

温室効果ガス・水循環観測技術衛星 GOSAT-GW及びTANSO-3

藤井康隆*
Yasutaka Fujii
嶋沢 誠*
Makoto Kamozaawa

GOSAT-GW and TANSO-3

要 旨

温室効果ガス観測技術衛星GOSAT(Greenhouse gases Observing SATellite, 愛称:いぶき)シリーズは, 気候変動に関する科学の発展への貢献と気候変動政策への貢献(脱炭素社会開発の推進)をミッションとした衛星シリーズであり, 現在GOSAT(2009年打ち上げ)及びGOSAT-2(2018年打ち上げ)の2機が運用中である。三菱電機は衛星プライムメーカーとして, 契約元であるJAXA(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構)に加えて, プロダクトのデータ処理を実施するユーザーである環境省, NIES(国立研究開発法人 国立環境研究所)の指導の下, 開発・製造・運用に貢献している。

温室効果ガス・水循環観測技術衛星GOSAT-GW(Global

Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle)はGOSAT-2の後継機であり, 2023年度打ち上げを目指して, 当社がプライムメーカーとして開発中である。

GOSAT-GWは従来の温室効果ガス観測ミッション用の温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)に加えて, 水循環変動観測衛星(GCOM-W(Global Change Observation Mission-Water), 愛称:しずく)に搭載されたAMSR2の後継である高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)を搭載し, 大気中に含まれる水蒸気のデータを気象庁や世界の気象機関に提供し, 台風や集中豪雨などの予測精度向上に貢献する。GOSAT-GWは気候変動, 気象観測で, 重要な役割を担う人工衛星になっている。

衛星システム外観



- ・環境省の温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)ミッションに関する開発を受託し, JAXAミッションであるAMSR3と相乗りする。
- ・ミッションが両立可能な軌道を選択。
- ・衛星バスは実績のあるGOSAT-2バスを最大限活用。両ミッションに対するバスへの搭載性に関しては機械, 電気, 熱インタフェース等の観点から, 新規開発技術要素はない。

衛星システム主要諸元

運用軌道	種類	太陽同期準回帰軌道
	高度	666km, 回帰3日(GOSATと同様)
	昇交点通過地方太陽時	13:30±15分(GCOM-Wと同様)
衛星質量		約2.6t(推薬190kg含)
発生電力		約5.3kW(1アレイ故障時:EOL)
設計寿命		7年以上
打上げ		H-IIAロケット
観測運用		TANSO-3 : 地表日照域観測 AMSR3 : 常時観測
ミッションデータ伝送		直接伝送(X) : 400Mbps 直接伝送(S) : 1Mbps(AMSR3のみ)
搭載ミッション機器		TANSO-3 AMSR3

TANSO-3 : Total Anthropogenic and Natural emissions mapping SpectrOmeter-3, EOL : End Of Life

出典 : 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会宇宙開発利用部会(第52回R1.12.10)資料52-1
温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)プロジェクト移行審査の結果について
<https://www.mext.go.jp/kaigisiryoyou/content/000020148.pdf>

GOSAT-GW衛星の主要諸元

GOSATシリーズの後継機として開発中であるGOSAT-GWの主要諸元を示す。TANSO-3(温室効果ガス観測センサ3型)はGOSAT-2に搭載されたTANSO-FTS-2の後継センサである。TANSO-FTS-2で採用されたフーリエ干渉型分光方式から回折格子型分光方式に変更し, 二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの空間的に詳細化した観測が行われる。JAXA開発のAMSR3(高性能マイクロ波放射計3)は, 地表や海面, 大気などから放射されるマイクロ波を観測するセンサである。

1. ま え が き

2015年のCOP21(国連気候変動枠組条約第21回締約国会議)で採択された“パリ協定”では“世界の平均気温を工業化以前(1850~1900年)に対して2℃より十分低く保つとともに、1.5℃以下に抑える努力を追求する”ことが示された。また、パリ協定の要請によってIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が作成した“1.5℃特別報告書”で、①温度上昇に対する甚大な被害のリスク、②地球温暖化を1.5℃以下に抑えるために必要なCO₂の残余カーボンバジェットの余地が少ない、③今すぐに削減活動を始めて、2055年にはCO₂排出量ゼロを達成する必要がある、ことが報告されている。CO₂排出量と温暖化シミュレーションを図1に示す。

温室効果ガス削減に向けて、各国の温室効果ガスイベントリを把握すること及び正確なシミュレーションのため全大気の温室効果ガス濃度の把握をすることは非常に重要になっている。この目的のため、日本では環境省、NIES、JAXAの3者共同ミッションによってGOSAT及びGOSAT-2を開発、運用している。

2009年に打ち上げられたGOSATは主にCO₂とメタンの濃度を宇宙から観測することを専門とした世界初の人工衛星である。2018年に打ち上げられたGOSAT-2はGOSATの観測機能を強化したセンサを搭載しており、両衛星は現在も観測データを提供している。

GOSAT-2による成果の一例を図2に示す。

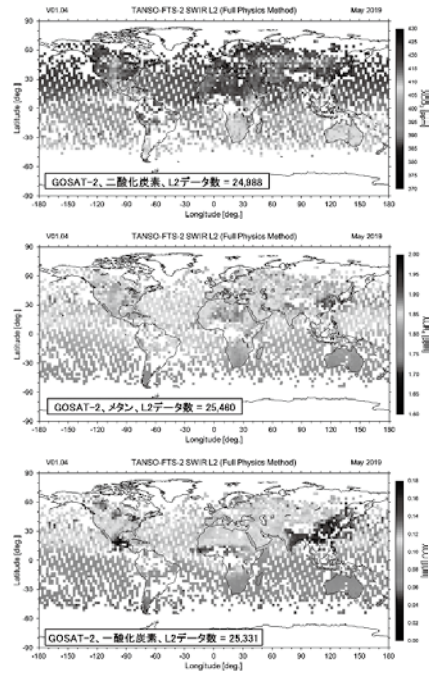
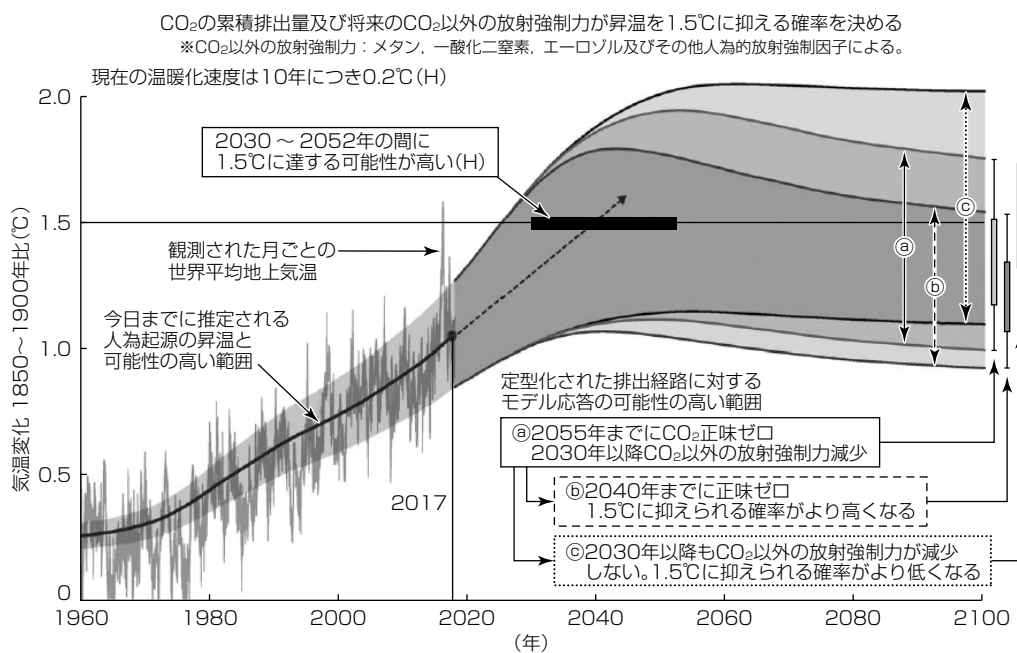


図2. GOSAT-2観測例⁽²⁾

2. 温室効果ガス・水循環観測技術衛星 (GOSAT-GW)

2.1 衛星システム

GOSAT-GWはGOSAT-2搭載センサのTANSO-2の後継であるTANSO-3とGCOM-W搭載センサのAMSR2の後継であるAMSR3を搭載する衛星として、2023年度打ち上げを目指して、当社で開発中である。GOSAT-GW



今すぐ排出削減を始め、2055年までにCO₂排出量をゼロにすれば、③の範囲に温暖化を抑えられる可能性が高い。

図1. CO₂排出量と温暖化シミュレーション⁽¹⁾

関連衛星の主要諸元を表1に示す。

GOSAT-2からの主な変更点は次のとおりである。

(1) AMSR3との相乗り

地表面や海面、大気中の水に関する物理量を雲を透過して観測し、気候変動に伴う水循環変動データを取得するミッションと相乗りのため、AMSR3を搭載している。AMSR3の概要を図3に示す。

(2) TANSOの面観測化

従来のフーリエ分光方式から回折格子と二次元センサに変更することで全球の面観測を実現する。GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージを図4に示す。

2.2 TANSO-3

2.2.1 概要

TANSO-3は、GOSAT-GWの温室効果ガス観測ミッ

ションを担う観測センサである。TANSO-3の形状を図5に示す。

大気中に存在するガスは、その種類に応じた特定の波長の光を吸収する。太陽光が地球に入射し、宇宙空間まで反射する過程では、大気を往復で通過する。このため、宇宙空間で観測される地球で反射した太陽光のスペクトルは、大気中に存在するガスによる吸収を受けたものとなる。TANSO-3は、地球で反射した太陽光のスペクトルを分光観測するセンサであり、観測したスペクトルを分析することで、大気中に存在するガスの濃度を導出することが可能である。

TANSO-3には、主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)を観測対象とするバンドに加え、温室効果ガスではないが代表的な大気汚染物質である二酸化窒素(NO₂)を観測対象とするバンドを設けている。NO₂を対象とした観測は、GOSAT搭載TANSO-FTS、

表1. GOSAT-GW関連衛星の主要諸元⁽³⁾

項目	GOSAT-GW	GOSAT-2(いぶき2号)	GCOM-W(しずく)
ミッション機器	高性能マイクロ波放射計3 (AMSR3) 温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)	温室効果ガス観測センサ2型(TANSO-FTS-2) 雲・エアロソルセンサ2型(TANSO-CAI-2)	高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2)
衛星質量	約2.9t(暫定)	1.8t	約2t
発生電力(EOL)	約5,200W(暫定)	5,000W	3,880W以上
設計寿命	7年以上	5年	5年
軌道種別	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道
軌道高度	666km(GOSAT(いぶき)と同様)	613km	699.6km
回帰日数	3日	6日	16日
通過地方太陽時	昇交点通過地方太陽時: 13:30±15分 (GCOM-W(しずく)と同様)	降交点通過地方太陽時: 13:00±15分	昇交点通過地方太陽時: 13:30±15分
打ち上げ年月日	2023年度(予定)	2018年10月29日	2012年5月18日

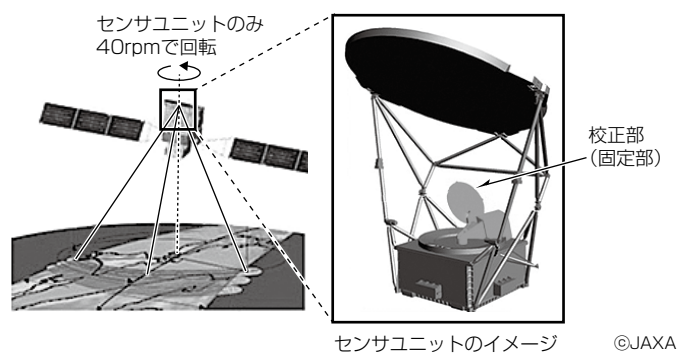
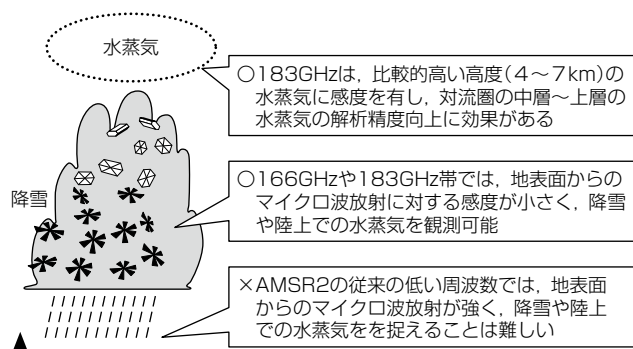
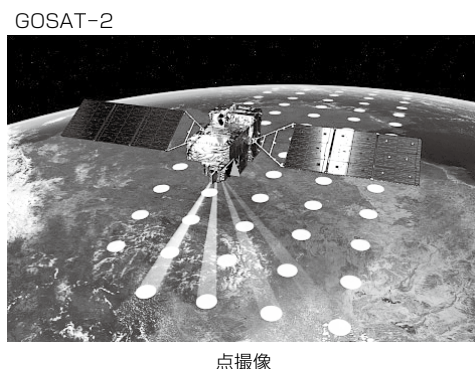
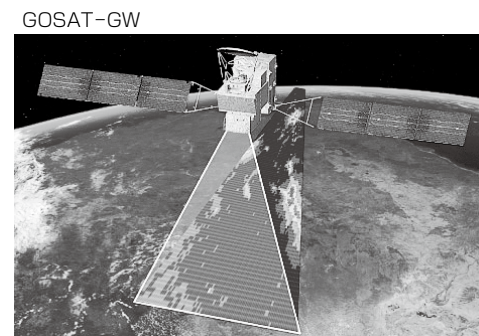


図3. AMSR3の概要⁽³⁾



点撮像



面撮像

図4. GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージ⁽³⁾

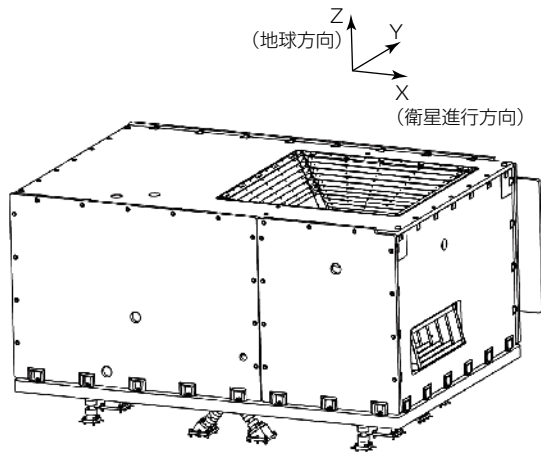


図5. TANSO-3の形状

GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2では実施されておらず、TANSO-3で新たに追加された観測機能である。CO₂とNO₂のガス濃度を同時に導出することで、化石燃料燃焼起源のCO₂排出源の特定などに活用されることが期待される⁽⁴⁾。

2.2.2 分光方式

GOSAT搭載TANSO-FTS、GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2では、太陽光のスペクトルを分光観測する方式(分光方式)としてフーリエ分光方式が採用されている。フーリエ分光方式には、広い波長範囲のスペクトルを高い波長分解能で観測できる特長があるが、多地点を同時に観測することが難しく、TANSO-FTS、TANSO-FTS-2共に一度に観測できる地点は1地点になっている。

これに対して、TANSO-3では、分光方式として回折格子方式を採用し、二次元検出器の一次元を分光、一次元を観測地点に割り当てることで、衛星進行の直交方向(Y方向)に対して多地点を同時に観測することを可能にしている。衛星進行に合わせて順次観測を行うことで、観測データを面的に取得できることから、GOSAT搭載TANSO-FTS、GOSAT-2搭載TANSO-FTS-2に対して空間的な観測能力が飛躍的に向上することになる。

2.2.3 TANSO-3の特長

(1) 観測モード切替え

TANSO-3には、精密観測/広域観測の二つの観測モードがあり、観測目的に応じて観測幅/空間分解能を切り替えることが可能である。この機能は、他の衛星の温室効果ガス観測センサには見られないTANSO-3の大きな特長である。

精密観測モードはC40(世界大都市気候先導グループ)などの都市での温室効果ガスの排出分布を詳細に観測するためのモードであり、その空間分解能は3 km以下である。

精密観測モードでは、ポインティングミラーを用いて指向方向を変更し、衛星直下以外を観測することが可能である。この機能を用いることで、必要な都市の観測を効率的に行うことができる。

広域観測モードは、全球での温室効果ガスの分布をグローバルに観測するためのモードであり、その観測幅は911km以上である。この観測幅は、3日で全球が観測できることに相当しており、高頻度な全球観測を実現し得るものになっている。

(2) 共通視野絞りによるバンド間レジストレーション確保

回折格子方式の分光観測センサには、回折格子による波長分散方向に対して観測視野を制限するための視野絞りが存在する。TANSO-3では、この視野絞りを各観測バンドで共通とする構成を採用している。この構成は、JAXAの先行研究⁽⁵⁾でも採用されており、各観測バンドの観測地点が衛星進行方向に対して一致する(衛星進行方向に対するバンド間レジストレーションが確保される)利点がある。衛星進行の直行方向に対しては、検出器のデータ処理条件(ビニング処理条件)による調整を行うことで、良好なバンド間レジストレーションの下での観測を実現する。

3. む す び

GOSATシリーズ衛星の目的と現在開発中のGOSAT-GW及び搭載センサであるTANSO-3の概要を述べた。

温室効果ガスのモニタリングは、国際協調の枠組みの中で、複数の衛星を順次打ち上げて運用することで、高精度な観測を継続する計画である。この中で、GOSATシリーズは中心的な役割を担っている。TANSO-3に対する国際的な期待に対応するため、当社鎌倉製作所では社内関連製作所やベンダーと共に精力的に開発を進めている。

参考文献

- (1) 環境省：IPCC 1.5°C特別報告書(SR1.5)、IPCC AR6特別報告書、3～8 (2021)
http://www.env.go.jp/earth/ipcc_ar6_sr_pamphlet.pdf
- (2) 国立研究開発法人 国立環境研究所：温室効果ガス観測技術衛星2号「いぶき2号」(GOSAT-2)による観測データの解析結果(二酸化炭素、メタン、一酸化炭素)と一般提供開始について(2020)
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20201112/20201112.html>
- (3) JAXA：サテナビ GOSAT-GW
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gosat-gw/index.html>
- (4) 環境省地球環境局総務課 脱炭素化イノベーション研究調査室：環境省における気候変動分野での今後10年の取組方針、宇宙政策委員会 基本政策部会 第3回会合 配布資料 資料12 (2019)
- (5) Kuze, A., et al.: Imaging Spectrometer with an Agile Pointing System to Quantify Global and Regional Greenhouse Gas Fluxes and Monitor Localized Emission Sources, Trans. JSASS Aerospace Tech. Japan, **16**, No.2, 147～151 (2018)