



宇宙天気予報の高度化のあり方に関する検討会（第4回）

衛星運用者における取り組み

令和4年2月18日

宇宙技術開発株式会社  
Space Engineering Development Co., Ltd.

---

1. 弊社について	1
2. JAXA筑波宇宙センターの衛星管制業務	2
3. 宇宙環境に起因する衛星故障	4
4. 衛星運用における宇宙環境データの参照	5
5. 衛星打ち上げ時の宇宙環境データの参照	9
6. まとめ	10

## ① 宇宙技術開発株式会社 (Space Engineering Development Co., Ltd.)

社員数: 710名 (2021年4月1日現在)

## ② 国内拠点

- 本社 (東京)
- 筑波事業所
- 種子島事業所
- 鎌倉出張所
- 宇宙航空研究開発機構施設内

## ③ 業務内容

### 衛星管制

- 追跡ネットワーク管制
- 衛星の状態監視と制御を行う衛星管制
- 衛星管制・追跡管制システムのエンジニアリング
- 衛星の技術評価と解析

### 人工衛星利用

- 衛星測位技術の開発と利用実証
- 地球観測データの利用と応用
- 通信衛星利用実験の技術支援
- 宇宙環境計測情報の解析評価と提供

### 宇宙輸送

- ロケット飛行の解析と評価
- 飛行安全管理システムの開発・保守・運用
- 射場系設備の整備・保守・運用
- 射場系情報システムの開発・保守・運用

### 宇宙環境利用

- 「きぼう」日本実験棟のシステム運用
- 「きぼう」日本実験棟での実験運用
- 有人宇宙活動に関する技術情報の収集・調査
- 日本人宇宙飛行士の健康管理支援

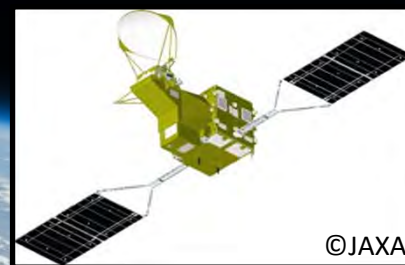
### 実用衛星サービス

- 静止気象衛星「ひまわり」の管制
- 気象観測データの中継・配信
- 日本の測位衛星システムの管制
- 日本の測位衛星システムの技術評価と解析

### 情報通信

- 人工衛星利用支援システムの開発
- WEBアプリケーションの開発
- 環境 & 設備モニターシステム「E2Moni」の開発
- 基幹系情報システムの運用と利用者支援

- 温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」(GOSAT-2)  
高度613km、太陽同期準回帰軌道
- 気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)  
高度800km、太陽同期準回帰軌道
- 陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)  
高度628km、太陽同期準回帰軌道
- 水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W)  
高度700km、太陽同期準回帰軌道
- 温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)  
高度666km、太陽同期準回帰軌道



### ◆ テレメトリ運用

衛星から送出された衛星状態データを衛星管制システムで処理を行い、モニタ画面で監視する

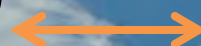
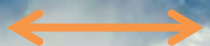
### ◆ コマンド運用

衛星管制システムから立案、設定されたコマンドデータを人工衛星に対して送信し、衛星を制御する

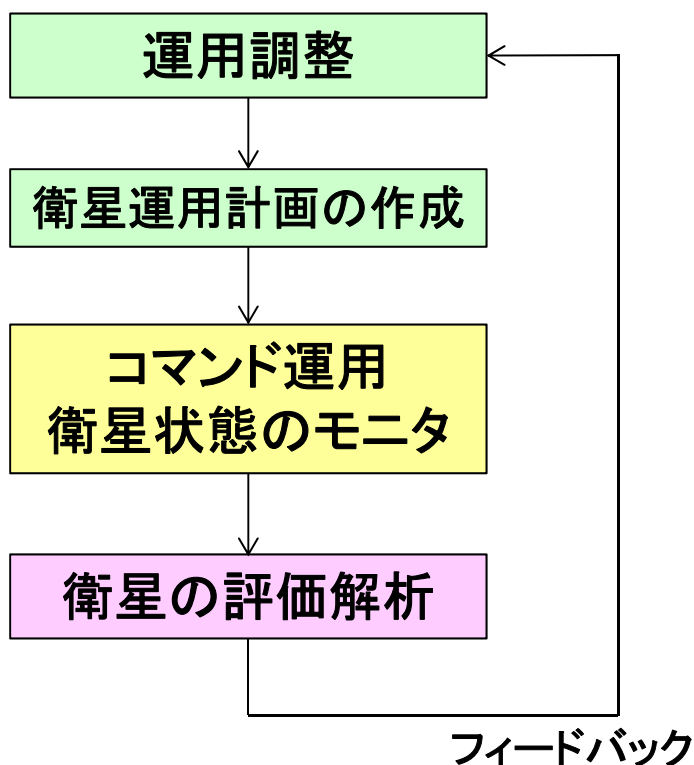
ユーザ

ミッション系運用者

衛星運用者



### 衛星管制業務の流れ



### 計画業務

- ①衛星運用要求事項に関する調整
  - ・ユーザ要求(観測位置、観測時刻等)をもとにユーザ要求の競合調整を実施
  - ・衛星評価の結果をもとに衛星運用に関する調整を実施
- ②ネットワーク資源の確保
  - ・衛星運用で使用するアンテナの確保
- ③運用計画/コマンド計画の作成・発行
  - ・調整結果を運用計画に反映
  - ・コマンドを立案

### 運用業務

- ①衛星テレメトリデータの取得・蓄積
- ②衛星テレメトリデータの監視
- ③衛星に対するコマンドの送信

### 評価業務

- ①衛星テレメトリデータの処理・保存
- ②衛星テレメトリデータの評価
  - ・運用イベントに応じた機器の動作確認
  - ・特異事象発生時の機器の状況把握
  - ・季節変動を含めた長期的な傾向の把握

#### 帯電放電

- ・表面帯電放電
- ・内部帯電放電

#### シングルイベント アップセット (SEU)

##### ●表面帯電放電

衛星の外部表面材料の表面上にプラズマなどが衝突することで電荷が蓄積し、放電により損傷を引き起こす

##### ●内部帯電放電

高エネルギー荷電粒子(数MeV以上の電子等)が衛星の内部にまで貫通し、衛星内部材料上に電荷が蓄積し、放電により損傷を引き起こす

##### ●シングルイベントアップセット(SEU)

高エネルギー陽子、銀河宇宙線による半導体素子の電荷反転が発生し、ソフトウェアによる誤動作を引き起こす

#### JAXA殿衛星の障害例(2003年10月23日～29日に発生した太陽フレアに起因)

##### ①みどり2号(ADEOS-II):環境観測技術衛星

10月25日から太陽電池パドルの発生電流が低下を始め、バッテリーの低電圧を検知し、軽負荷モードに移行。その後衛星からの通信が途絶し、10月31日に観測運用を断念した。

##### ②こだま(DRTS):データ中継技術衛星

10月28日から断続的に地球センサに異常信号が頻繁に発生した結果、故障検知機能が働き、10月29日に衛星は電力的に安全な太陽捕捉モードに移行した。

衛星運用の一環として、衛星から受信した衛星テレメトリデータの評価を実施しており、事象(安全モードへの移行等)が発生した場合には1次評価として宇宙環境データを参照し、発生原因の確認を行っている。(最終的な原因調査は、衛星開発メーカーが実施している)

1次評価では、以下の宇宙放射線および地磁気に関する宇宙環境データを参照情報とすることがある。



### ■他の衛星が計測した宇宙放射線データ等

太陽フレアの発生状況、太陽風の状態、および地球低高度における陽子/電子の環境を参照し、シングルイベントアップセット(SEU)の原因である高エネルギー荷電粒子の環境を把握する。

### ■地磁気データ

地球周辺の地磁気の状態として、地磁気嵐およびオーロラ嵐を確認し、衛星表面の帯電放電の原因である衛星表面に流入するプラズマ等の荷電粒子の環境を把握する。

上記の1次評価は事象発生後であり、宇宙環境データの参照についてオフライン評価で実施している。

### ■他の衛星が計測した宇宙放射線データ等

太陽フレアの発生状況、太陽風の状態、および低高度における陽子/電子の環境を参照し、シングルイベントアップセット(SEU)の原因である高エネルギー荷電粒子の環境を把握する。

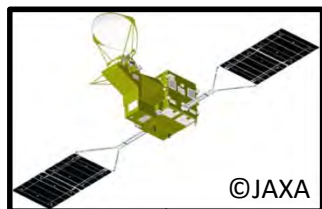
- NOAA/NASAの太陽観測衛星のデータを、データ公開サイトから取得している
- JAXAの温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)が搭載している宇宙環境計測装置(TEDA: Technical Data Acquisition Equipment)が計測したGOSAT衛星軌道上の陽子/電子の粒子数データをSEES※から取得している。

※宇宙環境計測情報システム(SEES: Space Environment & Effects System)

JAXA殿が運用する宇宙環境とそれらによる影響に関するデータとモデルを提供するデータベース

- ① GOES(NOAA気象衛星、静止軌道)  
静止軌道付近の陽子/電子の環境を把握、X線強度による太陽フレア規模を把握する。
- ② DSCOVR(NOAA太陽観測衛星、地球から太陽方向に約150万kmの地点で観測)  
太陽風の状態を把握する。
- ③ ACE(NASA探査衛星、地球から太陽方向に約150万kmの地点で観測)  
太陽風の状態を把握する。
- ④ SOHO(ESA/NASA太陽観測衛星、地球から太陽方向に約150万kmの地点で観測)  
太陽画像からCME(コロナ質量放出)の放出方向を把握する。
- ⑤ SDO(NASA太陽観測衛星、高度36000kmの円軌道で軌道傾斜角28.5° )  
太陽画像から太陽フレア発生位置を把握する。
- ⑥ STEREO(NASA太陽観測衛星、地球の公転軌道よりも太陽に近い太陽中心軌道)  
太陽画像からCME(コロナ質量放出)の放出方向を把握する。
- ⑦ GOSAT JAXA温室効果ガス観測技術衛星(高度666kmの太陽同期準回帰軌道)  
低高度の陽子/電子の環境を把握する。



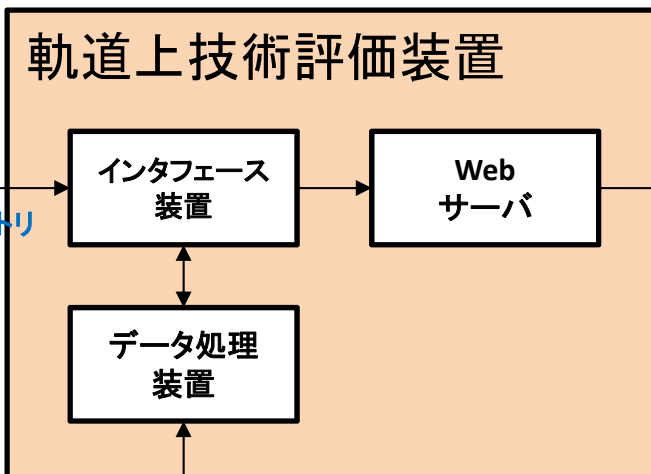


### (軌道上技術評価装置)

衛星のテレメトリデータを基にHK評価、健全性確認、設計検証などに使用するシステムであり、中・長期データ評価に適したデータの加工、リスト・グラフ処理、データ配信を行う。

衛星  
管制装置

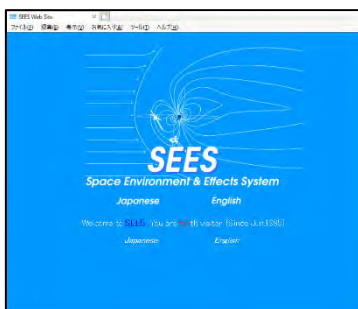
テレメトリ  
データ



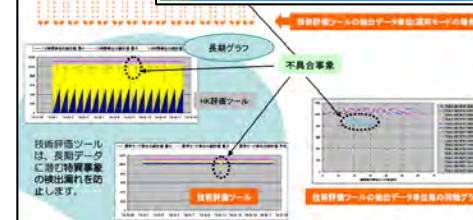
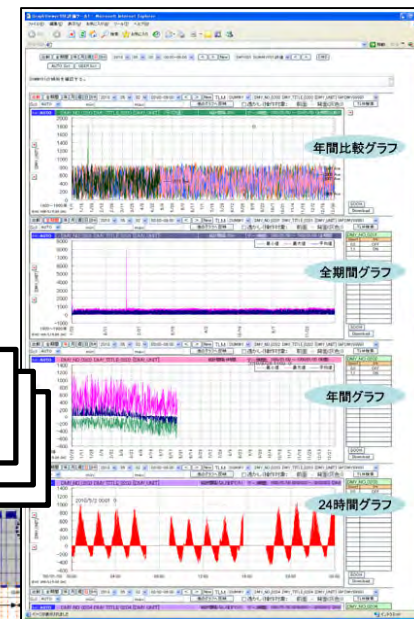
- ・テレメトリグラフ
- ・コマンド
- ・宇宙環境情報グラフ

宇宙環境情報(TEDAデータ)

宇宙環境計測情報  
システム※



※宇宙環境計測情報システム(SEES: Space Environment & Effects System)  
JAXA殿が運用する宇宙環境とそれらによる影響に関するデータとモデルを  
提供するデータベース



### ■地磁気データ

地球周辺の地磁気の状態として、地磁気嵐およびオーロラ嵐を確認し、衛星表面の帯電放電の原因である衛星表面に流入するプラズマ等の荷電粒子の環境を把握する。

- 各地磁気指数の観測データを、データ公開サイトから取得している

※地磁気嵐: 磁場強度が減少する大規模な擾乱現象

オーロラ嵐: 磁気圏に蓄えられた太陽風のエネルギーが急激に解放されることで生じる現象

#### ① Kp指数(地磁気擾乱指数)

サブオーロラ帯にある13ヶ所の地磁気観測所のK指数をもとに作られている3時間毎の指数であり、磁気嵐の指標としてその変化を把握する。

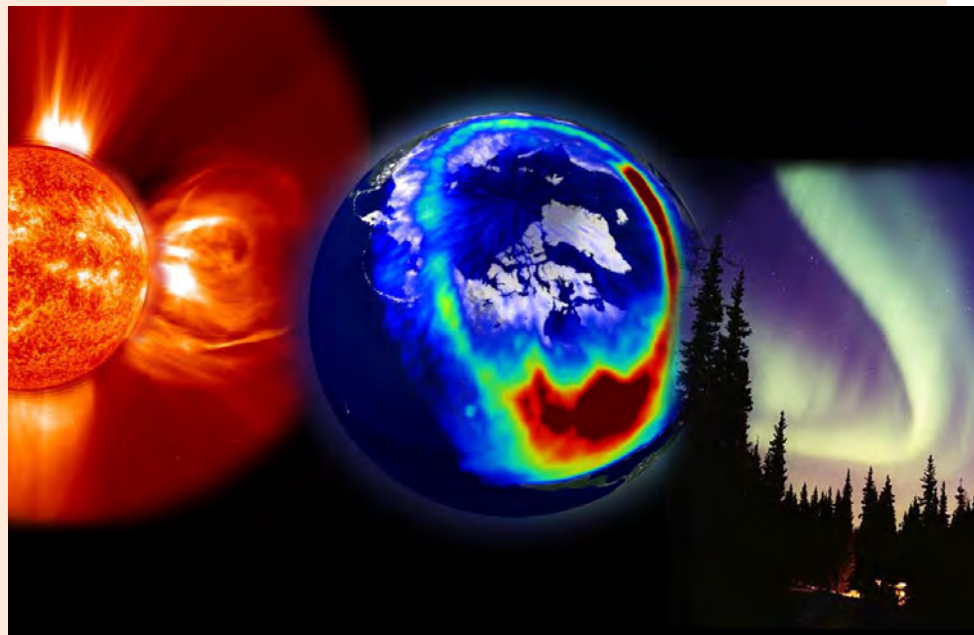
※サブオーロラ帯はオーロラ帯の低緯度側に広がる領域

#### ② Dst指数(地磁気擾乱指数)

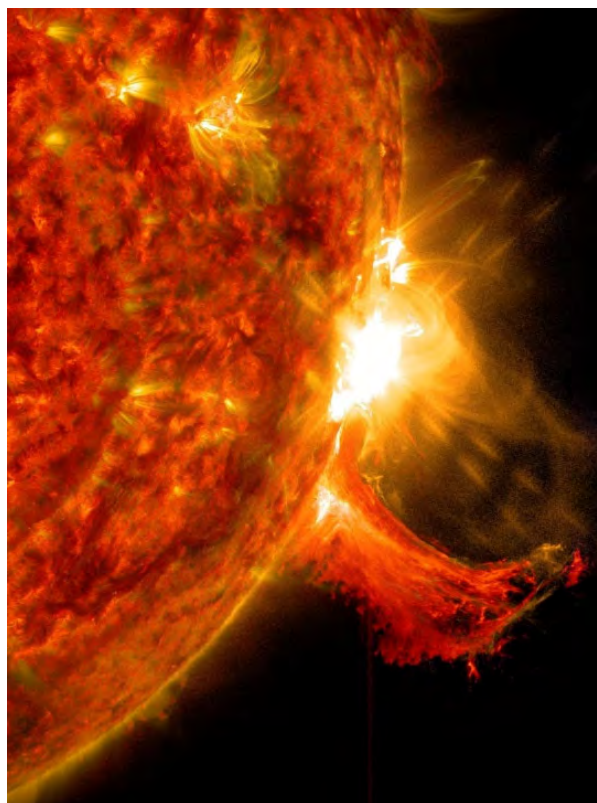
中緯度地磁気観測所の観測データをもとに作られている1時間毎の指数であり、赤道環電流の効果を表し、磁気嵐の指標としてその変化を把握する。

#### ③ AE指数(オーロラ嵐指数)

極域におけるオーロラの活動度を示す指数であり、オーロラ嵐の指標としてその変化を把握する。



最近の衛星は、シングルイベントアップセットおよび帯電放電を想定した設計がされている。



(宇宙環境要因)

- 太陽フレアに伴うプロトン及び重イオン → シングルイベントアップセット
- 磁気嵐 → 表面帯電 (想定した設計がされている)
- 太陽X線 → 太陽フレア発生 of 事前警報として参照する
- 高エネルギー電子 → 内部帯電 (想定した設計がされている)



(シングルイベントアップセット)

クリティカルなコンポーネント部品についてSEU発生確率を解析する

- ① 軌道上回避運用 → SEUにより待機系に切り替わる可能性が高くなるが自律的に安全モードに移行するため、特別な対処はしない
- ② ロンチホールド運用 (打上げ見合わせ) → クリティカルフェーズ(太陽電池パドル展開等)のリスク低減のため、ロンチホールド運用を行う



(ロンチホールド運用)※衛星によって異なる

- ロンチホールド基準を設定する(100MeVプロトンの粒子数)
- 太陽から放出される100MeVプロトンをモニタリングする

(ロンチホールド運用は一部の衛星で事例があり、衛星運用者の業務範囲外)

衛星運用者は、一次評価として宇宙放射線や地磁気に関する宇宙環境データを参照している。今後、宇宙環境による衛星故障が予想される場合に、衛星運用者に対して事前に周知されることで、以下のようなメリットが考えられる。

- 発生事象に対する原因究明の迅速化
- 安全モードからの復帰対応の迅速化
- クリティカルフェーズの運用に対するリスク対応

衛星運用者は衛星故障として、帯電放電およびシングルイベントアップセット(SEU)に起因する事象に注目している。

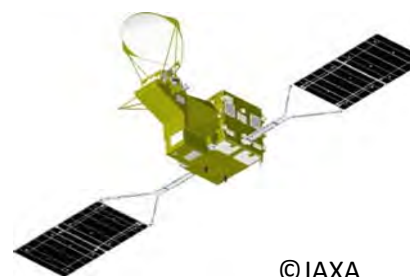
衛星運用者が最終的に知りたい情報は、予想されるこれら事象の発生時刻やSEU発生率などであり、提供情報も衛星運用者が最終的に参照したい情報が望まれる。



運用中の衛星に対する

- ①事象の発生予想時刻
- ②SEU発生率の予測値
- ③帯電電圧の予測値

etc.



※SEU発生率解析は、より詳細な宇宙環境データおよび衛星の諸元データが必要であり、例えば、宇宙放射線エネルギースペクトル、半導体デバイス反転断面積、遮蔽厚等がある