

1K12 ALOS-2 ミッションを支える高速データ伝送システム (その 2) 直接伝送系サブシステム

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

High Speed Mission Data Transmission System of ALOS-2

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

Key Words: ALOS-2, Direct Transmission, XMOD, 16QAM, 800Mbps

Abstract

Advanced Land Observing Satellite 2 (ALOS-2) will be launched around 2013 to aim to observe earth surface by L-band Synthetic Aperture Radar (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 is equipped with high-speed Direct Transmission (DT) subsystem for the transition of alarge quantity of mission data to the ground. DT subsystem adopts the newly developed X-band Multi-mode High-speed Modulator (XMOD) which has 16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM) and Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation scheme. It achieves a data rate of 800 Megabits per second (Mbps) when 16-QAM is selected, and 400Mbps and 200Mbps when QPSK is selected to comply with existing ground station.

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 Observing Satellite, ALOS) [1][2] の L バンド合成開口レーダ(Synthetic Aperture 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[3][4][5]、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の地上への伝送要求に対応するため、ALOS-2 は衛星から地上局に直接データを伝送する高速な直接伝送系(Direct Transmission, DT)とデータ中継衛星を経由して地上へデータを伝送する衛星間通信系(Data Relay and Communication, DRC)の 2 通りのデータ伝送システムを搭載している。表 1 に ALOS 及び ALOS-2 のデータ発生/伝送レートを示す。

ALOS-2のDTサブシステムでは、従来機器からの小

型・軽量化、低消費電力化を図りつつ、大幅な伝送性能の向上を実現している。宇宙航空研究開発機構(JAXA)で新たに開発されたX帯(8GHz帯)高速マルチモード変調器(XMOD)[6][7][8]を搭載し、高速対応としてQuadrature Amplitude Modulation (16-QAM) 変調方式による800 Megabits per second (Mbps) のミッションデータ伝送を可能にすると共に、中低速対応として既存の地上システムと適合性の高い Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) 変調方式による、400 Mbps、200 Mbps のミッションデータ伝送を共用化している。

本報告は、開発がほぼ完了したALOS-2のDTサブシステムについて、ALOSのDTサブシステムと比較しつつ技術進捗の現状を述べるものである。

表1 ALOS/ALOS-2 データ発生/伝送レート

	ALOS	ALOS-2
観測センサ	SAR、光学	SAR
最大発生レート	600Mbps(圧縮後)	800Mbps(圧縮後)
最大伝送レート	DT: 139 Mbps (QPSK) DRC: 278 Mbps (QPSK)	DT: 800Mbps (16QAM) DRC: 278Mbps (QPSK)

2. 直接伝送系 (DT) サブシステム

本項では、主に ALOS-2 の DT について、ALOS の DT と比較しつつ、その機能と特徴を述べる。次ページの表 3 に ALOS-2 と ALOS の DT の主要性能の比較を示す。

図 1 に ALOS-2 DT サブシステム構成図を示す。ミッションデータ処理系 (Mission Data Handling System, MDHS) で、集約、圧縮、誤り訂正符号付加されたミッションデータは、XMOD で 800Mbps の 16-QAM 変調あるいは 400Mbps/200Mbps の QPSK 変調され、8GHz 帯変調信号は X バンド高出力増幅器 (X-band Solid State Power Amplifier, XSSPA) へ出力される。XSSPA で所要の電力まで増幅された変調信号は、X バンドフィルタ (X-band Wide Band Filter, XFIL) で深宇宙バンド保護レベル、SAR 及び TTC 系 (telemetry tracking and command; TTC) への干渉レベルを減衰し、X バンド導波管スイッチ (X-band Waveguide Switch, XWSW) を経由して、XANT から右旋円偏波で地上局へ送信される。DT は送信出力の高出力モードと低出力モードを有しており、X バンド同軸スイッチ (X-band Coaxial Switch, XCSW) により 800Mbps 時及び 400Mbps 時には高出力に、200Mbps 時には地表面電力束密度の制限を守るために低出力信号に切り替えられる。

1 章で述べたとおり、高速・大容量のミッションデータ伝送要求へ対応するため、ALOS-2 DT は ALOS DT と比較して送信データレートを大幅に向上している。高速化にあたっては、X バンド割り当て帯域 (375MHz) 内での高速化を考慮し、将来的な拡張性の観点でも優れた 16-QAM 多値変調による伝送を採用した。また、海外局、既存の地上システムとの適合性を考慮して、コマンドによる 16-QAM/QPSK の変調方式切替え選択が可能である。16-QAM/QPSK を実現する変調器には、JAXA で新たに開発した XMOD を採用している。

XMOD は高速、中速、低速の 3 つの伝送モードを有すマルチモード/マルチレート化設計である。XMOD の主要性能を表 2 に示す。高速伝送モードでは 16QAM 変調方式を採用し、X 帯単一搬送波通信では世界最高レベルである 800Mbps を実現する。800Mbps の高速データレートを実現する為に、2.5 Gigabits per second (Gbps) 対応の Serializer/Deserializer (SerDes) [9]、宇宙用高速大容量の SRAM 型 FPGA (Vertex-4QV) [10]を採用している。SRAM 型 FPGA は、SRAM デバイスの特性によ

り宇宙放射線による SEE (Single Event Effect) が発生し変調器の性能に影響を与える可能性がある為、SRAM の内容を定期的に上書き更新するスクラビング機能、リコンフィグレーション機能、3 重冗長化& 多数決比較により対策を講じている。XMOD の機能及び放射線対策の詳細は参考文献[6][7][8][11]をご覧ください。

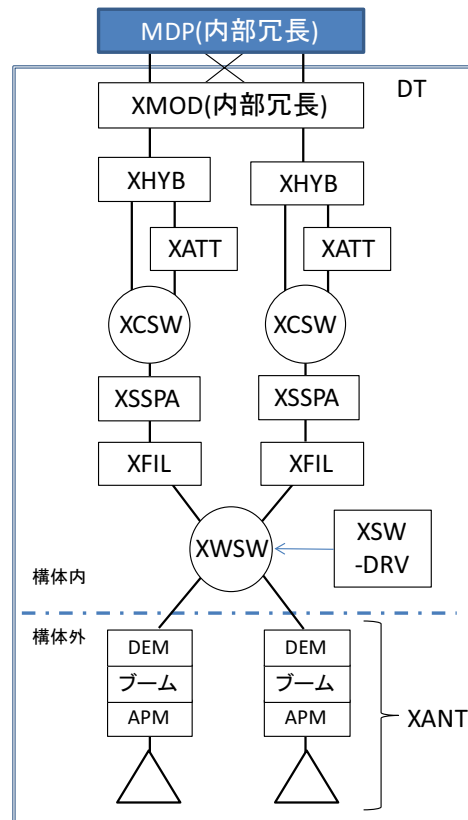


図 1 ALOS-2 DT 構成図

表 2 ALOS-2 XMOD 主要諸元

項目	仕様値
変調方式	16-QAM, QPSK
データレート	800Mbps (16-QAM)、 400Mbps (QPSK)、200Mbps (QPSK)
占有帯域幅	800/400Mbps 時 : 275 MHz 以下 200Mbps 時 : 150MHz 以下
出力電力	+5dBm±1dB 以内
入出力 I/F	データ I/F : Wizard Link (TLK2711) テレメトリ/コマンド I/F : EIA-422 RF I/F : 同軸
動作温度範囲	-20℃~+55℃
電源電圧	+30~+53V
消費電力	25.5W 以下 (冗長系含む)
質量	3.36kg 以下 (冗長系含む)
寸法	277mm×106mm×186 mm (Max) (内部冗長)

また、DT アンテナの方式について、ALOS DT では駆動機構なしの 2 線巻ヘリカルアンテナであったが、ALOS-2 DT では搭載実績品の組み合わせで実現可能な（新規開発の XMOD を除く）機械駆動方式を採用した。ALOS DT アンテナの写真、構成図を図 2 に示す。ALOS-2 DT アンテナの構成図を図 3 に示す。ALOS-2 DT の X バンドアンテナ（X-band directional Antenna, XANT）は、円偏波を空間に放射する XANT-RF、これを所望の方向へ向けるアンテナ駆動機構（Antenna Pointing Mechanism, APM）、APM を支えるブーム、ブームを展開するためのアンテナ展開機構（DEM）、衛星に XANT を取り付けるための I/F パネルから成る。DEM により衛星構体パネル（固定部）に対しアンテナ（可動部）を所定の位置まで 1 軸周りに展開させ、アンテナ駆動電子回路（Antenna Pointing Electronics, APE）からの地上局追尾用駆動信号をもとに、APM が直交 2 軸アクチュエータによりホーンアンテナを指向方向に 2 軸駆動する。

加えて、ALOS-2 DT では ALOS の運用経験からマルチパス対策を実施している。上記の指向性アンテナの採用によりサイドローブ、バックローブを低減する他、16-QAM、QPSK 400Mbps、QPSK 200Mbps でマルチパス解析を実施し、DT 回線のマルチパスによる回線利用時間の損失が全体の 0.8%以内であり、実運用上問題となる損失でないことを確認している。マルチパス干渉の発生する可視が最大仰角の低い（可視時間の短い）可視であるという解析結果からも運用への影響は少ないと言える。

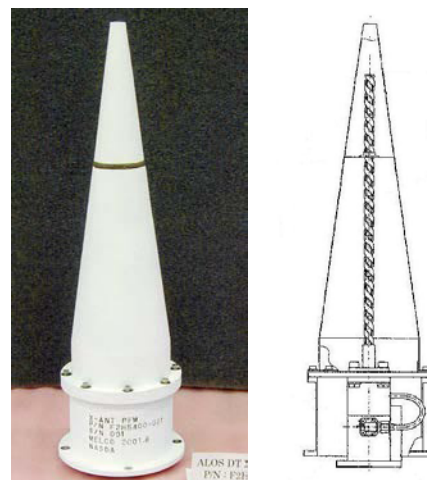


図 2 ALOS XANT 写真（左）、構成図（右）

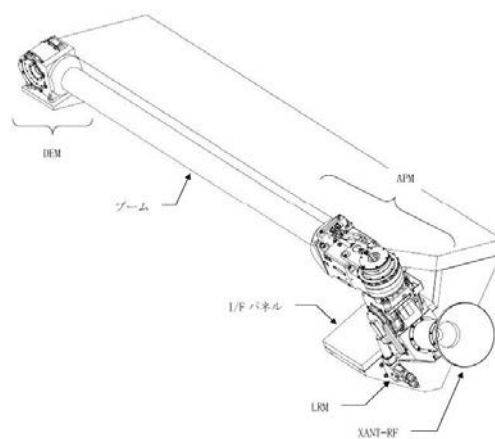


図 3 ALOS-2 XANT 構成図

表 3 ALOS/ALOS-2 DT 主要性能の比較

項目	ALOS	ALOS-2
質量	14.2kg（ノミナル）	50kg 以下
消費電力	139.6W（動作モード）（ノミナル）	120W（データ伝送時）
周波数	8GHz 帯	8GHz 帯
占有帯域幅	144 MHz 以下	800/400Mbps 時：275 MHz 以下 200Mbps 時：150MHz 以下
送信 EIRP	+Z 軸方向 0°：2.1dBW 以上 +Z 軸方向 ±64°：15dBW 以上	21.9～26.2dBW
送信データレート （変調方式）	139Mbps (QPSK)	800Mbps (16-QAM)、 400Mbps (QPSK)、200Mbps (QPSK)
偏波	右旋円偏波	右旋円偏波
追尾方式	-	プログラム追尾
冗長構成	変調器：内部冗長 増幅器：機器冗長	変調器：内部冗長 増幅器、フィルタ、アンテナ：機器冗長

3. おわりに

本稿では ALOS-2 DT について、ALOS DT と比較しつつ、その概要を紹介した。

今後、ALOS シリーズ後継機の更なる高分解能化に伴い、大容量化するミッションデータの伝送に対応するため、ミッションデータ伝送システムの高速化を進めることが必須である。JAXA では次ステップとして、DT の更なる高速化を目指し、2010 年度から 2Gbps 級の超高速変調器の研究開発を開始している。[12]

謝辞

ALOS-2 DT の開発に尽力頂いている、JAXA 及び三菱電機(株)の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) JAXA ALOS website
http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/f8/img/alos_j.pdf
http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_j.html
- 2) 第 50 回宇宙科学技術連合講演会 ALOS 特集 (2006), 陸域観測技術衛星(ALOS)「だいち」の地球観測 1 ~ 3 (1D01~1D18)
- 3) Shinichi Suzuki, Yukihiro Kankaku, Yuji Osawa, “Development status of PALSAR-2 onboard ALOS-2” Proceedings of SPIE vol.8176 (2011)
- 4) JAXA ALOS-2 website
http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/index_j.html
- 5) 第 56 回宇宙科学技術連合講演会 ALOS-2 特集 (2012), OS-39 ALOS シリーズによる地球観測 (2F01~2F13)
- 6) 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), 2011-j-10, Okinawa, Japan, October 2011
- 7) Futaba Ejima, Toshiyuki Ukeba, Yuichi Umeda, Kazuya Inaoka, Masashi Shirakura, Terumi Sunaga and Masaaki Shimada, “Development of X-band Multi-Mode High-Speed Modulator for Earth Observation Satellites,” 29th AIAA-2011-8073, Nov 2011.
- 8) 稲岡和也、他, “高速マルチモード変調器の開発”,

3D11, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会(2012),.

- 9) TLK2711-sp data sheet
<http://www.tij.co.jp/lit/ds/symlink/tlk2711-sp.pdf>
- 10) Virtex-4QV data sheet
http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds653.pdf
- 11) Kazuya INAOKA, Masashi SHIRAKURA, Masaaki SHIMADA, Terumi SUNAGA, Noboru TAKATA “Development of an X-band Multi-mode High-speed Modulator” Journal of Space Technology and Science, vol.26(2012) (to be published)
- 12) 田島成将、稲岡和也、荒木智宏、白倉政志、島田政明, “地球観測衛星用超高速データ伝送システムの検討”, 信学技報 SANE2012-21, 2012