

# 1K11 ALOS-2 ミッションを支える高速データ伝送 システム（その 1） 衛星間通信サブシステム

○荒木智宏, 稲岡和也, 田島成将, 島田政明, 鳩岡恭志, 大澤右二  
(宇宙航空研究開発機構)

## High Speed Mission Data Transmission System of ALOS-2 (part 1) Data Relay and Communication Subsystem

Tomohiro Araki, Kazuya Inaoka, Yoshiyuki Tashima, Masaaki Shimada,  
Yasushi Hatooka, Yuji Osawa (JAXA)

### Abstract

Advanced Land Observing Satellite 2 (ALOS-2) will launch around 2013 aim to observe earth surface by L-band SAR for global mapping and disaster monitoring with high image resolution. Corresponding to enhanced performance of earth observation sensor, mission data transmission system have to realize higher data transmission rate than that of before. ALOS-2 equips Data Relay and Communication (DRC) subsystem for the main mission data transmission measure which has improved performance compare to that of “DAICHI” (ALOS, 2006-2011). Moreover, DRC of ALOS-3 (lauch 2015 or later) will realize 800Mbps data transmission via next Data Relay Satellite.

### 1. はじめに

陸域観測技術衛星 2 号機(Advanced Land Observing Satellite 2, ALOS-2)は、2006 年に打上げられ 2011 年まで運用された「だいち」(Advanced Land Observation Satellite, ALOS)の L バンド合成開口レーダ(Synthetic Aparature Rader, SAR)観測ミッションの後継衛星として、2013 年度に打上げ予定である。ALOS-2 は ALOS から更に高分解能化された L バンド SAR による災害時の被災地情報把握、国土情報の継続的蓄積・更新、農作地の面積把握の効率化、CO2 吸収源となる森林観測を目的とする衛星であり<sup>1)2)</sup>、圧縮後のミッションデータ量は 800Mbps、1 日でデータ量にして 600Gbyte を超える撮像を行う予定である。この膨大なミッションデータを地上に伝送するため、衛星から地上局に直接データを伝送する直接伝送系(Direct Transmission, DT)のみではなく、データ中継衛星を経由してデータを伝送する衛星間通信系(Data Relay and Communication, DRC)を有している。

ALOS-2 の DRC は、ALOS<sup>3)4)</sup>における DRC の運用結果を踏まえ、大幅な小型・軽量化を図りつつ ALOS DRC と同じ Ka バンド[26GHz 帯]衛

星間通信による 278Mbps のデータ伝送を実現している。本報告では、開発がほぼ完了した ALOS-2 の DRC について、ALOS の DRC と比較しつつ述べるものである。

### 2. ALOS-2 衛星間通信の必要性

ALOS-2 は高度 628km の太陽同期準回帰軌道(回帰日数 14 日)に投入予定である。低軌道衛星が地上局(JAXA 国内局の場合、鳩山(埼玉県)及び勝浦(千葉県))と通信可能な機会は、1 日に 4 回、合計で 30 分ほどに過ぎない。別に報告するように、ALOS-2 は JAXA が新たに開発した、16QAM 変調方式の採用により 800Mbps の高速 X バンドマルチモード変調器(X-band Multimode Modulator, XMOD)<sup>5)6)</sup>を使用する DT を搭載するが、DT では 800Mbps のデータ伝送速度であっても 1 日に 150Gbyte 程度のデータ伝送が上限である。一方、衛星間通信では、静止軌道にあるデータ中継衛星を経由するため、データ中継衛星から低軌道衛星が見える範囲が全て通信可能域となる(実際には種々の制約があり 1 日 8,9 時間程度)。このため、ALOS-2 では 1 日 500GByte 近いデータを、現在 JAXA が運用中のデータ中

継技術衛星(Data Relay Test Satellite, DRTS, 2002 打上げ)経由で、地上に伝送可能である。DRTS の概要については、参考文献 7 をご覧いただきたい。DRTS と通信するために ALOS-2 に搭載される DRC について、次項で述べる。

### 3. 衛星間通信サブシステム(DRC)

本項では、主に ALOS-2 の DRC について、ALOS の DRC と比較しつつその性能と特徴を述べる。

ALOS-2 の DRC の主要性能を、ALOS DRC と比較しつつ表 1 に示す。また、ALOS DRC の写真を図 1 に、軌道上での展開後の図を図 2 に示す。ALOS-2 DRC の軌道上での展開後の図を図 3 に示す。

表 1 ALOS/ALOS-2 DRC 主要性能比較

	ALOS	ALOS-2
通信速度 (Ka リターン)	278Mbps(RS 外 符号,データレ ート 240Mbps) 変調方式:QPSK	同左
追尾方式	(1)同右 (2)DRTS のビコー ンを追尾する自 動追尾	(1)自機及 DRTS の軌道情報に基 づくプログラム 追尾
追尾精度	(1)0.45deg 以下 (2)0.12deg 以下	(1)0.29deg 以下
追尾時の 指向損失	(1)3dB 以下 (2)0.5dB 以下	(1)1.3dB
アンテナ径	135cm	77cm
機器重量	約 160kg	50kg 以下
消費電力	約 280W	約 130W

同じ DRTS でデータ中継する関係上、ALOS から ALOS-2 への DRC 通信性能そのものの向上は無い。Ka バンドでのリターンリンク 278Mbps、S バンドフォワードリンクでの 4kbps でのコマンド伝送、S バンドリターンリンクでの 15.6kbps のテレメトリ伝送、及びレンジングが可能である。

ALOS DRC から ALOS-2 DRC への顕著な変化として、ALOS DRC ではアンテナの直後にあった RF コンパートメント部が ALOS-2 DRC では廃止された。送受信される Ka バンド、S バンド

の信号は、ロータリージョイント(R/J)で 2 軸に駆動される導波管(Ka バンド)及び同軸ケーブル(S バンド)を経由して、アンテナから衛星構体内に設置される RF 部(図 4 に含まれず)に導かれる構造に変更し、アンテナのみを駆動する方式とした。

ALOS-2 DRC の設計にあたっては、固定損失量を ALOS DRC の実績を踏まえて削減した。その結果、アンテナが小型化しアンテナパターンがブロードになることにより、追尾受信機を用いた自動追尾でなく、プログラム追尾としても必要なアンテナ利得が確保できると判断した。

そこで、同軸と導波管の 2 種類のロータリージョイントを開発し、アンテナ鏡面だけを回転させる構成とし、従来の背面個室にアップコンバーターと TWTA を搭載する構成を、採らないことが出来た。

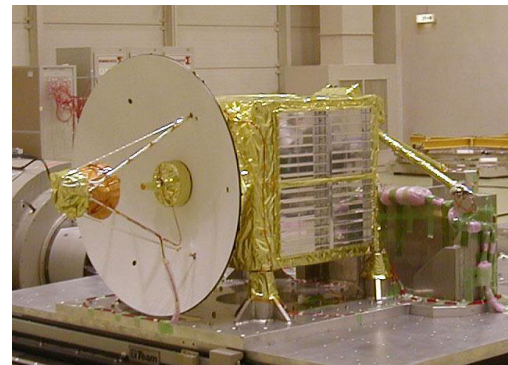


図 1 ALOS DRC(写真)

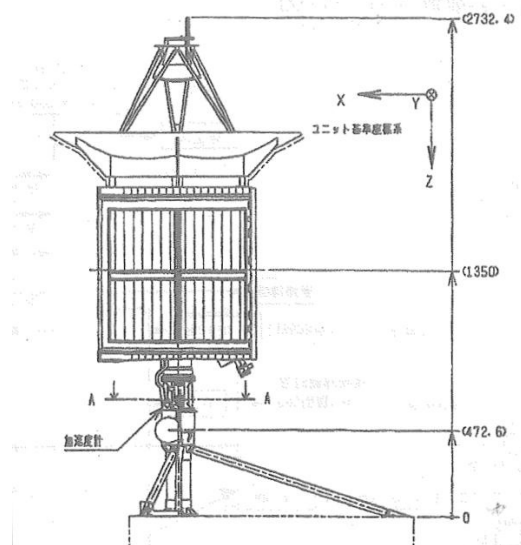


図 2 ALOS DRC(軌道上展開図)

これらの設計方針の変更の結果、ALOS-2 DRC では、ALOS DRC に比べて、小型・軽量化（約 160kg→50kg 以下）、低消費電力化（約 280W→約 130W）を実現できる見通しである。

ALOS-2 DRC の構成を、図 4 に示す。

ミッションデータ記録装置(MDP)と K バンド変調器 (KMOD) は、クロス接続されている。MDP で再生されたデータは KMOD で変調され、KTWTA で増幅されたのち、構体外のロータリージョイント(R/J)、アンテナポインティング機構(APM)に導かれ、所望の方向に指向したアンテナから送信される。DRC には TTC-RF 系から S バンドも接続されており、Ka(リターンリンクのみ)/S(フォワードリンク/リターンリンク)共用となっている。Ka バンドはアンテナ主鏡中央のホーンから副鏡に向けて送出され、S バンドは Ka バンドは反射し S バンドは透過する副鏡裏面から送出され取込まれる。アンテナ形状はオフセットカセグレンアンテナを回転させた軸対象カセグレンアンテナであり、副鏡の遮蔽による損失を極力低減している。

RF 部の変調器(KMOD)、パワーアンプ(KTWTA)は冗長化されており、ハイブリッド(KHYB)及びスイッチ(KSW)により主系・従系の切替え可能である。

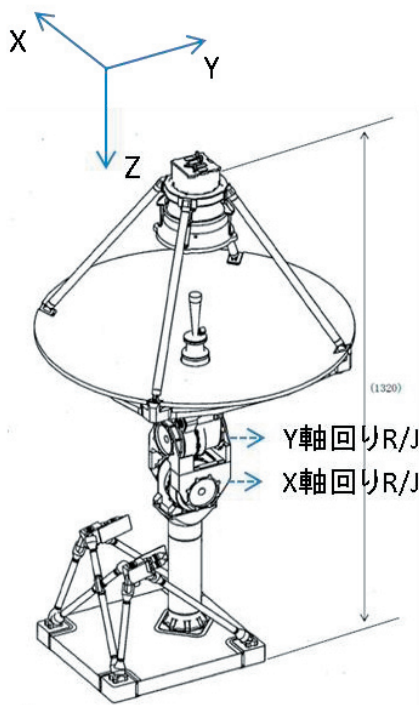


図 3 ALOS-2 DRC アンテナ部(軌道上展開図)

ALOS DRC の駆動は Az-EI 方式であり、天頂付近に特異点が存在し、アンテナ駆動ソフトウェアに特異点回避のための非駆動領域判定機能を持たせ、天頂から AZ/EI とも 10deg の範囲を非駆動領域としていた。ALOS-2 DRC では、駆動方式を Roll(X 軸回り)、Pitch(Y 軸回り)方式と変更した結果、特異点が±Y 方向となり、衛星構体の緩衝領域と重なった結果、特異点に伴う非駆動領域判定が不要となった。R/J については、商用衛星のアンテナ駆動部、観測センサのアンテナ駆動部で実績のあるものであり、かつアクチュエータと R/J を組合わせた APM は、ALOS-2 の寿命(目標 7 年)に対応した回数の実駆動評価を実施済みであり、良好な結果を得ている。

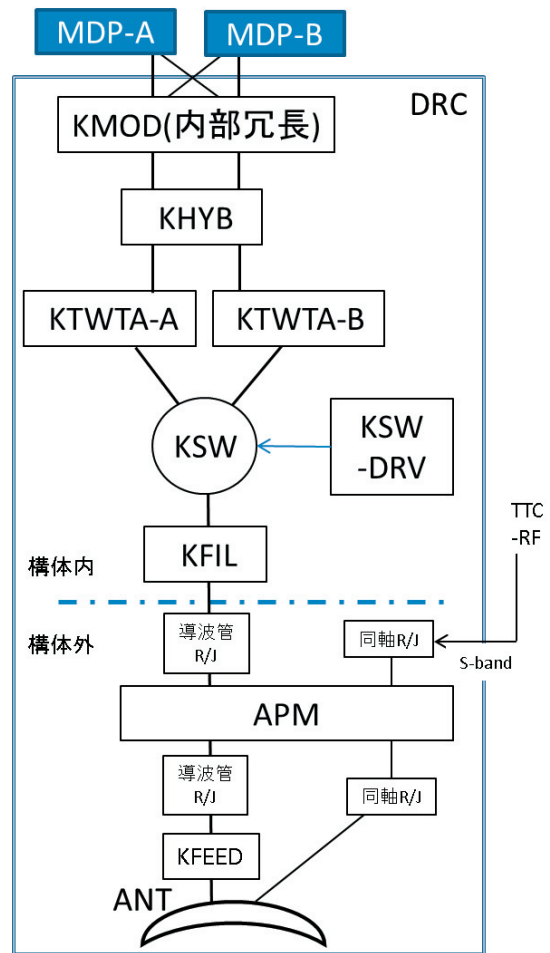


図 4 ALOS-2 DRC 構成図

なお、高分解能・広域観測光学センサを搭載する ALOS-3(2015 年以降打上げ予定)<sup>8)</sup>の DRC では、Ka バンドの 2 キャリア化による、800Mbps

(400Mbps×2、QPSK)のミッションデータ伝送を、DRTS 後継機<sup>9)</sup>による中継により実現する予定である。詳細は今後の開発で確定するが、ALOS-3 DRC ではデータ伝送能力増強に伴い、RF の多重化・送信電力の増大が必要となり、ALOS-2 DRC と比較して10kg 程度以上の質量増大と100W 以上の消費電力増加が見込まれる。

#### 4. おわりに ～衛星間通信の将来構想～

ALOS-2 搭載の DRC について、ALOS-2 ミッションにとって必須であることを示し、ALOS DRC と比較しつつその概要を紹介した。

本 DRC を更に高出力・2 波長多重化させることで、ALOS-3 と DRTS 後継機による、800Mbps の衛星間通信を実現する予定であるが、既述のように質量・電力の増大が見込まれている。

更に、将来の更に高分解能化された ALOS シリーズ後継機のミッションデータ伝送のため、2~3Gbps の衛星間通信の実現が必要であると JAXA は考えている。これを Ka 帯で実現するには、広い帯域の確保、波長多重化、偏波多重化もしくは多値変調方式のいずれか或いは組合わせての実現が必要であり、低軌道衛星搭載機器としての実現は不可能ではないものの、その質量・電力は増大し、特に消費電力は ALOS-2 からの外挿で 500W~1kW になるものと推定される。

そのため、ALOS シリーズ後継機に併せ、データ伝送レート 2.5Gbps 程度の光衛星間通信の導入が必須であると判断している<sup>10)</sup>。なお、光衛星間通信については、開発中の海外の例<sup>11)</sup>では、質量 50kg 程度、電力 160W 程度で通信レート 1.8Gbps を達成している。

#### 謝辞

ALOS-2 DRC の開発に尽力いただいている、JAXA 及び三菱電機(株)関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

1). S. Suzuki, Y. Kankaku, Y. Osawa, “Development

status of PALSAR-2 onboard ALOS-2” Proceedings of SPIE vol.8176 (2011)

2). 第 56 回宇宙科学技術連合講演会 ALOS-2 特集(2012)

3). JAXA website 内の以下を参照されたい。  
[http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos\\_j.pdf](http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos_j.pdf)  
[http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_j.html)

4). 第 50 回宇宙科学技術連合講演会 ALOS 特集 (2006)

5). K. Inaoka, M. Shirakura, T. Sunaga, M. Shimada, and N. Takata, “Development of an X-band Multi-mode High speed Modulator -Design and Development test Results of Engineering Model-,” 28th International Symposium on Space Technology and Science(ISTS), Okinawa, Japan, October 2011

6). 第 56 回宇宙科学技術連合講演会での発表

7). 篠原幸一 “データ中継衛星「こだま」(DRTS)の衛星概要及び実験運用成果について” 信学通信ソサイエティマガジン No.3 pp45-53, 2007

8). H. Imai, H. Katayama, M. Takasaki, T. Tadano, Y. Hatooka, S. Suzuki, Y. Osawa, “Outline of advanced land observing satellite-3 and its instruments” Proceedings of SPIE vol.8176 (2011)

9). Y. Sudo, H. Kohata, E. Tomita, T. Hanada, “Ka-band High Data Rate Transmission Tests for DRTS follow-on mission” AIAA 2011-8016, 29th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2011) (2011)

10). 山川史郎、城野隆 “光衛星間通信技術：将来の宇宙通信インフラストラクチャの構築” レーザー研究 vol39(1), p17 (2011)

11). M.Gregory, F. Heine, H.Kämpfer, R.Lange, M.Lutzre, R.Meyer “Coherent inter-satellite and satellite-ground laser links” Proceedings of SPIE vol.7923 (2011)