第16回宇宙天気ユーザーズフォーラム

「宇宙環境と衛星運用」

2021/11/30

スカパーJSAT株式会社
衛星運用部　宮田

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

本日の内容

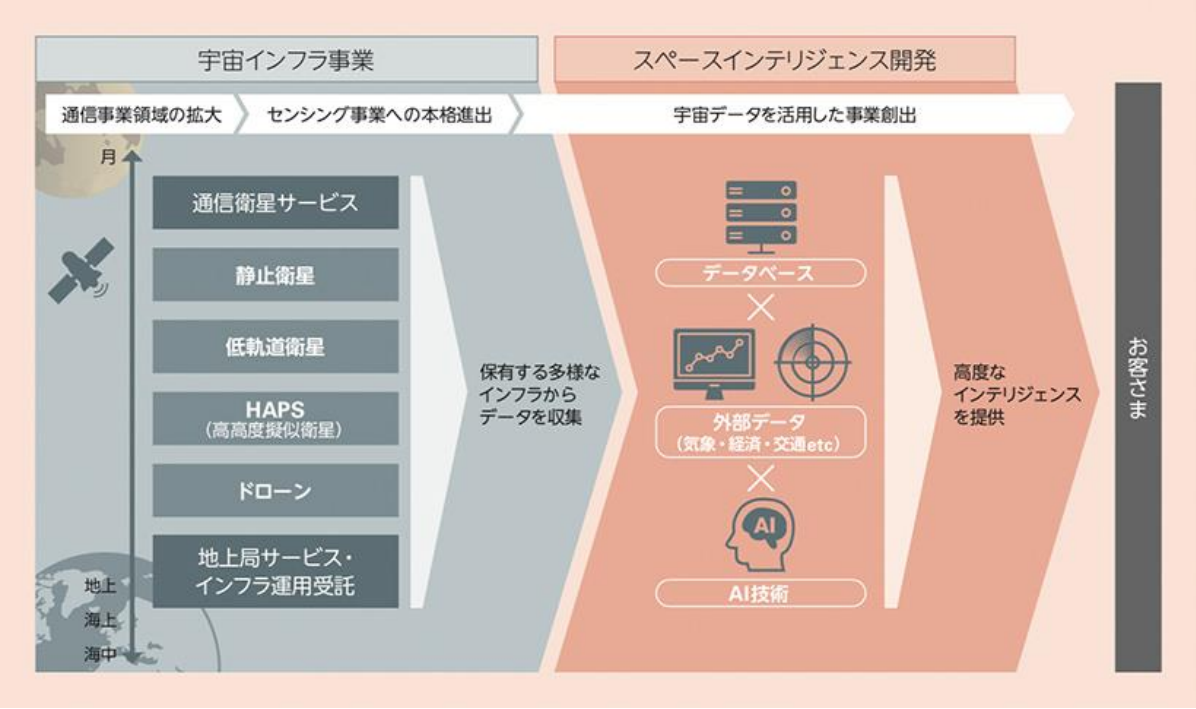
①スカパーJSATとは？
②宇宙環境の中での静止衛星の位置関係
③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響
④スカパーJSATが考える宇宙環境ビジネス

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

①スカパーJSATとは？(1/3)

事業概要

- 宇宙事業とメディア事業を両輪とするハイブリッドな強みを最大限に活かした事業を展開しています。
- 宇宙事業では、宇宙から海洋まであらゆる空間をビジネスフィールドとし、アジア最大数の静止軌道衛星インフラを活用して事業を行っています。
- メディア事業では、衛星多チャンネル放送「スカパー！」に加え、インターネットや光回線を経由した視聴サービスの提供など多様な視聴ニーズにお応えしています。



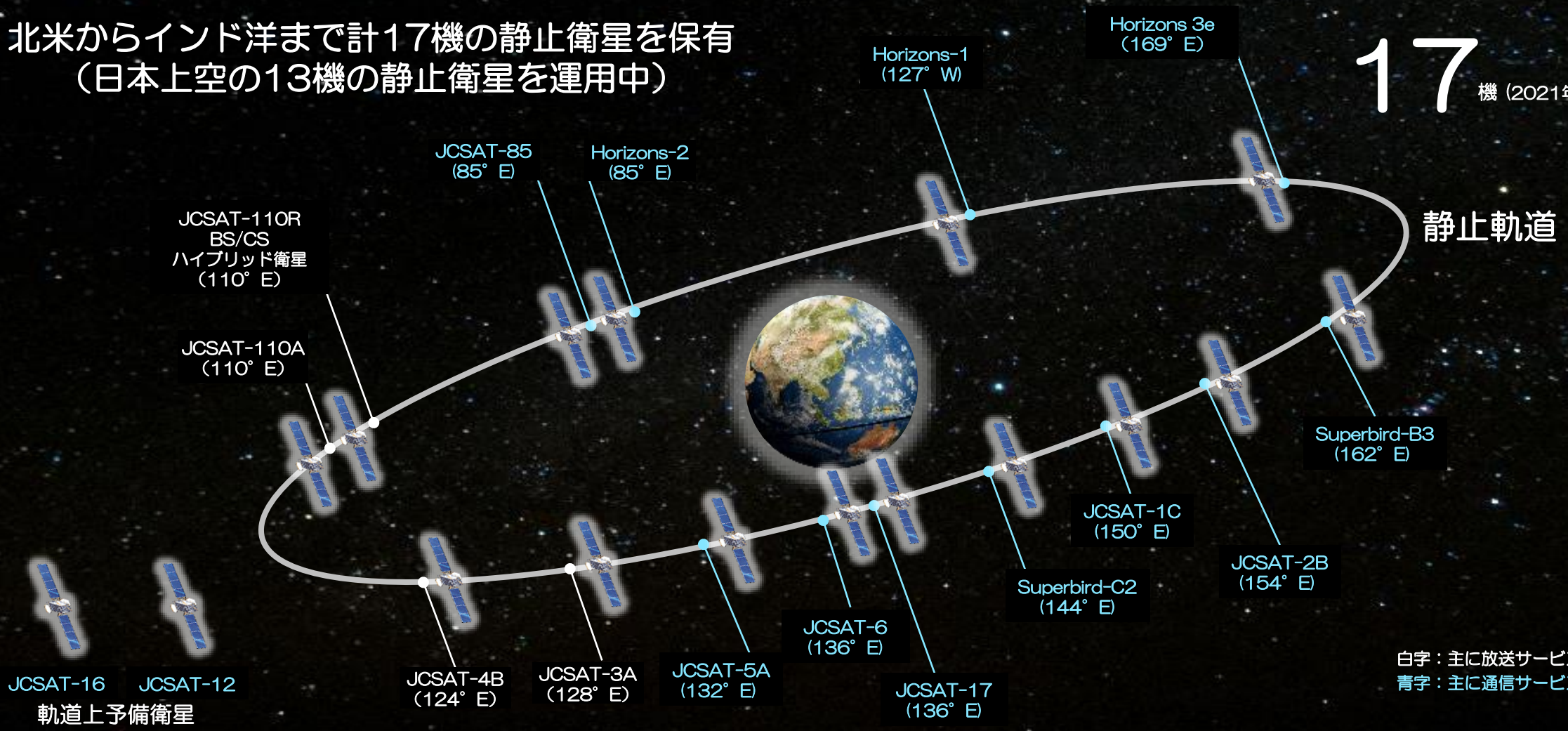
Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

①スカパーJSATとは？(2/3)

衛星フリート図

北米からインド洋まで計17機の静止衛星を保有
（日本上空の13機の静止衛星を運用中）

17機（2021年11月末現在）

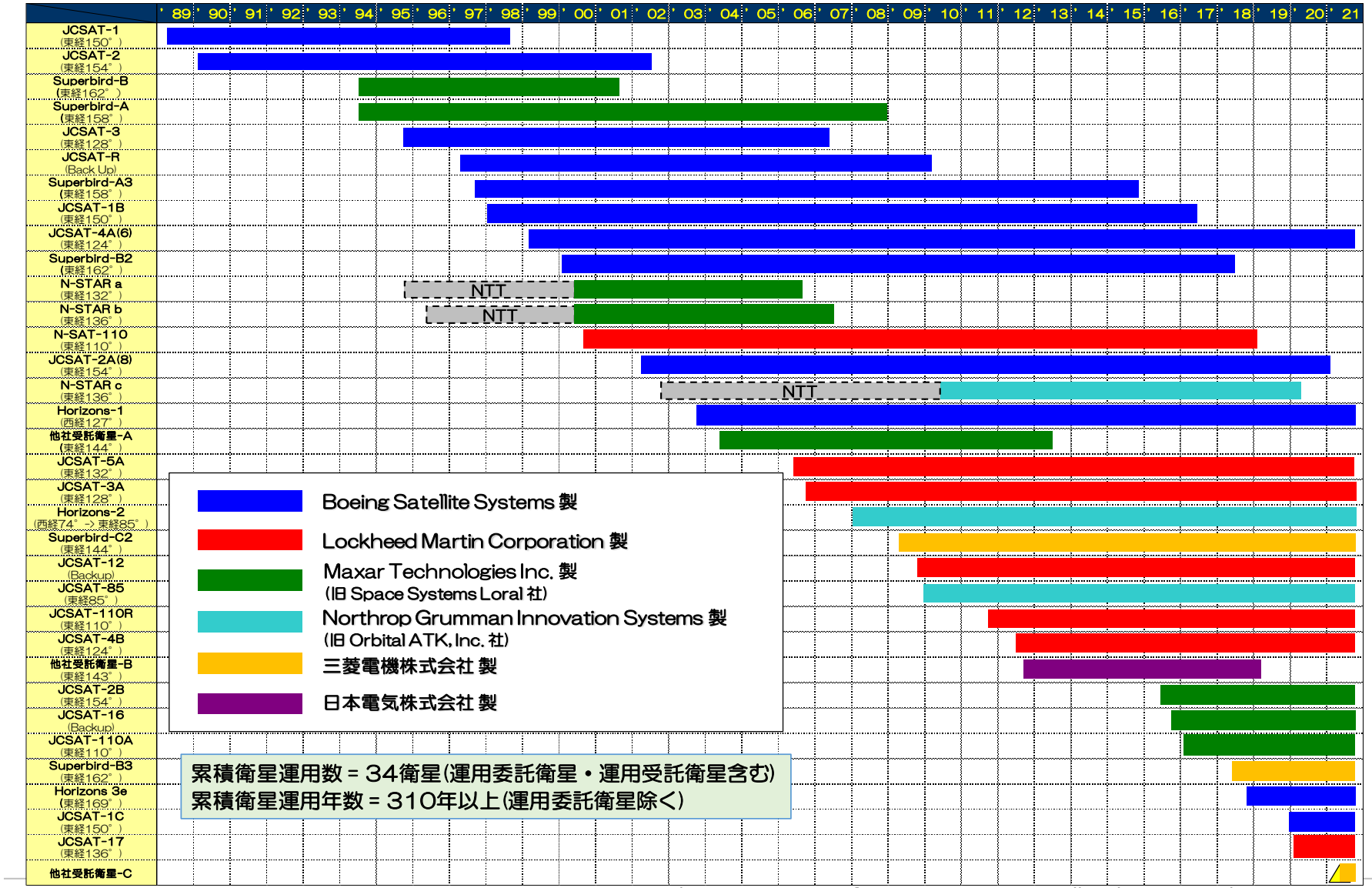


白字：主に放送サービス用
青字：主に通信サービス用

© 2021 SKY Perfect JSAT Group. All Rights Reserved.

①スカパーJSAT とは？(3/3)

衛星運用実績

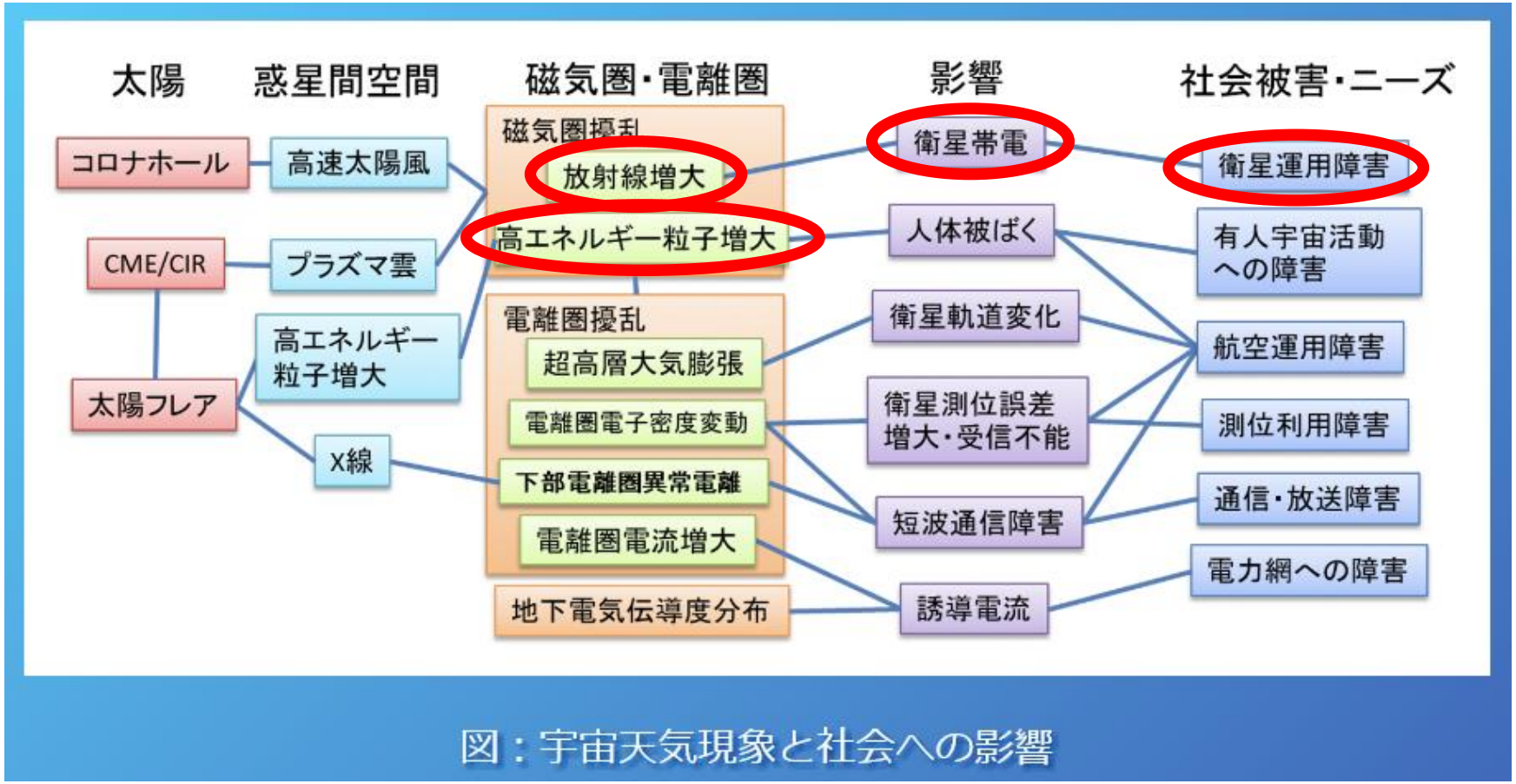


累積衛星運用数 = 34衛星(運用委託衛星・運用受託衛星含む)
累積衛星運用年数 = 310年以上(運用委託衛星除く)

- 2021年11月末時点での保有衛星数は17機
- 近年の衛星の設計寿命は15年間（燃料が余れば運用年数は20年を超える場合もある）
- 年によりバラツキはあるものの平均的には毎年一機を打上げて、一機の運用を終了するイメージ

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

②宇宙環境の中での静止衛星の位置関係(1/2)



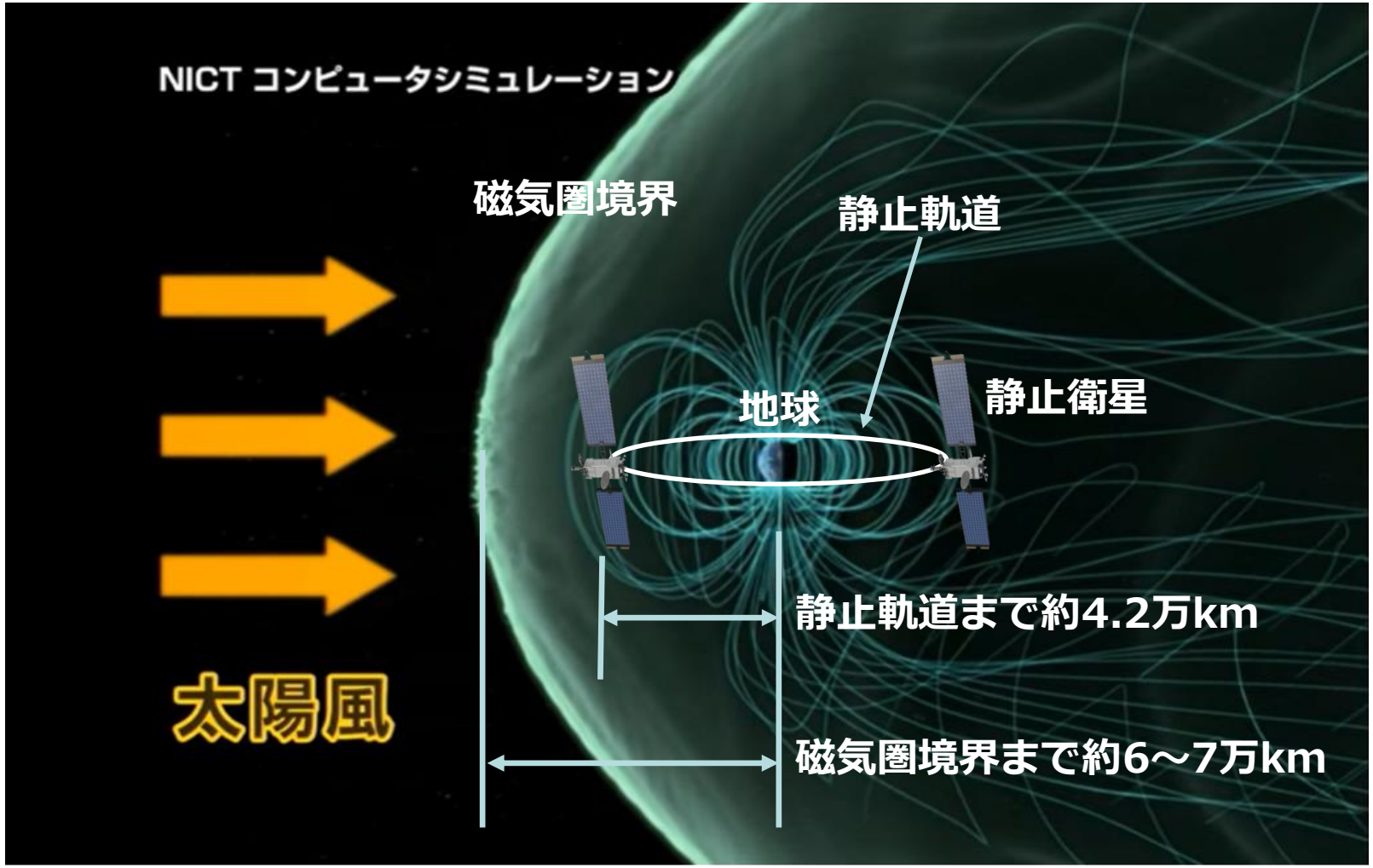
図：宇宙天気現象と社会への影響

- **静止衛星に影響するのは赤丸で囲った部分**
- **地球周辺の磁気圏の擾乱による影響が大きい**

※NICT「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」
https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

②宇宙環境の中での静止衛星の位置関係(2/2)



※NICTchannel「地球を守るバリアー地球磁気圏」に静止衛星を追記
https://www.youtube.com/watch?v=8Ykp4OM-bvI

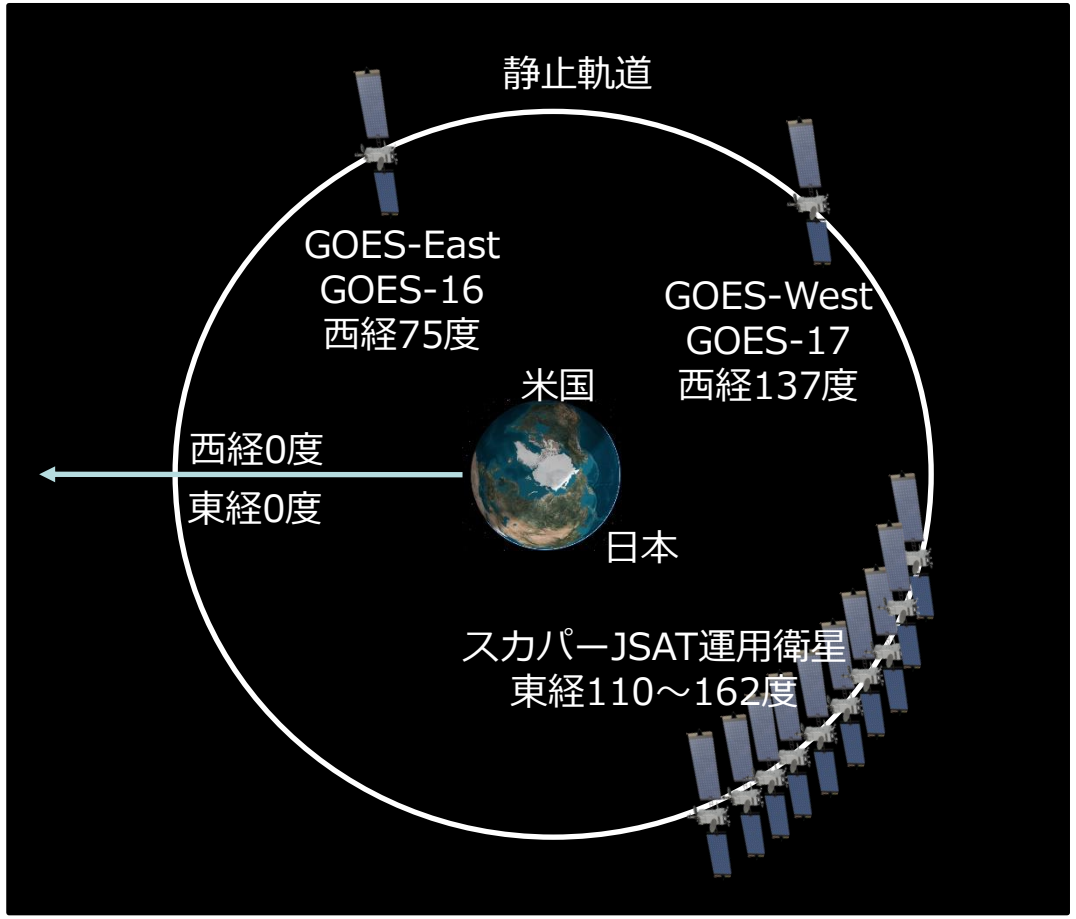
- 左図の通り、地球の磁場により地球の周囲には磁気圏が形成され、太陽風の侵入を制限している
- 静止軌道は全域に渡り、地球の磁気圏の内側に存在する
- 但し、磁気圏の内部であっても太陽活動が活発となり、太陽風が強くなるとその影響を受ける

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

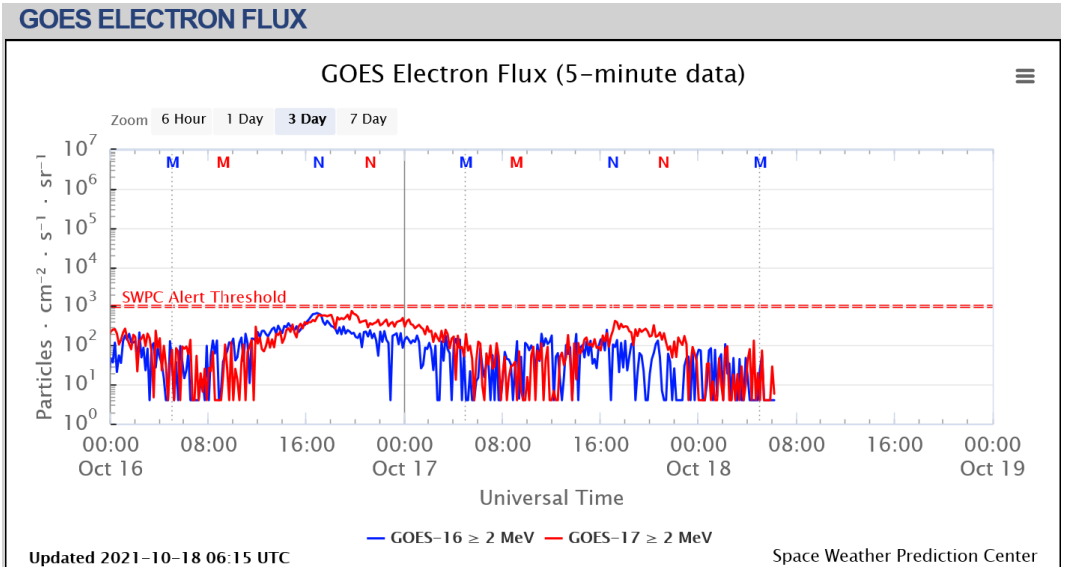
③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(1/10)

Q1：静止衛星の宇宙環境（放射線状況）をどの様に把握するか？

A1：米国海洋大気庁（NOAA）のGOES衛星やDSCOVR衛星のデータを利用



- 左図の通り、GOESは米国上空の東と西に一機ずつ配置された静止気象衛星だが放射線（電子やプロトン）フラックスのリアルタイム計測も実施
- GOES観測データから静止軌道帯の放射線状況を直接把握可能（太陽との位置関係から時間(位相)差はあり）
- 以下は電子フラックス計測データのサンプル



https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-electron-flux

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

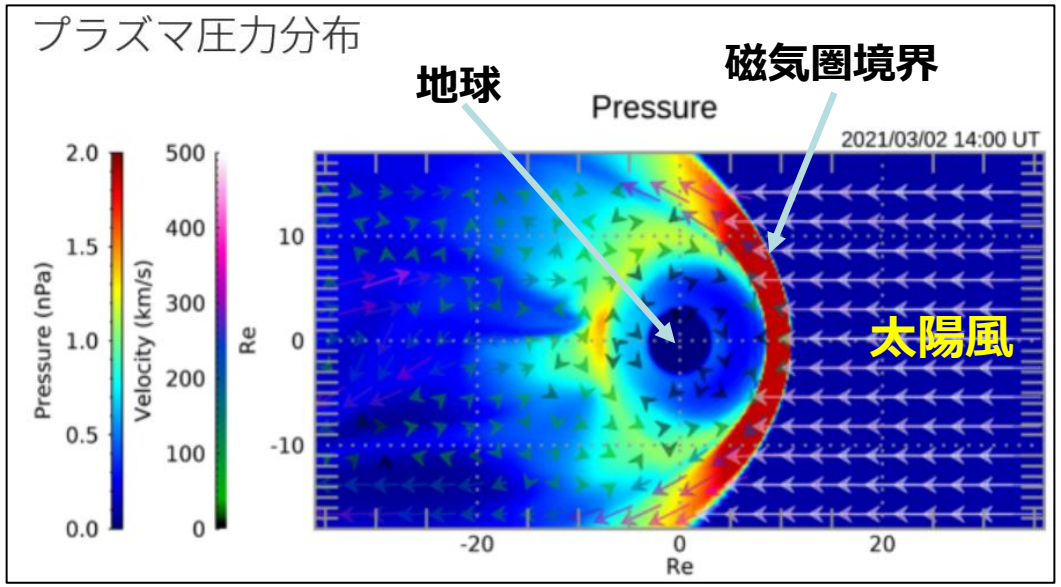
③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(2/10)

Q1：静止衛星の宇宙環境（放射線状況）をどの様に把握するか？

A1：米国海洋大気庁（NOAA）のGOES衛星やDSCOVR衛星のデータを利用

※ DSCOVR, NOAA's first deep space weather satellite, orbits approximately one million miles from Earth. (NOAA)
http://www.nesdis.noaa.gov/news/noaa-moves-one-step-closer-its-next-space-weather-satellite-mission

- 左図の通り、DSCOVRはラグランジュ点（L1）に配置された衛星であり、太陽風の観測を実施
- DSCOVR観測データからプラズマ状態をモデル化し、静止軌道帯の電子レベルを把握することが可能。
- 以下はNICT-JAXA-大阪府立大で開発したツール（SECURES）のサンプルイメージ



https://aer-nc-web.nict.go.jp/ssc/

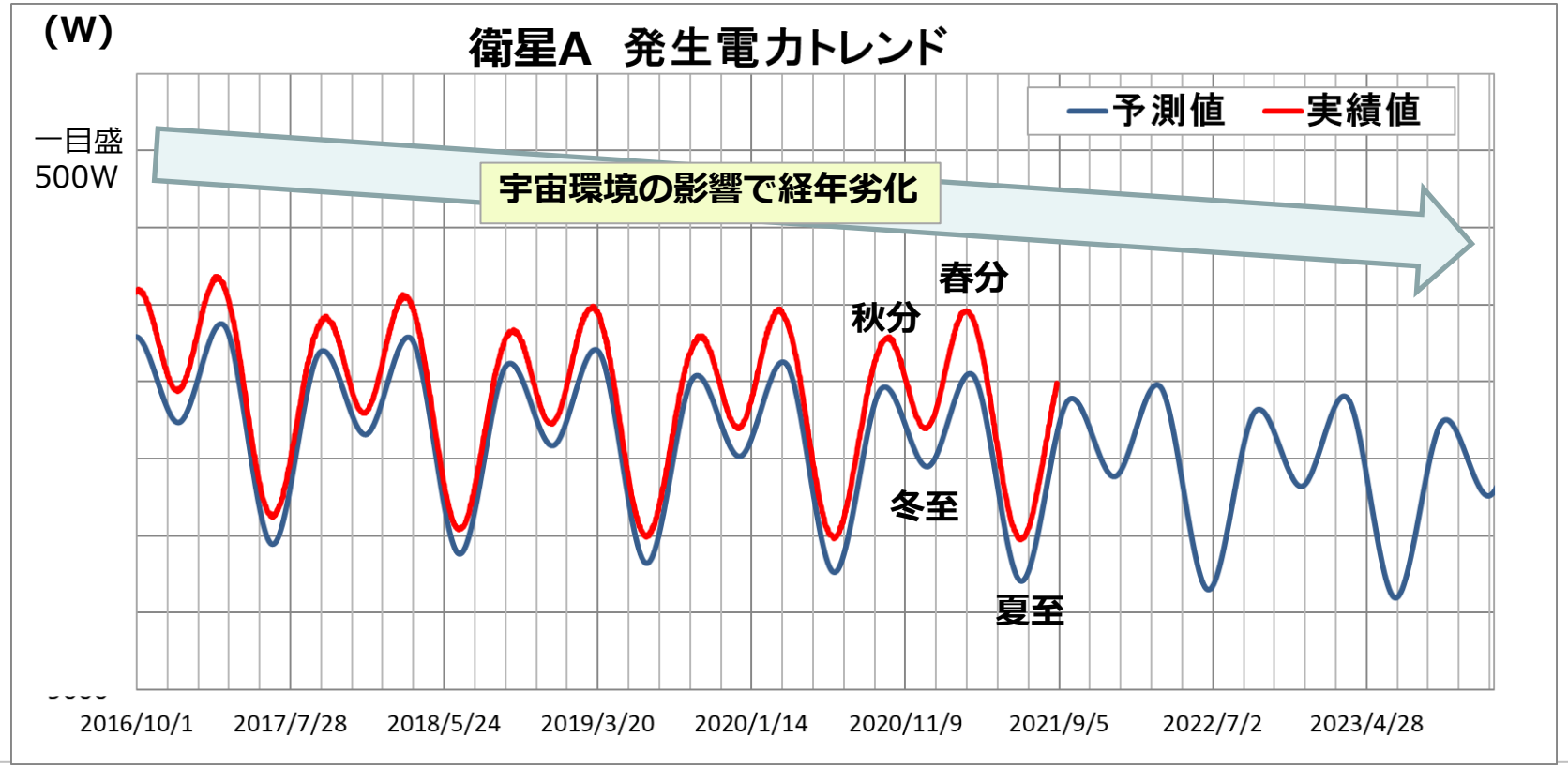
Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(3/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響その1）プロトンによる発生電力低下(1/2)

- 衛星の発生電力はプロトンの被ばくにより経年的に緩やかに低下する（トータルドーズ効果）



- 1年の中で太陽の入射角や太陽と地球間の距離が変化するため、発生電力も季節変化があり、夏至が年間の極小となる
- 経年的な変化量が、予測より実績の方が小さいのはソーラーサイクル24が平穏であったことが原因である可能性がある

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(4/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響その1）プロトンによる発生電力低下(2/2)

- 突発的にプロトン量が増加すると数日間で顕著な電力低下が見られる。
- 過去に大規模なプロトンイベントが発生した際の実際の発生電力の低下量を下表に示す
  - 静穏時のプロトンは1PFU以下。プロトンイベントの基準となっている10PFU程度では影響は無いものの、10000PFUを超える規模になると電力低下が明確に観測される

（本表に示す2001/11/25以降、顕著な電力低下を引き起こすプロトンイベントは発生していない）

（2001年11月はソーラーサイクル23のピークの頃だった）

発生日	最大密度(PFU) (*1)	衛星B 電力低下量(W)
2001/11/05～06	31700（at 11/06 2:15UT)	95 (全体の約1%に相当)
2001/11/24～25	18900（at 11/24 5:55UT)	84 (全体の約1%に相当)

(*1) GOESの観測データであり、10MeV以上のエネルギーを持つプロトンの粒子密度を表す。PFU(Proton Flux Unit)はその単位であり、[プロトン数/cm2/sec/sr]である。発生電力の低下量は、1回のプロトンイベントにおいて衛星が受けたプロトン粒子のトータル数で決まるため、必ずしも最大PFUの値と比例しない。

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(5/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響その2）プロトンによるSingle Event Upset(1/2)

- プロトンによる衛星への影響としては、先述の発生電力低下以外にSingle Event Upset(SEU)による搭載機器への影響がある
  - Single Event Upsetとは、プロトン等の高エネルギーの粒子が半導体デバイスに入射することで発生するビット反転。これが一時的な機器の誤動作に繋がる

- SEUが原因と疑われる機器の状態変化（ON=>OFFやモード変化等）の発生例はある
  - 但し、発生頻度自体が少なく、必ずしもプロトンのレベルと相関が確認されていない
  - 全て一時的な状態変化であり、恒久故障の事例は無い

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(6/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響その2）プロトンによるSingle Event Upset(2/2)

- プロトンによるSEUの影響としてセンサデータへのノイズがあるが、地球センサのグリッチ（不良データ）回数をカウントしていた衛星があり、そのデータを下表に示す
- 2001年11月の2回の大規模なプロトンイベントの際には、通常（静穏時）のグリッチ回数（数十回/日）から桁違いのグリッチ回数を確認した

発生日	最大密度(PFU)	衛星C 地球センサRoll グリッチ回数	衛星C 地球センサPitch グリッチ回数
2001/11/05～06	31700（at 11/06 2:15UT)	7820	6852
2001/11/24～25	18900（at 11/24 5:55UT)	874	782

- 尚、この地球センサはグリッチ除去の機能もあるため、いずれのケースでも姿勢誤差は発生しなかった

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(7/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響その3）電子による衛星帯電

- 軌道上の電子が増加すると、衛星は帯電する。帯電量がある閾値を超えると衛星内で放電が発生すると考えられている
- 但し、電子量が増加しているタイミングで放電が発生するとは限らず、相関は見えにくい
- 放電による影響は、放電の発生個所により変わると考えられる。スカパーJSATの衛星では、放電が原因と疑われる事例はあるものの、一時的な機器の状態変化のレベルであり、大きな異常には繋がっていない

- 尚、帯電・放電による衛星異常としては、2003年10月25日に発生した「みどり2号機」の事例（大幅な発生電力低下により全損）が知られているが、みどり2号は静止衛星ではなく、高度約800km・軌道傾斜角98.6度の低軌道の衛星である（上記の太陽同期軌道の衛星は極域を通過する際に帯電し易い）

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(8/10)

Q2：宇宙環境が荒れると静止衛星では何が起きるのか？

A2：（影響まとめ）

- 1989年の最初の衛星打上以降、スカパーJSATが運用する静止衛星では、宇宙環境が原因となった重大事故は発生していない
  - 発生電力の若干の低下、センサノイズの増加、一時的な機器の状態変化等のマイナーなレベルでの影響は出ている
  - 近年の太陽活動が比較的穏やかだったことも、スカパーJSATの静止衛星運用に大きな問題が生じていない理由となっていると考えられる。将来的に過去に経験の無いレベルでの大規模な宇宙環境の乱れが発生した際には、衛星運用に深刻な影響を及ぼす可能性はある

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

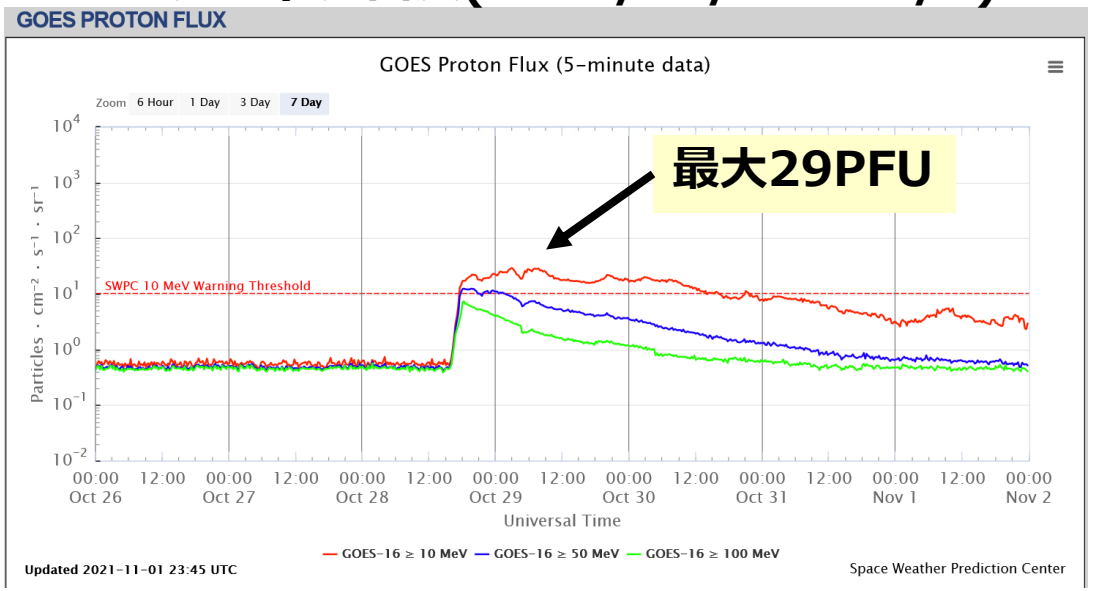
③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(9/10)

Q3：2021年10月28日に発生した大規模太陽フレアの影響は？

A3：

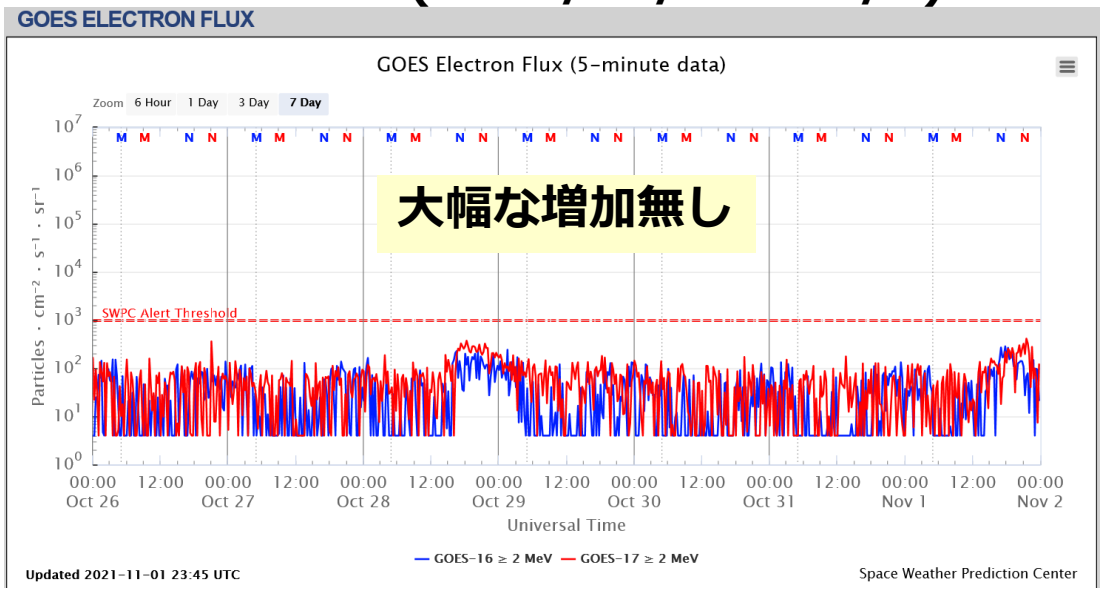
- **静止軌道帯では大きな影響は無かった。GOESの観測データを以下に示す。**

プロトン密度(2021/10/26～11/1)



https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-proton-flux

電子密度(2021/10/26～11/1)



https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-electron-flux

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

③宇宙環境が静止衛星の運用に与える影響(10/10)

Q4：宇宙環境が荒れた際の対策はあるのか？

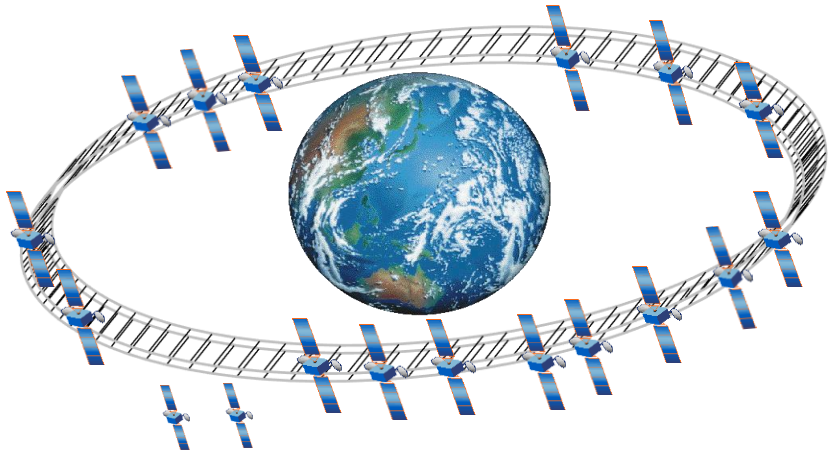
A4：

- 宇宙環境に特化した運用上の対策は無い。
- 原因に関わらず、衛星の搭載機器に異常が発生した場合の運用手順を用意しており、必要な場合は機器の切替を行う。
  - あくまでも事後の処置であり、予防策ではない
- 基本的に打上前の衛星の設計段階で必要な対策（宇宙環境からの放射線対策）は取られているが、もし軌道上で想定以上の放射線による影響を確認した際には、今後の新規衛星の設計に反映することは考えられる。

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

④スカパーJSATが考える宇宙環境ビジネス(1/4)

スカパーJSATの衛星フリート



宇宙環境センサ

ひまわり8号&9号に搭載の宇宙環境センサSEDA
https://www.data.jma.go.jp/mscweb/technotes/msctechrep58-3.pdf

＝ 新ビジネス？！

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

④スカパーJSATが考える宇宙環境ビジネス(2/4)

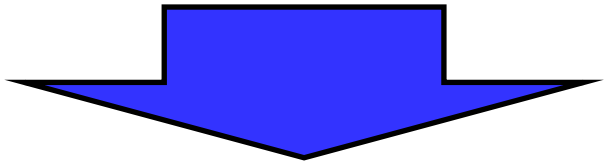
- スカパーJSATの所有する静止衛星に宇宙環境を測定するセンサを相乗りで搭載し、得られるデータを利用するビジネスを実現できないか？
- スカパーJSAT衛星への相乗り搭載には、センサ開発者とスカパーJSATの双方にメリットがある

【センサ開発者】

- 宇宙環境センサは小型であるため、スカパーJSATのメインミッションである通信や放送を目的とした衛星に相乗りさせることで**コストを削減**できる
- スカパーJSATの衛星を使うことで**多くの打上機会**を得られる

【スカパーJSAT】

- ビジネスが軌道に乗れば、新たな**収益源**となる



2020年11月より、NICT・東北大・京大・スカパーJSATの四者で
「人工衛星搭載用宇宙環境センサ開発」
に関する共同研究を開始

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

④スカパーJSATが考える宇宙環境ビジネス(3/4)

とは言え、商用衛星に搭載する以上、採算性は大事、、、

- 最初は国等の補助金で費用を賄うことも考えられるが、**持続的に行うためには観測データの利用などビジネスとしてのスキームが必要**

https://www.jsat.net/jp/contour/jcsat-2b.html

←は代表的なスカパーJSATの衛星

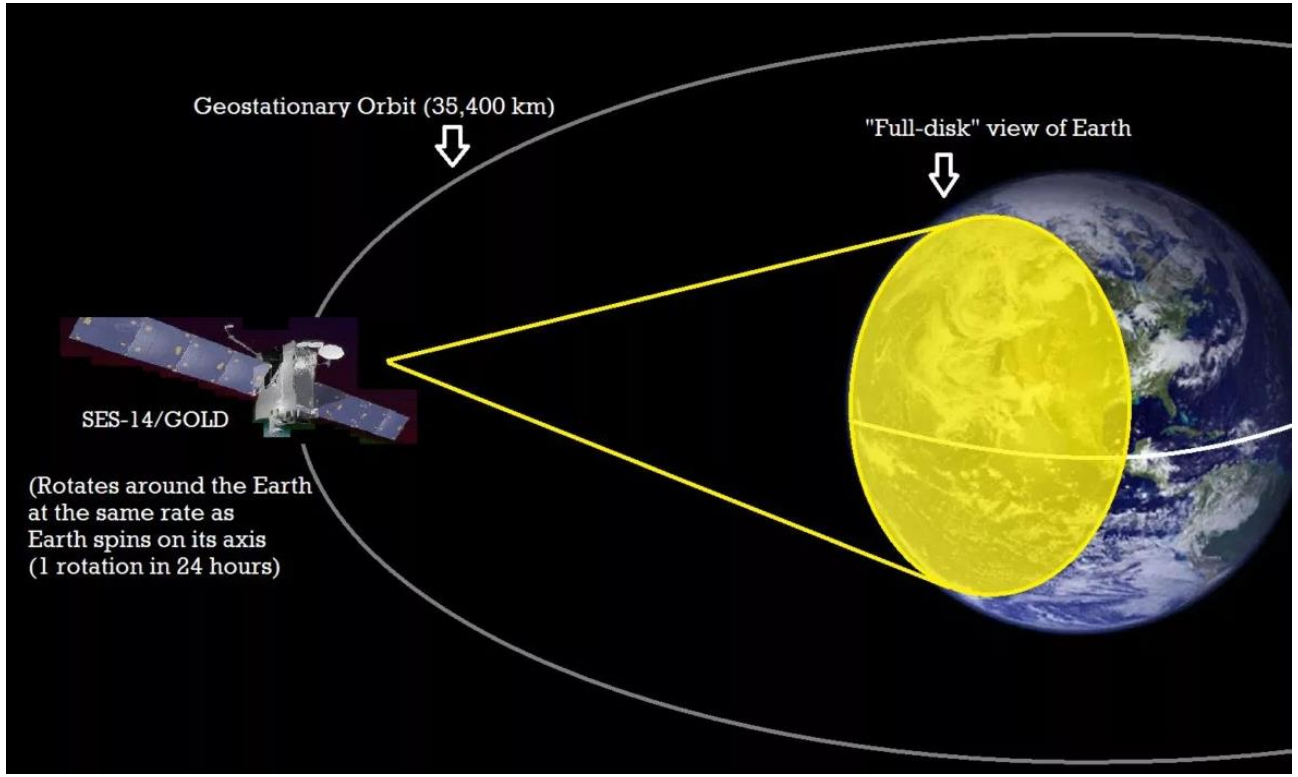
宇宙環境センサの仕様を慎重に確認する必要があるが、相乗り搭載は可能と考えられる

- サイズ
- 重量
- 消費電力
- 熱制御
- 通信量
- 視野 等

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

④スカパーJSATが考える宇宙環境ビジネス(4/4)

民間の商用衛星に宇宙環境センサを搭載した海外の事例としてSES-14がある



- SES14は、商用オペレータであるSES社が所有する静止衛星
- メインミッションは、Ku帯及びC帯の通信サービス
- 相乗りミッションとして、NASAの探査プログラムであるGOLD (Global-Scale Observations of the Limb and Disk)用のペイロードを搭載
- 2018/1/25に打ち上げられ、西経47.5度で運用継続中

https://www.planetary.org/space-images/ses-14-in-geo-capturing-a-full-disk-image-of-earth
https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasa-gold-mission-to-image-earth-s-interface-to-space

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved

最後に

ご清聴ありがとうございました

ご意見・ご質問は以下の宛先にお願い致します

miyata-azuma@sptvjsat.com

Copyright © 2021 SKY Perfect JSAT Corporation. All Rights Reserved