

## 2 光パスの自動プロビジョニング

# IOWN APNサービスの提供本格化に向け 重要な光パスの自動プロビジョニング

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想のネットワーク (以下、NW) サービスとして APN (All Photonics Network) を本格的に普及させるには、光パスのプロビジョニングを効率化もしくは自動化することが望ましい。本稿ではそのために NTT 未来ねっと研究所 (以下、未来研) が進めている研究や標準化の取り組みなどについて紹介する。

### 現状のパケット NW から 光波長交換への転換を想定

現状の NW は図 1 上に示すように、光波長交換による中継網とユーザノードの間を、電気通信によるパケット NW がつないでいる。高まる一方の通信速度・通信容量への要求に応えるため革新的な進化を遂げることは、この NW 構造のままでは難しい。

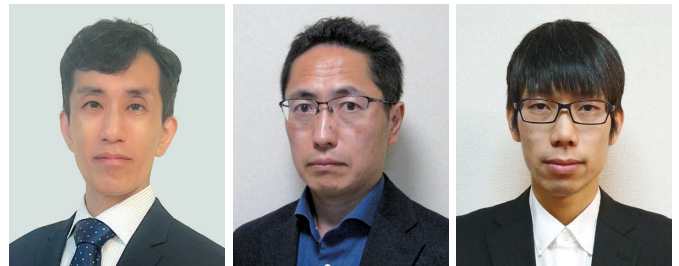
一方 IOWN 構想における APN では図 1 下のように、エンド・ツー・エンドを光波長のパスで接続し、確定的な帯域・遅延で通信サービスを提供することが想定されている。

「IOWN Global Forum (以下、IOWN GF) で議論されている Open APN アーキテクチャでは、光送受信

を行う光トランシーバ (以下、TRx) をユーザ拠点のノードにも配置しデータセンタ (以下、DC) 内のノードまで光パスで直接接続することが想定されています」(西沢氏)。

光 TRx の低価格化が進みはじめており、ユーザノードまで光 TRx を導入する Open APN の世界観は、それほど遠くない将来に実現可能と考えられる。

現状の NW にはルータの大型化が進むなど電力消費量が増え続けているという問題もある。光パスでエンド・ツー・エンドをつなぐことに



NTT 未来ねっと研究所 フロンティアコミュニケーション研究部  
(左から) 部長 高杉 耕一氏  
グループリーダー 西沢 秀樹氏 主任研究員 間野 暢氏

より大容量、低遅延の通信を可能にするだけでなく、電気処理をなるべく不要にして電力削減につなげることも重要なメリットだ。

### Open APN アーキテクチャに 合致させるため従来 ROADM の 拡張を提案

従来の光 NW ではキャリアの通信設備に光 TRx を含む光伝送装置 ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) が配置されている。ユーザノードまで光パスで接続する Open APN の世界観を実現するには、キャリアの通信設備から見てリモートに設置される光 TRx をキャリアが制御/管理できる必要がある。このため Open APN アーキテクチャでは、従来の

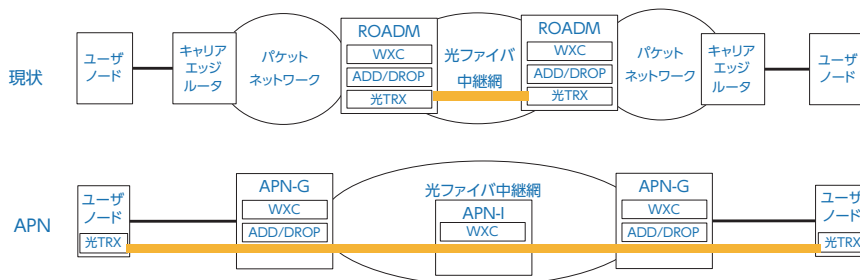


図 1 パケットネットワークから光波長交換へ

ROADM に対し拡張が必要と考えられる点が3つ指摘されている。1つはいかにリモートから光パスを開通し、制御・管理するか。もう1つは多段の ROADM による任意の経路を通過した光 TRx 間でいかに光パスを設定可能にするか。もう1つはユーザ拠点の光 TRx 性能ばらつき、及びアクセス区間の光ファイバにおける損失とそのばらつきアクセス区間の光ファイバにおける損失とそのばらつきにいかに対応するか、である。IOWN GF ではこの拡張の必要性を、ROADM のオープン化に取り組む標準化団体 Open ROADM MSA (Multi-Source Agreement) に対し訴え、世界を巻き込んだ検討を進めている。

### 光伝送装置をオープン化・小型化しユーザ拠点への設置を可能に

一般的にキャリアは TRx、波長選択型スイッチ (WSS)、アンプなどを収容し単独のベンダが責任を持って提供する垂直統合型の光伝送装置を使用している。専用の大きなラックで提供されるものであり、ユーザ拠点への設置には適していない。未来研は光伝送装置のオープン化に率先して取り組んできた。

「Linux や x86 のアーキテクチャを積極的に活用し、ハードウェアのモジュール化やソフトウェアのコンポーネント化などによってラック1区画分の1Uサーバに必要な機能を搭載する取り組みを進めてきました。必要な機能を必要なときに、サーバソフトウェアアプリケーションのようにインストールすることを想定しています」(西沢氏)。

たとえば NTT エレクトロニクス

が2022年6月に提供を開始した4K/8K非圧縮映像光伝送装置“MediaRouterX”はこのコンセプトに沿った製品だ。長距離・大容量伝送可能な光パケットトランスポンダと非圧縮映像機能が一体化されている。未来研の“非圧縮8K120p対応超低遅延映像伝送技術”を活用した非圧縮映像伝送用プラグインユニットは簡単に着脱可能だ。

Open APN アーキテクチャにおいても光伝送装置の各機能を分離しオープン化することが重視されている。光 TRx に相当する APN-T。ゲートウェイに相当し光パスの多重・分離、光パスの折り返し接続、光パスの合分波の各機能を有する APN-G。波長クロスコネクタ機能を有する APN-I。またこれらの機能を有する光デバイスを集中的に制御するコントローラ APN-C が定義されている。

### Open APN ユースケース例：データセンターエクステンジ

Open APN で想定されている主要なユースケースの1つが、データセンターエクステンジ(以下、DCX)だ。企業／政府／自治体などがコンピューティング能力を拡張するためメガクラウドなどに接続する場合、現状ではダークファイバを使い個別に NW を構築することが多い。これに対し DCX は、サービスインフラの入り口となる近隣の POP (Point Of Presence) に接続するだけで、任意の DC やクラウドとの間で低遅延の光パスを接続する。

### 必要に応じて光パスを素早く開通することが重要に

このような APN の本格普及に向

け未来研が取り組んでいる研究テーマの1つが、光パスの自動プロビジョニングだ。その背景について西沢氏は次のように述べている。

「現状は光パスのプロビジョニングに非常に時間がかかります。伝搬設計のため専用装置を用いて伝送路の品質を区間ごとに実測し、そのデータを基に専門技術者が日数をかけて最適な伝送モードを決定しているからです。コア NW は頻繁に変更しないため従来はそれで充分でしたが、APN が本格的に普及するためには、光パスをフレキシブルに利用できることが重要です。そこで我々は注文をいただいたらすぐに光パスを張るような世界観を目指し、光パスの自動プロビジョニングを可能にする研究を進めています。」

### Auto Optical Path Provisioning (AOPP)

オンデマンドで光パスを設定可能にするには、時間のかかる伝搬設計を大幅に短縮する必要がある。そのため未来研は伝送路の複雑な光学特性をシンプルなアルゴリズムで近似することにより演算量を減らし、伝搬設計をソフトウェアで簡易に最適化する研究を進めている。その情報を用いて自動で光パスをプロビジョニングする機能、また TRx の特性や接続状態をリモートから監視・制御するための機能など、さまざまな機能を開発しており、それらを総称して Auto Optical Path Provisioning (以下、AOPP) と呼んでいる(次頁図2)。

以下、AOPP を構成する主要な機能について簡単に紹介する。

自動プロビジョニング機能：

光パスの伝送モードを自動最適化

エンド・ツー・エンドの TRx をつなぐ伝送路全体の伝送品質（以下、 $GSNR_{EtoE}$ ）を、ゲートウェイや増幅器などのノードで区切られた光パスの各スパンの伝送品質（以下、 $GSNR_n$ ）の和で充分実用的に示せることを証明した（図3左）。この  $GSNR_{EtoE}$  を基に最適な変調方式、光の波形を1秒間に何回切り替えるかを示すボーレート、誤り訂正の方式など、伝送モードを設定する機能を開発している。

図3右のグラフは4つの伝送モードについて  $GSNR_{EtoE}$  と BER の関係を示している。中央にあるグレーの水平線は誤り訂正が可能な限界（以下、oFEC limit）を意味する。ある  $GSNR$  に対する BER がこの線よりも下にある場合は誤り訂正が可能、すなわちその伝送モードを適用して良いことを意味する。

「たとえば  $GSNR_{EtoE}$  が 20 の場合、オレンジ色の伝送モードは oFEC limit を超えているため利用できません。残る3つのうち最も高速かつ帯域当たりの周波数利用効率が良い緑の伝送モードが最適と言えま

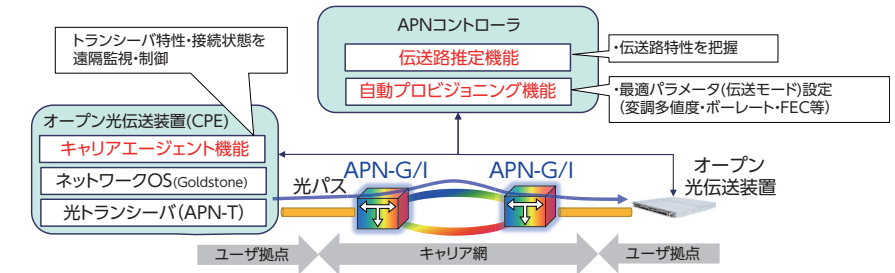


図2 Auto Optical Path Provisioning (AOPP)

す。このように比較的簡易に最適な伝送モードを判断できることを利用し、伝送モードの設定を迅速に行えるようにします」（高杉氏）。

$GSNR_n$  はスパンごとにプローブを接続し符号誤り率 (Bit Error Rate 以下、BER) を測定することにより推定できるが、使用する波長やファイバ入力パワーごとに毎回測定する必要が出てくる。そこで以下の「短距離伝搬設計」により推定した値も利用することで設計時間を大幅に短縮できる。

伝送路推定機能：短距離伝搬設計

$GSNR_n$  は光 TRx の特性 ( $SNR_{TRx}$ )、アンプの特性 ( $SNR_{ASE}$ )、非線形光学効果の特性 ( $SNR_{NLI}$ ) に分解できる。伝搬設計のため1波長あたりの最適な光入力パワーを求める際、入力パワーが大きすぎるとファイバ非線形

効果によるノイズが大きくなり、入力パワーが小さすぎるとアンプにおけるノイズの影響を強く受けてしまうというトレードオフの関係がある。

「ちょうど良い  $SNR_{ASE}$  と  $SNR_{NLI}$  の関係を推定するため従来使っていた計算式は、演算に数日のような長い時間がかかります。一方でガウシアンノイズ近似という手法を使うと数秒で  $SNR_{ASE}$  と  $SNR_{NLI}$  を推定可能です。長距離の伝搬設計でガウシアンノイズ近似が成り立つことは従来知られていたのですが、近年の他研究機関との共同研究により、我々がターゲットとしている200km程度という比較的短距離でもガウシアンノイズ近似を適用できることを証明しました」（間野氏）。

これにより非常に短い時間で簡易に伝搬設計を行うことが可能になっ

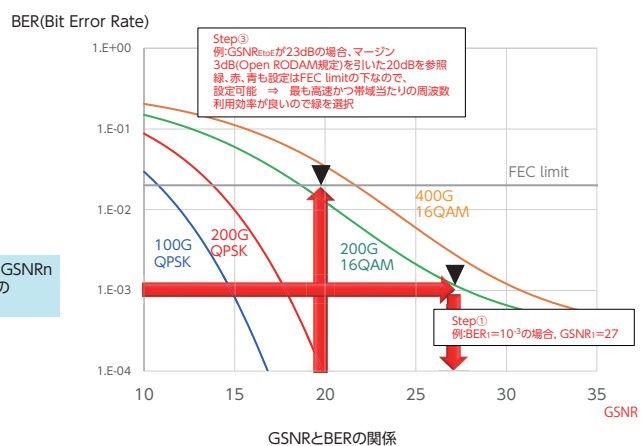
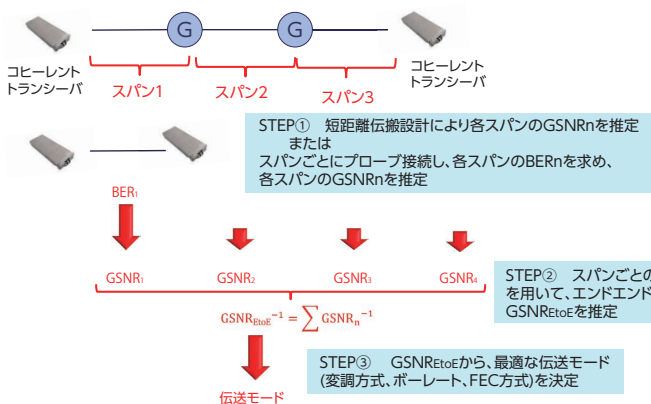
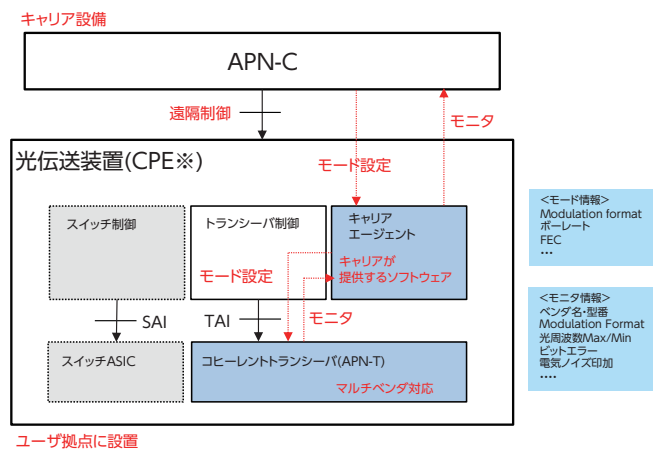
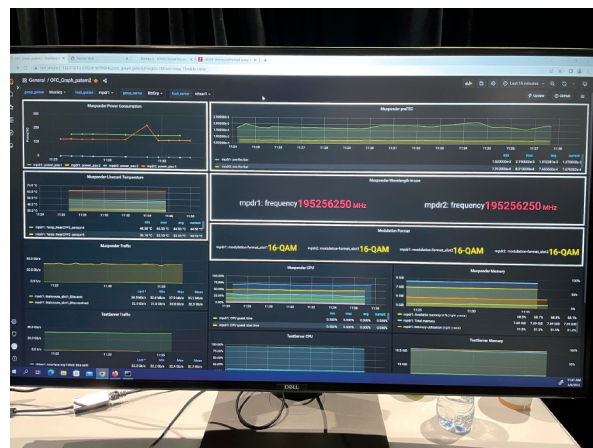


図3 光パス伝送モード自動最適化



※Customer Premises Equipment顧客構内設備  
 ※Transceiver Abstraction Interface TIPにて標準化されたインタフェース  
 ※Switch Abstraction Interface



監視モニタの例：OFC23でのデモの様子

図4 APN-Tの遠隔監視・制御

た。将来的にはアンプや光ファイバの経年劣化、また個体差等を考慮することにより、推定の精度をさらに向上させる方針だ。

#### キャリアエージェント機能：TRxのリモート監視・制御

Open APNで定義される各機能を監視・制御するAPN-Cから、ユーザ拠点の光伝送装置（Customer Premises Equipment。以下、CPE）に配置された光TRx（Open APNにおけるAPN-T）を遠隔監視・制御するための研究開発を行っている。キャリアが提供する制御用のソフトウェア「キャリアエージェント」をCPEに搭載し、APN-Tの情報収集や伝送モードの設定を可能にする想定だ（図4左）。

さまざまな伝送装置に対応するため、APN-Tとのインタフェースには、NTTを含む世界の通信事業者がメンバーとなり通信インフラに関する技術のオープン化に取り組んでいるTelecom Infra Project（以下、TIP）で標準化されたインタフェースTAI（Transponder Abstraction interface）を採用した。未来研自

身がTAIの標準化も主導した。

光通信に関する国際会議Optical Fiber Communication Conference 2023において、未来研が試作したキャリアエージェントを使用したデモ展示が行われた（図4右）。オープンソースソフトウェア（OSS）の統合監視ソフトウェア“Zabbix”を利用し、監視項目に光信号の周波数、誤り訂正を行ったビットの数など運用監視に必要な項目を追加して、キャリアエージェントからの情報をリアルタイムで表示できることを示した。将来的にはこれらの情報を基に、APN-Cから伝送モード設定などの制御を行うことを目指している。

「キャリアの研究所である我々が実際に動作するものを作り、NW機器ベンダなどにまずその価値をわかってもらおうという意味があります。IOWN GFの活動として、TIPなどのプロジェクトの成果によるネットワークOS“Goldstone”のアーキテクチャにキャリアエージェントを載せることを提案しています」（西沢氏）。

## NW品質の維持に欠かせない自動化に貢献

本研究の今後について、高杉氏は次のように述べている。

「伝搬設計のような作業を自動化しなければ、労働人口が減少するなかNW品質を維持し続けることは困難です。そのためにもなるべく簡単な数学でNWの特性を表現し簡易に伝送路の状態を推定可能にすることを重視しています。実用化の際はオペレーションも重要な要素であり簡単ではないと思いますが、我々は引き続き標準化活動や実用化に向けた実証・検証に注力します。本研究は災害等により光パスが切断されてしまった際、迂回路を使い即時に光パスを張るといったことにも役立つと考えています。また光ファイバの近くで工事が行われるため予防的に伝送路を迂回させておくような、プロアクティブなメンテナンスにも役立つのではないかと考えています。」