

温室効果ガス観測センサー TANSO-3の開発と初期運用

二見充輝*
Mitsuaki Futami
黒川正人*
Masato Kurokawa
吉岐 航†
Wataru Yoshiki

玉田晃均†
Akihito Tamada

Development and Initial On-Orbit Operation of Greenhouse Gas Observation Sensor TANSO-3

*鎌倉製作所
†同製作所(工博)
‡情報技術総合研究所

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る。三菱電機は衛星プライムメーカーとして、契約元となる宇宙航空研究開発機構(JAXA)に加えて、環境省、国立環境研究所(NIES)の指導の下、開発・製造・運用に貢献している。GOSATシリーズの後継である温室効果ガス・水循環観測技術衛星GOSAT-GW(Global Observing SATellite for Greenhouse gases and Water cycle, 愛称: いぶきGW)は、2025年6月29日に種子島宇宙センターからH-IIAロケット50号機で打ち上げられて、計画どおり所定の軌道へ投入された。

GOSAT-GWに搭載されている温室効果ガス観測センサー3型(TANSO-3)は、地上試験で高精度な校正が行われ、打ち上げ後の初期運用でも分光観測センサーとしての基本性能が確認された。今後、本格運用に向けた詳細な性能評価を行い、高精度な温室効果ガス観測の実現を通じて持続可能な社会への貢献が期待される。

1. ま え が き

気候変動が世界的課題になる中、温室効果ガスの排出状況を高精度で把握し、排出削減政策の検証や地球環境変動の理解に役立てることが国際的に強く求められている。2015年のCOP21(国連気候変動枠組条約第21回締結国会議)で採択された“パリ協定”の発効以降、各国は排出量報告の透明性向上や、人為起源・自然起源の寄与を更に精緻に評価する体制の構築を進めており、そのためには全球規模で空間的・時間的に整合性の取れた温室効果ガス観測データが不可欠である。このような背景で、衛星搭載型の温室効果ガス観測センサーは、広範囲を継続的に観測できる手段として重要性を増している。日本では、環境省、NIES、JAXAの三者共同ミッションによって、GOSATシリーズを開発し、これまでGOSAT(2009年打ち上げ)及びGOSAT-2(2018年打ち上げ)の運用を通して多くの成果を上げてきた⁽¹⁾⁽²⁾。

GOSAT-GWはGOSAT-2の後継機である。GOSAT-GWは、温室効果ガス観測ミッション用のTANSO-3に加えて、水循環変動観測衛星(GCOM-W)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。このようにGOSAT-GWは気候変動、気象観測で、従来以上に重要な役割を担う人工衛星になっている。図1にGOSAT-GWの外観及び主要諸元を示す。



衛星名	GOSAT-GW(いぶきGW)	
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	
発生電力(EOL)	約5.3kW	
設計寿命	7年以上	
打上げ	H-IIAロケット	
搭載ミッション機器	TANSO-3 AMSR3	
観測運用	TANSO-3: 地表日照観測 AMSR3: 常時観測	
打上げ日	2025年6月29日(JST)	

図1 - GOSAT-GW外観及び主要諸元⁽³⁾

本稿では、GOSAT-GWに搭載されている温室効果ガス観測センサーTANSO-3の特長、プロトフライト試験の概要及び初期運用の基本状況について述べる。

2. TANSO-3の概要と地上校正試験

この章では、TANSO-3の概要と地上校正試験について述べる。

2.1 TANSO-3の特長

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ーである。TANSO-3の形状及び主要諸元を図2に示す。

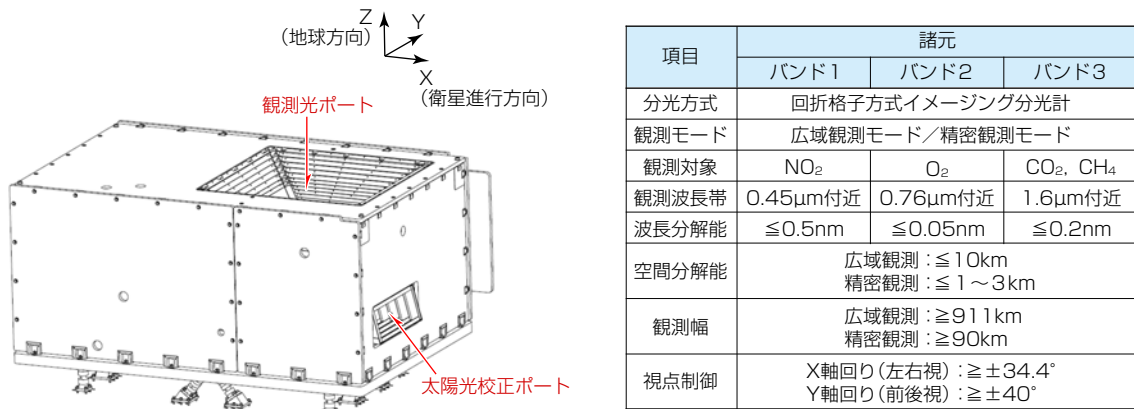


図2 - TANSO-3外観及び主要諸元

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になる。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ーであり、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。次にTANSO-3の特長を述べる。

(1) 回折格子型分光方式の採用によって、面的な観測データ取得を実現

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1次元を分光、1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としている。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。GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージを図3に示す。

(2) 2種の観測モードによって、温室効果ガスの排出量を広域・精密に把握

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ーには見られない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3km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日で全球を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。

(3) 二酸化窒素の観測によって、温室効果ガスの排出源・排出量の観測精度を向上

TANSO-3は、主要な温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)及びメタン(CH₄)の継続的な観測に加えて、新たに二酸化窒素(NO₂)の観測を可能としている。NO₂は、化石燃料の燃焼時にCO₂と同時に排出される一方で、自然界での吸収・放出量が比較的少ないという特性を持つ。このため、CO₂と同時に観測することで、大気中の自然起源濃度と人為起源排出を更に容易に識別することが可能になる。これによって、温室効果ガス排出源の位置及び特性の特定精度が向上し、排出源及び排出量推定の高精度化に寄与する⁽⁴⁾。

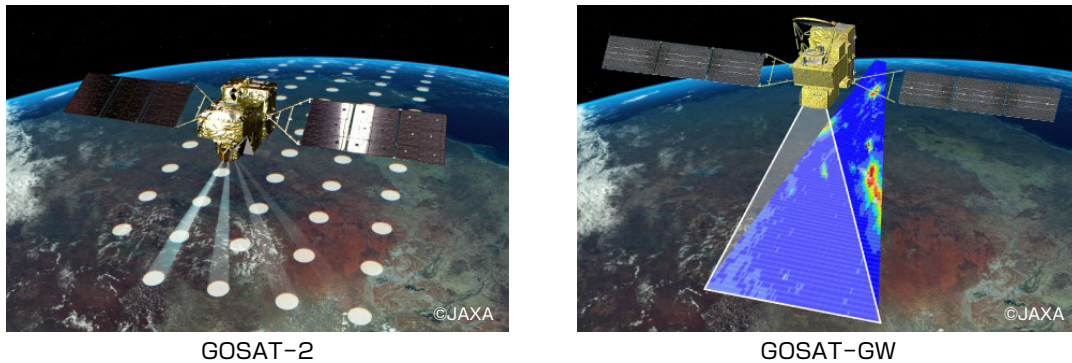


図3- GOSAT-2とGOSAT-GWの観測イメージ

2.2 TANSO-3地上試験

TANSO-3では、打上げ用実機(プロトフライトモデル(PFM))を用いた地上試験(プロトフライト試験(PFT))を実施し、打上げ用の実機としての品質を備えていることの確認を行っている。PFTでは、ロケット打上げ時や衛星分離時の衝撃・振動・音響への耐性、及び宇宙特有の環境(真空、太陽光による極端な高・低温環境)での機能性を備えていることを検証する。図4にTANSO-3で実施したPFTの概略フローを示す。

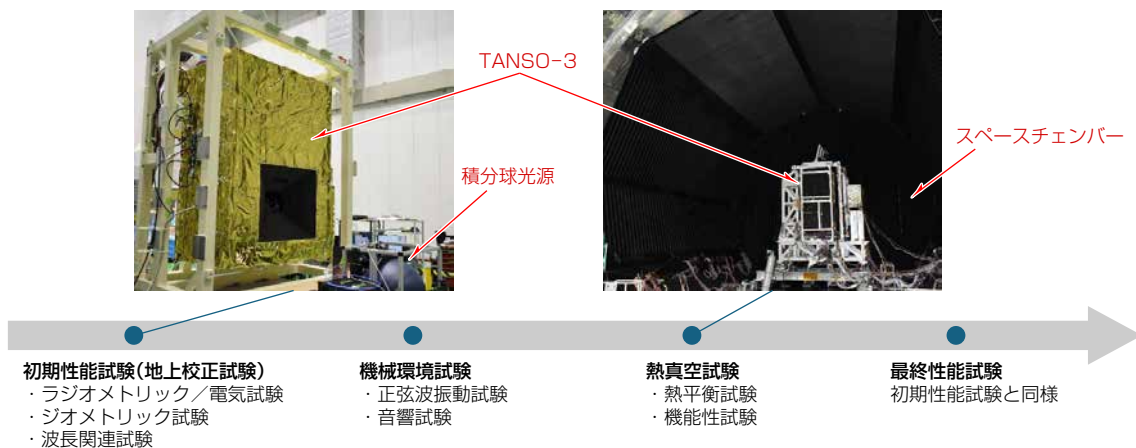


図4- TANSO-3でのプロトフライト試験の概略フロー^(注1)

(注1) 図4左は、ラジオメトリック試験の様子である。TANSO-3は+X1G姿勢で回転台上に設置されて積分球光源に対向している。回転台をX軸回りに回転させて複数回データを取得することで、広域観測の全視野で高精度かつ効率的なデータ取得を実現している。
 図4右は、熱真空試験の様子である。宇宙空間の環境を模擬する大型スペースチェンバー内にTANSO-3が設置されている。TANSO-3の周囲には軌道上の熱入力を模擬するヒーター類に加えて波長評価用の光源を据え付けることで、運用環境を再現した波長特性評価が可能になった。これによって温室効果ガス観測で重要な波長特性の高精度校正を実現している。

これらの環境試験と並行して、TANSO-3では観測性能を規定するための地上校正試験を実施している⁽⁵⁾。温室効果ガス観測センサーは、取得したスペクトルデータを物理量に変換するために、波長特性や感度特性を高精度に把握しておくことが不可欠であり、これらの特性は打上げ前の地上環境で体系的に評価される。

地上校正試験では、単色光源や白色光源を用いて各観測帯域の波長割当てや分光分解能を評価するとともに、視野内の

空間方向の特性ばらつきや検出器応答の均一性を確認した。特にTANSO-3では回折格子型のイメージング分光方式を採用していることから、入射角や視野位置に依存した波長・感度特性の変化を把握することが重要であり、これらの特性を校正データとして整理している。

また、PFTの環境試験前後に地上校正試験を実施することで、振動や熱環境負荷が分光性能に与える影響を確認し、波長特性や感度特性が維持されていることを検証した。これによって、軌道上初期運用時の性能評価や、長期運用を見据えた校正・補正の基準データを整備している。

3. TANSO-3軌道上運用

GOSAT-GWの打上げ後、クリティカル運用及び初期機能確認運用を経て、2025年10月9日に定常運用へと移行した。2026年3月現在、定常観測運用に向けた初期校正検証運用を実施中である。図5にTANSO-3で観測した画像と、観測データから得られた分光情報を示す。

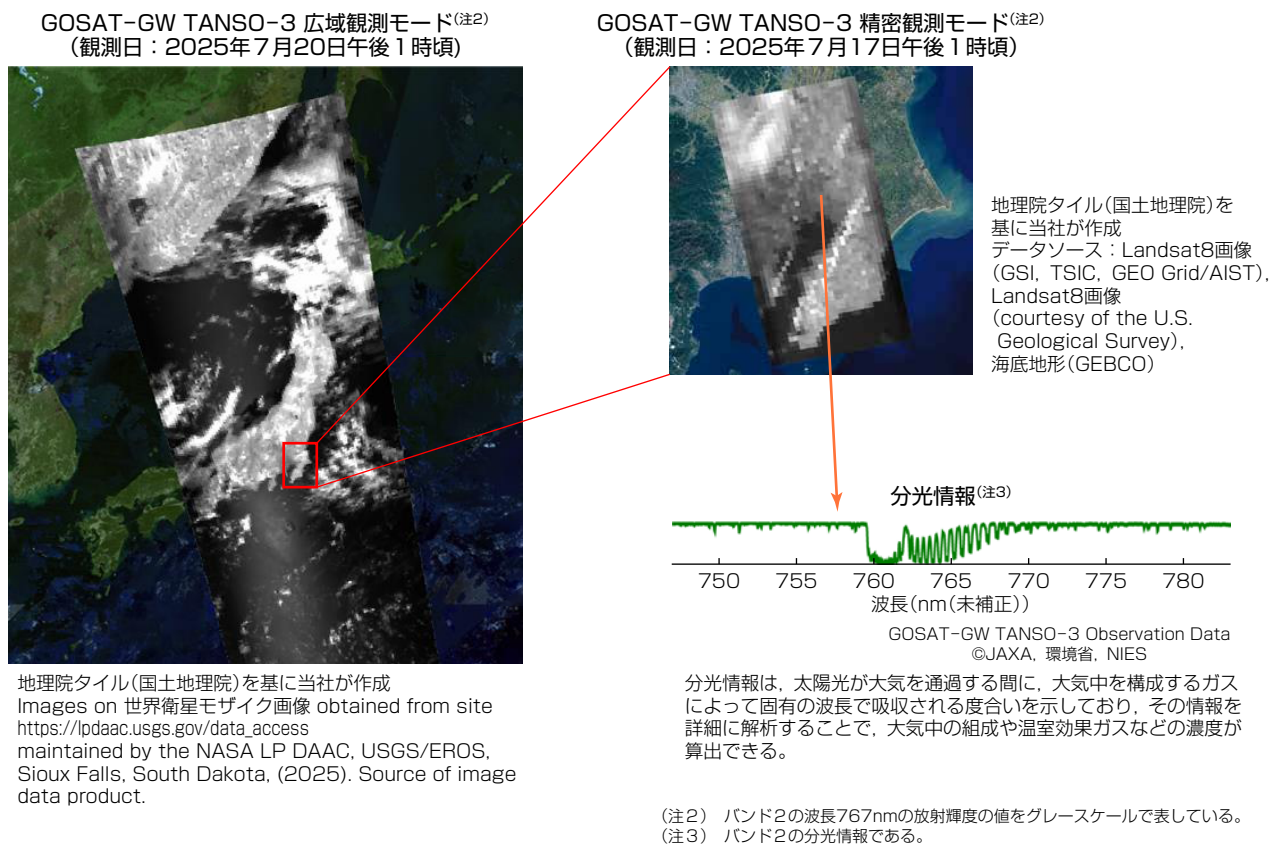


図5 - TANSO-3での観測画像

打上げ後に実施する校正の目的は、放射輝度や波長などの物理量とセンサー出力との対応関係が、打上げや軌道上環境への遷移に伴って地上試験時から変化する可能性があることを前提に、これらの対応付けの妥当性を評価し、必要に応じて補正係数に反映することで、プロダクトの精度を長期にわたって担保することにある。

軌道上校正の一例として、TANSO-3では、波長特性に関する主要な校正手段として太陽光校正機能を備えている⁽⁶⁾。太陽光校正は、TANSO-3に搭載された太陽光校正ポート(図2)から太陽光を取り込んで、拡散板を介して精密観測モード集光系に導入して撮像を行う校正観測モードである。太陽光のスペクトルは、含まれる暗線(フラウンホーファー線)の位置やスペクトルの形状が非常に安定していることが知られており、このことから軌道上の校正光源として参照できる。初期機能確認運用期間までに、太陽光校正モードを用いた波長校正機能の確認を完了しており、打上げ前に構築した校正・補正の考え方が軌道上でも有効であることを確認した。波長特性の評価結果は、観測したスペクトルデータから温室効果ガス濃度などの物理量を算出するためのデータ解析(リトリバル処理)にも活用される。

なお、太陽光校正は波長特性の校正に加えて、1周回に1回という高頻度の観測機会を生かしたセンサー感度の相対的なトレンド評価や、その他のラジオメトリック特性の評価・校正にも利用される。また、TANSO-3は太陽光校正以外に月面で反射された太陽光を用いた月校正や、地球観測を通常よりも高空間分解能で実施する明時校正などの校正機能を備えており、様々な校正手段及び評価手法を組み合わせることで、高精度なセンサー校正を実施していく計画である。

初期運用期間を通じて、TANSO-3は軌道上で安定した動作状態に移行し、分光観測センサーとしての基本機能が正常に発揮されていることが確認された。2026年3月現在、より詳細な性能評価を進めながら、温室効果ガス観測の本格運用に向けた準備を進めている。

4. む す び

GOSATシリーズ衛星の最新号機であるGOSAT-GWに搭載の、温室効果ガス観測センサー-TANSO-3について、その開発の狙い、設計の特長、プロトフライト試験による性能確認、さらに軌道上初期運用での校正・評価の取組みを述べた。TANSO-3は、回折格子型イメージング分光計を採用した次世代の温室効果ガス観測センサーとして、国際的な気候変動対策への貢献が期待される。当社は、TANSO-3を用いた温室効果ガス観測の本格運用に向けて引き続き取り組むとともに、この開発で培った知見を生かして、地球環境観測分野での信頼性の高い技術開発を通じて持続可能な社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) Kuze, A., et al. : Update on GOSAT TANSO-FTS performance, operations, and data products after more than 6 years in space, *Atmospheric Measurement Techniques*, **9**, 2445~2461 (2016)
- (2) Suto, H., et al. : Thermal and near-infrared sensor for carbon observation Fourier transform spectrometer-2 (TANSO-FTS-2) on the Greenhouse gases Observing SATellite-2 (GOSAT-2) during its first year in orbit, *Atmospheric Measurement Techniques*, **14**, 2013~2039 (2021)
- (3) JAXA : サテナビGOSAT-GW
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gosat-gw/>
- (4) Fujinawa, T., et al. : First concurrent observations of NO₂ and CO₂ from power plant plumes by airborne remote sensing, *Geophysical Research Letters*, **48**, No.14, e2021GL092685 (2021)
- (5) Futami, M., et al. : Development and ground performance evaluation of the TANSO-3 for the GOSAT-GW satellite, *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XXIX*, **13667**, 136670W (2025)
- (6) Okamura, Y., et al. : Current status and in-orbit calibration plan of TANSO-3 onboard GOSAT-GW, *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XXIX*, **13667**, 136670X (2025)