

## 2 APNの早期実用化を加速する技術開発

# APNの先行版となる次期光伝送ネットワークを支える光トランスミッション技術

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) の基盤となるオールフォトニクス・ネットワーク (以下、APN) は、増加し続けるトラフィックに対応可能な光伝送ネットワークとして期待されている。2023年3月には先行版となる次期光伝送NWの商用提供が開始される予定だ。本稿ではネットワークイノベーションセンタ (以下、NIC) によるAPN実現に向けた研究開発を紹介する。

### APNの早期実現に向けた技術開発

APNの特徴はフォトニクスベースの技術の導入、およびオープンなインターフェイスを用いた各機能部の再構成により、低消費電力、高品質・大容量、低遅延な伝送を実現することと言える。NICはこのAPNの早期実現に向け、技術/マーケット両面からの先行リリースとなる次期光伝送ネットワーク (以下、NW) を支える技術開発やエンジニアリングに取り組んできた。

「最先端の光通信デバイスや技術・ノウハウにより伝送容量を10倍に

拡大する。OpenAPNアーキテクチャに準拠して、APN-I機能部・APN-G機能部 (従来のROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 機能部に相当) とAPN-T機能部 (従来のトランスポンダ部に相当する) を分離したシステム構成により、光-電気変換を削減しシステム消費電力を大幅に削減する。伝送遅延や遅延変動にセンシティブな利用用途に対し、絶対遅延量のマネジメントが可能なAPN-T装置を開発しAPNの付加価値の1つとする。さらにこ



日本電信電話株式会社  
NTT ネットワークイノベーションセンタ  
(上段左から) 担当課長 須田 祥生氏  
主任研究員 青柳 健一氏  
担当課長 武智 宏人氏  
(下段左から) 担当部長 犬塚 史一氏  
担当課長 伊達 拓紀氏  
担当課長 臼井 宗一郎氏

れらをシステムトータルで運用していくための保全・制御サブシステムを実現する、などの研究開発を行ってきました」(臼井氏)。

### 高速化・広帯域化とオープンな光インターフェイス

次期光伝送NW (図1) は、高密度波長多重技術 (以下、DWDM) およびデジタルコヒーレント技術をベースとした光伝送NWでありつつも、複数波長バンドにまたがり1波長当たり約1Tbit/sの光信号を多重することで、伝送容量の拡大を実現する。

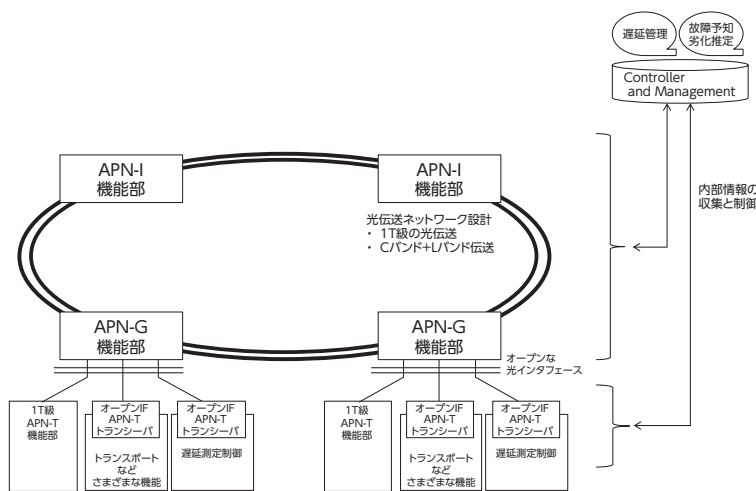


図1 次期光伝送ネットワーク

また、APN-I 機能部 /APN-G 機能部と APN-T 機能部を機能分離（ディスクアグリゲート）し、その間をオープンな光インターフェイスとして規定することにより、さまざまな APN-T 装置を用いて遠隔地を光信号のまま接続可能にする。

### 1 波長当り 1T 級の光信号伝送

NTT 研究所は 2022 年に 1Tbit/s 級の信号処理が可能な最新のデジタル信号処理プロセッサ（以下、DSP）を開発した。APN-T 機能部にこの DSP を利用し、光信号の変調レートの高速度と変調多値度の向上を図ることで、1 波長当りの伝送容量を増加させた。長距離では 800Gbit/s/ 波長、短距離では 1Tbit/s/ 波長となる。

また APN-I 機能部 /APN-G 機能部の光設計を見直し、光雑音や光信号の歪みを適切にコントロールすることで、高速かつ安定的な伝送を可能にした。

### 複数波長バンドを用いた多重

従来、NTT の光伝送 NW で使用してきた分散シフトファイバー（Dispersion Shifted Fiber. 以下、DSF）は長距離伝送に適しているが、実質上、Lバンド（1565 ~ 1625nm）の波長帯しか利用できなかった。

次世代光伝送 NW ではカットオフシフトファイバー（Cut-off Shifted Fiber. 以下、CSF）に適した

光設計・システム設計を行い、比較的波長の短い C バンド（1530 ~ 1565nm）も合わせて活用することで、伝送容量を倍増させた。

### オープンな光インターフェイス

光伝送 NW の各機能部間をマルチベンダーで接続して相互運用するためのインターフェイスを定義した Open ROADMSA（Multi-Source Agreement）では、400G 対応ノードへの拡張が進められている。ほかにも QSFP-DD（Quad Small Formfactor Pluggable-Double Density）などのプラグブル光モジュール間の相互運用仕様を定義した OpenZR+ MSA など、通信事業者やハイパースケーラー、光モジュールベンダーの参加による光伝送システムのオープン化やディスクアグリゲーションに向けた動きが加速している。

次期光伝送 NW ではこれらの MSA 標準を積極的に採用して光インターフェイスのオープン化を実現し、APN の目指すさまざまなシステムやサービスへのエンド・ツー・エンドの光接続の提供を目指す。

## 遅延マネージド伝送システム

複数拠点間での協調性や同期性が重要なリモートアクティビティでは、通信遅延やその揺らぎがユーザーエ

クスペリエンス（以下、UX）に与える影響が大きい。たとえば複数拠点から選手が参加する e スポーツ大会では、相対的に低遅延な接続によって早く反応できる選手が有利だ。

図 2 左は 4 都市の拠点で開催される e スポーツ大会の遅延量を示している。インターネット・サービス・プロバイダー（ISP）の NW 内部でスイッチ等の機器による処置遅延が生じるため、拠点間の遅延差は距離だけによらない。しかも e スポーツ以外のトラフィックの影響を受け、オレンジの矢印のように変化する。

こうした不都合を解消するため、遅延量をマネージメントできる APN-T 装置として、「遅延マネージド伝送システム」の研究開発を進めている。

### OTN プロトコルを活用

その概要は、インターネットを介さない通信環境により遅延発生を極限まで抑制する（図 2 右 薄いグリーン）、また遅延が大きい回線に合わせて遅延を付与する（図 2 右 濃いグリーン）というものだ。

通信プロトコルには OSI 参照モデルの物理層であるレイヤー 1（以下、L1）の OTN（Optical Transport Network）プロトコルを用いる。L1 通信は回線交換方式であり、通信相手との接続が確立した後は通信帯域が占有されるため、原理的には遅延揺らぎもなく通信帯域が固定される。また L2 や L3 で行われるようなパケットの再送処理やキューイング処理が不要であるため、物理的な限界に近づけることが可能だ。

さらに、遅延マネージメントを実現するためエンド・ツー・エンドでの遅延時間を測定し、OTN 信号デー



図 2 e スポーツ大会への適用例

タを装置内の FIFO メモリに蓄積することで遅延時間を調整する。

### eスポーツ大会への適用を想定したデモンストレーション

2021年11月に開催された“NTTR&D FORUM-Road to IOWN2021”と2022年1月に開催された“docomo Open House'22”において、対戦格闘ゲームを用いたeスポーツ大会のデモンストレーションを行った。プロ選手2名が、50msの遅延時間差のある従来のインターネットを模擬した通信環境と、選手間の通信遅延差がゼロの通信環境でそれぞれ対戦した。インターネット接続を模擬した通信環境では遅延がある側の選手の勝率が10.9%と明らかに低く、遅延を同一に調整した公平な通信環境下では、同じ選手の勝率が54.3%となった。

「遅延マネージド伝送システムにより、eスポーツを含むエンターテインメント領域を皮切りに、遅延にセンシティブなさまざまなアプリケーションにおけるUX変革をもたらすことができると考えています」(犬塚氏)。

### 保守・運用の高度化に向けた取り組み

光伝送NWでは、容量増加により光伝送装置の故障時の影響も増大する。パス両端のAPN-T機能部で通信エラーが発生するような光信号の品質低下が発生していても、その起因となる異常が光パスの中継区間にあるを構成する光アンプや波長選択スイッチにあった場合、APN-IやAPN-Gでは異常を検出できないケースがある。こうしたケースでは品質低下を引き起こした部位を速やかに特定できず、設備復旧が長期化

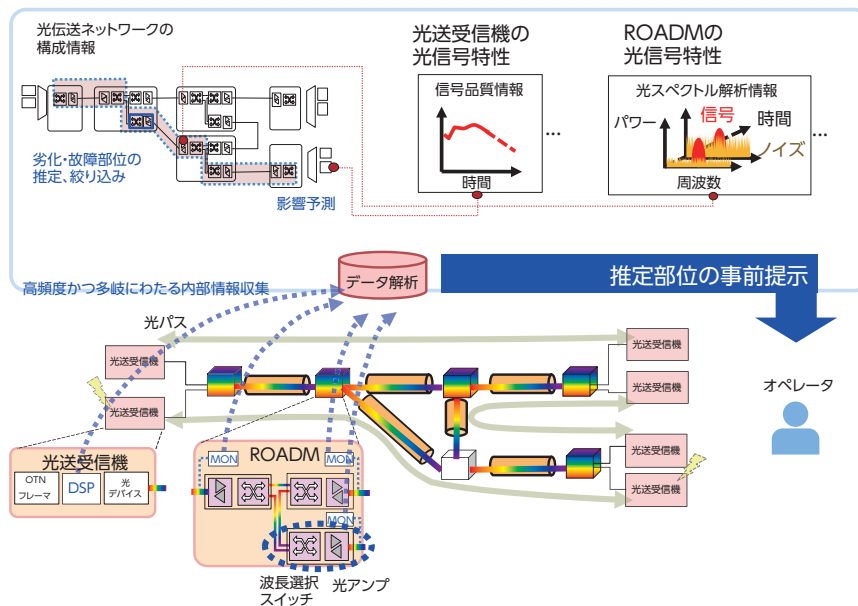


図3 劣化の推定・故障予測

してしまうことがある。

そのため光接続領域を拡大させていくときには、光伝送NWの故障の影響を極小化するとともに、早期の設備故障把握を可能にすることが必要となる。そこで故障にはまだ至らないレベルの光信号の特性変化を予兆としてとらえ、故障が予想される部位を事前に特定しておくことで、故障交換までの時間を短縮すること、ひいては事前交換による故障回避に向けた光伝送NWのプロアクティブ保守技術を検討している。

これまで保守運用に活用されていなかった光信号の特性情報をきめ細かく収集・解析することで、故障予兆の検出と部位特定を高精度に実現することを目指している。そのため光伝送NWから取得する特性情報は以下の3点を検討している。

- ①性能情報：従来15分単位でしか取得できなかった性能情報を、より短いインターバルで測定してリアルタイムに収集し故障解析に活用する。
- ②DSPの内部情報：APN-T機能部

において光信号の劣化を補償し復調するDSPから、光信号の強度、雑音量、波形歪みなどの情報を新たに収集し解析する。

③光スペクトル情報：中継区間ごとのAPN-IやAPN-G内部の光信号・雑音比などを新たに収集し解析する。

これらの特性情報を光パスの収容を含む光伝送NWの構成情報と紐付け、故障に至るであろう劣化部位を高精度に特定すること(図3)、および劣化部位の特性の時系列変動からサービス影響時期を予測することを検討している。

### APNの早期実現に向けて

「今後も、APNの要素技術については、実験室レベルで完成度が高まった技術を、順次、適切なタイミングで、システム化に向けてエンジニアリングしていくことにより、低消費電力、高品質・大容量、低遅延の光伝送NWの実現に向けて研究開発を進めていきます」(白井氏)。