

**スペースデブリ低減に向けた
国内外ガイドライン
及び
GOSAT運用継続判断指標について**

令和2(2020)年7月8日
宇宙航空研究開発機構

1. **スペースデブリ低減に向けた国内外ガイドライン**
2. GOSAT運用継続判断指標

各国宇宙機関では、国際標準・ガイドラインに対応した標準を運用しており、国際ルールに準拠して活動している。

• 国際ガイドライン・標準

➤ IADCスペースデブリ低減ガイドライン(2002年)

- ✓ IADC (Inter-Agency Debris Coordination Committee)は、スペースデブリに係る研究者の情報交換・議論の場として設立された、先進国を中心とした宇宙機関で構成される委員会。
- ✓ 2002年に先進国宇宙機関間の初めての合意ガイドラインが制定された。

➤ 国連COPUOSスペースデブリ低減ガイドライン(2007年)

- ✓ COPUOS (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space)は、宇宙活動の研究援助・情報交換、法および原則の確立等の検討を目的とした国連委員会。
- ✓ IADCガイドラインを踏まえて制定されたガイドライン。

➤ ISO-24113スペースデブリ低減要求(2010年)

- ✓ IADCガイドラインの工業的な実施方法を定めた国際標準。

• 各国宇宙機関が運用する標準

➤ NASA標準(NASA-STD-8719.14)

- ✓ IADCガイドラインと整合。

➤ 欧州宇宙標準協会規格(ECSS-U-AS-10C)

- ✓ ISO-24113と整合を取るように維持。

➤ JAXA標準(JMR-003)

- ✓ ISO-24113と整合を取るように維持。

} 国際ルールに準拠

スペースデブリ低減に向けた基本的な考え方

スペースデブリは、①正常運用時の物体放出、②軌道上での自己破碎、③運用終了後の保護軌道域からの離脱失敗、④軌道上物体との衝突による破碎によって増加する。スペースデブリ低減には、これら4項目への対処が必要。

IADCスペースデブリ低減ガイドラインおよびISO-24113スペースデブリ低減要求の主な項目

① 正常運用時における物体放出の制限

*スラグ：固体燃料の燃焼、溶融の過程で発生する残渣物

- 意図的な物体放出や固体ロケットモータのスラグ*等の制限 (スラグは一律禁止ではなく、軌道寿命による環境への影響を考慮)
- GOSATには意図的に放出する物体はない。

② 軌道上破碎事故の防止

- 破碎事故、残留エネルギーによる爆発を防止すること
- 意図的な破壊行為、軌道環境に有害な行為の禁止

運用終了時には、残推薬の排出やバッテリー充電回路の遮断を行う。

GOSATが順守すべきガイドライン

③ 運用終了後の廃棄措置 (次項に補足)

- 運用終了後に保護軌道域から離脱すること
 - 静止軌道保護域 (静止軌道高度 $\pm 200\text{km}$, 緯度 $\pm 15\text{deg}$)
 - 低軌道保護域 (高度 2000km 以下)

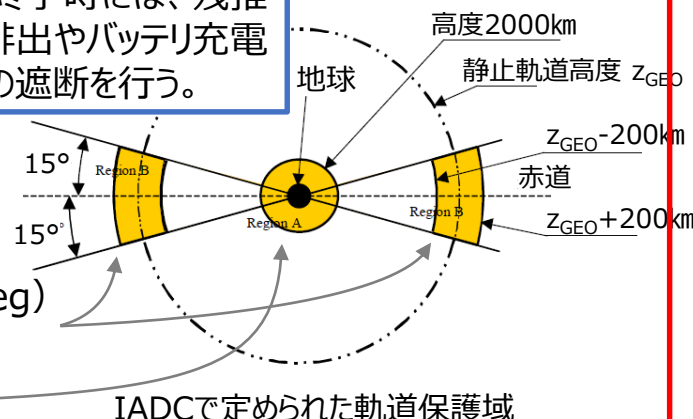
※25年以内に低軌道保護域から離脱

- 廃棄措置の成功確率が90%以上であること

④ 軌道上における衝突の防止

- 地上で監視できる物体との衝突の回避を行うこと

従来は廃棄運用期間の信頼度だけを評価していたが、ISO-24113:2019改定(GOSATには非適用)では、運用開始からの信頼度低下も考慮の上、運用中の衛星についても適切に寿命管理等を行うことが求められるようになった。



JAXAスペースデブリ発生防止標準（JMR-003）D改定案に基づく廃棄措置のための対応（運用時）

ISO-24113:2019 版の反映等のために改定中

運用終了・延長判断要領の作成 **対応済み**

廃棄マヌーバ用資源の管理（推奨）

対応済み (P10)

廃棄措置に用いる作動寿命品目の残寿命評価

対応済み (P7)

廃棄措置に必要な機器の健全性の評価と緊急時対応

対応済み (健全性：P7,9、緊急時対応：P11)

運用期間の終了・延長の判断

廃棄作業計画書の作成

対応予定（廃棄決定後）

廃棄計画の確認と実行

運用終了の場合

1. スペースデブリ低減に向けた国内外ガイドライン

2. GOSAT運用継続判断指標

- GOSAT観測意義

- ガイドラインへの対応

③運用終了後の廃棄措置（廃棄措置に用いる機器の残寿命・健全性、
廃棄マヌーバ用資源の管理、緊急時対応等）

②軌道上破砕事故の防止 及び ④軌道上における衝突の防止

前項のガイドラインに基づき作成されたGOSATとしての運用継続の判断指標として、次の観点で運用継続で問題ないことを確認している。

1. GOSAT観測意義

GOSATが観測運用を継続することの意義を再確認

2. 衛星の健全性(③運用終了後の廃棄措置)

→ 廃棄措置に必要な機能の残寿命評価及び健全性

(1)年度初めを信頼度の起点とし廃棄措置に必要な機能の条件付き信頼度が0.9を切らないこと

(2)寿命管理部品が寿命を超える部品がないこと

(3)廃棄措置に必要な機能について経年劣化要素によりリミット値を超えるものがないこと

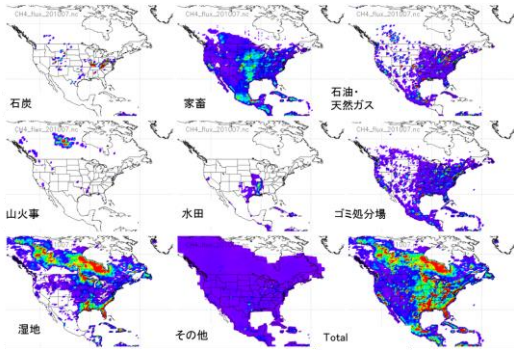
GOSAT観測意義及び衛星の健全性(1)-(3) 確認結果サマリ

廃棄措置が必要な状況ではなく運用継続で問題ない。

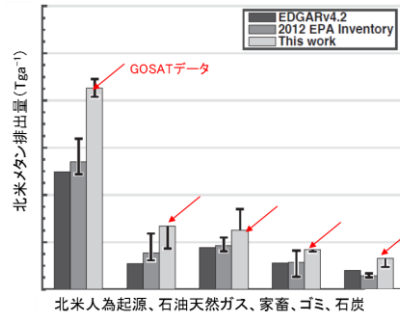
判断基準	GOSAT観測意義 (含む後継ミッションへの観測の継続性)	衛星の健全性(1) 現在の廃棄措置に必要な機能の条件付信頼度	衛星の健全性(2) 寿命管理品等の状況および現在での状況	衛星の健全性(3) 廃棄措置に必要な機能についての経年劣化要素
GOSAT 確認結果	<p>(1)基準機としてのGOSATの役割 現状、軌道上の温室効果観測センサはそれぞれ1 ppmレベルの固有のバイアス誤差があり真値が確定していない。世界で唯一、1 ppmの精度で10年スケールの変化を観測してきた。</p> <p>(2) GOSAT-2との観測継続性 季節変動を考慮した評価のため、レベル2標準プロダクト生成開始後から1年以上は相互観測、相互検証が必要である。なお、現在、標準プロダクトは生成されていない。</p>	<p>2021.4.1において条件付き信頼度が0.9以上であることを確認済み(2021.3月まで、0.9を切らないことも確認済み。)</p>	<p>「バッテリーセル」については、劣化傾向や異常の兆候がない。「PDM2」については現在SAP回転駆動停止中であり劣化は生じない。電力は問題なく供給できている。</p>	<p>廃棄措置に必要なコンポーネント毎に機器の動作状況を確認した結果、経年劣化等によるテレメトリのリミット値超え特異な変動・異常等はなく正常なトレンド遷移状況である。 (P9)</p>

GOSAT観測意義

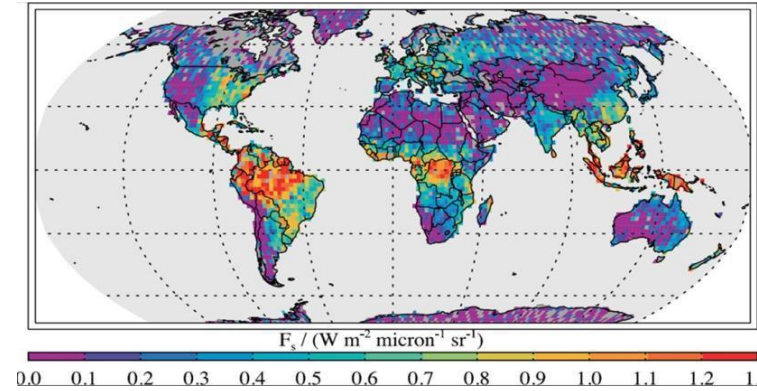
- 北米のメタンに関して発生源別の排出量が月別に導出できるようになり、衛星観測によるインベントリの実現に道筋をつけた。
- 世界で初めて衛星からクロロフィル蛍光の全球分布観測を実施、植物からの蛍光の全球分布、季節分布を明らかにし、さらにCO₂濃度との逆相関を明らかにした。
- 大都市下層の濃度差を明らかにし、「衛星による都市排出インベントリ検証」の可能性を示した。



GOSATによる月別
発生源別北米メタン排出分布
(NASAのサイトより公開)

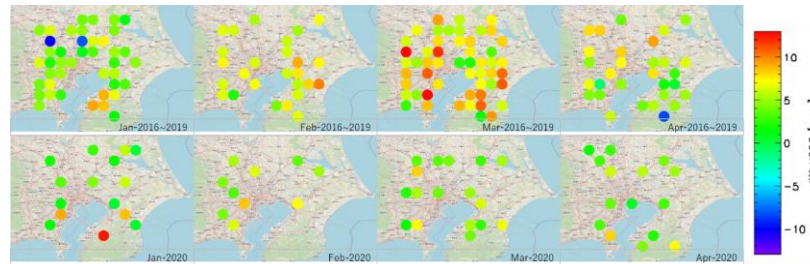


北米メタン排出(従来のモデル、米国環境保護庁のインベントリ(過小評価)、GOSATデータからの解析)(ハーバード大Turner et al., ACP, 2015)(IPCCレポートで引用)



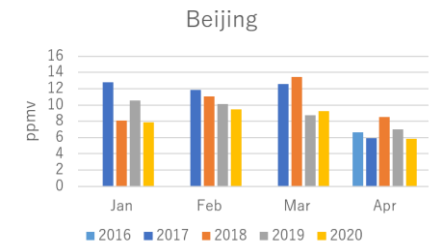
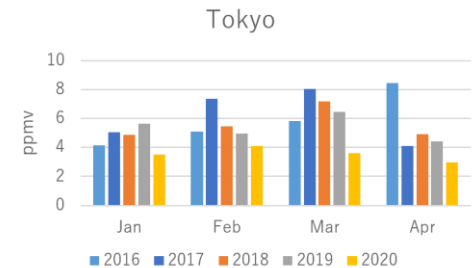
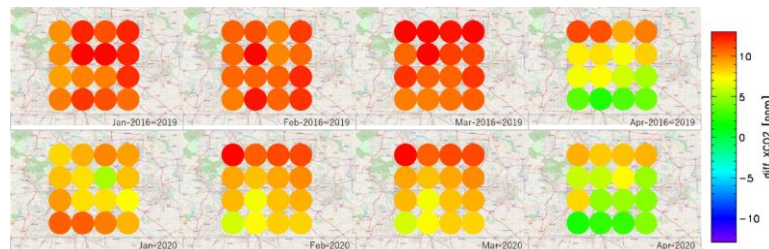
世界最高分光分解能で初めてとらえた植物の光合成に伴う蛍光
Frankenberg et al., GRL, 2011

2016年より強化した世界主要
とりの集中観測結果と2019年
より公開したJAXA研究プロダ
クスの成果(上層・下層別濃度)



JAXA-NASA-ESA
COVID19共同ダッシュボード
2020.6.25公表

例年(2016-2019年)と2020年の
各月(1-4月)の下層CO₂濃度増加
東京(上段)と北京下段)



衛星の健全性(3) 廃棄措置に必要な機能についての経年劣化要素

モニタ項目・確認状況(正常に運用中)

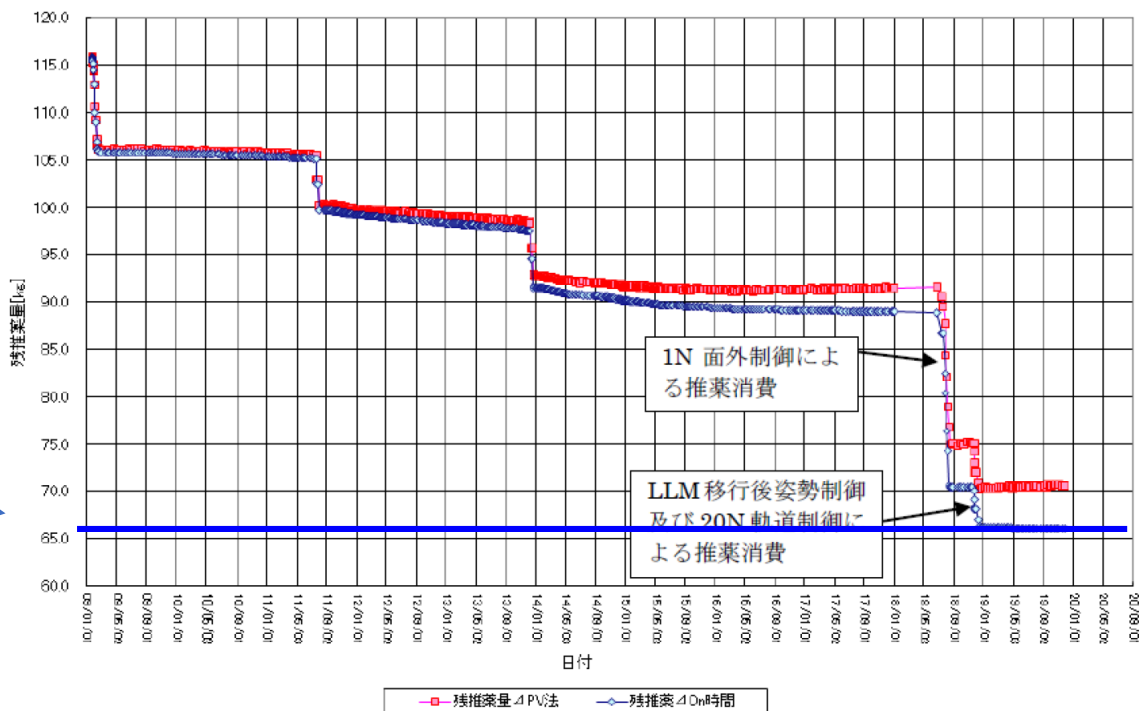
確認対象		モニタ項目	確認状況
共通確認項目		<ul style="list-style-type: none"> 上下限リミット値に抵触していないこと 日変動や周回変動等の細かい変動も確認する 通常と異なる変化を確認した際には関連する規定外のTLMについても確認対象とし原因究明にあたる 	正常に運用中 (左記の異常無し)
指令系	CDMS	<ul style="list-style-type: none"> 放射線によるビットエラー発生数 動作エラーの発生頻度・関連する温度、電圧TLMの確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
姿勢制御系	AOCS	<ul style="list-style-type: none"> 姿勢系ステータステレメトリの変動を伴う運用以外の箇所での姿勢の揺れ、通常と異なる振る舞いの確認・関連する温度、電圧TLMの確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
電源系	SAP	<ul style="list-style-type: none"> PD-CONV1および2の系統(PDE/PDM含む)に関連する 温度、電圧、電流TLMの確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
電源系	EPS INT	<ul style="list-style-type: none"> 設計諸元に基づく発生電力2翼時で3770W以上、1翼時で1885W以上であり、それを目安とする 電力制御機能維持の確認・BAT劣化によるBAT電圧低下の確認・関連する温度、電圧、電流、電力TLMの確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
推進系	RCS	<ul style="list-style-type: none"> 残推薬量の確認 自律軌道制御の実施頻度増減の確認・スラスタ触媒層の温度の確認 遮断弁、注排便等の関連機器の動作状況の確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
通信系	COM	<ul style="list-style-type: none"> 関連する機器の動作状況の確認 送信/受信レベルの変動状況等の確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)
センサ	TANSO	<ul style="list-style-type: none"> 関連する機器の動作状況、温度等の確認・レーザダイオードの出力低下状況の確認・ZPDの変動確認 	正常に運用中 (左記の異常無し)

廃棄マヌーバー用資源(推薬量)の管理

- 残推薬量: 約66kgで廃棄マヌーバに必要な推薬量は約15kgであり、残推薬量は十分余裕がある状態(参考: これまでの消費推薬量約50kg)
- 残推薬量の算出方法
 - ✓ 圧力センサ出力値／タンク温度を用いたPV法
 - ✓ スラスタを流れる推薬質量流量とスラスタの Δ On時間

(両手法による評価の差は約4kg程度(各手法における算出式に使用するパラメータ(PV法では圧力センサTLM値、 Δ On時間法では推力、ISP値等)が持つ公差によるもの)

推薬量のトレンド評価



以下の通り、GOSAT運用の緊急時対応について整備・対応済み

1. 緊急連絡体制の整備

【GOSATでの対応】(対応済み)

- 衛星運用者からJAXAあるいは各種メーカーへの緊急連絡体制を整備しており、定期的に確認・更新
- 緊急連絡を24時間受付可能なJAXA担当を設定。休日夜間を問わず、衛星不明事象や特異事象発生時には対応することで事象の早期解決に向けた対応を実施可能な体制としている。

2. 緊急対応処置手順の整備

【GOSATでの対応】(対応済み)

- これまで発生した不明事象や特異事象に関しては、すでに処置手順が明確になっており、衛星運用者のみで対応が可能な物が多数である。これらは運用文書に反映済み。
- 今後、新規の不明事象や特異事象が発生した場合には速やかに内容確認、調査、処置を実施するとともに恒久処置や処置手順を明確にし、運用文書に反映することで、確実な運用手順の整備を行うことを基本としている。
- 緊急時操作訓練を1回／年の頻度で実施しており、万が一つくば宇宙センターでの運用継続が何らかの理由で不可となった場合でも運用継続が可能となるように訓練を実施。

3. 衛星異常対応を想定した運用訓練の実施

【GOSATでの対応】(対応済み)

- これまで発生した衛星特異事象例をもとに、衛星シミュレータを用いて、実際に衛星に特異事象が発生したことを模擬し、その際における初動処置対応の訓練を実施。

以下の通り、軌道上破砕事故の防止(②) 及び 軌道上における衝突防止(④)へも対応済み

②軌道上破砕事故の防止(破砕事故、残留エネルギーによる爆発を防止すること)

【GOSATでの対応】(対応済み)

1. 推薬排出手順

マニュアル軌道制御にて面外方向にスラスタ噴射することにより残留推進薬の排出を行う手順を準備している。

- 姿勢変更コマンド送信
- スラスタ噴射コマンド送信

2. バッテリ充電回路遮断手順

バッテリー充電回路をOFFとし、太陽電池パドルからの発生電流を遮断する。これによりバッテリーのみで負荷を動作させることでバッテリーを放電させる手順を準備している。

- ・充電回路遮断(BAT CHG OFF)コマンド送信

④軌道上における衝突の防止(地上で監視できる物体との衝突の回避を行うこと)

【GOSATでの対応】(対応済み)

1. 回避運用手順(対応済み)

本衛星に接近する他の人工衛星(スペースデブリを含む)の情報はCSpOC(米国Combined Space Operation Center)から入手し、回避制御の運用手順を準備・実施している。