

より柔軟な光ノードを実現する光スイッチ技術

さかまき ようへい^{†1} かわい たけし^{†2}

坂巻 陽平 / 河合 武司

ふくとく みつり^{†2}

福徳 光師

NTTフォトニクス研究所^{†1}
NTT未来ねっと研究所^{†2}

メトロコア領域における経済的なフォトニックトランスポートネットワーク構築とその運用の柔軟性を向上させる手段として、CDC (Colorless, Directionless and Contentionless) -ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) が注目を集めています。本稿ではCDC-ROADMの実現に必要なとされている光スイッチ技術について、最新の研究開発動向を紹介します。

ROADMの概要

リングネットワークが基本となるメトロコア領域では、各ノードにおいて光信号の分岐・挿入を可能とするROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) システムが導入されてきました。また最近では、

複数のリング間で電気再生中継を介さない光信号の転送を実現することで、従来の単一リングネットワークから、より経済的なマルチリングネットワークへの拡張が進められています⁽¹⁾。はじめに、マルチリングネットワークを実現するROADMシステムのノード構成について説明します。

例として、2つのリングを接続する場合のノード構成を図1に示します。リングAの隣接ノード(方路1)から転送されてきた波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)信号はDrop側光スイッチに入力されます。この入力信号を他の隣接ノードに転送する場合は、方路2(図

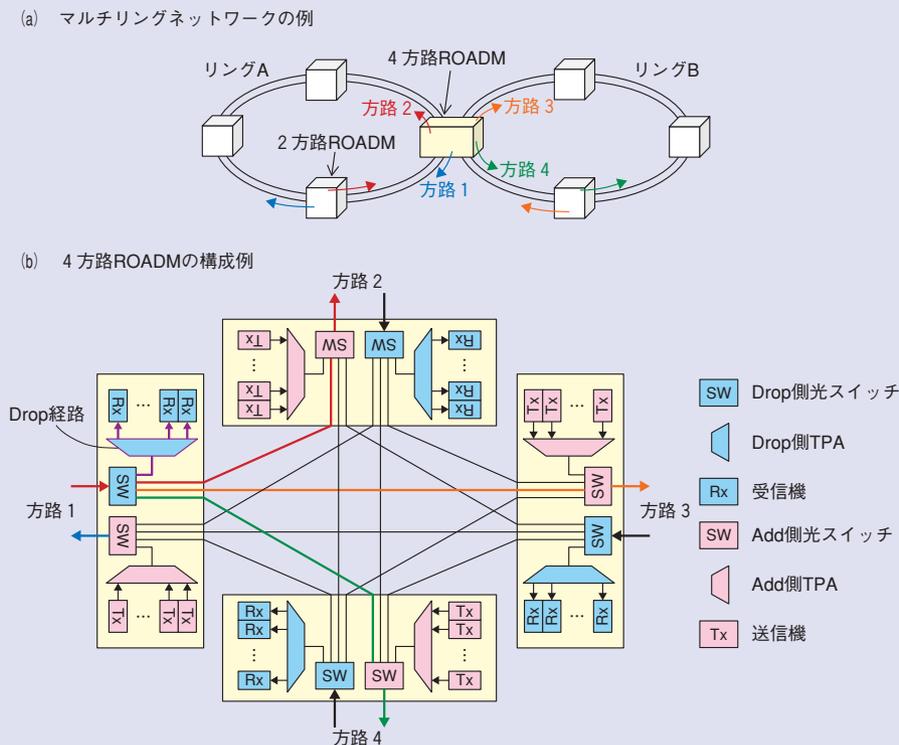


図1 マルチリングネットワークにおけるROADMの構成例

1 (b)中の赤色線) や方路3 (図1 (b)のオレンジ色線), 方路4 (図1 (b)の緑色線) の経路を選択します。また, このノードで信号を受信する場合は, Drop経路 (図1 (b)の紫色線) を選択して別の光スイッチであるトランスポンダ集約スイッチ (TPA: TransPonder Aggregator) に接続します。なお, これらの接続経路は入力されたWDM信号に対して波長チャンネルごとに, 個別に選択できることが前提となっています。TPAに入力されたWDM信号は波長チャンネルごとに個別のトランスポンダへと接続されます。一方, トランスポンダから送信された信号はTPAにおいて出力方路ごとに集約されてAdd側光スイッチへと接続され, 他方路へ転送するWDM信号と合波された後に隣接ノードへと出力されます。このような光ノード構成によりマルチリングネットワーク構築が可能となり, フォトニックトランスポートネットワークの経済化が実現されました。今後, 運用の柔軟性向上を推進するために, 光ノードを構成する光スイッチにはさらなる高機能化が求められています。

ROADMの高機能化

次に, 将来に向けたROADMシステムのさらなる高機能化の研究開発動向として, 現在注目を集めているCDC (Colorless, Directionless and Contentionless)-ROADM⁽²⁾ について紹介します。

(1) Colorless機能

Colorless機能とは, 合分波のフィ

ルタに波長可変機能をもたせることにより, ポートに入出力する波長を自在に割り当てる機能です。物理的な接続替えをすることなく, トランスポンダの波長を変えることができます。以下, 図2を用いて詳細を説明します。なお, 図2は先に示した図1 (b) の方路1と方路3の光スイッチ部分を抜き出したものです。図2の上側はColorless化する前の光スイッチ部分です。ノードで送受信するWDM信号をトランスポンダから各方路の入出力ポートに接続するためには, TPAにおいて波長チャ

ネルごとに個別にトランスポンダを選択して接続する必要があります。従来はこの部分に信号波長が接続ポートごとに固定されているアレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed-Waveguide Grating) が利用されていました。AWGと接続されたトランスポンダが送受信可能な信号波長は, AWGの接続ポートによって一意に決まります。この状況でトラフィック変動に対応するため信号のパスを変更したい, 例えば波長 λ_1 で送受信していたトランスポンダについてパス変更に伴って, 波長も

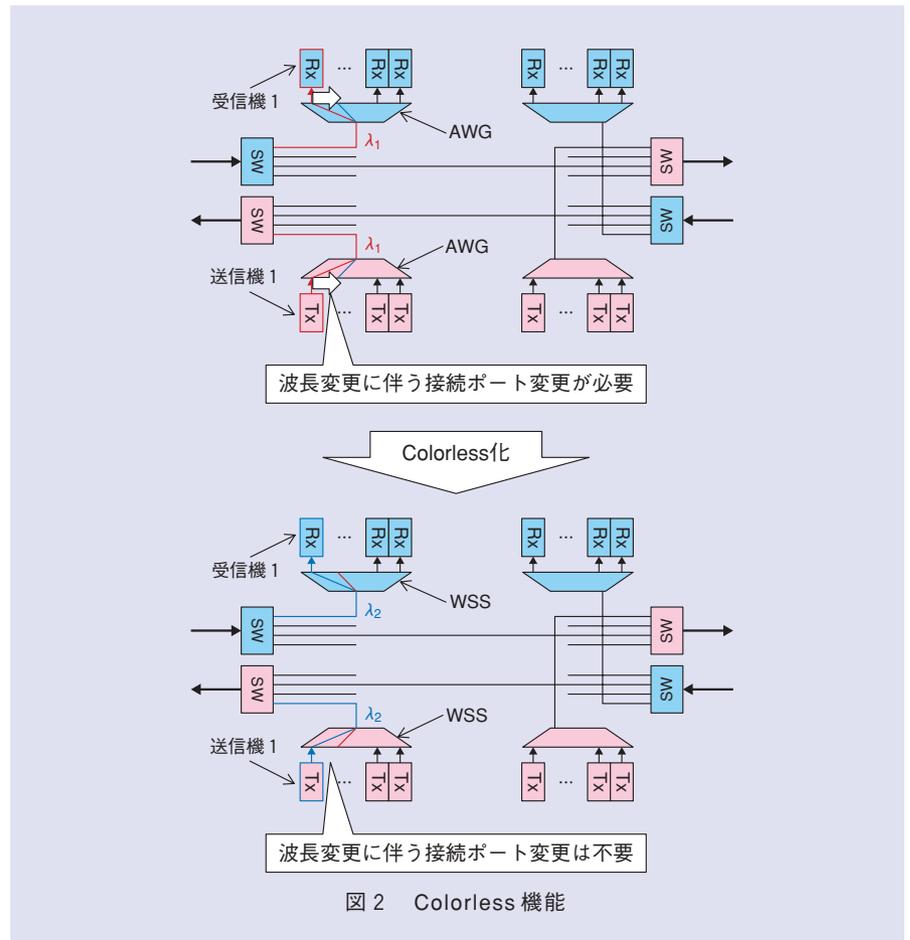


図2 Colorless機能

λ_1 から λ_2 へと変更することが求められた場合、AWGとの接続ポートを変更する必要があります。AWGの接続ポート変更はノード装置が設置された現場における作業が必要となるため、迅速なパス変更要求への対応は困難で、柔軟なネットワーク運用の阻害要因となっていました。

AWGの代わりに波長選択スイッチ(WSS: Wavelength Selective Switch)を利用することでこの問題は解決されます。図2の下側はColorless化した後の光スイッチ部分です。WSSは入力したWDM信号を波長ごとに異なる出力ポートに接続する波長合分波機能に加えて、その波長と出力ポートの組合せを変更することが可能な光スイッチです。WSSを利用すれば、送受信波長を変更する場合でも現地作業は必要なく、遠隔操作による迅速なパス変更が可能となります。ノード内部における信号経路が信号の波長(=色)による制約を受けないことから、この機能改善をColorless化と呼んでいます。

(2) Directionless機能

Directionless機能とは、トランスポンダ集約スイッチの高機能化により、従来は固定されていたトランスポンダの入出力方路を自由に設定できるようにする機能です。図3の上側はDirectionless化する前の光スイッチ部分を表しています。TPAとしてWSSを用いる場合、現在実用化されている一般的なWSSが1入力N出力の1×Nスイッチであるため、接続されたトランスポンダが送受信可能なWDM信号の入出

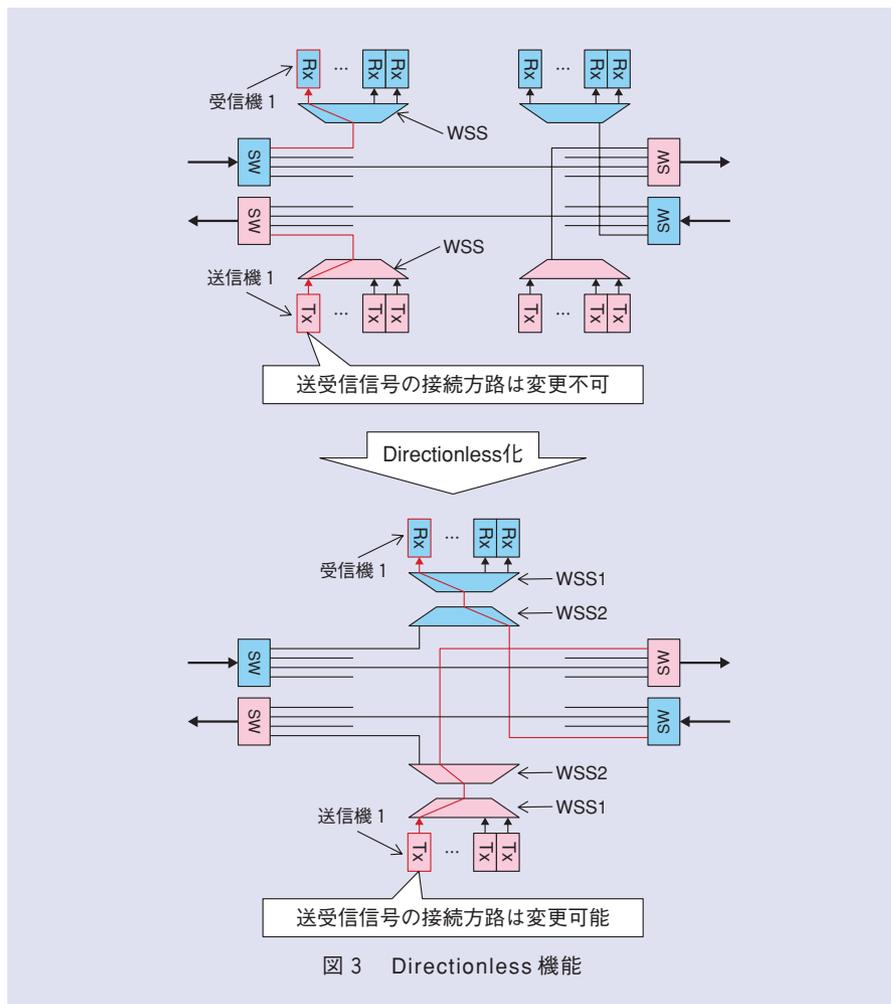


図3 Directionless機能

力方路は1つに限定されます。従来の2方路ROADMでは問題になりませんが、マルチリングネットワークを実現するための多方路ROADMにおいては、トランスポンダの接続先が方路単位で固定されてしまうという制約につながります。

この制約を解決する手段として、図3の下側に示すような2つのWSSを対向させて接続したTPA構成が考えられます。WSS1でトランスポンダの送受信信号を集約し、WSS2で波長チャ

ネルごとに接続方路を設定することが可能となります。このようなトランスポンダの接続方路を任意に設定・変更可能とする機能改善をDirectionless化と呼んでいます。Directionless化による運用の柔軟性向上により、例えば、従来では接続方路ごとに準備する必要があった予備用トランスポンダを異なる方路間で共有することが可能になるなど、ノード装置の経済化への貢献も期待できます。

(3) Contentionless機能

Contentionless機能とは、上記で説明した2機能を実現する際の制約条件、すなわち同一ノード内では別方路に割り当てられる同一波長を2つ収容できないという制約を解消する機能です。これにより別方路に割り当てられる同一波長の光信号を光ノード内で衝突せずに設定することが可能となります。

図4の上側はContentionless化する前の光スイッチ部分です。TPAとして2つのWSSを対向させて配置した場合、WSS1とWSS2が1つの経路で接続されているため、このTPAに複数の同一波長信号が入力されることは許されません。例えば、トランスポンダ1で波長 λ_1 の光信号を方路1に接続している状態では、同じTPAに接続されたトランスポンダ2からは、たとえ方路1以外の方路に接続する場合であっても λ_1 の信号は送受信できないという制約が生じます。

このような異なる方路に接続された同一波長信号のTPA内部における衝突を回避する機能改善をContentionless化と呼んでいます。図4の下側はContentionless化した光スイッチ部分を表しています。具体的な解決手段としては、入出力それぞれに複数のポートを備えて、その間で任意のパス設定を可能とする $N \times M$ 構成のWSSが期待されています。しかし、技術的難易度が高く、現時点での実用化は困難な状況です。そこで、代替手段としてMCS (Multicast Switch) が注目

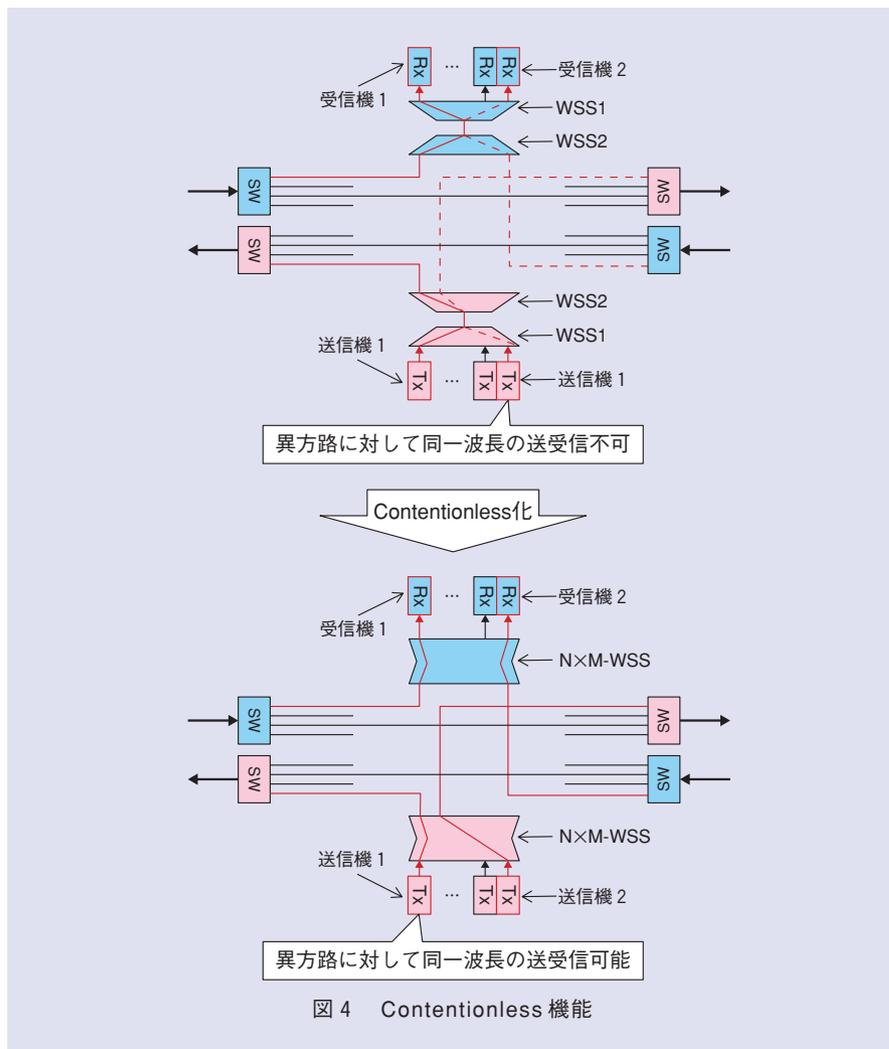


図4 Contentionless機能

されています。

WSSの研究開発動向

次に、CDC-ROADMを構成するための主要な光スイッチであるWSSについて、具体的な研究開発動向を紹介します。

- ① 多ポート化：接続するリング数 (=方路数) やトランスポンダ数の増加に対応するため、出力ポート数の増加が求められています。

初期は $1 \times 2 \sim 4$ 程度のスイッチ規模でしたが、現在は 1×9 WSSが実用化されています。ポート数を増やすことで光ノードに必要となるWSSの数量を削減することが可能となるため、想定される最大の方路数が8程度の大規模ノードの場合、開発ターゲットとしては 1×20 程度の出力ポート数が期待されています。

- ② 小型化：ノード装置に含まれる

WSSの数が増加するに従い、装置サイズは大型化してしまいます。CDC機能を実現しつつも装置サイズ増加を極力抑制することが求められており、WSS自体の小型化が重要となっています。現在、2つのWSSを1つの筐体に収容したTwo-in-One構成のWSSが精力的に検討されています。

③ 光学特性の改善（広帯域化、低損失化など）：信号はWSSを通過する際に損失や帯域狭窄化などの影響を受けます。この影響は通過するWSSの数の増加に伴い顕著になるので、CDC機能の導入による信号の伝送品質劣化を避けるためにはWSS自体の光学特性を従来よりもさらに改善することが必要です。例えば、WSSを2回通過した光信号が受ける品質劣化分が、従来のWSSを1回通過した場合と同等の影響に抑えられるような特性改善が求められています。

④ FlexGridへの対応：現在、将来に向けた革新的なフォトニックトランスポートネットワーク技術としてエラスティック光ネットワーク⁽³⁾が世界的に注目を集め、研究が活発化しています。このネットワークでは1つの信号が占有する周波数帯域を自由に変更する技術、FlexGridの実現が必須となります。そのため、WSSにも波長チャンネル間隔の自在な変更に対応できることが求められています。

NTT研究所のアクティビティ

最後にNTT研究所のアクティビティを紹介します。NTT研究所ではCDC-ROADMを実現するための最適なノード構成について検討を進めてきました。Add/Drop側光スイッチに1×43-WSS、TPAに石英系プレーナ光波回路(PLC: Planar Lightwave Circuit)技術を用いた8×12-MCSを採用することで大幅な構成部品点数削減を実現した、CDC-ROADMノード構成を提案しています。これらの光スイッチはいずれもNTT研究所が世界に先駆けて実現した光デバイスです。また、1波長当り100 Gbit/sの偏波多重QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 信号のWDM伝送実験も実施して、提案したノード構成の実現可能性を証明しています⁽⁴⁾。

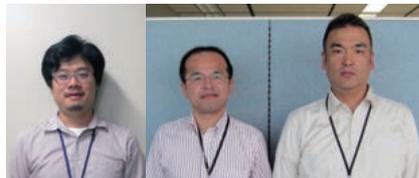
今後の展開

フォトニックトランスポートネットワークのさらなる大容量化と経済化を両立させるため、CDC-ROADMのような運用柔軟性の高いノードの必要性が高まっています。それと同時に、ROADMシステムの適用領域拡大に伴い生じる多様なニーズにこたえるため、ノード規模とコストのバランスの最適化を図ることが重要になります。そのためには、より多くのポート間で柔軟な経路設定を可能とする光スイッチ技術の発展が重要な要素です。今後は1×N-WSSの多ポート化やM×N-WSSの実用化に加えて、光チャンネルモ

ニタなど周辺機能の集積による高機能化・小型化が進展すると期待されます。

参考文献

- (1) 松岡：“経済的なコア・メトロネットワークを実現する超高速大容量光トランスポートネットワーク技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.23, No.3, pp.8-12, 2011.
- (2) S. Gringeri, B. Basch, V. Shukla, R. Egorov, and T. J. Xia: “Flexible architectures for optical transport nodes and networks,” IEEE Commun. Mag., Vol.48, No.7, pp.40-50, 2010.
- (3) 盛岡・神野・高良・久保田：“将来の革新的光トランスポートネットワーク技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.23, No.3, pp.32-36, 2011.
- (4) Y. Sakamaki, T. Kawai, T. Komukai, M. Fukutoku, T. Kataoka, T. Watanabe and, Y. Ishii: “Experimental demonstration of multi-degree colorless, directionless, contentionless ROADMs for 127-Gbit/s PDM-QPSK transmission system,” Optics Express, Vol.19, No.26, pp.B1-B11, 2011.



(左から) 坂巻 陽平/ 河合 武司/
福徳 光師

将来のフォトニックネットワークでは、信号周波数をより細かい粒度で管理し、かつより柔軟により多くの経路設定を可能にする光スイッチが必要となります。その実現に向け、さらなる光スイッチ技術の高度化に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTフォトニクス研究所
企画担当
TEL 046-240-2403
FAX 046-270-3703
E-mail ph-kensui@lab.ntt.co.jp