Beyond 100G 光トランスポートネットワークに向けたデバイス技術開発

光トランスポートネットワークはこれまで30年以上にわたり通信容量を拡大し続け，通信回線の経済化・インターネットの進展・スマートフォンの普及など，ネットワークサービスをより使いやすく，豊かにすることを下支えしてきました．今後もIoT（Internet of Things）や5Gモバイルといったより高度で大きな通信容量を必要とするネットワークサービスを下支えするため，1波長100 Gbit/sを超える通信容量のBeyond 100G 光トランスポートネットワーク，およびこれを実現するためのデバイス技術が必要となります．本稿では，Beyond 100G 光トランスポートネットワークに向けたデバイス技術開発の方向性について紹介します．

富澤（とみざわ） 将人（まさひと）[†1]／金子（かねこ） 明正（あきまさ）[†2]
木村（きむら） 俊二（しゅんじ）[†2]

NTT未来ねっと研究所[†1]
NTTデバイスイノベーションセンタ[†2]

光トランスポートネットワーク技術とデバイス技術の変遷

近年，通信ネットワークに対する要求がますます高まってきています．すべての「モノ」がネットワークによってつながり，制御されることによって人々の生活を豊かにすると考えられているIoT（Internet of Things），そしてIoTにおいて各ユーザとネットワークの橋渡しを行う5Gモバイルアクセス技術にも注目が集まっています．IoTのような高度なアプリケーションや5Gモバイルアクセス技術を，データの長距離伝送という側面から下支えするのが光トランスポートネットワークであり，またこれを具現化するデバイス技術です．

光トランスポートネットワークは，これまでも30年以上にわたり人々の通信環境をより豊かにするため，その通信容量を拡大し続けてきました（図１）．1980～1990年代前半は，通信回線の経済化と総合デジタルサー

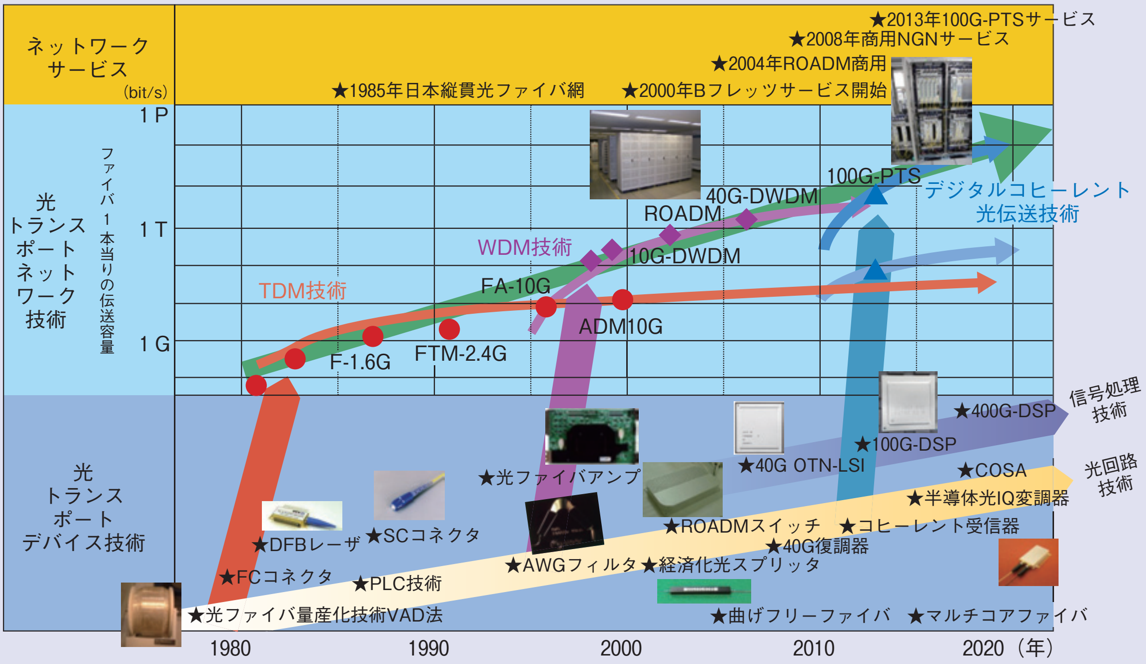


図１　光トランスポートネットワーク技術とデバイス技術の変遷

ビスの提供のために，時分割多重（TDM: Time Division Multiplexing）技術が培われ，ファイバ1本当り10 Gbit/sの容量まで到達しました．1990年代後半〜2000年代は，インターネットの急速な発展に対応するべく，波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）技術が進展，ファイバ1本当り1 Tbit/sの容量まで実現されました．2010年代以降は，スマートフォンなどの普及による通信トラフィックの急増を下支えするため，デジタルコヒーレント技術によりファイバ1本当り8 Tbit/sの容量を有する光トランスポートネットワークが実用化されています．デジタルコヒーレント技術は，従前の技術が光の強度の変調のみにとどまっていたことに対し，光の位相も変調，かつ光の偏波も多重して送受信できる点が大きく異なります．すなわち光の強度に加え光の位相と偏波にも情報を乗せることができるために，1つの波長当りの容量（WDM技術以降，ファイバ1本の中には数十の異なる波長の信号が多重されています）がこれまでの40 Gbit/sから100 Gbit/sまで拡大しています．このようにデジタルコヒーレント技術では，従前よりも複雑な光の変調・多重が成されているわけですが，これを物理的に実現しているのが光・電気デバイスです．

IoTや5Gモバイル時代のトラフィックは，今よりもますます増加することが予測されており，1波長100 Gbit/sを超えるBeyond 100G 光トランスポートネットワーク，およびこのネットワークを実現するデバイス技術が世界的にも切望されています．

Beyond 100G 光トランスポートネットワークへの要求条件とデバイス技術開発方針

Beyond 100G 光トランスポートネットワークへの要求条件は大きく3つありますが，NTTではキーとなるデバイス技術に関して，以下のような技術開発方針に基づいた取り組みを進めています（**表**）.

■大容量化

次世代の通信トラフィックを考えたときに，まず問題となるのは，その「量」です．特に年率1.4倍で成長し続けているモバイルトラフィックをいかに経済的に遠方まで届けるかは喫緊の課題です．例えば，1波長100 Gbit/sで総容量8 Tbit/sのシステムは2013年に導入されましたが，その4年後となる2017年には1波長400 Gbit/sで総容量30 Tbit/s級のシステムが必要になることが予想されています．デバイス開発としては，少なくともその1年前に開発を完成させている必要があり，研究開発の加速・効率化が重要です．

大容量光トランスポートネットワークを実現するために，NTT研究所では引き続きデジタルコヒーレント技術とその進展に注目しています．これまでの4値位相変調（QPSK: Quaternary Phase Shift Keying）のみならず，さらに多値の16値直交振幅変調（16QAM: 16 Quadrature Amplitude Modulation）といった高度な変調方式

表　光トランスポートネットワークへの要求条件と，それを実現するデバイス技術の方針

要求条件	大容量化	光トランスポート装置の省体積化	低遅延化
技術の方針	・コヒーレント多値化（xQAM） ・高速変調（高ボーレート化）	・適切な材料の選択とデバイスの最適化設計	・光適用領域の拡大（超距離伝送とノードの光化）
取り組み内容	・QPSK，16QAMを実現するDSPの技術開発 ・QPSK，16QAMを実現する光変調器・受信器の技術開発	・化合物半導体InP，シリコンフォトニクスを用いた光変調器・受信器の技術開発 ・CMOS微細構造（20 nm，16 nm）を用いたDSP技術開発	・軟判定誤り訂正符号，周波数領域等化方式を実現するDSPの技術開発

の研究開発を進めています．加えて変調速度（ボーレート）を高速化することも検討しており，将来はこれらの組合せで大容量化を実現することを指向しています．具体的活動としては，デジタルコヒーレント技術を用いた光トランスポートネットワークの心臓部であるデジタル信号処理回路（DSP: Digital Signal Processor）に高度・高速化した変調方式の信号処理機能を実装し，大容量化をめざしています．また，光変調器・光送受信器も，この高度・高速化変調方式で必要となる高い入出力線形性と高速性能が両立するよう研究開発を進めています．

■光トランスポート装置の省体積化

装置の体積は，通信事業者の設備規模に直接関係するので，コンパクトな実装が非常に重要になります．莫大なトラフィックを運ぶ光トランスポート装置にも高い実装効率が要求され，トラフィック容量が数倍になっても装置の体積はこれまでと同等以下であることが求められています．通信事業者のみならず，昨今ではデータセンタから直接，大容量光トランスポートネットワークに接続され，遠距離まで情報を届ける必要性が高まってきていますが，スペースが限られているデータセンタでもっとも重要視されるのが実装効率です．高い実装効率を実現するには，デバイス 1 つひとつのサイズを小さくすること，および小サイズのデバイスで必ず問題となる発熱・放熱の問題を回避するべく消費電力を削減すること，以上 2 つの点が重要なファクタになります．例えば，2013年に実用化された100 Gbit/sのコヒーレント光トランシーバは，5 インチ×7 インチ（12.70 cm×17.78 cm）というフットプリントでした．2016年現在では，1.6インチ×4.2インチ（4.06 cm×10.67 cm）のCFP2-ACOというコンパクトな光トランシーバが開発され，運用が開始されようとしています．今後，小型化と低消費電力化はさらに加速していくと考えられます．

NTT研究所では，デバイスのサイズを小さくするために，適切なデバイス材料を選択すると同時に，デバイス設計の最適化も行っています．InPやシリコンといった光の屈折率の高い材料を用いることで光デバイスのサイズは小さくできますが，単にサイズを小さくするだけでなく，光トランスポートの性能をなるべく下げないことも目標としてデバイスの最適化設計を行っています．さらに消費電力を下げるために，変調器を駆動する電圧を削減する試みも行っています．具体的な技術内容は本稿以降の特集記事で述べますが，InPを用いた光変調器がその代表例です．またDSPでは最先端のCMOS微細化技術を用い，抜本的な消費電力の削減を実現しています．これまで40 nmおよび20 nmの微細化技術を用いて開発を行ってきましたが，最新の開発では世界に先駆けて16 nmの微細化技術を適用し，より一層の低消費電力化を図っています．

■低遅延化

今後，さまざまなアプリケーションが登場してくると予想されていますが，中にはリアルタイム性が高く要求されるものや，遅延時間の低さそのものが価値となるサービスも考えられています．例えば金融系サービスや，ネットワークに接続されたスマートカーなどです．サービス全体の遅延時間は，サーバの配置や全体のネットワークアーキテクチャによるところが大きいですが，光のレイヤに関する限り，光トランスポート装置での遅延時間を削減することが効果的であると考えられます．もっとも効果が大きいと考えられるのは，光-電気変換の後に用いられるパケットのストア＆フォーワード処理を削減すること，すなわち中継ルータの数を削減することです．パケット処理を省き，さらに光-電気・電気-光変換をも除くことができると一層の低遅延化が達成できると考えられます．このことは，ネットワークにおける光技術の適用領域の拡大，より具体的には，光信号が電気信号に変換されずに到達できる距離を延伸するこ

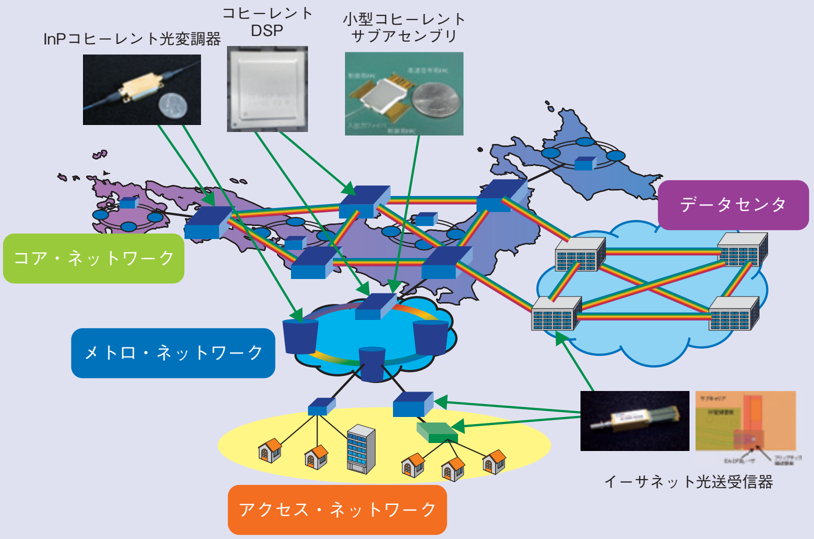


図2　光トランスポートネットワーク向けデバイス

と，およびノードの機能を光技術により実現することが重要ということです．

NTT研究所では，光技術の適用領域拡大によるネットワーク低遅延化を志向し，光トランスポートネットワークにおける光伝送距離の長延化，およびノード装置の光化を目標としてスイッチ技術の光化に取り組んでいます．本特集では，特に前者（光伝送距離の長延化）に資する軟判定誤り訂正符号や周波数領域等化を実装したDSPの研究開発について紹介します．

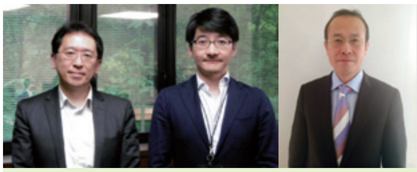
今後の展開

NTT未来ねっと研究所およびNTTデバイスイノベーションセンタでは「Beyond 100G 光トランスポートネットワーク」の普及という最終目標を実現するために，前述した3つの方針に基づきながら，最先端技術をタイムリーにデバイスという使いやすいかたちに仕上げていきます．本特集では，この方針のもと技術開発を進めている以下のデバイス技術について紹介します（**図2**）．

① デジタルコヒーレント方式の心臓部である「コヒーレントDSP」

② DSPと連携することで最適な性能とサイズを実現する「InPコヒーレント光変調器」と「小型コヒーレントサブアセンブリ」

③ ルータスイッチとコヒーレントシステムの間の接続に用いられるクライアント400G「イーサネット光送受信器」



（左から）木村　俊二/ 金子　明正/ 富澤　将人

人々のコミュニケーションをより豊かにすることを下支えする通信インフラを実現するべく，Beyond 100G 光トランスポートネットワークに向けたデバイス技術開発を弛まずに進めていきます．

◆問い合わせ先
NTT未来ねっと研究所
研究推進担当
TEL　046-859-3008
FAX　046-859-3727
E-mail　kensui-mirai@lab.ntt.co.jp

NTTデバイスイノベーションセンタ
研究推進担当
TEL　046-240-3008
FAX　046-859-3727
E-mail　dic-kensui@lab.ntt.co.jp