

スペースワイヤ国際標準への提案プロセス

— 開発型の標準化における技術的実績と標準化活動における行動様式 —

檜原 弘樹^{1*}、能町 正治²、高橋 忠幸³

我が国における宇宙機用標準規格の導入プロセスは、複数の既存規格をトレードオフし、要求を満たし、持続性が見込める方式を選定することが一般的であった。これに対し、X線天文衛星「ASTRO-H (ひとみ)」に採用したネットワークの国際標準規格スペースワイヤ (SpaceWire) には我が国の科学衛星が培ってきた独自規格を取り込むことに成功した。この提案プロセスを振り返り、開発型の国際標準規格について、我が国の提案を反映し得る再現可能な手法を考察した。

キーワード: デジュール標準、デファクト標準、スペースワイヤ、SpaceWire、国際標準化

Contributing to the SpaceWire international standard

—Successful factors for the development of a de jure standard—

Hiroki HIHARA^{1*}, Masaharu NOMACHI² and Tadayuki TAKAHASHI³

Incorporating standards for spacecraft in Japan involves trading off various existing standards to comply with requirements and sustainability. However, well-established proprietary specifications developed for Japanese scientific satellites were successfully incorporated into the international standard of embedded networks, called SpaceWire, which was adopted for the X-ray astronomical satellite “ASTRO-H (Hitomi).” Looking back on this proposal process, we studied a mutual collaboration scheme to incorporate Japan's proposal, regarding the development type international standards.

Keywords: De-jure standard, de-facto standard, SpaceWire, international standardization

1 はじめに

人工衛星の内部に搭載する機器はネットワークで互いに接続されており、各機器に対するコマンドや各機器から収集するテレメトリと称するモニター信号を送受信する。これらの信号を伝送する規格は、人工衛星システム全体の運用や人工衛星を遠隔制御する地上設備と密接な関係がある。各国の地上局の運用設備を相互利用することも行われることから、ネットワーク上の通信規格は近年、国際標準に準拠することが求められるようになってきている。

これまでの我が国における当該国際標準規格の導入プロセスは、宇宙機のみならず民生品の規格も含めて複数の既存標準規格を調査し、各規格のトレードオフを行うことにより、要求する機能・性能を満たし、制定状況を確認して

持続性が見込める方式を選定することが一般的であった。一方、我が国においては、科学観測に用いられる人工衛星で草創期から独自開発が進められてきたことから、独自に策定した規格を使用している場合もある^[1]。国際標準規格は技術の進歩を反映して継続的に改訂作業が進められており、民生機器市場の急速な技術発展を背景とした改訂や、新たな規格の策定も行われている。我が国独自の規格を国際標準規格に取り込むことも可能なはずであるが、これまでは容易ではなかった。これは技術的な要因というよりも、人工衛星に搭載する機器間の通信に関する独自規格を国際標準として提案する動機づけがなされなかったものと考ええる。

X線天文衛星「ASTRO-H (ひとみ)」は、衛星システム

1 NEC スペーステクノロジー株式会社 技術本部 第二搭載技術部 〒183-8551 府中市日新町 1-10、2 大阪大学大学院 理学研究科 付属原子核実験施設 〒560-0043 豊中市待兼山 1-1、3 東京大学国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli-IPMU) 〒277-8583 柏市柏の葉 5-1-5

1. On-board Electronics Department, Space Engineering Division, NEC Space Technologies 1-10 Nisshin-cho, Fuchu 183-8551, Japan
* E-mail: h-hihara@bc.jp.nec.com, 2. Osaka University 1-1 Machikaneyama, Toyonaka 560-0043, Japan, 3. Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI), The University of Tokyo 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa 277-8583, Japan

Original manuscript received March 2, 2018, Revisions received July 20, 2018, Accepted July 23, 2018

に求められる機能・性能がそれまでの我が国の人工衛星に比べて飛躍的に向上した^{[2][5]}。また、ASTRO-H衛星に搭載する機器の開発は幅広い国際協力の下に進められた。これらのことから、従来の開発実績を継承した確実な開発と同時に国際標準規格への準拠が求められた。ASTRO-H衛星に採用したスペースワイヤ国際標準規格^{[6][7]}は欧州宇宙機関（European Space Agency, ESA）が仕様を取りまとめた、いわゆるデジュール標準である。これに我が国の科学衛星が長年培ってきた独自規格を取り込むことができた。

スペースワイヤ国際標準規格に我が国の独自規格を反映できたプロセスを振り返り、成功要因を考察するに当たっては、文献[8]の考え方にに基づき体系的に説明できる可能性が見出された。スペースワイヤ国際標準規格は、実現すべき機能と性能を関係者間の討議を通じ集約して設定し、その実現手段を技術開発も伴いながら国際標準とすべく仕様化する手法により制定された。これは、いわゆる開発型の標準^[9]といえる。この論文では文献[8]の考え方に基いて提案活動を振り返り、近年事例が増えている、開発型の国際標準化に対応するに当たり再現可能な提案プロセスについて考察した。以下、2章にてスペースワイヤの初の集大成として実用化されたASTRO-H衛星のシステムアーキテクチャが国際的に認知された経緯を紹介し、3章にてASTRO-H衛星の開発過程で我が国の独自技術と提案を国際標準に反映できた技術要因について纏める。さらに、これらの独自技術と提案を国際標準に取り込むまでの我々の行動様式を振り返るに当たり、文献[8]に述べられているモデルを参照して欧州および米国の関係者の行動様式と比較することにより、我が国の行動様式を活かした再現可能な提案プロセスの考察を4章で纏める。

2 ASTRO-H衛星のシステムアーキテクチャ

ASTRO-H衛星は、これからの日本の目指す姿として文献[10]に述べられている「開放的なプラットフォーム」を実現すべく、その開発は国際協力の下に進められた。これは、世界中から新たな発想や技術や人材が集まり、日本という活動拠点で最先端の付加価値が生み出される姿であり、グローバルな知的活動の拠点を目指したものであった。また、革新的な成果を生み出す宇宙機システムを開発する上で障害になっていることを組織を超えて協力し解決するしくみを構築し、宇宙機システムの開発への敷居を下げることに、国民に幅広い参加の機会を提供することを目指した。

科学衛星に搭載される機器が多様になるにつれて、高い信頼度を保ちながら、短期間で開発を行うことの困難さ、あるいは開発過程の試験の複雑さが大きな課題となっていた。このため、特にデータ処理、ないし搭載機器間通信という観点から、信頼度の高い設計を行うための宇宙機システムのアーキテクチャの研究開発を進めた^{[11][12]}。科学衛星のように多岐にわたる観測ミッションや、目的に応じて異なった形状を持つ人工衛星では固定化した共通バスの考え方ではなく、小型衛星から大型衛星に共通に適用可能なスケーラブルなアーキテクチャに基づくデータ処理システムという観点が重要となる。スペースワイヤ国際標準規格に準拠したASTRO-H衛星に搭載した電子機器のネットワークは、文献[13]に述べられている「科学衛星データ処理系の将来展望」に基づき開発した。スペースワイヤ国際標準規格の目指したフル冗長^{注1)}のスペースワイヤネットワークはASTRO-H衛星により世界で初めて実現された^[14]。規格を制定した欧州でもその功績は高く評価され、図1に示すようにESAで作成された各国の関係者向けの資料において



図1 “WELL CONNECTED”、欧州宇宙機関会報にスペースワイヤ国際標準とASTRO-Hが紹介された。2011年2月号[15]より

も ASTRO-H 衛星が冒頭で紹介された^[15]。

3 我が国の取り組み

ASTRO-H の衛星内通信規格を開発するに際しては、日本側から積極的に欧米の関係者に働きかけ、規格策定の段階から実用化開発と軌道上実証を行い、日本側で実績を積んだ仕様を国際標準規格に刷り込むというアプローチを取った。スペースワイヤ国際標準規格に準拠した機器の試験・検証環境についても、国際標準規格の策定段階から国際共同研究開発を進め、仕様書に記載されることのないオフノミナル^{注2)}条件の対処についても国際間理解を一致させることを目指して研究開発・整備を進めた^[16]。

人工衛星搭載用ネットワークの国際標準規格に我が国の提案が取り入れられたのは初めてのことである。日本からの提案は主要なプロトコル階層定義から細かな誤記訂正まで多岐にわたる。本節では標準規格に取り込まれた中から主要な三点、および試験・検証環境の国際共同研究開発を振り返る。これらは、我が国がこれまでに開発してきた科学衛星や実用衛星、宇宙ステーションなどのデータ処理系の開発経験の集大成ともなっている。

3.1 最適設計の視点の相違

スペースワイヤ国際標準規格の一つである、ネットワークに繋がる機器内のメモリ等を読み書きする通信規格 (SpaceWire Remote Memory Access Protocol, SpaceWire RMAP) 国際標準規格には我が国の独自仕様も活かされた。この過程を振り返ると、我が国の開発プロセスには二つの強みがあることがわかった。

一つは、研究開発を進める組織間において、コミュニケーションの風通しをよくしてすり合わせることに長けていることである。ESA の研究機関である European Space Research and Technology Centre (ESTEC) に置かれたスペースワイヤ作業部会委員会 (SpaceWire Working Group Committee, SpW WG) が当初纏めつつあった通信規格階層にはリアルタイム性 (即時性) を実現するために追加された階層があり、SpaceWire-RT ないし SpaceWire-T と呼ばれ検討されていた。この案では最上位のテレメトリ・コマンド階層に直結するインタフェースが複雑な仕様になっており、議論が紛糾して1年近く纏まらなかった。我が国の科学衛星のデータ処理系の開発・運用実績から考えても、そのプロトコル階層は実装負荷が重く、現実的ではなかった。宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) 宇宙科学研究所を中心として SpW WG に参加していた我々は一つのこと気が付いた。欧州は各自の仕事内容を厳密に定義する社会である。そのためか、通信規格の各プロトコル階層は各々イン

タフェースが明確で作業分担がしやすい、いわゆる手離れの良い仕様になっており、それに起因するとみられる重複が至る所にあった。これに対して我が国の科学衛星に用いてきたネットワークの実装仕様は各プロトコル階層の重複が巧みに排除されていた。これは、仕様を纏めた際に各関係者の密なコミュニケーションの下に各プロトコル階層のすり合わせが巧みに行われてきたことを示唆していた。我々は RMAP それ自体がリアルタイム性を確保する上で十分な機能を有するプロトコルであることを確認しており、そのデータ形式と通信手順を活用することにより、リアルタイム性を確保する上で SpaceWire-RT ないし SpaceWire-T は不要である旨を指摘し、改善提案という形で我が国の既開発仕様を刷り込んだ^[17]。さらに、小型実証衛星 (Small Demonstration Satellite 1, SDS-1) を2009年に打ち上げ、本提案に基づく仕様の軌道上実証に成功した。

図2に我々が提案した通信規格階層を示す。当初8階層以上になっていたものを、図2に示すように7階層で実現できることを示した。この通信規格階層の特長は、科学衛星の開発・運用実績に基づき、人工衛星搭載用ネットワークに必要なリアルタイム性を簡素なプロトコルで実現した点にある。この原案は2010年の第15回 SpW WG で提案され、ESA/ESTEC に集まった各国の参加者の満場一致の賛同を得た。これによりスペースワイヤの通信規格階層が簡素化され、100 kg 級の超小型衛星から2.7トンもの大型衛星にまで適用可能なスケラビリティ (柔軟な拡張性) が実現可能となった。本提案が我が国からなされなければ、スペースワイヤの簡素で高性能な特性は得られなかったものと我々は考えている。

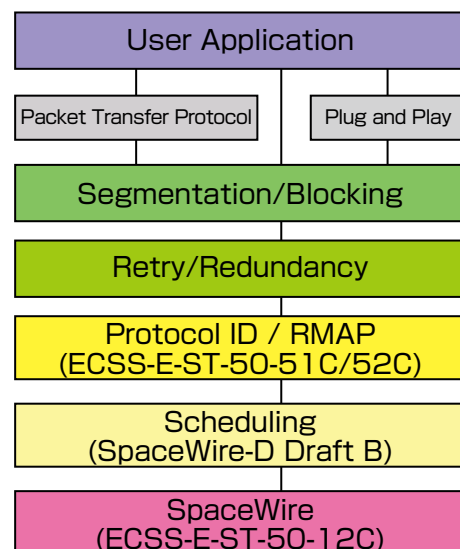


図2 日本から SpW WG (スペースワイヤ作業部会) に提案した通信規格階層^[17]

もう一つの強みは、標準化提案のさなかにおいても、我々は各国からの参加者の立場を尊重することができた、という点である。前述のように、我々はいち早く小型衛星 SDS-1 を 2009 年に打ち上げ、世界で最初に SpaceWire RMAP 規格の軌道上実証に成功した。この時点で ESA が我々を信頼するようになったことを肌で感じた。ただし、我々の技術開発力が評価されたのではなかった。彼らは策定中の規格が本当に軌道上の運用に耐えるかどうかを心配していた。我々は、SpaceWire RMAP 規格の軌道上実証に成功したことを日本側の成果として報告する代わりに、SpW WG の成果である策定中の規格案が軌道上の運用に耐えたことを報告した。これにより我が国の軌道上実証成果は彼らの心配を払拭し、その軌道上実証成果は関係者全員で共有するものとなった。これが信頼に繋がったようであった。

3.2 タイムスロットの共用割当

スペースワイヤネットワーク上で十分なリアルタイム性を確保するための枠組みは、前述した我が国からの提案をもとに大幅に簡素化され、SpaceWire-D^[18]として設計指針が公開された。この SpaceWire-D の規格案では当初、1 タイムスロット内で 1 回の通信のやり取りしか認めていなかった。これは、1 タイムスロット内で複数のやり取りを許すとリアルタイム性が検証できない、という欧州側の主張に基づくもので、単一通信割り当て (Simple Schedule) として規格化提案されていた。

しかし、我々は 1 タイムスロット内で複数の通信のやり取りを可能とするデータ処理系を長年にわたり開発・運用してきており、十分な軌道上実績があった。この仕様の実用性は経験的なものであったが、JAXA では形式検証と論理的な検証を重視する欧州の文化に造詣が深く、このための官学産共同研究計画を推進し、JAXA と名古屋大学、および産業界の共同研究開発を通じて欧州の論理的 (形式的) に検証が可能であることを重視する発想にも対応できる指針を構築した^[19]。この実績に基づき 1 タイムスロット内で複数の通信のやり取りを実装すべく提案を行い、タイムスロットの共用割当 (Concurrent Schedule) として上記仕様書に反映された。ここでは 1 タイムスロット内で複数の通信のやり取りは検証できないという当初の欧州からの主張は再検討され、検証可能なリアルタイム性能を実現する設計指針として仕様化された。これは、我が国の人工衛星の開発・運用経験を反映した経験知と論理的な整合性と検証ができることを重視した欧州の形式知を意図して融合した成果であった。

3.3 プラグアンドプレイ

SpaceWire RMAP 規格は通信規格としては我が国の

科学衛星で従来から用いられている周辺機器接続規格 (Peripheral Interface Module, PIM)^[11]の仕様と類似点が多い。我が国の従来からの軌道上運用実績を基に、ASTRO-H 衛星では RMAP の機能を活用し、ネットワーク全体にわたる共通アドレス空間として標準 RMAP アドレス空間と称するアドレス指定方式と共通に参照できるアドレス範囲を定義した。このアドレス範囲では特定のアドレスをアクセスすると、そのアドレスに対応した通信手順でデータのやり取り (通信サービス) が行えるよう、アドレスと通信サービスを結びつけた。この実績は SpW WG でも参照され、SpaceWire Plug and Play 規格 (現 Network Discovery Protocol)^[20]では ASTRO-H 衛星で策定した標準 RMAP アドレス空間を適用できるよう、仕様が策定された。この結果、「コンセントに差し込むように人工衛星搭載機器を繋ぐプラグアンドプレイ」というコンセプトが具現化された。

プラグアンドプレイ (Plug and Play) は民生品では一般的に聞かれる概念であるが、日本では宇宙機搭載機器への適用は現実味が無いと考えられていた。これに対して我が国の独自規格であった PIM が欧州側で定義した Plug and Play の概念に通じるものがあることに気が付いたことから、具体的な仕様化提案に繋がった。

3.4 日欧共同開発成果

ASTRO-H 衛星は「コンセントに差し込むように」各機器を接続し、ただちに試験・運用ができることを目標として開発した。このために機器・サブシステムの開発のみならず、試験・検証環境についても、単体試験と調達計画からサブシステム試験までを俯瞰して整備した。さらに、広範な国際協力のもとに開発が進められることを鑑み、ESA の委託によりスペースワイヤの仕様を取りまとめているダンディー大学 (University of Dundee) と共同で RMAP 仕様適合性試験装置 (Conformance Tester) の研究開発を行った^[16]。これにより仕様書に明記されていないオフノミナル (正常ではない) 条件における応答を包含した試験仕様の策定と合否判定が国内においても可能となり、各国で開発された機器を我が国に集結し、2.7 トンにも達する大型衛星のフル冗長ネットワークを確実に開発することができた。

RMAP 仕様適合性試験装置では日英共同研究開発の過程で洗い出し、互いに理解の一致したオフノミナルの試験ケースが約 80 % にも達している。オフノミナルの試験条件は標準規格書には明記されない。しかし、オフノミナルの試験条件を精査することにより確実な試験・検証が可能となるばかりでなく、ノミナル (正常な状態) の試験条件の設定の不足や不備も検出される。このような地道な研究開発を進めた結果、日本と英国 (ひいては欧州) の担当者

の理解と要望が一致した RMAP 標準規格が完成した。RMAP 仕様適合性試験装置はデファクトスタンダードとして各国で使用されており、これにはノミナル試験ケースとオフノミナル試験ケースの双方が同梱されている。この結果、スペースワイヤ国際標準規格に準拠した装置を我が国において海外から購入し、衛星システムに組み付けるに当たっても、ノミナル条件とオフノミナル条件の双方において理解が整合することが担保されるようになった。スペースワイヤの試験装置については、この他にも欧州内各社との共同開発を進めており、国際間理解の整合性が維持されるよう、継続的な協力が進められている。

4 各国行動様式の比較

前章にてスペースワイヤ国際標準規格に反映された我が国の提案の技術要素を纏め、規格提案活動を振り返った。日本案が国際標準規格に反映された成功要因をさらに抽出すべく、技術的な蓄積のみならず、日本からの参加者の行動様式についても振り返る。本節では、文献 [8] に述べられている、ある対象が持続的進化をするための基本ループをモデルとして参照して考察する。

4.1 参照モデル

この論文が参照する基本ループを図 3 に示す^[8]。ここに示される各ブロックは、自然と人間（個人、組織、社会）を含む自治的な存在であり、全体を制御する統一者は不在である。対象の状態を観察者が観察し、状態の変化の意味を解釈して警告を発する。構成者はその警告によってとるべき行動を考案して助言する。行動者は助言から任意に選択し、それに基づいて行動する。行動は対象に同化して対象の状態を変化させる。この変化が再び観察されることにより、情報がループ上を循環する。結果として対象は進化する。このように、解釈、考案、選択、同化が他律的

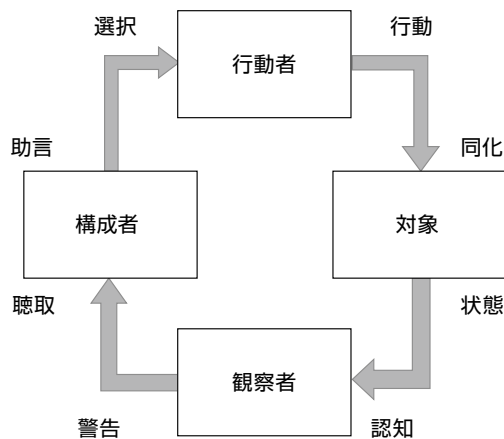


図 3 ある対象が持続的進化をするための基本ループ^[8]

でなく自律的に行われるが、このことは各ブロックが自治的な存在であることを意味しており、これが進化の条件であるとされる^[8]。

基本ループにスペースワイヤ国際標準規格を当てはめて考察するに当たり、各ブロックは自治的な存在であることが条件になる。具体的には、観察者には SpW WG が対応し、構成者には通称技術委員会（Technical Committee, TC）と呼ばれている、欧州宇宙標準協会（European Cooperation for Space Standardization, ECSS）が対応する。行動者には産業界の各ベンダが対応し、対象は人工衛星の搭載機器やその間でやり取りされるデータの通信規格である。スペースワイヤ国際標準規格は欧州が取りまとめるデジュール標準であるが、標準規格を制定する技術委員会の前段階に SpW WG がおかれ、この委員会の参加者は自治的な存在であることが許容されている。各参加者は個別に意見することができ、この委員会には行動者であるベンダが参加することもできる。各国の宇宙機関の代表者であることは要求されない。これは従来の宇宙機搭載機器用の通信規格の策定過程で一般的であった各国代表による標準化策定プロセスとは異なっており、近年事例が増えている開発型の標準化^[9]である。さらに、欧州内のベンダは構成者である ECSS にも参加することが許されている。以降は SpW WG における我が国の行動様式をこの基本ループに当てはめ、欧州および米国と比較する。議論に際しては、各ブロックの構成メンバーは重複することもあり、矢印は働きかけの役割を表すものとする。

4.2 欧州からの参加者の行動様式

観察者および構成者と、行動者は主体が分かれており分業されている。前者（観察者および構成者）は ESA を代表とした官の組織であり、システムベンダや装置ベンダが含まれる場合もある。後者（行動者）はハードウェアないしソフトウェアベンダであることが多く、システムベンダの装置開発部門が含まれていると見られる場合もある。前者と後者の作業分担は仕様書で明確に区別されており、両者の間の会話等の情報交換は頻繁に見られるが、作業自体が重複するケースを目にすることは稀である。すなわち、仕様を検討する作業と、当該仕様を適用したものづくりの作業がほとんど重複しない。行動者は観察者および構成者からの発注仕様を待ち、観察者および構成者は行動者の結果が対象に反映されるのを待つ。

この行動様式を、図 3 に示す基本ループにおいて観察者および構成者と、観察者の場および構成者の場を区別して説明を試みる。ある場に参加している構成メンバーはその場に割り当てられている役割分担、判断に要する情報の入手元、および議論の伝達先を明確に自覚する。スペース

ワイヤの規格策定に際しては観察者と構成者の場がそれぞれ用意され、これらの場には国の研究機関、大学、企業が参加可能である。観察者の場には欧州域外からの参加も拒まず、推奨されるケースさえある。観察者と構成者は重複することもあるが、観察者の場で議論する際には対象を観察する立場にあることを自覚し、構成者の場で議論する際には観察者の場からの報告を正式なものとして受け取り、行動者からの報告を直接判断に用いることはしない。行動者に属する者が観察者の場である SpW WG に参加し、意見することもあるが、観察者の場にいる間は、例えば試作のような行動を起こすことが無い。すなわち、構成者のインプットは観察者のアウトプットに集約、ないし限定することにより、国際標準を制定する権限を制御しているように見受けられる。構成者の場には前述した技術委員会が相当し、欧州からの選任者しか参加できない。ここでは観察者からの報告および規格制定案が審査される。観察者の場は提案する権限を有しているが、標準規格を制定する権限は持たない。標準規格を制定する権限は前述のように構成者の場である技術委員会が有している。この様子を図4に示す。図4では構成メンバーを角の尖った四角で表し、場を角の丸い四角で表した。

観察者の場と構成者の場が分かれているのは、欧州内の調整を行ってから標準規格案を纏めるためとされる。ものづくりと仕様策定がしくみとして分け隔てられており、観察者と構成者の場の参加者に行動者としての意識が希薄である。例えば、産業界のベンダの所属者が観察者や構成者の役割を担う場合には、組織を異動して対応しているように見受けられる。

4.3 米国からの参加者の行動様式

米国からの参加者には観察者、構成者、行動者の階層意識が顕在化していない。観察者は行動者として対象に働

きかけ、迅速なフィードバックを求める。また、観察者の場として設定された SpW WG に構成者の意識を期待し、直接標準化案を提案する。すなわち、観察者の場の制約は自覚されない。構成者の場としての技術委員会の権限と役割は認識しているが、構成者の場における規格制定に際して行動者が直接提案することを可能と考えており、行動者が市場で実績を積んだ仕様をそのまま国際標準仕様とすべく提案する、いわゆるデファクトスタンダードとしての審議を期待する。すなわち、行動者と構成者間の情報の流れが双方向であることを意味する。この様子を図5に示す。この図で示された行動者と構成者間の双方向の矢印は図4の欧州の参加者の行動様式には対応するものが無い。すなわち、米国からの参加者の行動様式が欧州では受け入れられないことが、このモデルから見て取れる。

観察者および構成者と行動者の階層が別れていないのは日本の行動様式によく似ているが、一方で観察者と構成者は行動者と利害を共有していることが珍しくない。この状況になると、日本からの参加者は力負けしがちとなるが、欧州側では Working Group Committee を観察者の場と捉えており、ここでは既存の実績に基づく仕様をそのまま国際標準として提案するという、いわゆるデファクトスタンダード提案を受け入れない。日本からの参加者にとっては、客観的に意見を述べる機会が提供されたと考えられる。

4.4 日本からの参加者の行動様式

日本には宇宙航空研究開発機構を取りまとめた国内規格制定のしくみが整備されている。スペースワイヤの規格制定に際しては、欧州の例のような観察者の場に対応する SpW WG と構成者の場に対応する欧州宇宙標準協会のような明示的な分業体制は無く、規格制定に関する構成者の場として設計標準ワーキンググループが設置されている。構成者の場は独立性が高く、欧州の例のような観察

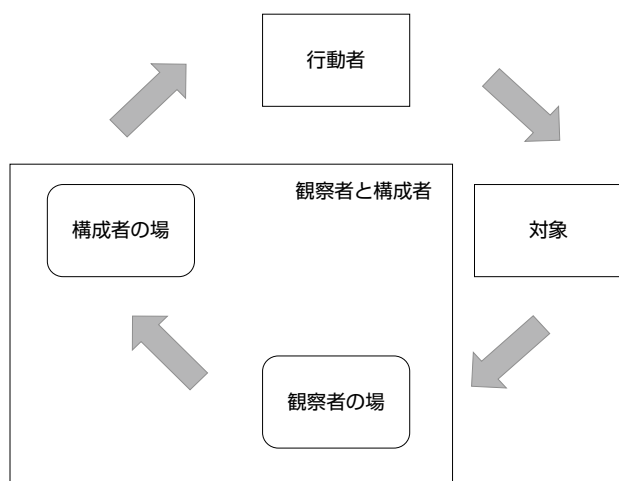


図4 欧州からの参加者の行動様式

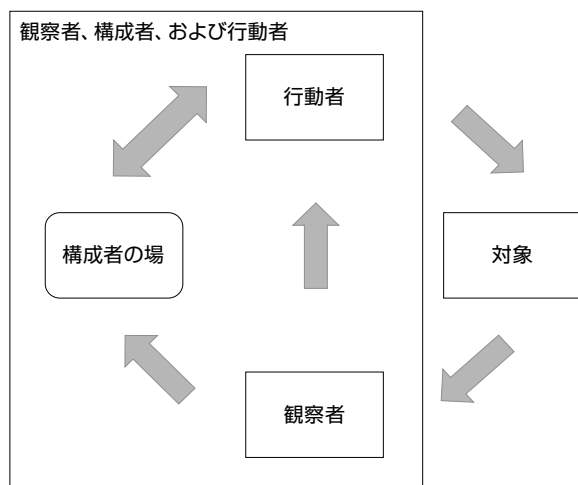


図5 米国からの参加者の行動様式

者(観察者)の場から構成者(行動者)の場への明示的な働きかけのしくみは無い。国の研究機関、大学、および各企業からの委員が構成者の場である設計標準ワーキンググループに参加して規格を策定する。大学や国の研究機関は規格策定プロセスでは観察者であることが多く、研究開発に際しては行動者となることもある。また、通常は行動者である製造企業がシステムベンダとして観察者になることもある。これは我が国の宇宙開発が官民一体になって進められてきたという背景にも依存しているものと考えられる。海外の構成者の場のアウトプットを取り込むことも可能であり、国際標準規格を迅速に製品化することも可能である。これを図6(a)に示す。観察者が構成者の場に働きかけずに独自仕様で行動者であるベンダに発注することも珍しくない。この場合は観察者から行動者に向かう矢印には委託仕様書が対応するが、委託仕様書の内容は行動者と観察者の相互の働きかけによる合議に基づくことが多く、この矢印は双方向になる。ここで実績が積まれた後、改めて構成者の場で規格を制定し、行動者に働きかける。この図6(a)の構成は欧州の行動様式と相反する働きかけの矢印が無く、うまく重ね合わせができる。この様子を図6(b)に示した。

SpW WGでは前述のように観察者の場に欧州域外の参加者を認めると共に、構成者の場に観察者の場のアウトプットを一元的に取り入れるしくみとなっている。日本からの参加者は観察者の場に観察者と行動者としての意識を持ったまま参加している。この意識がWorking Group Committeeの場で葛藤が生じることは無かった。これは、米国からの参加者の行動者と構成者の場の双方向意識が欧州側の意識と葛藤を生じたのとは対照的であった。

日本からの参加者は、行動者と観察者の意識が一体で

あり、先に述べた小型衛星 SDS-1 の例は、図4に示す欧州の行動様式に、図6に示す日本の行動様式がうまく融合したことを示している。また、これにより米国の先行開発の成果も我々からの提案を通じて無理なく構成者の場に持ち込むことができ、結果的に米国と欧州の橋渡しにも貢献できたものとする。

一方で、我が国の課題も明らかになった。SpW WGで討議した技術検討内容については、アメリカ航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)やESAと比較して我が国の技術レベルは大差なかった。にもかかわらず、欧米では新しい技術の軌道上実証例も多く、新規デバイスの採用事例も豊富であった。この差異が何に起因するのか。SpW WGは、参加者の出身国は欧州、米国、極東、アジアにまたがり、14カ国前後に及ぶ。各国ではそれぞれ独自の開発も進められており、新規技術の実証でも先行している国がある。その実績を参照し、目指すべき仕様が決まっていく。実用化する際のリスクについても、さまざまな観点から指摘が出る。問題が指摘されても、代替案の提案も活発である。日本からの主張や提案も、筋が通っていて実績があり、SpW WGの方向性と整合していれば、分け隔てなく採用される。このように多様なバックグラウンドを持つ専門家を結集し、活かす場が設けられていることが、イノベーションやコストダウン、小型・軽量化に繋がり、結果として「欧米の先行事例」に繋がっているものと考えられる。すなわち、共通の目標に向かって多様な背景を有する参加者の技術と英知を結集するプラットフォームが整備されているとみなすことができる。このようなプラットフォームを我が国にも用意することが課題である。

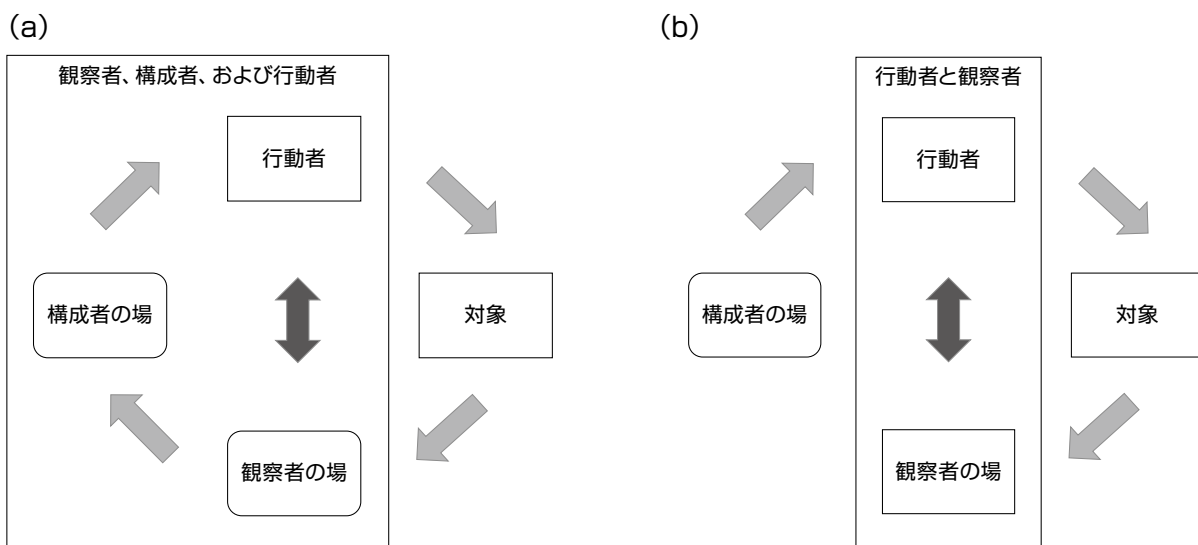


図6 日本からの参加者の行動様式

(a) 国内における標準規格策定プロセス、(b) 欧州のデジュール標準規格策定プロセスとの組み合わせ

5 まとめ

この論文では、スペースワイヤ国際標準規格に日本からの提案を反映することができた過程を振り返り、文献 [8] によるある対象が持続的進化をするための概念のモデルを参照して成功要因を考察した。この振り返りにより、我が国の独自技術にも国際的に通用するものがあつたことが改めて自覚できたと共に、先行技術を尊重しつつ改善するという我が国の行動様式が、独自技術を国際標準に取り込む（あるいは擦り込むと言った方が、より適切に状況を説明し得る）ために有効であることも自覚できた。この結果、欧州のデジュール標準策定プロセスを活用して日本からの提案を国際標準規格に反映するための経験知を再現可能なモデルとして記述できたものと考えられる。このモデルを意識することにより、国際標準規格に我が国の提案を反映する活動が活発化することが期待される。

6 謝辞

スペースワイヤを実用化するに当たり、当時、宇宙科学研究所にて ASTRO-H 衛星のスペースワイヤネットワークの実現に深くかかわった湯浅孝行博士（Spire Global 社）に感謝します。スペースワイヤ国際標準仕様をいち早く取り入れた試験装置を開発し、実用化に貢献されたシマフジ電機株式会社様に感謝します。この論文に述べた考察は、東京大学先端科学技術センターの馬場靖憲教授による先端レギュラトリーサイエンスの講義により、スペースワイヤの国際標準規格提案経験とその成功要因について、再現可能なモデルを構築できそうだという気付きに基づく。個別の経験談となりがちである標準化活動の成功事例について、さらに応用に結び付け得る気付きをもたらして頂いた馬場靖憲教授に感謝します。

注 1) 全ての構成機器が冗長系を有すること。

注 2) 仕様書で規定される正常な状態ではないこと。

参考文献

- [1] H. Hihara, K. Iwase, J. Sano, H. Otake, T. Okada, R. Funase, R. Kashikawa, I. Higashino and T. Masuda: SpaceWire-based thermal-infrared imager system for asteroid sample return mission HAYABUSA2, *J. Appl. Remote Sens.*, 8 (1), 084987 (2014).
- [2] T. Takahashi, K. Mitsuda, R. Kelley, F. Aharonian, F. Akimoto, S. Allen, N. Anabuki, L. Angelini, K. Arnaud, H. Awaki, A. Bamba, N. Bando, M. Bautz, R. Blandford, K. Boyce, G. Brown, M. Chernyakova, P. Coppi, E. Costantini, J. Cottam, J. Crow, J. de Plaa, C. de Vries, J.-W. den Herder, M. Dipirro, C. Done, T. Dotani, K. Ebisawa, T. Enoto, Y. Ezoe, A. Fabian, R. Fujimoto, Y. Fukazawa, S. Funk, A. Furuzawa, M. Galeazzi, P. Gandhi, K. Gendreau, K. Gilmore, Y. Haba, K. Hamaguchi, I. Hatsukade, K. Hayashida, J. Hiraga, K. Hirose, A. Hornschemeier, J. Hughes, U. Hwang, R. Iizuka, K. Ishibashi, M. Ishida, K. Ishimura, Y. Ishisaki, N. Isobe, M. Ito, N. Iwata, J. Kaastra, T. Kallman, T. Kamae, H. Katagiri, J. Kataoka, S. Katsuda, M. Kawaharada, N. Kawai, S. Kawasaki, D. Khangaluyan, C. Kilbourne, K. Kinugasa, S. Kitamoto, T. Kitayama, T. Kohmura, M. Kokubun, T. Kosaka, T. Kotani, K. Koyama, A. Kubota, H. Kunieda, P. Laurent, F. Lebrun, O. Limousin, M. Loewenstein, K. Long, G. Madejski, Y. Maeda, K. Makishima, M. Markevitch, H. Matsumoto, K. Matsushita, D. McCammon, J. Miller, S. Mineshige, K. Minesugi, T. Miyazawa, T. Mizuno, K. Mori, H. Mori, K. Mukai, H. Murakami, T. Murakami, R. Mushotzky, Y. Nakagawa, T. Nakagawa, H. Nakajima, T. Nakamori, K. Nakazawa, Y. Namba, M. Nomachi, S. O'Dell, H. Ogawa, M. Ogawa, K. Ogi, T. Ohashi, M. Ohno, M. Ohta, T. Okajima, N. Ota, M. Ozaki, F. Paerels, S. Paltani, A. Parmar, R. Petre, M. Pohl, S. Porter, B. Ramsey, C. Reynolds, S. Sakai, R. Sambruna, G. Sato, Y. Sato, P. Serlemitsos, M. Shida, T. Shimada, K. Shinozaki, P. Shirron, R. Smith, G. Sneiderman, Y. Soong, L. Stawarz, H. Sugita, A. Szymkowiak, H. Tajima, H. Takahashi, Y. Takei, T. Tamagawa, T. Tamura, K. Tamura, T. Tanaka, Y. Tanaka, Y. Tanaka, M. Tashiro, Y. Tawara, Y. Terada, Y. Terashima, F. Tombesi, H. Tomida, M. Tozuka, Y. Tsuboi, M. Tsujimoto, H. Tsunemi, T. Tsuru, H. Uchida, Y. Uchiyama, H. Uchiyama, Y. Ueda, S. Uno, M. Urry, S. Watanabe, N. White, T. Yamada, H. Yamaguchi, K. Yamaoka, N. Yamasaki, M. Yamauchi, S. Yamauchi, Y. Yatsu, D. Yonetoku and A. Yoshida: The ASTRO-H mission, *Proc. SPIE*, 7732, 77320Z-77320Z-18 (2010).
- [3] S. Watanabe, H. Tajima, Y. Fukazawa, R. Blandford, T. Enoto, J. Kataoka, M. Kawaharada, M. Kokubun, P. Laurent, F. Lebrun, O. Limousin, G. Madejski, K. Makishima, T. Mizuno, T. Nakamori, T. Nakazawa, K. Mori, H. Odaka, M. Ohno, M. Ohta, G. Sato, R. Sato, S. Takeda, H. Takahashi, T. Takahashi, T. Tanaka, M. Tashiro, Y. Terada, H. Uchiyama, Y. Uchiyama, S. Yamada, Y. Yatsu, D. Yonetoku and T. Yuasa: Soft gamma-ray detector for the ASTRO-H mission, *Proc. SPIE, Astronomical Telescopes + Instrumentation* 2012, 8443, 844326 (2012).
- [4] T. Takahashi, K. Mitsuda, R. Kelley, F. Aharonian, H. Akamatsu, F. Akimoto, S. Allen, N. Anabuki, L. Angelini, K. Arnaud, M. Asai, M. Audard, H. Awaki, P. Azzarello, C. Baluta, A. Bamba, N. Bando, M. Bautz, T. Bialas, R. D. Blandford, K. Boyce, L. Brenneman, G. Brown, E. Cackett, E. Canavan, M. Chernyakova, M. Chiao, P. Coppi, E. Costantini, J. de Plaa, J. W. den Herder, M. DiPirro, C. Done, T. Dotani, J. Doty, K. Ebisawa, T. Enoto, Y. Ezoe, A. Fabian, C. Ferrigno, A. Foster, R. Fujimoto, Y. Fukazawa, S. Funk, A. Furuzawa, M. Galeazzi, L. Gallo, P. Gandhi, K. Gilmore, M. Guainazzi, D. Haas, Y. Haba, K. Hamaguchi, A. Harayama, I. Hatsukade, K. Hayashi, T. Hayashi, K. Hayashida, J. Hiraga, K. Hirose, A. Hornschemeier, A. Hoshino, J. Hughes, U. Hwang, R. Iizuka, Y. Inoue, K. Ishibashi, M. Ishida, K. Ishikawa, K. Ishimura, Y. Ishisaki, M. Itoh, N. Iwata, N. Iyomoto, C. Jewell, J. Kaastra, T. Kallman, T. Kamae, J. Kataoka, S. Katsuda, J. Katsuta, M. Kawaharada, N. Kawai, T. Kawano, S. Kawasaki, D. Khangaluyan, C. Kilbourne, M. Kimball, M. Kimura, S. Kitamoto, T. Kitayama, T. Kohmura, M. Kokubun, S. Konami, T. Kosaka, A. Koujelev, K. Koyama, H. Krimm, A. Kubota, H. Kunieda, S. LaMassa, P. Laurent, F. Lebrun, M. Leutenegger, O. Limousin, M. Loewenstein, K. Long, D. Lumb, G. Madejski, Y. Maeda, K. Makishima, M. Markevitch, C. Masters, H. Matsumoto, K. Matsushita, D.

- McCammon, D. McGuinness, B. McNamara, J. Miko, J. Miller, E. Miller, S. Mineshige, K. Minesugi, I. Mitsuishi, T. Miyazawa, T. Mizuno, K. Mori, H. Mori, F. Moroso, T. Muench, K. Mukai, H. Murakami, T. Murakami, R. Mushotzky, H. Nagano, R. Nagino, T. Nakagawa, H. Nakajima, T. Nakamori, S. Nakashima, K. Nakazawa, Y. Namba, C. Natsukari, Y. Nishioka, M. Nobukawa, H. Noda, M. Nomachi, S. O'Dell, H. Odaka, H. Ogawa, M. Ogawa, K. Ogi, T. Ohashi, M. Ohno, M. Ohta, T. Okajima, T. Okazaki, N. Ota, M. Ozaki, F. Paerels, S. Paltani, A. Parmar, R. Petre, C. Pinto, M. Pohl, J. Pontius, F. S. Porter, K. Pottschmidt, B. Ramsey, R. Reis, C. Reynolds, C. Ricci, H. Russell, S. Safi-Harb, S. Saito, S. Sakai, H. Sameshima, K. Sato, R. Sato, G. Sato, M. Sawada, P. Serlemitsos, H. Seta, Y. Shibano, M. Shida, T. Shimada, P. Shirron, A. Simionescu, C. Simmons, R. Smith, G. Sneiderman, Y. Soong, L. Stawarz, Y. Sugawara, S. Sugita, A. Szymkowiak, H. Tajima, H. Takahashi, H. Takahashi, S. Takeda, Y. Takei, T. Tamagawa, K. Tamura, T. Tamura, T. Tanaka, Y. Tanaka, Y. Tanaka, M. Tashiro, Y. Tawara, Y. Terada, Y. Terashima, F. Tombesi, H. Tomida, Y. Tsuboi, M. Tsumimoto, H. Tsunemi, T. Tsuru, H. Uchida, H. Uchiyama, Y. Uchiyama, Y. Ueda, S. Ueda, S. Ueno, S. Uno, M. Urry, E. Ursino, C. de Vries, A. Wada, S. Watanabe, T. Watanabe, N. Werner, N. White, D. Wilkins, S. Yamada, T. Yamada, H. Yamaguchi, K. Yamaoka, N. Yamasaki, M. Yamauchi, S. Yamauchi, T. Yaqoob, Y. Yatsu, D. Yonetoku, A. Yoshida, T. Yuasa, I. Zhuravleva, A. Zoghbi and J. ZuHone: The ASTRO-H X-ray astronomy satellite, *Proc. SPIE 9144, Space Telescopes and Instrumentation 2014*, 914425 (2014).
- [5] T. Takahashi, M. Kokubun, K. Mitsuda, R. Kelley, T. Ohashi, F. Aharonian, H. Akamatsu, F. Akimoto, S. Allen, N. Anabuki, L. Angelini, K. Arnaud, M. Asai, M. Audard, H. Awaki, M. Axelsson, P. Azzarello, C. Baluta, A. Bamba, N. Bando, M. Bautz, T. Bialas, R. Blandford, K. Boyce, L. Brenneman, G. Brown, E. Bulbul, E. Cackett, E. Canavan, M. Chernyakova, M. Chiao, P. Coppi, E. Costantini, J. de Plaa, J-W. den Herder, M. DiPirro, C. Done, T. Dotani, J. Doty, K. Ebisawa, M. Eckart, T. Enoto, Y. Ezoe, A. Fabian, C. Ferrigno, A. Foster, R. Fujimoto, Y. Fukazawa, A. Furuzawa, M. Galeazzi, L. Gallo, P. Gandhi, K. Gilmore, M. Giustini, A. Goldwurm, L. Gu, M. Guainazzi, D. Haas, Y. Haba, K. Hagino, K. Hamaguchi, A. Harayama, I. Harrus, I. Hatsukade, T. Hayashi, K. Hayashi, K. Hayashida, J. Hiraga, K. Hirose, A. Hornschemeier, A. Hoshino, J. Hughes, Y. Ichinohe, R. Iizuka, Y. Inoue, H. Inoue, K. Ishibashi, M. Ishida, K. Ishikawa, K. Ishimura, Y. Ishisaki, M. Itoh, N. Iwata, N. Iyomoto, C. Jewell, J. Kaastra, T. Kallman, T. Kamae, E. Kara, J. Kataoka, S. Katsuda, J. Katsuta, M. Kawaharada, N. Kawai, T. Kawano, S. Kawasaki, D. Khangulyan, C. Kilbourne, M. Kimball, A. King, T. Kitaguchi, S. Kitamoto, T. Kitayama, T. Kohmura, T. Kosaka, A. Koujelev, K. Koyama, S. Koyama, P. Kretschmar, H. Krimm, A. Kubota, H. Kunieda, P. Laurent, F. Lebrun, S-H. Lee, M. Leutenegger, O. Limousin, M. Loewenstein, K. Long, D. Lumb, G. Madejski, Y. Maeda, D. Maier, K. Makishima, M. Markevitch, C. Masters, H. Matsumoto, K. Matsushita, D. McCammon, D. McGuinness, B. McNamara, M. Mehdipour, J. Miko, J. Miller, E. Miller, S. Mineshige, K. Minesugi, I. Mitsuishi, T. Miyazawa, T. Mizuno, K. Mori, H. Mori, F. Moroso, H. Moseley, T. Muench, K. Mukai, H. Murakami, T. Murakami, R. Mushotzky, H. Nagano, R. Nagino, T. Nakagawa, H. Nakajima, T. Nakamori, T. Nakano, S. Nakashima, K. Nakazawa, Y. Namba, C. Natsukari, Y. Nishioka, M. Nobukawa, K. Nobukawa, H. Noda, M. Nomachi, S. O'Dell, H. Odaka, H. Ogawa, M. Ogawa, K. Ogi, M. Ohno, M. Ohta, T. Okajima, A. Okamoto, T. Okazaki, N. Ota, M. Ozaki, F. Paerels, S. Paltani, A. Parmar, R. Petre, C. Pinto, M. Pohl, J. Pontius, F. S. Porter, K. Pottschmidt, B. Ramsey, C. Reynolds, H. Russell, S. Safi-Harb, S. Saito, S. Sakai, K. Sakai, H. Sameshima, T. Sasaki, G. Sato, Y. Sato, K. Sato, R. Sato, M. Sawada, N. Schartel, P. Serlemitsos, H. Seta, Y. Shibano, M. Shida, M. Shidatsu, T. Shimada, K. Shinozaki, P. Shirron, A. Simionescu, C. Simmons, R. Smith, G. Sneiderman, Y. Soong, L. Stawarz, Y. Sugawara, H. Sugita, S. Sugita, A. Szymkowiak, H. Tajima, H. Takahashi, S. Takeda, Y. Takei, T. Tamagawa, T. Tamura, K. Tamura, T. Tanaka, Y. Tanaka, Y. Tanaka, M. Tashiro, Y. Tawara, Y. Terada, Y. Terashima, F. Tombesi, H. Tomida, Y. Tsuboi, M. Tsumimoto, H. Tsunemi, T. Tsuru, H. Uchida, Y. Uchiyama, H. Uchiyama, Y. Ueda, S. Ueda, S. Ueno, S. Uno, M. Urry, E. Ursino, C. de Vries, A. Wada, S. Watanabe, T. Watanabe, N. Werner, D. Wik, D. Wilkins, B. Williams, T. Yamada, S. Yamada, H. Yamaguchi, K. Yamaoka, N. Yamasaki, M. Yamauchi, S. Yamauchi, T. Yaqoob, Y. Yatsu, D. Yonetoku, A. Yoshida, T. Yuasa, I. Zhuravleva and A. Zoghbi: The ASTRO-H (Hitomi) X-ray astronomy satellite, *Proc. SPIE 9905, Space Telescopes and Instrumentation 2016*, 99050U (2016).
- [6] Requirements & Standards Division, ESA-ESTEC, ECSS Secretariat: ECSS-E-ST-50-12C, SpaceWire—links, nodes, routers and networks, (2008).
- [7] 宇宙航空研究開発機構: JERG-2-432, SpaceWire オンボードサブネットワーク設計標準, (2016).
- [8] 吉川弘之: 科学者と専門家の役割, 科学技術振興機構シンポジウム「社会における科学者の責任と役割」於・政策研究大学院大学講演資料, (2011).
- [9] 田中正躬: 国際標準の考え方, 東京大学出版会, 東京 (2017).
- [10] 経済財政諮問会議「構造変化と日本経済」専門調査会: グローバル経済に生きる—日本経済の「若返り」を—, (2008).
- [11] T. Yuasa, T. Takahashi, M. Ozaki, M. Kokubun, M. Nomachi, H. Hihara and K. Masukawa: A deterministic SpaceWire network onboard the ASTRO-H space X-ray observatory, *Proc. Intl. SpaceWire Conference 2011*, 348–351 (2011).
- [12] T. Yuasa, T. Takahashi, M. Nomachi and H. Hihara: A SpaceWire router architecture with non-blocking packet transfer mechanism, *Proc. Intl. SpaceWire Conference 2014*, 213–219 (2014).
- [13] 高橋忠幸, 笠羽康正, 高島健, 吉光徹雄, 山田隆弘: 科学衛星データ処理系の将来展望, 宇宙科学シンポジウム講演, (2005).
- [14] 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所ASTRO-Hプロジェクトチーム: 8-2 SpaceWireネットワーク—ネットワーク型衛星アーキテクチャー, X線天文衛星ASTRO-H実験報告書, 812–883 (2016).
- [15] European Space Agency: *WELL CONNECTED, European Space Agency Bulletin*, (2011).
- [16] H. Hihara, S. Moriyama, T. Tamura, T. Tohma, K. Kitade, S. Parkes, S. Mills, M. Nomachi, T. Takahashi and T. Takashima: SpaceWire protocol analyzer on Space Cube, *Proc. Intl. SpaceWire Conference 2007*, 249–252 (2007).
- [17] T. Yamada: Results of analysis for the SpW-D draft specification, 15th SpaceWire Working Group, (2010).
- [18] Space Technology Centre, University of Dundee: SpaceWire-D—deterministic control and data delivery over SpaceWire networks, revision: draft B, (2010).
- [19] 高田光隆, 陳暘, 高田広章, 湯浅孝行, 高橋忠幸, 能町正治:

SpaceWireのリアルタイム性保証手法の検討とソフトウェアプラットフォームの開発, 第13回宇宙科学シンポジウム, (2013).

[20] SciSys UK Ltd.: Network discovery protocols, protocol specification, SpaceWire plug-and-play protocol, reference, SSL/08717/DOC/003, Issue: 1.5, (2013).

執筆者略歴

檜原 弘樹（ひはら ひろき）

1986年日本電気(株)入社、2015年NECスペーステクノロジー(株)勤務、日本電気(株)兼務。人工衛星に搭載するネットワーク機器と画像処理機器の開発を取りまとめている。この論説では、日本からの技術提案をスペースワイヤ国際標準規格に反映する交渉に従事し、スペースワイヤ国際標準規格を適用した人工衛星に搭載するデータ処理系サブシステムの実用化開発を取りまとめた。



能町 正治（のまち まさはる）

2011年9月30日まで大阪大学理学研究科附属原子核実験施設教授。現在、大阪大学放射線科学基盤機構・教授。SpaceWire Working Group Committee（スペースワイヤ作業部会委員会）において、国際標準規格に関する日本からの技術提案を取りまとめていると共に、宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA）におけるスペースワイヤオンボードサブネットワーク設計標準策定の主査をつとめている。この論説では、スペースワイヤ作業部会委員会における日本からの参加者を統率すると共に、運営委員会に我が国を代表して参加し、スペースワイヤ国際標準規格における日本からの技術提案活動を主導した。



高橋 忠幸（たかはし ただゆき）

2018年2月15日まで国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所教授。現在、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli-IPMU）教授。我が国のスペースワイヤ国際標準規格を適用した共通データベースの開発、および国際標準化活動全般を取りまとめた。この論説では、科学衛星データ処理系の将来展望と国際標準規格の提案と連携した研究開発計画を策定すると共に、国際協力の枠組みを構築し、人工衛星に搭載するデータ処理系の研究開発全般を取りまとめた。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント（小野 晃、赤松 幹之：産業技術総合研究所）

人工衛星のネットワーク上の通信規格であるスペースワイヤの国際標準化において、日本の提案が採用されていったシナリオが、その技術背景と人の役割の面から記述されている。開発型の標準策定に対して吉川モデルを適用し、欧州、米国、日本の規格策定実践者の行動様式を分析している。人工衛星の通信規格に限らずに、標準開発一般に通じるものがあり、シンセシオロジーの論説としてふさわしい。

議論2 規格策定における参加者の範囲と役割

質問（小野 晃）

いわゆる国際規格としてはISOやIECがあり、そこでは各国の標準化機関が合意して国際規格を作ります。一方この論説の主題であるスペースワイヤ国際標準規格はどのような人々と組織が合意して作った国際規格なのでしょうか。世界中の宇宙技術の専門家、各国の宇宙機関、欧州宇宙機関（ESA）等が関わったと想像されますが、スペースワイヤ国際標準規格を作成するに当たって、どのような主体がそれぞれどのような役割を果たしたのでしょうか。

回答（檜原 弘樹）

スペースワイヤは、欧州宇宙機関の研究所であるEuropean Space Agency / European Space Research and Technology Centre（ESA/ESTEC）が発案者となり、それまで軍用の部品が使われていた宇宙機内の機器間通信の規格を、特殊な部品を使わずに実現することを目的として検討が始められました。ESAにおいて国際標準規格を制定するのはESTEC内の技術委員会ですが、技術委員会での制定作業に先立ち、仕様案を討議し、技術委員会に仕様案を提出するという役割を担うスペースワイヤ技術部会委員会（SpaceWire Working Group Committee, SpW WG）が設けられました。

このSpW WGに参加するに際しては参加資格に制約は事実上ありません。いかなる国も、官・学・産の立場によらず参加でき、また、SpW WGにおける発言権に制約が課されることも無く、自由に発言ができます。実際は、欧州、日本、ロシア、米国の宇宙機関、大学、企業が参加しており、トルコやブラジル等の宇宙関係の政府機関や研究所が参加することもあります。

ただし、欧州が受け入れることのできる参加者として暗黙の了解はあるように感じられます。すなわち、明確な参加資格の規定は無いものの、宇宙機の研究開発が可能であり、かつ、仕様案について提案や議論のできる参加者が受け入れられているように感じられます。

議論3 開発型の標準

質問（小野 晃）

「開発型の標準」という用語がしばしば用いられていますが、通常の標準とどこが異なるのか、その定義はどのようなものですか。スペースワイヤ国際標準規格が「開発型」である理由は何かご説明願います。また開発型国際標準である場合、従来型と異なって標準化で留意すべき点に関して著者の見解をお聞かせください。

回答（檜原 弘樹）

「開発型の標準」という用語は、参考文献9)として参考にさせていただきました。「田中正躬著：“国際標準の考え方” 東京大学出版会、東京（2017）」から引用させていただきました。この用語の理解としまして、開発目的が先行し、そのためにあるべき標準規格の体系と規格の種類自体から討議されると共に、SpW WGに参加する各組織は研究開発成果、試作評価結果、さらには独自に進めた軌道上実証成果等を持ち寄ることが期待され、さらにその実績が尊重されるという状況が「開発型」という用語で端的に表現できるものと解釈しました。

標準化提案を進めるに当たりましては、このスペースワイヤ自体は通信規格であるにも関わらず、コネクタや半導体デバイス等の開発提案も推奨されており、宇宙機に適用するための信頼性を担保しながら新規技術を導入することが許容されていることから、機能性能的に先進性を追求できることがSpW WGの参加者に求められます。これが暗黙の了解に繋がるように感じられ、留意すべき点と認識しました。

また、規格適用範囲の統廃合も起こり、また、規格策定の期限も明確では無いことから、企業の立場としては製品開発を進めつつ、その開発と並行し、製品仕様として他組織との互換性を要するところを積極的に開示して規格案として提案する提案力が求められる点も、留意点と考えます。

議論4 観察者、構成者、行動者に対応する組織

質問（小野 晃）

4章「各国行動様式の比較」における「観察者」、「構成者」、「行動者」

が具体的にどのような組織に対応するのかを日本の場合に当てはめてご説明願います。「対象」＝人工衛星あるいは搭載センサ、およびそれらから得られるデータ・情報、「観察者」＝研究機関、大学、宇宙航空研究開発機構の研究者、データ利用者、「構成者」＝宇宙航空研究開発機構、「行動者」＝製造企業、と理解してよいでしょうか。外国の場合もこの対応関係が当てはまりますか。

通常、規格は、製品の提供者と利用者が、市場取引において準拠すべき合意事項として捉えることが多いですが、今回の論説で製品の提供者と利用者はどの主体に対応しますか。

回答（檜原 弘樹）

日本には宇宙航空研究開発機構を取り纏めとした国内規格制定の仕組みが整備されており、行動者である製造企業と観察者である宇宙航空研究開発機構間の対象である人工衛星と観測データの受発注関係による討議に基づいた規格が制定されてきています。

大学や国の研究機関は規格策定プロセスでは観察者の立場を取ることが多く、研究開発に際しては行動者の立場をとることもあります。また、システムベンダの性格を持つ製造企業が観察者の視点を持って規格策定に参画することもあります。規格策定は参加者の所属組織にあまりよらない中立的な意識を共有した参加者による標準化委員会によって進められることから、構成者の場は独立性が高く、これは我が国の宇宙機の技術開発が官民一体になって進められてきたという背景にも依存しているものと考えられます。

外国の場合、欧州は宇宙機関以外の研究機関がスペースワイヤ規格に関する限り、規格策定に関与してきません。研究機関の間でも分野に応じた役割分担が明確である印象を受けます。米国はさらに大学も規格策定に関与せず、事実上、米国航空宇宙局と企業のみが規格策定に関与しています。このため、どちらも、参照モデルへの対応が日本と異なります。

今回参照しているモデルにおいて、提供者と利用者それぞれ行動者と観察者に対応付けることにより上述の差異を表現し得ると考えますが、欧州の場合は市場取引のしくみの一つとして規格を活用する意識が見受けられ、観察者が構成者の立場を取って市場取引のしくみの提供者ともなっていると考えられます。

議論5 各国行動様式の違いの原因

質問（小野 晃）

4章に欧州、米国、日本の行動様式の違いが説明されていますが、それぞれで行動様式が異なる一番の原因はどこにあると考えられますか。

回答（檜原 弘樹）

スペースワイヤの規格策定のプロセスを経験する中から、行動様式の異なる一番の原因は産業を育成する場の方針の違いであると感じます。欧州は淘汰を好まない共存を目指しており、そのままでは発展が停滞するリスクを、異なる価値観の存在を認めた議論により合意することで回避しています。米国は淘汰を意識的に認めており、提案の選択によって発展を促進しています。日本では規格を産業育成の手段としてではなく、仲裁として位置づけている印象があります。

議論6 日本の課題

質問（小野 晃）

欧州や米国と比べた場合、行動様式の点で日本にとっての課題は何だとお考えでしょうか。

回答（檜原 弘樹）

欧州や米国と比べた場合、日本では多様性を活かす場が用意されていないように思います。欧州でもそれぞれ個々の国の中では暗黙の了解に基づく常識のようなものが見受けられますが、各国間の価値観の相違や実績を尊重しつつ討議する場を用意しており、これが多様性

を明示的に活用するのに役立っています。

米国は国内に多様性があり、異なった視点に基づく実績が生まれることを認識しており、それが強みの源泉であることを明確に意識しています。日本にも国内に多様性がありますが、多様性から派生する実績を共有する場が用意されていないように感じます。

質問（赤松 幹之）

我が国独自の規格を国際標準規格に取り込むことは容易ではなかった、という記述がありますが、なぜ容易ではなかったと考えるのかを記載してください。

回答（檜原 弘樹）

御指摘頂きました点の後者のモチベーションが主因であると考えられ、これを追記いたしました。

議論7 大学との共同研究と標準化について

質問（赤松 幹之）

Concurrent Schedule について記載されていますが、このポイントは軌道上での実績に加えて共同研究で設計指針を構築した点であると理解しました。この共同研究は、国際標準化に持ち込むことを目的としたシナリオの一部としての共同研究だったのでしょうか？もし、前者であれば、どういう判断のもとでこの共同研究を実施することになったのでしょうか？

回答（檜原 弘樹）

共同研究につきまして改めて思い返しますと、「ひとみ」の開発のプロジェクトマネージャーをされていた高橋教授が形式検証と論理的な検証を重視する欧州の文化に造詣が深く、経験知に基づく実装仕様を欧州でも認められる形式として整えるべく、このための官産学共同研究計画を推進し、その共同研究開発を通じて欧州の論理的（形式的）に検証が可能であることを重視する発想にも対応できる指針を構築したものと再認識しました。この旨を追記いたしました。

議論8 将来の貢献

質問（小野 晃）

この論説は宇宙技術の中で日本が国際規格の作成に大きく貢献した事例を紹介していますが、今後もこのような貢献を続けていくために、最も重要な点は何だとお考えでしょうか。宇宙技術以外の一般の技術に関してでも結構です。

回答（檜原 弘樹）

スペースワイヤの規格策定のプロセスを振り返りますと、今後は先行事例のみならず多様性に働きかける、という意識が最も重要であると考えます。その理由は次の二つです。

まず、我々はいわゆるカイゼンの意識により、既存の成果を否定するところから始まる競争の意識ではなく、既存の成果を尊重する意識からでも国際標準規格の策定に貢献できることがわかりました。それは、仕様を策定する側と仕様を利用する側に階級意識が無く、一体となる文化を持ち合わせていることから、PDCAサイクルが早くまわせることに起因します。

次に、カイゼンの手法は先行事例があるところから始まります。我が国の技術レベルの向上に伴い、先行事例を見つけることが難しくなってきました。今後は先進国や発展途上国、あるいは新しい技術や古い技術という意識を排除し、多様性の発露を先行事例として捉えるよう認識を改めることにより、常に先行事例を視野に入れることができます。

これらの理由から、多様性を先行事例として捉えなおし、それを尊重し、カイゼンしてゆくことにより、欧米の競争の価値観と共存し、かつ継続的な国際標準規格策定への貢献が可能になると考えます。