

2F02 陸域観測技術衛星 2 号（ALOS-2）PFM の状況

○猿渡英樹，嶋岡恭志，有川善久，大澤右二（宇宙航空研究開発機構）

ALOS-2 PFM Current Status

Hideki Saruwatari, Yasushi Hatooka, Yoshihisa Arikawa and Yuji Osawa (JAXA)

Key Words: ALOS-2, PALSAR-2, ALOS

Abstract

The Advanced Land Observing Satellite-2 (ALOS-2) is a follow-on mission of ALOS and its major objectives are disaster monitoring and comprehensive land monitoring (land and infrastructure, agriculture and global rain forests) by using Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2). Key mission characteristics are high-resolution (1 to 10m) with wide swath (25 - 70km), long lifetime of 5 years (7 years target), short recurrent cycle in 14 days and high duty SAR acquisition up to 50 minutes per orbit. To meet the requirement of high-resolution and wide-swath observation, high-speed and large-capacity mission data handling is necessary. High-agility and body pointing capability enables wide range observation. Its critical design was completed in 2011. Assembly, integration and test of system PFM is ongoing. ALOS-2 will be launched in 2013.

1. はじめに

陸域観測技術衛星（ALOS：Advanced Land Observing Satellite 「だいち」）は平成 18 年 1 月の打上後，地震や津波，台風などの災害状況の観測や，防災分野のほか，森林監視や自然環境の保全，農業分野での活用，2 万 5 千分の 1 地形図の作成に利用されるなど，幅広い分野で観測データが活用されてきた．5 年間で全世界を約 650 万シーン撮影し，特に平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では被災地を 400 シーン撮影し，各関係機関に情報を提供した．「だいち」は設計寿命 3 年，目標寿命 5 年を超えて運用され，平成 23 年 5 月に運用を停止した．

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は，ALOS のミッションを支えた L バンド合成開口レーダ（PALSAR）および光学センサ（PRISM / AVNIR-2）のうち，PALSAR の技術を継続・発展させた PALSAR-2 を搭載する衛星として，陸域観測技術衛星 2 号（ALOS-2）を開発中である．図 1 に ALOS とその後継機を示す．

本稿では，ALOS-2 の概要および開発状況について報告する．



図 1 ALOS と後継機

2. ALOS-2 の概要

ALOS-2 は，ALOS 搭載の PALSAR の後継機として観測機能・性能を発展させた PALSAR-2 を搭載する．ALOS では電波センサ／光学センサを両方搭載していたが，ALOS-2 と ALOS-3 に分離し搭載することで各センサの観測競合を無くし，観測機会を向上させた．また ALOS-2 は衛星自体の姿勢を変更（ボディポインティング）させることにより左右視観測を行うことで観測可能範囲を広げ，自然災害等への迅速な対応を可能とした．PALSAR-2 は，L バンド帯の電波を衛星の飛行経路に沿って目標領域に繰り返し送受信し，2 次元のレーダ画像を生成するためのデータ取得を行うアクティブセンサーである．このアクティブ・フェーズド・アレーアンテナ（APAA）による電子ビーム走査により，所望の方向に電波を照射する．

PALSAR-2は、PALSARの機能を継承しつつ、飛躍的な性能改善を実現している。空間分解能に関しては、高効率素子（GaN）により84MHzの帯域幅が達成可能な新規増幅デバイスを用いた送受信モジュールにより、3mの高分解能を達成している。さらに、衛星進行方向（アジマス方向）に対し前後にビームを操作することで仮想アンテナ長を長くするスポットライトモードを採用し、アジマス分解能1mを実現する。またデュアルビーム方式の採用により、受信波の受信時間を長くし、高分解能（3m）、広観測幅（50km）を両立した。観測幅に関しては、入射角範囲の拡大および衛星ポインティングによる左右観測により、約1,160kmの観測可能領域を得た。ALOS / PALSAR 継承モードとして、帯域幅28MHzのストリップマップモード（高分解能モード（10m））も有している。PALSAR-2は約10m×3mの大型アンテナであり、ロケットフェアリングへの収納のため、打ち上げ時は折り畳んだ状態で衛星に搭載し、軌道上で展開する。

PALSAR-2による観測データは、圧縮後においても最大800Mbpsと高速である。この高速に伝送される大量のデータを効率よく地上に送るため、ALOS-2は高速大容量のデータ記録伝送機能を有している。この機能は半導体データレコーダ、データ中継システムおよび直接伝送システムにより実現される。ALOS-2の半導体レコーダの容量は130Gバイトであり、これにより観測データを、ALOS-2が地上局またはデータ中継衛星と通信可能となる時間帯まで保持しておくことができる。ALOS-2は地上へのデータ伝送手段を2つ有している。ALOS-2が地上局上空を通過する際にはXバンド帯による直接通信を利用する。Kaバンド帯を用い、データ中継衛星を経由して地上のフィードリンク局にデータ伝送することも可能である。Xバンド伝送においては、JAXA 研究開発本部通信データ処理グループが開発した16QAM（Quadrature Amplitude Modulation）方式の高速マルチモード変調器（XMOD）を採用し、800Mbpsの高速伝送を実現している¹⁾。

リピートパス干渉SARは、同一地域を異なる周回で観測した二つのSARデータを干渉させることで、高精度な地形情報やその時間変動の情報を得る観測手法である。リピートパス干渉SARの干渉性を向上させるためには、地球固定座標系に対して衛星軌道を精密に保持する必要がある。ALOS-2では、地球固定座標系に固定した基準軌道を中心とする半径500mのチューブ内に軌道を保持するよう制御を実

施する。このような精密な軌道制御実施には頻繁な軌道制御マヌーバが必要となる。地上運用に大きな負荷を与えずに、このような頻繁な軌道制御を行うため、JAXA 研究開発本部誘導制御グループが開発した自律軌道制御アルゴリズムをALOS-2で採用した²⁾。

ALOS-2に採用するバスは、質量1～2トン級の中型低軌道衛星を対象とした標準バスである。PALSAR-2自体の質量が大きいこと、観測に比較的大きな電力を必要とすること等により、衛星質量が大きくなるところを、電源系、衛星間通信系サブシステム等の小型軽量化により、2トン級の衛星としている。特に電源系サブシステムの主要機器である電力制御器（PCU）に関しては、JAXA 研究開発本部電源グループが開発した周回衛星用50Vバス電力制御器³⁾を採用することにより電源系サブシステム質量の大幅減を達成した。さらに、H-IIAデュアルフェアリング（4/4D-LC）上部に収納可能な寸法とし、全世界のロケットで共通的に使用されているロケットインタフェース（1194 PAF : Payload Attach Fitting）を採用することにより、打上機会の確保を容易にしている。

ALOS-2の軌道としては、午前6時軌道が多い海外衛星との相互補完を得るため、降交点通過地方時を正午とし、地殻変動等の確実なモニタを実現するために、回帰日数を14日とした。ALOS-2の主要諸元を表1に、外観図を図2に示す。

表 1 ALOS-2 主要諸元

項目	仕様
ミッション機器	Lバンド合成開口レーダ（PALSAR-2）
軌道	太陽同期準回帰軌道 高度：628km（周期：97.4分） 降交点通過地方時：12時±15分 再訪周期：14日（日周回数：15-3/14周）
設計寿命	5年（目標7年）
質量	約2,120kg
電力	発生電力：5,140W（EOL） バッテリー容量：200Ah（100Ah x 2） バッテリー型式：Liイオンバッテリー
観測デューティ	50%（約49分）
ダウンリンク	X帯 800Mbps（16QAM） 400/200Mbps（QPSK） Ka帯 278Mbps（QPSK）
データ蓄積量	130GByte（EOL）
打上げ	H-IIAロケット

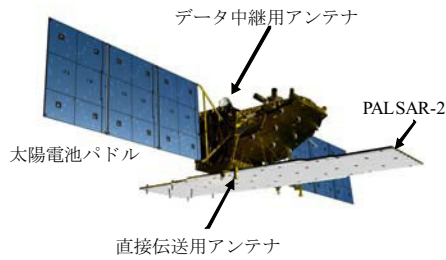


図 2 ALOS-2 外観図

3. ALOS-2 開発の特徴

ミッション成功の鍵である PALSAR-2 に関しては、高空間分解能、広観測幅を実現するため、広帯域化、高出力化、デュアルビーム化などの技術の高度化を図っており、特に新規性の高い送受信モジュール、送受信モジュール用電源等の機器については、BBM を製作して試作評価を行った。また PALSAR-2 構成機器全ての EM を製作して性能確認、耐環境性試験を行うとともに、PALSAR-2 サブシステムとして組立て、総合動作、RF 確認および長時間試験（72 時間連続）による低速・高速インターフェースの機能を確認した。

一方、衛星バス機器に関しては、既存の実績のある中型衛星バス機器を最大限活用し、信頼性の向上とコスト、リスクの低減、開発スケジュールの短縮を図った。ALOS-2 の衛星バス系では、表 2 に示す通り「いぶき」、「だいち」等で開発された既開発機器、技術を活用した。またこれら既開発機器の成熟度（TRL：Technology Readiness Level）および既開発機器からの技術変更度を評価しマトリクスに分類することにより開発リスクを評価し、必要な機器については EM を製作し、試験で評価・確認した。

表 2 ALOS-2 バス系における既開発技術の活用

サブシステム	主な実績	主要変更点・課題	評価計画
ミッションデータ処理系	海外衛星 (Sentinel)	入出力インターフェース	EM
直接伝送系	いぶき	16QAM 方式の採用	EM
テレメトリコマンド系	いぶき	マルチモードトランスポンダ採用	EM
電源系	みちびき他	小型軽量化	EM
太陽電池パドル系	いぶき、かぐや	長寿命化	寿命試験
姿勢軌道制御系	いぶき、だいち	ポデポインティング、航法精度向上	EM
推進系	いぶき他	—	—
衛星間通信系	だいち	小型軽量化	EM
展開モニタ	いぶき	—	—

また ALOS-2 の電源系は 1 バスを適用しているが、1 次電源バスの保護基準をプロジェクト文書として制定し、設計基準を明確化するとともに、図面確認・MIP により設計通りの実装であることをチェックし、電源系の信頼性を確保している。なお、ALOS-2 は、これまでの衛星でも有していた「安全モード」に加え、太陽電池パドルの電力発生能力が BOL 時の半分となった場合でも、負荷電力を削減した状態で限定的な観測運用を実施する「縮退モード」を有している。

4. ALOS-2 の開発状況

ALOS-2 の開発スケジュールを図 3 に示す。平成 25 年度打上げを目指し、平成 21 年度に ALOS-2 プロジェクトチームが発足して開発に着手した。平成 22 年 3 月には基本設計審査（PDR）を終了し、同年 7 月から衛星システム EM 試験を開始した。システム EM 試験では PALSAR-2 とミッションデータ処理系のインターフェース確認を主に行い、東日本大震災による中断を経て平成 23 年 9 月までにシステム電気設計の妥当性を確認して終了した。システム EM 試験結果および平成 23 年 6 月に終了した詳細設計審査（CDR）の結果を反映し、10 月から衛星システムフライトモデルの組立を開始し、平成 24 年 1 月にシステムプロトフライト試験（PFT）に着手した。

衛星システム PFT は、初期電気性能試験、熱真空試験、機械環境試験（音響試験、正弦波振動試験、衝撃試験）の順番で進める。PALSAR-2 アンテナは、衛星バスとの熱的相互作用を極小としており、独立して熱設計の確認が可能であることから、衛星システムの機械環境試験後に取付ける計画とした。これにより、衛星システム試験と PALSAR-2 サブシステム試験の並行実施を可能とした。

初期電気性能試験では、コンポーネント取付け後の電氣的接続確認、コンポーネント単体機能試験を実施した後、ALOS-2 システムとしての機能性能を確認する（総合試験）。総合試験においては、軌道上運用プロファイルに従って各機器を動作させ、確認する。特に PALSAR-2 の観測モード、DT/DRC の伝送モードに関しては、あり得る組合せのケースを可能な限り網羅し、各ケースでの正常動作を確認した（長時間連続動作試験）。長時間連続動作試験は、ALOS-2 の軌道上 41 周回分（約 3 日）実施された。

なお、XMOD については平成 24 年 4 月にコンポーネント PFT、6 月に DT サブシステム PFT を終了した。PCU は、平成 24 年 5 月にコンポーネント PFT を終

了した。XMOD, PCU とともに 7 月までに衛星システムフライトモデルに取付けられ、初期電気性能試験に供されている。

平成 24 年 9 月現在、ALOS-2 は衛星システムの初期電気性能試験を実施中である。平成 25 年度の打上げを目指して、今後、熱真空試験、機械環境試験等を進める計画である。

年度	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)	H25 (2013)
マイルストーン		△PDR	△CDR	▲	▲打上げ
設計作業	基本設計	詳細設計	維持設計		
開発試験		EM製作・試験			
PFM製作・試験				PFM製作・試験	

図 3 ALOS-2 開発スケジュール



図 4 ALOS-2 衛星外観 (SAR アンテナ、太陽電池パドルを取り外した状態)

5. おわりに

ALOS の後継機として JAXA が開発を進める ALOS-2 の概要および開発状況について紹介した。

PALSAR-2 は広帯域、高出力 SAR として世界で唯一となる L バンド SAR となるため、様々な分野での利用が期待されている。特に高帯域幅観測に加え高精度な軌道保持制御機能により、干渉 SAR 技術を用いた大規模、且つ広範囲な地殻変動の把握に対して威力を発揮する。PALSAR-2 を支える新規技術に関してはフロントローディングによりリスクを低減するとともに、衛星バスについては既存技術を最大限に活用し、信頼性の向上とコスト、リスクの低減、開発スケジュールの短縮を図った。

ALOS-2 は現在維持設計フェーズにある。平成 25 年度の打上げを目指し、システムプロトフライト試験を着実に実施していく。

参考文献

- 1) 稲岡 和也ほか: 高速マルチモード変調器の開発, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 3D11, 2012
- 2) 山元 透ほか: 地球固定基準軌道に対する高精度保持のための自律軌道制御, 第 55 回宇宙科学技術連合講演会, 1D05, 2011
- 3) 岩佐 稔ほか: 周回衛星バス用 50V 及び静止衛星バス用 100V 電源制御器の開発, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会, 3D15, 2012