

TTCに寄せて

キャリア向け光インタフェースの標準化を振り返って

～TTC会長表彰を受賞して～

NTT株式会社
曾根 由明

この度は「キャリア光ネットワークインタフェース標準化活動にかかわる功績」として、名誉ある情報通信技術賞 TTC 会長表彰を賜り大変光栄に存じます。多くの方々が標準化活動に取り組まれる中、デファクト中心に経験を積んできた私の活動を評価いただけたことは、大変光栄であり大きな励みとなりました。これまで標準化業務を支えてくださり、連携し共同で提案をしてくださった社内外のご関係者の皆様にこの場をお借りして御礼申し上げます。この度、受賞に伴い本稿を執筆する機会を頂きました。本稿では、私の略歴と標準化業務経験、担当した IEEE802.3 と OpenROADM MSA の標準化の取り組み、および国際標準化を通じた学びについて述べさせていただきます。

略歴と標準化業務の歩み

私は 2003 年に NTT 研究所に入社し、光ネットワークの研究開発に従事しました。入社後の最初の業務は GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) (光ネットワークの自律分散制御プロトコル) の研究を担当し、複数ベンダ間の相互接続試験を通じて標準化の重要性を学びました。この経験が、後の標準化活動への良い導入となりました。標準化活動への本格的な参加は、OIF (Optical Internetworking Forum) のキャリア WG で、キャリア要件の整理や相互接続試験に関わったことがきっかけです。2009 年には、日本・北米・欧州を結ぶ MPLS-TP 回線の国際相互接続イベントに参画しました。OIF の経験を通し、標準化会議の手続きや ITU-T、IEEE802.3 などの役割を理解しました。

2011 年からは NTT のキャリアイーサネットサービスの装置開発を担当しましたが、IEEE802.3 の 400GbE 標準化に対しキャリア要件を提示する必要があり、IEEE802.3 での標準化に参画しました。当時、キャリアイーサネット網では 40km 伝送規格が必須でしたが、IEEE802.3 の 400GbE 標準化計画

には含まれていませんでした。そこで、他キャリアと連携し、Call For Interest を提案、Beyond 10 km Optical PHYs Study Group を設立し、802.3cn Task Force で標準化を完了しました。この活動を通じて、プラガブルトランシーバやデータセンタネットワークのエコシステムを深く理解しました。

2018 年から 4 年間、米国シリコンバレーに駐在し、コヒーレント DSP の顧客サポートを担当しました。IEEE802.3 で培った標準化知識と人脈は、顧客対応において大きな強みとなり、標準化経験が実務に直結することを実感しました。

2021 年に帰任後、OpenROADM MSA に参加し、副議長としてプレナリ会合やボード会合を運営しました。光インタフェース仕様の策定や、シリコンフォトニクスと InP (Indium Phosphide) 系光部品の両立、複合負荷による性能規定の導入など、合意形成に努めました。また、IOWN Global Forum との連携を推進し、遠隔データセンタ接続ユースケースへの対応を実現しました。現在もボードメンバとして活動を継続し、光ネットワークのオープン化・標準化へ貢献すべく務めております。

IEEE802.3 イーサネットインタフェース標準化

IEEE802.3 はイーサネットの物理レイヤを標準化するワーキンググループであり、イーサネットトランシーバの光インタフェースおよび電気インタフェース仕様を策定しています。私が参加を開始した 2014 年頃は、100GbE 標準化が山場を越え、400GbE 標準化に向けた Study Group でオブジェクティブが議論されていました。ハイパースケールデータセンタの台頭に伴い、現在標準的となっている DR (500m、SMF)、FR (2km、SMF) といったデータセンタ内向け光伝送規格が整備され、局間接続向けには LR (10km) 規格の提案が進んでいました。

当時のキャリアイーサネット網では、局間接続として 40km 級の光インタフェースが広く利用されてお

り、100GbE 装置開発でも 100GBase-ER4 を前提とするなど、長距離仕様は実運用上不可欠でした。さらに災害対策として 80km 級の伝送も想定されていました。このため、トラフィック増加を見据えると、400GbE にも同等の 40km 規格を整備する必要性は明確でした。40km 伝送規格があると通常運用時では例外を除きほぼ全ての局間接続をカバーすることができます (図 1)。

しかしながら、IEEE802.3 の 400GbE 標準化では 40km 規格が計画に含まれておらず、2014 年 1 月の会合でこの状況を把握し、社内で課題提起したところ、400G 40km 伝送規格の標準化対策を進めることとなりました。前述の通り、キャリアイーサネットサービスの装置開発・維持管理担当を担当していたため、導入する設備数の実態データから、標準化の必要性は明確でした。

最初の 400GbE 標準化プロジェクト (802.3bs Task Force) では、スコープの議論は既に固まっていたため 40km のインタフェース規格は標準化対象に含まれませんでした。このため、そのプロジェクトと並行して、他キャリアや関連ベンダ各社と連携し、アドホック会議を開催し、市場の必要性について説明しました。その結果、新しいプロジェクトの開始を問う Call For Interest (CFI) を 2017 年に開催し、Beyond 10 km Optical PHYs Study Group として Study Group を開始することに成功しました。後に、本 Study Group は正式標準化プロジェクトである 802.3cn Task Force となり、40km 伝送規格の標準化が進み、2019 年 11 月に標準化を完了^[1]しています。

OpenROADM MSA での標準化

Open ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) MSA (Multi-Source Agreement) は、オープンで柔軟な ROADM ネットワーク向けに相互接続可能なインタフェース仕様を策定し、光ネットワークのエコシステム構築を目指しています。2016 年に発足し、2025 年 11 月時点で 15 のオペレータと 17 の伝送装置ベンダ、計 32 社が加盟しています。目的は、オープン標準インタフェースにより従来の垂直統合型システムによるベンダロックインを回避し、柔軟なネットワークを実現することです。図は想定する ROADM 構成とインタフェース定義を示します (図 2)。仕様には光伝送インタフェース (物理層) と装置コントローラ向け API が含まれ、いずれも公開されています。光インタフェース仕様は Web サイトでスプレッドシート形式、API は YANG モデルで GitHub^[2] 上に公開され、実装ガイドラインを示すホワイトペーパーも入手可能です。OpenROADM MSA の運営は全てオンラインで実施されているのも MSA の特徴の一つです。MSA はメンバーシップ年会費も無く、参加メンバーのボランティアによる Web 会議ツールと、GitHub の運営のみで仕様策定が進められています。

私が標準化活動に参加を開始した 2018 年当時、400G 光インタフェースの仕様策定が進行中でした。OpenROADM は、400G 光インタフェースにおいて市場で広く採用されていた oFEC ベースの標準仕様を初めて採用した団体です。

当時、データセンタ間接続向けには OIF が CFEC を用いた 400G-ZR トランシーバを規定し、プラガ

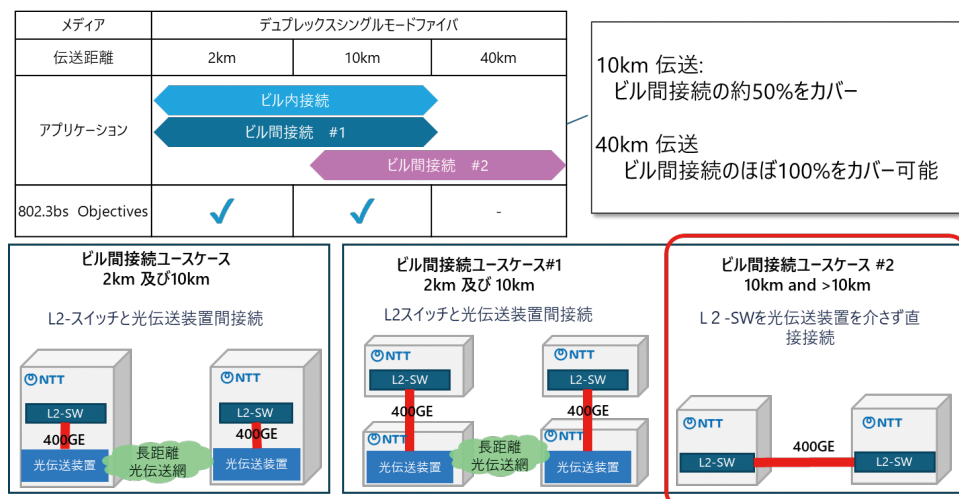


図 1 キャリアイーサネット網における 2km、10km 及び 40km 伝送光インタフェース規格のユースケース

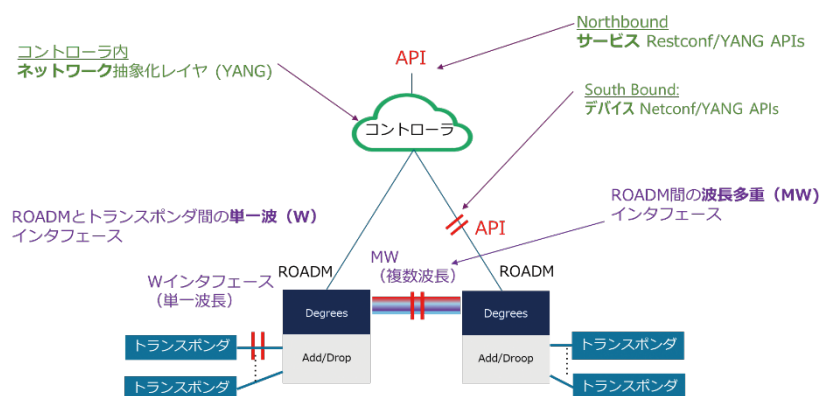


図2 Open ROADM MSA で規定する相互接続仕様

ブルかつマルチベンダで相互接続可能な製品の開発が活発化していました。この技術とエコシステムを流用し、より強力な誤り訂正方式である oFEC を適用することで、従来ラインカード型が主流だったテレコムキャリアのメトロ DWDM 領域でもプラグブルトランシーバを活用できるのではないかと期待が高まっていました。

一方、400G-ZR トランシーバなど、ROADM 網よりシンプルなポイントツーポイント接続を想定した先行市場では、国内外でコヒーレント PHY DSP や光部品への投資が既に進んでいました。このため、参画企業の既存技術を尊重しつつ、共通仕様を策定することが大きな課題となりました。主な課題は二つありました。一つ目は、プラグブルトランシーバの光部品で主要技術となるシリコンフォトニクスと InP 系光部品の両立です。二つ目は、ベンダ各社の設計方針によるコヒーレント PHY 性能差異の調整です。合意可能な仕様への合意形成には時間を要し、私が副議長を務めた 2021 年から 2022 年も、この課題は継続し、会議運営に苦慮しました。最終的には、光部品の発生するノイズに関し、発生の仕組みに応じた二つのノイズ基準を仕様に組み込み、シリコンフォトニクスと InP 系の両実装を可能としました。また、コヒーレント PHY DSP については、分散や PMD など劣化要因ごとの性能規定では合意が困難だったため、複合負荷の考え方を採用し、複数ベンダが同程度の性能基準を満たす仕組みを導入しました。これは実運用上問題を発生させない解決方法でした。

また、複数社の調整に基づく標準仕様を満たすことは、どうしても製品本来の最高性能が出しづらい条件になっている場合があります。このような場合の救済措置として、同一ベンダ対向時のみ使える独自仕様

の伝送モードを、装置管理を行うコントローラだけでは管理できるように制御 API を規定しました。これによって、複数ベンダの相互接続することによる性能の妥協による運用への影響範囲を最小化することができました。OpenROADM は 400G の oFEC 仕様を Optical specification ver. 5.1^[3] としてリリースしました。この標準化により、キャリアの DWDM 光ネットワークを複数ベンダのプラグブルトランシーバを利用して構築可能となりました。さらに 400G 以降の 800G 仕様の議論が現在進んでおり oFEC による誤り訂正機能を最大化するため、OpenROADM は光通信業界で初めて相互接続可能な PCS 仕様 (Probabilistic Constellation Shaping) の相互接続仕様を標準化しました。PCS は、若干のレート増加を許容して光信号のシンボル分布を最適化することで、伝送効率を向上させる技術です。この PCS のフレーム仕様は ITU-T と OIF の 800G 仕様に流用されています。

その他、OpenROADM MSA の運営において力を入れたことは IOWN Global Forum (IOWN GF) との連携です。IOWN GF の提案する All Photonics Network (APN) では光レイヤに OpenROADM 仕様を利用することを前提としています。その際、IOWN APN 特有のユースケースである遠隔データセンタ接続に対応するため OpenROADM MSA の仕様を拡張する必要がありました。IOWN GF の働きかけにより両団体が Liaison 関係を構築し、IOWN GF 提案のユースケースに対応する標準化が実現しました。

議長としてニュートラルな立場ではありますが、オープン化の遅れていた光ネットワークのオープン化に寄与するとともに、国産の製品についても市場参入

に困らないマルチベンダが相互接続可能な仕様確立に微力ながら寄与できたのではないかと考えております。

“標準化”を通じた学びと今後への思い

標準化活動に携わったことは、私自身のキャリアにおいて非常に大きな財産となりました。技術の普及に関するビジネス上の戦略やポリシーを学べたこと、人脈を築けたこと、そしてその分野で専門性を高める機会を得られたことなどです。

研究者の視点では、技術を性能や新規性の違いに重きを置いて比較しがちです（これは研究開発従事者に必要な基本マインドセットです）。しかし、標準化の場では、技術の採用は単なる性能評価にとどまらず、ステークホルダーのビジネス上の利益最大化、コモディティ化、エコシステム構築といった戦略的要素に強く影響されます。この現実を肌で感じたことが、私にとっては考え方の良い転機となりました。

標準化経験を通じて得た最大の学びは、「技術選択の背景にある多様な利害関係を常に意識する」という習慣です。この視点は、研究開発においても、表面的な性能比較やキャッチコピーに惑わされず、技術の本質を迅速に見極める力を与えてくれました。さらに、研究開発のマネジメントにおいても、技術とビジネスの両面を俯瞰することの重要性を強く認識するきっかけとなりました。

また、今回のように標準化活動の成果を表彰という形で公に認めていただける場合は、標準化担当者にとって非常に重要だと感じています。標準化は、目立たない地道な合意形成の積み重ねであり、その価値が外部から見えにくいことも少なくありません。時にはデファクト MSA ではポリシーの中で調整役となることも多いと思います。だからこそ、今回いただいたような表彰の機会は、標準化に携わる技術者や研究者にとって大きな励みとなり、次の挑戦への原動力になります。また、後進の若手が標準化担当としてのキャリアの成功イメージを少しでも持てることは、標準化人材育成上も非常に重要だと感じています。

標準化は、単なる仕様策定ではなく、国策とも関係し、業界全体の方向性を形づくる活動と理解しています。その場に身を置き、議論を重ね、合意形成に少しでも貢献できたことは、私の経験の中で誇りに感じることです。また、この道のりは多くの方に頂いたご指導・ご支援の賜物でもあり、改めて感謝申し上げます。

今後もこの経験を活かし、標準化で得た知見を研究開発や国際連携に活かし、よりオープンで持続可能なネットワークの実現に貢献して参りたいと思います。

参考文献

- [1] IEEE Standard for Ethernet - Amendment 4: Physical Layers and Management Parameters for 50Gb/s, 200Gb/s, and 400Gb/s Operation over Single-Mode Fiber, 2019.
- [2] OpenROADM MSA GitHub, https://github.com/OpenROADM/OpenROADM_MSA_Public
- [3] Open ROADM MSA, [Optical Specification ver 5.1](#)