

# 大容量ネットワークの柔軟性を実現する C+LバンドCDC-ROADM

NTT未来ねっと研究所とNTTデバイスイノベーションセンタでは、CDC-ROADM (Colorless, Directionless, Contentionless - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing) と呼ばれる物理レイヤにおいてもっとも自由度の高い光ネットワーク構成のC+Lバンド化の検討を行いました。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、構成が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光ノードが可能になります。

すずき <b>鈴木</b>	けんや <b>賢哉</b> <sup>†1</sup>	はだま <b>葉玉</b>	こういち <b>恒一</b> <sup>†1</sup>
やまもと <b>山本</b>	しゅうと <b>秀人</b> <sup>†2</sup>	たにくち <b>谷口</b>	ひろき <b>寛樹</b> <sup>†2</sup>
きさか <b>木坂</b>	よしあき <b>由明</b> <sup>†2</sup>		

NTTデバイスイノベーションセンタ<sup>†1</sup>  
NTT未来ねっと研究所<sup>†2</sup>

## 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す<sup>(1)</sup>。APNでは、伝送容量を125倍にすることで、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います。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、現在、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す。すなわち、光ファイバ通信に用いる波長帯域を拡大することで大容量化を図ります。また、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

有効です<sup>(2)</sup>。エンド・ツー・エンドで光技術を適用するには、開通可能な光パス数を増やす必要があります。この場合にも、波長分割多重技術における波長帯域の拡大は重要な課題の1つであるといえます。

## ROADMネットワークの C+Lバンド化

光ネットワークにおいては、光を光のままルーティングするために光スイッチが重要です。これまでに光ス

イッチを用いた光ネットワークとして、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 Multiplexing) システムが導入されてきました。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です。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

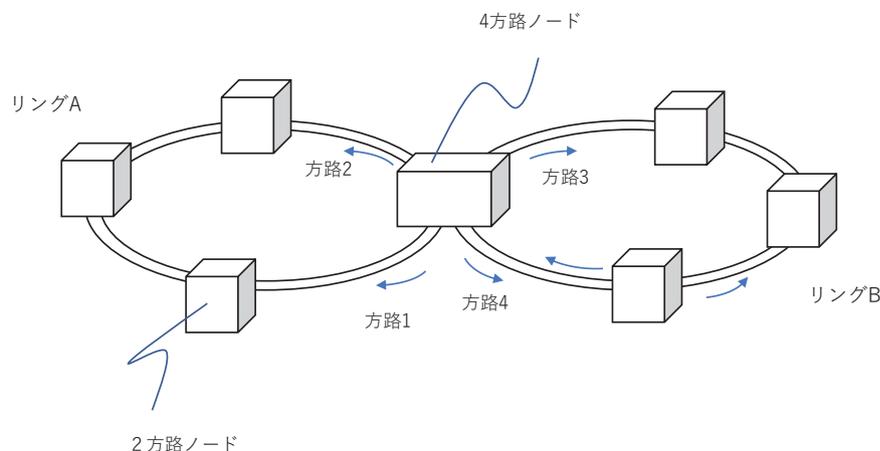


図1 マルチリングネットワークの例

ワークへの拡張も進められています<sup>(3)</sup>。

図2に示すCDC-ROADM (Colorless, Directionless, Contentionless - Reconfigurable 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<sup>(4)</sup>、激甚災害時の光伝送路断などの際の迅速な復旧にも寄与が期待されます<sup>(5)</sup>。

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

議論があります<sup>(6)</sup>。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す。これは、同じビットレートの信号と比較したときに、高いボーレートの信号は多値度のレベルを低減することに寄与するため、信号対雑音比耐性を改善する効果が見込めるためです。しかし、高ボーレート信号は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引き起こします。図2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<sup>(7)</sup>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60波、もしくは30波程度配置されるのみです。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す。

### C+LバンドCDC-ROADM

CDC-ROADMは、システムに設置された光送受信器をもっとも効率的に活用できる方式の光ネットワークノード構成です。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りますが、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的です。

図3 (a)は典型的なCDC-ROADMの構成です。CDC-ROADMは光クロスコネクタ部と光送受信器集約部の2つ

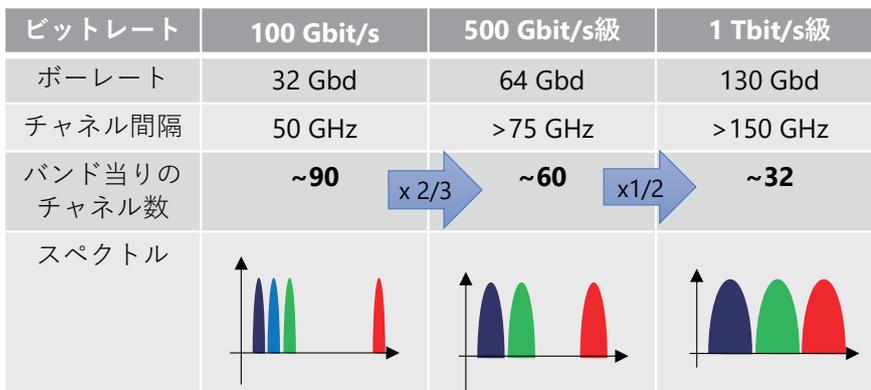


図2 伝送信号のボーレートとバンド当りの波長数

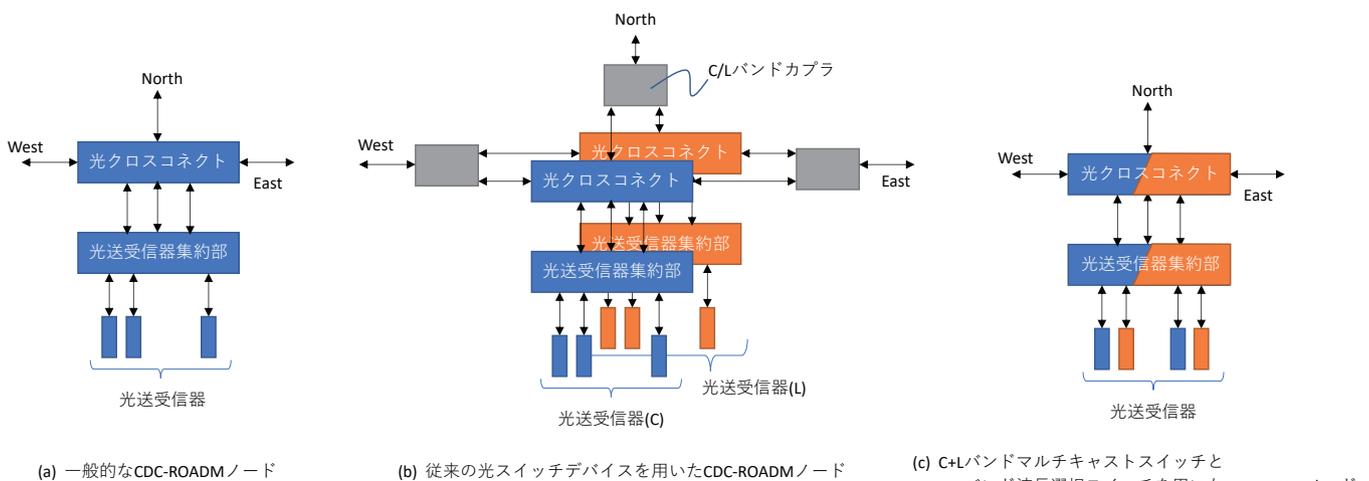


図3 CDC-ROADMノードの構成

から構成されます。光クロスコネク  
ト部は、異なる方路からの信号をそのま  
ま他の方路にパスするか（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ます。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ト部と光送受信  
器の接続を制御します。CDC-ROADM  
では光送受信器集約部がポイントで  
す。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ました。CDC-  
ROADMは、マルチキャストスイッ  
チ<sup>®</sup>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す。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す。

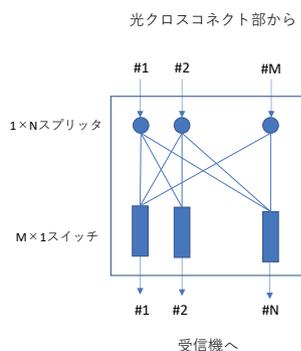
光伝送のマルチバンド化に伴って、  
これまでではCもしくはLの単一のバン  
ド構成されていたCDC-ROADMもマ  
ルチバンド化する必要があります。従  
来のCもしくはLバンドのみで動作す  
る光スイッチデバイスを用いてCDC-  
ROADMを構成する場合は、図3(b)  
に示すような複雑な構成になってしま  
います。光送受信器集約部、光クロス  
コネクト部ともにCバンド用、Lバン  
ド用を用意し、それぞれが扱う光信号  
をC/Lバンド合分波器で合波・分波  
して伝送ファイバとやり取りする必要  
があり、装置やデバイスの数は従来の  
単一バンドの場合に比べて倍増しま

す。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ります。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3(c)に示  
すような簡単な構成のCDC-ROADM  
ノードが実現されます。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も寄与す  
ると考えられます。

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します。図4  
(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  
です。併せて図4(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します。  
図4(a)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。  
これは、原理的な損失要因であり避け  
ることはできません。したがって、分

岐数を可能な限り低減することが光伝  
送特性上好ましいですが、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あります。

しかし、高ボ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てる  
ことが分かります。すなわち、130  
Gbaudなどの高ボーレートのシステ  
ムでは、前述のとおりバンドに配置可  
能な波長の数も減少します。そのた  
め、分岐数の減少によるアドドロ  
ップ率の低下は、従来の32 Gbaudのシ  
ステムと比較して同程度に保つことが  
可能です。表は、従来の32 Gbaud信  
号の単一バンドのシステムと130  
Gbaud信号のC+LバンドのCDC-  
ROADM構成におけるアドドロ  
ップ率をまとめたものです。前者ではチャ  
ネル間隔を50 GHz、Cバンドに96信  
号を割当て、後者では間隔を150  
GHz、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ました。ま  
た、アドドロップ率は光クロスコネク  
ト部の波長選択スイッチの規模に依存  
しますが、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



(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回路の外観

図4 マルチキャストスイッチ

表 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%

1×20 WSS (Wavelength Selective Switch) を想定し、C+LバンドROADMでは、最近実用化が始まった1×32 WSSを想定しています。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130 Gbaud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ことが分かります。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す。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%で済みます。表に示したケースでこの条件を満たすことが明らかです。

### 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ました。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ます<sup>(9)</sup>。

マルチバンド技術は大容量化のみならず、伝送チャン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す。信号の高ボーレート化に伴う伝送距離の拡大と相まって、光ネットワークの高度化に寄与する技術であるといえます。現在NTTではIOWN構想に向けてAPNの研究開発を進めています。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進めていきます。

### 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・福德：“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技術を用いたつなが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：“100GBd超級光送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.



(上段左から) 鈴木 賢哉/ 葉玉 恒一/  
山本 秀人

(下段左から) 谷口 寛樹/ 木坂 由明

光通信デバイスの開発、実用化を通じて、NTTグループや世界のネットワークの高度化に貢献していきます。

### ◆問い合わせ先

NTTデバイスイノベーションセンタ  
TEL 046-240-2403  
FAX 046-270-3703  
E-mail dic-kensui-p@hco.ntt.co.jp