

10G-EPON OLT 用デュアルレート光トランシーバ

光電子回路開発センター 菊池 修¹・柘田 祥英²・久保 達夫²・田中 貴之³・岡部 進⁴

Optical Transceiver for 10G-EPON Dual-Rate OLT

O. Kikuchi, Y. Masuta, T. Kubo, T. Tanaka, and S. Okabe

次世代光アクセスシステムとして、10Gbit/s という高速な通信を各加入者宅まで提供可能な、10 Gbit/s Ethernet Passive Optical Network (10G-EPON) システムの開発が活発である。すでに 1 Gbit/s の EPON (1G-EPON) が普及している日本のような市場においては、OLT に 1G, 10G 両方の伝送レートでパースト信号受信機能が必要とされる。当社では、1G, 10G 光受信機能に加え、1G の光送信機能と 10G の光送信機能を一体化した光トランシーバを開発し、良好な特性を得た。

The 10Gbit/s Ethernet Passive Optical Network (10G-EPON) system is actively being developed in order to satisfy the future bandwidth demand of broadband subscribers. In a market like Japan where current 1Gbit/s EPON (1G-EPON) has been widely deployed, 10G-EPON OLTs equipped with 1G and 10G dual-rate burst mode optical receiver are preferred. We have developed a burst mode optical transceiver that incorporates not only the dual-rate burst mode receiver but also both 1G and 10G transmitters in one package and have also confirmed the excellent characteristics.

1. ま え が き

日本における Fiber-To-The-Home (FTTH) は近年急速に普及し、2009 年 3 月末にはその契約件数が 1,500

万件を超えるに至った¹⁾。これにより加入者は手軽に最大 1Gbit/s 級の通信帯域を利用することが可能となっている。最近では高画質ビデオのオンデマンド配信サービスや、多チャンネルテレビ放送、ゲーム機向けのネット

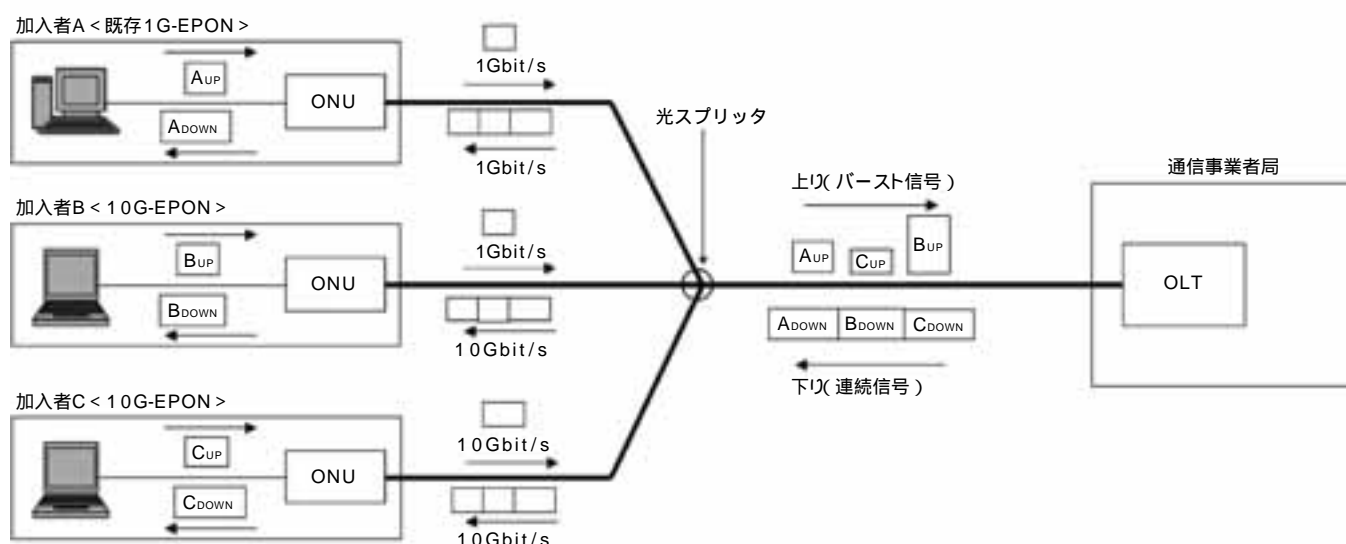


図 1 PON 光アクセスシステム
Fig. 1. PON optical access systems.

1 光モジュール開発部グループ長
2 光モジュール開発部
3 光モジュール開発部主査
4 光モジュール開発部長

略語・専門用語リスト		
略語・専門用語	正式表記	説明
PON	Passive Optical Network	通信事業者と加入者が、パッシブな光ファイバとカブラにより分岐接続される経済的な光アクセスネットワーク
OLT	Optical Line Terminal	PON システムにおける通信事業者局側の装置
ONU	Optical Network Unit	PON システムにおける加入者側の装置
ODN	Optical Distribution Network	PON システムにおいて、OLT と ONU を結ぶ光ファイバと光カブラからなる線路網
APD-TIA	Avalanche Photodiode-Transimpedance Amplifier	APD 受光素子と電流電圧変換増幅器を同一パッケージにおさめた受光モジュール
EML	Electro-absorption Modulator Integrated Laser Diode	電界吸収型光変調器をレーザダイオードとモノリシックに集積化した発光素子モジュール
EA ドライバ	Electro-absorption Modulator Driver	電界吸収型光変調器を駆動する IC
プリアンブル長	Preamble Length	バースト信号受信時、受信回路が信号を誤りなく再生するために使用する前置ビット列の長さ
WDM	Wavelength Division Multiplexer	波長の異なる光を合分波する光学部品

ワークサービスなど、新しいサービスの登場に加え、ビデオ映像配信サイトなども MP4 エンコード対応といった高画質化を進めている状況であり、FTTH サービスのさらなる広帯域化が求められている。米国電気電子学会 (IEEE) は広帯域化への要求にいちやくこたえ、2009 年 9 月に IEEE802.3av (10G-EPON の物理レイヤ仕様) の標準化を完了した。

IEEE802.3av の特徴のひとつとして、既存の PON システムとの共存に配慮している点が挙げられる。図 1 に示すように、既存の 1G-EPON ONU と同一の ODN 上に 10G-EPON の ONU を導入できるよう、10G の下りに 10GBASE-PR30 という高光バジェットクラスを新設し、

表 1 10GBASE-PR30 OLT 光インタフェース仕様
Table 1. Optical interface specification of 10GBASE-PR30 for OLT.

項目	仕様	単位
伝送レート	10.3125 ± 30 ppm	Gbit/s
送信波長範囲	1575 ~ 1580	nm
送信パワー範囲	+2 ~ +5	dBm
消光比 (min)	6	dB
チャンネル損失 (max)	29	dB
受光感度 (max)	-28	dBm
受信セトリング時間 (max)	800	ns
符号誤り率 (max)	10 ⁻³	
最大受光レベル (min)	-6	dBm
符号誤り訂正	あり	

さらに OLT 側の 1G, 10G デュアルレートモード動作に言及している。これにより、1G-EPON が普及している市場においても 10G-EPON の導入をスムーズに実施することができる。表 1 に 802.3av 10GBASE-PR30 の OLT 光インタフェース仕様を示す²⁾。当社では、デュアルレートモード実現のキー部品となる、10G-EPON OLT 用デュアルレート光トランシーバを開発し良好な特性を得たので報告する。

2. 構成

本光トランシーバのブロック図を図 2 に示す。既存の 1G-EPON システム上に 10G-EPON システムを導入すると、加入者側から通信事業者局側に向けて 1G, 10G の 1310 nm 帯の光信号がそれぞれの ONU から送出されるため、OLT の光受信部は両方のデータレートの信号を受信する必要がある。本トランシーバでは受信部 APD-TIA からの出力を、1G, 10G 対応の 2 つのリミティンクアンプに分配する構成としている³⁾。

また 1G, 10G 両方の送信回路を独立に搭載し、1G には 1490 nm LD を、10G には 1577 nm EML を用いて、1G, 10G 双方の ONU に対して下り方向のデータ送出を可能としている。

図 3 に試作したトランシーバの外観を示す。OLT 装置の運用中のポート追加やメンテナンスが可能のように、活線挿抜可能なプラグブルタイプとした。

3. 設計

3.1 デュアルレート光バースト受信部

デュアルレート光バースト受信部の APD-TIA は、1 G、10G 両方の伝送レートで IEEE にて規定された受信感度を達成できるよう、それぞれの周波数帯域で十分低

雑音でなければならない。図4に TIA の入力換算雑音特性を示す。低周波域から 10GHz の広い範囲にわたり 7 pA/ Hz 以下と、非常に良好な雑音設計となっている。また、図5に APD-TIA の光入力パワー対出力電圧振幅特性を示す。広い受信ダイナミックレンジを得るために、大パワー受信領域での利得飽和特性が穏やかな

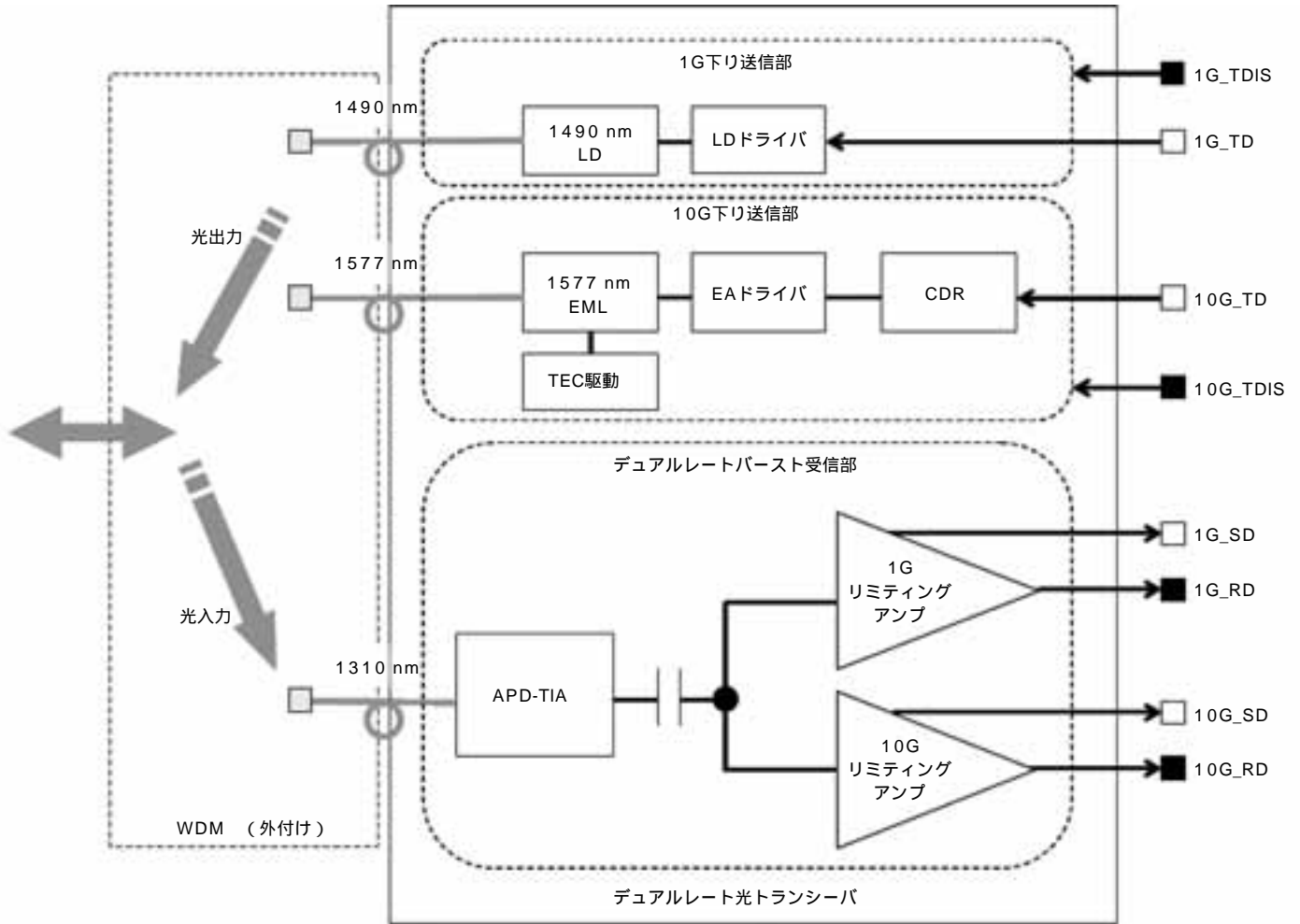


図2 光トランシーバブロック図
Fig. 2. Optical transceiver block diagram.

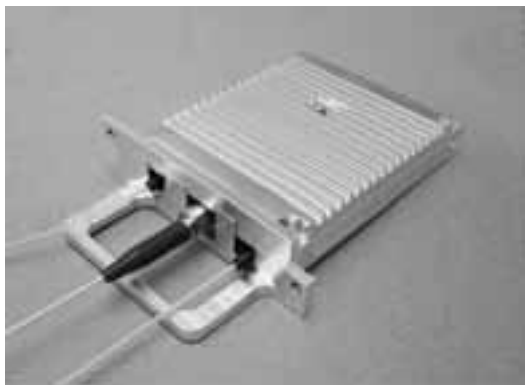


図3 光トランシーバ外観
Fig. 3. Optical transceiver appearance.

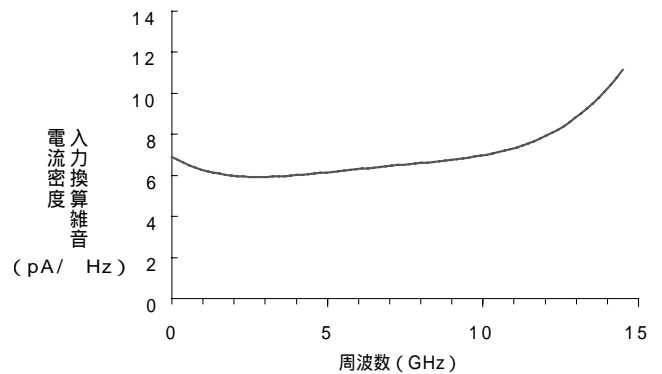


図4 TIA 入力換算雑音電流密度
Fig. 4. Input referred noise current of TIA.

設計とした．これにより低消光比，大パワー光受信時でも，後段のリミティングアンプが符号誤りを引き起こすことなく受信可能な出力振幅を確保できる．APD-TIAは直流成分から10GHzまでの周波数帯域を再生し，リミティングアンプとのAC結合によるバースト受信を行っている．このような受信器設計により，TIAの利得や受信帯域切り替え，受信識別閾値を初期化するためのリセット信号入力を不要とした．

3.2 10G 光送信部

10G 光送信部では，カードエッジコネクタから光ト

ランシーバに入力される電気信号を，一度 Clock and Data Recovery (CDR) にて整形したのち，EAドライバにてEMLを駆動し1577 nm光源を強度変調する．10GBASE-PR30においては10Gも既存の1Gと同等の光パワーバジェットを達成するために，+2 ~ +5 dBmという高出力パワーが必要とされる．EMLはThermoelectric Cooler (TEC)により，温度が一定に保たれ，周囲動作温度に関わらず安定した高い光出力と安定した波形が得られる．

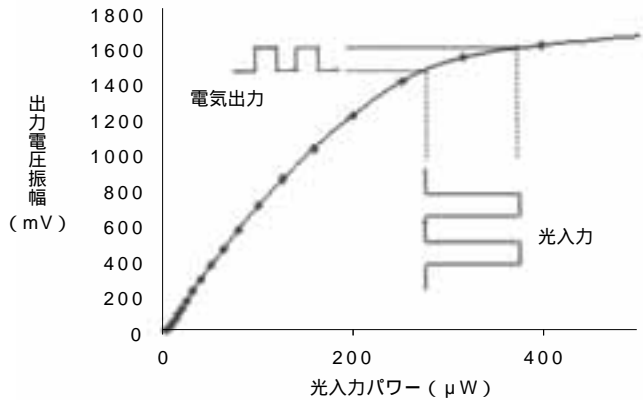


図5 APD-TIA 入力光パワー対出力電圧振幅特性
Fig. 5. Optical input power vs. electrical output amplitude characteristics of APD-TIA.

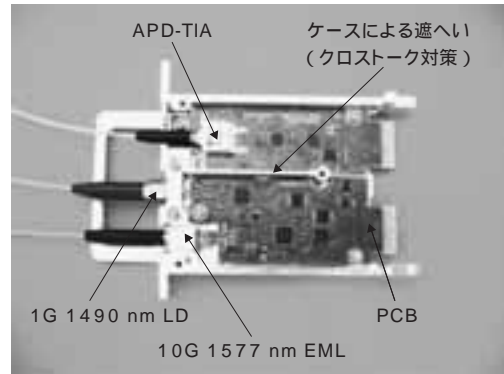


図6 光トランシーバ内部
Fig. 6. Internal structure.

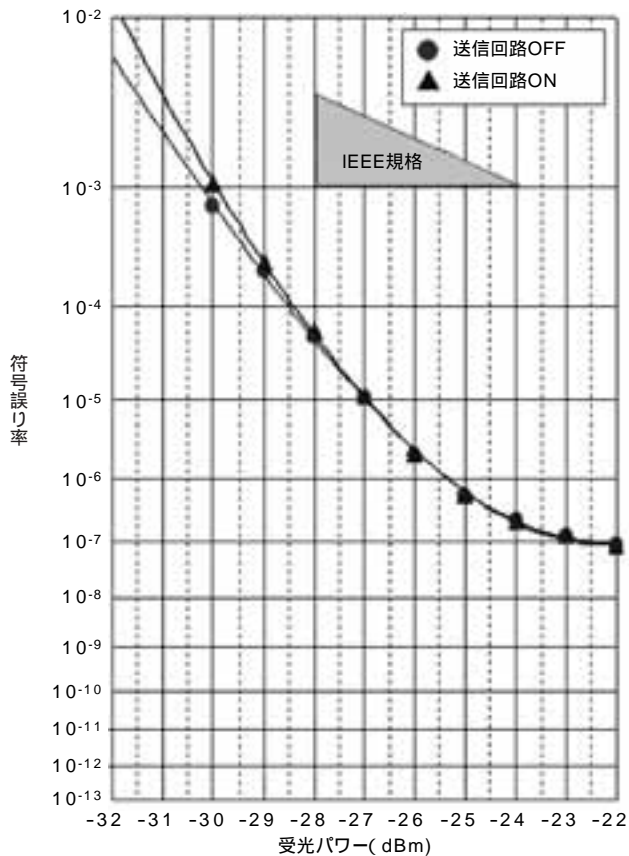


図7 符号誤り率特性 (10G バースト受信時)
Fig. 7. Bit error rate characteristics (10G burst)

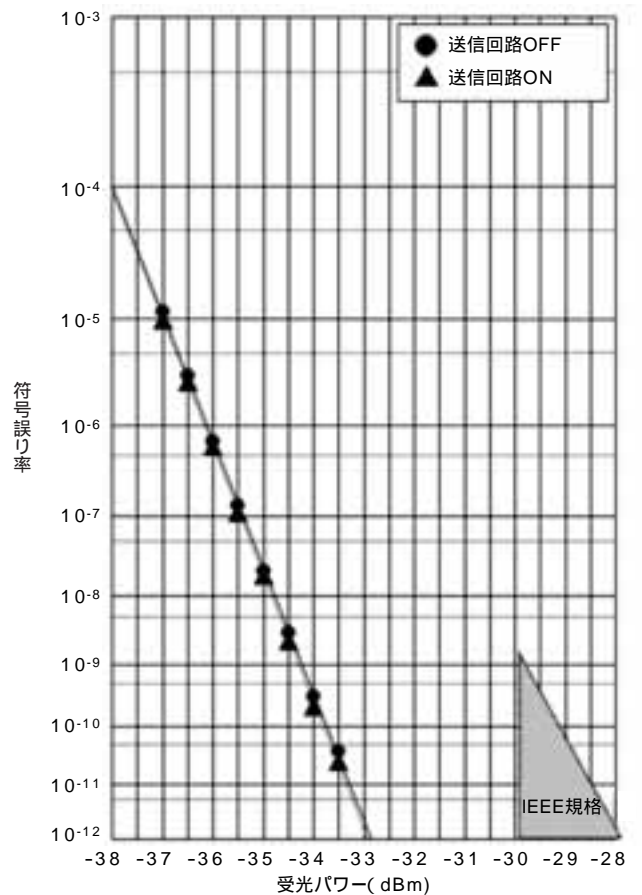
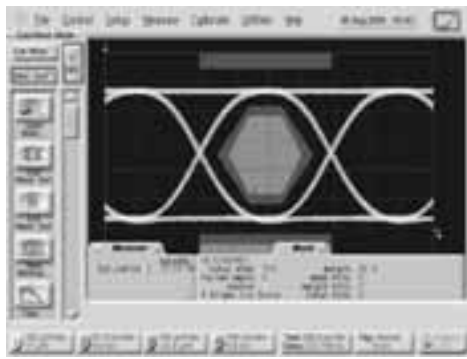
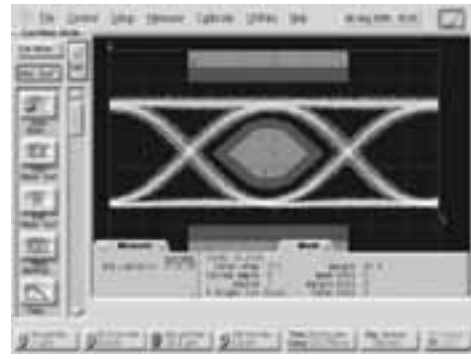


図8 符号誤り率特性 (1G バースト受信時)
Fig. 8. Bit error rate characteristics (1G burst)



1G送信アイパターン (フィルタ通過後)



10G送信アイパターン (フィルタ通過後)

図 9 光送信波形

Fig. 9. Optical transmitter waveforms.

表 2 光トランシーバ代表特性

Table 2. Optical transceiver typical characteristics.

項目	10G	1G
送信パワー	+3.0 dBm	+4.8 dBm
消光比	10 dB	10.7 dB
受光感度	-29.9 dBm @ 10^{-3}	-32.8 dBm @ 10^{-12}
最大受光	> -6 dBm @ 10^{-3}	> -6 dBm @ 10^{-12}
消費電力	3.7 W (Typ)	

3.3 1G 光送信部

既存の 1G-EPON OLT 光トランシーバの送信部は、一般的に CDR による波形整形回路を内蔵していないため、本トランシーバもこれに従い、1G の連続モード電気信号を直接 LD ドライバに入力し、1490 nm の直接変調 LD を強度変調する設計とした。LD ドライバと LD 間は AC 結合の差動接続とし、受信部へのクロストーク低減に配慮がされている。

3.4 機構設計

図 6 に光トランシーバ内部を示す。1G、10G 光送信部からデュアルレート光バースト受信部へのクロストークによる受信感度ペナルティの発生を抑えるため、送信部と受信部はトランシーバ内で分離・遮へいが行われている。プリント回路板 (PCB) においても、送、受信間の電源とグランドの分離が徹底されている。

光トランシーバの外形寸法は、突起部を除き 48.0 (W) × 12.5 (H) × 68.6 (D) mm である。

4. 特 性

図 7、図 8 にデュアルレート光バースト受信部の符号誤り率特性を示す。10G バースト信号受信時は、符号誤り率 10^{-3} における受光感度 -29.9 dBm であり、一方 1G バースト信号受信時は、符号誤り率 10^{-12} における受光感度 -32.8 dBm を得た。光送信部からのクロスト-

クによる受光感度ペナルティは、10G 受信時に 0.3 dB 程度と、非常に小さく抑えることができた。なお 1G、10G とともに、符号誤り率測定時のバースト信号プリアンブル長は 400 ns とした。

送信波形を図 9 に示す。1G、10G とともにマスク規定を満たす良好なアイ開口が確認された。

本トランシーバの代表特性を表 2 にまとめる。送信部、受信部とも IEEE802.3av を満足する良好な結果が得られた。

5. む す び

10G-EPON デュアルレート OLT 用光トランシーバを開発し、良好な光送受信特性を得た。今回実現した 1G、10G デュアルレート光バースト受信技術は、既存の 1G-EPON ONU と 10G-EPON ONU の共存を可能にし、スムーズな 10G-EPON システム導入に貢献する。

今後は、光コンポーネントを同一筐体に集積した一心双方向光サブモジュールをトランシーバに搭載し、WDM 内蔵デュアルレート OLT 光トランシーバの開発を進めていく。

参 考 文 献

- 1) 総務省情報通信統計データベース「ブロードバンドサービス等契約数の推移 (四半期)」<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/new/index.html>
- 2) 802.3av-2009 IEEE Standard for Information Technology - Part 3: (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 1, "Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks."
- 3) 栢田ほか:「10Gbit/s バースト信号対応デュアルレート OLT 光トランシーバ」, 2009 年電子情報通信学会総合大会予稿 B-10-98