

# 広範囲かつ高分解能な地球観測を実現する先進レーダ衛星ALOS-4

岡田 祐\* 横田裕也\*\*\*  
白坂道明\*\* 楠田洋一郎\*\*  
笠間 縁\*

Advanced Radar Satellite ALOS-4 for Wide Area and High Resolution Global Monitoring

Yu Okada, Michiaki Shirasaka, Yukari Kasama, Yuya Yokota, Yoichiro Kusuda

## 要 旨

先進レーダ衛星ALOS-4 (Advanced Land Observing Satellite-4)は陸域観測技術衛星2号“だいち2号”<sup>(1)</sup>の後継機であり、L帯合成開口レーダPALSAR-3 (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-3)を搭載した地球観測衛星である。先進レーダ衛星では、“だいち2号”で実現した優れた空間分解能(3m級)を実現しつつ、デジタルビームフォーミング(DBF)技術の適用によって、観測幅を4倍(200km)まで拡大し、観測頻度を飛躍的に向上させる。これによって、火山活動、地盤沈下、地滑り等の異変の早期発見など、減災への取組みで重要な役割を担う。メインセンサはL帯の合成開口レーダ(SAR)であり、“だいち2号”と同様のアクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA)を搭載し、4倍の広域化と優れた画質を両立させるために、アンテナ面積を“だいち2号”から約20%拡大する。また、広域化実現のための新しい取組み

としてDBF技術を導入する。海洋監視等の広域観測では、DBF技術とAPAAの組合せによって、最大700kmの観測幅を実現する。さらに、第三世代衛星搭載自動船舶識別装置実験(Space-based Automatic Identification System Experiment 3 : SPAISE 3)システムの同時観測によって、海洋監視での船舶識別の高度化を実現する。これらミッションセンサの飛躍的な性能向上を実現するため、衛星バスでは、Ka帯直接伝送系を導入し、最大3.6Gbps(周波数多重時)を実現し、ミッションセンサの広域化に対応する。また、衛星バスを先進光学衛星と積極的に共通化することによって、高信頼性のバスを確実に開発し、かつ“だいち2号”で実現している軌道保持精度(±500m以内)を維持しつつ、レーザリフレクタを搭載することによって、干渉SARによる地殻変動検出等のSARプロダクトの高品質化を実現する。

**デジタルビームフォーミング技術による広域・高分解能化**

世界初<sup>(注1)</sup>となるデジタルビームフォーミング技術をSARに導入することによって、観測幅を“だいち2号”の4倍の200kmまで拡大

**広域観測に対応した3.6Gbpsの高速データ通信**

Ka帯直接伝送系を採用し、周波数多重によって最大3.6Gbpsの高速データ伝送を実現。4倍の観測データを確実に伝送

項目	諸元
打ち上げ	2020年度(H3ロケット)
運用軌道	太陽同期準回帰軌道(LSDN : 12時00分)
軌道高度	628km
回帰日数	14日
衛星形状	10.0(D)m×20.0m(W)×6.4m(H)
衛星質量	2,990kg以下
発生電力	7,200W以上(7年EOL)
データ伝送速度	3.6Gbps / 1.8Gbps
設計寿命	7年
ミッションセンサ	L帯合成開口レーダ PALSAR-3 第三世代衛星搭載AIS実験(SPAISE 3)システム

**“だいち2号”で実現した高感度観測を継承した高性能SARアンテナ**

“だいち2号”で実績のある高出力GaNモジュールによって高画質化を実現。柔軟なアンテナ開口によって、最大700kmの超広域観測を実現

**先進光学衛星との共通化による高信頼性バス**

レーダ衛星特有のコンポーネントを除き、先進光学衛星との共通化によって、確実かつ高信頼性のバスを実現

(注1) 2018年1月10日現在、当社調べ

GaN : 窒化ガリウム, GOSAT-2 : Greenhouse gases Observing SATellite-2, LSDN : Local Sun time on Descending Node, EOL : End Of Life

## ALOS-4の特長及び主要諸元

ALOS-4はL帯合成開口レーダを搭載し、昼夜観測が可能な高分解能SARデータを地球に伝送する。SARセンサでは世界最先端の技術を導入することによって、前号機“だいち2号”の4倍の観測幅と同等の分解能で実現する。衛星バスでは、広域化に対応した高速データ伝送(3.6Gbps)を実現するとともに、先行して開発が進められている先進光学衛星との共通化設計によって、高い信頼性を達成する。

1. ま え が き

先進レーダ衛星ALOS-4は、地域観測・災害状況把握などで貢献している“だいち2号(ALOS-2)”の後継機として、開発が行われている。現在運用中のだいち2号のミッションを引き継ぎ、全天候型の災害観測、森林観測、海水監視、船舶動静把握等の継続的、かつ高度の活用を実現する。また、我が国が長年培ってきたL帯SARの強みである地殻・地盤変動観測を更に進化させて、広域かつ高分解能観測による高精度な衛星システムとして実現させることが強く求められている。搭載するSARセンサPALSAR-3は、従来SAR技術の活用と同時にデジタルビームフォーミング等の新規SAR技術を導入する必要がある。また、衛星バスは先行して開発が行われている先進光学衛星の開発成果を最大限に取り込むとともに、Ka帯による大容量データ伝送の開発等を行う必要がある。

本稿ではALOS-4に搭載されるPALSAR-3、及び、衛星システムについて述べる。

2. 先進レーダ衛星システム

2.1 SARセンサPALSAR-3

衛星に搭載されるSARセンサPALSAR-3は、前号機であるだいち2号に搭載されたPALSAR-2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。表1にPALSAR-3の観測性能を示す<sup>(2)</sup>。

PALSAR-2と同様にPALSAR-3は、アクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)を採用して二次元の電子ビーム走査が可能である。これによって、高分解能化に特化したスポットライトモード、スキャンSAR方式を

表1. PALSAR-3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	スポットライトモード	
	ストリップマップモード	
	広域観測モード	
分解能	3m×1m	レンジ×アジマス
	3m×3m 6m×6m 10m×10m	
	25m×25m	
観測幅	35km×35km	ALOS-2 : 25km×25km
	100~200km	ALOS-2 : 50~70km
	700km	ALOS-2 : 350km, 490km
画質	NESZ -20dB以下	観測モードによる
	S/A 15dB以上	
観測方向	右方向及び左方向	
偏波	単偏波/2偏波/4偏波	
SARアンテナ	APAA	
	3.6m(エレベーション)×10m(アジマス)	

NESZ : Noise Equivalent Sigma Zero  
S/A : Signal to Ambiguity ratio

用いた広域観測モードなど、多様なニーズに対応した観測を可能とする。

PALSAR-3では、新たにデジタルビームフォーミング(DBF)技術を導入することによって、分解能及び画質を維持したまま最大4倍の観測幅を実現する。地球に向けて電波を送信するときは広く電波を照射し、地上から反射した信号を受信するときは、DBF技術によって数百ビーム以上の狭いビームを高速に形成することで、広域化と高分解能化の両立を実現する。また、スポットライトモードは、新たにスライディングスポットライト方式を導入することによって、PALSAR-2の1.4倍の観測幅を実現する。200km観測幅を観測した場合の画像例を図1に示す。1回の観測幅を拡大することで、観測頻度の向上などミッションに必要な性能を実現する。

近年、各国でL帯SAR衛星の開発が計画されている。図2は、各国で検討されているL帯SAR衛星との比較を示したものである。ALOS-4では、分解能及び観測幅ともに世界トップクラスの性能を実現する。

2.2 衛星システム

ALOS-4はALOS-2の後継機に当たり、ALOS-2か

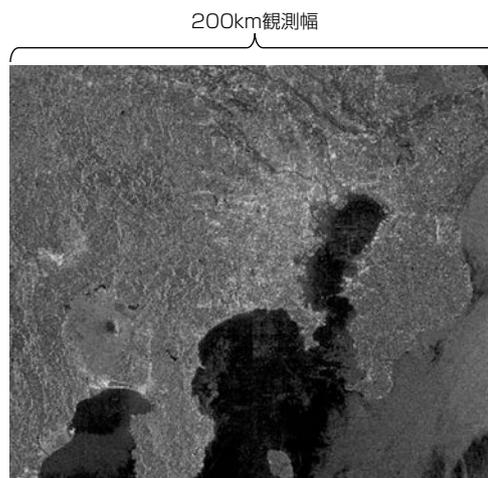


図1. 200km観測幅のSAR画像例 (PALSAR-2のデータを基に作成)

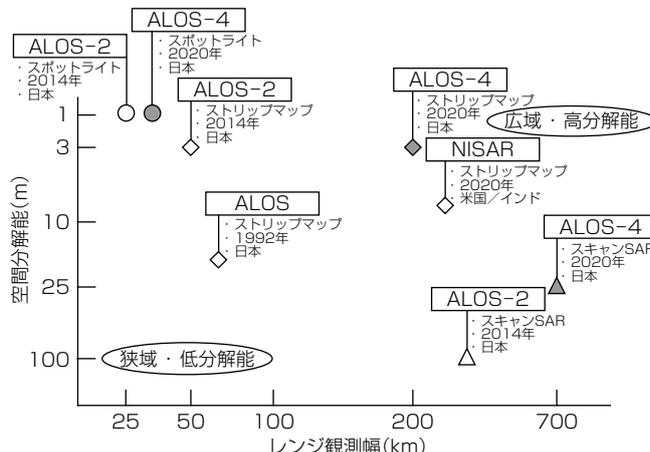


図2. L帯SAR衛星の動向

表 2. ALOS-4の主要諸元

軌道高度	628km(赤道上)
軌道種別	太陽同期準回帰軌道
降交点通過地方太陽時	10時30分
回帰日数	14日(1日の周回数 15-3/14周回)
軌道傾斜角	97.9度
ミッションセンサ	L帯合成開口レーダPALSAR-3 第三世代衛星搭載AIS実験(SPAISE 3)システム
データ伝送速度	3.6Gbps(最大)
衛星質量	2,990kg以下
設計寿命	打ち上げ後7年
打ち上げロケット	H3ロケット試験機1号機(予定)
打ち上げ時期	2020年度

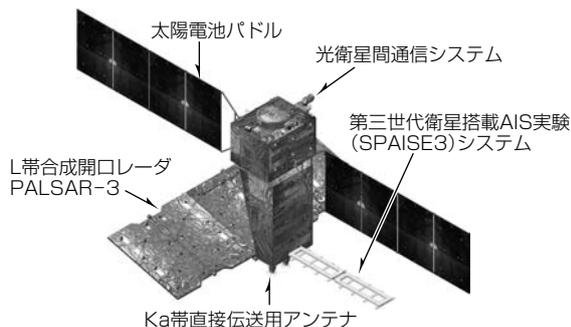


図 3. ALOS-4のイメージ

ら継承される全自動化運用要求だけでなく、ユーザーニーズの高度化によって衛星システムに対して、次のとおり要求が高度化している。

- (1) 高分解能観測
- (2) 高頻度観測(年4回→年20回)
- (3) 広域/迅速な観測(観測幅の拡大: 50km→200km)
- (4) 伝送データの大容量化(0.8Gbps→3.6Gbps)
- (5) 衛星寿命(5年間→7年間)

表 2 に ALOS-4 の主要諸元を示す。

衛星システムとしては、高度なユーザー要求を満たすために搭載するメインセンサである SAR センサの飛躍的な性能改善だけでなく、迅速なデータ提供のための大容量データ伝送の実現(最大3.6Gbps(Ka帯直接伝送系の周波数多重伝送))と電力量の拡大への対応(バッテリーの大容量化等)が重要となっている。それ以外にも、国産H3ロケット試験機による初めての打ち上げ、SPAISE 3の搭載システムとの同時観測要求、光衛星間通信システム採用による伝送頻度の向上、衛星の長寿命といった開発要素がだいち2号と比較しての新規要素となる。衛星バスとしては先行して開発中の先進光学衛星<sup>(3)</sup>と積極的に共通化することによって開発リスクを低減し、飛躍的な性能改善を実現する PALSAR-3 と高信頼性な衛星バスを両立させる衛星システムを実現する(図 3)。

### 3. 課題と解決策

#### 3.1 PALSAR-3

PALSAR-3 では、新たに DBF 技術を導入することに

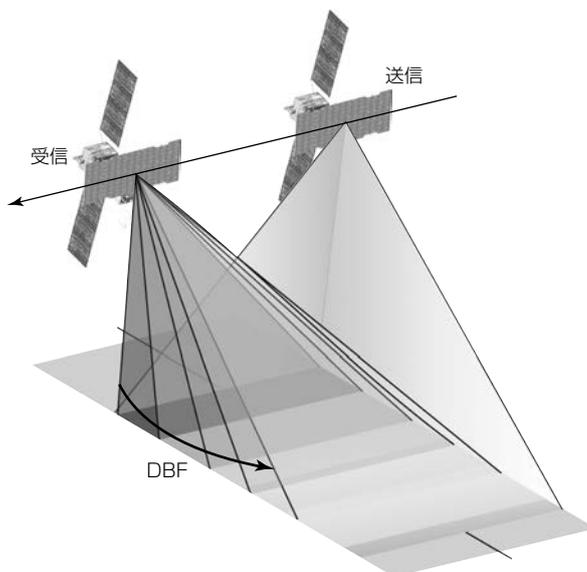


図 4. DBF 技術による送受信の概念図

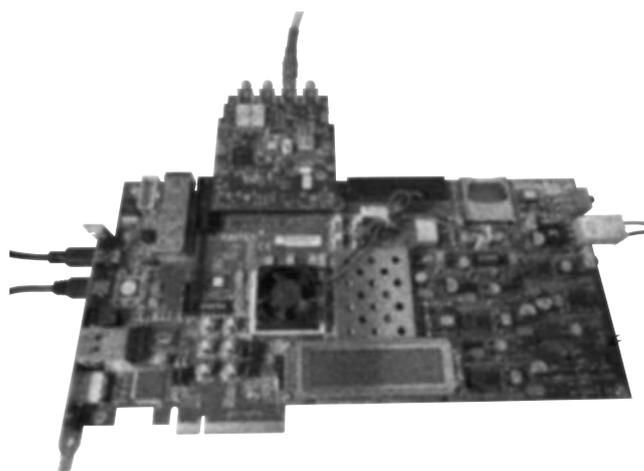


図 5. PALSAR-3 用 DBFU のブレッドボードモデル

よって、飛躍的な性能向上を実現する。PALSAR-3 を実現するための課題と解決策を次に示す。

- (1) デジタルビームフォーミングユニット(DBFU)の開発

DBF 技術は、素子アンテナ(又はある程度素子アンテナの信号を合成したサブアレーアンテナ)からのアナログ受信信号を一度 A/D(Analog to Digital)変換器でデジタル信号に変換した後で、位相の調整と信号の合成を行う方法である。DBF 技術を用いた送受信の概念図を図 4 に示す。地球に向けて電波を送信するときは広く電波を照射し、地上から反射した信号を受信するときは、狭いビームを高速に形成する。A/D 変換後の信号から、ms 以下の時間に数百以上のビームを形成するために、高速に処理する必要がある。また、DBF の受信系統ごとに受信機、A/D 変換器が必要となるため、ハードウェア規模が大きくなる。PALSAR-3 では、PALSAR-2 で実績のあるコンポーネントをベースに小型化を実施し、また、自社開発済みのサイドプレーン筐体(きょうたい)を活用することで、搭載可能な DBFU 装置の開発を行う。図 5 に開発中

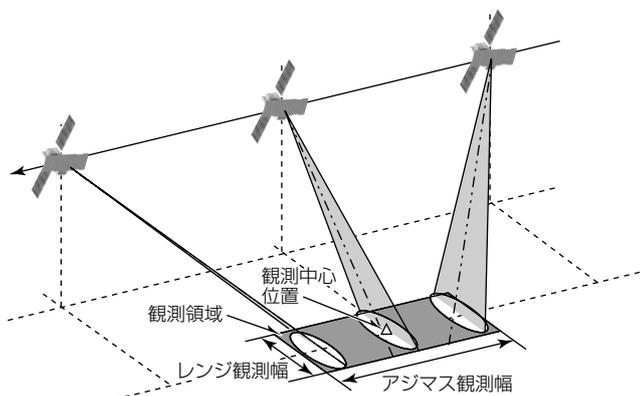


図6. スライディングスポットライトモードの観測イメージ

のPALSAR-3用DBFUのブレッドボードモデルを示す。

(2) スライディングスポットライト方式

PALSAR-2に搭載されていたスポットライトモードは、地表面の同じ場所に電波を照射し続けることによって、高分解能化を実現していたが、観測幅はビームの照射している範囲に限られていた。PALSAR-3で実現するスライディングスポットライト方式を採用して観測幅の広域化を行う。スライディングスポットライト方式の観測イメージを図6に示す。スライディングスポットライト方式は、高分解能化が可能なスポットライトモードと広域観測が可能なストリップマップモードの中間的な観測方法で、観測幅と分解能の両パラメータのバランスをとったモードである。ビームの照射範囲をスライドさせながら電波の送受信を行い、観測幅がビームの照射範囲に制限されないため、分解能を維持したままPALSAR-2の25kmから35kmへの観測幅の広域化が可能である。

3.2 衛星システムのデータ伝送の高速化

PALSAR-3の高空間分解能・広域観測幅に対応する大容量の観測データを、衛星システムで蓄積し、地上へ伝送するために、Ka帯直接伝送系の周波数多重によって、最大3.6Gbpsの伝送速度を実現する。

データ伝送の高速化に伴い増幅器の高出力化が必要になるが、増幅器のバックオフ(動作点での出力レベルと飽和出力レベルとの差)を小さくして高出力化すると非線形歪(ひず)みが発生し、通信品質が劣化する。そこで増幅器の非線形歪み対策として衛星側のデジタル変調器で補償するDPD(Digital Pre-Distortion)を実施する。

衛星搭載用に適した容易な歪み補償の方法として、デジタル変調器で増幅器の歪み特性と逆特性の振幅・位相情報をLUT(Look Up Table)として用意し、もとの信号にかけあわせることで歪みを補償する(図7)。またKa帯TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier)の経年変化に対応したLUTを地上側で作成し、コマンドでKMOD(Ka-band MODulator)にアップロードすることで、通信品質を維持する。

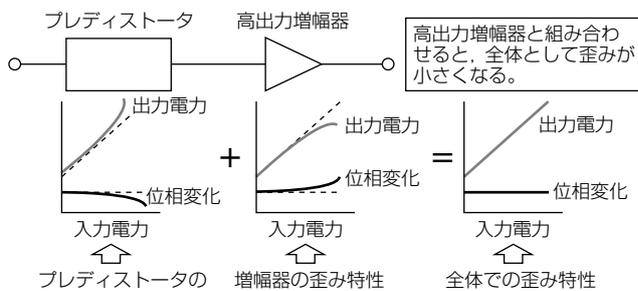


図7. LUTを用いたDPDの動作原理

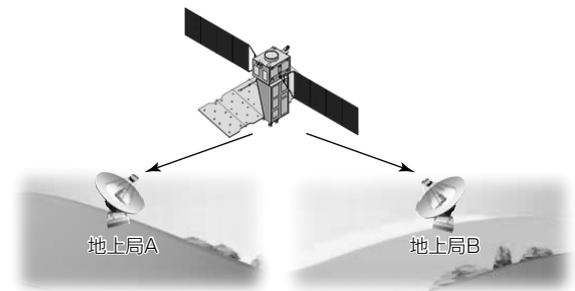


図8. 2局同時伝送運用のイメージ

さらに、TWTAから出力される2波のKa帯変調信号をKa帯合成器で合波し、高調波成分である2倍波を減衰させることで周波数多重化を行い、3.6Gbpsの伝送を実現する。また、2台のKa帯アンテナ各々で1波ずつ1.8Gbpsの伝送によって、異なる2つの地上局への同時伝送を可能にする。図8に2局同時伝送運用のイメージを示す。

4. む す び

先進レーダ衛星ALOS-4の衛星システム及びSARセンサPALSAR-3の概要、課題とその対応策について述べた。先進レーダ衛星で採用する技術は観測衛星とL帯SARの将来開発への貢献のほか、三菱電機の国際競争力を強化するものである。今後、2020年度の打ち上げ成功を目指して、開発を行っていく。

参 考 文 献

- (1) 針生健一, ほか: 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—, 三菱電機技報, 85, No. 9, 521~524 (2011)
- (2) Motohka, T., et al.: STATUS OF THE ADVANCED LAND OBSERVING SATELLITE-2 (ALOS-2) AND ITS FOLLOW-ON L-BAND SAR MISSION, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2427~2429 (2017)
- (3) 阿波祐二, ほか: 先進光学衛星の目的と技術, 三菱電機技報, 91, No. 2, 108~111 (2017)