

SpaceWireネットワーク高信頼化プロジェクトの成果物

湯浅孝行、高橋忠幸、高島健(JAXA/ISAS)、能町正治(大阪大学)

概要

宇宙科学研究所はJAXA産業連携センターの支援のもと、2010年度より3カ年の計画で「宇宙機搭載SpaceWireネットワークの高信頼化プロジェクト」を進めてきた。本プロジェクトの3つの大きな柱は次の通りである。

SpaceWireネットワークの高信頼化(FY2010-2012)

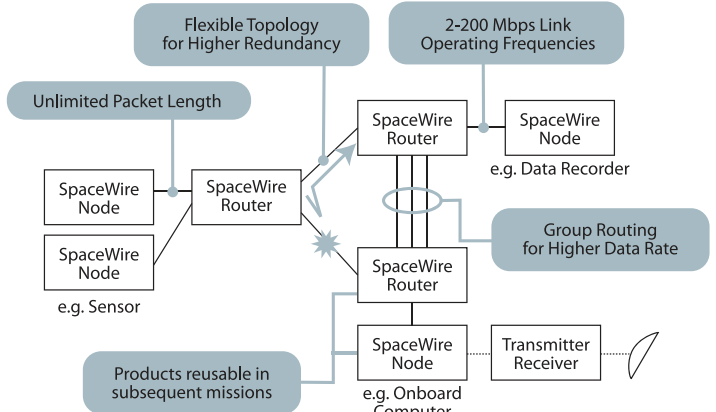
1. R&D用SpaceWireデバイス・試験装置の開発
2. SpaceWireベースのテレメトリ/コマンド試験環境の構築
3. SpaceWireネットワークのリアルタイム性保証プロトコルの研究 → 高田ほかP5-062

本ポスターでは、おもに[1]について「SpaceWire通信とGigabitEthernetをブリッジするインタフェース装置」や「トラフィック生成装置」の開発成果を報告する。また[2]についてASTRO-Hの「衛星制御装置シミュレータ」の開発成果やサブシステム試験での利用状況を報告する。[3]については、名大 高田光隆他によるポスター講演(P5-062)として報告する。

0. SpaceWireインタフェースとは

SpaceWireは、宇宙機搭載コンポーネント間でオンボードデータ通信を行なうためのpeer-to-peerのデータ通信インタフェースで、ESAの主導のもとECSS-E-ST-50-12Cとして標準仕様がオープンに公開されている。JAXA、NASA、Roscosmosといった各極の宇宙機関も、初期の段階から標準策定作業に参加している。SpaceWireを用いる事で、低消費電力・省ロジックリソースながら、高速(2-200Mbps)の宇宙機内データ通信が可能となるため、高速のデータ転送が必要な高解像度センサーや大容量ストレージ等での利用がすすんでいる。また単純なpeer-to-peer通信だけでなく、ルーティングスイッチを用いることで複数のノードから成るネットワークを構築でき、MIL-1553B等共有バス型のインタフェースと比較して宇宙機内データ通信システムの冗長構成の幅を広げることができる。

JAXAミッションでは、SDS-I/SWIM、BepiColombo/MMO、SPRINT-A、ASTRO-HでSpaceWireが全面的に採用されている。とくにフルの冗長ネットワークを採用したASTRO-Hでは、SpaceWireリンクの総数が100を超える大規模な構成となっている。またESA/NASAにおいても、多数の科学ミッション・気象観測ミッション等で利用されている。



An example of a spacecraft onboard SpaceWire network. SpaceWire's unique capabilities are also shown.

1. R&D用SpaceWireデバイス・試験装置の開発

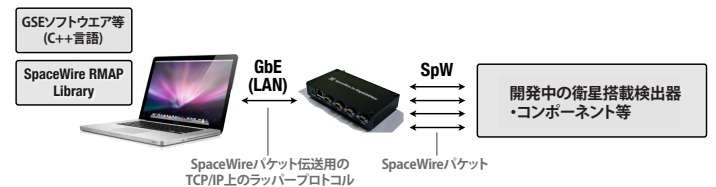
SpaceWire-to-GigabitEther SpaceWireインタフェースを搭載した科学観測装置や地球観測センサー等を開発する際には、開発モデル(BBM)段階から実験室レベルで利用できるSpaceWireインタフェースデバイスが必要となる。とくにASTRO-H搭載のX線観測装置を開発するにあたり、一般的なPCからSpaceWire/パケットやTimecodeを送受信するための装置として、SpaceWireとGigabitEthernetをブリッジするデバイス「SpaceWire-to-GigabitEther」を開発した。本装置は、SpaceWireおよびRMAPプロトコルによる通信を行なうためのC++言語ソフトウェアライブラリ「SpaceWire RMAP Library」とあわせて10以上の大学や研究機関・企業ですでに利用されており、今後の宇宙機ミッション向けにも利用が広がっている。本装置はJAXAとシマフジ電機の共同開発であり、シマフジ電機より入手可能である。

GigabitEthernet

2つの独立したサーパソケットで、2台のPCから同時にSpaceWire/パケットの送受信が可能。

4 SpaceWire ports

内部のSpaceWire/ルータによりGbE側の2ポートと接続されており、PC側から任意のポートを用いたパケットを送受信できる。

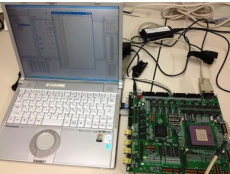


SpaceWireトラフィックジェネレータ 宇宙機SpaceWireネットワークの高信頼化にむけては、単体のコンポーネント開発だけでなくシステムレベルでの検証試験を実施できる環境整備も重要である。本プロジェクトではSpaceWireネットワークの高負荷試験やエラー注入試験での使用を目指して、多数のポートからPC上で設定した試験シナリオに従ってSpaceWire/パケットを大量に送信し、受信パケットの記録を行う「SpaceWireトラフィックジェネレータ」を開発した。本試験装置はmicro TCA規格のバックプレーンクレートと、4つのSpaceWireポートをもつトラフィックジェネレータモジュール、PC上の制御ソフトウェアから構成されており、1台のクレートに「トラフィックジェネレータモジュール」を6枚挿入すれば、最大24SpaceWireポートに対してパケットを注入して高負荷試験を実施できる。



MicroTCA SpaceWire Backplane Crate (left) and SpaceWire Traffic Generator Module (right) with 4 external ports which can be connected to a unit under test.

SpaceWireネイティブ対応のリアルタイムOS 宇宙機搭載計算機上のユーザアプリケーションからSpaceWireインタフェースを高速に、また信頼性高く利用するにあたっては、OSレベルでの通信スタックのサポートが欠かせない。本プロジェクトでは、名古屋大学 組込みシステム研究センターと共同で、H-IIIBロケット等でも採用されているリアルタイムOS TOPPERSの「HRP2カーネル」を宇宙利用可能なCPUへの移植するとともに、通信レイテンシ保証や時分割ネットワーク共有の機能を提供するSpaceWireミドルウェアを開発した。成果物は今後、宇宙関連企業や研究機関等に利用可能にしていく予定である。

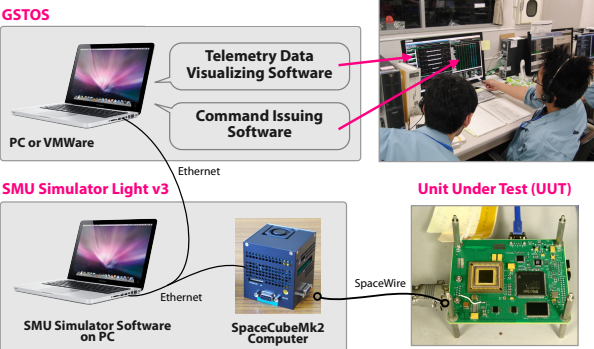


The real-time OS TOPPERS/HRP2 running on the ground test model of an onboard computer. The OS provides SpaceWire middleware which guarantees a pre-defined worst-case packet transfer latency and time-division multiple access to a SpaceWire link. This work is a collaboration between Nagoya University and JAXA.

2. SpaceWireベースのテレメトリ/コマンド試験環境

衛星搭載計算機とサブシステムコンポーネント間のテレメトリ/コマンドの送受信インタフェースをSpaceWireおよびRMAPプロトコルで統一することで、衛星ミッションワイドに「標準のSpaceWire試験システム」を構築できるようになる。これにより衛星システム試験(結合試験)よりも十分に前に、コンポーネント単体でテレメトリ/コマンド試験を実施し、システム試験初期の不具合の大部分を占めるインタフェース仕様の相違のリスクを低減し、試験コストを大幅に低減できると期待される。また、複数ミッション間で共通のテレメトリ/コマンド仕様を採用できれば試験システムは同一のものが使用でき、ミッション機器開発者・メーカー側に経験の蓄積が可能となる。

本プロジェクトではASTRO-HおよびSPRINT-Aを題材として、地上用の小型コンピュータSpaceCube Mk2を用いて衛星制御計算機(SMU)の模擬装置 SMU Simulatorを開発した。これを、宇宙科学研究所標準の衛星制御ソフトウェア群「GSTOS」と結合させることで、ラップトップPCとSMU Simulatorをコンポーネント開発の場所(機器メーカー、大学等)に持ち込んで、単体試験レベルからシステム試験時と同等のテレメトリ/コマンド制御を可能にした。本プロジェクトの成果物は、ASTRO-H/SPRINT-Aだけでなく、はやぶさ2の搭載機器試験などでも利用されている。



An overview of a component-level telemetry/command test using SMU Simulator and the GSTOS satellite operating software.

オンラインの参考資料

SpaceWireの標準仕様書 (ECSS-E-ST-50-12C) :

- <http://spacewire.esa.int/content/Standard/ECSS-E50-12A.php>

SpaceWire User's Guide (STAR-Dundee社による無償公開の解説本):

- <http://www.star-dundee.com/knowledge-base/spacewire-users-guide>

SpaceWire-to-GigabitEther / SpaceWire RMAP Libraryの詳細:

- <https://galaxy.astro.isas.jaxa.jp/~yuasa/SpaceWire/>