

# 10G-EPON用小型光トランシーバの開発

船田知之\*・湯田秀逸・岩田章人  
田中成斗・曾根秀己・梅田大助  
川西康之・田中悠也

Development of 10G-EPON Small Transceiver — by Tomoyuki Funada, Shuitsu Yuda, Akihito Iwata, Naruto Tanaka, Hidemi Sone, Daisuke Umeda, Yasuyuki Kawanishi and Yuuya Tanaka — As the amount of Internet traffic increases every year, expectation is growing for 10 Gigabit Ethernet passive optical network (10G-EPON) technology that enables high-speed data transmission. For a smooth replacement of the currently-used GE-PON, 10G-EPON needs to support a maximum channel insertion loss of 29 dB and to coexist with GE-PON in the same optical network. In addition, reduction in capital and operating expenditures is required. To meet these demands, optical transceivers can be a key component. The authors have developed small pluggable optical transceivers for 10G-EPON systems and confirmed their efficiency and power-saving operation.

Keywords: FTTH, 10G-EPON, optical transceiver, OLT, ONU

## 1. 緒言

国内のブロードバンドサービス契約者数は2011年12月末の時点で3770万件となり、現在も増加が続いている。中でも光ファイバを利用したFiber To The Home (FTTH) サービスは2189万件とブロードバンドサービス全体の58%を占めるまでに成長し、今後も契約者数が増加していくと予想されている(図1)<sup>(1)</sup>。国内のFTTHサービスで主に使用されているのはIEEE 802.3で2004年6月に標準化されたGigabit Ethernet Passive Optical Network (GE-PON)である。しかしながら、FTTHを利用した映像配信サービスの提供、スマートフォンの普及によるオフロードトラフィックの増加、クラウドコンピューティングの進展によって、1Gb/sであるGE-PONの帯域不足が懸念されており、10倍の高速大容量が実現可能な10G-EPON (10Gigabit Ethernet Passive Optical

Network)への期待が高まっている。

IEEE 802.3で2006年3月から標準化が始まった10G-EPONは2009年9月に標準化が完了し、各研究機関で積極的に開発が行われてきた結果、商用レベルの完成度に到達してきている。

当社は、10G-EPONシステムを支える重要部品である光トランシーバの小型化と省電力化を進めてきた。本稿では、筆者らが開発した局側装置(OLT)用・宅側装置(ONU)用の小型・プラグブル光トランシーバについて報告する。

## 2. 10G-EPONシステム

**2-1 要求条件** 国内ではGE-PONシステムを使用したFTTHサービスが大規模に展開されている。光アクセス網の構築には多大な投資が必要なため、10G-EPONシステムは、敷設済みの光アクセス網を利用できるように、既存の光アクセス網の最大線路損失29dBをサポートすることが要求されている。また、GE-PONから10G-EPONへのスムーズな移行を実現するため、GE-PONと10G-EPONが同一光アクセス網で共存可能になることも要求されている(図2)。

**2-2 標準化** IEEE 802.3av<sup>(2)</sup>では上記10G-EPONへの要求条件を考慮に入れ標準化作業が行われ、非対称用にPRX30、対称用にPR30というハイパワーバジェットクラスが定義された。表1にその仕様概略を示す。光送信部の高出力化、光受信部の高感度化、電気デジタル受信回路部の誤り訂正符号(FEC)の3つの要素技術により、最大線路損失条件29dBを実現している。非対称の

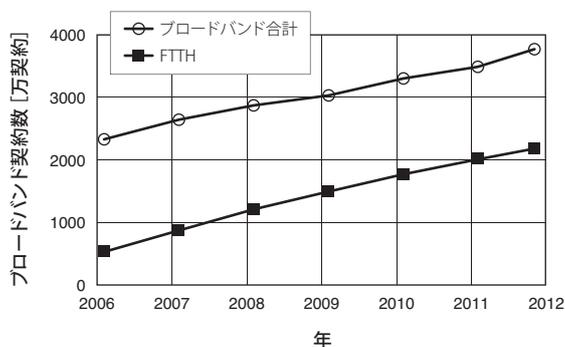


図1 ブロードバンド契約者数

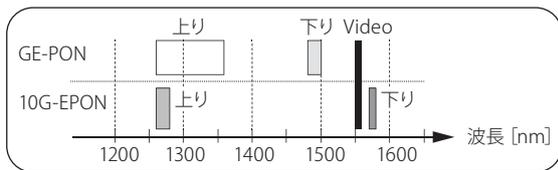


図2 10G-EPONシステム構成と波長配置

表1 10G-EPON標準

パラメータ	下り	上り		Unit	
	PR30/PRX30	PR30	PRX30		
ラインレート	10.3125	10.3125	1.25	GBd	
波長	1575~1580	1260~1280	1260~1360	nm	
最大距離	≥ 20	≥ 20	≥ 20	km	
最大線路挿入損失	29	29	29	dB	
Tx	平均光出力パワー	2~5*	4~9**	0.62~5.62**	dBm
	消光比	≥ 6	≥ 6	≥ 6	dB
	TDP	≤ 1.5	≤ 3.0	≤ 1.4	dB
Rx	ビット誤り率	≤ 10 <sup>-3</sup>	≤ 10 <sup>-3</sup>	≤ 10 <sup>-12</sup>	—
	平均光受信パワー	-10~-28.5	-6~-28	-9.38~-29.78	dBm

\* 消光比9dB \*\* 消光比6dB

PRX30の上り(1Gb/s)に関しては、29dBの線路損失を満たす国内のGE-PONシステムの仕様が反映された。また、GE-PONとの共存を実現可能とするよう図2に示す波長配置が決められた。

一方、IEEE 802.3での標準化は伝送仕様(PHY層\*1とMAC層\*2)が対象であり、より上位のシステムレベルでの標準化は対象外であったため、通信事業者やベンダ間での相互接続に問題が生じることがあった。そこで、システムレベルでの相互接続性の実現を目的としてIEEE P1904.1 WGが形成され、2012年12月に標準化完了を目指して標準化が行われている(3)。この規格はSIEPON(Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks)と呼ばれている。近年の省電力化に対する社会的意識の高まりから、PONシステムで多くの消費電力を

占めるONUの省電力機能の実現についてもSIEPONで議論されている(4)。

また、線路損失を29dBから増やしたPMD層を標準化する検討が2011年の7月よりIEEE 802.3のExtended EPONと呼ばれるStudy Groupで行われ、2012年3月にIEEE 802.3bkとしてTask Forceとなることが決まった。これは、システムの導入コスト低減の観点から、1つの局側設備でより多くの加入者を収容するための多分岐化・長延化に対する要望に応じたものである。

### 3. 10G-EPON用光トランシーバ

図3に当社における10G-EPON用光トランシーバの変遷を示す。当初、10G光送信部、1G光送信部、10G/1G光受信部は個別の光部品を組み合わせていたため大きなサイズであった。その後、光部品の複合化を進め、駆動ICや受信ICの集積化と省電力化も進展した結果、小型化が可能となった。また、最近ではシステム稼働後に増設や交換が可能な活線挿抜対応(ホットプラグ)に対する要求が強いこともあり、今回、OLT用はXFP(10Gbit/s Small Form Factor Pluggable)(5)、ONU用光はSFP+(Small Form Factor Pluggable Plus)(6)と呼ばれる業界標準サイズの光トランシーバの開発を行った。

		2009年	2010年	今回
OLT	外観			
	サイズ(cc)光コネクタ機能	52 ピグテール	34 ピグテール	13 レセプタクル プラグプル
ONU	外観			
	サイズ(cc)光コネクタ機能	36 ピグテール	25 レセプタクル 省電力機能	7 レセプタクル 省電力機能

図3 10G-EPON用光トランシーバの小型化

3-1 OLT用光トランシーバの構成と特性 10G-EPONはGE-PONからスムーズに移行できるよう、局舎側に設置されるOLTはGE-PONの下り信号である1490nm帯の1Gb/s信号光と、1577nm帯の10Gb/s下り信号光を合わせて送信する必要がある。

また、加入者側に設置されるONUからの上り信号光は、G-EPON ONUからの1310nm帯の1Gb/s信号光と10G-

EPON ONUからの1270nm帯の10Gb/s信号光があるため、10G-EPON OLTの受信器では1Gb/sと10Gb/sの信号光を受信できる受信器が必要となる。今回開発したOLT用光トランシーバの概略ブロック構成とトライポートの一心双方向デバイス(Bi-D: Bi-Directional optical module)を図4に示す。

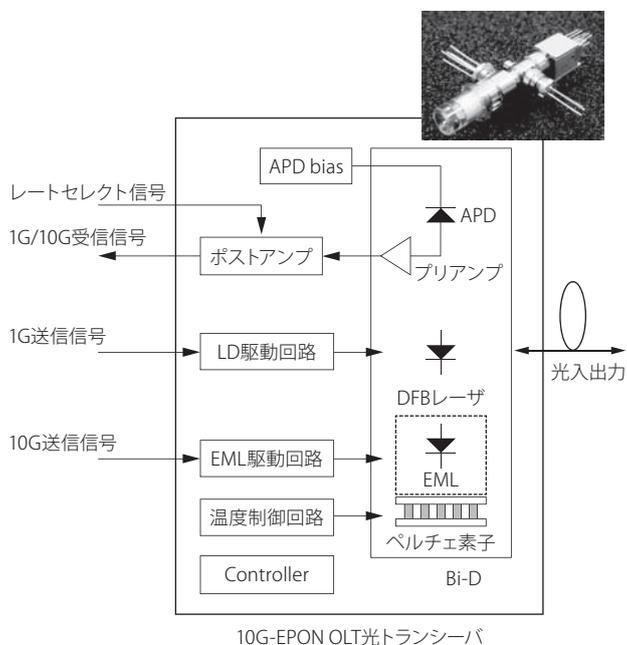


図4 OLT用光トランシーバのブロック構成

(1) 送信部

10G送信部には1577nmで発振する単一モードのDFBレーザと電界吸収型光変調器を1チップに集積化した変調器集積型レーザ(EML)を温度制御して使用し、EML駆動ICで変調している。省電力化のため、EMLの駆動方式は低電圧動作を実現できるAC駆動型を採用した。1G送信部には1490nm帯で発振する単一モードのDFBレーザを温度制御素子なしで使用して、LD駆動ICで変調している。

10G送信部から出た下り1577nm帯の光と1G送信部から出た下り1490nm帯の光は合波された後、上り信号との

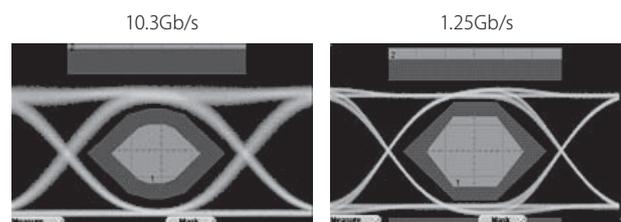


図5 光出力波形

分波器を経て送信される。図5に光出力波形を示す。ここでは、10G光出力は全温度範囲で光出力+4dBm・消光比10dBに、1G光出力は+5dBm・消光比11dBに設定している。

(2) 受信部

光受信信号は下り信号との分波器を経て、アバランシェ・フォトダイオード(APD)で光電変換され、同じキャンパッケージ内のプリアンプで増幅される。このプリアンプは1Gb/sと10Gb/sのバースト信号光を受信できるデュアルレートバースト受信ICで、1Gと10Gで受信帯域を切り替える機能を有している。図6と図7にバースト信号の受信例を示す。

この測定では、1310nm帯の1Gダミー光を最大入力規格である-6dBmの強度で入力した直後に、ガードタイムな

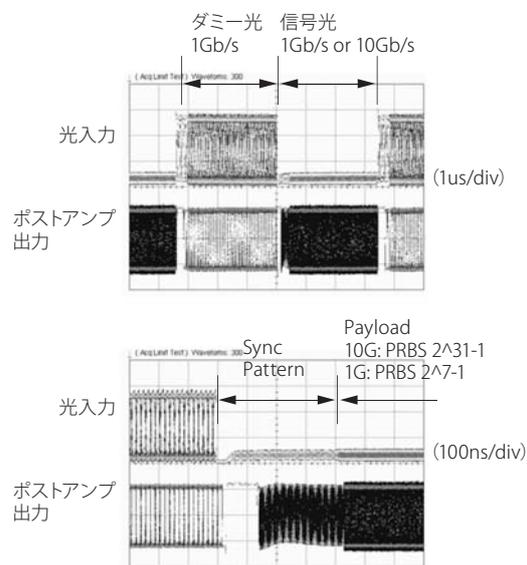


図6 バースト受信信号

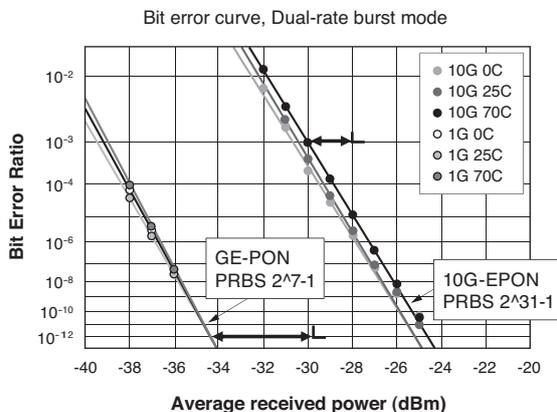


図7 バースト受信特性

しで1Gまたは10Gで変調された1270nm帯の信号光を入力している。測定系の都合上、1Gのダミー光と1Gの信号光には10.3Gb/sを8分周した1.29Gb/sの変調信号を用いた。また、Payload 3usの前には400nsのSync patternを配置した。この条件で、10Gの信号光に対するバーストモードでの最小受信感度は約-30dBm、1Gの信号光に対する最小受信感度は約-34dBmと、規格に対して十分余裕を持った値が得られている。

**3-2 ONU用光トランシーバの構成と特性** 図8に今回開発した10G対称ONU用光トランシーバの概略ブロック構成を示す。光受信信号は、1550nm帯のビデオ信号や1490nm帯の1G下り信号をフィルタリングして1577nm帯の10G下り連続信号のみ通過された後、10G上り光信号と分波され、APD受信器で光電変換されてプリアンプとポストアンプで増幅される。

(1) 送信部

送信部には1270nmで発振する単一モードのDFBレーザが使用されている。各ONUからの送信データが衝突しないように送信タイミングを制御する時分割多重アクセス方式を実現するため、バーストON/OFF制御機能を持ったLD駆動ICでDFBレーザを直接変調している。

10Gb/sの直接変調では、所望の消光比を維持しつつ高速変調を実現するため、温度変化に対してレーザバイアス

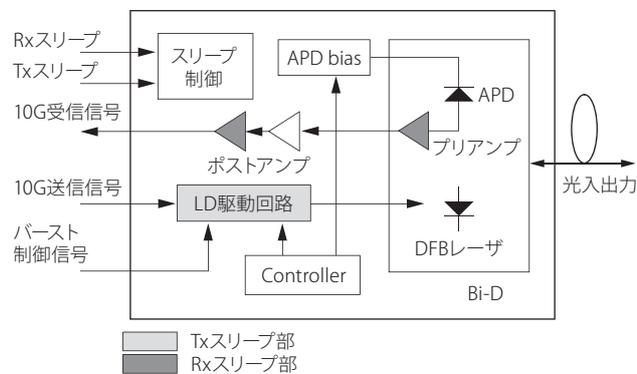


図8 ONU用光トランシーバのブロック構成

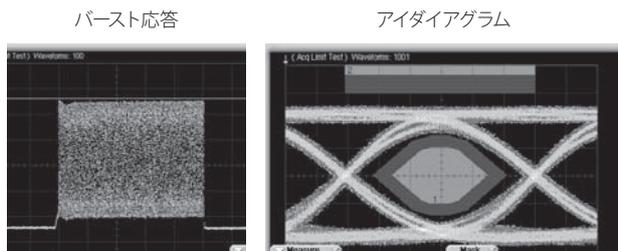


図9 バースト光出力波形 (Tc 35deg.C)

電流 (Ib) とレーザ変調電流 (Imod) を精度よく制御する必要がある。レーザ電流を制御する方式には、一般的には、環境温度をモニタしてIbとImodをあらかじめメモリされた値に設定する温度フィードフォワード方式と、バースト送信中の光出力パワーをモニタして、モニタ値が所定の値になるようにIbとImodを制御するフィードバックAPC方式がある。今回の光トランシーバではその両者を組み合わせ、レーザの経年劣化に対応し、なおかつ高速のバースト応答を実現した。

またバースト送信開始時においては、バースト送信オン時の過渡発光を防ぐため、レーザの発振遅延を考慮して、変調開始前にバイアス電流のみを与える期間を設けている。

図10に光送信器の光出力波形のバースト応答波形を示す。バースト送信のオンタイムは65ns、オフタイムは8nsを実現している。また光出力パワーは+7dBm、消光比7.5dBで、全温度で30%以上のアイマスクマージンを得ている。

(2) 省電力機能

ONUの省電力化のため、通信トラフィックが少ない場合にONUのPON送信・受信部を一時的に停止(スリープ)させるプロトコルがSIEPONで規定されている。ONUのスリープモードには送信部のみを停止させるTxスリープモードと送受信共に停止させるTRxスリープモードがあり、これを実現するための機能を光トランシーバに組み込んでいる。

図10にスリープ応答波形を、表2にその時の消費電力とスリープ応答時間の評価結果を示す。光トランシーバの消費電力は、Txスリープにより約4割に低減、TRxスリープにより約2~3割に低減する結果を得ている。

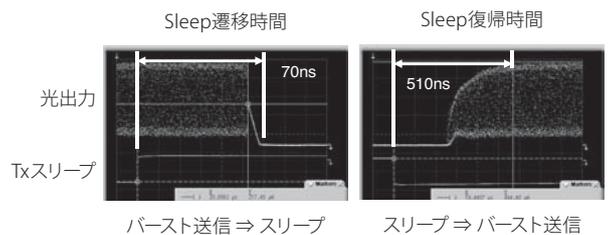


図10 ONU用光トランシーバのスリープ応答

表2 スリープ時の消費電力

	通常時 (連続送信)	通常時 (送信無し)	Txスリープ 時	TRxスリープ 時
消費電力 (Tc 35C)	1.1W	0.9W	0.5W	0.3W
消費電力 (Tc 70C)	1.3W	1.0W	0.5W	0.3W

### (3) 受信特性

今回開発した ONU 用光トランシーバを ONU に組み込み、受信信号のリタイミング機能と誤り訂正復号機能を有する通信 LSI と組み合わせて受信特性を評価した結果を図 11 に示す。この測定では、通信トラフィックにはパイロード部にランダムパターンを挿入したスループット 900Mbit/s のイーサネットフレームを用い、フレームエラー率からビットエラー率を換算している。光トランシーバ内にリタイミング機能を持たない 2R 構成で、良好な受信特性を確認した。

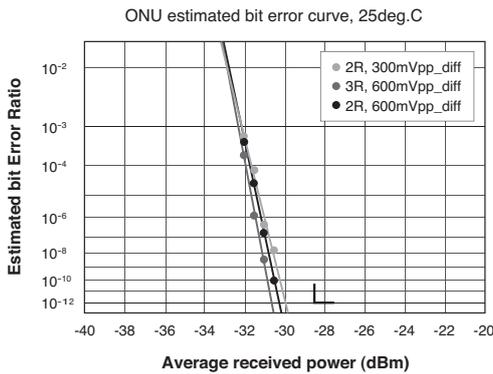


図 11 ONU の受信特性 (With 誤り訂正符号)

・ Ethernet\イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標です。

### 参考文献

- (1) 総務省報道資料、「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表」(平成 23 年度第 3 四半期 (12 月末))
- (2) IEEE 802.3av, <http://www.ieee802.org/3/av/>
- (3) IEEE 1904.1, <http://www.ieee1904.org/1/>
- (4) 大道 他、「10G-EPON 用通信 LSI の開発」、SEI テクニカルレビュー 第 180 号、pp.43-48 (2012)
- (5) SFF Committee, "INF-8077i 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module", Revision 4.5, August (2005)
- (6) SFF Committee, "SFF-8431 Specifications for Enhanced Small Form Factor Pluggable Module SFP+", Revision 4.1, July (2009)

### 執筆者

船田 知之\*: 情報通信研究所 光伝送システム研究部  
グループ長  
光送受信モジュールの開発に従事



湯田 秀逸 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部  
岩田 章人 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部  
田中 成斗 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部  
曾根 秀己 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部 主席  
梅田 大助 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部 主席  
川西 康之 : 情報通信研究所 光伝送システム研究部 主席  
田中 悠也 : 住友電工ネットワークス(株) 第一技術本部 FTTH 機器部

\*主執筆者

## 4. 結 言

10G-EPON システムに使用する小型・プラグブル光トランシーバを開発した。OLT 用は XFP 形態、ONU 用は SFP 形態を採用し、上り下り共に IEEE 802.3av の 10G 対称規格である PR30 を満足する良好な特性を確認した。特に ONU 用光トランシーバについては、スリープ機能を実装することで大幅な省電力化を実現できることを実証した。

### 用語集

#### ※1 PHY 層

Physical 層: 通信機能の階層構造を規定する OSI 参照モデルの最下層 (第 1 層) を示し、物理的な仕様や伝送路符号化などの仕様が定義されている。

#### ※2 MAC 層

Media Access Control 層: OSI 参照モデルの第 2 層 (データリンク層) の副層を示し、フレームのフォーマットやフレームの送受信処理などが定義されている。