

10G-EPON OLT用トリプレクサ

白崎昭生* 白井 聡***
金子進一** 松末明洋†
岡田規男*

Triplexer for 10G-EPON OLT

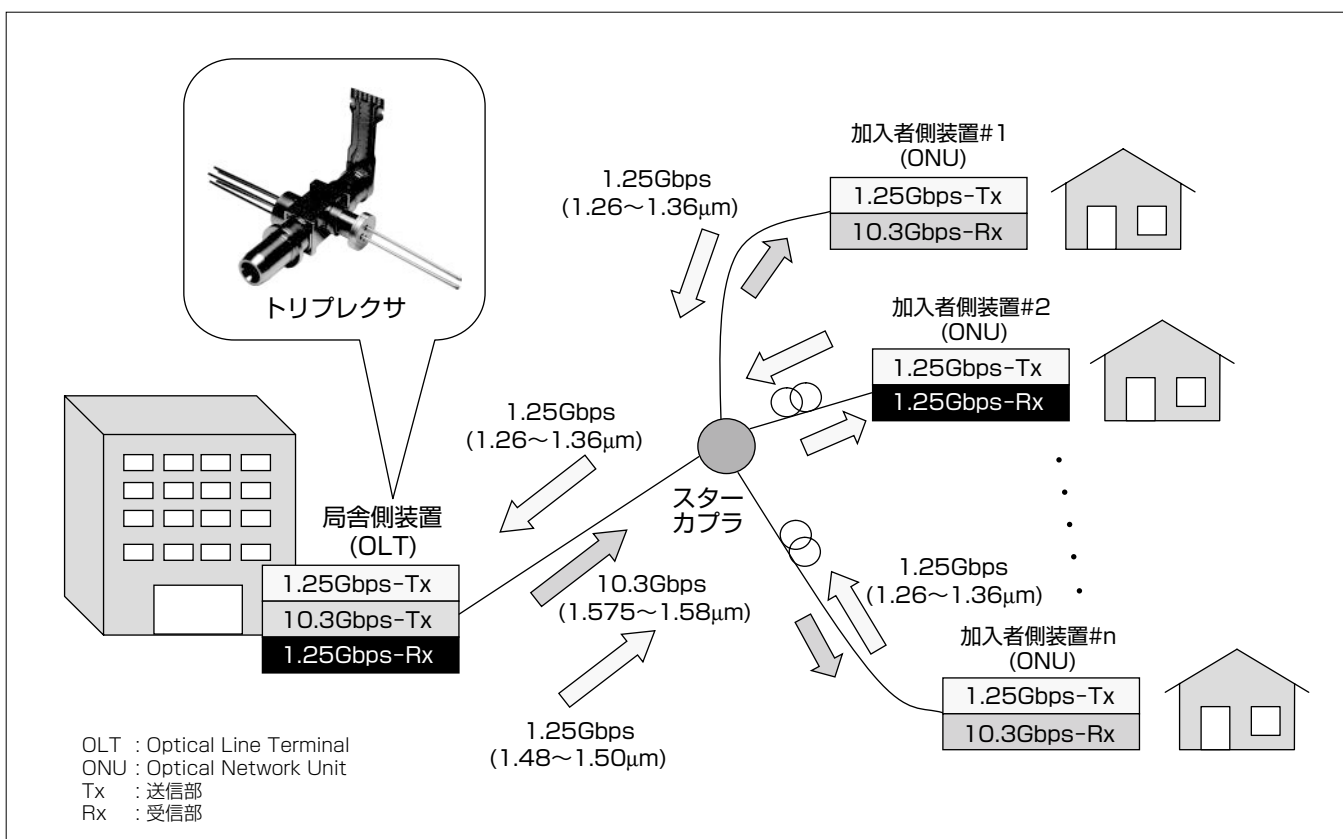
Akio Shirasaki, Shinichi Kaneko, Norio Okada, Satoshi Shirai, Akihiro Matsusue

要 旨

インターネットトラフィックの増加に伴い、次世代光アクセスシステムとして10G-EPON(10Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムへの期待が高まりつつある。特に、局舎側から加入者側への下り方向通信の伝送速度として10.3Gbps及び1.25Gbps、加入者側から局舎側への上り方向通信の伝送速度として1.25Gbpsに対応する非対称型10G-EPONシステムの導入の動きが活発化している。

10G-EPONシステムでは、保守性の高いプラグタイプの小型光トランシーバに光モジュールを収容するニーズが強くあり、局舎側に設置されるOLTでは10.3Gbps送信、1.25Gbps送信、1.25Gbps受信の機能を小型に集積した一心双方向光モジュール(トリプレクサ)が求められている。そこで、三菱電機はXFP(10gigabit small Form factor

Pluggable)サイズの光トランシーバに収容可能な小型トリプレクサを開発した。EML(Electro-absorption Modulated Laser)を適用する10.3Gbps送信部では、新規開発のCAN型パッケージによって小型化と低コスト化を図った。また、3つの送受信素子と光ファイバとの結合に単レンズ光学系を適用するとともに、2つの送信素子で光アイソレータを共用する構成によって、小型なトリプレクサを実現した。この結果、トリプレクサの外形寸法は13.9(W)×21.4(L)×6.0(H)(mm)とXFPに収容可能な小型サイズを実現した。また、非対称型10G-EPONシステムの国際規格であるIEEE802.3av PRX30規格に準拠する良好な送受信特性を実現した。



非対称型10G-EPONシステム

非対称型10G-EPONシステムは局舎側装置(OLT)と複数の加入者側装置(ONU)間をスターカプラを用いて光ファイバで接続する。OLTからONUへの下り方向の通信は、1.575~1.58μmの10.3Gbps信号と波長1.48~1.50μmの1.25Gbps信号の波長多重によって行う。ONUからOLTへの上り方向の通信は各ONUから送出される波長1.26~1.36μmの1.25Gbps信号によって行う。

1. ま え が き

光アクセスシステムとしてGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムが広く普及している。しかし、高画質映像配信サービスなどの進展に伴い、今後はインターネットトラフィックの更なる増加が見込まれており、次世代の光アクセスシステムとして10G-EPONシステムへの期待が高まりつつある。10G-EPONシステムでは、局舎側から加入者側への下り方向通信と、加入者側から局舎側への上り方向通信の両方で10.3Gbps及び1.25Gbpsのデュアルレートに対応する対称型10G-EPONシステムと、下り方向通信は10.3Gbps及び1.25Gbpsのデュアルレートに対応するが、上り方向通信は1.25Gbpsだけに対応する非対称型10G-EPONシステムの2種類があり、特に非対称型10G-EPONシステムの導入の動きが活発化している。

10G-EPONシステムでは、保守性の高いプラグタイプ①の小型光トランシーバに光モジュールを収容するニーズが強くあり、局舎側に設置されるOLTでは、10.3Gbps送信、1.25Gbps送信、1.25Gbps受信の機能を小型に集積した一心双方向光モジュール(トリプレクサ)が求められている。当社は、XFPサイズの光トランシーバに収容可能な小型トリプレクサを開発し、非対称型10G-EPONシステムの国際規格であるIEEE802.3av PRX30規格に準拠する性能を実現した。

本稿では開発した小型トリプレクサの構成と、主要な特性について述べる。

2. トリプレクサの構成

2.1 概 要

図1に開発したトリプレクサの外観を示す。非対称型10G-EPONシステムにおけるOLTは、波長1.577 μ mの10.3Gbps下り信号と波長1.49 μ mの1.25Gbps下り信号を波長多重で送信するとともに、波長1.3 μ m帯の1.25Gbps上り信号を受信する必要がある。そのため、トリプレクサはそれぞれの波長と伝送速度に対応し、EMLを内蔵した10.3Gbps送信部、DFB-LD(Distributed FeedBack Laser-

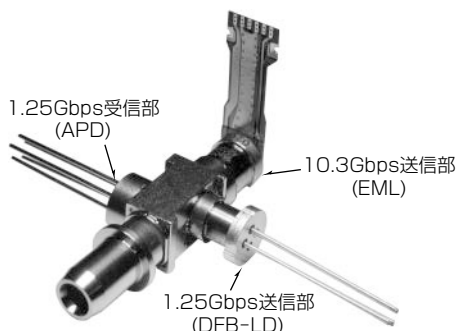


図1. トリプレクサの外観

Diode)を内蔵した1.25Gbps送信部、プリアンプICとAPD(Avalanche Photo Diode)を内蔵した1.25Gbps受信部を備えている。各送受信部のパッケージは、小型で低コストなCAN型パッケージを採用した。光インタフェースは、市場ニーズからSCレセプタクルを採用し、10.3Gbps送信部の電気インタフェースは、高周波特性と外部基板への実装性を考慮し、FPC(Flexible Printed Circuit)を採用した。

次に、トリプレクサの小型化を実現するために新規開発した10.3Gbps送信部及びトリプレクサの光学系について述べる。

2.2 10.3Gbps送信部

EMLは温度によって特性が敏感に変化するため、TEC(Thermo Electric Cooler)上に実装し、温度を一定に制御しながら動作させる必要がある。そのため、10Gbps用EMLモジュールでは、TECを実装可能なスペースを確保した箱型パッケージが主流である。しかし、このパッケージはTEC非搭載型光モジュールで広く用いられているCAN型パッケージに比べ、大型・高コストである。EMLを内蔵する10.3Gbps送信部は、トリプレクサの小型化を阻害する要因であり、またコストの占める割合が大きいため、トリプレクサの小型化・低コスト化は重要な課題である。

今回、10.3Gbps送信部として、小型TECを搭載した ϕ 5.6mmのCAN型パッケージを新規開発し、適用した。これによって、10.3Gbps送信部の外形寸法を小型化できるとともに、内部構造の簡素化と、生産性に優れた製造プロセスの適用による低コスト化を実現した。高周波特性は、リードピンのガラス封止部とEML間の電氣的な多重反射を抑えるCAN構造を採用したうえで、FPCに形成したインピーダンス信号線路によって、広帯域な通過特性を実現し、10.3Gbps動作を可能とした。EMLについては、変調器の設計を最適化し、45 $^{\circ}$ Cでの高出力、高消光比を実現した。この結果、TECによってEML動作温度を45 $^{\circ}$ C一定に制御し、高温環境下での周囲温度とEML動作温度との差を小さくすることで、TEC消費電力を最小限に抑えた。

2.3 トリプレクサの光学系

当社ではこれまでに2つの送信素子と光ファイバとの結合に3枚レンズ光学系を採用したトリプレクサを開発し、良好な特性を得ている^②。しかし、複数枚のレンズを用いた光学系は、フィルタの特性向上や、光ファイバとの高効率な結合に有利である一方、小型化が難しい。図2に、今回開発したトリプレクサの光学系の構成を示す。部品点数の削減による小型化と低コスト化を図るため、3つの送受信素子(EML, DFB-LD, APD)と光ファイバとの結合に単レンズ光学系を採用した。また、各送受信素子と光ファイバ間の狭いスペースにフィルタ3枚(波長合成分波フィルタ2枚、バンドパスフィルタ1枚)と光アイソレータ1個を実装した。

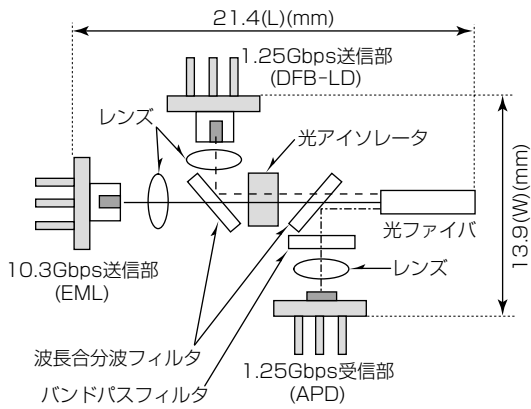


図2. トリプレクサの光学系

単レンズ光学系は、複数枚のレンズによるコリメート光学系に比べ、フィルタの波長合分波特性を劣化させる。波長合分波特性が不十分である場合は、受信波長帯の1.26~1.36 μm 以外の光がAPDに入射してしまい、クロストークによる受信特性の劣化が問題になる。今回、受信信号帯域以外の散乱光を遮断するために、受信用集光レンズの入射端にバンドパスフィルタを挿入することで、後述するように、最小受信感度へのクロストークの影響を0.2dB以下と、十分に抑制した。

戻り光による送信素子の雑音特性劣化を抑制するためには、光アイソレータが不可欠である。しかし、波長の異なる2つの送信素子に対し、それぞれ個別の光アイソレータを配置すると、横幅の寸法をXFPサイズに収めることが困難となり、かつ高コストである。そこで、2つの送信波長に対応した光アイソレータを用いることで、部品点数を削減した。また、ビーム径がより絞られる光ファイバ近傍に光アイソレータを配置し、光アイソレータ自体の小型化と低コスト化を図った。この構成で、単位帯域当たりの雑音電力と変調電力の比から定義されるRIN OMA (Relative Intensity Noise Optical Modulation Amplitude)を、ファイバ端平均光パワーから-15dBの強度で戻り光を戻した状態で実測したところ、EMLは-139dB/Hz、DFB-LDは-134dB/Hzと、それぞれIEEE規格の-128dB/Hz、-115dB/Hzを満足する良好な特性が得られた。

これらによって、光学系を小型化するとともに、IEEE規格を満足するために必要な光学特性を確保した。トリプレクサの外形寸法は13.9(W)×21.4(L)×6.0(H)(mm)となり、XFPサイズの光トランシーバに収容可能な小型サイズを実現した。

3. トリプレクサの主要特性

3.1 10.3Gbps送信部

10.3Gbps送信部の特性について述べる。図3(a), (b)にシングルモードファイバ25km伝送前後の送信出力波形を示す。変調条件は10.3125Gbps, PRBS2³¹-1(Pseudo Ran-

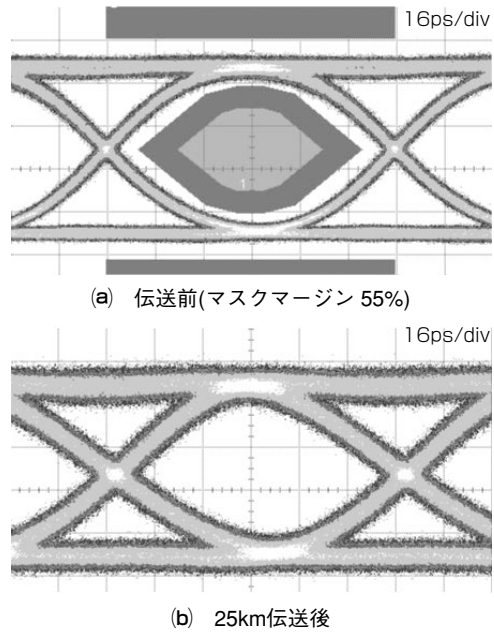


図3. 10.3Gbps送信部の光出力波形

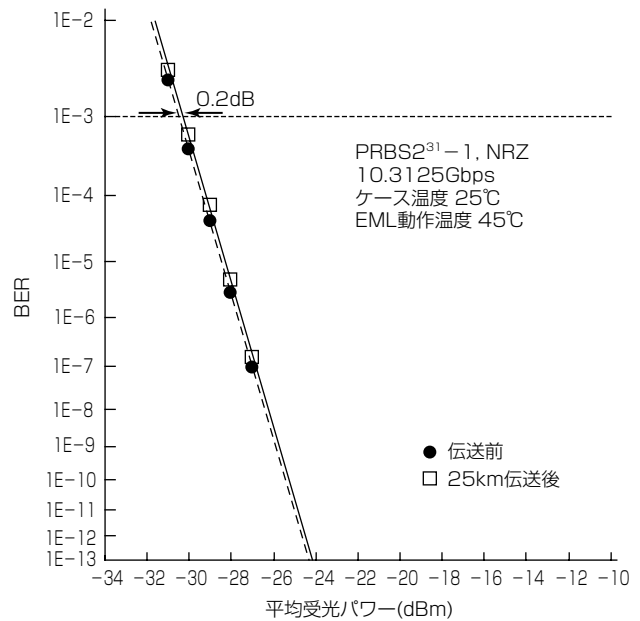


図4. 10.3Gbps送信部のBER特性

dom Binary Sequence), NRZ(Non Return to Zero)とした。伝送前の波形は、平均光パワーを+4dBm、消光比を9.0dBに調整した状態で、マスクマージンが55%と良好なアイ開口が得られている。また、伝送後の波形についても、伝送前からの波形劣化が小さく、良好な結果が得られた。図4にシングルモードファイバ25km伝送前後のBER(Bit Error Rate)特性を示す。BERが 10^{-3} となる受信感度で規定される伝送ペナルティは0.2dBと良好であり、IEEE規格の1dB以下を満足している。図5にTEC消費電力のケース温度依存性を示す。EMLの45 $^{\circ}\text{C}$ 動作によって、ケース温度が75 $^{\circ}\text{C}$ となる高温環境下でも消費電力は0.3W以下と、低消費電力である。表1にケース温度-5~75 $^{\circ}\text{C}$ に

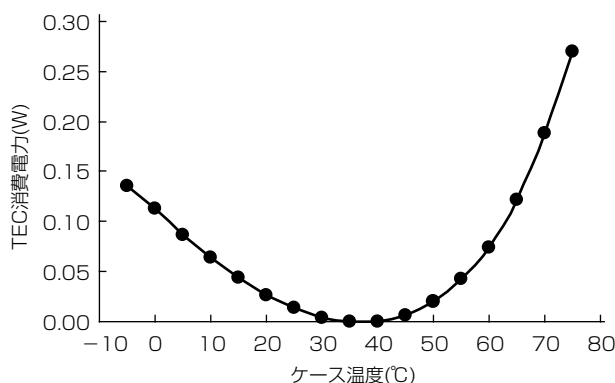


図 5. TEC 消費電力のケース温度依存性

表 1. 10.3Gbps送信部の主要特性

項目	特性
平均光パワー	+3.0~+5.0dBm
消光比	≥9.0dB
伝送ペナルティ	≤1.0dB
TEC消費電力	≤0.3W

表 2. 1.25Gbps送信部の主要特性

項目	特性
平均光パワー	+4.0~+6.0dBm
消光比	≥9.0dB
伝送ペナルティ	≤1.0dB

における10.3Gbps送信部の主要特性をまとめており、IEEE規格を満足する良好な特性を実現した。

3.2 1.25Gbps送信部

表 2 にケース温度 -5~75°C における1.25Gbps送信部の主要特性をまとめた。平均光パワーは+4.0~+6.0dBm、消光比は9 dB以上、伝送ペナルティは1 dB以下と良好な特性を得ている。

3.3 1.25Gbps受信部

図 6 にBER特性の評価結果を示す。トリプレクサへの入力信号は、波長1.3μm、1.25Gbps、PRBS2⁷-1、NRZ、消光比9 dBとした。また、先に述べた光学系によって、送信部とのクロストークを十分に抑制できているかを評価するため、①送信部をOFF、②10.3Gbps送信部を駆動、③1.25Gbps送信部を駆動の3パターンで測定を実施した。その結果、BERが10⁻¹²となる最小受信感度は、どの条件でも-34dBm以下と高感度であり、IEEE規格である-29.78dBmを十分な余裕を持って満足した。また、クロストークによる最小受信感度の劣化は、10.3Gbps送信部に対しては0.05dB、1.25Gbps送信部に対しては0.15dBと、十分に抑制されていることを確認した。さらに、最大受信感度についてもIEEE規格を満足する-9 dBm以上が得られ、広いダイナミックレンジを確認した。表 3 にケース温度

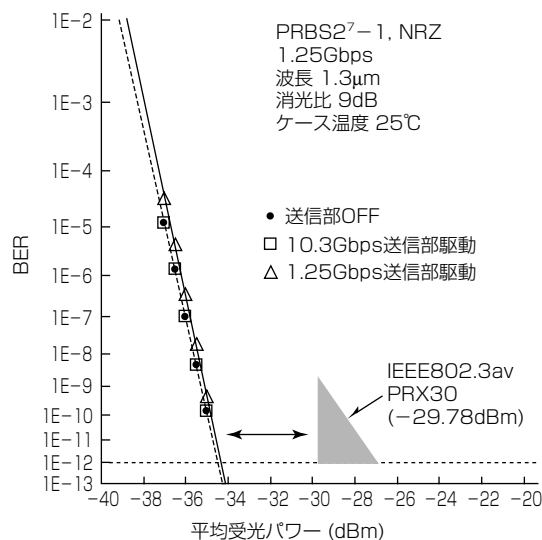


図 6. 1.25Gbps受信部のBER特性

表 3. 1.25Gbps受信部の主要特性

項目	特性
プリアンプIC消費電力	≤0.15W
最小受信感度	≤-34dBm
最大受信感度	≥-9.0dBm

-5~75°Cにおける1.25Gbps受信部の主要特性をまとめた。プリアンプICの消費電力は0.15W以下と低消費電力である。最小受信感度及び最大受信感度もIEEE規格を満足している。

4. む す び

非対称型10G-EPONシステムのOLT用光モジュールとして、10.3Gbps送信、1.25Gbps送信、1.25Gbps受信の機能を集積したトリプレクサを開発した。小型化と低コスト化のため、EMLを内蔵する10.3Gbps送信部には新規のCAN型パッケージを適用した。また、3つの送受信素子と光ファイバとの結合に単レンズ光学系を採用するとともに、2つの送信素子で光アイソレータを共用する構成によって、部品点数を削減した。この結果、トリプレクサの外形寸法は13.9(W)×21.4(L)×6.0(H) (mm)となり、XFPサイズの光トランシーバに収容可能な小型サイズを実現した。また、非対称型10G-EPONシステムの国際規格であるIEEE802.3av PRX30規格に準拠する良好な送受信特性を実現した。

参考文献

- (1) 後藤秀樹, ほか: 10G-EPON向け光トランシーバ, 三菱電機技報, **86**, No. 6, 327~334 (2012)
- (2) 白井 聡, ほか: 10G-EPON OLT用光モジュール, 三菱電機技報, **85**, No. 5, 301~304 (2011)