

温室効果ガス観測技術衛星2号 (GOSAT-2)

上野信一*
前島孝晴*

Greenhouse gases Observing SATellite-2 (GOSAT-2)

Shinichi Ueno, Takaharu Maejima

要 旨

2018年10月に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星2号“いぶき2号”(Greenhouse gases observing SATellite-2: GOSAT-2)は、2009年1月に打ち上げられた世界初の温室効果ガス観測技術衛星“いぶき”(GOSAT)の後継として環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構の3機関指導の下、三菱電機が衛星システム開発を担当した。COP21で採択された“パリ協定”で、“透明性の高い”枠組みの下で、世界各国が温室効果ガス排出量の報告が義務づけられた。日本政府は衛星データを用いて排出量や削減量を比較・評価することが“透明性の高い”方法で報告するカギとなると位置付けており、GOSAT-2はこの枠組みへの貢献を目的としている。

GOSAT-2はミッション機器として、“いぶき”のミッションを引き継ぎ、温室効果ガスの観測精度向上(前号機の約8倍)、雲回避機能による有効観測データの増加を目指した温室効果ガス観測センサ2型(TANSO-FTS-2)と、TANSO-FTS-2の観測に誤差を及ぼす雲の有無や健康への影響が懸念される“PM2.5”などの大気浮遊物質の分布を観測可能な雲・エアロソルイメージャ2型(TANSO-CAI-2)の2種類のセンサが搭載されている。TANSO-FTS-2センサは二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスをフーリエ分光法で観測する。TANSO-CAI-2は、通常のプッシュブルーム方式であり、前方視/後方視の機能を持っている。



種子島宇宙センターでのプレス公開時のGOSAT-2

2018年9月2日に種子島宇宙センターでプレス公開された、H-IIAロケット搭載直前のGOSAT-2の機体(サイズ:高さ5.8×幅2.0×奥行き2.1(m))である。ミッション機器及び一部衛星システムはコンタミネーションによる性能劣化を防ぐため打ち上げ時に外すカバーが取り付けられている。

1. ま え が き

温室効果ガス観測技術衛星2号“いぶき2号”(GOSAT-2)は、環境省(MOE)、国立環境研究所(NIES)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の3機関による共同プロジェクトで、2009年1月に欧米に先駆けて打ち上げられた世界初の温室効果ガス観測技術衛星である“いぶき”(GOSAT)⁽¹⁾⁽²⁾の後継衛星として開発された。

“いぶき2号”にはミッション機器として、温室効果ガス観測センサ2型(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation/Fourier Transform Spectrometer 2:TANSO-FTS-2)と、雲・エアロソルイメージャ2型(Thermal And Near infrared Sensor for carbon Observation/Cloud and Aerosol Imager 2:TANSO-CAI-2)を搭載している。TANSO-FTS-2は、短波長赤外及び熱赤外波長域を用い、地球表面での太陽散乱光及び大気の熱輻射(ふくしゃ)を光源とし、地心方向の大気分光観測を行うセンサである。TANSO-CAI-2はTANSO-FTS-2で二酸化炭素を測定する際に誤差要因となる雲の有無を判定し、TANSO-FTS-2の導出精度を向上させるための補助センサであるとともに、健康への被害が懸念される大気に浮遊するエアロソル(大気粒子状物質)の光学的厚さ及びオンゲストローム指数を基に、“PM2.5”のような微小粒子状物質及び黒色炭素量を導出するために、前方視/後方視の機能を持つバンド数10のマルチスペクトルセンサである。

“いぶき2号”は2018年10月29日13時8分に種子島宇宙センターから、H-IIAロケット40号機で打ち上げられた。運用期間は、打ち上げ後5年間であり、高度約613km、軌道傾斜角約97.84度、6日間回帰の太陽同期準回帰軌道(降交点通過地方時13時±15分)である。現在“いぶき2号”はクリティカルフェーズ運用、初期チェックアウトの初期性能確認を完了し、初期校正フェーズに移行している。

2. 衛星システム

2.1 システムの外観

衛星システムの外観を図1、軌道上での飛翔(ひしょう)状態の想像図を図2に示す。また、衛星システムの構成を図3に示す。

2.2 システム構成

この衛星のシステム構成を検討する上で考慮している主要なポイントを次に述べる。

(1) ロケットインタフェース

フェアリング内の許容包絡域/衛星分離部結合/アクセスドア/電波透過窓/クロッキング/振動・衝撃環境等、衛星が確実にロケットに搭載されて問題なく打ち上げができる設計にした。

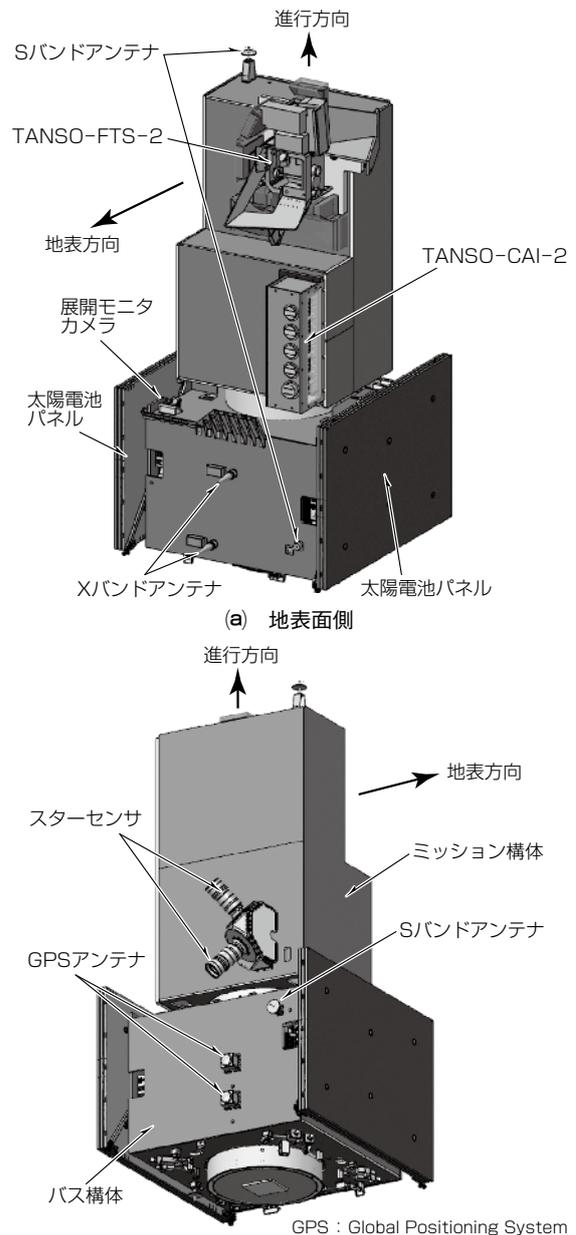


図1. 衛星システム

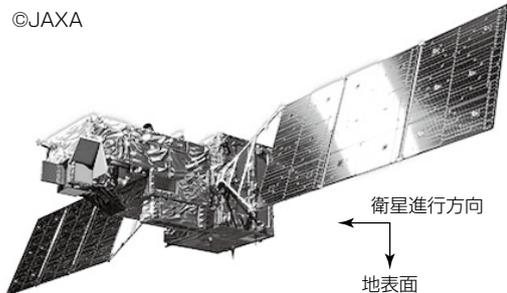


図2. 軌道上での飛翔状態の想像図

(2) ミッションセンサインタフェース

ミッション機器の機能・性能を最大限発揮できるように衛星システムの成立性を確保しつつセンサ側の要求を最大限満足する設計にした。

(3) 通信系(RF)インタフェース

回線設計を踏まえた各アンテナの配置／線長要求／等長の要否／試験時のインタフェースポイント等，RF(Radio Frequency)の成立性を確保した設計にした。

(4) 姿勢制御インタフェース

姿勢制御系センサ類のボアサイト方向／極性／アライメント精度，スラスタの配置や(要すれば)バランスウェイトの搭載等，制御要求を満たす設計にした。

(5) 熱インタフェース

各搭載機器，構成要素の許容温度範囲を満足するように，機器自身の発熱／環境からの熱入力／排熱方法・領域／ヒーター配置等を考慮して温度マージンを確保し，適切な熱制御を行える設計にした。

(6) 構造インタフェース

インテグレーション時の強度／打ち上げ時の振動・衝撃環境／軌道上での熱変形等を考慮し，衛星構体としての成立性やアライメント保持精度を確保した設計にした。

(7) 電気インタフェース

太陽電池パネルの配置，基準グラウンドの配置や搭載機器のボンディング要求，ハーネスのルーティング要求／分割ポイント，試験時のインタフェース等を満足する設計にした。

(8) インテグレーション性／保索性

製品を損傷させることなく確実に，かつ効率的に衛星組立てや試験を遂行できる設計にした。万一，不測の事態が発生したとしても，処置作業が効率的に短期間で実施可能なように，インテグレーション順や逆行手順の制約を最大限減らした設計にした。

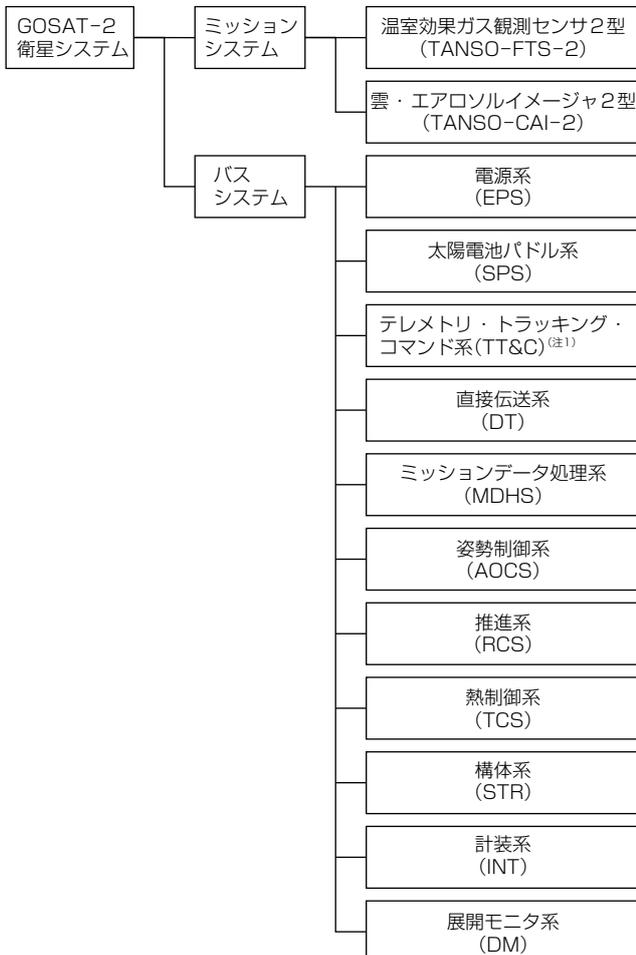
3. ミッション機器^③

ミッション機器であるTANSO-FTS-2の外観と仕様を図4と表1に示す。

3.1 TANSO-FTS-2

TANSO-FTS-2は，“いぶき”搭載機器TANSO-FTSから次の性能向上を実現している。

- (1) 開口径拡大による観測データの品質向上によって，観測精度を“いぶき”搭載機器から約8倍向上
- (2) 観測波長領域拡大による一酸化炭素観測機能追加による人為起源の二酸化炭素データの推計
(一酸化炭素は二酸化炭素と同時に発生するが，寿命が短いため，発生源の推定が可能)
- (3) 大都市・大規模排出源の観測強化
- (4) 雲回避機能(インテリジェント・ポインティング)搭載による有効観測データの増加



(注1) RF系をTTC-RF系，データ処理系をTTC-DH系と呼称する。

図3. 衛星システムの構成

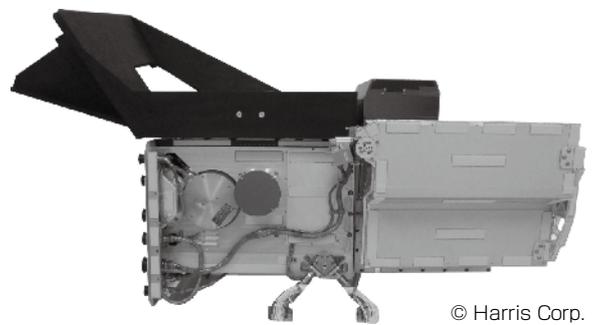


図4. TANSO-FTS-2

表1. TANSO-FTS-2の仕様

| | バンド1 | バンド2 | バンド3 | バンド4 | バンド5 |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 分光方式 | フーリエ分光方式 | | | | |
| 波数範囲(cm ⁻¹) | 12,950 ~13,250 | 5,900 ~6,400 | 4,200 ~5,200 | 1,188 ~1,800 | 700 ~1,188 |
| サンプリング間隔(cm ⁻¹) | 0.2 | | | | |
| 有効サンプリング点数 | 153,090 | | 76,545 | | 38,400 |
| 偏光観測 | あり | | | なし | |
| SN比 | >400 | >300 | | | |
| IILS半値全幅(cm ⁻¹) | ≤0.40 | | ≤0.27 | | |
| 消費電力 | ≤220W(平均)／350(最大) | | | | |
| 質量(kg) | ≤225 | | | | |

3.2 TANSO-CAI-2

TANSO-CAI-2の外観を図5に示す。

TANSO-CAI-2は、“いぶき”搭載機器であるTANSO-CAIから次の性能向上を実現している(表2)。

- (1) 直下視観測から前方／後方視観測への観測方向の変更及び観測方向の増加
- (2) 観測波長領域を4バンドから、紫外(UltraViolet：UV)バンドを含む10バンドに増加させることによって、複数バンドの出力の比較から、黒色炭素や“PM2.5”等の微小粒子状物質の観測可能



図5. TANSO-CAI-2

表2. TANSO-CAIとTANSO-CAI-2の性能比較⁽¹⁾⁽²⁾

| 項目 | TANSO-CAI | TANSO-CAI-2 | 備考 |
|-------------|-----------|-----------------------|----------------|
| 観測方向 | 直下視 | 前方視(20度) 後方視(-20度) | 方向観測の追加 |
| 観測バンド数 | 4 | 10 | |
| 観測波長帯(nm) | 380~1,600 | 340~1,600 | UV観測の追加 |
| VNIR観測幅(km) | 1,000 | 1,000 | いぶきの軌道高度 換算 |
| VNIR分解能(m) | 500 | 500 | |
| SWIR観測幅(km) | 750 | 1,000 | |
| SWIR分解能(m) | 1,500 | 500 | |

VNIR：可視近赤外(バンド1-4／6-9に対応)
SWIR：短波長赤外(バンド5／10に対応)

- (3) 短波長赤外領域バンドの分解能の向上、観測幅の拡大、性能向上

4. むすび

“いぶき2号”の開発では、当社がプライムメーカーとして担当した“いぶき”と陸域観測技術衛星2号“だいち2号”(Advanced Land Observing Satellite-2：ALOS-2)の開発成果を流用し、効率的な設計及び試験検証を実施することによって、2014年4月の開発開始から約4.5年の短期開発を実現した。

2018年10月29日13時8分に種子島宇宙センターからH-IIAロケット40号機で打ち上げられた“いぶき2号”はクリティカルフェーズ運用、初期チェックアウトの初期性能確認を完了し、初期校正フェーズに移行している。引き続き、環境省、国立環境研究所、宇宙航空研究開発機構の指導の下でミッション機器の初期校正を実施し、温室効果ガスのデータの世界配信に今後も貢献していく。

参考文献

- (1) Hamazaki, T., et al.: Sensor system for Greenhouse Gas Observing Satellite (GOSAT), Proc. of SPIE, **5543**, 275~282 (2004)
- (2) 中島正勝, ほか: いぶきの運用と搭載センサの軌道上性能, 電子情報通信学会技術研究報告, **110**, No.92, 121~122 (2010)
- (3) 上野信一, ほか: 温室効果ガス観測技術衛星2号のミッション機器, 三菱電機技報, **90**, No.2, 111~114 (2016)