

陸域観測技術衛星 2号(ALOS-2)衛星バス —最先端レーダ観測を支える高性能衛星バスの先進性—

橋爪 隆* 鈴木新一***
笠間 緑** 嶋岡恭志***
針生健一*

Advanced Land Observing Satellite-2(ALOS-2) Spacecraft Bus-system —Advanced Technology of High-performance Bus-system Supporting State of Art Rader Observation—
Takashi Hashizume, Yukari Kasama, Kenichi Hariu, Shinichi Suzuki, Yasushi Hatooka

要 旨

陸域観測技術衛星 2号“だいち 2号”(ALOS-2)は、現在、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の下、打ち上げに向けた準備作業が実施されている。

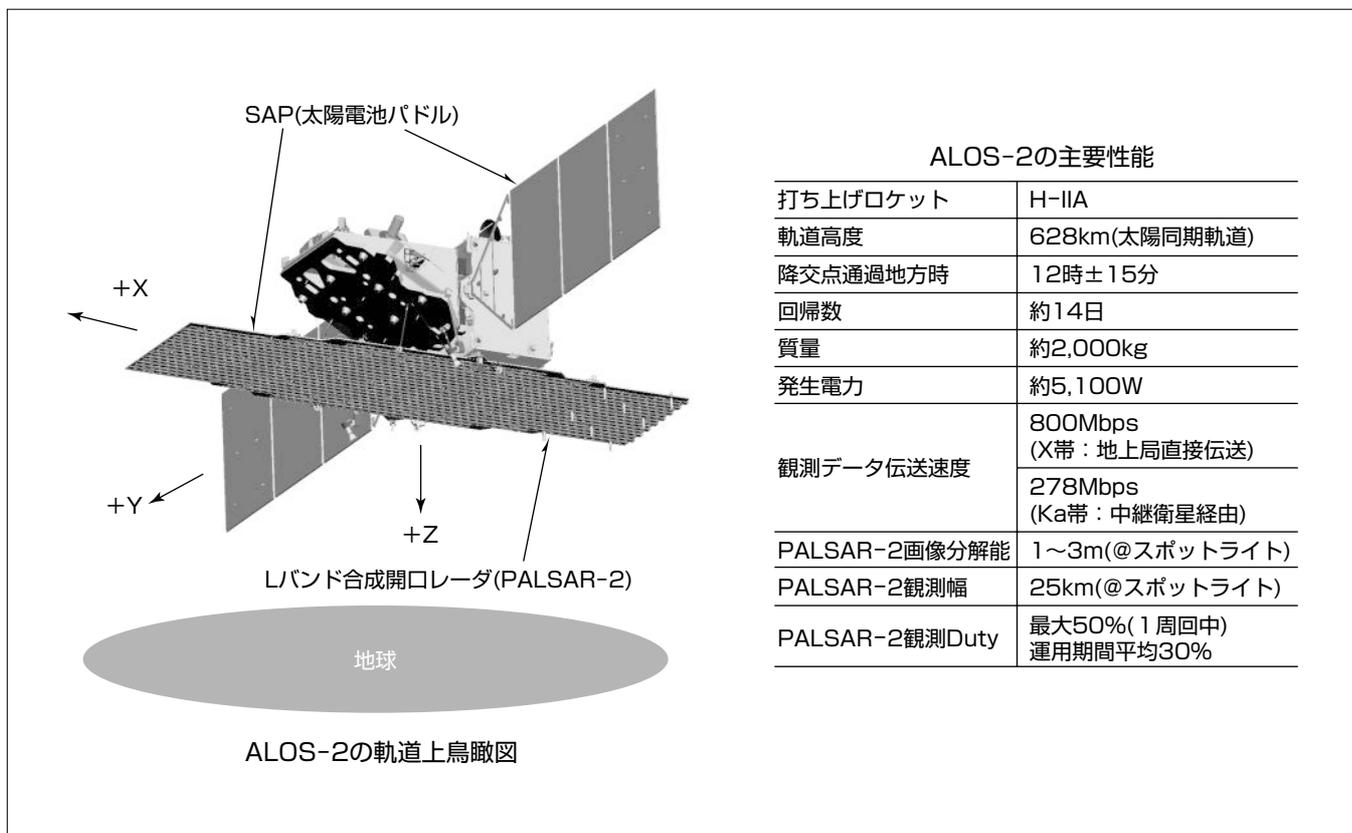
ALOS-2は、Lバンドの合成開口レーダ(PALSAR-2)をメインミッションとする電波観測衛星であり、“だいち”の後継機として、“だいち”のミッションを継続するものである。“いぶき”などで実績のある三菱電機周回衛星技術を踏襲することによって、確実な開発を行うことを基本方針にしている。それと同時に、衛星バスの高性能化、小型化

を目的として開発された機器も複数搭載している。具体的には、次の機器又は機能である。

- (1) 電力制御器(PCU：JAXA戦略コンポーネント)
- (2) 高速マルチモード変調器
(XMOD：JAXA戦略コンポーネント)
- (3) 観測テーブル方式(PALSAR-2の運用方式)

本稿では、これら3つの項目について、その新規性、発展性及び標準化への貢献について述べる。

特集
I



ALOS-2の軌道上鳥瞰(ちょうかん)図と主要性能

ALOS-2は、PALSAR-2を主ミッション機器とし、JAXA戦略コンポーネントなど新規開発バス機器を複数搭載した将来観測衛星の原型となる衛星である。

1. ま え が き

本稿では、ALOS-2に搭載されている高機能機器PCU, XMOD, 及びPALSAR-2の観測テーブル方式に関して、その特長を述べる。

主に、PCUは小型化、XMODはデータ伝送高速化と回線品質の向上、そして観測テーブル方式は運用性の向上にそれぞれ貢献することを特長とする。以後、個別にそれらについて述べる。

2. 電力制御器(PCU)

周回衛星の電源系は従来、電力制御器(PCU)と余剰電力制御器(SSU), 及びバッテリー(BAT)によって構成され、日照中は太陽電池パドルから、日陰中はバッテリーから、それぞれ搭載機器にエネルギーを供給するシステムとなっている。

今回、電源系の小型化を実現するにあたり、小型化のキーポイントとしては次の4項目が挙げられる。

- (1) 従来の充電電流を一定電流に保つ制御方式をやめて、太陽電池アレー回路の定電流特性を利用してアレー回路から直接バッテリーに充電するチャージャレー方式を採用し、充電制御回路の簡素化、小型化を達成する。
- (2) SSUの機能をPCUに内蔵し、構成機器数を減らす。
- (3) 故障検知機能をデータ処理系の担当とし、機器の小型化を行う。
- (4) フィルムコンデンサ、電力用表面実装部品の使用など実装面での小型化対策を行う。

これらの対策を取り入れたPCUは最大出力120A(約6kW)

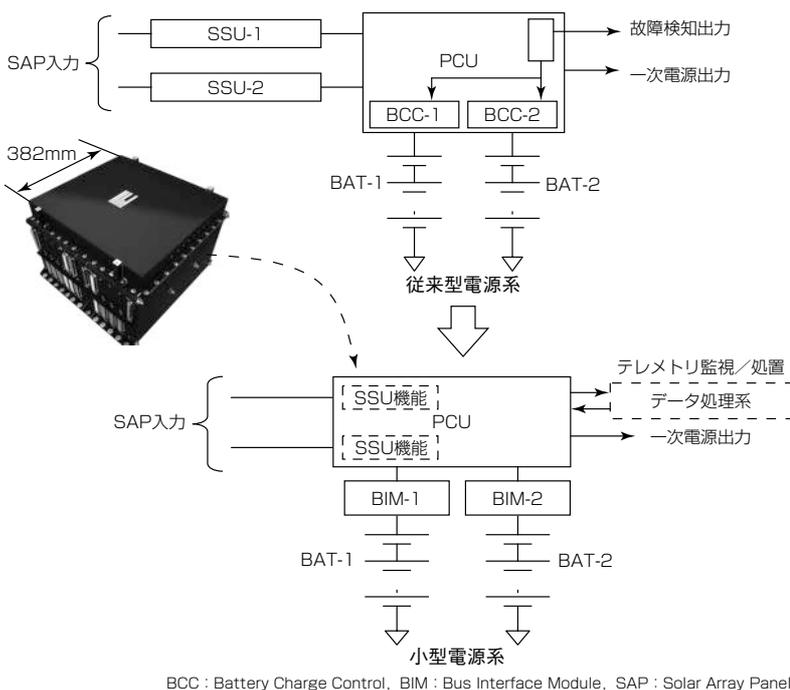


図1. 従来型電源系と小型電源系の比較

の供給能力を持ち、質量に関しては、従来型の40kgから19.4kgまで削減することに成功している。図1に従来型電源系との比較を示す。

海外他社などによって既の実施されているBAT 1系統の構成に対して、(1)のチャージャレー方式はBAT 2系統の接続が可能であることを特長としている。

充電電圧制御は、BATの上限しきい値電圧に到達した時点で、太陽電池アレー回路を、順次充電系統から切り離す方式を採用し、従来のCC(Constant Current)/CV(Constant Voltage)充電方式と同等な充電電流プロファイルを実現し、かつ回路規模の大幅な簡素化を図っている。

(2)に関しては、(4)の電力用表面実装部品の開発によるところが大きい。

(3)に関しては、データ処理系の変自律化機能によって、従来PCUがバス側に出力しているテレメトリを監視することで、故障検知機能を代替した。データ処理系が担当することによって、PCU側の回路設計規模を削減すると同時に、故障検知のしきい値(例えばバッテリー電圧値)などをコマンドで変更できるようになった。

(4)の実装面での小型化対策は、(2)のSSUの内蔵化も含めて小型化実現に大きく貢献したが、PCUが具備するパスキャパシタの大きさは、従来の1/10程度を前提として小型化を実現している。これは、電圧、電流変動に対する感度が従来型のPCUよりも10倍高くなることを意味する。そのため、パルスレーダであるPALSAR-2のRF(Radio Frequency)放射時の負荷電流が約20A程度変動するALOS-2では、大きな課題であった。

ALOS-2では、この課題をPALSAR-2側のRF放射電力の立ち上がり時間を抑制することによって解決した。この対策は、特にPALSAR-2側の観測性能を制限するものではない。

ALOS-2の負荷変動に対応できれば、光学観測衛星のように、負荷電流変化量が比較的小さな衛星には十分に対応できる。図2に負荷電流変化量に対応した電流変化率の許容レベルを示す。

また、最大出力120Aを超える負荷電流を必要とする衛星、又は、発生電力の変化が大き

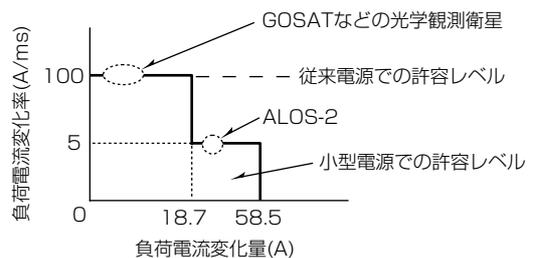


図2. 負荷電流変化量に対応した電流変化率の許容レベル

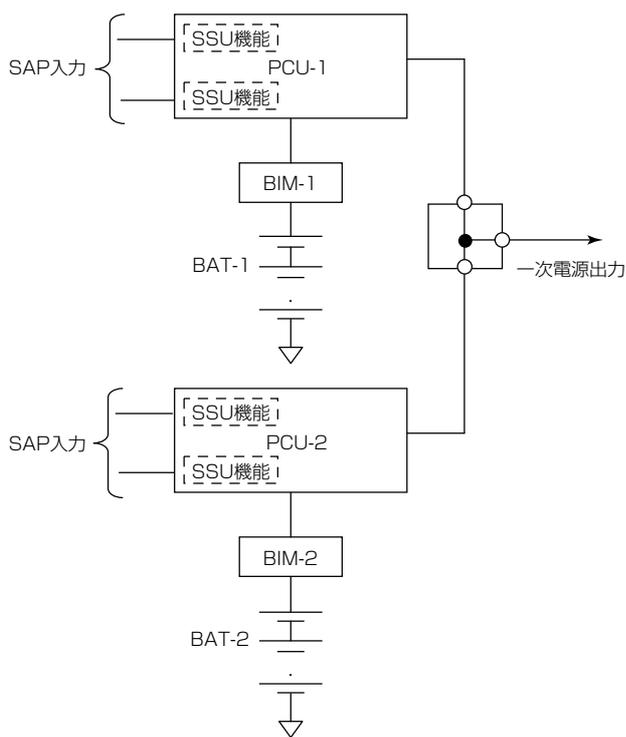


図3. 小型電源の2並列運転構成(ALOS-2拡張型)

く、PCU 1 台で余剰電力処理ができない衛星には、図3に示すように、2台並列運転の構成とすることによって対応できる。

3. 高速マルチモード変調器 XMOD

高速マルチモード変調器は、周回衛星で従来使用されているQPSK(Quadrature Phase Shift Keying)に加え、アナログ変調装置では実現が困難である16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)変調機能を持つマルチモード変調器である。図4にXMODの機能ブロック図と外観を示す。

この変調器の最大の特長は、理想的なナイキスト波形を生成することによって、理想状態に近い回線品質の実現が可能になっているという点である。表1に従来型との復調損失の比較を、図5にBER(Bit Error Rate)特性をそれぞれ示す。

表1のDEAF(Digital Equalization Automatic Filter)とは、通信路のフィルタ特性を推定し、逆フィルタを通して信号を矯正する機能である。このDEAF機能を併用すれば、QPSK(200Mbps, 400Mbps)の復調損失はほぼ0dBとなる。16QAM(800Mbps)に関しては、DEAFがOFFの状態では、BERは悪いが、DEAFがONの状態では、1.3~1.6dB程度と良好な値となる。16QAMのBERが悪い理由は、通信路における周波数特性の非対称性に関して16QAMが敏感であることなどによる。

なお、16QAM(800Mbps)に関しては、偏波多重化を行うことによって、2倍の伝送速度(1.6Gbps)の達成が可能となる。図6に1.6Gbps伝送系の構成を示す。

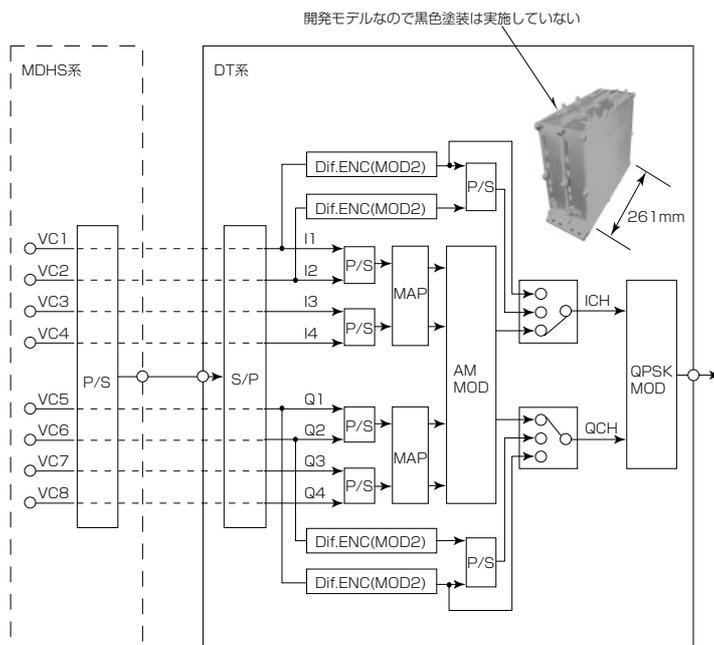


図4. XMODの機能ブロック図と外観

表1. Xバンド変調装置復調損失(注1)の比較

アナログ変調装置 (GOSAT:実測値)	高速マルチモード変調器(XMOD) (ALOS-2:実測値)
1.5~2.0dB (138.76Mbps)	<ul style="list-style-type: none"> QPSK(200Mbps, 400Mbps) 0.0~0.2dB(復調側DEAF ON) 0.5~1.0dB(復調側DEAF OFF) 16QAM(800Mbps) 1.3~1.6dB(8CH平均)

(注1) BER=5E-04を実現するEb/N0の理想状態との差

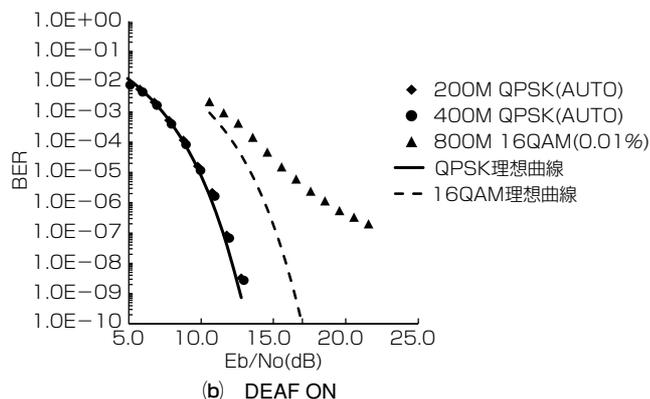
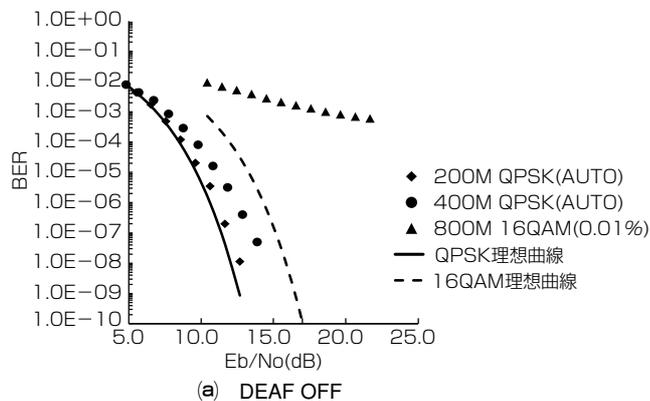


図5. XMODのBER特性

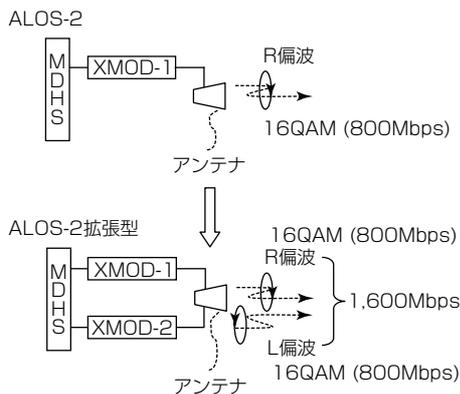


図6. 16QAMの偏波多重化による1.6Gbps伝送系の構成 (ALOS-2拡張型)

4. 観測テーブル方式

観測テーブル方式とは、バス系の蓄積コマンドに頼ることなく、ミッション機器に観測計画情報を登録し、軌道イベントをトリガーとして、ミッション機器各部の制御を行う方式をいう。

この方式は、バス系の設計に影響を与えないので、衛星全体の開発リスクが低減すると同時に、機器各部の同期性を確保した確実な観測動作が実現でき、かつ観測計画情報を集約して登録できるのでコマンド送信時間が極めて短くなる。一方試験性の観点からもミッション機器側単独で運用を模擬した試験が実施できるなどのメリットが大きい。表2にALOS-2における非観測テーブル方式と観測テーブル方式のコマンド送信時間の比較を示す。観測テーブル方式の採用によって送信時間は約1/4に短縮されている。

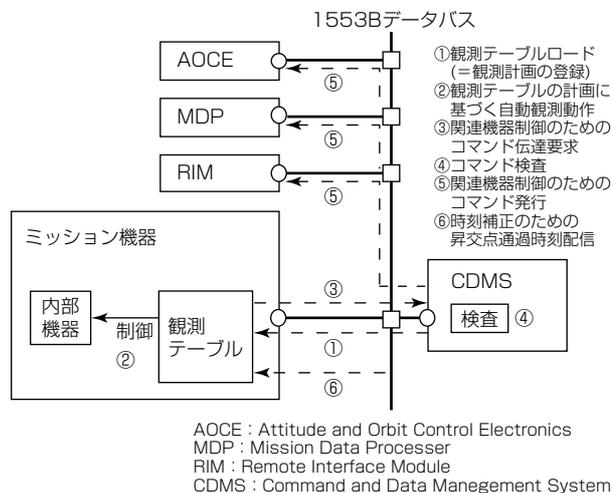
ただし、地球観測衛星にこの方式を適用するためには、2つの課題が発生する。1つは、観測動作は時刻ではなく、軌道をトリガーにしなければならない点、もう1つは、観測動作と姿勢制御とのタイミングなど、周辺機器との同期性を考慮しなければならないという点である。

軌道をトリガーにする点に関して、ALOS-2では観測計画は、すべて軌道上の位置(緯度引数)をパラメータとして登録し、GPS(Global Positioning System)時刻をトリガーとして観測動作を実行する。そのため、GPS時刻と緯度引数の関係は常時ミッション機器側で管理され、軌道パラメータの変化に対応して、逐次観測動作を実行するGPS時刻を更新する必要がある。

PALSAR-2では、これらの要求事項を満足させるために、定期的に時刻タグを付加した観測計画を更新する設計となっているが、軌道計算に不慣れたユーザーにとっては

表2. 観測テーブル方式と観測テーブル方式のコマンド送信時間の比較(コマンド速度=4Kbps)

No.	項目	単位	非観測 テーブル方式	観測 テーブル方式
1	観測設定コマンド数	-	4	4
2	MDP記録モード変更コマンド数	-	8	-
3	姿勢変更コマンド数	-	24	-
4	2日分のアップロード時間	分	5.2	1.2



AOCE : Attitude and Orbit Control Electronics
 MDP : Mission Data Processor
 RIM : Remote Interface Module
 CDMS : Command and Data Management System

図7. 観測テーブルを使用した観測動作におけるデータの流れ

難所の1つである。ALOS-2の後継衛星では、姿勢軌道制御系の支援によって、ユーザーが取り組みやすいパラメータを加工して配信することを計画している。

第2の課題である周辺機器とのインタフェースに関しては、PALSAR-2と周辺機器との連携動作を行うために、1553Bデータバスをネットワークとして利用して、ミッション機器から周辺機器への動作要求(コマンド)を発行する方式“リクエストコマンド機能”を採用した。図7にリクエストコマンド機能を含む観測動作の流れを示す。

この方式は、従来のバス系という“上流”から“下流”であるミッション機器にコマンドを流す方式ではなく、“下流”の要求を“上流”が吸い上げて、内容を検査した上で再度“下流”に流すという概念であり、ALOS-2がはじめての試みとなる。これによって、ミッション機器主体での観測運用が可能となり、かつ周辺機器との同期性もバス系の設計変更なしに実現できる。

5. むすび

ALOS-2で開発した新規要素について述べた。取り上げた3項目は、ALOS-2だけでなく、将来、高度化する要求への拡張性を十分に備えたものである。