

フォトニックノード技術

波長分割多重技術と光スイッチ技術を活用し、波長単位で始点—終点ノード間に波長パスを運用できるフォトニックノード技術の研究開発が進展しています。本稿では、トランスペアレントなリングネットワークを実現するROADM (Reconfigurable Optical Add/ Drop Multiplexer) とその高機能化としてのカラーレス化技術、およびリングからメッシュ化を実現するノード技術としてOXC (Optical Cross Connect) について最新の研究動向を紹介し

たかだ あつし たかはし てつお
高田 篤 / 高橋 哲夫
 しゃげ いっぺい
社家 一平

NTT未来ねっと研究所

フォトニックノードの役割

フォトニックトランスポートネットワークは、ネットワーク拠点に集約されたユーザトラフィックを目的地まで波長パスを設定することにより高品質に転送する機能を有しています。本特集の『最新フォトニックネットワーク技術の概要』⁽¹⁾『フォトニックトランスポートネットワークアーキテクチャと制御管理技術』⁽²⁾に述べられているとおり、フォトニックトランスポートネットワークには、大容量の波長パスを迅速かつ高信頼にクライアントに提供する機能が求められているため、ネットワークを構成するフォトニックノードには、これらの機能を経済的に実現するためのハードウェアとその制御技術が必要とされます。本稿ではフォトニックノードのハードウェア構成技術を中心にその現状と今後の発展について紹介します。

フォトニックノードの基本機能構成

一般化したフォトニックノードの基本機能のブロック構成を図1に示します。クライアント信号収容機能部は、イーサネット信号などのクライアント信号をOTN (Optical Transport Network)⁽³⁾などの広域転送信号様式に

変換する機能と、その逆にネットワーク側から転送された信号をクライアント信号様式に戻す機能を有します。また、波長パスに空き波長を割り当てる機能 (WSA: Wavelength Slot Assignment) を有する必要があります。この波長割当機能は後述するようにクライアントに対して迅速な波長パスの提供を可能にするための重要な機能です。転送信号は光スイッチ機能部、およびWDM伝送機能部を介して、隣接するフォトニックノードに転送されます。光スイッチ機能部はネットワークを構成する他のノードと連携して波長パスを

設定 (解除) する機能 (波長パスクロスコネク機能) と、クライアント信号をネットワーク側とやり取りする分岐・挿入機能を有しています。

これらの機能は電氣的スイッチによっても実現可能ですが、ここでは光・電気信号変換回路を排除可能で、転送信号の様式やビットレートの変更を許容し、柔軟なネットワーク運用の可能性を拓く光スイッチを適用した構成としています。WDM伝送機能部はN方路の入出力光ファイバ伝送路に、M波の光信号を波長多重して伝送する機能を受け持ちます。WDM合分波

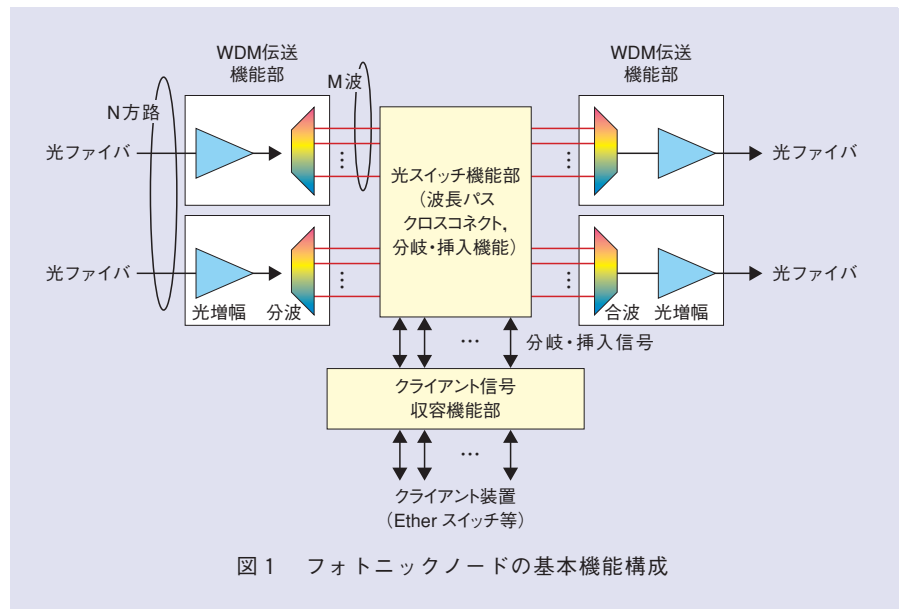


図1 フォトニックノードの基本機能構成

機能、光増幅機能が必須機能であり、必要に応じて光再生中継機能、波長衝突回避のための波長変換機能（異なる入力方路からの同一波長の信号を同一出力方路に収容する機能）が用いられます。

ROADM技術の概要と高機能化

上述した基本ノード機能をリングトポロジのネットワークを構成する光分岐挿入ノードに適用したものがROADMです。主にメトロポリタンエリアに適用されます。次に、ROADM技術の概要と、今後の高機能化の方向性について述べます。

ROADM技術の概要

ROADMノードの基本構成を図2に示します。ギガビットイーサ等のクライアント信号は、トランスポンダ(Txp/Rxp)により、OTNなどの信号フレームに収容されます。トランスポンダは、対向クライアント装置が設置されたROADMとの間に設定された波長パスへ割り当てられた波長の信号光を出力し、光スイッチ部の該当する波長の挿入ポートに接続されます。ROADM光スイッチ部では、挿入された光信号は挿入用光スイッチと波長合波器により、他の挿入光信号・上流ノードからの通過光信号とともに波長多重され、所定の光信号パワーに増幅されてリング伝送路へ送出されます。現在のところ、各波長10 Gbit/s級までの各種クライアント信号を、数10波の波長多重転送する技術が確立しています。リング長としておおよそ数100 km規模のネットワークを構成することが可能です。

光合分波器にはPLC (Planer Lightwave Circuit: 平面光導波路) -AWG (Arrayed Waveguide Grating: アレイ導波路型回折格子)

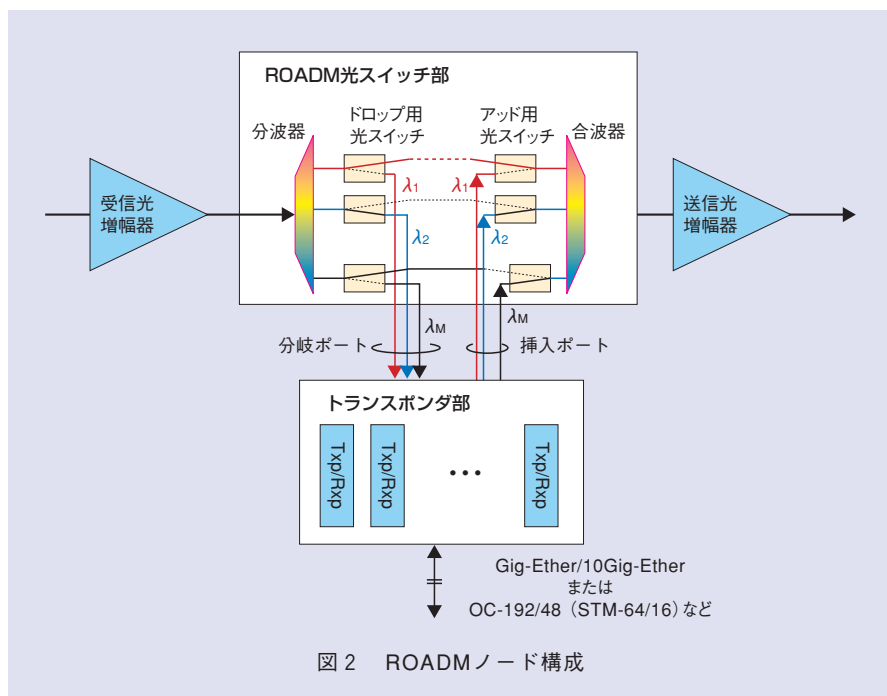


図2 ROADMノード構成

が、また光スイッチには同じくPLC技術を適用したTO (Thermo-Optic: 熱光学) 効果を用いた 2×2 光スイッチアレイが開発されています。光スイッチ状態(下流ノードへのスルー状態・分岐・挿入状態など)の切替は、光スイッチ導波路近くに配置された薄膜ヒータへの電流制御により、TO効果を通じて行います。これらの光スイッチ部に適用されるPLC技術はNTT研究所で開発されたものであり、小型・高信頼かつ低コストなデバイスの実現に貢献しています。

この光スイッチを遠隔から制御することにより波長パスを迅速に開通設定できます。これは、ファイバ誤抜去・誤接続等の事故発生の抑止にも大変有効です。

NTT研究所ではROADM技術の今後の展開として、2つの方向性を追求しています。1つは今後のさらなる通信需要の増加をにらんだ多波長化・チャネル容量の広帯域化です。もう1つの方向性に運用面での高機能化があります。この高機能化について以下に

述べます。

ROADMの高機能化

近年、トランスポンダの光送信部には発振波長を選択できる波長可変機能が実装されるようになってきました。このトランスポンダの波長可変機能は、波長パスへの波長割当てに必要な機能ですが、動的な波長割当て機能を実現するには、トランスポンダの波長可変機能のみならず、光スイッチ部の分岐・挿入ポートに任意の波長を割り当てられるようにする必要があります⁽⁴⁾。例えば、ある時点でノードA-ノードB間に波長 λ_1 を用いて設定されていた波長パスを解除し、ノードA-C間に新たに空き波長 λ_2 を用いて波長パスを設定する場合を考えます。図2に示すROADM構成では、赤色の分岐・挿入ポートには波長 λ_1 の信号のみが割り当てられ、青色の分岐挿入ポートには波長 λ_2 の信号のみが割り当てられます。したがってノードAでは、クライアント装置からの信号を収容するトランスポンダと光スイッチ間の接続を手動で赤色のポートから青色のポートへ変更

する必要が生じます。

動的波長割当機能を有するROADM構成例を図3に示します。光スイッチ部とトランスポンダ部の間に光マトリクススイッチ機能を挿入することで手動での接続替え作業を排除し、遠隔から動的に波長パスの運用を可能にします。この場合、分岐挿入ポートは波長との関係が固定ではなくなるため、カラーレスROADMなどと呼称されています。

■波長選択スイッチング技術

図3ではROADMのカラーレス化を光マトリクススイッチ機能で実現する例を示しましたが、同図の波長割当機能(赤枠で示した機能)を1つのデバイスで実現したのが波長選択スイッチWSS (Wavelength Selective Switch : 波長選択スイッチ)です。波長選択ス

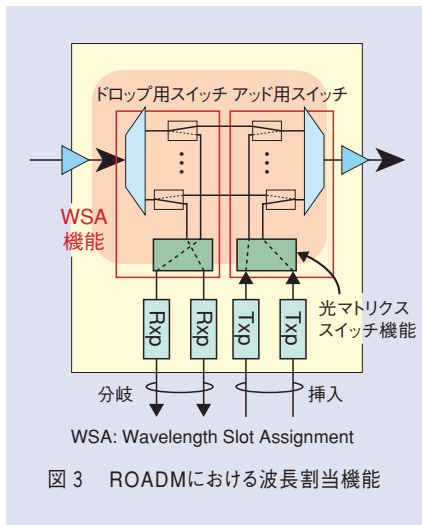


図3 ROADMにおける波長割当機能

イッチの機能構成 (Nポート挿入スイッチとして用いた場合)を図4に示します。この構成は、NTT研究所が開発したDC (Delivery and couple) 型スイッチを用いた光クロスコネクタ⁽⁵⁾の構成要素として提案されている構成と同等なものです。N個の1:M波長分波部、M個のN×1光スイッチ部、1つのM:1波長合波部からなり、N×1光スイッチを切り替えることにより任意の入力ポートに任意の波長を割り当てて波長合波して出力することが可能になります。左右逆に用いて、分岐部光スイッチとして用いた場合では、N個の任意の出力ポートに任意の波長を複数出力することができます。

このWSSを用いた、カラーレスROADMの光スイッチ部の構成例を図5に示します。この構成では、任意分岐・挿入ポートに任意の波長を設定することができますので、波長可変トランスポンダをある分岐・挿入信号ポートに接続しておき、光パスの波長が決定または変更された時点で接続替えの手作業なしで、光パスを設定できます。

WSSはその機能構成のWDM合分波機能をPLC-AWGで実現するもの、空間回折格子を用いて実現するもの、また光スイッチ機能をPLC-TOスイッチを用いるもの、液晶を用いるもの、MEMS (Micro Electro Mechan-

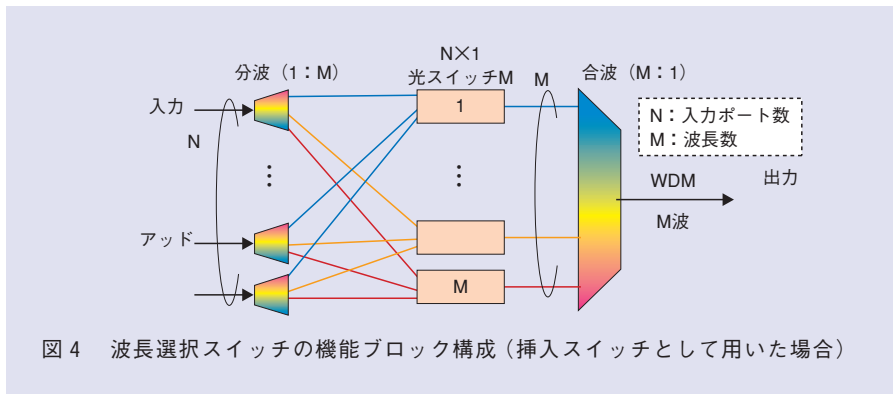


図4 波長選択スイッチの機能ブロック構成 (挿入スイッチとして用いた場合)

cal Systems) 型ミラーアレイを用いて実現するものなどがあります。WSSはこれらの要素機能を空間光学系を用いて構成しており、波長チャンネル間隔に対するチャンネル透過帯域幅の拡大、および光通過損失の低減が可能であり、ROADMの高機能化だけではなく、波長チャンネルの高速化、高密度化にも貢献すると期待されています。

フォトニックトランスポートネットワークのメッシュ化

複数のWDMリンクシステム間を手動で接続して構成されているバックボーンネットワークにも光スイッチを導入することにより、省力化可能で高信頼なトランスポートネットワークを構成することが期待されています⁽¹⁾。このためには、多方路の波長パス切替機能を有するOXCの研究開発が必要です。

メッシュトポロジのフォトニックトランスポートネットワークを構成するOXCには3方路以上の複数方路からの波長多重信号を波長単位で複数の出力方路に振り分ける機能が必要とされます。この波長クロスコネクタ機能を多ポート全光型スイッチで構成した例を図6に示します。同図右は、多ポート全光型スイッチに3D-MEMSミラーアレイ型光スイッチの適用⁽⁶⁾を示しています。ミラーアレイチップを2枚対向させ、それらミラーの傾きを連携して制御す

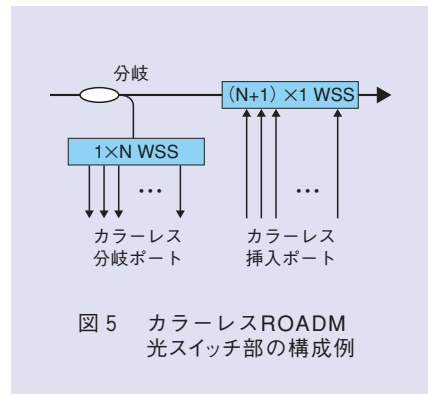


図5 カラーレスROADM光スイッチ部の構成例

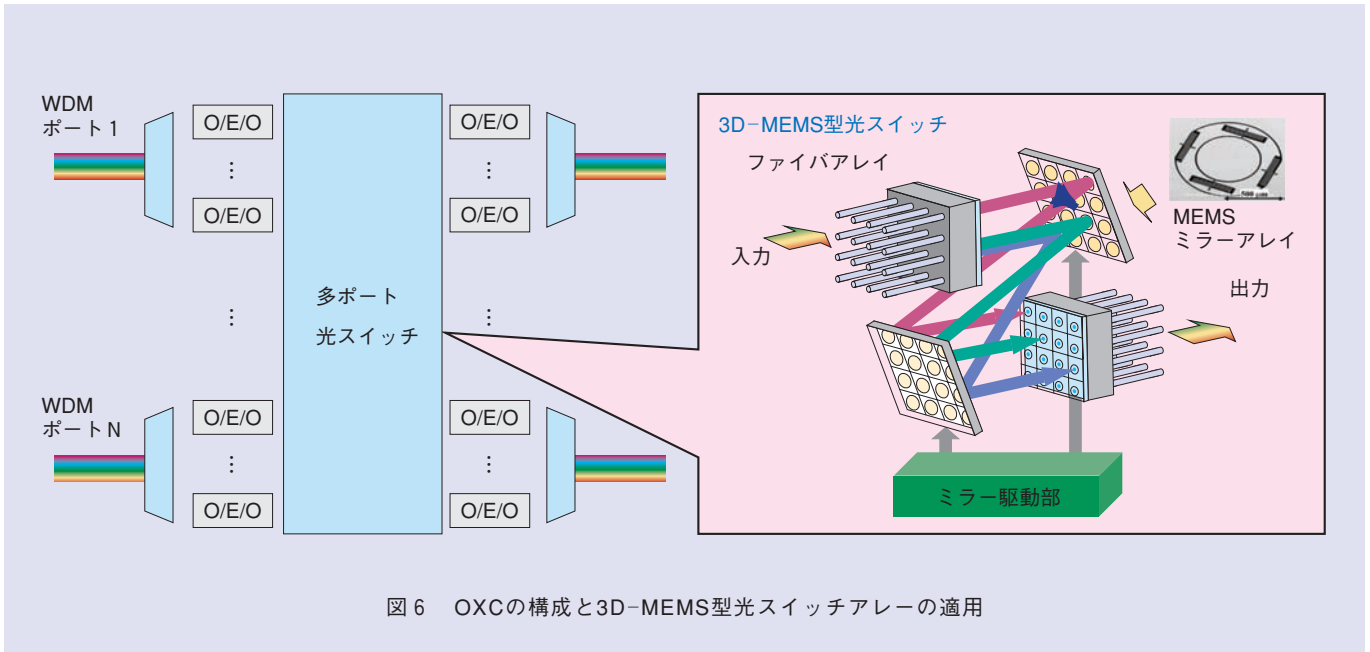


図6 OXCの構成と3D-MEMS型光スイッチアレイの適用

ることにより、入力光ファイバアレイの任意のファイバからの出射ビームを任意の出力ファイバに低損失に結合させることができます。本光スイッチの特徴は、100以上のポート間での完全非閉塞（任意の空きポート間の接続が保証される）スイッチが可能であるため、挿入分岐ポートとして用いるポートも含めて、動的な波長割当機能・方路選択機能を実現することができます。

図6では、WDM伝送機能としてO/E/O機能がある場合を示していますが、ROADMと同様、O/E/O回路を排除し光レイヤでのトランスペアレント化を図るため、WDM合分波・光スイッチ部の低損失化、通過帯域幅の広帯域化などの研究が必要とされています。NTT研究所では、OXCを構成するMEMS光スイッチ技術、光スイッチの通信制御を司るボード化技術、システム冗長性等の高信頼化、装置・ネットワーク監視を実装したシステム化技術の研究開発を進めています。

まとめ

今後のフォトニックトランスポート

ネットワークの進展を支えるメトロポリタンエリアにおけるROADMとその高機能化、バックボーンネットワークのメッシュ型フォトニックノードを実現するOXC技術の最新技術を紹介しました。ここに紹介した技術以外にも、複数の波長を一括してルーティングを行う波長群パス技術、トランスペアレントな波長変換技術など、将来のより経済的でフレキシブルなネットワークを構築するための基盤的要素技術についても長期的な研究開発を継続して実施しています。

参考文献

- (1) 日比野・坪川・神野・高田・宮本：“最新フォトニックネットワーク技術の概要,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp. 8-13, 2007.
- (2) 神野・今宿・鯨島・高良・平野・松田・山田：“フォトニックトランスポートネットワークアーキテクチャと制御管理技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp. 20-25, 2007.
- (3) 宮本・佐野・増田・吉田：“10 Tbit/sを超える超大容量フォトニックトランスポート技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp. 30-34, 2007.
- (4) T. Takahashi, “Evolution of Photonic Network Technologies,” Tech. Dig. of Asia-Pacific Optical Communications (APOC) 2006, 6354-14, Sep. 2006.
- (5) M. Koga, Y. Hamazumi, A. Watanabe, S. Okamoto, H. Obara, K. Sato, M. Okuno, and S. Suzuki, “Design and Performance of an Optical Path Cross-Connect System Based on Wavelength Path Concept,” J. of LIGHTWAVE

TECHNOL., Vol. 14, No. 6, pp.1106-1119, June 1996.

- (6) T. Yamamoto, J. Yamaguchi, N. Takeuchi, A. Shimizu, E. Higurashi, R. Sawada, and Y. Uenishi, “A Three-Dimensional MEMS Optical Switching Module Having 100 Input and 100 Output Ports,” IEEE Photonics Technol. Lett. Vol.15, No.10, pp.1360-1362, Oct.2003.



(左から) 高橋 哲夫/ 高田 篤/ 社家 一平

フォトニックノード技術は、将来の超高速ルーブットで高機能・フレキシブルなバックボーンネットワークを構築するうえでキーとなる重要な技術です。今後も、大容量化・高機能なROADM技術、トランスペアレントメッシュネットワークの実現に向けたOXC技術などノード基盤技術の研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所
 フォトニックトランスポートネットワーク研究部
 光処理方式研究グループ
 TEL 046-859-8052
 FAX 046-859-5541
 E-mail takada.atsushi@lab.ntt.co.jp