

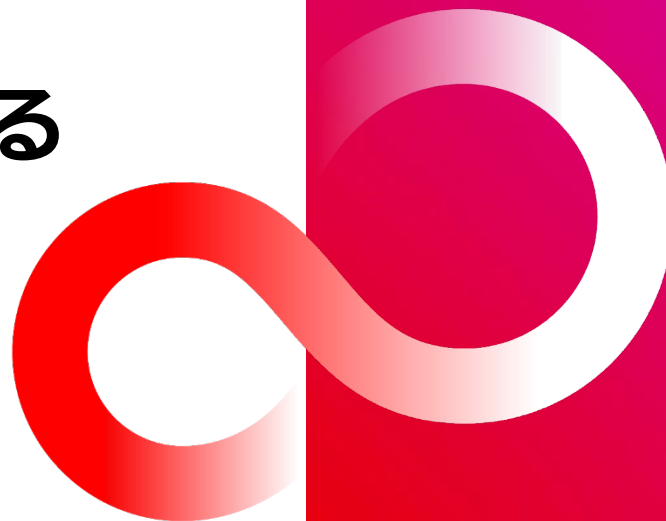
[第46回サイエンティフィック・システム研究会総会]

FUJITSU

SLIMプロジェクトにおける 富士通の役割

富士通株式会社

中野 将弥



- 深宇宙探査と富士通の歴史
- SLIMプロジェクトにおける富士通の役割
- SLIMプロジェクトの軌道決定
- 富士通の取り組み紹介

深宇宙探査と富士通の歴史

深宇宙探査と富士通の歴史



富士通の大型汎用計算機 GSシリーズ



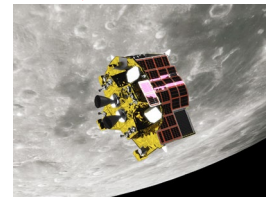
かぐや
月周回衛星

PROCYON
超小型探査機

はやぶさ2
小惑星探査機

SLIM
小型月着陸実証機

2023



2022



2014

2010

2007

2003

はやぶさ
小惑星探査機

1998

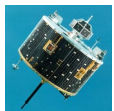
のぞみ
火星探査機

1990

ひてん
工学実験衛星

1985

さきがけ/すいせい
ハレー彗星探査機



IKAROS
ソーラー電力セイル実証機

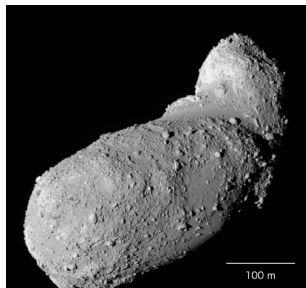
あかつき
金星探査機

OMOTENASHI
超小型探査機

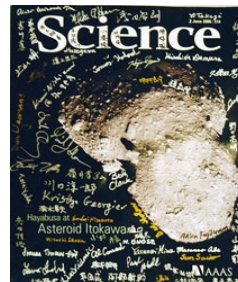
EQUULEUS
超小型探査機

小惑星探査機「はやぶさ」

- 探査機の位置・速度を推定・予報するための「軌道決定」システムを担当
- 小惑星「イトカワ」への到着に際しては、電波計測データと光学計測データの複合により、地球から3億km以上離れた「はやぶさ」の位置を、誤差数kmという高い精度で軌道決定し、「イトカワ」への接近誘導に貢献



はやぶさが撮影した「イトカワ」



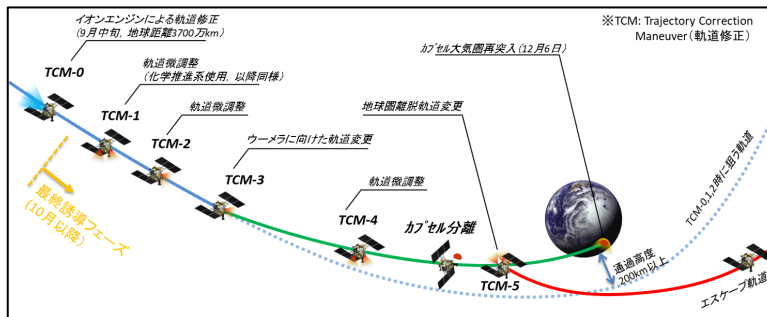
「サイエンス」のはやぶさ特集号

小惑星探査機「はやぶさ2」

- 打上げから地球帰還まで6年間に亘る航行において重責を担い、大気圏再突入に向けた最終難関である精密軌道決定運用を確実に実行。オーストラリア・ウーメラ砂漠への精密誘導に貢献
- JAXA様のご指導のもと、軌道決定アルゴリズムの最新化。従来の10倍以上の精度で軌道決定が可能に
- 現在も拡張ミッション遂行中



はやぶさ2が撮影した「リュウグウ」



地球帰還への精密誘導シーケンス

SLIMプロジェクトにおける 富士通の役割



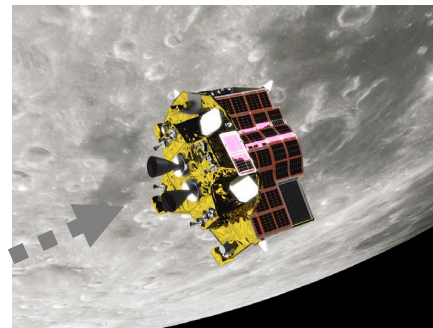
資料提供：JAXA

SLIMプロジェクトにおける富士通の役割



※衛星管制室のイメージ

探査機からのデータ伝送



探査機への指令、
撮像画像、画像航法結果、
追跡データ送受

探査機・アンテナへの
指令伝送



データ伝送：

地上局から探査機を追跡し、探査機から受信したテレメトリデータを管制システムに伝送

軌道計算：

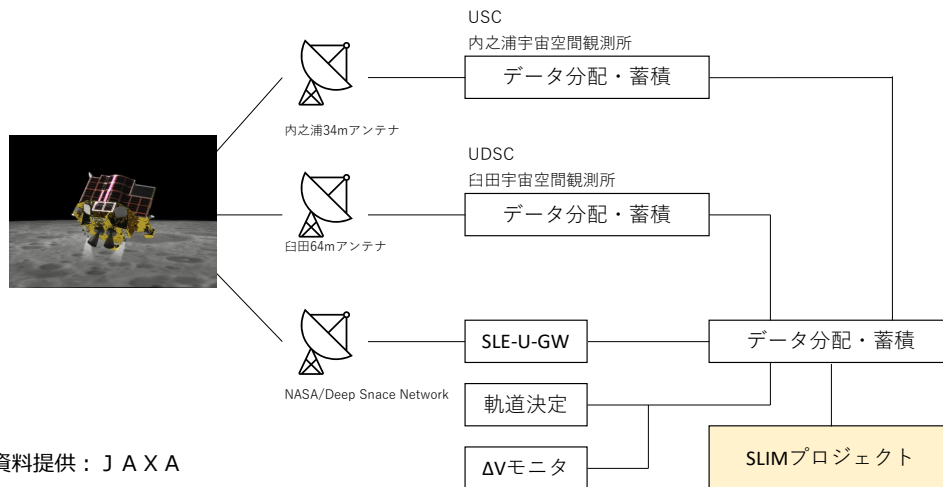
探査機の軌道（位置と速度）を計算。
重要イベント時は「マヌーバモニタ」を運用

画像航法支援：

探査機が実施した画像航法結果を修正する「画像航法支援システム」を共同開発。
探査機の月面位置や高度をリアルタイムに表示

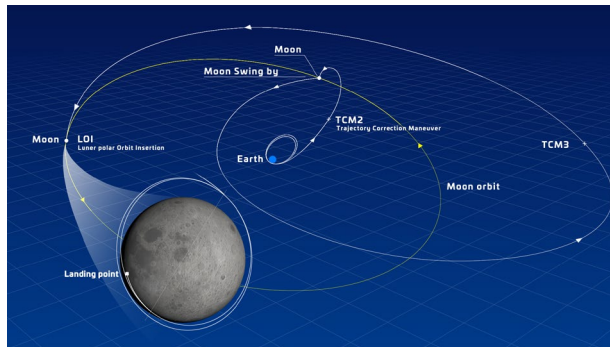
衛星管制システム運用支援（データ伝送）

- 宇宙科学研究所・相模原衛星管制センターと地上アンテナ設備間を結ぶ地上ネットワークシステムや、探査機から送られてきたデータをリアルタイムに表示するモニタ装置の運用を担当
- 月着陸運用時は、複数の地上アンテナ設備と管制センター間を結び、時々刻々と変化する探査機のシステム状態を見守る
- 「SLIM」だけでなく宇宙科学研究所の全ての探査機運用を支えている



軌道決定システム

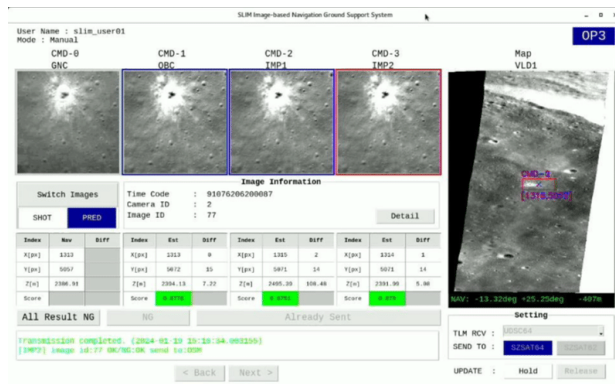
- 探査機が“ある時刻に宇宙空間のどこを航行しているか”を精密に計算する地上データ処理システム
- 「SLIM」では、打上げから月着陸までの全航行期間で確実な運用を遂行
- 着陸直前では、探査機から受信したわずか数十秒の観測データを頼りに「SLIM」の位置を推定。
チャレンジングな軌道決定を無事にやり遂げ、「ピンポイント着陸」の肝となる画像航法へバトンをつないだ。



「SLIM」月着陸までの道のり

画像航法支援システム

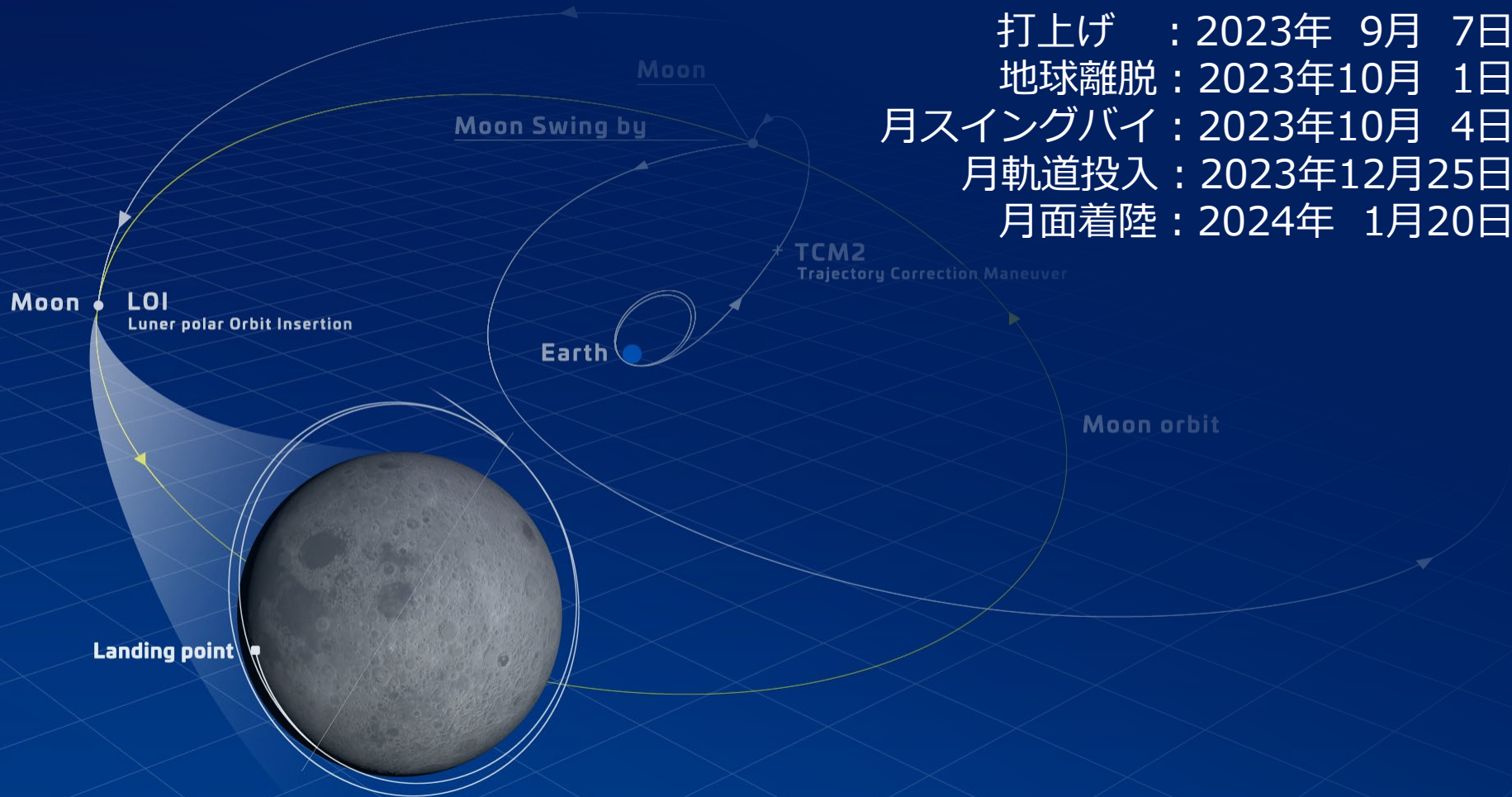
- 探査機自身が行っている画像航法をバックアップするためのシステムをJAXA様と共同開発
- 探査機カメラ画像を受信し、JAXA様提供のプログラムを使用しマッチング処理を行い、位置特定を実施
この特定結果を基に運用者が必要に応じて、探査機が行っている位置特定結果の修正を指示
- 月着陸運用時は、探査機が撮影した月面画像を表示、探査機の位置特定結果の表示、探査機の月面位置や高度のリアルタイム表示を行い、オペレーションチームの状況判断に利用された



画像航法支援システム画面

SLIMプロジェクトの軌道決定

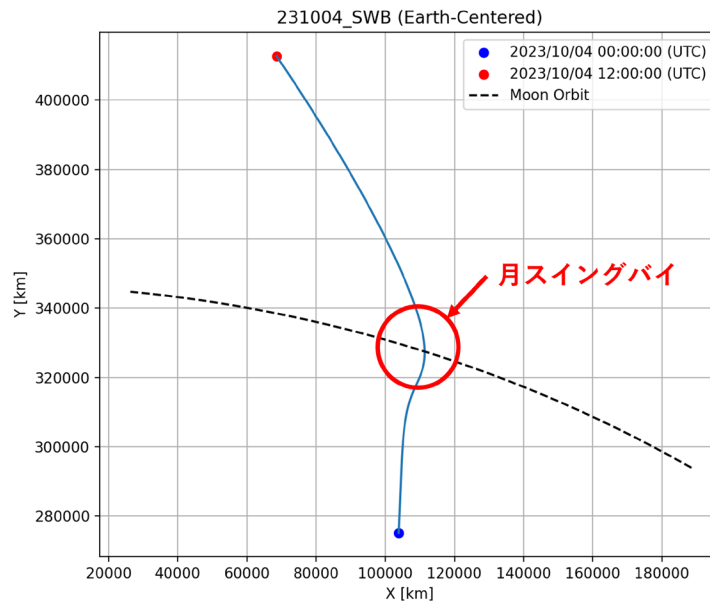
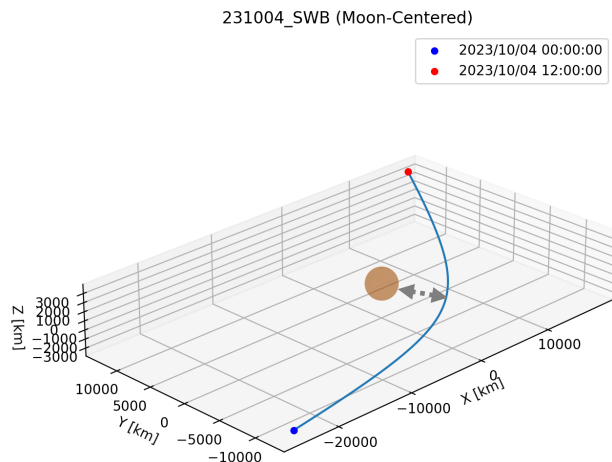
- ・ 月スイングバイ
- ・ 月周回軌道投入
- ・ 月周回軌道
- ・ 簡易軌道決定



打上げ : 2023年 9月 7日
地球離脱 : 2023年10月 1日
月スイングバイ : 2023年10月 4日
月軌道投入 : 2023年12月25日
月面着陸 : 2024年 1月20日

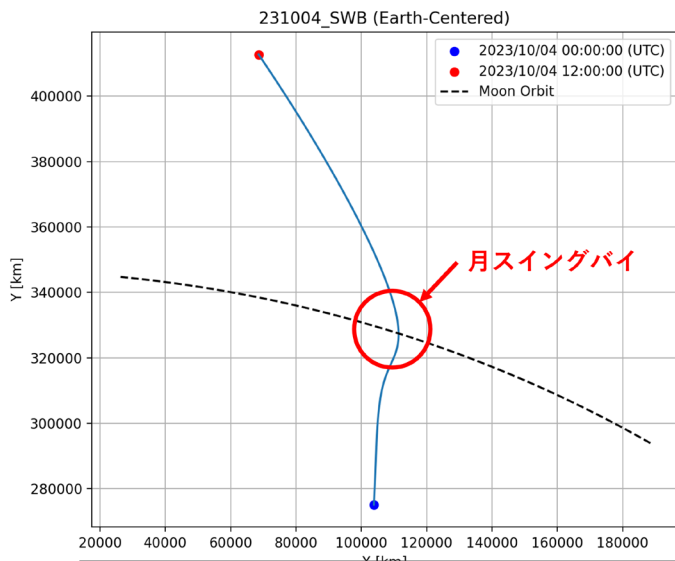
月スイングバイ

- 2023年10月4日、月スイングバイを実施
月の高度5000km付近を通過。



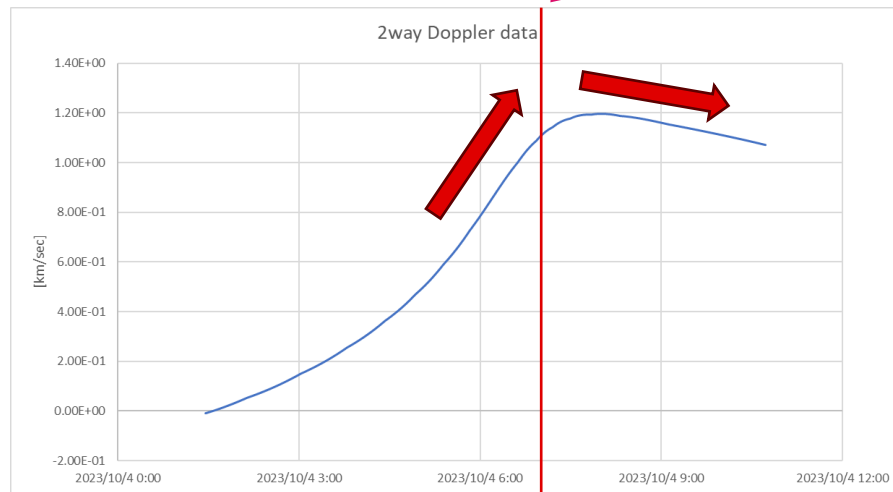
月スイングバイ付近の軌道

- 2023年10月4日、月スイングバイを実施月の高度5000km付近を通過。



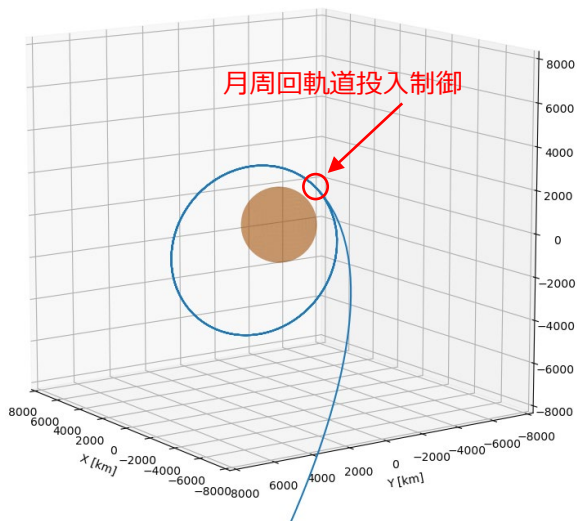
月スイングバイ付近の軌道

月スイングバイ付近



観測データの変動

- 2023年12月25日、月周回軌道投入（LOI）を実施
約300m/sの軌道制御を経て、600km×4000kmの月周回軌道に投入



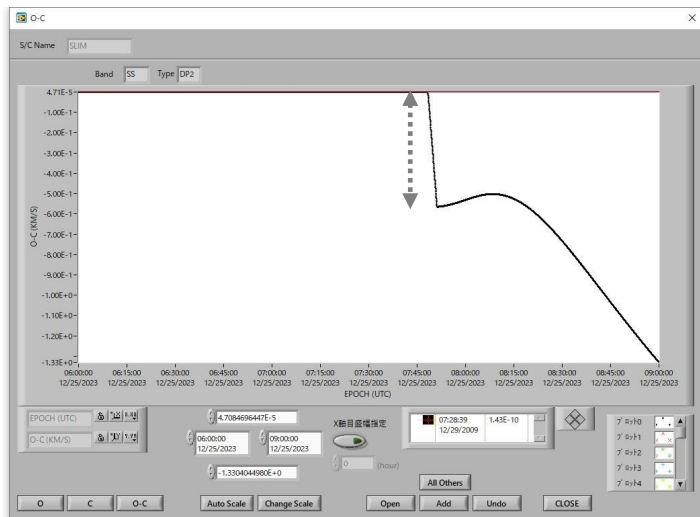
LOI前後の軌道



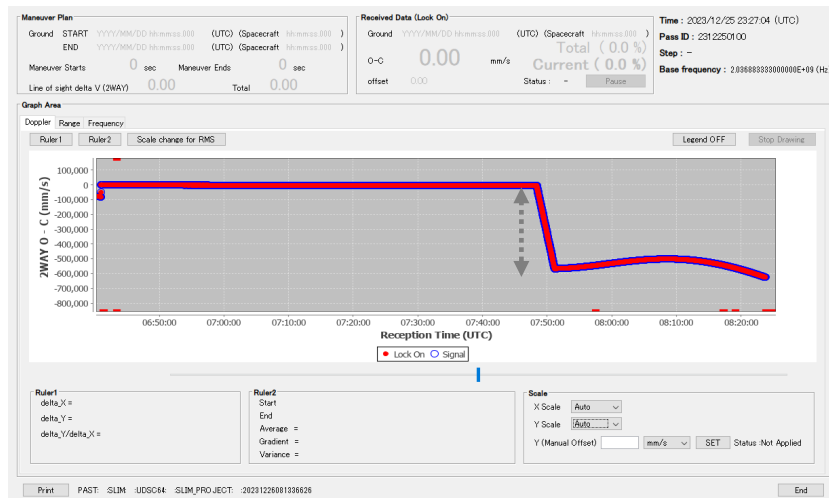
0%実施

100%
計画通り実施

LOIを模擬した観測データ残差



LOIを模擬した観測データ残差



実際の観測データ残差
@マナーバモニタシステム



「SLIM」が予定通りの動きをしたことを
マナーバモニタシステムで確認

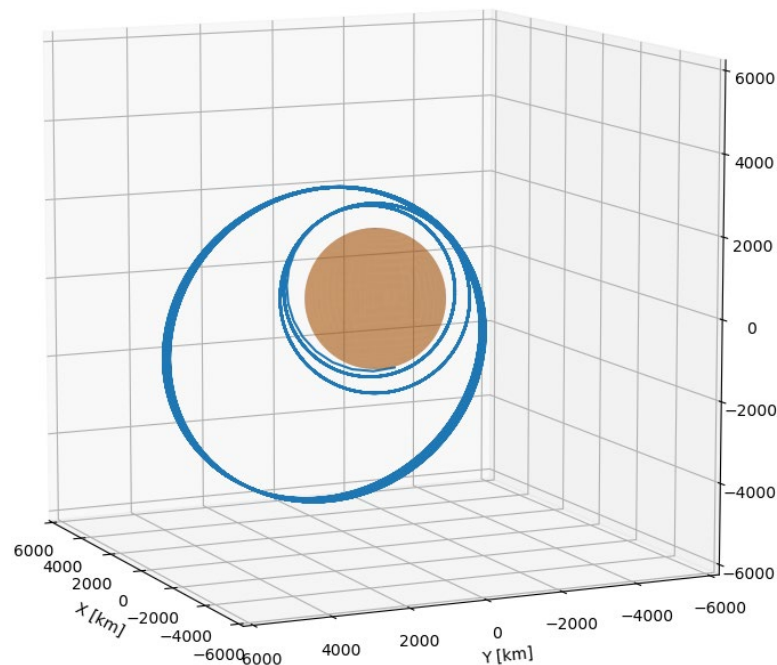
月周回軌道の概要

高度 約600km × 4000km 楕円軌道

高度 約600km × 600km 円軌道

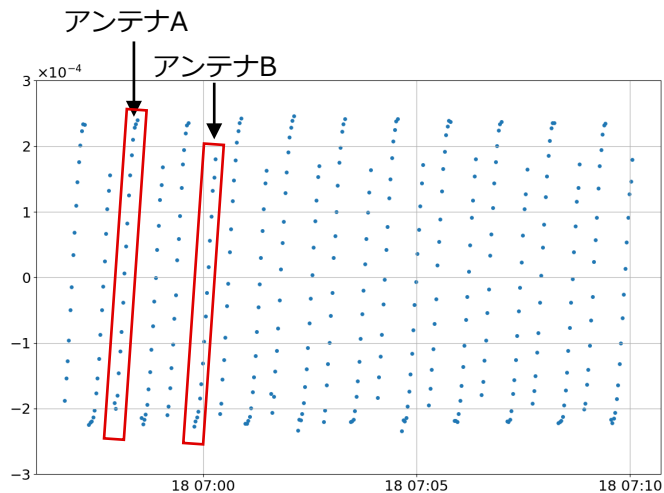
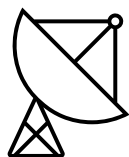
高度 約150km × 600km 楕円軌道

高度 約15km × 600km 楕円軌道

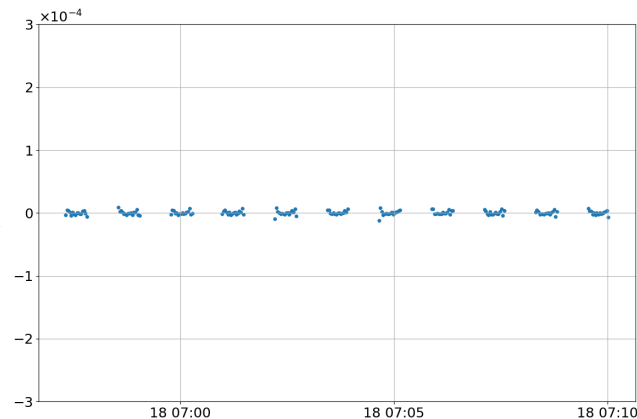


月周回軌道

- 衛星のスピンによる観測データへの影響を除去

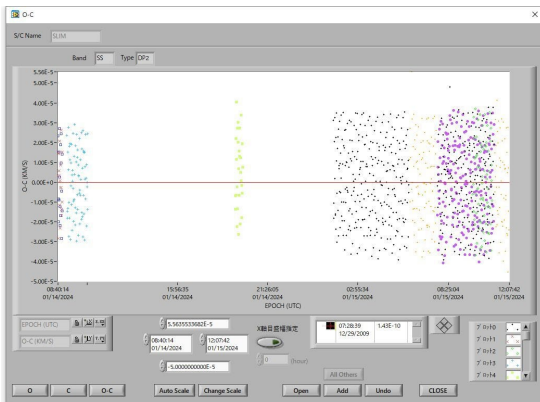
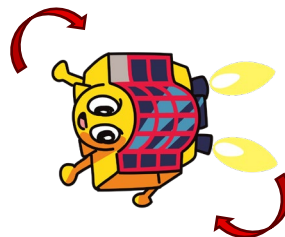
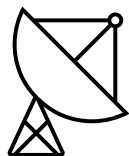


スピン除去前の観測データ残差

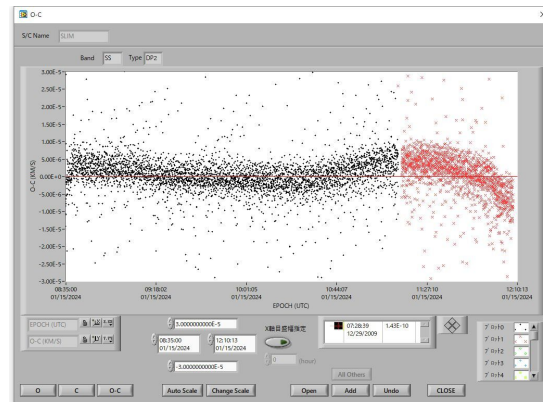


スピン除去後の観測データ残差

- 衛星のスピンの影響による観測データへの影響を除去

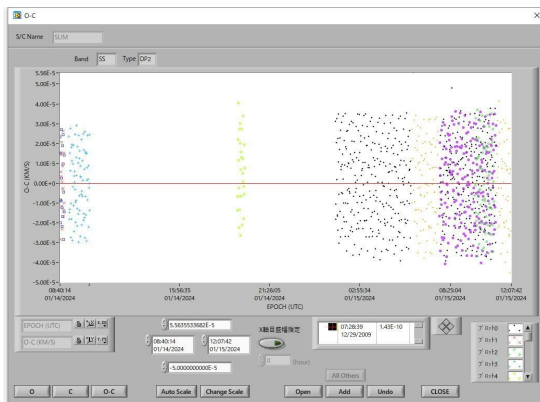
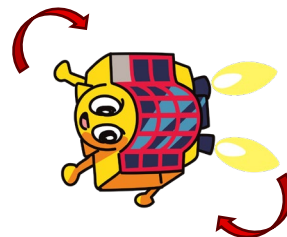
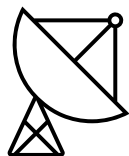


スピン除去前の観測データ残差

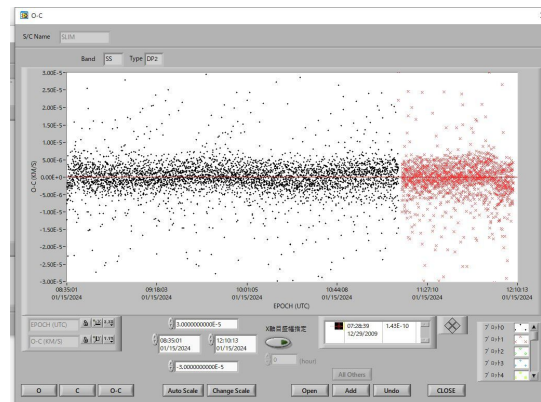


データノイズに埋もれていた「うねり」が見られるように

- 衛星のスピンの影響を除去



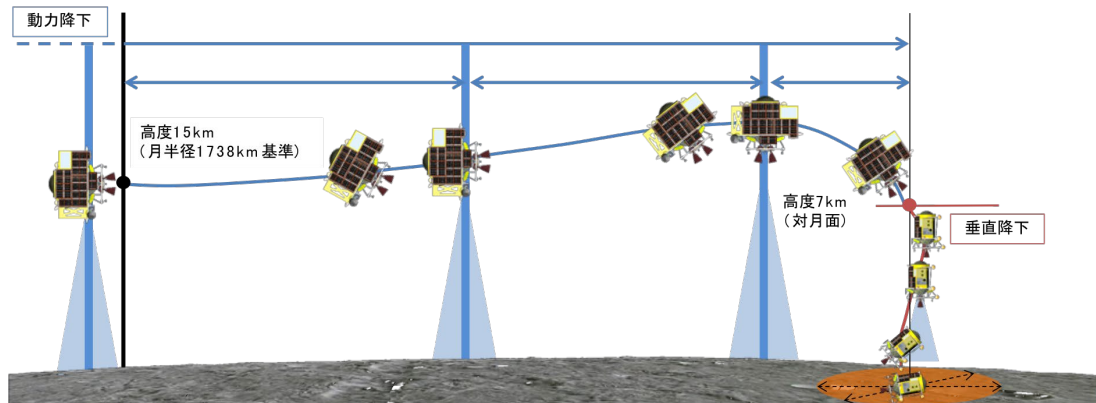
スピン除去前の観測データ残差



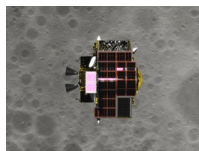
スピン除去後の軌道決定
観測データ残差

簡易軌道決定（着陸シーケンス）

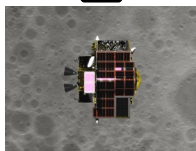
- 2024年1月20日、着陸降下を実施



📷 #1



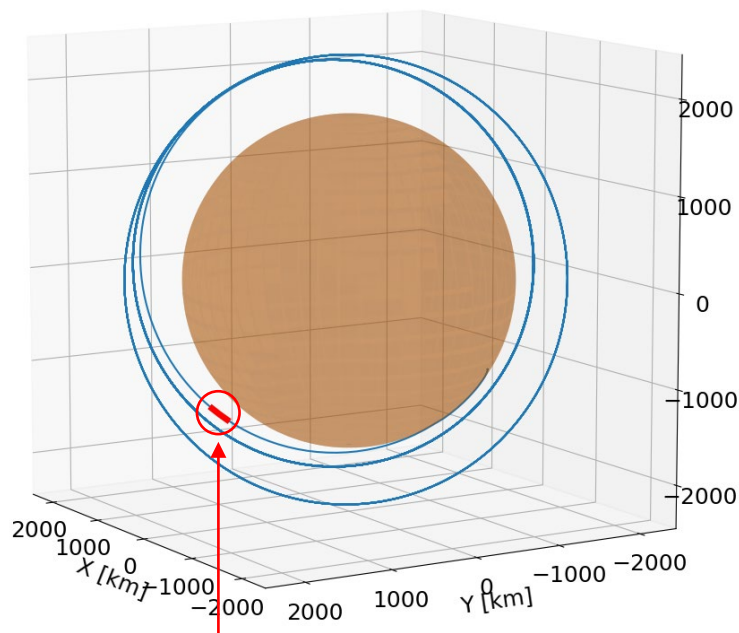
📷 #2



...

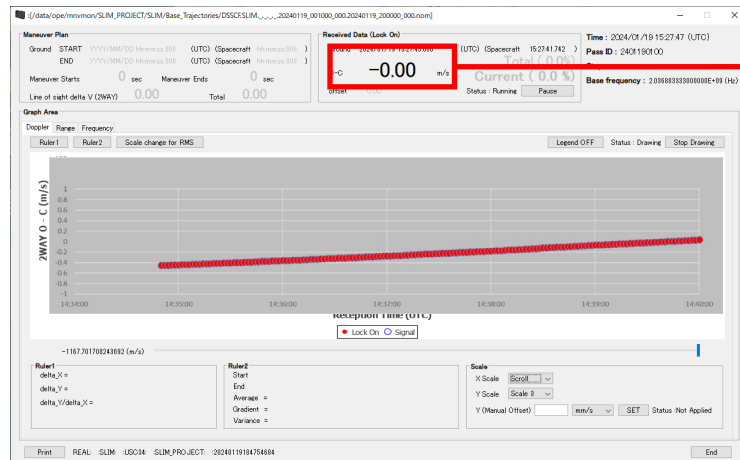
撮像するタイミングを補正する必要がある

- タイムクリティカルな軌道決定を実施



わずかな期間の観測データを使用

簡易軌道決定 タイムライン	
簡易軌道決定 開始	Y
簡易軌道決定 中間確認	Y + 3min
簡易軌道決定 中間確認	Y + 5min
簡易軌道決定 最終報告	Y + 10min



マヌーバモニタ画面のイメージ

内之浦34m

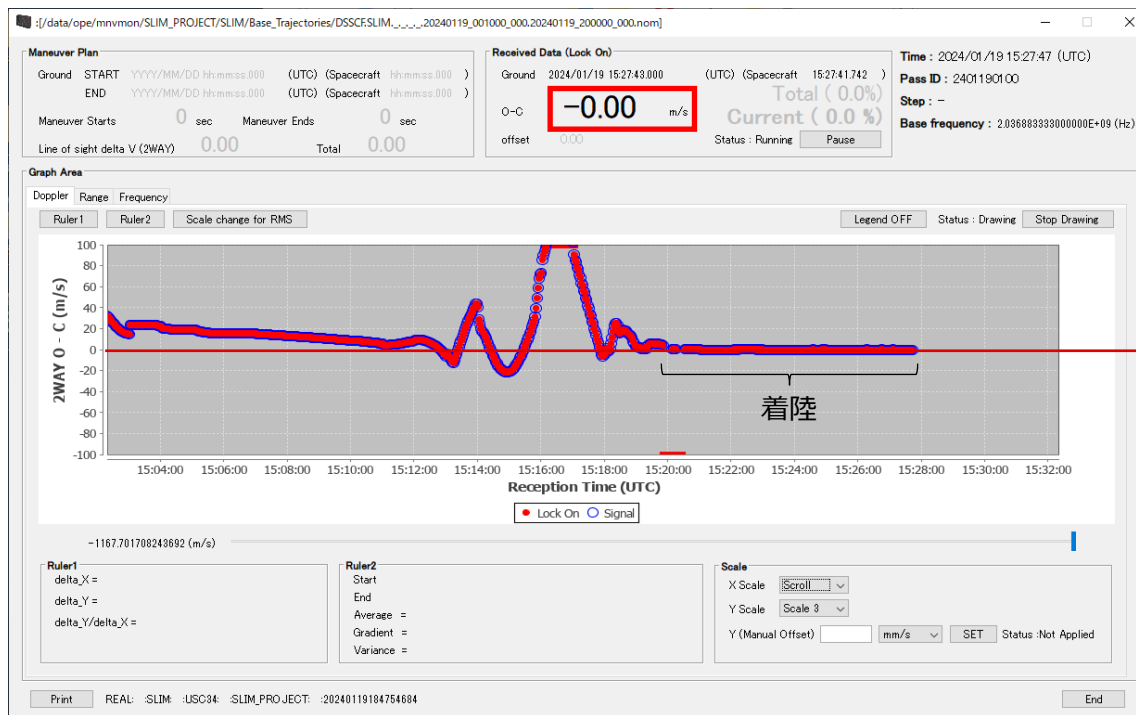
簡易軌道決定算出バレット

簡易軌道決定結果

	14:35:00	14:35:10	14:35:20	14:35:30	14:35:40	14:35:50	14:36:00	14:36:10	14:36:20	14:36:30	14:36:40	14:36:50	14:37:00	14:37:10	14:37:20	14:37:30	14:37:40	14:37:50
DP2 (m/s)	-0.44	-0.43	-0.41	-0.40	-0.39	-0.37	-0.36	-0.35	-0.33	-0.32	-0.30	-0.29	-0.27	-0.26	-0.24	-0.22	-0.21	-0.19
ppd1 (s)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
ppd2 (s)	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ppd3 (s)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
pd (s)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

資料提供：JAXA

月面着陸時のマヌーバモニタ



月面着陸予定地点との
速度差

着陸時の観測データ残差@マヌーバモニタシステム

着陸後の軌道決定グループ（記念撮影）

マヌーバモニタ画面



富士通の取り組み紹介

火星衛星探査計画「MMX」



プロジェクトミッション概要

- 火星衛星「フォボス」に着陸し、岩石サンプルを採取して地球に持ち帰る。
- 2026年打上げ予定

富士通の役割

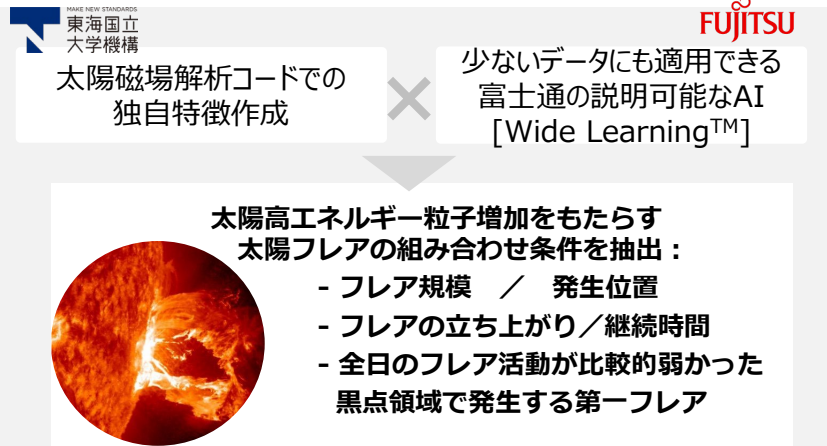
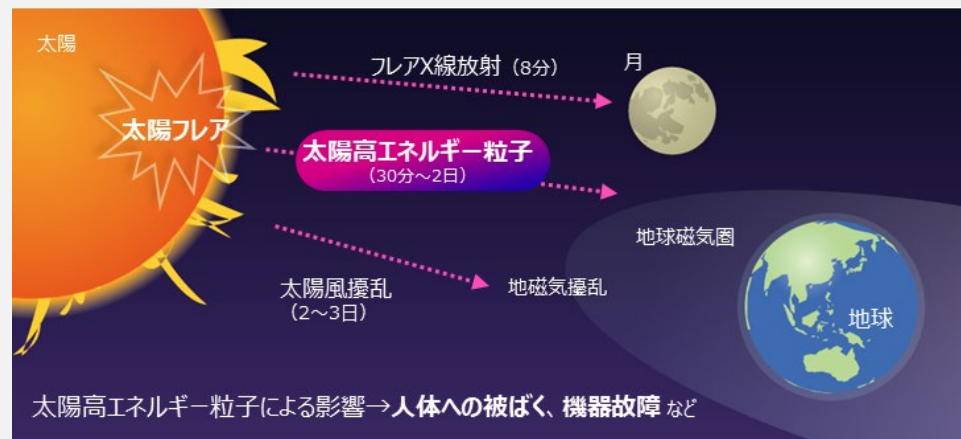
- 衛星管制システム運用支援
- 軌道決定システム運用支援・事前解析
- 軌道計画事前解析

月の宇宙天気予測に向けた取り組み

[2024年3月プレスリリース]

FUJITSU

- 月面は、地球のように「大気」や「磁場」で守られておらず、温度・電場・隕石・放射線など、極限環境にある。放射線は、人体への被ばくや機器故障を引き起こす。アポロ時代にも太陽フレアにより致死レベルの放射線が発生。
- 富士通は、東海国立大学機構様と太陽フレアからの放射線の発生予測に関する共同研究を開始。初期成果として、太陽からの放射線を急増させる太陽フレアの見出す
- 将来的には、放射線影響予測の研究開発と社会実装に取り組み、宇宙空間での安全な活動への貢献を目指す



Thank you

