

# APNの早期実用化加速に向けた 光トランスミッション技術

NTTネットワークイノベーションセンタは、IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) を支えるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) を実現する光伝送ネットワークの実用化のための技術開発・システム開発を行っています。APNの先行リリースの次期光伝送ネットワークとして、通信トラフィック増加に対応する高速化・大容量化のみならず、さまざまなシステムやデバイスを光のまま接続する光インタフェースのオープン化、光ネットワークの提供する付加価値の向上、およびこれらを保守運用するための保全技術について取り組んでいます。

すだ 須田	さちお 祥生	あおやぎ 青柳	けんいち 健一
すがの 菅野	やすたか 康隆	たけち 武智	ひろと 宏人
いぬづか 犬塚	ふみかす 史一	だて 伊達	ひろき 拓紀
うすい 臼井	そういちろう 宗一郎		

NTTネットワークイノベーションセンタ

## はじめに

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 (APN)<sup>(1)</sup> は、フォトニクスベースの技術を導入することにより、情報処理基盤のポテンシャルを大幅に向上させようというものです。それに加えて、各機能部を分割整理しオープンなインタフェースを用いて再構成することで、低消費電力、高品質・大容量、低遅延な伝送を実現することをめざしており、「伝送容量を125倍に」「電力効率を100倍に」「エンド・ツー・エンド遅延を200分の1に」の3つの目標性能が掲げられています。APNを実際に利用できるシステムとしてつくり上げていくためには、さまざまな最先端の要素デバイスや最新技術をオープンなインタフェースなど各種規約や制約の下で統合し、組み上げていくための高度なエンジニアリングが求められることになります。

私たちは、APNの早期実現に向け、

技術およびマーケットの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に向けた技術開発およびエンジニアリングを行っています。次期光伝送ネットワークでは、①現時点での最先端の光通信デバイスや最新技術・ノウハウを採用することで伝送容量を10倍に拡大する一方で、ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) 機能部と光送受信機をオープンな光インタフェースで分離し、光—電気変換を削減することによるシステム消費電力の大幅削減をめざすシステム構成、②APNが提供する付加価値の1つとして、伝送遅延や遅延変動にセンシティブな利用用途に対して、絶対遅延量をマネジメントすることで、インターネットやL2VPNに対してエンド・ツー・エンド遅延および遅延揺らぎを抑制することのできる光送受信機、③これらをシステムトータルで運用していくための保全・制御サブシステムなどの研究開発を行っています。

## 高速化・広帯域化とオープンな 光インタフェース

次期光伝送ネットワーク (図1) は、高密度波長多重技術 (DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing) 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ネットワークでありつつも、複数波長バンドにまたがって、1波長当たり約1 Tbit/sの光信号を多重することで、伝送容量の拡大を実現します。また、ROADM機能と光送受信機能を機能分離 (ディスプレイグレート) し、その間をオープンな光インタフェースとして規定することにより、さまざまな光送受信機を用いて遠隔地を光信号のまま接続できることをめざしています。

### ■ 1波長当たり1T級の光信号伝送

次期光伝送ネットワークでは、光送受信機に世界最先端のデジタル信号処理プロセッサ (DSP: Digital Signal Processor)<sup>\*1</sup>を採用し、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波長当たりの伝送





図2 eスポーツ大会への適用例

内部でのルータ等の機器による処理遅延（薄いグレー）が生じるからです。さらにISPネットワーク内部での処理遅延は一定ではなく、eスポーツ以外のトラフィックの影響を受けて時刻により変化（オレンジ矢印の幅）していきます。

一般的に低遅延で接続するユーザのほうが早く反応し操作できることから、サーバが設置された東京に近い拠点から参加している選手が明らかに有利となってしまいます。

遅延マネージド伝送システムでは、インターネットを介さない通信環境を用意することで遅延発生を極限まで抑制する（図2右 薄いグリーン）とともに、ユーザ間の遅延時間の公平性を保つ目的で遅延が大きい回線に合わせて遅延を付与する制御を行います（図2右 濃いグリーン）。これにより、ユーザ間での遅延差をゼロにすることができます。このような超低遅延で通信遅延差がなくかつ遅延揺らぎもない安定した通信環境の実現により、公平な対戦が可能になります。

### ■ OTNプロトコルを活用した通信制御

遅延マネージド伝送システムでは、まず、物理的極限に迫る低遅延を実現するため、OSI（Open Systems Interconnection）参照モデル\*4の物理層であるレイヤ1のOTN（Opti-

cal Transport Network）\*5プロトコルを用いています。レイヤ1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、原理的には遅延揺らぎもなく通信帯域が固定された通信を実現できます。また、レイヤ1だけで通信制御を行う場合は、レイヤ2や3のようなパケット再送処理やパケットキューイング処理が不要なため、物理的な限界に近い低遅延を実現できます。

次に、遅延マネジメントを実現するために、遅延マネージド伝送システムを構成する装置内で、ITU-T G.709で規定された遅延測定情報を用いてエンド・ツー・エンドでの遅延時間を測定し、OTN信号データをユーザ間の所望の遅延時間分だけ装置内のFIFOメモリに蓄積して遅延時間を調整します。

### ■ 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“NTT R&D FORUM — Road to IOWN 2021”と2022年1月に開催された“docomo Open House'22”にて、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いました。プロチームに所属するeスポーツ選手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ました。

インターネット接続を模擬した不公平な通信環境では、遅延がある側の選手の勝率は10.9%と明らかに低くなりました。一方、遅延を同一に調整した公平な通信環境下では、同選手の勝率は54.3%となりました。

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テインメント領域を皮切りに、文化芸術、リモートワーキング、教育、遠隔医療、遠隔コラボレーションなど、遅延にセンシティブ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。

### 保守・運用の高度化に向けた取り組み

光伝送ネットワークは、容量増加により光伝送装置の故障時の影響も増大します。光パス両端の光送受信機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ROADMを構成する光アンプや波長選択スイッチにあった場合には、ROADMでは異常を検出できないケースがあります。こうしたケースでは、広範な被疑部位から品質低下を引き起

\*4 OSI参照モデル：国際標準化機構による通信機器機能を階層構造に分割したモデル。  
\*5 OTN：国際標準化機関ITU-Tで規定される光伝送網に関する通信規格。

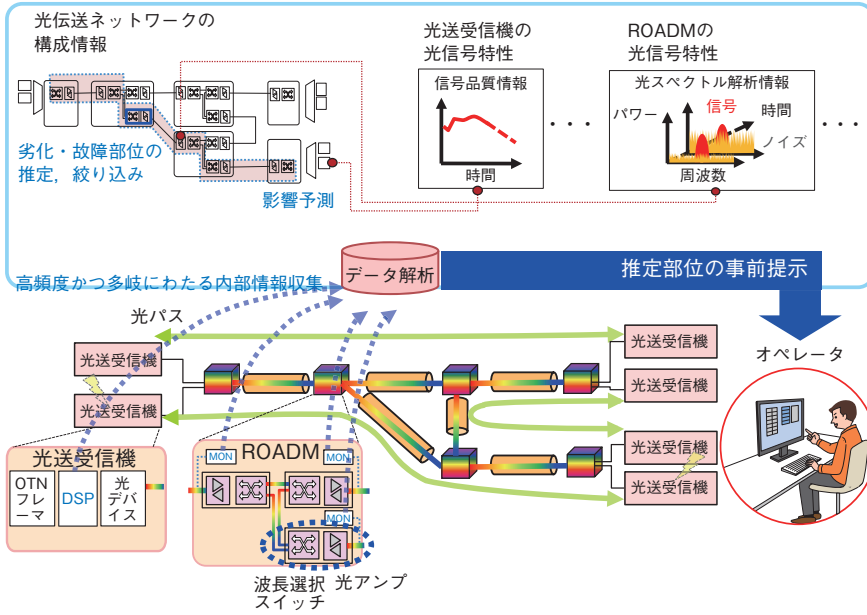


図3 劣化の推定・故障予測

こうした部位を速やかに特定することができず、設備復旧が長期化してしまうことがあります。

そのため、高速化・大容量化や光インターフェースのオープン化により光接続領域を拡大させていくときには、光伝送ネットワークの故障の影響を極小化するとともに、早期に設備故障を把握できるように保守のための技術も高度化していくことが必要となります。

そこで、私たちは、従来の警報監視のみでは故障復旧までの期間が長期化してしまう課題を解決するために、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ネットワークのプロアクティブ保守技術を検討しています。

本技術では、保守運用には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めざしています。光伝送ネットワークから取得する特性情報として

は以下の3点を検討しています。

- ① 性能情報 (Performance Monitor) : 従来15分単位でしか取得できていなかった性能情報を、より短いインターバルで測定しリアルタイムに収集することで故障解析に活用します。
- ② DSPの内部情報 : 光送受信機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します。
- ③ 光スペクトル情報 : 中継区間ごとのROADM内部の光信号・雑音比などを新たに収集し解析します。

これらの特性情報を光パスの収容を含む光伝送ネットワーク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ます<sup>(6)</sup>。

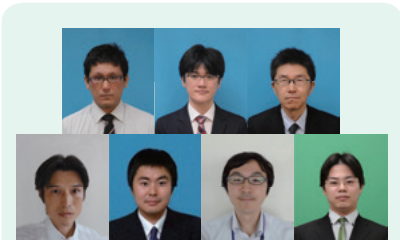
### おわりに

APNの早期実用化に向けて、その先行版となる次期光伝送ネットワーク

における研究開発の取り組みについて説明しました。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、低遅延の光伝送ネットワークの実現に向けて研究開発を進めていきます。

### 参考文献

- (1) 西沢・可児・濱野・高杉・吉田・安川：“IOWN Global Forumにおけるオープンオールフォトニクス・ネットワークの検討,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.3, pp.12-16, 2022.
- (2) <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653/en>
- (3) <https://www.ttc.or.jp/application/files/9015/5419/2769/JT-G654v1.pdf>
- (4) <https://www.ofsoptics.com/wp-content/uploads/OFC-22-OpenROADM-press-release-final.pdf>
- (5) <https://openzrplus.org/documents/>
- (6) <https://group.ntt.jp/newsrelease/2022/07/21/220721b.html>



(上段左から) 須田 祥生/ 青柳 健一/ 菅野 康隆  
(下段左から) 武智 宏人/ 犬塚 史一/ 伊達 拓紀/ 臼井 宗一郎

私たちは、実際に動き使えることを重視して技術開発やシステム開発に取り組んできました。それは、本稿で紹介した高速広帯域化、遅延マネージ、保守・運用の高度化であっても変わりません。来るべきIOWN時代に向けて、使える光ネットワーク技術を提供していきますので期待ください。

### ◆問い合わせ先

NTTネットワークイノベーションセンター  
企画担当  
TEL 0422-59-3113