

リモートセンシング事業を迅速に 立ち上げる標準プラットフォーム 「NEXTAR」

檜原 弘樹・吉田 禎仁・棚町 健彦
隈下 恭介・小林 明秀

要 旨

NECは通信・放送衛星、気象衛星、地球観測衛星、科学衛星から宇宙ステーションにいたる多様な宇宙機システムを製造し、運用した実績を持つとともに、地球に帰還した「はやぶさ」により、地球周回軌道や静止軌道に加え、月・惑星軌道においても、宇宙機を自在に運用する技術を有することを示しました。これらの実績を集約した「NEXTAR」標準プラットフォームは、公共機関や民間事業者が観測センサや通信機器を用いたリモートセンシング事業を短期間に立ち上げることを可能にします。

キーワード

- 小型衛星 ●Operationally Responsive Space (ORS) ●SpaceWire ●ユビキタス
- 太陽電池 ●トリプルジャンクション ●リチウムイオン電池

1. まえがき

電波領域から光にわたるさまざまな波長の撮像データを活用するリモートセンシング事業には、温度差が大きく高濃度の放射線に曝される宇宙空間でも、間断なく継続して運用することのできる信頼度の高い人工衛星が求められます。

また、事業機会を逸さないように迅速にリモートセンシング事業を立ち上げるためには、観測センサを短期間で人工衛星に搭載して軌道上に配備し、稼働させる必要があります。

「NEXTAR」（NEC Next Generation Star）標準プラットフォームは、これらの要望に応えるため高信頼性を保ちつつ、短期間でシステムインテグレーションを完了させる開発のフレームワークを提供します。

本稿では、標準プラットフォームを構成する衛星マネジメント系、電源系・太陽電池パドル系、姿勢軌道制御系、及び構体系・熱系について述べます。

2. 衛星マネジメント系

NEXTAR標準プラットフォームのデータ処理を担う衛星マネジメント系は、下記で構成されます。

- ・汎用コンピュータ（Space Cube2）
- ・テレメトリ・コマンドインタフェースモジュール
- ・SpaceWireルータ
- ・ネットワークデータレコーダ
- ・標準ミドルウェア
- ・ソフトウェア開発キット

これらは従来の人工衛星のサブシステムと比べて以下の点を改善し、汎用化を実現しました。

(1) 耐放射線性デバイス

宇宙放射線により引き起こされるデータ反転などのソフトウェアエラーや、過剰電流によるラッチアップなどを防止するために、マイクロプロセッサやルータなどの主要デバイスを、優れた耐放射線性を有するSOI（Silicon on Insulator）プロセスで製造しました。これにより太陽系内の放射線環境では、ほぼエラーフリーとなる高信頼性を実現しています。

(2) 高速・汎用組込みネットワークSpaceWire

主に欧州・米国・日本・ロシアで国際標準化を進めている、組込みネットワーク規格のSpaceWire RMAP（Remote Memory Access Protocol）を採用しました。宇宙システム機器に用いるネットワーク規格としては、初めて日本案が国際標準案に反映されました。後述する搭載コンピュータに

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」

より、地球周回軌道において世界で最初にプロトコル実証が行われ、国際標準規格の策定過程において、NECを始めとした日本企業の貢献が認知される実績を残しました¹。本規格はシリアル通信の速度として、電氣的インタフェースにより400Mbpsまで、それ以上は光インタフェースをサポートします。電氣的インタフェースにはアナログPLLを用いず、すべてデジタル回路により当該性能を実現します。このため、高速な通信インタフェースを有するシステムLSIを実現するに当たり、輸出管理上の制約が少ないASIC (Application Specific Integrated Circuit) やFPGA (Field Programmable Gate Array) を自在に選択でき、宇宙システム事業を海外展開しやすくなっています。

(3) 汎用組込みコンピュータ

従来の人工衛星では、データ処理や姿勢軌道制御サブシステム、及び観測センサなどのミッション系サブシステムごと、それぞれ専用の組込みコンピュータを用いることが一般的でした。NEXTAR標準プラットフォームでは近年のマイクロプロセッサの性能向上とLSIの高集積化を反映し、これらサブシステムの制御に共通で利用可能な汎用コンピュータとして「Space Cube2」を開発しました。写真1に本機の外観を、表に諸元を示します。

開発品種を集約することにより、集中的なASIC化と基本ソフトウェアの開発を行い、外形寸法が従来品の1/8と小型化を達成し、人工衛星バスの小型化に貢献しています。本機は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 殿の技術実証衛星である



写真1 Space Cube2

表 Space Cube2諸元

SpaceWire interface	8ch(nominal)
UART interface	2ch
Size(mm)	71(W) × 220.5(D) × 175.5(H)
Weight	1.9kg(nominal)
Power consumption	14W(nominal)

SDS-1に搭載され、軌道上実証を問題なく完了しています。

(4) 標準ミドルウェア/ソフトウェアデザインキット

Space Cube2には、基本ソフトウェアとしてTRONをベースとしたリアルタイムオペレーティングシステム (RTOS) を搭載しています。TRON仕様のRTOSは、わが国の産学連携により開発され、組込み機器市場において使われているRTOSの約60%を占めており、廉価で高品質なアプリケーションを構築しやすく、ソフトウェア開発技術者を育成するための技術教育環境が充実しています。

このRTOSに宇宙機システムの高信頼性技術基盤を標準ミドルウェアとして実装し、サブシステム横断的な開発環境の共通化を実現しています。

RTOSと標準ミドルウェアは、NECからオープンプラットフォームとして提供されているSystemDirector Developer's Studio Embedded (SDDS/E) に統合され、Eclipseをベースとした組込みソフトウェア統合開発環境として提供されます。この開発環境は、クラウド技術をベースとしたNECのポータルサイトから一元的に提供され、確実な版数管理と構成管理を実現します。これにより、サードベンダや事業者との共同開発によるビジネス展開も可能です。

このように標準プラットフォーム化することにより、各事業者のリモートセンシング対象や事業規模、運用形態、及びシステム運用期間に柔軟に適合し、迅速にインテグレーションを行い、宇宙機システムを早期に軌道上で引き渡すことを可能としています。

3. 電源系・太陽電池パドル系

電源系・太陽電池パドル系には、低軌道地球周回から深宇宙探査まで対応でき、かつ少ない機器数、小型軽量、低コスト

¹ JAXA殿の次期X線天文衛星ASTRO-HIに新しい「ネットワーク型衛星」のアーキテクチャを反映するためにJAXA宇宙科学研究所殿との共同研究が行われ、NECが中心となって仕様策定と実装を行いました。

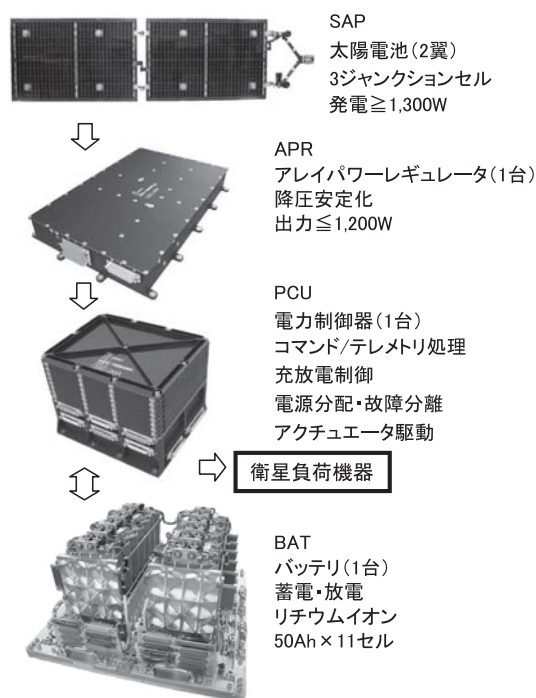


図1 電源系・太陽電池パドル系

トな電源機器と太陽電池パドル (SAP : Solar Array Paddle) を開発し、採用しています。

電源方式には、SAP出力を直列に接続したレギュレータ (APR : Array Power Regulator) で降圧安定化するシリーズ方式を採用し、太陽距離によって大きく変化する太陽電池電圧を安定化しています。また、レギュレータの出力にバッテリー (BAT) と衛星内の各機器を直結するバッテリーバス方式を採用し、太陽電池出力の安定化制御とバッテリー充電制御をAPRの出力制御のみで行います。

SAPは、トリプルジャンクション (3接合) の高効率太陽電池セルを、BATは50Ahの大容量リチウムイオンバッテリーを採用しています。

電力制御器 (PCU) は、SpaceWire方式のデータバスインタフェースをもち、かつ高密度実装によって高機能、小型軽量化を実現しています (図1)。

4. 姿勢軌道制御系

姿勢軌道制御系 (AOCS : Attitude and Orbit Control

Subsystem) は、衛星の姿勢と位置を検出するセンサの情報に基づき姿勢と軌道位置を決定し、アクチュエータを駆動して姿勢と軌道を制御するサブシステムです。AOCSの機能・性能要求は衛星のミッション要求に大きく依存するので、機能・性能やセンサ・アクチュエータ機器構成は衛星ごとに異なり、それらを統括して制御する姿勢軌道制御搭載計算機 (AOCE : Attitude and Orbit Control Electronics) は繰り返しの生産が難しく、計画のたびに開発・検証が必要なサブシステムでした。

SpaceWire技術を導入することにより、カタログ化したメニュー選択方式で、いかなるミッション要求にも対応可能とするハードウェア/ソフトウェアのモジュールレベルでの標準化を図った「標準プラットフォームAOCS」を実現しました。

- (1) AOCEのインタフェース部分を個別のコンポーネント (ACIM) とし、衛星ごとの機器構成に合わせたACIMを組み合わせて使用することで、AOCEの繰り返しの生産を実現しました。ACIM-AOCE間はSpaceWire接続により、追加・変更による設計変更が不要となり、またAOCEはデータ処理系と同型の計算機 (SMU) で実現しました (図2)。
- (2) センサ・アクチュエータは、ミッション要求に合わせて同一メーカーの機種 (Type) のみを変更することで同一インタフェースを維持し、ACIMと搭載ソフトウェアの共通化を図りました。
- (3) 姿勢制御搭載ソフトウェアは、標準衛星+今後想定される派生形の衛星 (5種類) を考慮して制御モードを共通化し、各機能をモジュール化することで、ソフトウェアの繰り返しの生産化を図りました。

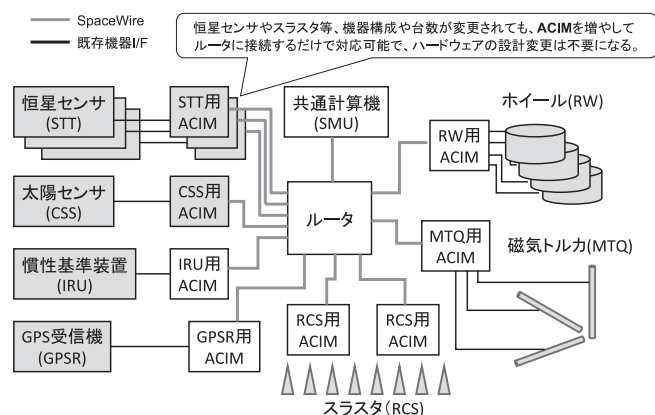


図2 ACIMのSpaceWire接続によるAOCE可変構成

5. 構体系・熱系

構体系は、衛星の基本構造体を形成し、すべての搭載機器を支持または収納するサブシステムで、各搭載機器の機械環境条件を所定の範囲に維持する機能を有します。

NECでは、500kg級の打ち上げ質量に対応する小型標準バス構体、及び2t級の打ち上げ質量に対応する中型標準バス構体を既に開発済みです。小型標準バス構体は、経済産業省殿の先進小型衛星 (ASNARO) プロジェクトやJAXA殿の小型科学衛星 (SPRINT-A) プロジェクトに採用されています。また中型標準バス構体は、JAXA殿の地球環境変動観測ミッション (GCOM) プロジェクトに採用されています。これらの小・中型標準バス構体は、海外ロケットを含む複数のロケットに適合するとともに、さまざまな観測機器の搭載が可能な標準的インタフェースを有する標準プラットフォーム・構体系となっています。更に現在、JAXA殿の静止観測衛星バスシステム軽量化研究を受注し、構体系の大幅な軽量化に取り組んでおり、今後、より使いやすい構体系を提供していきます。

熱制御系は、宇宙空間において衛星が著しい高温・低温環境に曝されても、衛星に搭載された機器の温度を適切に制御・維持するものです。宇宙空間における温度環境は、地球低軌道と地球静止軌道では大きく異なります。また、地球から離れた惑星においては、地球周回軌道以上に厳しい温度環境に曝されます。NECは地球周回衛星だけではなく、地球周回衛星以上に熱制御が難しい「はやぶさ」「あかつき」など、惑星探査機の熱制御系も開発した実績を有しています。

NECは、小型標準バス・中型標準バスの熱制御系において、上述した惑星探査機で培った熱制御技術も活用して、さまざ

まな軌道・姿勢・ミッションに柔軟に適應できる熱制御技術を構築しています。既にこれらの熱制御技術は、SPRINT-AやGCOMなど小型・中型衛星に採用されており、SPRINT-Aでは熱設計を検証するための熱モデル試験を完了しました。NECは今後も、さまざまなミッション要求に応じられる熱制御技術を提供していきます (写真2)。

6. むすび

NEXTAR標準プラットフォームは、100kg級から2t級にわたる人工衛星を活用したリモートセンシング事業を迅速に立ち上げ、高い信頼性により長期間にわたって安定してビジネスを展開することを可能にするアプリケーション開発基盤です。

本システムの開発に当たり指導いただいた、JAXA殿、経済産業省殿、新エネルギー・産業技術総合開発機構殿、無人宇宙実験システム研究開発機構殿に感謝いたします。

*Space Cubeは、独立行政法人宇宙航空研究開発機構とシマフジ電機株式会社の商品または登録商標です。

*TRONは、"The Real-time Operating system Nucleus"の略称です。

*Eclipseは、Eclipse Foundationの商品または登録商標です。

執筆者プロフィール

榎原 弘樹
NEC東芝スペースシステム
技術本部
搭載機器2グループ
エキスパートエンジニア
電子情報通信学会
IEEE各会員

吉田 禎仁
NEC東芝スペースシステム
技術本部
搭載機器2グループ
マネージャー

棚町 健彦
NEC東芝スペースシステム
技術本部
制御グループ
シニアエキスパート
計測自動制御学会会員

隈下 恭介
NEC東芝スペースシステム
技術本部
熱・機械グループ
マネージャー

小林 明秀
NEC東芝スペースシステム
技術本部
熱・機械グループ
マネージャー

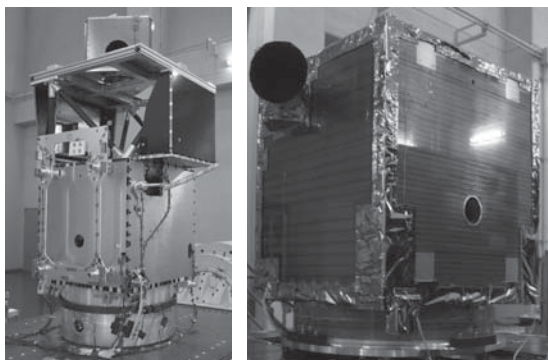


写真2 ASNARO振動試験 (左) と熱モデル試験 (右)

NEC 技報のご案内

NEC 技報の論文をご覧くださいありがとうございます。
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ
宇宙特集によせて
宇宙事業ビジョンとロードマップ
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

◆ 特集論文

ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

ロードマップの実現を支える技術と製品(人工衛星/宇宙ステーション)

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう(JEM)」の開発
金星探査機「あかつき」の開発
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発
月周回衛星「かぐや」の開発
地球観測衛星(陸域観測技術衛星)「だいち」の開発
超高速インターネット衛星「きずな」の開発
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星地上システム)

衛星運用を支える地上システム
衛星データの利用を促進する画像処理システム

ロードマップの実現を支える技術と製品(衛星バス)

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」
衛星機器を構成する標準コンポーネント

ロードマップの実現を支える技術と製品(通信)

衛星通信を支える通信技術
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

ロードマップの実現を支える技術と製品(観測センサと応用技術)

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

ロードマップの実現を支える技術と製品(基盤技術)

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

ロードマップの実現を支える技術と製品(誘導制御計算機)

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

◆ NEC Information

NEWS

NEC C&C財団25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1
(2011年3月)

特集TOP