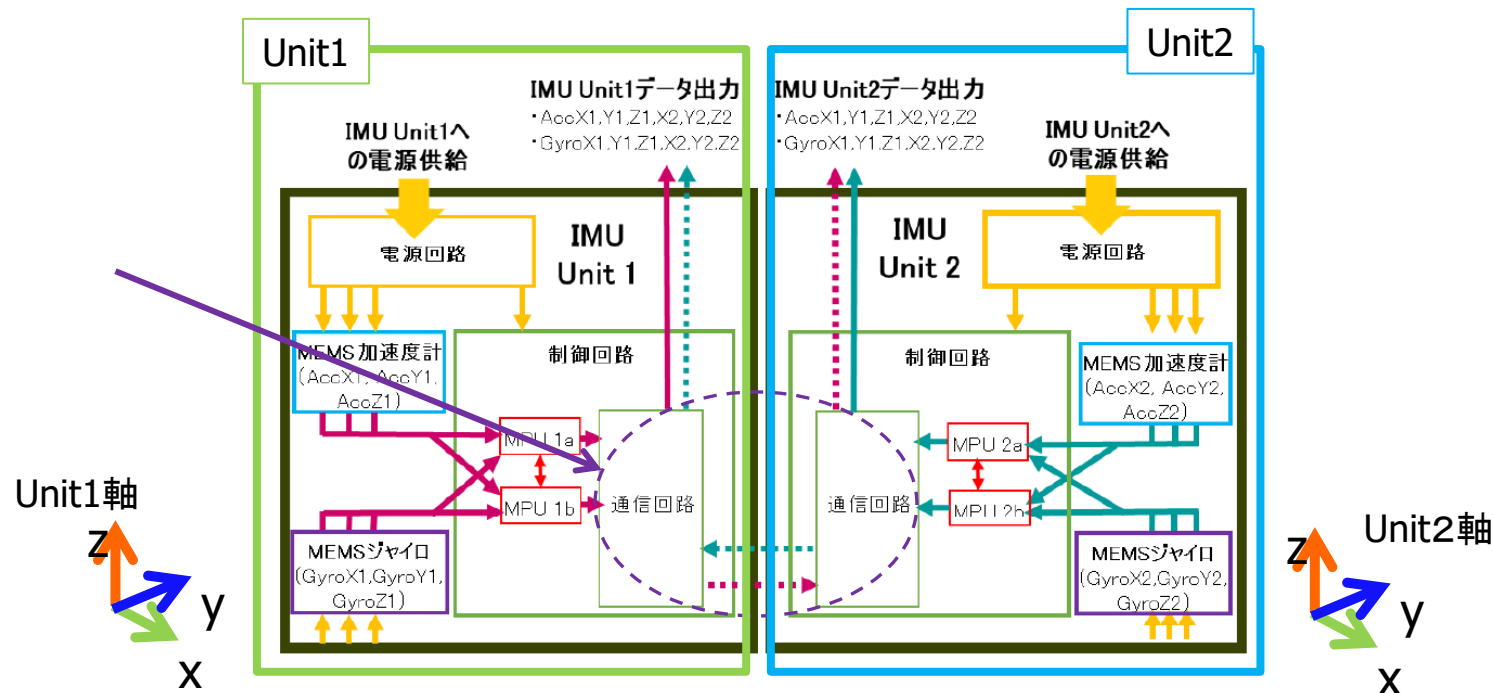


2. 冗長MEMS IMU「MARIN」について



【MARINの特徴】

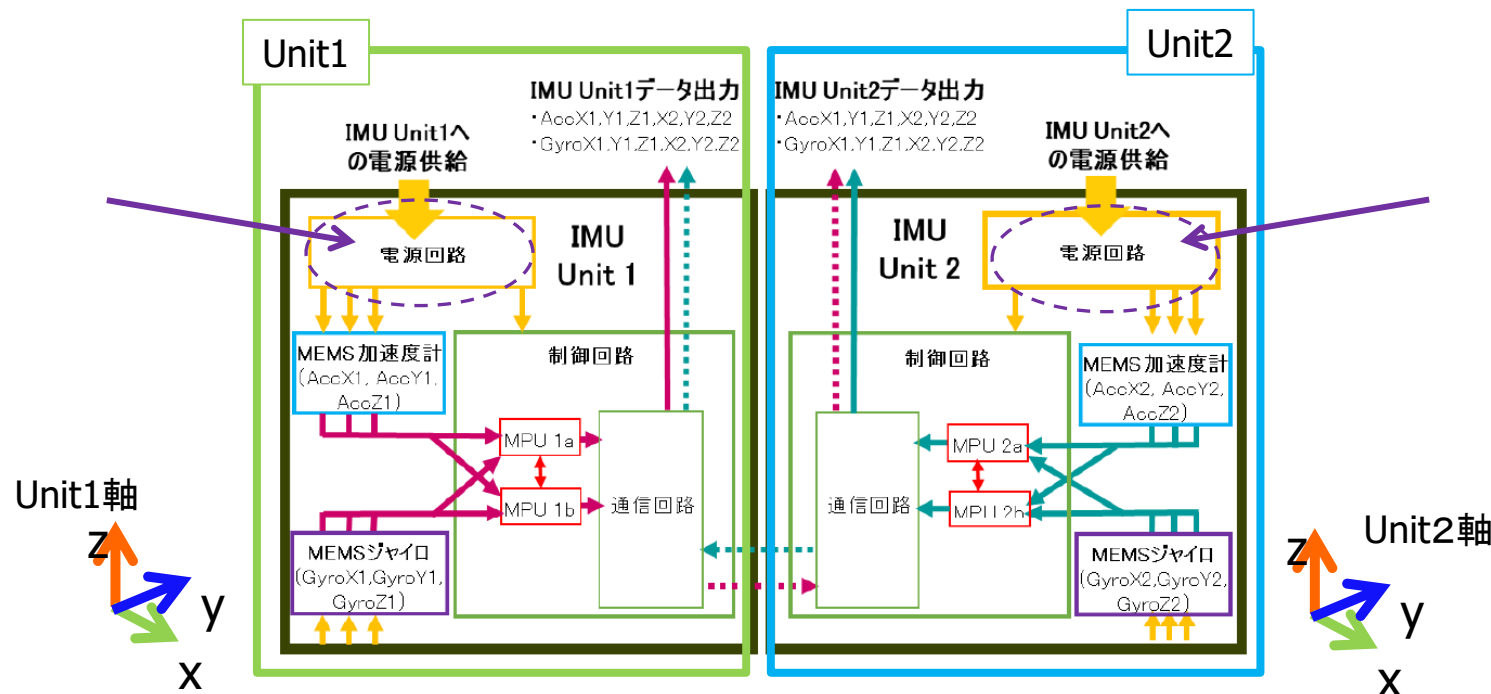
- ⑤両ユニットは相互にデータを転送し両ユニットのセンサデータと自己診断結果を出力する
- ⑥MARINの接続先(上位システム)側でMARINの自己診断結果に基づいて使用ユニットを切り替えることで連続的な慣性計測が可能



2. 冗長MEMS IMU「MARIN」について

【MARINの特徴】

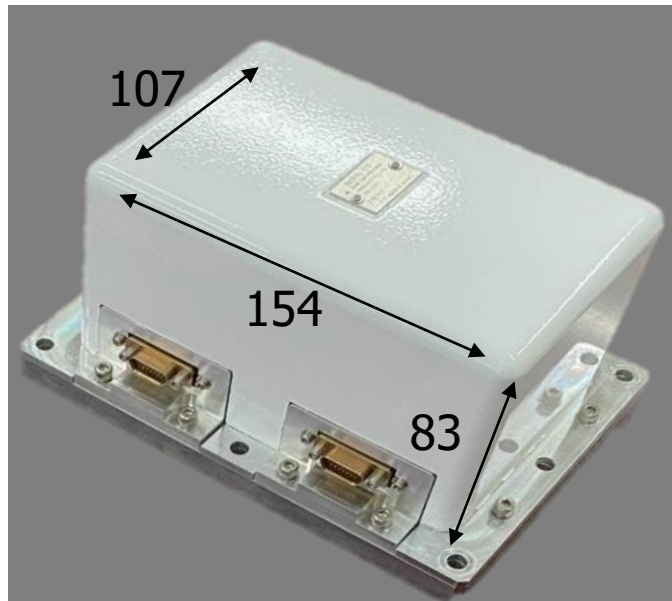
- ⑦放射線試験等により、民生部品の放射線耐性を確認し使用可能と判断した**民生部品**を使用
- ⑧放射線の影響で発生するSEL(シングルイベントラッチアップ)による電子部品の破壊を防ぐため**電源回路に過電流検出回路を実装**し電源を遮断する機能を搭載
 ※MARINの接続先の上位システム側からMARIN再起動を実施することで再度慣性計測を開始可能



2. 冗長MEMS IMU「MARIN」について



【MARINの主要諸元】



寸法	154 × 107 × 83mm
質量	1.3kg
消費電力	5W
角度増分計測機能	・計測可能範囲: ±400deg/s ・バイアスインスタビリティ: 0.2deg/h以下
速度増分計測機能	・計測可能範囲: ±30g ・バイアスインスタビリティ: 0.5mg以下
データ出力周期	100Hz
出力形式	RS422

3. 軌道上実証の現状



●現在の運用段階 ……初期運用段階が終了

●初期運用での実施内容

①低レートデータ取得試験

MARIN電源投入後、1Hzでのデータ取得を姿勢マヌーバしない状態で軌道4周以上実施する

②高レートデータ取得試験

MARIN の電源投入後、10Hz でのデータ取得を姿勢マヌーバしない状態で軌道1 周回以上実施する。また、衛星をロール、ピッチ、ヨーで姿勢マヌーバを実施した際のデータを10Hz で取得する

軸	回転速度[deg/s]	回転角[deg]
X(ロール)	±0.5	±10
Y(ピッチ)	±0.5	±10
Z(ヨー)	±0.5	±15



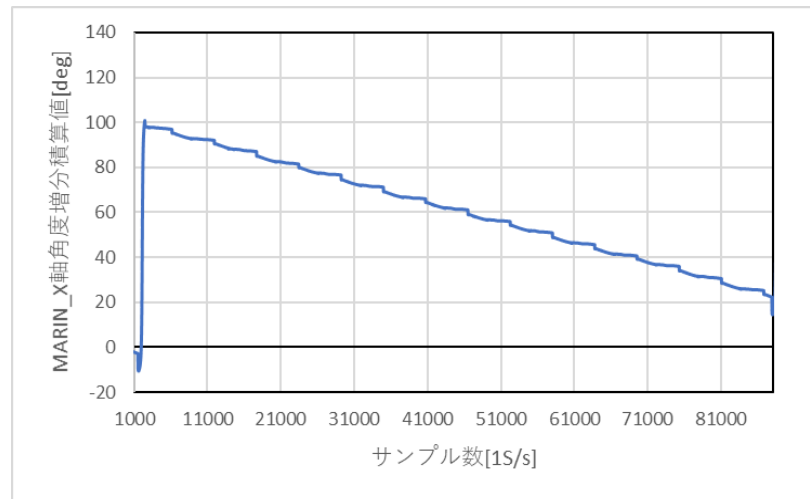
3. 軌道上実証の現状

●衛星とMARINの軸関係 ...衛星側で出力されるデータとMARINのデータは反転する

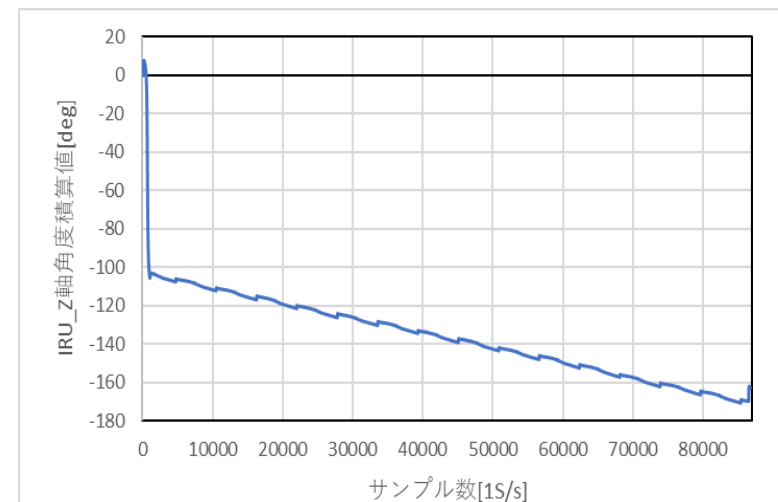
RAISE-2の軸	MARINの軸
+X	-Z
+Y	-Y
+Z	-X

●低レートデータ取得試験

▶MARINのX軸データ取得結果



MARINの角度増分積算値(X軸)



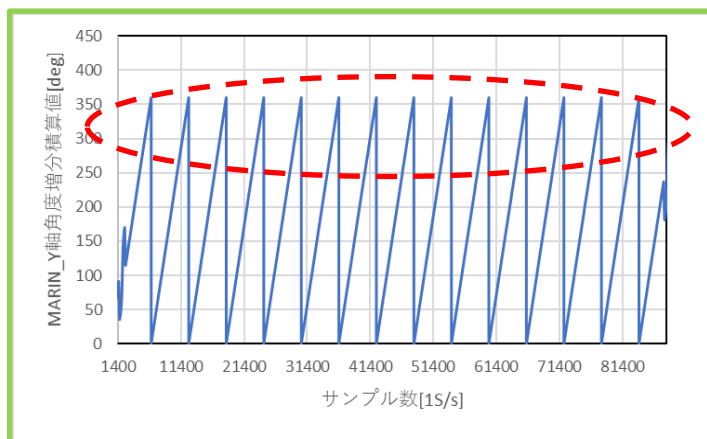
衛星側の角度増分積算値(Z軸)



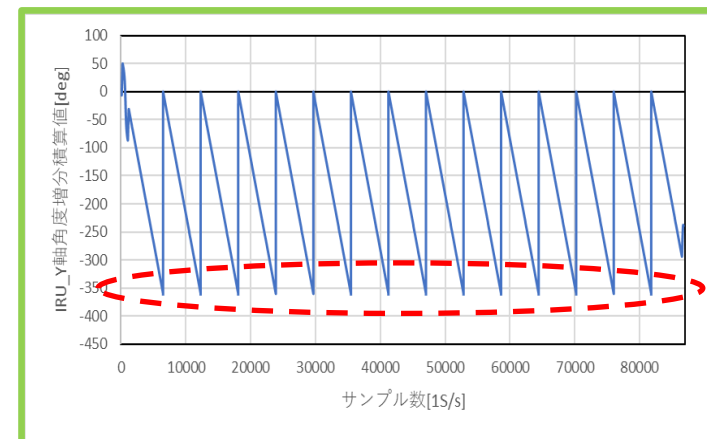
3. 軌道上実証の現状

●低レートデータ取得試験・・・MARINのY軸およびZ軸データ取得結果

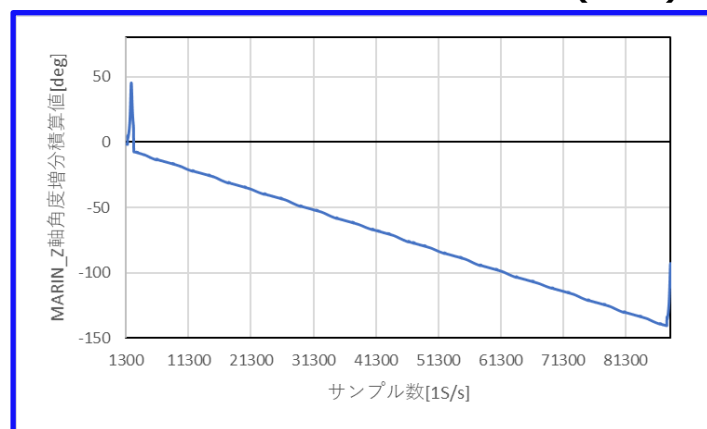
衛星とMARINのY軸方向は軌道1周回ごとに360度回転する。**4周以上のデータ取得に成功**



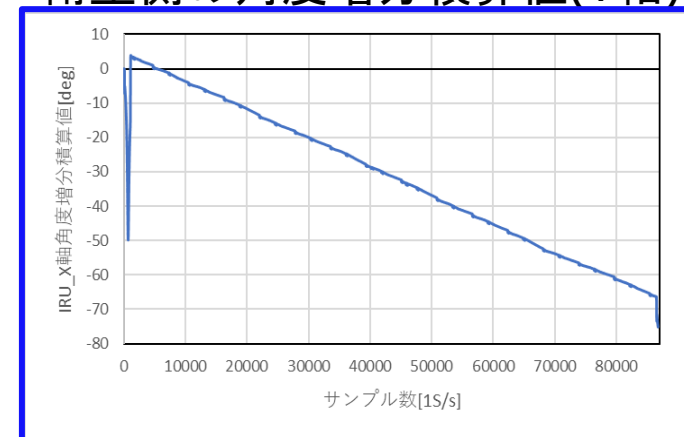
MARINの角度増分積分値(Y軸)



衛星側の角度増分積分値(Y軸)



MARINの角度増分積分値(Z軸)



衛星側の角度増分積分値(X軸)

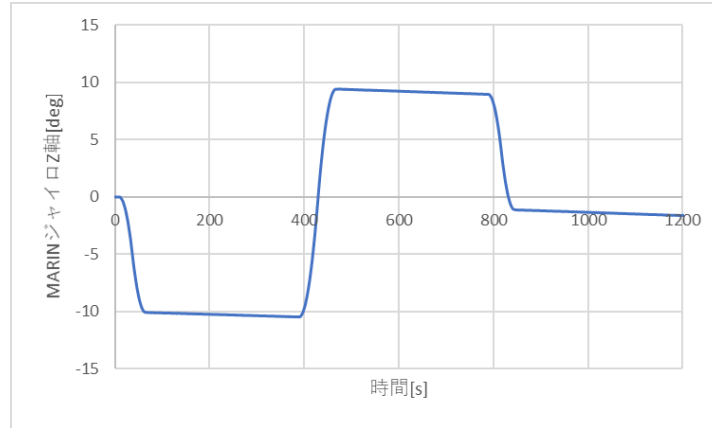
3. 軌道上実証の現状



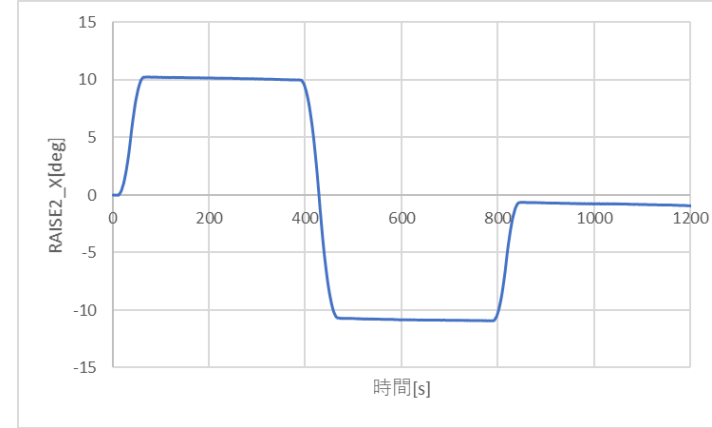
●高レートデータ取得試験

▶ロール角(衛星X軸)

ロール/ピッチ姿勢マヌーバにおいて
±10degのマヌーバデータの取得に成功

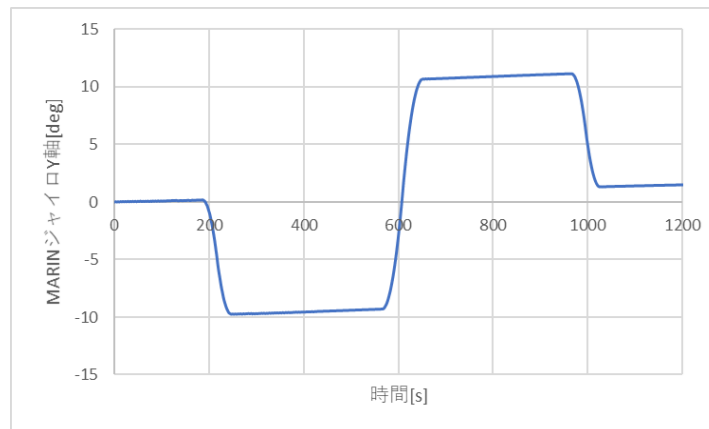


MARINから算出したロール角

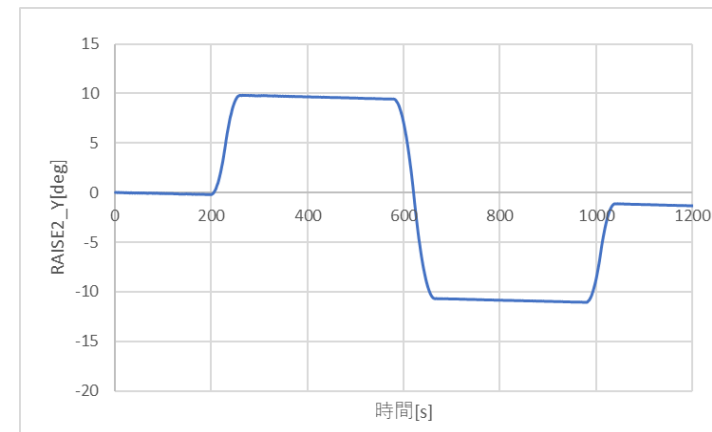


衛星側で算出されたロール角

▶ピッチ角(衛星Y軸)



MARINから算出したピッチ角



衛星側で算出されたピッチ角

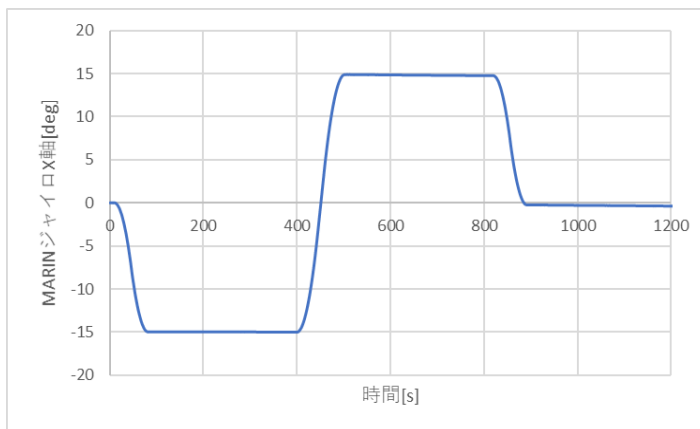


3. 軌道上実証の現状

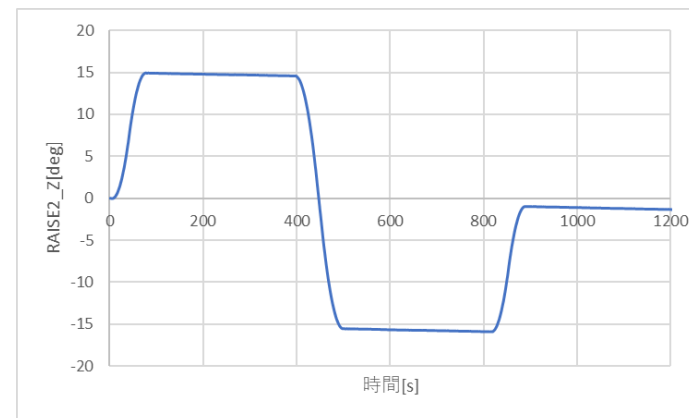
●高レートデータ取得試験

▶ヨー角(衛星Z軸)

ヨー姿勢マヌーバにおいて
±15degのマヌーバデータの取得に成功



MARINから算出したヨー角



衛星側で算出されたヨー角

●放射線エラー発生状況

- ・MARINはエラー発生回数の積算値を出力する
- ・11/26~2/6の104日の期間中、計16回発生
- ・いずれもSEUであり、MARINの機能・性能に問題はなく
現在も正常に動作していることを確認してる

3. 軌道上実証の現状



●サクセスクライテリア達成状況

	サクセス種類	内容	達成状況
成功 基準	ミニマムサクセス	1. 軌道上放射線環境下での慣性データ計測	○
	フルサクセス	1. 軌道上放射線環境下での放射線対策回路動作の確認	△
		2. 軌道上放射線環境下での100時間以上の期間の慣性データ計測	○
		3. 軌道上放射線環境下での角度増分計測値の目標精度の達成	△
	エクストラサクセス	1. 軌道上放射線環境下での1ヶ月以上の期間の慣性データ計測	○

○:達成 △:現在確認中または評価を実施中

4. まとめと今後の展望



●まとめ

- ・中精度な小型で低コストな国産IMUが必要→MARINの研究開発を実施中
- ・MARINの軌道上実証を通じてITAR制約で生じる課題解決を目指す
- ・MARINの大きな特徴は、民生部品とMEMS IMUを利用し回路技術によりシステムとして放射線耐性を持たせている部分である
- ・現在、初期運用が完了しており、初期運用で実施した全試験において良好にデータ取得が出来たことを確認済み

●MARINの今後の展望

- ・基幹ロケットへの適用を目指し、開発継続中
- ・下記の宇宙機への適用を目指し、関係者と協議を進める
 - ①補給輸送機への適用
 - ②月着陸機・ローバへの適用
 - ③回収カプセルへの適用
 - ④小型・中型衛星への適用

