

2 コアネットワーク系通信デバイス

柔軟な大容量ネットワークを実現する C+LバンドCDC-ROADM

CDC-ROADM (Colorless、Directionless、Contentionless - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing) と呼ばれる光ネットワークの構成は自由度の高いネットワーク構成を提供する。本稿では、従来 C ないしは L の単一のバンドに限定されていた CDC-ROADM を C+L バンドの複数バンド化の検討を行った結果を報告する。CDC-ROADM に不可欠なマルチキャストスイッチデバイスの動作波長範囲を C+L の 2 つのバンドに拡大することで、シンプルでバンドを意識することなく運用が可能なシームレスな構成と運用が実現される。

IOWN におけるオールフォトニクス・ネットワークと光ネットワークのマルチバンド化

IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) を構成する 3 つの技術分野の 1 つであるオールフォトニクス・ネットワーク (APN) は、フォトニクス技術を活用し、現在のエレクトロニクス技術では実現困難な、情報処理基盤のポテンシャルの大幅な向上を達成しようというものである^[1]。APN では、伝送容量を 125 倍にすること、ネットワークから端末のエンド・ツー・エンドで

最大限光技術を導入することを目標に掲げており、その大容量の光伝送には、空間多重技術などのまだ実用化されていない技術の適用に加えて、すでに光ネットワークに適用されている波長分割多重技術の拡大も重要である。波長分割多重方式における波長帯域の拡大は、エンド・ツー・エンドでの光技術適用にも有効である^[2]。これは、エンド・ツー・エンドで光技術を適用するために、開通可能な光パス数を増やす必要性に依るものである。エンド・ツー・エンドで光技術を適用し、光パスを構成するには、光スイッチがキーと



日本電信電話株式会社
デバイスイノベーションセンター
特別研究員 鈴木 賢哉氏

なる。すなわち、光信号を途中で電気信号に変換することなく、光を光のまま送信端から受信端まで伝送するには、光スイッチが重要な役割を

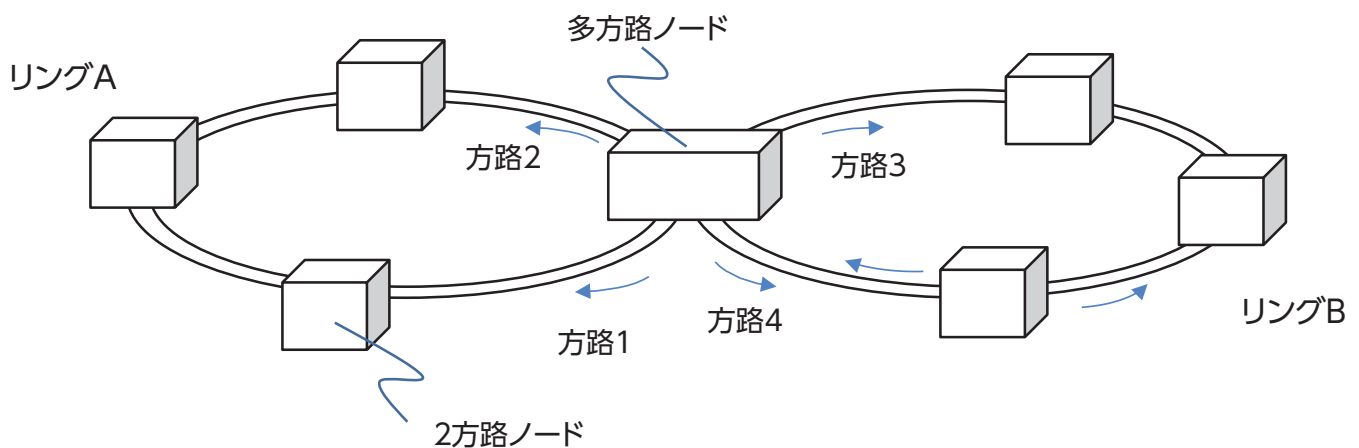


図1 マルチリングネットワークの例

果たす。このような光スイッチを用いるネットワークとして、これまでに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た。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、ネットワークを柔軟に再構築することができ、運用やメンテナンスのコストの低減が可能になる。

ROADM ネットワークにおける信号の高速化と C+L バンド化

近年は、図 1 に示すように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も進められている^[3]。表 1 に示す CDC-ROADM (Colorless, Directionless, Contentionless - Optical Add/Drop Multiplexing) と呼ばれる光ノード構成は、マルチリングやメッシュネットワークなどの多方路のネットワークにおいて効率的なデータ通信を行うための方式であり、通信資源の効率的な運用に有効であるのみならず^[4]、激甚災害時の光伝送路断などの際の迅速な復旧

ビットレート	100 Gbps	500 Gbps級	1 Tbp級
ボーレート	32 Gbd	64 Gbd	130 Gbd
チャンネル間隔	50 GHz	>75 GHz	>150GHz
バンドあたりのチャンネル数	~90	~60	~32
スペクトル			

表 1 伝送信号のボーレートとバンドあたりの波長数

にも寄与が期待される^[5]。

また、最近の光伝送技術のトレンドとして光信号のボーレートに関する議論がある^[6]。高ボーレート化は大容量信号を長距離にわたって伝送するのに好適である一方で、広い信号帯域幅を占有するため、ROADM システムで利用可能な波長数を減少させるという課題を生じる。表 1 に示すように、例えば、100 Gbit/s の信号は 32 GHz 程度の占有帯域であり、現在用いられている C バンド (1530 ~ 1565 nm) もしくは L バンド (1565 ~ 1625 nm) の波長帯域^[7] において、それぞれ 90 波程度の波長チャンネルの配置が可能であるのに対して、64 GHz 程

度の占有帯域を持つ 500 Gbit/s 級の信号や、130 GHz 程度の占有帯域を持つ 1 Tbit/s 級の信号では、それぞれ高々 60 波、もしくは 30 波程度配置されるのみである。この解決には、C、L バンドの両方の波長帯の活用が効果的である。

CDC-ROADM は、システムに設置された光送受信器を効率的に活用できる光ネットワークノード構成の一つである。光ノードは他の方路に存在する光ノードとの通信をつかさどる必要があるが、CDC-ROADM ノードでは、もっとも少ない制限で自ノードに設置された光送受信器を任意の方路との通信に使うことができ、通信リソースの有効活用に効果

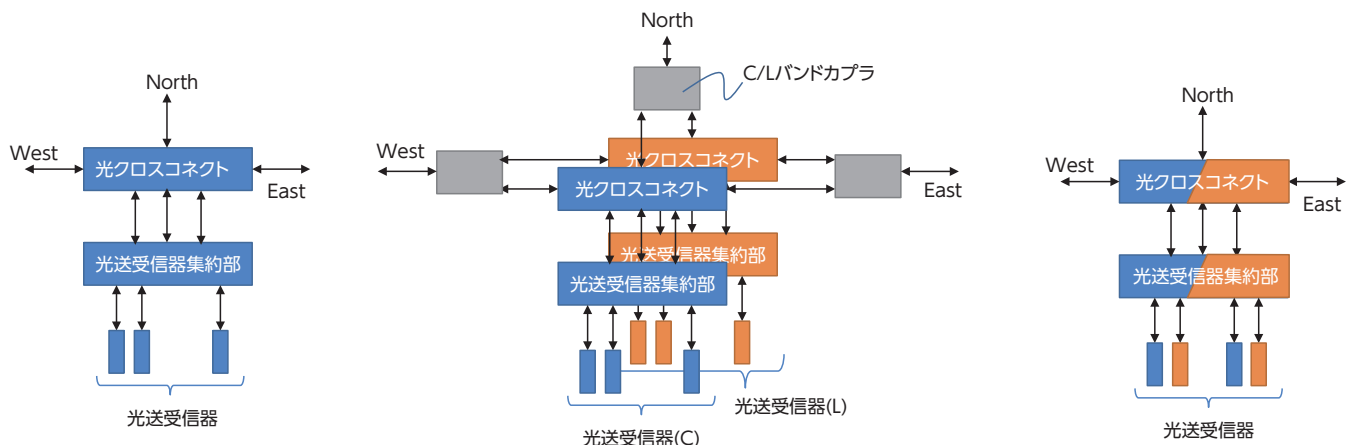
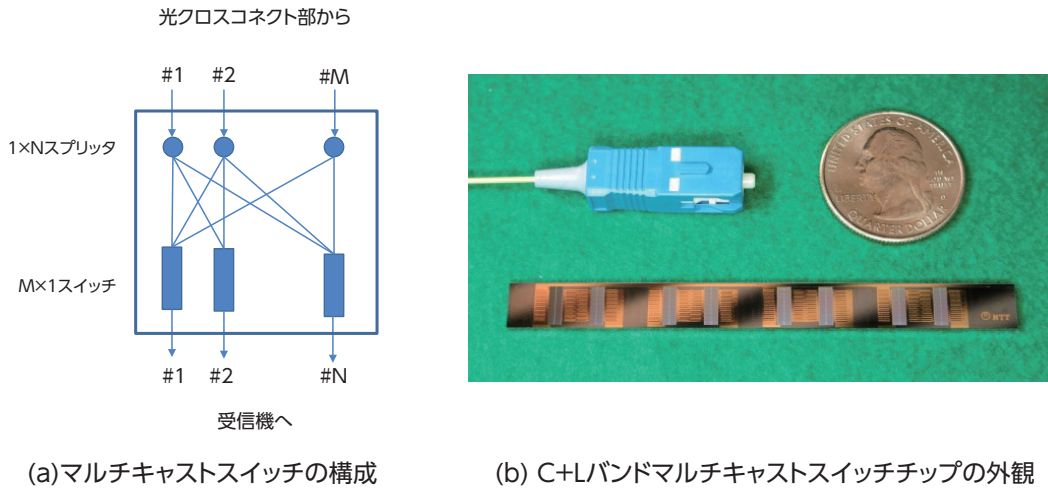


図 2 CDC-ROADM ノードの構成 (a) 一般的な CDC-ROADM ノード、(b) 従来の光スイッチデバイスを用いた CDC-ROADM ノード、(c) C+L バンドマルチキャストスイッチと C+L バンド波長選択スイッチを用いた CDC-ROADM ノード

OWN 構想を具現化するデバイスの開発に取り組む
デバイスイノベーションセンター



(a) マルチキャストスイッチの構成 (b) C+Lバンドマルチキャストスイッチチップの外観
図3 (a) マルチキャストスイッチの構成の概略と (b) C+Lバンドマルチキャストスイッチチップの外観

的である。図2(a)は典型的なCDC-ROADMの構成である。CDC-ROADMは光クロスコネクタ部と光送受信器集約部の2つから構成されます。光クロスコネクタ部は、異なる方路からの信号をそのまま他の方路に伝送するか(例えば、WestからEastなど)、自ノードとの通信に使うかを切り替える。光送受信器集約部は、自ノードで扱う光信号について光クロスコネクタ部と光送受信器の接続を制御する。CDCROADMでは光送受信器集約部がキーである。従来のROADMシステムでは、光送受信器はある特定の方路との通信にしか使えない(Directioned)、もしくは同じ波長の光送受信器は1台しか扱えないか(Contensioned)という制約を有していた。CDC-ROADMは、マルチキャストスイッチ^[8]と呼ばれる「光を光のままスイッチするデバイス」を用いることで、その方路の波長がすでに使われていない限り、任意の光送受信器を任意の方路との通信に使うことができる自由度の高い光ノード構成である。マルチキャストスイッチはNTTデバイスイノベーションセン

タが世界に先駆けて実用化に成功したデバイスである。

前述の光伝送のマルチバンド化に伴って、これまではCもしくはLの単一のバンド構成されていたCDC-ROADMもマルチバンド化する必要がある。従来のCもしくはLバンドのみで動作する光スイッチデバイスを用いてCDC-ROADMを構成する場合は、図2(b)に示す複雑な構成になる。すなわち、光送受信器集約部、光クロスコネクタ部ともにCバンド用、Lバンド用を用意し、それぞれが扱う光信号をC/Lバンド合分波器で合波・分波して伝送ファイバとやり取りする必要があり、装置やデバイスの数は従来の単一バンドの場合に比べて倍増する。加えて、バンドを意識しての光送受信器の設置など、運用においても複雑性を増す可能性がある。これに対して開発したC+Lバンドに動作波長帯域を拡大したマルチキャストスイッチを用いることで、図2(c)に示すような簡単な構成のCDC-ROADMノードが実現される。Cバンド、Lバンドの光送受信器の設置時には、そのバンドを意識すること

なくC+Lバンド光送受信器集約部に接続すればよく、作業時のミス等の低減に寄与すると考えられる。

ところで、光送受信器集約部を構成するマルチキャストスイッチは、その構成上原理的に損失を有する。図3(a)は、M方路×N光送受信器を収容する典型的なマルチキャストスイッチデバイスの回路トポロジであり、自ノードで光信号を受信するドロップ側の例である。併せて図3(b)に作製したC+Lバンドのマルチキャストスイッチの光回路チップの外観を示す。図に示されるとおり、マルチキャストスイッチは、入力された信号をN分岐するスプリッタが内包されます。これが、原理的な損失要因であり避けることはできない。したがって、分岐数を可能な限り低減することが光伝送特性上好ましい一方で、分岐数を減らすと、達成可能なアドドロップ率も減少するという課題が生じる。しかし、高ポーレート伝送を扱う場合は、分岐数を減らしたとしても、従来と同程度のアドドロップ率を保持できる。すなわち、130 Gbaudなどの高ポーレートのシステムでは、前述のとおりバ

表2 マルチキャストスイッチの光送受信器側ポート数(分岐数)と信号ボーレートに対するアドドロップ率の依存性

	マルチキャストスイッチの光送受信器側ポート数				
	4	8	12	16	24
Cバンドノードにおいて32-Gbaud信号を扱う場合	6.8%	13.5%	20.3%	27.1%	40.6%
C+Lバンドノードにおいて130-Gbaud信号を扱う場合	13.0%	26.0%	39.1%	52.1%	78.1%

ンドに配置可能な波長の数も減少するため、分岐数の減少によるアドドロップ率の低下は、従来の32Gbaudのシステムと比較して同程度に保つことが可能である。表2に、従来の32Gbaud信号の単一バンドのシステムと130Gbaud信号のC+LバンドのCDC-ROADM構成におけるアドドロップ率をまとめる。前者ではチャネル間隔を50GHz、Cバンドに96信号を割当て、後者では間隔を150GHz、CバンドとLバンドの両方で64信号を使用すると仮定した。また、アドドロップ率は光クロスコネクタ部の波長選択スイッチの規模に依存するが、本稿では、従来の単一バンドのみのシステムでは、単一バンドシステムが開発されたときに利用可能な1×20WSSを想定し、C+LバンドROADMでは、最近実用化が始まった1×32WSSを想定した。表から分かるように、従来のCDC-ROADMで標準的な構成である8方路ポート、16光送受信器ポートのマルチキャストスイッチを用いたCバンドのみのシステムでは約27%のアドドロップ率であるのに対し、8光送受信器ポートのマルチキャストスイッチで130Gbaud信号を用いたC+LバンドROADMでも26%のアドドロップ率が得られる。したがって、マルチキャストスイッチの分岐

数を現在主流の16から8に半減させても、従来と同等の運用性を確保できるといえます。実際には、必要な平均アドドロップ率は、総波長数をROADMシステムの搭載ノード数で割った値で見積もるのが妥当である。したがって、ノード数が10程度のネットワークであっても、平均アドドロップ率は10%で十分であり、表2に示したケースでこの条件を満たすことがわかる。

まとめと今後の展開

C+Lバンドで動作する光送受信器収容部を持つCDC-ROADMの構成について、その可能性について説明した。また、前述したC+Lバンドマルチキャストスイッチを用いたC+LバンドCDC-ROADMノードのフィージビリティ検証実験にも成功している^[9]。

マルチバンド技術は大容量化のみならず、伝送チャネル数を拡大することでROADMシステムにおける自由度を高めるものである。信号の高ボーレート化に伴う伝送距離の拡大とともに、光ネットワークの高度化に寄与する技術であるといえる。現在NTTではIOWN構想に向けてAPNの研究開発を進めている。今後は、APNの実現に向けて、1

Tbit/s級の高速化や、さらにSバンドなどのより広い波長帯域を活用する技術や、空間多重技術を用いることにより、伝送容量の飛躍的な拡大ならびに光伝送システムの高度化に向けて研究開発を推進する。

参考文献

- [1] <https://www.rd.ntt/iown/0008.html>
- [2] 寒川・富澤・岡田・後藤：“オールフォトリクス・ネットワーク、光電融合技術のめざす未来,” NTT技術ジャーナル, Vol.32, No.8, pp.6-9, 2020.
- [3] 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.
- [4] 坂巻・河合・福徳：“より柔軟な光ノードを実現する光スイッチ技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.25, No.11, pp.16-20, 2013.
- [5] 前田・恵美奈・森澤・高科：“CDC技術を用いたつなぐり続ける光伝送ネットワークの実現,” NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, Vol.27, No.4, pp.48-55, 2020.
- [6] 小木曾・尾崎・上田・脇田・金澤・石川：“100Gb/s超級光送受信器実現に向けた超広帯域・低駆動電圧動作InP系IQ光変調器,” 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J103-C, No.1, pp.61-68, 2019.
- [7] 川崎：“光ファイバ伝送専門委員会 標準類制定状況 2015年度第4四半期,” TTC report, Vol.30, No.3, pp.35-39, 2016.
- [8] T. Watanabe, K. Suzuki, and T. Takahashi：“Multicast Switch Technology that Enhances ROADM Operability,” NTT Technical Review, Vol. 12, No. 1, pp.1-5, 2014.
- [9] S. Yamamoto, H. Taniguchi, Y. Kisaka, S. Camatel, Y. Ma, D. Ogawa, K. Hadama, M. Fukutoku, T. Goh, and K. Suzuki：“First demonstration of a C + L band CDC-ROADM with a simple node configuration using multiband switching devices,” Optics Express, Vol.29, No. 22, pp. 36353-36365, 2021.