



冗長機能を備えた200Gbit/s 光伝送装置 (OTN)

200 Gbit/s OTN Optical Transmission Device with Line Protection Capability

神山 真一*
Shinichi Kouyama

滝澤 康裕
Yasuhiro Takizawa

濱田 洋平
Youhei Hamada

井上 徹
Toru Inoue

梅田 大助
Daisuke Umeda

5Gの普及やAI活用などを背景に、ネットワークで伝送されるトラフィック量が増加している。光伝送装置にも高帯域化が求められている一方で、都市部の局舎などでは設置スペースに制約があるため、小型化・高密度化も同時に求められている。そこで当社では高収容効率を実現するために小型の200G OTN*¹光伝送装置を開発した。本光伝送装置ではDCO*²を採用することで波長多重によるさらなる高密度化と長距離伝送を実現する。本稿では冗長構成時における受信特性および冗長切替え性能を実測した結果を報告する。

With the launch of 5G services and AI applications, the amount of data flowing into networks is increasing. While network devices are required to have higher bandwidth, they are also required to be smaller and denser due to limited installation space in urban areas. We have developed a small 200G OTN optical transmission device to improve the accommodation efficiency. This device uses digital coherent optics to achieve long-distance and high-density transmission through wavelength multiplexing. This paper reports the transmission distance and the traffic restoration time in line protection using the device.

キーワード：OTN、光伝送装置、メトロネットワーク、データセンター間通信

1. 緒言

近年の5Gの普及やAI活用、DX化の加速を背景に、ネットワークで伝送されるトラフィック量は増加しつづけており、帯域不足はネットワーク全体の課題となっている。その中でも、通信キャリアの局舎やビジネスユーザのビルなどを結び地域の加入者からのデータも収容するメトロネットワークや、データセンター間を相互接続するデータセンター間通信 (DCI, Data Center Interconnect) では、大容量化と同時に、空間的な制約から小型化・高密度化が求められている。

そこで当社では、メトロネットワークやDCIに利用可能な、小型かつ高密度収容を実現する光伝送装置を開発した。本光伝送装置は、1RUサイズの小型筐体のスロット型構成であり、最大200Gbps収容可能なラインカードを2スロット搭載することができる。また、1RUサイズの光スイッチモジュールと組み合わせることが可能で、5RUサイズで最大8波長の1.6Tbps DWDM*³長距離伝送を実現することができる。

今回、当社で開発した光伝送装置を用いて、ライン区間のファイバ異常を想定した冗長構成で伝送性能と冗長切替え性能の実測、評価を行った。オペレータによる手動契機で3ms、ファイバ異常による異常契機で35~45msの瞬断時間で切替えが実現でき、光アンプの利用により100Gbps収容時で-40.9dBm、200Gbps収容時で-34.0dBmの受信性能と80km伝送に耐えることを実証できたので報告する。

2. 装置への要求

現在のネットワーク構成の概要を図1に示す。

ネットワークは、全国の都市間を結ぶコアネットワーク、都道府県や都市部などエリアをカバーするメトロネットワーク、家庭向けの光アクセス、ビジネス専用線など加入者を収容するアクセスネットワークに大別でき、近年ではDCIが、AI活用を始めとする多様なユーザーサービスを背景に、必要帯域を大きく伸ばしている。アクセスネットワークにおいても、ブロードバンドの総ダウンロードトラフィック量は2年で約2倍と急増しており⁽¹⁾、それを収容するメトロ

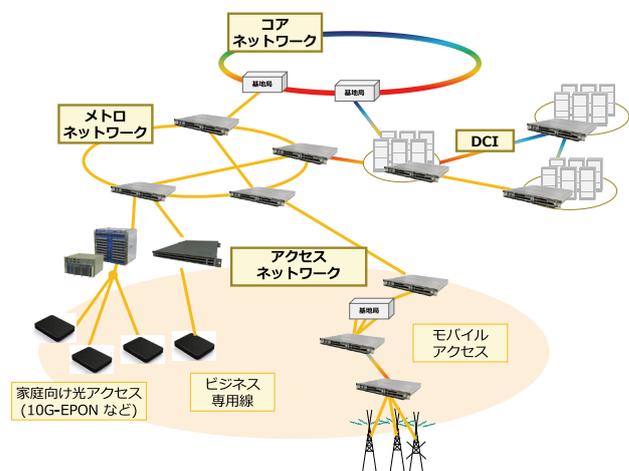


図1 ネットワーク構成概要

ネットワークにも大容量化が求められている。

そこで、本伝送装置では伝送方式として、まずメトロネットワークで広く利用されている OTN を採用し、伝送レートとして 100Gbps と 200Gbps の 2 種類のモードに対応した。また、ラインポートに波長可変の DCO を採用することで、メトロネットワークや DCI で求められている波長多重下で 80km 以上の長距離伝送を可能とした。

装置サイズは小型であることが望ましく、さらに、必要帯域の増加やユーザーサービスの変化を背景に、増設の短納期化と柔軟なシステム構成が求められている。そこで、本光伝送装置では 1RU のスロット方式を採用した。オペレータは必要なだけの筐体を設置し、筐体はそのままにユニット部の交換のみで異なる伝送方式やポート数に対応が可能となる。そのため、今後の大容量化された伝送方式や収容サービスの変化に対しても柔軟な対応が可能となる。

3. 光伝送装置

3-1 装置構成

当社の光伝送装置の筐体外観を図2に、筐体諸元を表1に示す。

本光伝送装置の筐体は、制御ユニットが実装される制御用スロット1つとラインユニットが実装されるライン用スロット4つを持つ。本筐体では、本体制御部にもスロット方式を採用し、用途に応じた装置制御インターフェースをもつ制御ユニットに入れ替えることを可能とする。ライン用

筐体全体



正面 (制御ユニット×1, OTNユニット×2 実装状態)



図2 筐体外観図

表1 筐体諸元

項目	仕様	
装置サイズ	筐体 (19インチラック 1RU) 440(W)×450(D)×44(H) mm ※突起部含まず	
スロット構成	制御用	1スロット
	ライン用	4スロット
電源	DC48VまたはAC100V 冗長構成/ユニットタイプ	
空冷方法	ファンによる強制空冷	
保守管理ポート	※制御ユニット諸元参照	

スロットについても、最大4ユニットが実装できる構成とし、ラインユニットに必要なサイズに応じてユニットサイズを選択を可能とした。こうすることで、用途や通信方式によって異なる光トランシーバやポート数への柔軟な対応を可能とした。

制御ユニットの諸元を表2に示す。本制御ユニットは監視制御網と接続するための管理用 SSH ポートを2つと制御端末と直接接続するためのシリアルポート1つを持つ。また、外部インターフェースとして、ストレージ用の SD カードスロットを持つ。

OTNラインユニットの外観を図3に、諸元を表3に示す。本ラインユニットのラインポートは CFP2 用 ケージ を搭載

表2 制御ユニット諸元

項目	仕様	
ユニットサイズ	82.6(W) × 200(D) × 37.5(H) mm ※突起部含まず	
電源	DC48V	
保守管理ポート	管理用 (SSH)	RJ45 2ポート
	シリアルポート (CLI)	RJ45 1ポート
	ストレージ	SDカード 1ポート



図3 OTNラインユニット外観図

表3 OTNラインユニット諸元

項目	仕様	
ユニットサイズ	175.2(W) × 200(D) × 37.5(H) mm ライン用スロット：2スロット占有 ※突起部含まず	
電源	DC48V	
最大収容レート	100Gbps または 200Gbps	
ラインポート	ポート数	CFP2 1ポート
	伝送レート	100Gbps または 200Gbps
	インターフェース	OTU4
クライアントポート	ポート数	SFP+ 10ポート
	伝送レート	QSFP28 2ポート
		SFP+ 10Gbps QSFP28 100Gbps
インターフェース	10GE, 25GE, 100GE, CPR1 ^{※4} , eCPRI	
消費電力	100W以下	
遅延時間	25 μs以下 (10GE集線時 片方向)	

し、最先端 DCO が使用可能である。クライアントポートには SFP+ 及び QSFP28 用 ケージを搭載する。これらの ケージを 実装するために、本ラインユニットは筐体のライン用 スロットの 2 スロット分のサイズとしている。クライアント信号はラインポートの OTN 信号へ収容される。収容パターンは設定可能で、トランスポンダ、マックスポンダ機能を同一ユニットで実現する。

本光伝送装置に組み込まれる監視・保守機能のソフトウェア諸元を表4に示す。ソフトウェアは、ネットワーク仮想化に向けてネットワーク機器メーカーに依存しない共通なプログラマブルなインタフェースである OpenConfig や主信号サービスに影響なくソフトウェア更新（オペレーションシステム、アプリケーション）を実施可能とする無停止ソフトウェア更新、管理者が予め用意した装置設定データを装置設置時に自動的に反映するゼロタッチプロビジョニングのように保守運用を支える特長的な機能を有する。

表4 ソフトウェア諸元

項目	仕様
接続方式	Telnet, SSH
管理機能	CLI, SNMPv2c/v3, NETCONF/YANG, OpenConfig, RMON (Remote network Monitoring), 無停止ソフトウェア更新, ゼロタッチプロビジョニング, ログ管理, インチャネル遠隔保守
監視機能	リンクダウン転送, 障害検出・警報発報
保守機能	回線試験

本光伝送装置と共に用いる光スイッチの正面図を図4に示す。本光スイッチの筐体は 1RU であり、0.5RU のユニットが最大で 8 スロット分実装可能である。ユニットには、光スイッチ、DWDM mux ユニット、DWDM demux ユニット、光アンプユニットがあり、用途に応じてこれらのユニットを組み合わせることでサービスを構築することができる。

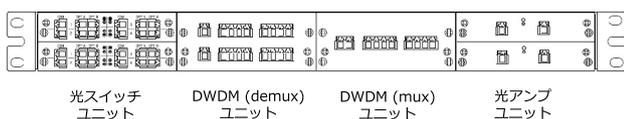


図4 光スイッチ正面図

光スイッチユニットは 0.5RU サイズのユニットで、2 入力 1 出力の光スイッチを 4 ポート持つ。上下 2 スロット分使うことで 8 波長分の光スイッチとして使うことができる。オペレータによる手動切替と、光入力断契機での自動切

替えに対応する。DWDM mux ユニットは 8 波長入力 2 出力のユニットで、8 波長分の入力信号を 2 分岐した後、それぞれを波長多重した光信号を出力する。運用系信号と予備系信号として、異なるファイバ経路を用いて伝送することで冗長構成を取ることができる。DWDM demux ユニットは 1 入力 8 波長出力の DWDM カプラを 2 組持ち、それぞれで運用系、予備系からの波長多重信号を各波長で取り出すことができる。光アンプユニットは 0.5RU サイズで 1 ポートの EDFA^{*5}を用いた光増幅器である。

3-2 システム構成例

これらの光伝送装置と光スイッチを用いたシステム構成例を図5に示す。

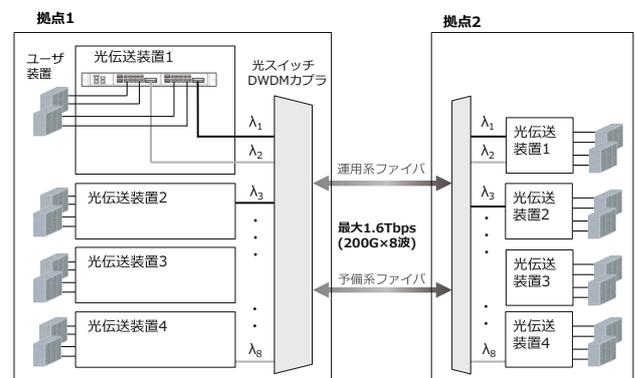


図5 システム構成例

本構成例では、各拠点に光伝送装置 4 台（合計 8 ラインユニット）と光スイッチ 1 台を設置する。各ラインユニットのクライアントポートにはユーザ装置が接続され、クライアント信号を最大で 200Gbps、OTN ライン信号へと収容する。各ラインユニットのライン信号はそれぞれ異なる波長に設定され、光スイッチの DWDM カプラで波長多重される。波長多重されたライン信号は運用系と冗長系の 2 方向の伝送路のそれぞれに送信される。光伝送装置、光スイッチともに 1RU のサイズであり、5RU で最大 1.6Tbps の拠点間伝送が可能である。

対向の拠点では、運用系、冗長系それぞれからライン信号を受け取り、光アンプで光信号を増幅する。増幅されたライン信号は DWDM カプラで波長毎にラインユニットへの OTN 信号へ分岐される。分岐されたライン信号は光スイッチを用いて各波長で運用系、冗長系のいずれを受信するか選択することができる。運用系から正常な受信パワーで受信できている場合は、運用系から受信する。拠点間のファイバ区間の異常などで、運用系信号の受信パワー異常と判断される場合は、光スイッチは冗長系に受信を切り替える。光スイッチは伝送路の工事やメンテナンスなどの際にオペレータが手動で切り替えることもできる。

4. 評価

4-1 伝送距離

伝送評価のシステム構成を図6、レベルダイアグラムを表5に示す。4台の光伝送装置で8波長 ($\lambda_1 \sim \lambda_8 = 1546.92 \sim 1552.52\text{nm} : 100\text{GHz}$ グリッド) をDWDM伝送する構成で、図では左の光伝送装置 (送信部) から右の光伝送装置 (受信部) への片方向の光線路のみを示している。今回、ラインポート間の伝送に100Gモードで30dB、200Gモードで24dBのバジェットに対応したCFP2タイプのDCOを使用しており、光スイッチモジュールの損失7.7dB (対向) と、目標の光ファイバ損失24dBを補償するために、利得14.5dBの光アンプを利用した。光ファイバ損失24dBは0.3dB/kmで80kmに相当する。光伝送装置の送信パワー0.0dBmに対して、光アンプの入力パワーが各波長で-28.5dBm、対向の光伝送装置の受信パワーが-17.2dBmとなり、これを受信誤り率 (誤り訂正前) 10^{-2} 以下で受信できる必要がある。評価では可変光アッテネータ (VOA, Variable Optical Attenuator) で光アンプの入力パワーを変更しながら、受信部における受信誤り率 (誤り訂正前) を評価した。

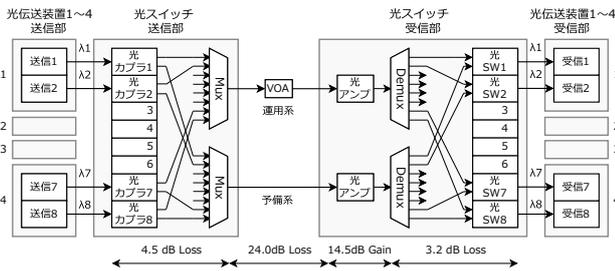


図6 伝送評価システム構成

表5 光パワー・レベルダイアグラム

項目	光伝送装置送信部	光スイッチ送信部	光ファイバ	光スイッチ受信部	光伝送装置受信部
損失 (dB)	-	4.5	24.0	-14.5 +3.2	-
パワー (dBm)	0.0	-4.5	-28.5	-17.2	-17.2

光ファイバの24.0dBは80kmに相当
光スイッチ受信部の-14.5dBは光アンプ利得

図7、図8はそれぞれ100Gモードと200Gモードの受信特性で、光アンプの入力パワーと受信誤り率 (誤り訂正前) の関係を示している。誤り率 10^{-2} における受信パワーは100Gモードで-40.9dBm、200Gモードで-34.0dBmと目標の-28.5dBmに対して十分にマージンのある受信特性であり、80km伝送に耐えることを実証した。なお、100Gモードでは、光ファイバ損失33dB (110km相当) に対しても、4.4dBのマージンを確保できている。

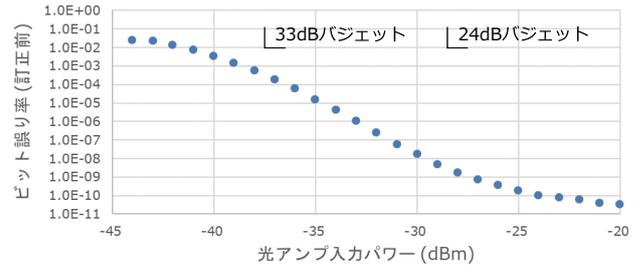


図7 100G受信誤り率 (誤り訂正前)

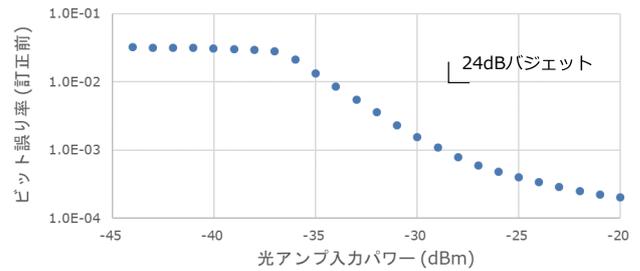


図8 200G受信誤り率 (誤り訂正前)

4-2 冗長切替え性能

冗長切替え性能の評価構成を図9に示す。拠点毎に光伝送装置と光スイッチ一台ずつを設置し、2つのラインユニットによる2波長WDM伝送とライン区間の冗長系を構成した。ライン信号の伝送モードは100G OTNとし、クライアント信号として、各々のラインユニットで100GEと10GEのテストトラフィックを収容した。運用系ファイバ側にはファイバ異常を模擬するための光異常発生器を挿入した。

冗長切替え性能として、トラフィックテスタによるクライアント信号の瞬断復旧時間を用いることとした。本性能測定ではITU-TのG.873.1⁽²⁾で要求される50msを目標値とし、光異常発生器のファイバ異常契機による切替えと、

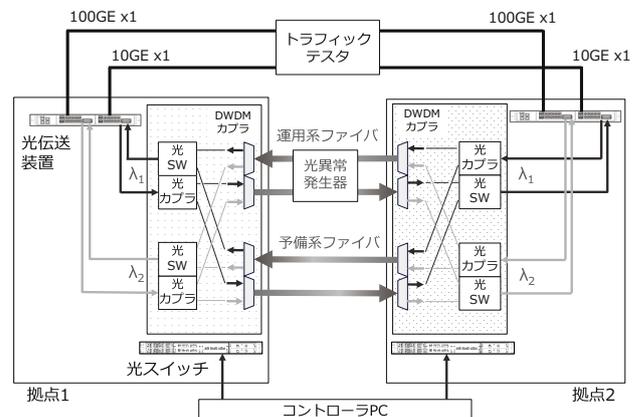


図9 冗長切替え性能評価構成

コントローラPCからの光スイッチ手動契機それぞれで測定を行った。

測定結果を表6に示す。ファイバ異常契機による切替えでは試行毎に結果が変動したが、いずれの試行でも35~45msの範囲に収まった。手動切替えの場合は、いずれの試行でも3msで切替えが完了し、目標値である50msを達成することができた。

表6 瞬断復旧時間の測定結果

ファイバ異常契機	35~45ms
手動契機	3ms

5. 結 言

本稿では、メトロネットワーク向けに小型筐体かつ波長多重による高密度収容可能な光伝送装置を開発し、冗長構成系での伝送距離と冗長切替え性能の実機測定を行い、80km以上の長距離伝送と50ms以下の瞬断でのファイバ切替えが実現できることを示した。

本光伝送装置はスロット型筐体であり、用途に応じて様々な方式のラインユニットを実装できる。今後は、将来に向けてより大容量化されたユニットや、異なるクライアント信号が収容可能なユニットの検討を進める。

用語集

※1 OTN

Optical Transport Networkの略称。クライアント信号を時分割多重により、より高レートな信号に集線することができる伝送方式。時分割多重の際は、クライアント信号毎に固定された時間スロットが割り当てられるため、輻輳が発生せず、クライアント単位での帯域保証、遅延保証が実現される。

※2 DCO

Digital Coherent Optics の略称。デジタル信号処理を利用したコヒーレント通信用の光トランシーバ。信号光と局部発振光との干渉電気信号をデジタル信号処理によって復調を行う。

※3 DWDM

WDMはWavelength Division Multiplexingの略で、異なる波長の光を用いて、一本のファイバに複数の信号を同時に収容する多重化方式。

Dense WDMは光の波長間隔を狭くすることで、多重度を向上させた方式。

※4 CPRI

無線基地局の無線デジタル処理部と張出しアンテナ部を接続するための通信規格。

※5 EDFA

コアにエルビウムを添付したファイバ光増幅器で、誘導放出により光信号を直接増幅する。増幅効率が良い。

参 考 文 献

- (1) 総務省総合通信基盤局電気通信事業部データ通信課、我が国のインターネットにおけるトラヒックの集計結果 (2021年7月21日)
https://www.soumu.go.jp/main_content/000761096.pdf
- (2) Recommendation ITU-T G.873.1 (2017), Optical transport network: Linear protection

執 筆 者

神山 真一* : 情報ネットワーク研究開発センター
主席



滝澤 康裕 : 情報ネットワーク研究開発センター
主査



濱田 洋平 : 情報ネットワーク研究開発センター
主席



井上 徹 : 情報ネットワーク研究開発センター
グループ長



梅田 大助 : 情報ネットワーク研究開発センター
グループ長



* 主執筆