



### 特集



宇宙機システムをよりスマートに

次世代ソフトウェア・アーキテクチャの研究

人工衛星の地球再突入時に分解・消失する  
複合材推進タンクの開発

## 「だいち2号」に搭載 XMODでデータ高速伝送時代を拓く

地球表面の鮮明な画像データを送り始めた「だいち2号」。

観測データを電波に変調する装置には、

地球観測衛星としては

世界最高速度(800Mbps)を実現する

「X帯高速マルチモード変調器(XMOD)」が

初めて搭載され、大容量データの

高速伝送を支えています。



話を聞いた人

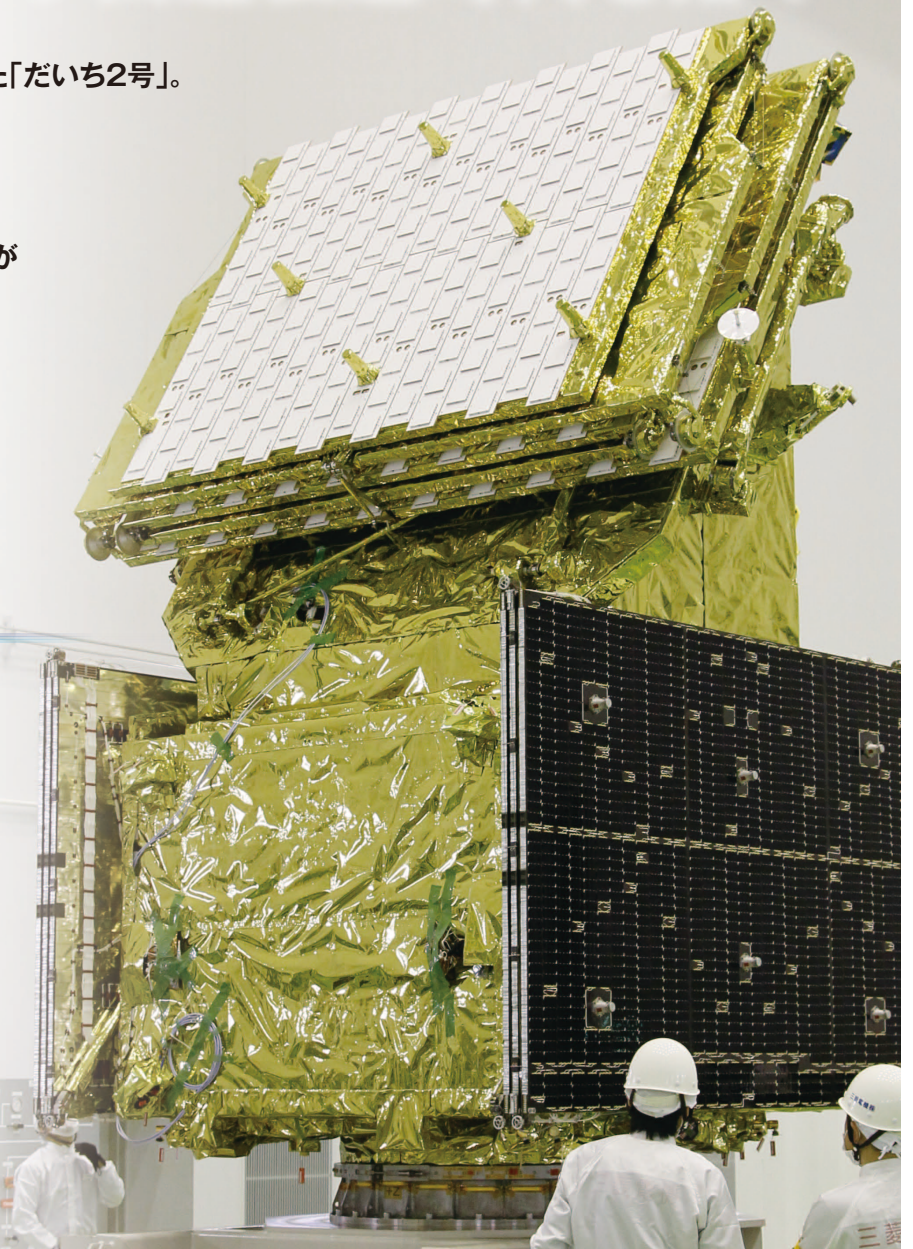
稲岡和也

INAOKA kazuya

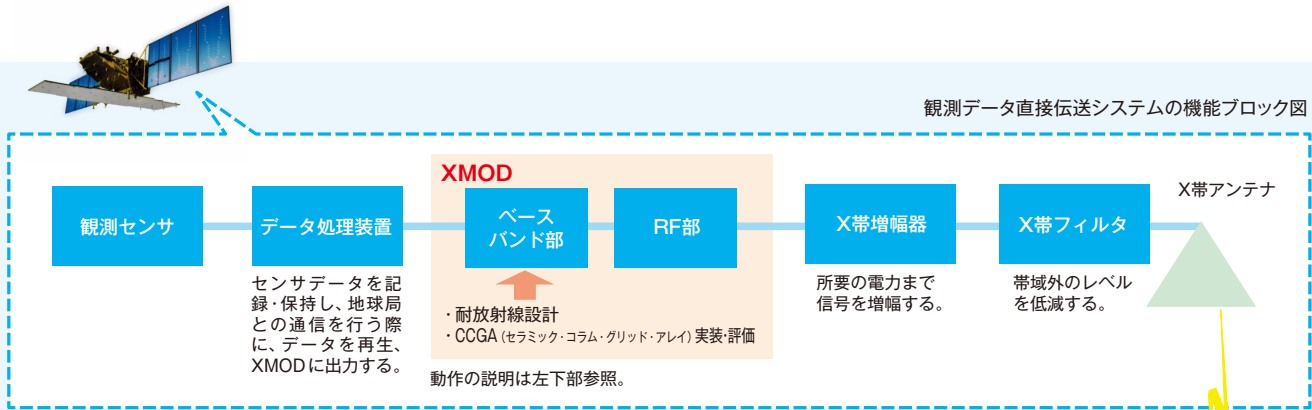
通信・データ処理グループ 開発員

### 「だいち2号」の膨大なデータを 迅速に伝送するために

2014年5月24日、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)がJAXA種子島宇宙センターから打ち上げられ、6月には初となる鮮明な観測画像を地上に伝送しました。今後は、災害時の状況把握、森林伐採の監視、海水の観測などへの本格的な活用が期待されています。「だいち2号」は一度に広い範囲の地表を精密検査します。そのため、観測データは膨大になりますが、そのデータを迅速に地上へ伝送するために、「X帯高速マルチモード変調器(XMOD)」という新たな変調器が搭載されています。通信・データ処理グループは、次世代の宇宙機データ送信を支えることを目的として、この装置を開発しました。



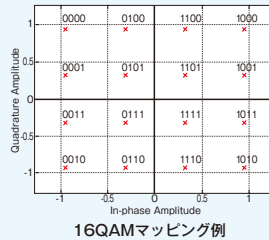
2014年5月に打ち上げられた「だいち2号」

**ベースバンド部：**

データ処理装置からのデータを、16QAMまたはQPSKのデジタル変調を行うことでベースバンド信号を生成する(右図参照)。ベースバンド信号は帯域制限された後、D/A(デジタル/アナログ)変換器でアナログ信号に変換され、RF部へ出力する。

**RF部：**

ベースバンド部から出力された信号を直交変調器によって、X帯(8GHz帯)RF信号に変換する。



**X帯地球局：**  
X帯RF信号を受信・復調し、データを取得する。



XMOD本体  
標準寸法は176.0mm×97.4mm×259.1mm

変調器とは、情報を電波に乗せる装置です。地球観測衛星では、変調器を使って観測データを、X帯(8GHz帯)の電波に乗せて、地上局に送信しています。

「だいち2号」に搭載されたXMODは、地球観測衛星として世界最高速度である800Mbpsでの通信を可能にします。従来の方式との大きな違いは、16QAMとよばれる一度に16通り(4ビット)の値を扱える変調方式を採用したことにあります。従来の方式であるQPSKでは4通り(2ビット)でした。16QAMは地上の変調器ですすでに普及している変調方式でしたが、宇宙機への採用はチャレンジングなものでした。

**初採用のリスクを乗り越える**

「宇宙機で使用する部品は実績が重視されます。また、宇宙放射線の影響に対する処置も必要です。しかし、800Mbpsを実現するために、XMODでは今までの宇宙機では使用していなかった高性能な部品の採用に踏み切りました」。通信・データ処理グループの稲岡和也開発員はこう話します。

XMODの心臓部であるベースバンド部には、JAXAの宇宙機では初採用となるSRAM(読み込み、書き込み可能な揮発メモリ)ベースのFPGA(プログラム書き換え

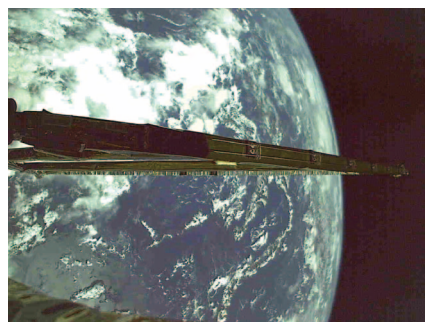
可能な集積回路)を使用しました。

「800Mbpsを達成するには開発当時、宇宙用FPGAで最も高速で動作するSRAMベースFPGAの採用が不可欠でした。」

しかしながら、SRAMの特性上、宇宙放射線の影響によりSEU(シングルイベントアップセット)等の現象が起き、これを起因とするソフトエラーが発生する可能性があります。そこで信頼性を確保するため、以下の対策を講じました。

まず、FPGAのプログラム領域を定期的には上書き(スクラビング)する機能を実装しました。この機能により、プログラム領域で起きる放射線エラーを放置せずに対処します。加えて、スクラビングで復帰できない放射線エラーも想定し、エラーを検知した際に自動的にエラー発生前の状態に復帰させる機能を加えました。さらに、主要な回路を3重化し、1つの回路でエラーが発生しても、多数決判定により、正常動作を維持することを可能にしました。

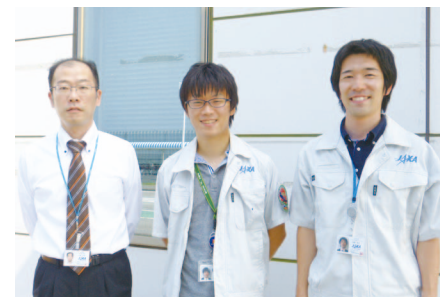
もう一つ大きな挑戦がありました。SRAMベースFPGAは、1140本のピンが格子状に1mm間隔で並んだCCGA(セラミック・コラム・グリッド・アレイ)とよばれるパッケージ構造であり、全ピンの目視検査を行うことはできないことと、FPGAと基盤との熱膨張率の違いで、はんだ接合部



パドル展開中の「だいち2号」  
XMODにより送信された画像

にストレスが発生するという課題がありました。そこで、熱膨張率の低い基板を採用するなど、熱によるストレスを極力抑えました。また、JAXAで初採用のパッケージ構造であったため、入念に振動、衝撃、熱衝撃等の評価試験を行いました。その結果、想定する宇宙環境下で十分な耐性を有することが確認でき、CCGAの実装・検査工程のプロセスを確立することができました。

これらの取り組みにより、今後の宇宙機搭載コンポーネントの高性能化を先導する技術の基礎を築いたといえ、コンポーネント開発の基盤技術の向上に大きく貢献したと考えています。



XMODの開発に携わったスタッフ  
左より、谷島正信 通信・データ処理グループ長、  
稲岡和也 開発員、田島成将 開発員

**地球観測衛星用変調器のスタンダードとして**

こうして「だいち2号」に搭載されたXMODは、衛星から地上へのデータ伝送量が大容量化する時代に答えるための装置といえます。XMODは様々な衛星からの要求に対応するために、800Mbps(16QAM)だけでなく、400Mbps(QPSK)、200Mbps(QPSK)の3つのモードを有します。今後、XMODは地球観測衛星用変調器のスタンダードとして、各種衛星に搭載されていく予定です。

# 宇宙機システムをよりスマートに 次世代ソフトウェア アーキテクチャの研究



新たなソフトウェア・アーキテクチャの研究対象となっている  
小型人工衛星「SDS-4」

小型人工衛星を対象に、次世代ソフトウェアアーキテクチャを開発するための研究を宇宙実証研究共同センターが進めています。人工衛星などの宇宙機システムの開発効率化や、機能や利便性向上などが期待されます。

話を聞いた人



**中島 佑太**

NAKAJIMA Yuta

宇宙実証研究共同センター  
開発員



**森下 拓往**

MORISHITA Hiroyuki

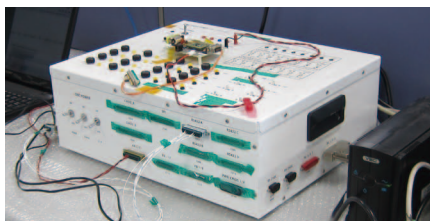
宇宙実証研究共同センター  
開発員

## ソフトウェア構成を レゴブロックのように

人工衛星などの宇宙機システムは、ハードウェアとソフトウェアで構成されています。例えば、衛星に装備されるカメラなどの装置はハードウェアですが、装置を動作させるのはソフトウェアです。

宇宙実証研究共同センターは、宇宙機におけるサービス、ソフトウェア及びハードウェアの構成と関係性を見直すことで、衛星開発の効率化やサービス、利便性の向上につなげようとする研究を進めています。

「レゴブロックのパーツは大きさや形が決まっているし、はめ込むポッチの規格寸法も同じため、パーツの取り付けや置き換えが簡単です。もしこれを材木と接着剤でやろうとすれば大変です」。この喩え話をするのは、同センターの中島佑太開発員。従来の衛星におけるソフトウェアの構成はいわば“材木-接着剤”型でした。同グループ



ソフトウェア検証実験装置

は、2012年に打ち上げられた小型衛星「SDS-4」開発時に、「同じやり方で、衛星を10機、20機と作るのは厳しい」と課題を認識しました。そこで、ソフトウェアの構成要素をコンポーネント化し、ソフトウェア各層のインターフェイスの仕様を統一化する、“レゴブロック”型のソフトウェア構成を目指すことになりました。

## 利点は効率化、システム連携、 異分野融合と様々

宇宙機システムのソフトウェア構成が刷新されると、様々な利点が得られそうです。

一つは開発の効率化です。ソフトウェアのコンポーネントを入れ換えるだけで済むようになれば、設計変更の影響を最小限にとどめられます。新たな機能も追加しやすくなります。

実用面にも利点があります。例えば、衛星システム間でソフトウェア構成を共通化することで、衛星と衛星間や、衛星と地上間の、連携や機能分散を進められます。

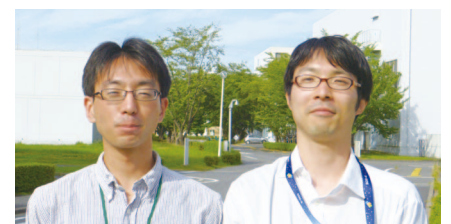
将来的には、生活面の利便性も高まるかもしれません。人工衛星のソフトウェア構成が確立し体系化すれば、自動車、飛行機、電子機器、ロボットなどの異分野の製品との間でのサービス連携が検討されやすくなり、利便性が高まると期待できます。同グループの森下拓往開発員は、「衛星と

飛行機を連携させた写真提供サービスの検討や、サービス間の比較もしやすくなります」と話します。

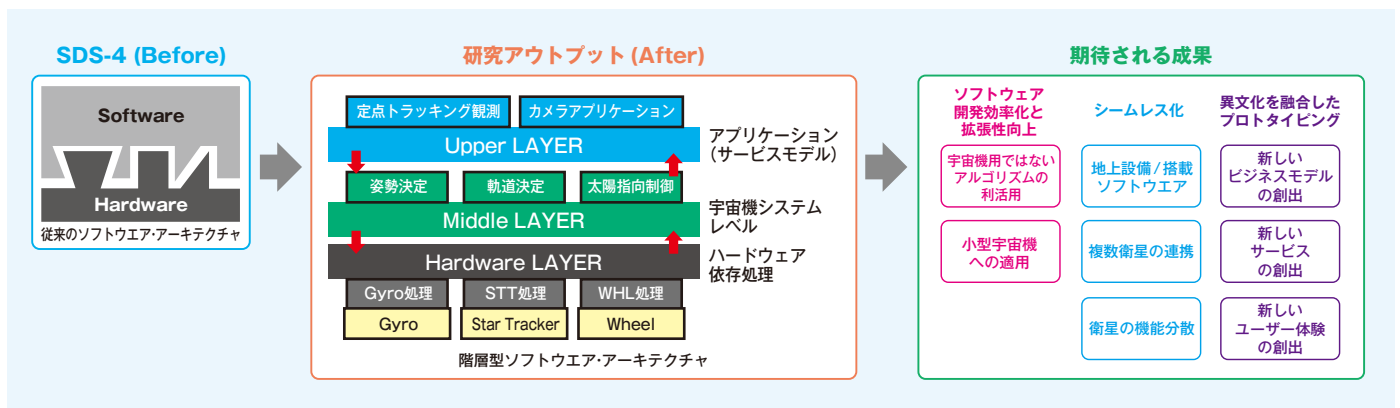
## 人工衛星にロボットOSを 適用して検証

現在、同グループは、SDS-4の姿勢制御系ソフトウェアに「ROS」というOSを導入した場合の成果や課題を検討しています。ROSは、ロボット分野の標準OS。オープンソースで開発が進められており、宇宙開発とは違う分野にあるコミュニティの存在が導入のポイントです。

「今後は、ROSコミュニティと宇宙開発の相乗効果が狙えるような研究課題についても検討していきたい。究極的には、アーキテクチャを通じて抽象度の高い全体サービス設計が可能となり、宇宙と異なる分野をつないだサービスがたくさん生まれる状況になることが理想です」(中島開発員)。



次世代ソフトウェア・アーキテクチャの研究に携わったスタッフ  
左より、三浦尚幸 開発員、西村尚樹 開発員

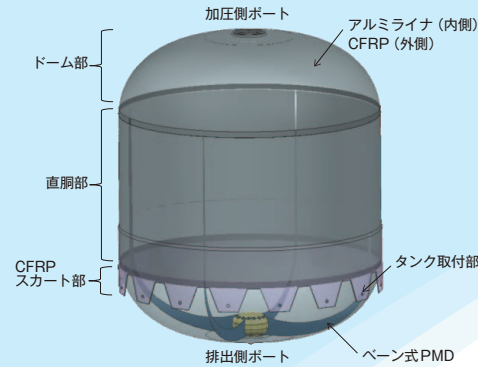


研究開発の概念図。アーキテクチャをコンポーネント化させると様々な利点を得られる可能性がある

研究  
開発

# 人工衛星の地球再突入時に 分解・消失する 複合材推薬タンクの開発

人工衛星の推進燃料タンクが地球再突入時に燃え尽きず、地上に落下する場合があります。世界的な課題となっています。推進系グループは、再突入時に熔融、消失するだけでなく軽量、低コストで産業的にも競争力を持ったタンクの開発を進めています。



複合材推薬タンクの構造  
推薬及び加圧ガスの充填・排出は天地のポートで実施、直胴部の長さを変えることでタンクの容積を変える

## 熔融性と他の機能性を 兼ね備えたタンクを目指す

人工衛星が地球に落下するというニュースを聞くことがあります。寿命を迎えた人工衛星の多くは大気圏再突入時に燃え尽きますが、一部は燃え尽きず地上に落ちてくるため、地上での被害のリスクがあります。

人工衛星の部品の中でも、“燃え尽きにくい”のが、軌道・姿勢制御エンジン用の液体推薬が入ったタンクです。材料の融点の高さ、形状、大きさなどが燃え尽きにくい理由です。

熔融しやすい推薬タンクを開発する。この課題にいま、推進系グループは取り組んでいます。JAXA安全・信頼性推進部から

の要請を受け、研究開発に着手しました。

人工衛星に使われる従来のタンクの多くはチタン合金製です。同グループの増田井出夫主任開発員は、「性能を保ちながら、低コスト、短納期で熔融性の高い推薬タンクの開発に取り組んでいます」と話します。

ポイントは材料の選定。チタン合金より融点が低く、かつ軽量で強度を考えた結果、アルミ合金製のタンク全体に、カーボンファイバ強化プラスチック(CFRP)の繊維を巻いて覆う構成をとることにしました。

## 耐用年数は15年以上 世界の人工衛星タンクのエースへ

開発中のタンクは、アルミ合金とCFRPからなるため「複合材推薬タンク」とよばれています。同チームは、性能や安全性を、様々な解析や実験で評価しました。熔融性については、解析だけでなく、構造技術研究グループ及び風洞技術開発センターの協力を受けレーザー加熱試験やアーク加熱風洞試験で確認。また、無重力環境でも推薬がエンジンに供給できることも落下棟を使った微小G試験で確認しました。様々な評価の中で、推薬のヒドラジンにタンク材料が溶け出さないか、変質して材料強度

が落ちないかは重要な課題でした。実験の結果、15年以上問題ないことが確認されています。

世界の宇宙機関等も再突入時に地上被害を起こさないタンクの開発を進めていますが、「従来のタンクと同様の質量で、かつ安価、短納期といった点がJAXAのタンクの強みとなります」(升岡開発員)。

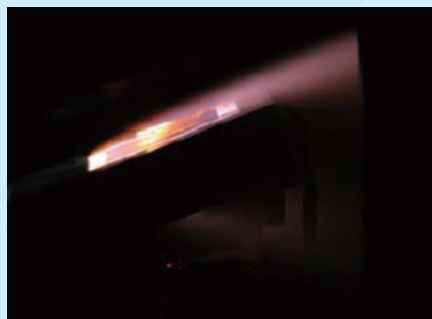
今後は、試作と認定を行う予定です。世界の人工衛星の標準的なタンクとしての実用化が期待されています。

話を聞いた人  
推進系グループ

左より、池田博英 推進系グループ長(代理)、増田井出夫 主任開発員、香河英史 技術領域リーダー、升岡正 開発員



持っているのは従来型チタンタンク



アルミ合金とCFRPの複合材を再突入空力加熱環境にさらし熔融性を評価

## シンポジウム・ワークショップ開催のお知らせ

最新の研究成果、内外の関連分野の動向などをご紹介しますとともに幅広い情報交換の場としても活用して頂きたい、多くの皆様のご参加とご来場をお待ちいたしております。

### 【第11回宇宙環境シンポジウム】

開催日: 12月10日(水)~11日(木) 会場: 大阪府立大学「I-siteなんば」

詳細はHPをご確認ください。

<http://www.ard.jaxa.jp/publication/event/2014/141210.html>

### 【第6回スペースデブリワークショップ】

開催日: 12月17日(水)~19日(金)

会場: JAXA 調布航空宇宙センター 事務棟1号館講堂

詳細はHPをご確認ください。

<http://www.ard.jaxa.jp/publication/event/2014/141217.html>

## お知らせ: REX-Jプロジェクトの開発・運用に貢献された企業・大学に感謝状を授与!

2014年7月8日(火)研究開発本部は、REX-Jプロジェクトの開発/運用を通じて、プロジェクトの成功に協力/貢献された企業・大学に対し、その功績を称え、感謝状を授与しました。授与しました企業・大学とその貢献・功績は以下の通りです。今後も引き続きご協力をお願い申し上げますとともに、より一層のご発展をお祈りします。

- ・三菱重工業株式会社(ロボットシステムの統合・開発)
- ・株式会社ウェルリサーチ殿(伸展式ロボットアームの開発)
- ・THK株式会社(ロボットハンドの開発)
- ・株式会社エイ・イー・エス殿(開発・運用・実験データ解析の支援)
- ・国立大学法人東京工業大学殿(開発・運用・実験データ解析)
- ・学校法人東京理科大学殿(小型カメラの開発)
- ・国立大学法人東北大学殿(実験データ解析: ロボットの動力学解析)



研究開発本部 広報誌  
宇宙開発最前線!  
2014年10月発行

発行: JAXA(宇宙航空研究開発機構) 研究開発本部  
発行責任者: JAXA研究開発本部 研究推進部長 今井良一  
〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1  
TEL:029-868-5000 FAX:029-868-5969  
ホームページ: <http://www.ard.jaxa.jp/>

