



# 伝送距離60kmを実現した10G-EPON用波長多重中継装置

10G-EPON Dense Wavelength Division Multiplexing Repeater  
Expands Transmission Distance up to 60 km

梅田 大助\*  
Daisuke Umeda

田中 成斗  
Naruto Tanaka

吉村 明展  
Akinobu Yoshimura

木崎 直也  
Naoya Kizaki

後藤 慎也  
Shinya Goto

船田 知之  
Tomoyuki Funada

通信インフラの高速化に対応するためのブロードバンドアクセス技術として、当社はPON (Passive Optical Network) 方式を採用した光アクセス機器を開発してきた。本稿では10Gbit/sの伝送容量を持つ10G-EPONシステム用に開発した中継装置について報告する。中継装置は局側装置 (OLT) と宅側装置 (ONU) の間に設置し、伝送距離を従来の20kmから60kmに長延できる。8チャンネルの中継に対応し、波長多重技術を適用することで局側装置と1本のファイバで接続できる。キー技術である上りバースト信号の中継方式と中継特性についても報告する。

We provide advanced broadband technologies and passive optical network (PON) equipment to the market. We have developed a repeater for 10 Gigabit-Ethernet PON (10G-EPON) systems. Installed between an optical line terminal (OLT) and optical network units (ONUs), the repeater dramatically expands the data transmission distance from the conventional 20 km to 60 km. Wavelength division multiplexing (WDM) technology enables its connection to the OLT using a fiber cable and 8 channel support. This paper describes the performance of the repeater and the key technology in relaying upstream burst signals.

キーワード：10G-EPON、中継装置、波長多重

## 1. 緒言

光ブロードバンドアクセス技術として、光ファイバを複数の加入者で共有して効率良く使用できるPON (Passive Optical Network) 方式が導入され、FTTHの普及を支えている。当社はこれまでにGE-PON<sup>\*1</sup>方式の通信システムを実用化し、国内外の事業者販売してきた。2014年には、伝送容量を10倍に拡張した10G-EPON<sup>\*1</sup>システムの販売を開始している。

一方、経済性の観点から伝送距離と分岐数を増やして広範囲の加入者を多く収容したい、波長分割多重 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) <sup>\*2</sup>により光ファイバを有効に利用したいという要望は強い。しかし、光ファイバを長延/分岐すると伝送損失が拡大するため、それを補償する必要がある。

当社は通信距離の長延、収容数の増大、波長多重伝送を実現するための1つのソリューションとして、10G-EPONシステムに対応した10G-EPON中継装置を開発した。局側装置と中継装置間の波長多重伝送に対応し、光ファイバを効率的に利用できる。本稿では開発した10G-EPON中継装置の特徴、および中継特性を示す。

## 2. 中継装置の概要

### 2-1 特徴

図1に開発した10G-EPON中継装置の適用例を示す。

本中継装置は局側装置と宅側装置の間 (「PON区間」と呼ぶ) に設置する。下り/上り光信号<sup>\*3</sup>を受信して電気信号に変換し、再生処理を行った後、再び光信号に戻して中

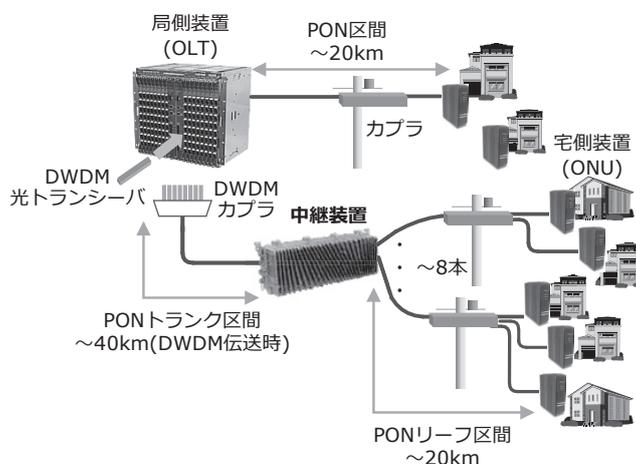


図1 10G-EPON中継装置の適用例

継する。弱まった光信号を再送することで伝送損失を補償する。中継装置と宅側装置の間（「PONリーフ区間」と呼ぶ）は通常のPON区間と同じ32分岐時に20kmをサポートし、局側装置と中継装置の間（「PONトランク区間」と呼ぶ）の伝送距離分を長延できる。PONトランク区間にはDWDM（高密度WDM）伝送を使用し、中継装置1台で8チャンネルの波長多重中継に対応する。対向となる局側装置の波長多重への対応には、局側装置用光トランシーバとピン互換のDWDM光トランシーバを開発した。光トランシーバを交換することで中継装置と波長多重伝送できる。

また、本中継装置は10G対称（下り10Gbit/s、上り10Gbit/s）と10G非対称（下り10Gbit/s、上り1Gbit/s）の通信に対応する。上りは、伝送レートと強度の異なる光パースト信号<sup>\*4</sup>を受信し、強度の揃った疑似的な光連続信号に変換して、局側装置に中継する。光強度を揃えることで発光波長が安定し、PONトランク区間の波長多重が容易になる。

表1に本中継装置の主要諸元を示す。局側装置側のPONトランク・インタフェース（I/F）に40km伝送に対応したDWDM光トランシーバを搭載する。宅側装置側のPONリーフI/Fには局側装置用光トランシーバを搭載することで、通常のPON区間と同等の伝送特性を実現した。これにより、局側装置と宅側装置の伝送距離はPONトランク区間の40kmとPONリーフ区間の20kmで合計60kmに対応する。

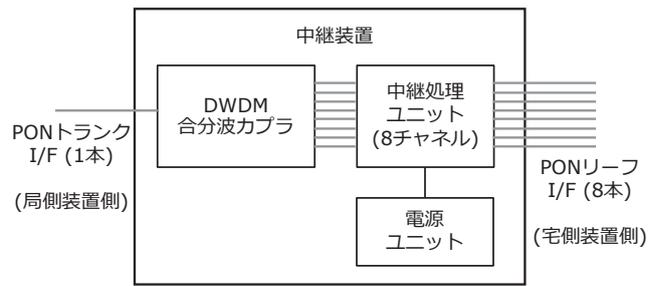
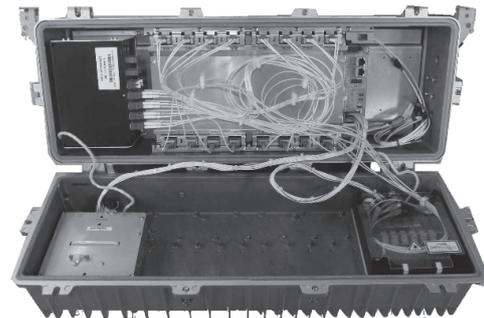


図2 中継装置の構成



上部中央：中継処理ユニット（8チャンネル）  
上部左：DWDM合分波カプラ  
下部左：電源ユニット

写真1 中継装置の内観写真

表1 中継装置主要諸元

項目	仕様
筐体サイズ	W708×D217×H253 mm
中継チャンネル数	8チャンネル
下り伝送レート	10Gbit/s (物理層10.3125Gbit/s)
上り伝送レート	10Gbit/s (物理層10.3125Gbit/s) 1Gbit/s (物理層1.25Gbit/s)
中継処理ユニット PONトランクI/F (局側装置側)	XFP DWDM光トランシーバ -下り受信10.3125Gbit/s -上り送信10.3125Gbit/s、1.25Gbit/s -波長 ITU-T G.694.1 DWDM100GHzグリッド ch20~ch35 (1561.42~1549.32nm)
中継処理ユニット PONリーフI/F (宅側装置側)	XFP 局側装置用光トランシーバ (IEEE802.3 10/1GBASE-PR30準拠) -下り送信10.3125Gbit/s -上り受信10.3125Gbit/s、1.25Gbit/s
消費電力	86W (代表値)

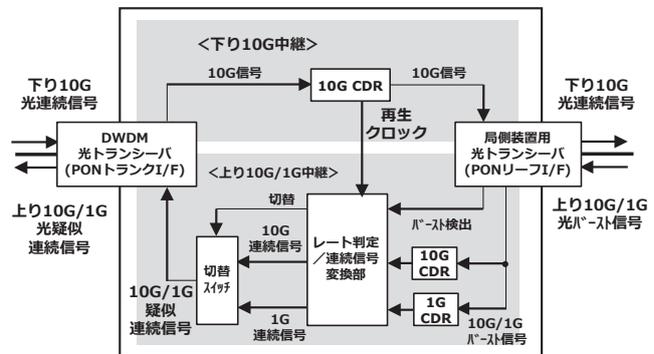


図3 中継処理ユニット (1チャンネル) の構成

## 2-2 内部構成

本中継装置の構成を図2、内観写真を写真1に示す。屋外設置用の筐体の中継ユニット（8チャンネル）、DWDM合分波カプラ、電源ユニットを搭載する。

中継処理ユニット（1チャンネル）の構成を図3に示す。下りの10G中継処理は、局側装置からの10G光連続信号を

DWDM光トランシーバで受信（光電気変換）、連続信号用のCDR（Clock and Data Recovery）回路<sup>\*5</sup>でタイミング再生した後、局側装置用光トランシーバから宅側装置に送信（電気光変換）する。CDR回路では下り10G信号から10Gクロック信号を抽出して、上りの10G/1G中継処理部に渡す。上り10G/1G中継処理部を下り信号から抽出したクロック信号で動作させることで中継装置を局側装置と同期させる。

上りの10G/1G中継処理は、10G対称宅側装置からの

10G信号 (10.3125Gbit/s) と10G非対称宅側装置からの1G信号 (1.25Gbit/s) が混在する光バースト信号を局側装置用光トランシーバで受信 (光電気変換) する。使用した局側装置用光トランシーバは光バースト信号の強度からバースト信号の有無を検出できる。バースト信号を検出すると、10G用と1G用のCDR回路で同時に同期処理を試み、レート判定部で10Gと1Gのどちらのバースト信号を受信しているかをレート判定する。局側装置は宅側装置の通信割当を管理しており、受信するバースト信号が10G信号であるか、1G信号であるかを把握している。しかし、中継装置は受信するバースト信号の伝送レートを把握しておらず、受信してから判定する必要がある。

レート判定後、10G用と1G用のCDR回路の出力に対して、無信号区間にダミーの信号を挿入して、10G連続信号と1G連続信号を生成する。こうして生成された2つの連続信号を切替スイッチで結合して10G/1G疑似連続信号を生成し、DWDM光トランシーバで局側装置に送信 (電気光変換) する。

図4に10G /1G光バースト信号から10G/1G光疑似連続信号に変換する様子を示す。光疑似連続信号は10G信号と1G信号が混在し、出力レベルが一定の光連続信号となる。伝送レートが単一の光連続信号と区別し、ここでは光疑似連続信号と呼ぶ。光バースト信号と異なり、一定レベルで常時発光することで発光デバイスの温度と発光波長が安定し、DWDM光トランシーバで容易に波長多重できる。

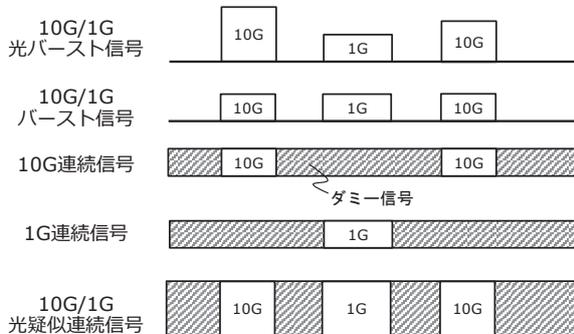


図4 10G/1G光疑似連続信号の生成

なお、10G-EPONではPON区間の伝送に誤り訂正技術を使用し、伝送エラーを受信側で訂正するが、本中継装置では誤り訂正処理を行わずに中継する。下りのPONトランク区間で発生した伝送エラーはそのまま中継され、PONリーフ区間で発生した伝送エラーと合わせて、宅側装置で誤り訂正される。同様に上りのPONリーフ区間で発生した伝送エラーもそのまま中継されて、PONトランク区間で発生した伝送エラーと合わせて局側装置で訂正される。

### 3. 諸特性

PON中継装置の特性として、PON特有の上りバースト信号の中継特性について報告する。

#### 3-1 上り光バースト信号の中継特性

上り10G光バースト信号をPONリーフ/I/F (宅側装置側) からトランク/I/F (局側装置側) に中継した際の波形を図5に示す。①の10G光バースト信号を受信して検出 (②の検出信号がLow)、無信号区間にダミー信号を挿入して③の光疑似連続信号に変換している。光疑似連続信号にある約250nsの無信号区間は中継遅延時間を観測する目的でバースト信号の終了時に評価用に挿入したもので、中継遅延は約270nsである。バースト信号の先頭では、①の先頭から580ns後に③の波形が変化している。これは信号パターンがダミー信号から中継データ信号に切り替わったため、遅延時間270nsを差し引いた310nsのバースト信号先頭がダミー信号に置換されている。標準で規定されるバースト信号先頭の同期時間 (10G: 1.2 $\mu$ s、1G: 800ns) よりも十分に短く、局側装置の受信で問題にならない。

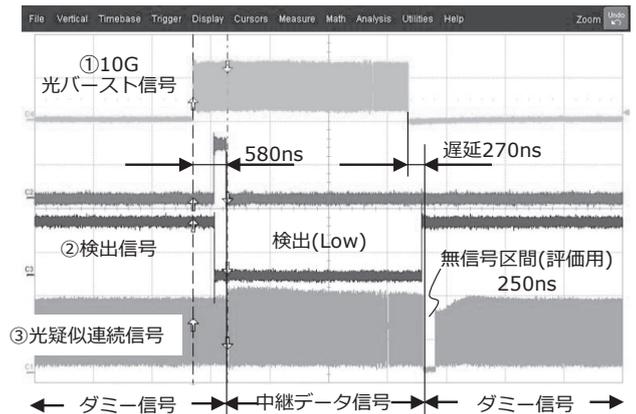


図5 上り10G光バースト信号の中継例

#### 3-2 中継装置上り10G/1G光バースト受信特性

中継装置のPONリーフ/I/Fに使用した局側装置用光トランシーバの主要諸元を表2、光バースト信号受信の受信感度特性を図6に示す。中継装置で上り10G/1G光バースト信号を正しく検出して受信できることを確認した。

表2 中継装置PONリーフ/I/F局側装置用光トランシーバ主要諸元

項目	仕様
10G送信出力	+2.0 ~ +5.0 dBm
10G受信感度 (BER=10 <sup>-3</sup> )	-28.0 ~ -6.0 dBm
1G受信感度 (BER=10 <sup>-12</sup> )	-29.78 ~ -9.38 dBm

図6では、①光トランシーバ単体の10G感度特性、②中継装置搭載時（誤り訂正あり）の10G感度特性、③中継装置搭載時の1G感度特性を示している。

①光トランシーバ単体10Gの受信レベル-30dBmでBER (Bit Error Ratio) =  $10^{-3}$ の誤り率が、②中継装置搭載時にはBER =  $10^{-12}$ まで誤り訂正され、それぞれ仕様の-28.0dBmを満足している。中継装置搭載時の伝送誤り率は宅側装置から局側装置への通信フレームの伝送数と廃棄数から算出している。PONリーフ区間の上りでのみ伝送エラーが発生するように可変光減衰器で光受信レベルを変えて測定した。中継装置には誤り訂正機能がなく、PONリーフ区間で発生した10G信号の伝送エラーは局側装置の受信処理で誤り訂正されている。

③中継装置搭載時1G感度特性に関しては、仕様のBER =  $10^{-12}$ の受信レベル-29.78dBmに対して、約4dBの十分なマージンを確保している。

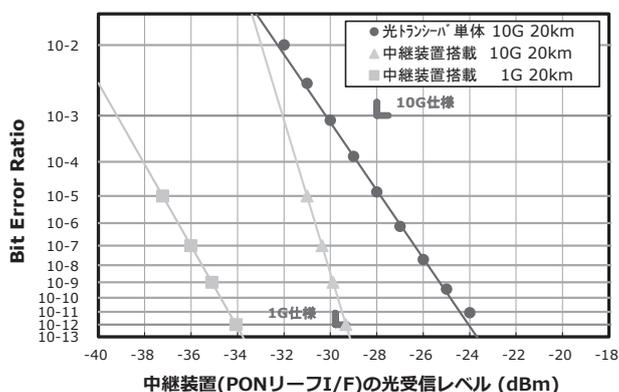


図6 中継装置PONリーフ/Fの受信感度特性

### 3-3 OLT上り10G/1G光疑似連続信号の受信特性

中継装置で変換された上り10G/1G光疑似連続信号が局側装置で正しく受信できることを確認した。PONトランク区間の送受信に使用したDWDM光トランシーバの主要諸元を表3に示す。主要諸元は中継装置用と局側装置用で共

表3 中継装置および局側装置PONトランク/F DWDM光トランシーバ主要諸元

項目	仕様
10G/1G送信出力	0 ~ +4 dBm
10G受信感度 (BER= $10^{-5}$ )	-26.5 ~ -7.0 dBm
1G受信感度 (BER= $10^{-12}$ )	-26.5 ~ -7.0 dBm (上りのみ)
波長	ITU-T G.694.1 DWDM 100GHzグリッド ch20~ch35 (1561.42~1549.32nm)

通である。10G信号の伝送では、PONリーフ区間とPONトランク区間で発生した伝送エラーがまとめて局側装置（上り）、または宅側装置（下り）で訂正処理される。PONリーフ区間の伝送誤り率はPON区間と同じBER =  $10^{-3}$ で規定し、PONトランク区間で使用するDWDM光トランシーバはその1/100のBER =  $10^{-5}$ で規定した。PONリーフ区間より十分に小さく規定することで、訂正処理においてPONトランク区間の伝送エラーは無視できる。

40km伝送時のファイバ損失10~14dBと使用したDWDM用合分波カプラの挿入損失（最大10.4dB、実力7dB）の最大24.4dBの損失に対して、DWDM光トランシーバの送信出力、受信感度を26.5dBのバジェット（送信出力と受信感度の差）で規定した。

図7に局側装置の10G/1G光疑似連続信号の受信感度特性を示す。光トランシーバ単体の10G感度特性（伝送距離①0kmと②40km）と局側装置搭載時の10G感度特性（伝送距離③40km）と1G感度特性（伝送距離④0kmと⑤40km）を示している。光トランシーバ単体の10G感度特性①②は表3の仕様を満足している。局側装置搭載時の10G感度特性③は②より誤り率が低く、光疑似連続信号が通常のバースト信号と同様に局側装置で正しく訂正処理されている。

局側装置搭載時の1G感度特性④⑤も、仕様のBER =  $10^{-12}$ の受信レベル-26.5dBmに対して十分な特性であり、40km伝送に必要なバジェットを確保できている。

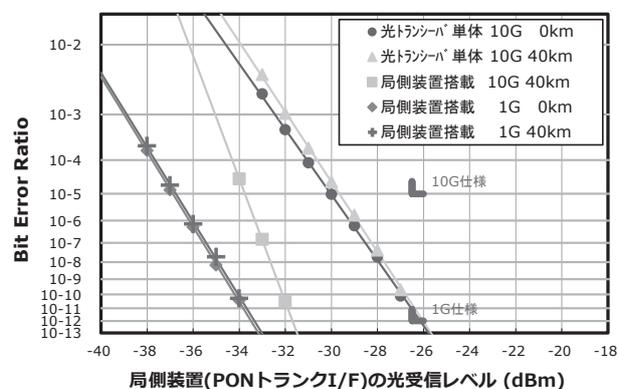


図7 局側装置PONトランク/Fの受信感度特性

## 4. 結 言

本稿では、10G-EPONシステムに対応した波長多重中継装置を紹介した。局側装置と宅側装置の通信距離の長延、収容数の増大、およびPONトランク区間のファイバ利用効率を高めるもので、アクセスネットワークの発展に貢献できるものと考えている。

## 用語集

### ※1 GE-PON、10G-EPON

1Gbit/sの伝送容量を持つGigabit-Ethernet PONと10Gbit/sの伝送容量を持つ10Gigabit-Ethernet PON。IEEE802.3で規定されるPONシステム。

### ※2 波長分割多重 (WDM)

Wavelength Division Multiplexing : 1本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を多重させる伝送技術。光合分波カプラで光信号を合波/分波する。

### ※3 下り/上り光信号

局側装置から宅側装置への方向を下り、宅側装置から局側装置への方向を上りと呼ぶ。

### ※4 バースト信号

複数の宅側装置からの上り信号が衝突しないように時分割で間欠的 (バースト) に伝送される信号。

### ※5 CDR (Clock and Data Recovery) 回路

データ信号からクロック信号を抽出すると同時に、抽出したクロック信号でデータ信号を再生する回路。伝送によるタイミングの揺らぎが除去される。

・ Ethernet は Xerox Corporation の登録商標です。

## 参考文献

- (1) IEEE Std. 802.3-2012
- (2) 梅田 他、「GE-PON中継装置の開発」、SEIテクニカルレビュー第169号 (2006)
- (3) 甲斐 他、「高速大容量スイッチを備えた10G-EPONシステム」、SEIテクニカルレビュー第189号 (2016)

## 執筆者

梅田 大助\* : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センターグループ長



田中 成斗 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主査



吉村 明展 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主査



木崎 直也 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主査



後藤 慎也 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主席



船田 知之 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター 主幹



\*主執筆者