

# 陸域観測技術衛星2号(ALOS-2) —最先端LバンドSARによる高精度な地球観測を目指して—

針生健一\* 岡田 祐\*\*\*  
相良岳彦\*\* 勳角幸弘†  
安藤聡祐\*\*

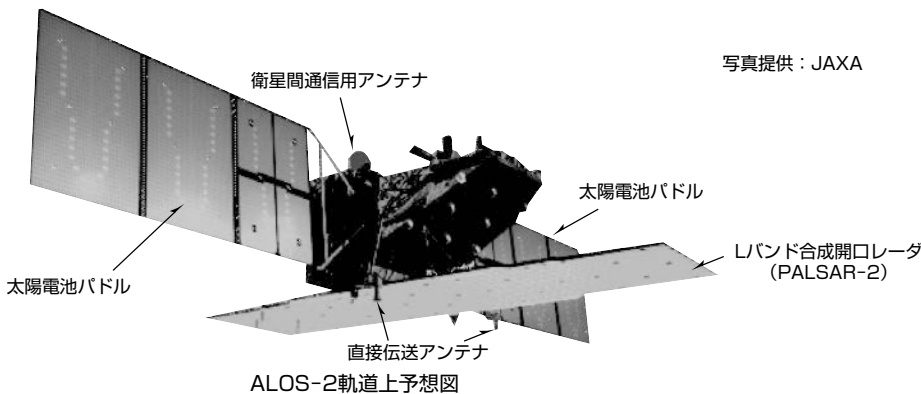
Advanced Land Observing Satellite-2 (ALOS-2) —High Resolution Observation of Earth using Advanced L-band SAR—  
Kenichi Hariu, Takehiro Sagara, Akihiro Ando, Yu Okada, Yukihiko Kankaku

## 要 旨

現在、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、2013年度打ち上げに向け陸域観測技術衛星2号(ALOS-2)の開発を進めている。ALOS-2は前号機である陸域観測技術衛星“だいち”(ALOS)に搭載された合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar:SAR)が取得した様々な観測成果を踏襲しつつ、地球規模の災害状況把握に加え、国土管理や資源管理などの多様なニーズに利用を拡大したものである。ALOS-2はLバンドのSAR(以下“PALSAR-2”という。)を搭載しており、このPALSAR-2は高空間分解能化(レンジ分解能3m, アジマス分解能1m)・広域観測幅化(入射角8~70度で50km)・高画質/高機能化(広域での偏波観測や地表の変化抽出機能等)の性能向上を図ったものである。また、衛星バス技術に関しても、災害観測時のレスポンスを上げるための地上システムと協調した自律化自動化機能の充実を図っており、さらには、800Mbpsの高

速データ伝送機能の追加や衛星間通信機能を持ち、様々なユーザーの多様なニーズに対応するために、運用性の向上を図った開発を行っている。


本稿では、この衛星システムが過去に開発したGOSAT(温室効果ガス観測技術衛星“いぶき”)など、これまで培ってきた技術を最大限活用して、開発リスクの低減と信頼性の向上を図り、衛星バス構体設計でも様々な衛星に対応できるよう標準化設計されていることを述べる。また、PALSAR-2では、前号機である“だいち”に搭載されたPALSARからの機能を継承しつつ、分解能・画質・観測幅に関して飛躍的な性能の改善を実現していること、多様な観測モードを持っていることを述べる。さらに、この開発における衛星システム及びPALSAR-2の主な課題と解決策について述べる。



衛星間通信用アンテナ  
太陽電池パドル  
直接伝送アンテナ  
Lバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)

ALOS-2軌道上予想図

写真提供：JAXA




実際の画像はカラー表示であり、強度の増加・減少を赤と緑で表示している。

L帯における災害時変化抽出の画像例<sup>(注1)</sup>

ALOS-2の主要諸元

種類	太陽同期準回帰軌道	
運用軌道	高度	628km(赤道上)
	通過時刻	12:00(正午)@赤道上(降交軌道)
	設計寿命	5年(目標7年)
打上げ	時期	2013年度(平成25年度)
	ロケット	H-IIA
衛星	質量	約2トン
	パドル	2翼パネル
ミッションデータ伝送	直接伝送およびデータ中継衛星経由	
SAR周波数	Lバンド(1.2GHz帯)	
観測性能	スポットライト	分解能:1~3m 観測幅:25km
	高分解能	分解能:3/6/10m 観測幅:50/50/70km
	広域観測	分解能:100/60m 観測幅:350/490km



PALSAR-2分解能相当の画像例<sup>(注2)</sup>

(注1) ALOS/PALSARにおけるL帯の変化抽出画像(©JAXA/METI, analyzed by MELCO)  
 (注2) 分解能がPALSAR-2相当のRADARSAT-2(C帯)の画像例 (<http://www.radarsat2.info/>, analyzed by MELCO)

METI : 経済産業省  
MELCO : 三菱電機(株)

## ALOS-2の外観と主要諸元及び機器構成

ALOS-2はLバンドの合成開口レーダ(SAR)を搭載し、SARで得られた観測情報を衛星間通信用アンテナや直接伝送アンテナを介して地上局へ送る。主要諸元に示すような観測性能を持っており、これらの観測モード実現のため図に示す衛星機器構成となっている。

1. ま え が き

ALOS-2は、地域観測・災害状況把握などで貢献してきた“だいち”のミッションを発展継続する衛星であり国内外から注目されている。この重要なミッションを達成するためには、軌道上での不測の事態を想定した設計と開発リスク低減のための標準化設計を融合した高信頼性設計と、様々なユーザー要求にこたえることができる高性能観測技術が必要不可欠である。

本稿では、初めにこの衛星システムと搭載されるSARの概要紹介で、高信頼性・標準化・高性能観測技術について述べる。次に開発における課題とこれに対する設計結果を述べ、最後に、現在開発中の電気試験モデルの試験評価結果を述べる。

2. 衛星システムとPALSAR-2

2.1 衛星システム

衛星バスは、GOSATなどの既開発衛星の技術を最大限活用し、開発リスクの低減と信頼性の向上を図っている。特長として、サバイバビリティ向上策、ロバスト設計を採用し、次に示す故障が発生した場合でも機能喪失せず、観測を継続する衛星バスとした。

- ①太陽電池パドルの1翼故障時にも、限定的なミッション継続可能な電力設計
- ②姿勢系センサ2重故障に対しても構成機器を組み替えて定常観測又は縮退観測を継続する姿勢系設計
- ③スラスタ故障に対し、駆動系クロス接続による運用継続する推進系設計
- ④自律化機能による故障検知と分離設計

さらに、世界最高水準のSARシステムを実現するため、高精度自律軌道制御技術の採用によって、高画質かつ多機能のSAR画像プロダクトを提供する。また、16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) / 800Mbpsの高速直接伝送系及び衛星間通信系の搭載によって、大容量観測データを、より短時間にダウンリンクすることで、観測レスポンス時間の最小化を図っている。

一方、ALOS-2に採用する衛星バスは、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構体を適用した。このバス構体は、全世界のロケットで共通的に使用されている1194PAF(Payload Adapter Fitting)に適合したロケットインタフェースを持ち、国産ロケットH-II A以外の打ち上げも考慮している。また、燃料タンクは衛星主構造となるセントラルシリンダ内部に格納される。バス構体の底面となる-Xパネルには推進系のデバイス類を実装し、燃料タンクと併せて推進モジュールを構成する。この構成によって、推進系の実装作業を他の部位と独立して実施でき、インテグレーション作業の工期短縮が可能となる。

図1に示されるセントラルシリンダの一端はロケットとの結合面、他の一端はミッション搭載構造との結合面になっている。主にミッション部から発生する全体荷重を効率よくロケットに伝達するとともに、バス構体部から発生する外乱(熱変形、擾乱(じょうらん)振動等)をセントラルシリンダによってミッション搭載構造から排除することも可能となる方式であるため、多種多様のセンサ支持構造として適した構成である。機器が主に搭載される側面パネル(±Yパネル, ±Zパネル)は、セントラルシリンダからウェブパネルを通じて保持される。±Zパネルは、アクセスパネルとして取り外しが可能な構成とし、内部機器に対する保全性を向上させている。また側面パネルは大部分の搭載機器が配置されるため、熱制御を考慮し、ヒートパイプ内蔵のAI表皮ハニカムパネルを用いている。±Yパネルの上端部には、スリング取付けのためのハードポイントを設け、衛星全体のハンドリングを可能としている。

2.2 PALSAR-2

衛星に搭載されるPALSAR-2は、前号機であるALOS/PALSARからの機能を継承しつつ、飛躍的な性能の改善を実現している<sup>(1)</sup>。表1にPALSAR-2の観測性能を示す。

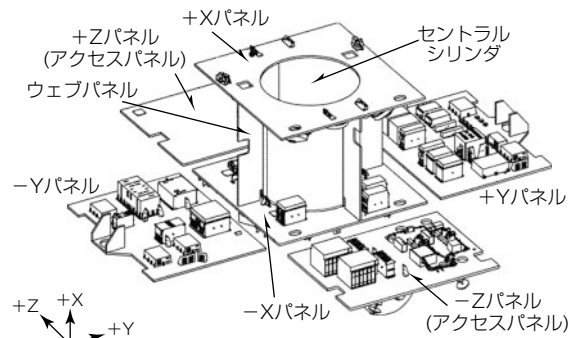


図1. バス構体の内部構造

表1. PALSAR-2の観測性能

項目	内容	備考
周波数	L帯	1,257.5MHz(中心)
帯域幅	84MHz(最大)	
入射角	8～70度	
観測モード	スポットライト	
	高分解媒(3m)/(6m)/(10m)	
	広域観測	
分解能	3m×1m	レンジ×アジマス
	3m×3m/6m×6m/10m×10m	
	100m×100m/60m×60m	
観測幅	25km×25km	
	50km/50km/70km	
	350km/490km	
画質	NESZ -24dB以下	観測モードによる
	S/A 20dB以上	
観測方向	右方向及び左方向	
偏波	単偏波/2偏波/多偏波 <sup>(注3)</sup>	実験モードとしてコンパクトポラリメトリ観測が可能
SARアンテナ	アクティブフェーズドアレーアンテナ	
	3m(エレベーション)×10m(アジマス)	

(注3) フルポラリメトリ時の観測幅・入射角は異なる

PALSAR-2では、高分解能化に特化したスポットライトモードを採用する。このモードでは、二次元ビーム走査を行い、特に衛星進行方向(アジマス方向)のビーム走査によって、アジマス分解能1mの高分解能化を実現する。

高分解能モード(3m)は、ストリップマップ方式を用いた分解能を優先した観測モードであり、ALOS-2の最大帯域幅である84MHzによって3m分解能を達成する。高分解能モード(6m)は、帯域幅を42MHzにすることで、分解能よりも画質(NESZ)を優先する観測モードである。高分解能モード(10m)は、ALOS/PALSARからの継続性を考慮した観測モードであり、PALSARと同様の28MHzでのストリップマップモードでの観測を実現する。なお、PALSAR継承モードであるが画質(NESZ(Noise Equivalent Sigma Zero)及びS/A(Signal to Ambiguity ratio))に関しては性能を向上させている。

広域観測モードは、スキャンSAR方式を用いた広域観測を行う観測モードであり、観測幅は用途に応じて350km及び490kmの選択が可能である。

### 3. 課題と解決策

#### 3.1 衛星システム

ALOS-2は、平時では各種地球観測利用や災害発生前のリファレンスデータの収集・更新を行い、災害発生時には緊急観測による災害情報を利用機関へ提供するシステムである。そのため、最も重要なシステム要求は、観測レスポンス時間の最小化と利用者視点に合致した高品質プロダクトの提供となる。

##### (1) 観測レスポンス時間の最小化

ALOS-2では、災害発生時の計画変更に要する時間を大幅に削減する方式として、観測テーブル方式を採用している。観測テーブル方式とは、ミッション機器の内部でGPS(Global Positioning System)時刻を管理し、CDMSの蓄積コマンドの運用に因らずに、ミッション機器自身が観測を遂行する方式である。観測テーブルには、観測機器自身のコマンド計画と、観測動作に連動する周辺機器のコマンド計画を含んでいる。また、ALOS-2では、平時用の観測テーブルと緊急用の観測テーブルを登録しておき、災害発生時に平時用観測テーブルから緊急用観測テーブル切り替え

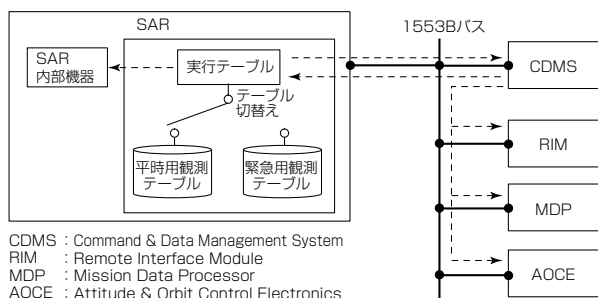


図2. 観測テーブルによる観測運用の機器制御方式

ることによって、災害発生時の計画立案時間を大幅に短縮している(図2)。

また、直接伝送系(DT系)として800Mbpsの高データダウンリンクレート(16QAM変調方式の採用)としており、観測センサの高分解能化によるミッションデータの高速度伝送要求を実現している。

さらに、地球観測プラットフォーム技術衛星“みどり”(ADEOS)、環境観測技術衛星“みどりII”(ADEOS-II)、ALOS等豊富な軌道上運用実績を持つ衛星間通信系(DRC系)を具備し、データ伝送のリアルタイム性を向上させている。DT系、DRC系とも駆動アンテナを採用しており、SAR観測による姿勢変更時もアンテナ指向方向を制御することによってデータダウンリンクを継続することが可能であり、データダウンリンク機会の増大を図っている。

##### (2) 利用者視点に合致した高品質プロダクトの提供

過去の衛星運用で実績のある“高精度自律軌道制御技術”によって、再帰精度500m以内の観測を実現し、高画質かつ多機能のSAR画像プロダクトを提供する。再帰精度が向上することによって、異なる2回の観測機会における入射角の誤差を極小化できるため、画像間の干渉性(コヒーレンス)が向上する。その結果、高品質のインタフェロメトリ画像や差分抽出画像の提供が可能となり、観測前後の地殻変動や被災に起因する画像変化等の状況をより明確に識別することができる。特に、観測開始のタイミング制御を高精度化することによって、広域観測モードでもインタフェロメトリプロダクトの取得(ScanSAR-ScanSARインタフェロメトリ)が可能である(図3)

#### 3.2 PALSAR-2

分解能は10mから最大1m×3mまで改善し、また観測幅は最大で490kmの広域観測が可能となっており、これらの分解能/観測幅の性能向上と同時に高画質化を実現している<sup>(2)</sup>。

これら性能向上を実現するために次の方策を実施している。

##### (1) チャープ信号の変調方式によるS/A改善

SARは、衛星から放射した電波が地上から反射した信号を受信するシステムである。このため、所望の反射波とは別に、所望以外の方向からの反射波を同時に受信してしまい、これが虚像としてSARの画質に影響を与える。

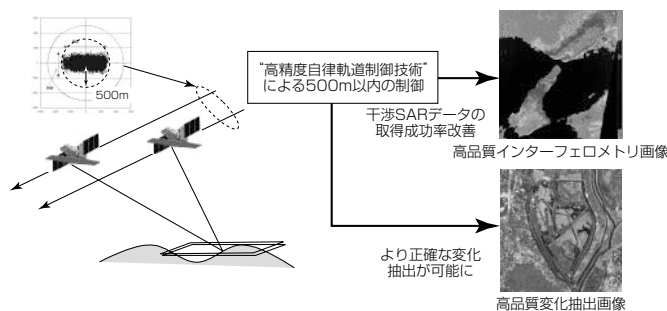


図3. 高精度自律軌道制御技術による高品質画像の作成

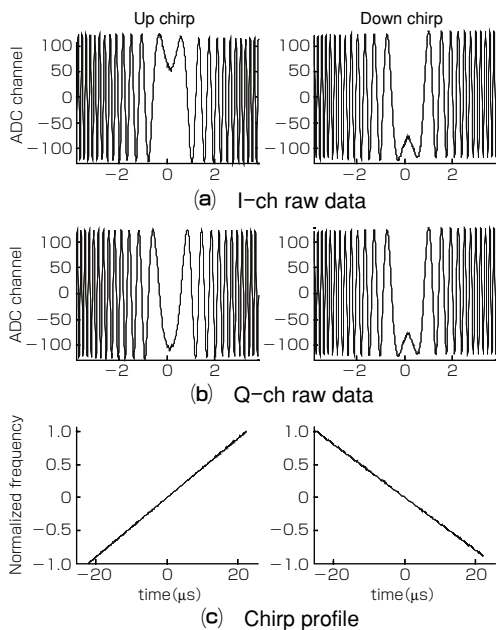


図4. upチャープ及びdownチャープ信号

PALSAR-2では、この虚像のレベルを低減するために、パルスごとにupチャープ及びdownチャープを交互に創出する。これと同時に、相関関数を個別に用意して符号の異なるチャープ信号は相関がなくなるため、虚像信号の低減が可能となる。さらに、位相変調も同時に採用し、更なる虚像低減を実現している。図4にup・downチャープ信号の信号波形を示す。

(2) データ圧縮処理の採用

ALOS/PALSARではビット切捨てを実施していたため、画質の劣化が顕著であるが、PALSAR-2では、オンボードでのデータ圧縮を採用することによって、画質の劣化を低減している。方式としては、ドイツの商業合成開口レーダ衛星(TerraSAR-X)などの海外で適用されているBAQ(Block Adaptive Quantization)方式<sup>3)</sup>を採用する。さらに、BAQを改良したダウンサンプリングBAQ方式を導入することで、更なる圧縮率の低減を実現している。これによって、非圧縮を除く20~50%の4種類の圧縮率の選択が可能であり、すべての圧縮方式で、ALOS/PALSARのオンボードデータ処理(ビット切捨て)の性能を上回っている。

(3) 中心周波数切替え機能

PALSAR-2では、使用する周波数帯域(1,215~1,300MHz)が、測位衛星(GPS, 準天頂衛星等)と重複している。このため、他衛星との干渉を考慮するため、84MHzの帯域幅(スポットライト, 高分解能(3m))を除くすべての観測モードで3種類(1,236.5MHz/1,257.5MHz/1,278.5MHz)の中心周波数の選択機能を具備している。

4. 試作結果

PALSAR-2に関しては高性能化のため高出力のアクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA)を採用している。

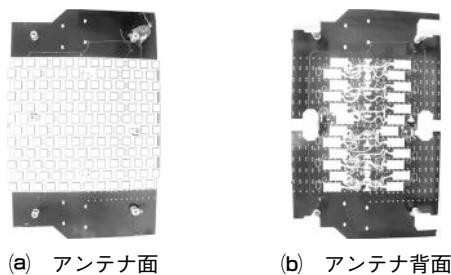


図5. APAAの部分試作外観

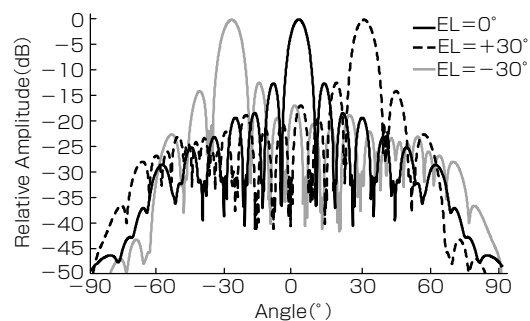


図6. 部分試作品のアンテナ放射パターン

ここではAPAAの部分試作結果の一例を示す。図5は部分試作の外観写真の送受信モジュールである。APAAは5枚のパネルからなるが、この試作はその中の1枚相当である。図6はこの試作品のアンテナ放射パターンであり、アンテナボアサイト方向を0°としてエレベーション(EL)±30°方向に主ビーム走査したパターンである。この結果は解析値と一致するものであり、フライト品開発の目処が得られた。

5. むすび

ALOS-2の衛星システム及びPALSAR-2の特長、課題及び対策、試作結果の一例について述べた。今後2013年度の打ち上げ成功に向け総力を挙げて開発を遂行する。

参考文献

- (1) Kankaku, Y., et al.: The Overview of the L-band SAR Onboard ALOS-2, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings (Moscow), 735~738 (2009)
- (2) Okada, Y., et al.: HARDWARE PERFORMANCE OF L-BAND SAR SYSTEM ONBOARD ALOS-2, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2011. IGARSS'11. Proceedings. 2011 IEEE International, in press
- (3) Kwok, R., et al.: Block Adaptive Quantization of Magellan SAR data, IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, 27, No. 4, 375~383 (1989)