

合成開口レーダ(SAR)の最新技術の動向

中村聖平*
辻 雅生*
中野陽介*

Technical Trends of Synthetic Aperture Radars

Shohei Nakamura, Masao Tsuji, Yousuke Nakano

要 旨

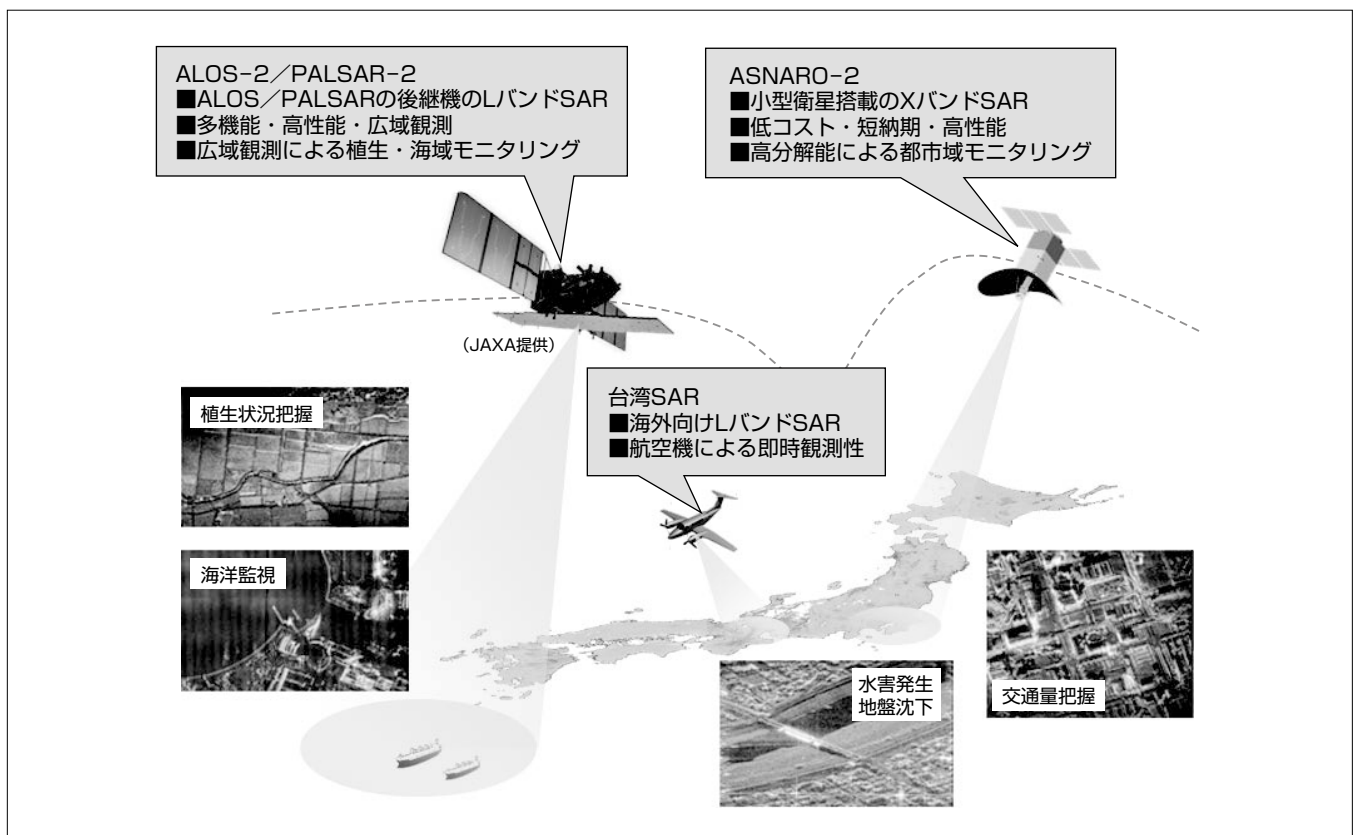
合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar : SAR)は、航空機や衛星などの移動するプラットフォームに搭載して観測を行い、対象領域の高分解能二次元画像を得る画像レーダである。SARは天候、昼夜によらず観測が可能であるため、近年の災害監視、地形図作成、土地利用調査、海洋監視等への活用が期待されている。

三菱電機では、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、陸域観測技術衛星2号“だいち2号”(ALOS-2)を2013年度内の打ち上げを目標に開発中であり、打ち上げ後の活躍が期待される。また、経済産業省(METI)の下、日本電気㈱と共同で先進的宇宙システム(ASNARO-2)を開発中であり、当社はSARミッションシステムの開発を担当している。

ALOS-2に搭載されるLバンドのSAR(以下“PALSAR-2”という。)と、ASNARO-2に搭載されるXバンドSARミッションシステムは、ともに、高空間分解能化・広域観測幅化・高画質/高機能化を実現するための技術開発がなされている。

本稿では、ALOS-2及びASNARO-2に搭載されるSARの主要性能とその特長について述べる。また、当社の社内開発技術として、航空機搭載SARによる技術実証試験の成果を交えながら、今後のSAR技術動向について述べる。最後に、当社の民生事業への展開事例として、台湾への輸出事例について述べる。

特集
I



当社で開発中の合成開口レーダの運用イメージ

当社で開発している合成開口レーダ(SAR)の運用イメージである。ALOS-2やASNARO-2に搭載されるSARセンサは、同一地点を定期的に観測することが可能であり、昼夜・天候に依存せずに広範囲にわたる植生や海洋、都市状況のモニタリングが可能となる。また、航空機搭載SARでは、その即時観測性から、災害発生時の被災状況の把握に役立つことが期待される。

1. ま え が き

合成開口レーダ(SAR)は、航空機や衛星などの移動するプラットフォームに搭載して観測を行い、対象領域の高分解能二次元画像を得る画像レーダである。SARは天候、昼夜によらず観測が可能であるため、近年の災害監視、土地利用調査、海洋監視などへの活用が期待されている。

当社では、JAXAの下、陸域観測技術衛星2号(ALOS-2)を2013年度内の打ち上げを目標に開発中である。また、経済産業省(METI)の下、NECと共同で先進的宇宙システム(ASNARO-2)を開発中であり、当社はSARミッションシステムを開発している。

本稿では、ALOS-2及びASNARO-2に搭載されるSARの主要性能とその特長について述べる。また、当社の社内開発技術として、航空機搭載SARによる技術実証試験の成果を交えながら、今後のSAR技術動向について述べる。最後に、当社の民生部門への展開事例として、台湾への輸出事例について述べる。

2. 開発中の衛星搭載SARと仕様

2.1 ALOS-2搭載のSAR

陸域観測技術衛星2号“だいち2号”(ALOS-2)に搭載されるLバンドSARであるPALSAR-2は、前号機“だいち”(ALOS)に搭載されたPALSARの機能を継承しつつ、飛躍的な性能改善を図ったSARセンサシステムである。表1にPALSAR-2の主要観測性能を示す⁽¹⁾⁽²⁾。

前号機では、1つの開口から送信された信号を1つの開口で受信する従来の方式であったが、PALSAR-2では、観測中のPRF(Pulse Repetition Frequency)を低下させるために、1つの開口から送信された信号を、位相中心の異なる2つの受信開口で受信するデュアルビーム観測を行う。これによって、前号機から大幅に観測性能を向上し、3m

表1. PALSAR-2の主要観測性能

項目	性能
周波数帯域	L帯(1.2575GHz±42MHz)
オフナディア角	8~70°
観測モード	スポットライト 高分解能 3m/6m/10m 広域観測
分解能	3m(レンジ)×1m(アジマス) 3m/6m/10m 100m/60m
観測幅	25km四方 50km/50km/70km 350km/490km
画質	NESZ≤-24dB, S/A≥20dB
観測方向	右及び左方向
偏波	単独/2偏波/多偏波
SARアンテナ	アクティブフェーズドアレーアンテナ 約3m(エレベーション)×10m(アジマス)

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

の高分解能と50km以上の広い観測幅を同時に実現する。

図1にデュアルビーム観測の概念図を示す。

先に述べたデュアルビーム以外に、アクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA)による二次元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スポットライトモードと、スキャンSAR方式を行う広域観測モードを実現する。広域観測モードでは、350kmに加え、超広域の490kmの観測幅も可能である。また、観測制御が改善され、高頻度でのスキャンSARインターフェロメトリが可能となり、100kmオーダーの規模で発生する地殻変動把握に威力を発揮することが期待される。さらに、高分解能(10m)モードによって、PALSARからのデータ利用の継続性を確保している。

現在、PALSAR-2はフライトモデルの開発が完了している。図2にSAR電気回路部及びSARアンテナを示す。

2.2 ASNARO-2搭載のSAR

ASNARO-2は、“低コスト”“短納期”“高性能”を開発コンセプトとする小型地球観測衛星である。ASNARO-2は、衛星バスとSARミッションシステムの2つに分類され、各システムは、バスシステムの開発をNECが担当し、SARミッションシステムの開発を当社が担当する。図3にASNARO-2の外観を示す⁽³⁾⁽⁴⁾。表2に、XバンドSARミッションシステムの主要観測性能を示す。

ASNARO-2搭載のSARは、小型衛星向けのSARながら海外の中・大型の商用SARに比肩する機能を持っており、ストリップマップモードに加えて、スポットライトモード・スキャンSARモードという標準的な観測モードを網羅している。

また、各観測モードの地上分解能/観測幅は、スポットライトモードで1m/10km四方、ストリップマップモードで2m/12km幅、そしてスキャンSARモードで16m/50km幅

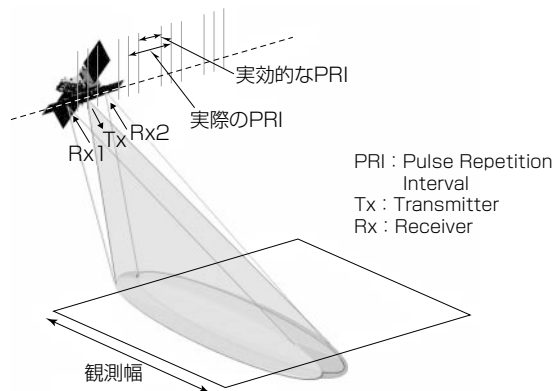


図1. デュアルビーム観測の概念図

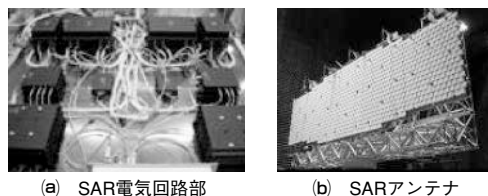


図2. ALOS-2/PALSAR-2のプロトフライトモデル

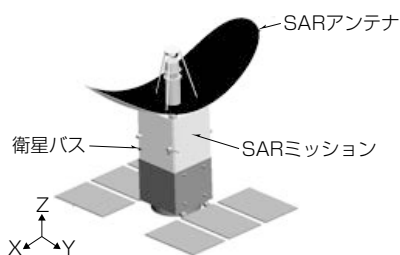


図3. ASNARO-2システム構成図

表2. ASNARO-2の主要観測性能

項目	性能		
周波数帯域	X帯		
オフナディア角	15~45°		
観測モード	スポットライト	ストリップマップ	スキャンSAR
分解能 ^(注1)	< 1m	< 2m	< 16m
観測幅 ^(注1)	> 10km	> 12km	> 50km
画質 (NESZ) ^(注1)	< -14.0dB < -15.5dB ^(注2)	< -17.0dB	< -25.0dB
画質 (S/A) ^(注1)	> 20dB		
偏波	HH/VV		
データ圧縮	1/2, 1/4, 非圧縮(量子化ビット8)		
SARアンテナ	開口面アンテナ(センタフィードカセグレン) 1.5m(エレベーション) × 4m(アジマス)		

(注1) オフナディア角35°時 (注2) 2ルック観測時

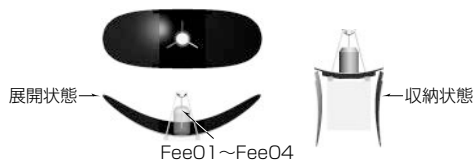


図4. ASNARO-2搭載のSARアンテナ

であり、性能面でも中・大型SAR衛星並みの性能を持つ。

小型衛星のため送信電力に制限を受けることから、画質面(信号対雑音比)では中・大型衛星に比べて不利となるが、高利得アンテナ及び送受信機の低損失化・高効率化によって、全ての観測モードで-15.5dBを達成する。

SARミッションシステムに搭載するSARアンテナは、センタフィードカセグレン方式による高利得の大型開口面アンテナである。このアンテナは、10km超の観測幅に効率よく電波を照射するために、1.5m × 4mの扁平(へんぺい)形状としていることを特徴とする。また、“低コスト”と“性能(必要な鏡面精度・ビーム成形の容易さ)”を両立させるため、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)製のソリッドな開口面を採用している。打ち上げの際は、ロケットフェアリング内に収納するため、図4に示すように、長手方向に3分割して折りたたむ。

さらに、アンテナの一次給電部をマルチフィードとして、異なる4つの方向で電波の送受信が可能なマルチビームアンテナとすることで、50kmの広域観測を可能とした。

3. SAR先進技術の動向と開発

3.1 SAR技術の今後の動向

図5に示すように、衛星搭載SARシステムの動向については大きく4つの方向性がある。

- (1) 高性能化(広域・高分解能)

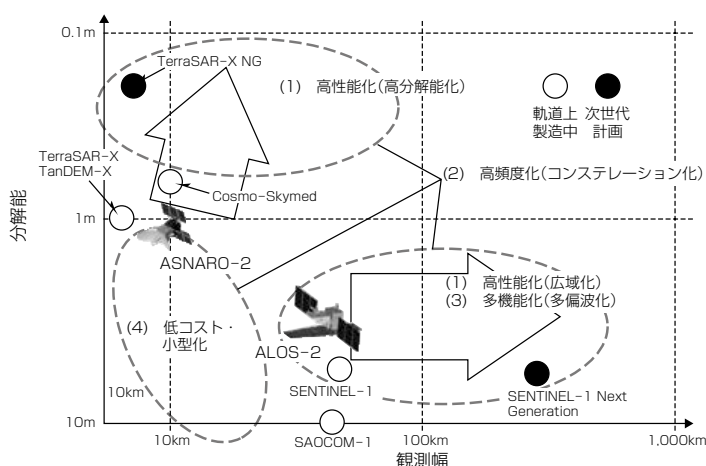


図5. 今後のSAR技術動向

高分解能化とともに、衛星SARの最大の特長である広域化が追求されると考える。商用SAR衛星では、現状1m程度の分解能が最高だが、25cmまで高分解能化することが計画されている。一方で、DBF(Digital Beam Forming)を用いたSweepSAR技術や、マルチビームSAR技術(High Resolution Wide Swath: HRWS)によって、従来の20~100km程度の観測幅を100~600kmに拡大することが提案されている。

- (2) 高頻度化(コンステレーション化)

観測システムとしてインフラ化が進み、観測頻度を向上させるために、一機あたりの低コスト化と合わせて、2~4機の複数衛星でのコンステレーション化が進む。

- (3) 多機能化(多偏波化)

バイオマス計測や海洋観測での偏波利用の有効性が示されており、ミッションによっては必須機能となりつつある。

- (4) 低コスト・小型化

民生技術を最大限活用した低コスト化、小型化の要望もあり、適度な性能を安価に実現するシステムの検討が進む。さらに、近年では100kg級の衛星でのSAR衛星実現に向けた研究も行われており、ピギーバック方式の打ち上げなどによって、実現すればライフサイクルコストを大幅に削減することが可能となる。

3.2 これまでの社内開発工事による成果

当社では、3.1節で述べた動向を踏まえ、SAR先進技術実証のための航空機搭載KuバンドSARシステム(以下“KuSAR”という。)による航空機フライト試験を行っている。ここでは、KuSARとフライト試験における技術実証結果を示す。

3.2.1 航空機搭載KuバンドSARシステム

KuSARの主要諸元を表3に示す。図6に示す航空機の客室にレーダの送受信機を格納し、送信用と受信用のアンテナを航空機の下部にある多目的ポッドに格納する。受信チャンネルは最大3チャンネルで、試験目的によってチャンネル数を選択可能である。送信機は、最大で1.5GHzの周波数帯域幅(レンジ分解能10cm: 図6(b))を生成可能である。

表 3. KuSARの主要諸元

項目	仕様
送信周波数	Kuバンド(中心:16.45GHz)
送信帯域幅	1.5GHz(最大)
分解能	10cm(最高)
送信ピーク出力	300W
アンテナビーム幅	9×10°
受信チャンネル	最大3チャンネル(選択式)

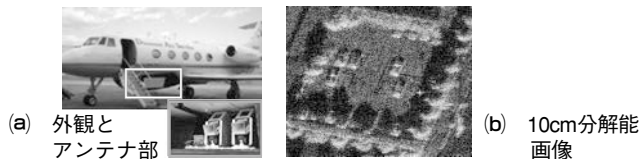


図 6. KuSARシステム外観と取得画像

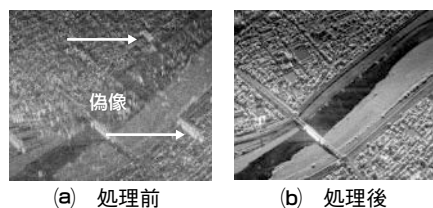


図 7. マルチビームSAR処理前後のSAR画像

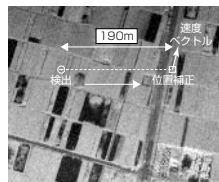


図 8. 移動目標検出結果

表 4. 速度推定結果

二輪車	推定値 (km/h)	誤差 (km/h)
クロストラック速度	-25	-2.5
アロングトラック速度	-6.8	-0.69

3. 2. 2 フライト試験による技術実証結果

マルチビームSAR技術実証試験の結果を図7に示す。図は、受信チャンネル数を3チャンネルとしたマルチビームSARデータの取得結果で、同図(a)がマルチビームSAR処理前、(b)がマルチビームSAR処理後の画像である。

図7(a)の、マルチビームSAR処理前の画像中には、多くの偽像が発生しているが、図7(b)のマルチビームSAR処理後のSAR画像では、偽像が抑圧されていることが確認できる。

次に、移動目標検出試験の結果を図8に示す。同図は、マルチチャンネルデータによる移動目標検出及び速度ベクトル推定結果である。試験では、既知の移動目標として、二輪車を走行させている。速度推定処理によって推定した二輪車の速度とGPS(Global Positioning System)で計測した速度との誤差を表4に示す。表4から、移動目標の速度を推定可能であることが伺える。

4. 民生事業への展開事例(台湾SAR)

台湾林務局農林航空測量所が森林資源把握及び災害監視へのSAR利用を計画しており、台湾国立中央大学を主契約者、当社がサブコンとして、航空機搭載SARシステム(台湾SAR)を納入した。台湾SARの主な性能を表5に示す。

表 5. 台湾SARの主要諸元

項目	性能
周波数帯域	L帯(帯域幅170MHz)
観測モード	ストリップマップ
分可能	1m以下
観測幅	10km
画質	NESZ<-30dB
偏波	フルポラリメトリ
その他	オンボードリアルタイム再生

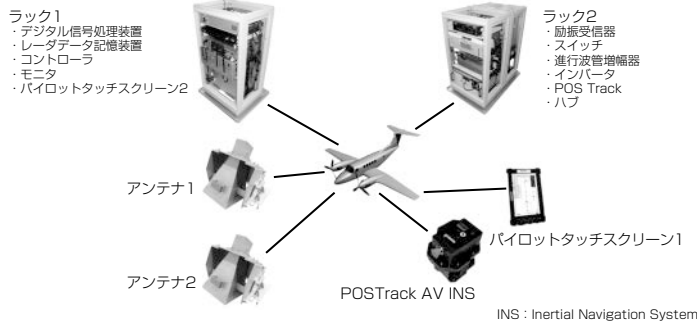


図 9. 台湾SARのシステム概念図

台湾SARは、当社での社内開発成果をいかしており、オンボード上でのリアルタイム再生処理が実現可能である(図9)。

5. むすび

現在当社で開発している衛星搭載SARとして、ALOS-2搭載のPALSAR-2及びASNARO-2搭載のSARミッションシステムの性能及び特長について述べた。また、今後のSAR技術の動向と社内開発工事のフライト試験による成果を述べた。さらに、民生事業への展開事例として、台湾への輸出事例について述べた。

参考文献

- (1) Kankaku, Y., et al.: ALOS-2 MISSION AND DEVELOPMENT STATUS, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2013. IGARSS'13. Proceedings. 2013 IEEE International, in press.
- (2) Okada, Y., et al.: SYSTEM DESIGN OF WIDE SWATH, HIGH RESOLUTION, FULL POLARIMETRIC L-BAND SAR ONBOARD ALOS-2, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2013. IGARSS'13. Proceedings. 2013 IEEE International, in press.
- (3) Muta, A., et al. (NEC): Outline and Program status of ASNARO-2(Advanced Satellite with New System Architecture for Observation) Satellite System, proceedings of 9th IAA symposium on Small satellites for earth observation, IAA-B9-0105P (2013)
- (4) Yokota, Y., et al.: Newly developed X-band SAR system onboard Japanese small satellite "ASNARO-2", 2013 Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), 81~83 (2013)