

10G-EPON光デバイス技術

中川潤一* 白井 聡**
小崎成治**
金子進一***

Optical Transceiver and Device Technology for 10G-EPON Systems

Junichi Nakagawa, Seiji Kozaki, Shinichi Kaneko, Satoshi Shirai

要 旨

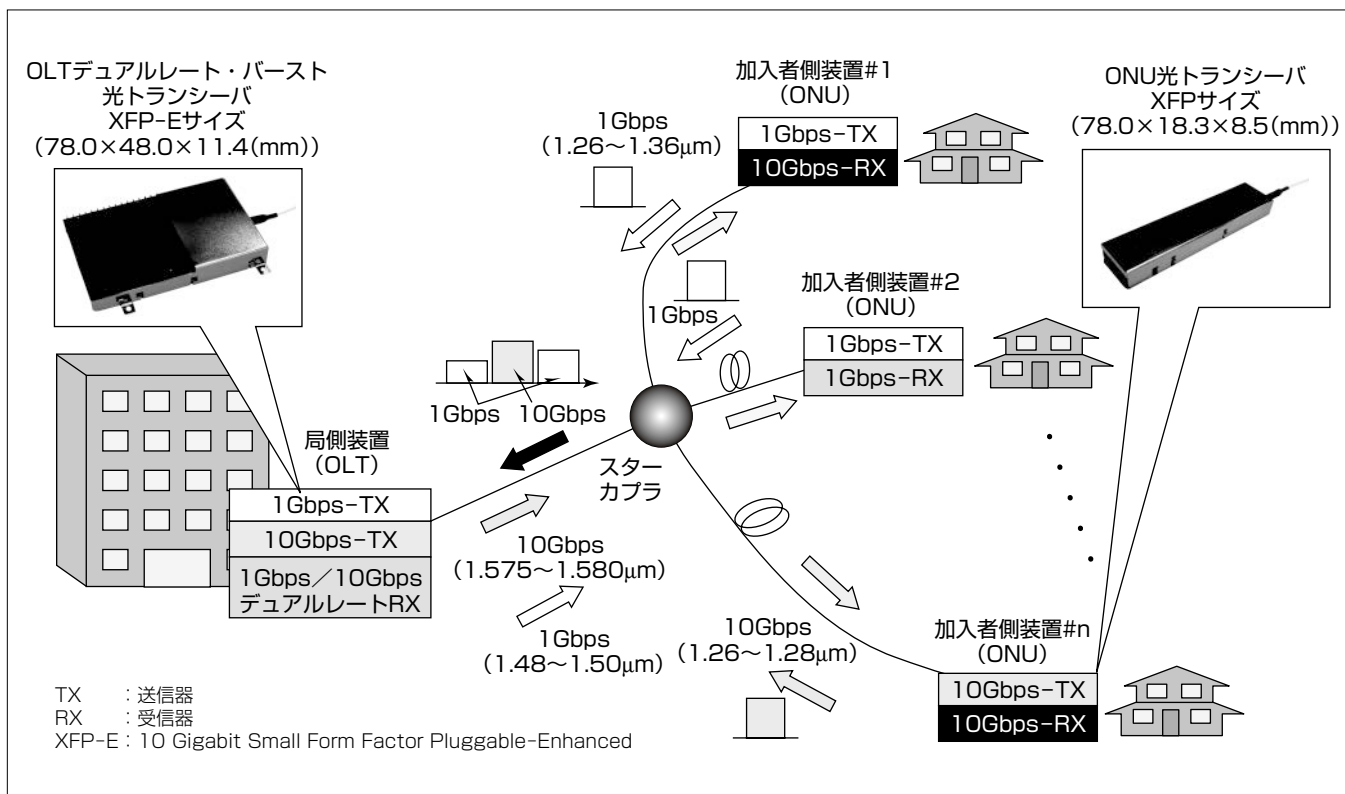
インターネットトラフィックの増加を受けて、次世代光アクセスシステムである10G-EPON(10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムへの期待が高まっている。10G-EPONでは、現在広く普及しているGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムからのスムーズなマイグレーションを実現するために、同一のファイバ網での10G-EPONとGE-PONとの混在収容が要求される。このような混在収容を実現するキー技術として10.3Gbpsと1.25Gbpsの各伝送速度の信号を送受信可能なデュアルレート・バースト光トランシーバと光デバイスの開発を行った。

局側装置(Optical Line Terminal: OLT)に適用する光トランシーバは、AGC/ATC(Automatic Gain Control/Automatic Threshold Control)応答時定数を伝送速度ごとに最適化する機能を持ったデュアルレート・バースト受信部、高出力EML^(注1)(Electro-absorption Modulator

integrated Laser diode)及びDFB-LD^(注2)(Distributed Feedback Laser Diode)を適用した10Gbps及び1Gbps各送信部から構成され、10Gbps及び1Gbps上り信号に対して最小受信感度-30.6dBm及び-34.6dBm以下、10Gbps及び1Gbps下り信号に対して送信パワー+2.6dBm及び+5.3dBm以上などのIEEE802.3av PR30規格値を十分に満足する良好な特性を実現した。一方、加入者側装置(Optical Network Unit: ONU)に適用する光トランシーバには、高出力DFB-LDのバースト発光時に必要不可欠な発光タイミングを制御するIC(Integrated Circuit)を適用することで、バーストON/OFF時間として10ns以下(IEEE規格値512ns)の良好な特性を実現した。今後、10G-EPONシステムの商用化が期待される。

(注1) 電界印加によって光を吸収する光変調器を集積化した半導体レーザ

(注2) デバイス内部に回折格子を有し、単一波長で発振する半導体レーザ



10G-EPONシステム

10G-EPONシステムは、局側装置のOLTと複数の加入者側装置のONU間をスターカプラを用いて光ファイバで接続する構成である。OLTからONUへの下り信号は波長1.490μmの1G信号と1.577μmの10G信号を波長多重によって通信を行う。各ONUからOLTへの上り信号は波長1.26~1.36μmを用いて各ONUの信号が衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重によって通信を行う。

1. ま え が き

近年のインターネットトラフィックの増大によって、高速大容量なアクセスシステムであるFTTH(Fiber To The Home)が急速に普及している。特に、日本におけるFTTH加入者数は、2010年9月には1,912万を突破し、ブロードバンド加入者数全体の56.2%のシェアを占める⁽¹⁾。

今後、さらなる高精細動画配信サービスやピアトゥピアサービスの発展が見込まれるため、現在のGE-PONシステムの伝送速度を10倍とした10G-EPONシステムへの期待が高まっており、2009年9月にIEEE802.3av⁽²⁾にて標準化が完了した。

本稿では、10G-EPONの基盤技術である10G-EPON光トランシーバ技術と光デバイス技術について述べる。

2. 10G-EPONシステム

10G-EPONは、現在広く普及しているGE-PONからのスムーズなマイグレーションを実現するために、図1に示すように、GE-PONと同一ファイバ網上での収容が求められる。1台の局側装置(OLT)と複数の加入者側装置(ONU)が光スターカプラを介して接続される構成であり、1.25Gbpsと10.3Gbpsの下り信号は1.490 μ m帯と1.577 μ m帯の波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)によって多重化される。一方、1Gbpsと10Gbpsの上り信号は、同一波長帯で各ONUからのデータが衝突しないように1Gbpsと10Gbpsの上りパケット信号の送出タイミングを制御する時分割多重通信方式を用いている。

三菱電機では、2005年から10G-EPONとGE-PONシステムが混在したネットワークを実現するために必要不可欠な光トランシーバ技術と光デバイス技術の開発に取り組み、IEEE802.3av規格を満足する良好な特性を持つ世界最高性能^(注3)の光トランシーバ、光デバイスの開発に成功した。本稿では、これらの光トランシーバ技術、光デバイス技術について述べる。

(注3) 2010年3月25日現在、当社調べ

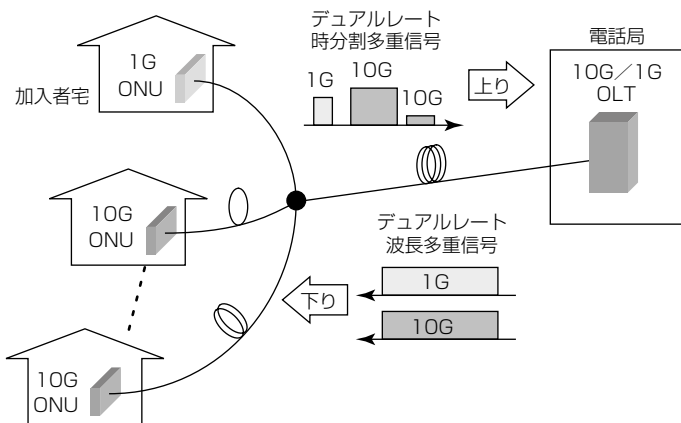


図1. デュアルレート10G-EPONシステム

3. OLTバースト光トランシーバ技術

10GのONU、1GのONUは光スターカプラから異なる距離に位置することから、OLTにおける各ONUの受光レベル、位相状態は受信パケットごとに異なる。したがって、OLTの受信回路は異なる伝送速度、受光レベル、位相状態のパケット信号を安定、かつ高速に再生するデュアルレート・バースト光送受信技術、サンプリングCDR(Clock and Data Recovery)技術の開発が不可欠である。

3.1 デュアルレート・バースト光トランシーバ

図2と図3に、今回開発を行った、デュアルレートOLT光トランシーバの構成と外観を示す。光トランシーバは、DFB-LD、EML、APD(Avalanche Photo Diode)・プリアンプICを一体化したトリプレクサ光モジュール、1Gbps送信部、10Gbps送信部、及びデュアルレート・バースト受信部から構成される。受信部に適用したプリアンプIC及びリミッティングアンプICは、10Gbpsと1Gbpsの伝送速度に最適な受信感度を実現するために、利得、応答時定数、及び雑音等化帯域を制御信号によって切り替える機能を備えている⁽³⁾⁽⁴⁾。また、光トランシーバは部品構成及び配置の最適化を行うことで78.0×48.0×11.4(mm)のXFP-Eサイズの小型化を実現した。

表1に、開発を行ったデュアルレート・バースト光トランシーバの主要諸元を示す。全温度・電源電圧条件下で、IEEE802.3av規格を満足する良好な特性が得られた。

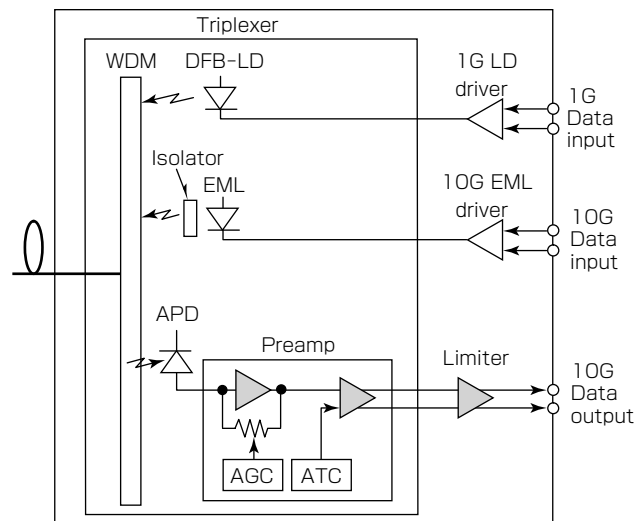


図2. デュアルレートOLT光トランシーバの構成



図3. デュアルレートOLT光トランシーバの外観

3.2 82.5GS/sサンプリングCDR

バースト信号のビット位相を識別するバーストCDRには、次の相反する特性を同時に満足する方式・アルゴリズムが求められる。

①同期引き込み：短いほど良い

②誤同期確率・同期見逃し確率：低いほど良い

②の特性はCDRの要件として扱われていない場合もあるが、当社ではキャリアネットワークへの適用を考慮し、設計段階から要求条件の主要項目としている。さらに、IEEE802.3avに規定される10G-EPONでは、送信器の出力と受信器の感度の差であるパワーバジェットを確保するため、ストリームFEC(Forward Error Correction：前方誤り訂正)機能を物理レイヤに備えることが不可欠要件となっている。このFEC機能の前段に位置するバーストCDRが受信する信号の品質はビット誤り率として0.1%であり、1G-EPONの 1×10^{-10} %と比較して非常にノイズの多い信号となっている。

IEEE802.3avでは、上記信号品質を考慮したジッタ仕様が規定されており、この規定に基づく位相ノイズを伴った信号を入力データとして、バーストCDRの位相判定ロジックを設計する必要がある。図4に上記規格に基づくCDR入力データについて示す(実際のデータ波形は図の(a)(b)両成分を合わせたものとなる)。

バーストCDRの設計にあたっては、この他にも同符号連続、位相追従速度(周期ジッタ)、最大バースト長等の条件があり、これらの条件を満足するようパラメータの設計を行った。当社では上記に示した厳しい条件下に適用できるようにするため、多相クロックを用いた高速サンプリングデータから最適位相を判定し、該当するサンプリングデータを選択して識別信号として出力する構成を採用している。図5にサンプリングCDRの全体構成を示す。

表1. 主要諸元

10.3Gbps	IEEE802.3av	評価結果
送信波長(μm)	1.575~1.580	1.5785
送信パワー(dBm)	+2.0±5.0	+2.6±3.0
消光比(dB)	>9.0	9.2
最小受信感度(dBm)	-28	<-30.6
1.25Gbps	IEEE802.3av	評価結果
送信波長(μm)	1.480~1.500	1.488~1.495
送信パワー(dBm)	+2.0±7.0	+5.3±5.4
消光比(dB)	>6.0	>14.3
最小受信感度(dBm)	-29.7	<-34.6

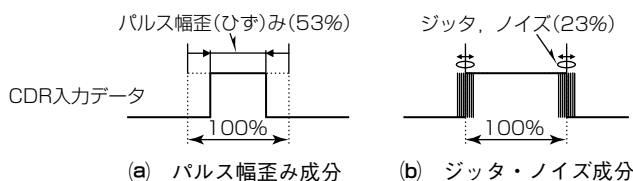


図4. バーストCDRの入力データ

高速サンプリングは、10.3GHzの1/8位相ずれクロックで入力バースト信号を82.5GS/sで高速サンプリングするサンプリングICを新規に開発することで実現した⁽⁵⁾。一方、最適位相選択を行う位相選択ロジックは図5における最適位相データ選択部に実装され、サンプリングデータから検出したエッジ情報に基づき、多数決判定論理によって高速かつ確実な位相選択回路を実現した。

4. ONU光トランシーバ技術

図6、図7に今回開発した10G-EPON ONU光トランシーバの構成と写真を示す⁽⁶⁾。XFPと同サイズの78.0×18.3×8.5(mm)の小型化を実現した。また、送受信器全体の消費電力は3.3V系、5.0V系で2.8W以下である。

ONU光トランシーバに要求される高速なバースト立ち上がり／立下り特性は、上りデータの伝送効率を向上させるための重要な特性である。今回、CDR機能も具備したLD発光タイミング制御ICを適用することで、立ち上がり時間10ns以下、立下り時間5ns以下の良好なバースト応答特性を実現した。

表2に、開発を行ったONU光トランシーバの主要諸元

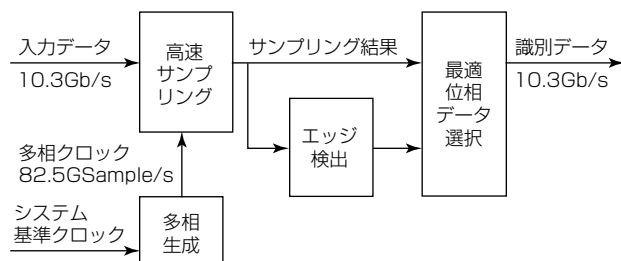


図5. 10.3G 多相サンプリングCDRの構成

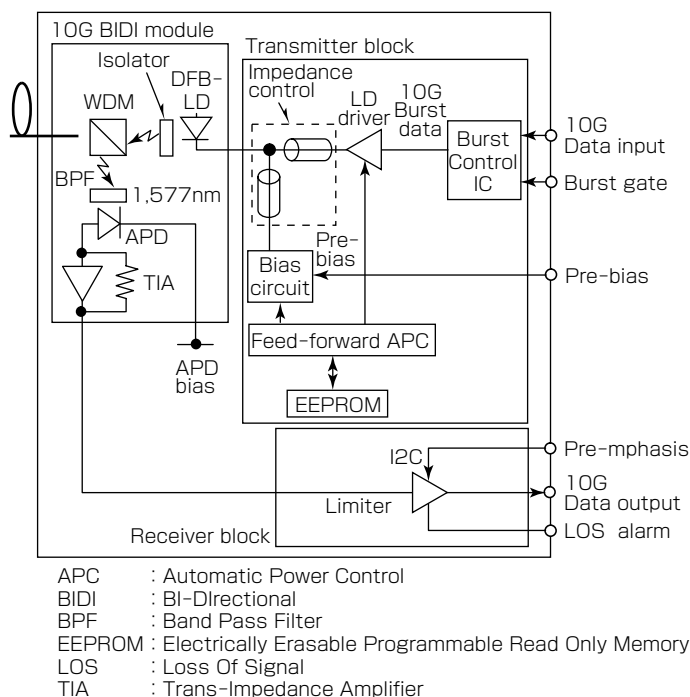


図6. 10G-EPON ONU光トランシーバの構成



図 7. 10G-EPON ONU光トランシーバの外観

表 2. 主要諸元

	IEEE802.3av	評価結果
送信波長 (μm)	1.260~1.280	1.265~1.273
送信パワー (dBm)	+4.0±9.0	+7.0
消光比 (dB)	>6.0	7.0
Ton/Toff (ns)	<512	<10
最小受信感度 (dBm)	<-28.5	-32.4

を示す。全温度・電源電圧条件下でも、すべての項目でIEEE802.3av規格を満足する良好な特性が得られた。

5. 10G-EPON光デバイス技術

5.1 OLT用光モジュール及び光デバイス

図8にOLT用光モジュールの構造を示す。OLT用光モジュールは、10Gbpsの信号光源である波長1.577μm帯のEML、1 Gbpsの信号光源である波長1.490μm帯のDFB-LD、及び10Gbpsと1 Gbpsのバースト信号を受信できるデュアルレートバーストプリアンプICとAPDからなる受信部を持っている。送信光源と光ファイバとの結合光学系に3枚レンズ系を採用することで高結合効率と調芯容易性を両立し、なおかつ小型化も実現した。

EMLは、温度制御のための小型TEC (Thermo Electric Cooler) に搭載され、新規開発の小型パッケージに実装されている。小型パッケージを使用することで低コスト化を図った。CANのガラス貫通部とEML間の多重反射を抑える構造によって電気信号の歪みを抑え、良好な10Gbpsの光波形を実現した。また、10G-EPON用EMLは45℃で動作させ、高温時に周囲温度との差を小さくすることでTEC消費電力を低減した。45℃動作でも高出力・高消光比で、変調時の波長変化が小さい特性を実現するために変調器のデバイス構造を最適化した。受信部のAPDは内部に反射層を有し、光吸収層で吸収されずに透過した光を反射層で反射し、再び光吸収層で吸収させることによって1.26~1.36μmの広い受信波長帯で高い受信感度を実現した。

5.2 ONU用光モジュール及び光デバイス

図9にONU用光モジュールの構造を示す。ONU用光モジュールは、10Gbpsの信号光源である波長1.27μm帯のDFB-LDと、10Gbpsの信号を高感度に受信できるプリアンプICとAPDからなる受信部を有している。送信光源・受信部ともに光ファイバとの結合光学系は、低コスト化のために1枚レンズ系を採用した。

ONU用DFB-LDは、温度制御なしに広い温度範囲で

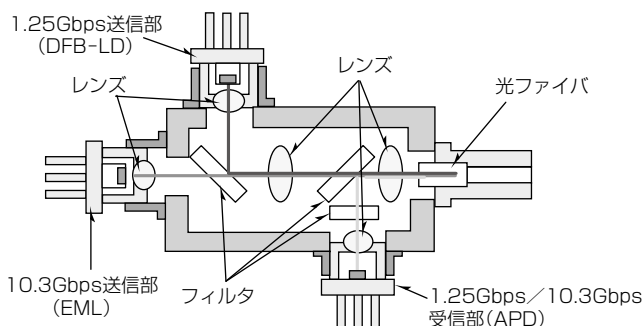


図 8. OLT用光モジュールの構造

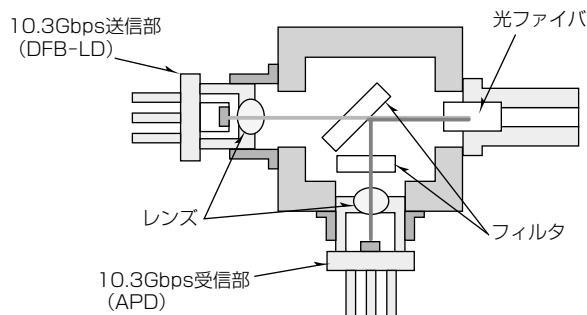


図 9. ONU用光モジュールの構造

10Gbpsの高速動作が必要となる。このためDFB-LDの材料には、良好な温度特性が得られ、なおかつ入力電気信号に対するLDの光応答特性を決めている緩和振動周波数が高い、AlGaInAs系材料を用いている。これによって0~75℃の温度範囲で良好な10Gbpsの光波形が得られている。ONU用APDは、光吸収層の厚膜化によってAPDの容量を低減し、10Gbpsの光信号を受信するために必要な帯域を確保しつつ、受光径を40μmに拡大した。これによって受信部のレンズには低コストな球レンズが使用可能となった。

6. む す び

今回、10G-EPONシステムのキー技術として、デュアルレート・バースト光トランシーバ、光デバイスの開発を行い、IEEE802.3av PR30規格を十分に満足する良好な特性を、世界で初めて実現した。今後、10G-EPONシステムへの搭載、商用化が期待される。

参 考 文 献

- (1) 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin01.html>
- (2) IEEE Std 802.3-2008.
- (3) Noda, M., et al.: ECOC2010, Mo.2.B.2.
- (4) Nakagawa, J., et al.: IEEE Photon. Technol. Lett., **22**, No.24 (2010)
- (5) Suzuki, N., et al.: Electron. Lett., **45**, 1261 (2009)
- (6) Igawa, E., et al.: OFC/NFOEC2009, NMC1.