

第8回NCESシンポジウム 衛星搭載ソフトウェアの構築技術

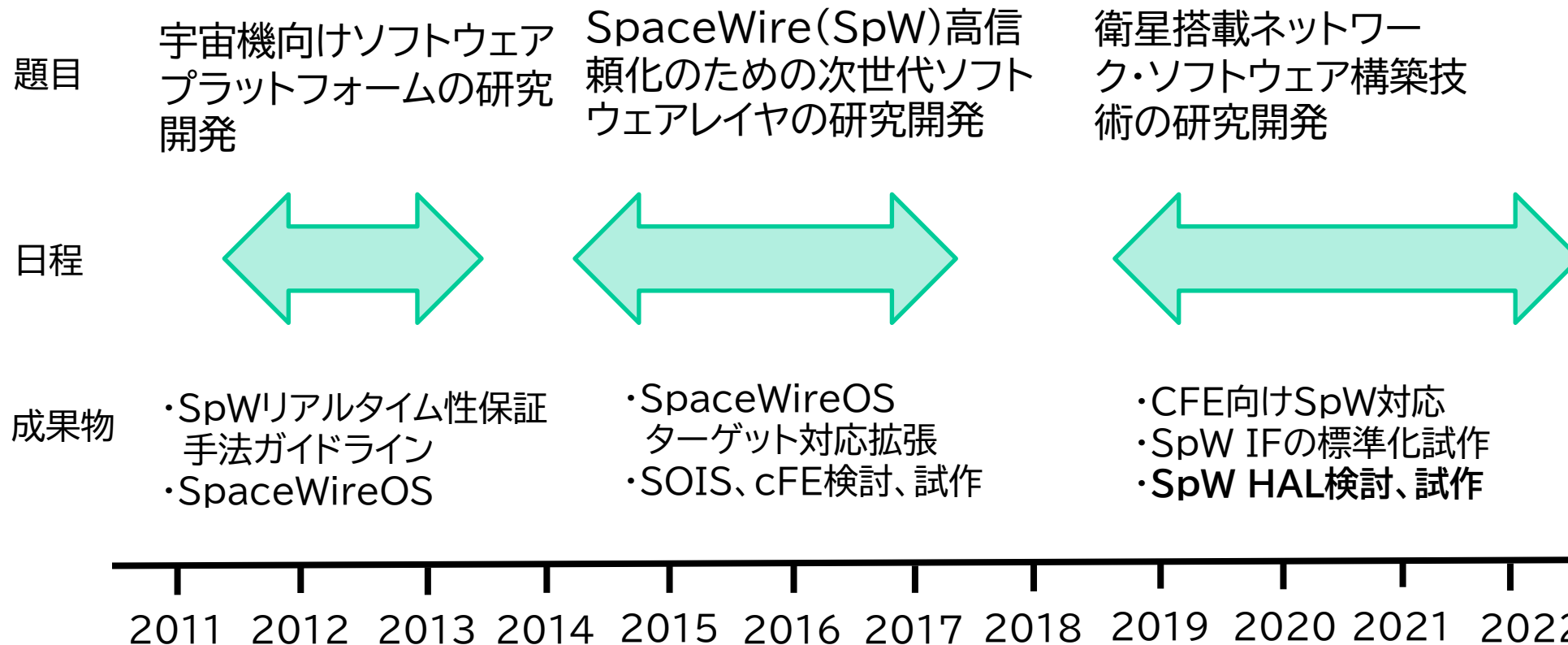
名古屋大学 大学院情報学研究科
附属組み込みシステム研究センター
研究員 高田光隆

目次

- JAXAとの共同研究の取り組み
- 背景
 - 衛星開発の量産時代へ
 - 衛星開発プロセスとソフトウェア
- SpaceWire Hardware Abstraction Layer (HAL)の検討
 - HALの標準インタフェースの実現は意外と難しい？
 - SpaceWire HAL の検討と実装
- まとめ
 - 標準化による手戻りしやすい環境づくり

JAXAとの共同研究の取り組み

JAXAとの協力協定に基づきスペースソフトウェアプラットフォーム連携
研究開発拠点をNCESに設置(2011)



背景:衛星開発の量産時代へ

これまで(単品開発)

- 科学技術衛星などプロジェクトごとの開発
- 放射線対策などの宇宙グレード品による高価な部材を利用
- 採用メーカーごとに提供されるOSやミドルウェアの上でミッションアプリケーションを開発

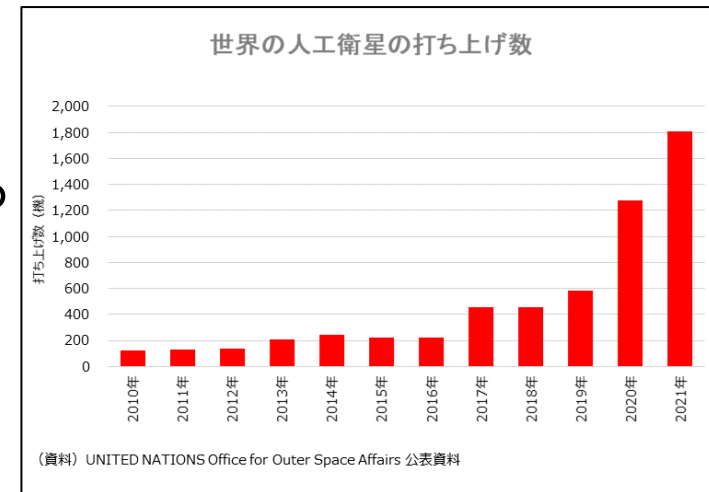
現在、これから(量産開発)

- 打ち上げの相乗り、ISSからの放出など大学や民間によるSmallSat(超小型衛星)やコンステレーション衛星により打ち上げ数が急伸
- 車載など民生量産品を使って衛星コストを低減
- OSSのRTOSやミドルウェアを使ったアプリケーション開発
- 民間の衛星ビジネス(衛星データ、衛星通信)が立ち上がりつつある



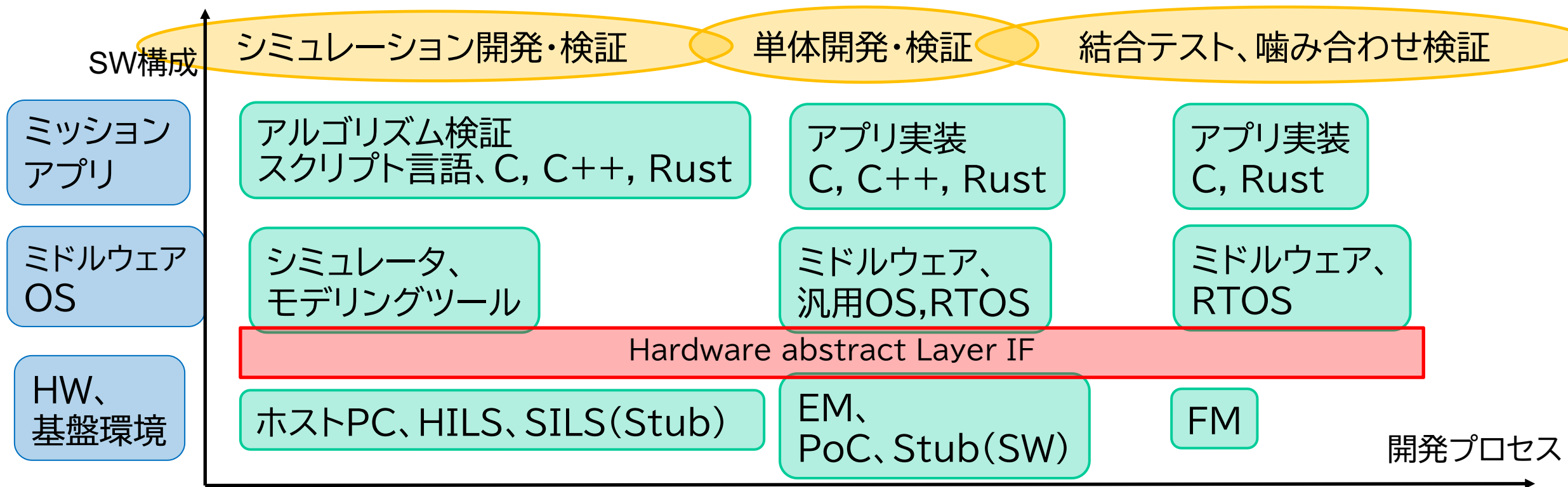
ソフトウェアの開発効率の向上が重要

経産省:宇宙開発を巡る産業の動向についてより



衛星開発プロセスとソフトウェア

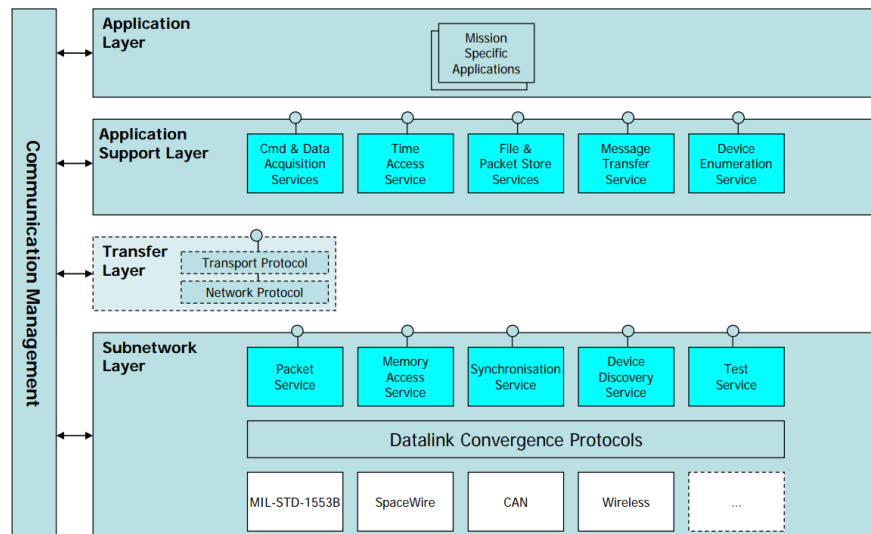
- 衛星開発ではシミュレーションによる開発・検証が必須
- シミュレーションで検証したソフトウェアはそのまま利用することは少ない
- ミドルウェア、デバイスドライバIFが異なることで生じるアプリケーションの再開発
- NW設定ミスなど噛み合わせ時の他SpWデバイスとの結合確認による手戻り



HALの標準インタフェースの実現は意外と難しい？

具体的な勧告が見当たらない

- CCSDS 850.0-G-2
 - SPACECRAFT ONBOARD INTERFACE SERVICES(SOIS)
 - ユーザアプリからサブネットワークプロトコルまでが範囲→さらに下層のデバイスIFがない
- JERG-2-700-TP001 Functional Model of Spacecraft(FMS)
 - 衛星の機能モデルを定義
 - Functional Object, Attribute, Operation, Event, State Machineなど



SOIS Reference Communications Architectureを引用

SpaceWire HAL IFの検討

- SpW仕様書との対比でHAL IFの検討を行った

HAL functions	SpaceWire Network layer service Interface	Proposed SpaceWire HAL API
Driver initialize	N/A	SpWIF_Initialize (T_CONFIG *pk_cfg)
Driver Open	N/A	SpWIF_Open ()
Driver Close	N/A	SpWIF_Close ()
Get Status	N/A	SpWIF_GetStatus (T_STATUS *pk_status)
Set Config	N/A	SpWIF_SetCfg (T_CONFIG *pk_cfg)
Packet Send	SEND_PACKET.request(End-point, SpaceWire Packet)	SpWIF_Send (uint8_t *packet , size_t len)
Packet receive	RECEIVE_PACKET.indication(End-point, SpaceWire Packet, EOP/EEP)	SpWIF_Recive (uint8_t *packet , size_t len)
Timecode Transmit	TIME-CODE.request (End-point, Time-code value)	SpWIF_EmitTimecode (uint8_t timecode)
Notify Timecode Callback	TIME-CODE.indication (End-point, Time-code)	SpWIF_GetTimecode (uint8_t *timecode)

HAL IFの検討と実装ターゲットに関する情報はポスター展示で

SpaceWire ミドルウェアの開発実績

SpaceWireOS(ISC2013,宇科連56,57)

- MHI製SOI –SOC向けに名大で開発
- TOPPERS/ASP,HRP2
- RMAP, SpaceWire-D



@シマフジ電気

- **SpaceWire HAL実装確認のため同一デバイス(SpacePi)のTOPPERS環境へ**

SpaceWire RMAP Library(ISC2022,宇科連66)

- POSIX API向け(C++)、地上でのPoC利用
- RAW, RMAP, SpaceWire-R



@シマフジ電気

- **SpaceWire HAL実装確認のため同一デバイス(SpacePi)のLinux環境へ**
- <https://github.com/yuasatakayuki/SpaceWireRMAPLibrary>

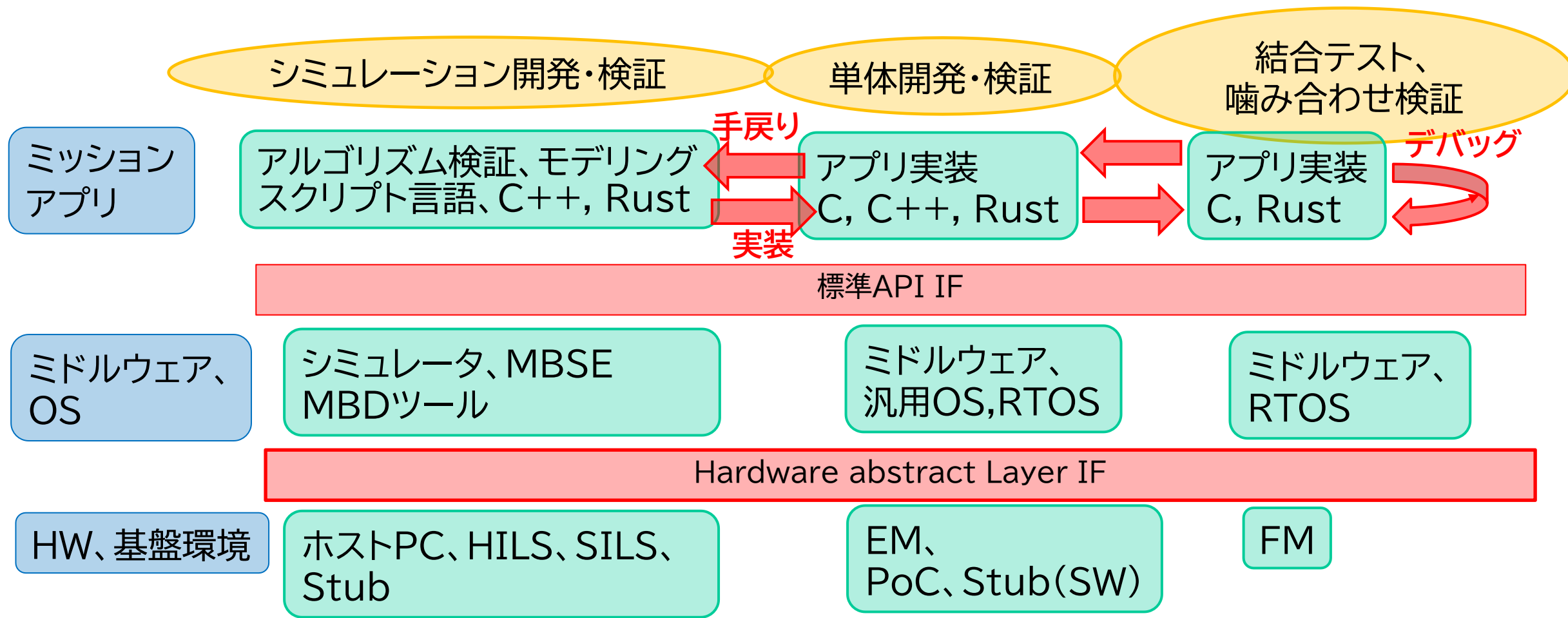
SBN(cFS)(FSW2017,2018)

- POSIX, RTOS(TOPPERS/HRP2を移植)
- MHI製SOI –SOC, SpacePi
- SpaceWire-RAW対応実装と通信確認を行った



まとめ:標準化による手戻りしやすい環境づくり

- 各プロセス標準IFを提案し、どのOS・ミドルウェアでも利用できるアプリケーション開発環境
- 標準API、HAL IFに対応したターゲットドライバ、ミドルウェア、仮想シミュレーションの構築



Contacts

Please feel free to ask us if you have any questions.



**Center for Embedded Computing Systems,
Nagoya University Tel : 052-789-4228 Fax:
052-789-4273**

**URL: <http://www.nces.i.nagoya-u.ac.jp/>
email: nces-office@nces.i.nagoya-u.ac.jp**

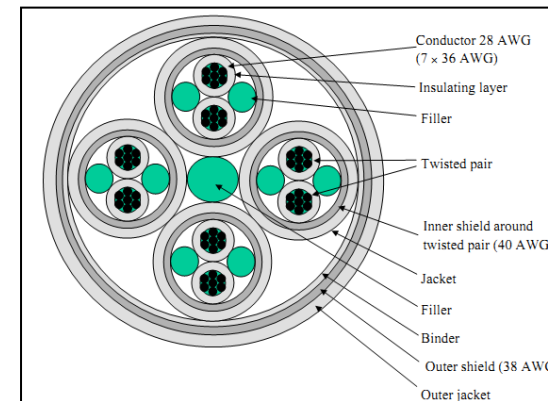
NCES SpaceWire

検索

補足資料

SpaceWireの特徴(1/2)

- 宇宙機内の機器間データ通信インターフェース規格
 - ESA (欧州宇宙機関) がIEEE1355規格をカスタマイズして提案(1994) (ECSS-E-ST-50-12C)
 - LVDSによるノイズに強い高速シリアルライン
- 幅広い転送速度 (2-400Mbps)
 - データ転送レートが可変
 - Gbps向けのSpaceFibre規格も登場
- 可変長のパケットサイズ
 - データサイズの規定は無い
- 簡単なプロトコル (省リソース, 省電力)
 - FPGA実装のノードやルータも多数
 - 上位プロトコル(RMAP, SpaceWire-D, SpaceWire-R)があり、HW化の研究
- 中大型衛星では採用が進んでいる (大型のSmallSat(8U以上)でも搭載が始まっている)



SpaceWireの特徴(2/2)

- タイムコードによるノード間の時刻送信・同期機能
- メッシュ型のネットワーク
 - 冗長経路を持つことで通信の障害耐性が強い
 - ノードを組み上げていくときに柔軟なネットワークが不可欠
- ワームホールルーティング ルータを介して接続
 - ルータ内のルーティング遅延がほとんどない
 - しかし一度**パケット衝突が発生すると、ネットワークをブロック**する恐れ

大きな
問題点

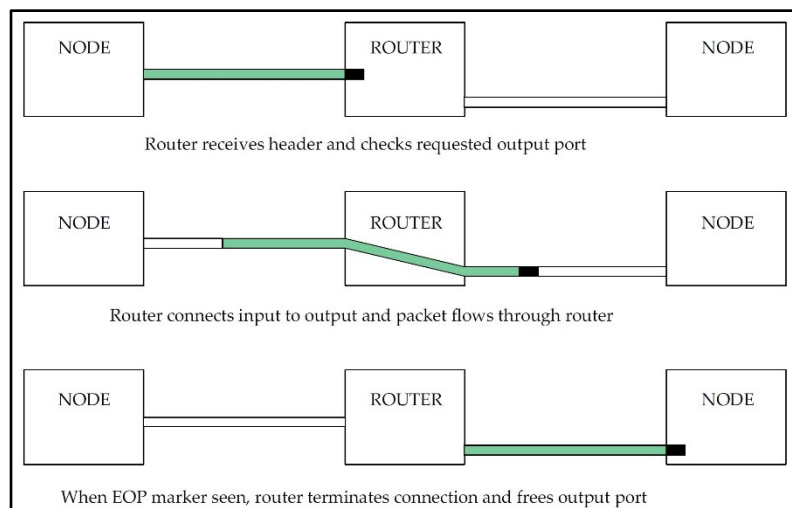


図.ワームホールルーティングの例(ECSS-E-ST-50-12Cより)

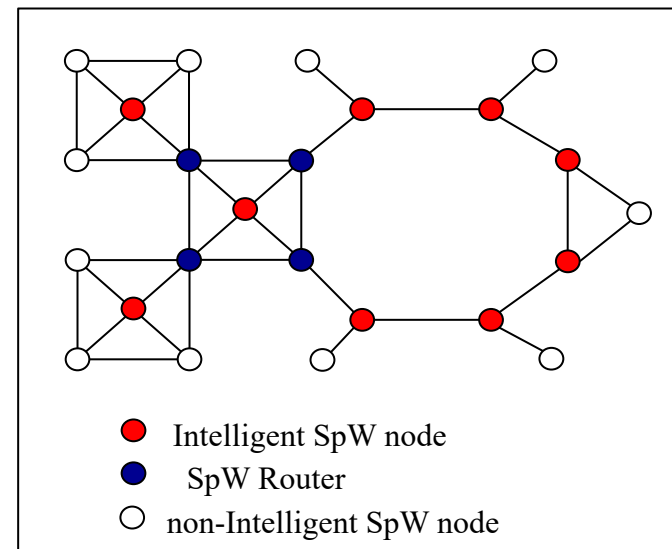


図.SpaceWireネットワーク構成例

SpaceWireの主な上位層プロトコル

RMAP : Remote memory access protocol(ECSS-E-ST-50-51C)

- SpaceWireの上位レイヤに位置する通信プロトコル
- ネットワーク越しのノードに対して, メモリマップドI/O機能でアクセスできる仕組みをそなえたプロトコル

CCSDS: Consultative Committee for Space Data System

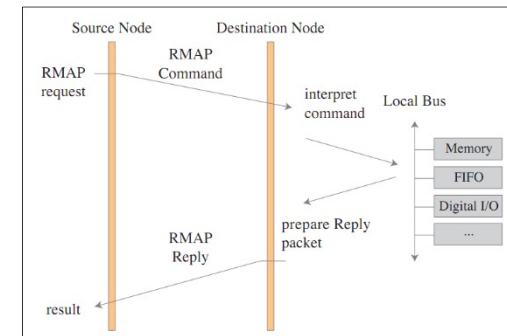
- 宇宙データシステム諮問委員会で決められたプロトコル
- 主に地上系とのコマンド・テレメトリ通信で利用されている
- SpaceWire-PTPとも呼ばれる(ECSS-E-ST-50-53C)

SpaceWire-D : Deterministic(本研究で改良案を提案)

- タイムコードを利用した時分割通信方式
- 時分割されたスロットに設計で予め送信するパケットを決定

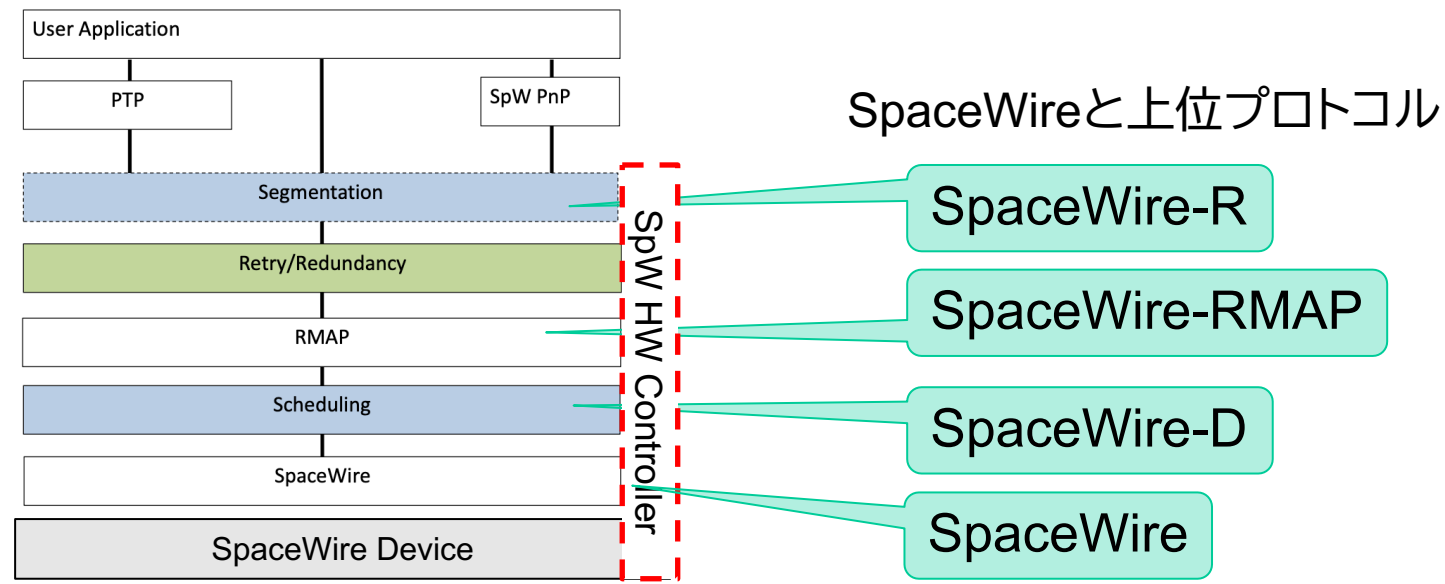
SpaceWire-R : Reliability(JAXAが提案)

- トランスポート層(一部セッション層)の役割を担う
- データの多重化, データの分割/復元, フロー制御
- シーケンスチェック, ハートビート(オプション)



SpaceWire導入の現状とハードウェアの進化

- SpaceWireは衛星内データ通信プロトコルとして利用
 - 2-400Mbps(次世代プロトコルのSpaceFibreではGbpsを実現)
 - イプシロン、ひさき、あらせなどのデータバスIF
 - JERG-2-432でオンボードサブネットワーク設計標準が公開
- 上位プロトコルが存在し、プロトコルスタックのハードウェア実装も



SpW-D Protocol Draft B よりプロトコルスタックの構成図を引用し、一部追記

主な衛星内通信プロトコル

プロトコル	速度	JAXA規定	主な用途
MIL-STD-1553B	-1Mbps	JERG-2-431	オンボード通信(バス系)
SpaceWire	2-400Mbps	JERG-2-432	
CAN	-1Mbps	-	
RS422	-10Mbps (1.6Mbps)	-	オンボード、センサ、アクチュエータ
SPI	-50Mbps	-	センサ、アクチュエータ
I2C	-1Mbps	-	
PC-104(ISA,PCI)	480Kbps	-	CubeSat
Ethernet	100Mbps	-	ISSなどのモジュール



かがみはら航空宇宙博物館にあるISSきぼうモジュールのコネクタ