

# 衛星搭載用センサ技術

Space-Borne Sensor Technologies

岡本 二彦  
T. Okamoto

高山 清市  
S. Takayama

國安 省史  
Y. Kuniyasu

特集  
II

衛星搭載用センサには、観測用のセンサおよび衛星の運用に必要なハウスキーピング用センサがある。前者は、衛星からの観測が短期間にグローバルな範囲を観測できることから、主として地球観測の分野に利用される。後者は、衛星の姿勢、位置などを検出し、衛星の運用維持に必要な制御を行う目的をもつ。

近年、観測や衛星姿勢・位置の高精度化に伴い両センサとも高分解能化される傾向にあり、当社でもこれに対応するため光学センサ、電波センサなどの開発を進めている。

We have been developing space-borne sensors for Earth observation and spacecraft housekeeping. Earth observation via sensors from space is advantageous in terms of the terrestrial area observed, while sensors for housekeeping are used for detecting attitude and position in spacecraft operation. Recently, the need for high resolution has been increasing in line with the requirement for greater accuracy in both types of sensor.

This paper describes the current status of and future prospects for space-borne sensors developed by Toshiba.

## 1 はじめに

衛星からの地球観測に広範な地域を短時間で観測できる特長をもつ、LANDSATに代表される観測衛星が次々と打ち上げられている。わが国でもMOS-1/1b、JERS-1、ADEOSなどの観測衛星が打ち上げられており、今後ADEOS-II、ALOSが予定されさまざまな観測センサが搭載される予定である。地球観測の分野は活況を帯びてきており、これら観測センサの分野はますます高精度化、高分解能化が進むと予想される。

一方、ハウスキーピング用センサは衛星運用に欠かせないものであり、姿勢制御のために太陽位置を把握する太陽センサが代表格である。また、宇宙ステーションなどにおいて軌道上作業用の目として用いる宇宙用テレビカメラもこの範疇に入るセンサである。

ここでは、当社が手がけている宇宙搭載用センサの一部を紹介する。

## 2 光学センサ

当社では、X線から紫外域、赤外域に至る広範囲の波長領域にわたるいろいろな宇宙用光学センサを開発している。

その対象とする分野は、衛星の基本機器として姿勢制御やナビゲーションに用いられるバス系センサ、地球観測や惑星探査を目的としたミッションセンサ、軌道上での監視やロボットの目となるテレビカメラ（視覚センサ）と多岐にわたり、40台を超える開発実績をもっている。



図1. 科学衛星 GEOTAIL 搭載のスタースキャナ 度秒オーダの高精度な測定を実現している。  
Star-scanner for GEOTAIL

### 2.1 バス系センサ

衛星では、軌道上での姿勢の基準として星や太陽を利用して高精度の位置決めを行っている。太陽センサは、検出器としてリニアCCD（電荷結合素子）を採用し、視野100°の範囲内に太陽を捕えると、太陽の角度を2/100°の精度で測定できる。また、恒星センサはさらに度秒オーダの高精度を必要とする場合に使用され、スピニ型の衛星用としてスタースキャナ（図1：科学衛星 GEOTAIL 搭載のスキャナ），

3軸制御衛星用にエリア CCD を検出器とするスタートラッカをそれぞれ開発している。

最近では、これらのセンサに基本的な性能だけでなく、小型・軽量および高機能化が強く求められる傾向にある。特に、惑星探査機や小型衛星では切実な問題である。そこで、2001年に小惑星 NEREUS へ探査機を打ち上げる科学衛星 MUSES-C プログラムでは、新しいセンサの開発を行っている。

小惑星に接近していくには、小惑星の位置や距離を正確に測定する必要がある。ライダは、小惑星と衛星との距離を測定するセンサで、パルス状のレーザを送信して小惑星からの反射光を検出し、送信光と受信光の時間差から距離を算出する。重量 2 kg を目標に要素技術の試作を含めた次の開発を行っている。

一つは、LD (レーザダイオード) 勵起 Nd : YAG レーザであり、試作品により基本性能を確認した。また、反射光を受信する口径 10 cm のカセグレン型望遠鏡には、軽量でかつ高剛性の SiC を材料とするミラーの開発を行っている。このように、新しい技術、素材を積極的に取り入れたセンサ開発を推進している。

## 2.2 ミッションセンサ

ここでは、地球環境を観測するために ADEOS衛星に搭載されている温室効果気体センサ (IMG) について紹介する。

衛星からの地球観測は、広域性、同時性、反復性といった特長を生かし、地球規模で長期的な観測を必要とする現象を把握し、その原因を解明するうえで不可欠なものとなっている。

IMG は、人類が直面している環境問題のなかで、地球の温暖化の原因と言われる空気中に含まれる温室効果気体、例えば二酸化炭素、メタン、酸化窒素、フロンなどの微量成分気体の種類、温度、濃度を測定する装置である。図 2 に IMG を示す。

IMG は、インタフェロメトリ原理を適用したフーリエ変換赤外放射計である。微量成分を観測対象とするため、世界的にもトップレベルの分光装置を宇宙環境下で実現する必要性から、難度の高い技術が採用されている。主な特長は次のとおりである。

- (1) 光学素子を最小構成としたマイケルソン型干渉計を採用し、光学系、電気系を 1 ユニットに収納した一体構造である。
- (2) 観測波長は、温室効果気体の赤外線吸収領域の 3.3~14 μm をカバーし、大口径光学系と半導体検出器で高 SN 比を達成している。
- (3) 2 軸ジンバルを採用し、衛星の飛翔(しよう)、地球自転を補正している。
- (4) 熱ひずみを抑え、磁気軸受けを採用した走査鏡駆動機構により高波数分解能を得ている。

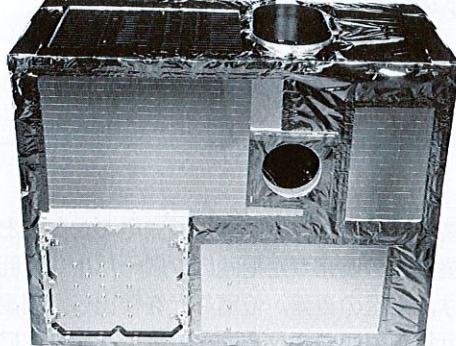


図 2. IMG 通商産業省助資源探査用観測システム研究開発機構と契約に基づいて開発したもので、観測衛星 ADEOS に搭載され二酸化炭素などの温室効果ガスの観測をグローバルに行うことができる。  
Interferometric monitor for greenhouse gases (IMG)

## 2.3 宇宙用テレビカメラ

ここでは、当社が開発を担当する宇宙用テレビカメラの代表として、宇宙ステーションに搭載されるわが国が製作する実験モジュール (JEM) に搭載されるカメラを紹介する。JEM では次の目的でテレビカメラが使われる。

- (1) 飛行士の居住空間である与圧部内のチェック
- (2) ロボットアームが作業する際の視野確保用、およびロボットアームの先端に取り付けられたロボット先端の位置決め

図 3 に、宇宙開発事業団 (NASDA) との契約に基づいて開発した JEM 用のテレビカメラの外観を示す。

このカメラは、宇宙でしかも 10 年という長期間使われるため、耐放射線、耐振動環境、レンズ部分などの可動部の真空潤滑、真空中での放熱などの対策を施している。

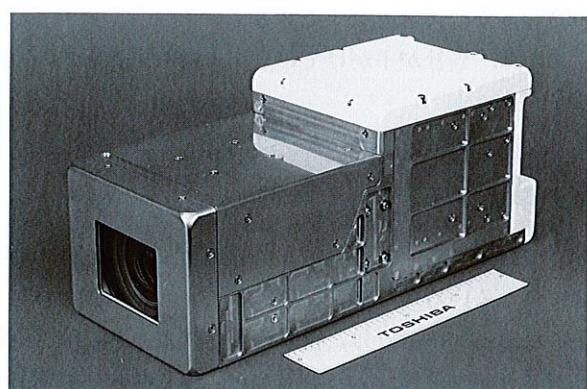


図 3. JEM 用テレビカメラ 宇宙環境で 10 年の寿命を確保するため、耐環境性、高信頼性設計を盛り込んでいる。  
TV camera for JEM

### 3 電波センサ

電波センサは、マイクロ波散乱系のような受動型センサと降雨レーダーのような能動センサに分けられる。当社は、能動型センサである熱帯降雨観測衛星 TRMM 搭載用降雨レーダー、および陸域観測技術衛星 (ALOS) 搭載用フェーズドアレー方式 L バンド合成開口レーダー (PALSAR) のアンテナ部を手がけている。

以下に両センサの概要を紹介する。

#### 3.1 TRMM 降雨レーダー

**3.1.1 TRMM の概要** 全世界の降雨量の  $2/3$  を占めるといわれる熱帯降雨は、大気・海洋循環の駆動源として地球環境の維持・変動にきわめて重要な役割を担っている。しかし、この降雨観測はほとんど行われておらず、将来的にも地上と船舶からの観測だけでは全世界的な観測は不可能である。

TRMM は、熱帯・亜熱帯地方の降雨の状態を衛星から長期間にわたって観測するものであり、NASDA との契約に基づいて開発している。衛星には、降雨レーダー (PR) 以外に TRMM マイクロ波観測装置 (TMI), 可視赤外観測装置 (VIRS), 雲および地球放射エネルギー観測装置 (CERES) が搭載され、これらは米国航空宇宙局 (NASA) の分担になっている。

**3.1.2 PR** TRMM に搭載される PR は、世界で初めて衛星に搭載される降雨観測用レーダーで、目的は、降雨の三次元構造、特に垂直分布を観測することと、海洋および陸域の定量的観測を行うこと、降雨構造に関するデータを TMI による降雨観測精度の向上に役立てることにある。

PR はアンテナ系、送受信系、信号処理系、構造系、熱制御系、計装系の 6 サブシステムで構成している。

アンテナ系は、128 素子の導波管スロットアレー・アンテナで構成する平面アレー・アンテナで、開口径  $2.1 \times 2.1\text{ m}$  である。送受信系は、128 個の固体電力増幅器 (SSPA) と低雑音増幅器 (LNA), 5 ビットの移相器を含んだ 16 台の分合波器 2, 16 分合波器と送受分離用サーキュレータを含む分合波器 1, 送受信系への入出力信号レベルを調整するための送信・受信系駆動増幅器 (TDA/RDA) およびこれらに電力を供給する電源から成る。信号処理系は、周波数変換・IF (中間周波) 部とシステム制御・データ処理部で構成される。周波数変換・IF 部は、送信パルスの発生、受信信号の周波数変換、增幅、対数検波などの機能をもち、システム制御・データ処理部にはビーム走査などにかかる送受信系の制御、観測データのサンプリングとパケット化、ハウスキーピングテlemetry/コマンド処理などの機能がある。

なお、送受信系の電源、TDA/RDA、信号処理系の周波数変換・IF 部、システム制御・データ処理部は、冗長構成を採用している。構造系は電子機器を搭載するための箱形

プラットフォームを形成し、平面アンテナを取り付けた構造である。熱制御系は、温度環境を最適なものにするため、温度制御を行っている。アンテナ面は白色塗装を行っており、アンテナ面以外は多層熱遮断材 (MLI) が取り付けられている。

開発した降雨レーダープロトフライトモデルの外観を図 4 に示す。プロトフライト試験は、このプロトフライトモデルを用いて NASDA の筑波宇宙センターの設備で、各種の機能・性能試験および環境試験を実施し、各項目とも所定の機能性能を満たしていることの確認ができた。主要性能の検出可能降雨強度  $0.7\text{ mm/h}$  を達成している。現在、PFM は米国 NASA で衛星システムに組み込まれ、システム試験中である。

TRMM は、降雨レーダーほかのミッションセンサを搭載し、1997 年夏期に H-II ロケットを種子島宇宙センターから打ち上げる予定である。

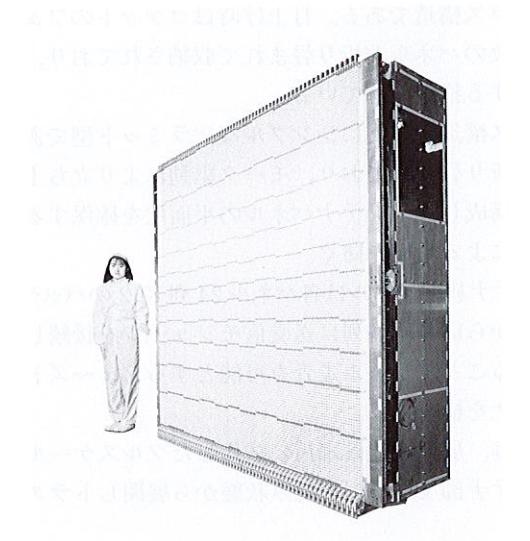


図 4. 热帯降雨観測衛星 TRMM 搭載降雨レーダー (写真提供 宇宙開発事業団) 世界で初めて衛星に搭載される降雨レーダー。

TRMM precipitation radar

#### 3.2 合成開口レーダー

**3.2.1 ALOS 搭載用 PALSAR の概要** 合成開口レーダーは、昼夜の光学センサのように雲や雨の影響をほとんど受けず、また昼夜の別なく観測が可能なことから常時地表面を観測できる全天候型映像レーダーとして期待されている。PALSAR は陸域観測技術衛星 (ALOS) に搭載され NASDA および資源探査用観測システム開発機構により共同開発される。PALSAR は次に示す特長をもち、資源観測、災害監視、地形図作成などに利用することが期待されている。

る。

- (1) 全天候性、昼夜観測
- (2) 地形の強調効果 入射角を可変できることから、これを適切に選定することで陰影効果によって地形の起伏を浮き彫りにできる。
- (3) 多重パラメータデータによる相乗効果 偏波、入射角により対象物の後方散乱係数が異なることを利用した特徴抽出手法も研究されており、今後期待されるところである。
- (4) 干渉を利用したインタフェロメトリによる標高、地形の変動観測ができる。
- (5) 広域観測 広範な地域をカバーするスキャン SAR モードをもち、広域の概略観測が可能である。

以下に NASDA との契約に基づいて当社が開発を担当している PALSAR アンテナ機構系の概要を述べる。

**3.2.2 PALSAR アンテナ部** PALSAR アンテナ部は図 5 に示すように 4 枚パネル構成で約  $3.5 \times 9\text{ m}$  の平面型アンテナであり、軌道上での剛性を確保するためアンテナ背面はトラス構造である。打上げ時はロケットのフェアリングに 4 枚のパネルが折り畳まれて収納されており、軌道上で展開する構造としている。

トラス構造は非常にシンプルなピラミッド型であり、収納時は折り畳まれており、モータ駆動により立ち上げ、トラスを構成し、アンテナパネルの平面度を確保するとともに、熱による変形を防ぐ。

アンテナ放射パネルは各パネル 24 列  $\times$  12 のパッチアンテナ素子から成り、各列に送受信モジュールを接続して位相制御することでビーム走査を可能とするフェーズドアレーアンテナを構成する。

図 6 は、展開機能確認用に試作したフルスケールモデルのアンテナ部であり、折畳み状態から展開しトラスを構成

する試験を実施した。

現在、PALSAR アンテナ部はブレッドボードモデルの開発を実施しており、エンジニアリングモデルを経てプロトフライトモデルを製作する予定である。ALOS に搭載された PALSAR は、2001 年度冬期に種子島宇宙センターから H-IIA ロケットにより打ち上げられる予定である。

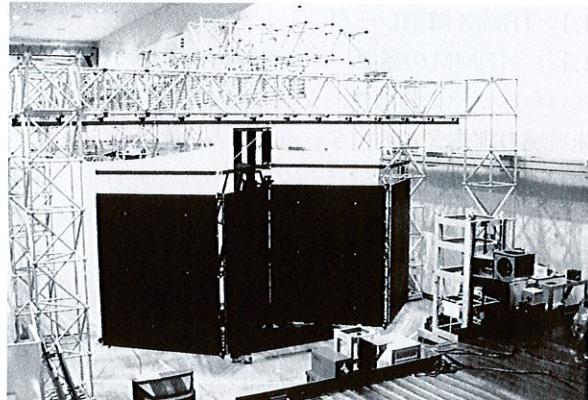


図 6. 試作した PALSAR アンテナの展開機構系 (写真提供 宇宙開発事業団) 軌道上の展開を模擬した重力補償装置に取付けられた展開途中のアンテナ機構系。

Antenna deployment mechanism

#### 4 あとがき

当社の衛星搭載センサの概要を述べたが、センサは高精度、高分解能化し、技術的にも高度なものへと発展していくと予測される。今後、次世代の搭載センサのニーズに応じるためにセンサ要素技術、システム技術の開発に取り組む所存である。

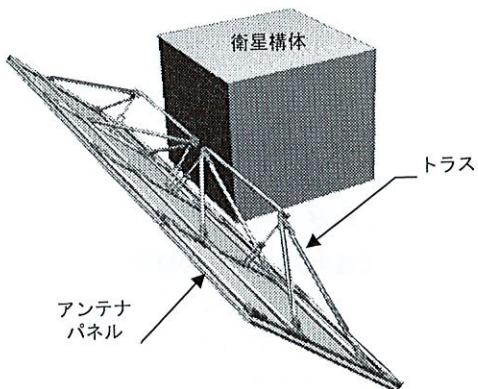


図 5. ALOS 搭載用 PALSAR アンテナ部 打上げ時は折り畳まれ軌道上で展開しトラス構造を形成することで平面度を維持する。  
PALSAR antenna



岡本 二彦 Tuguhiko Okamoto

小向工場宇宙設計部設計グループ長。  
宇宙搭載機器・光学センサの開発に従事。  
Komukai Works



高山 清市 Seiichi Takayama

小向工場宇宙プログラム担当副参事。  
宇宙搭載機器・電波センサの開発に従事。  
Komukai Works



國安 省史 Yoshihito Kuniyasu

小向工場宇宙プログラム担当参事。  
宇宙搭載機器・電波センサの開発に従事。  
Komukai Works