

# 技術紹介

## 10 1 芯 WDM 光トランシーバ

Dual-wavelength Single-fiber Transceiver

松井 淳一郎	Junichirou Matsui	中央研究所	研究開発部	主任
安藤 典浩	Norihiro Andou	中央研究所	研究開発部	主任
佐々木 琢男	Takuo Sasaki	中央研究所	研究開発部	主任
宮下 拓也	Takuya Miyashita	中央研究所	研究開発部	主任
岡田 正史	Masashi Okada	中央研究所	研究開発部	
西村 貴行	Takayuki Nishimura	中央研究所	研究開発部	
木村 龍男	Tatsuo Kimura	中央研究所	研究開発部	

キーワード FTTH、メディアコンバータ、光トランシーバ、光導波路、パッシブアライメント  
Keywords FTTH, mediaconverter, optical transceiver, optical waveguide, passive alignment

### ■ 要旨

インターネットの国内ブロードバンド化を担う FTTH (Fiber to the Home) サービスの通信機器であるメディアコンバータに適合する小型の、SFF (Small Form Factor) 規格に対応した、1 芯双方向 WDM (Wavelength Division Multiplex) トランシーバの開発に成功しました。このトランシーバはシリコン基板上に、光導波路、V 溝、LD および薄膜 WDM フィルタを集積、また 1 枚のプリント基板上にこの集積化光学モジュール、IC 等を搭載し、全パッシブアライメントを実現しました。開発した光トランシーバは目標仕様に対し最小受信感度  $-37.6\text{ dBm}$  と良好な特性を得ることができました。

### ■ SUMMARY

JAE has successfully developed a compact dual-wavelength single-fiber WDM (Wavelength Division Multiplexing) transceiver, which is suitable for the mediaconverter, the communications equipment used for FTTH (Fiber to the Home) service essential for broadbandization of Internet in Japan, and also meets the SFF (Small Form Factor) standard. The transceiver has an optical module integrating optical waveguides, V-grooves, LD and thin film WDM filter on a silicon substrate. And, then, the integrated optical module, IC, etc. are mounted on a printed circuit board so that all passive alignments can be realized. The newly developed optical transceiver can achieve good performance of the minimum receive optical level of  $-37.6\text{ dBm}$  better than the target specification.



写真 1 開発したトランシーバ

## 1 はじめに

インターネットの急速な普及に伴い、昨年来、国内ブロードバンド化の一環として FTTH の商用サービスが始まっています。FTTH が広く普及していくためには、メディアコンバータを用いたシングルスター方式（1対1接続）によるシンプルな通信系統と、使用される機器を安く提供することが必要です。我々は、メディアコンバータの主要な構成部品である小型の光トランシーバを開発したので紹介します。

## 2 FTTH とメディアコンバータ方式

FTTH は、局と家とを1対1にファイバで直接結ぶネットワーク方式であり、高速な通信サービスの変化への対応に有利であるとされています。FTTH は、局側でインターネットに接続、宅側でイーサネットによりPC等に接続しています。局、宅側の電気信号を、光ファイバ通信用の光の信号に変換するのがメディアコンバータです（図1）。

局にはキャビネットが置かれ内部には集合型メディアコンバータが多数内蔵されています。限られたスペースの問題から、メディアコンバータは高密度配置が必要です。よって、メディアコンバータのキーパーツである光トランシーバは更なる小型化が求められています。

メディアコンバータで電気信号と光信号を変換する主要な構成部品が光トランシーバです。光トランシーバに求められているものは、より小さなサイズ、低コストで製造できること、および FTTH 用として双方向、多重通信機能を有することです。

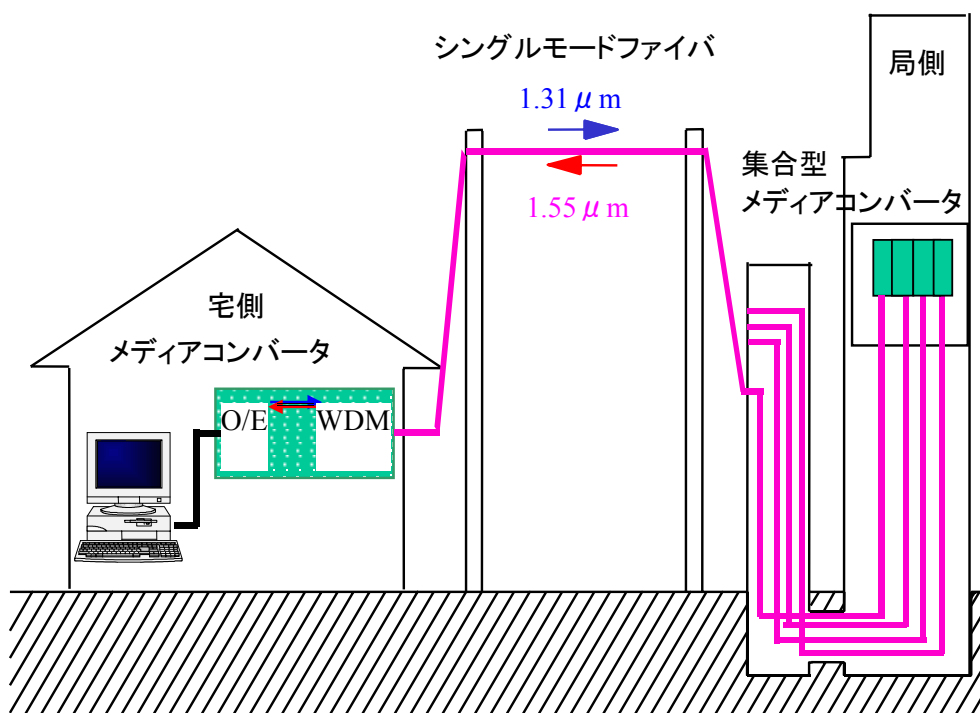


図1 メディアコンバータ方式

### 3 光トランシーバの構成と構造

実際に 1 芯双方向光トランシーバがどのような構成になっているかを図 2 に示しました。トランシーバは通信路であるシングルモード光ファイバの両端にそれぞれ異なる波長で送受信を行うように局側、宅側 1 対で用いられます。今回開発した光トランシーバは SC コネクタ (MU コネクタも可能) を有するコネクタライズドパッケージとしており、光トランシーバ部分で光ファイバの脱着が行えます。光は波長分離フィルタで送信器側と受信器側に分離されます。送信器の電気回路は発光素子であるレーザダイオードの駆動回路であり APC による発光光量の安定化と変調機能を有します。受信器の電気回路は受光素子であるフォトダイオードから得られた微小な光電流を必要な大きさまで増幅しデジタル信号に変換する機能を持っています。

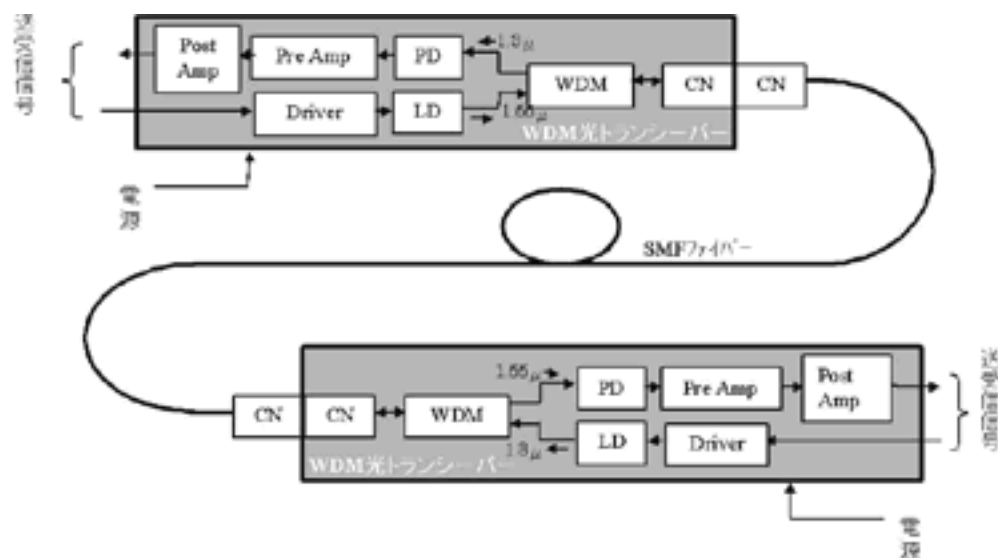


図 2 光トランシーバの構成

従来、上記のような光トランシーバの機能・性能を得るためには光ファイバ、WDM フィルタと LD、PD 素子を相互に高精度実装し、これらを実施する機構部品も必要になります。また、CAN パッケージタイプの LD、PD 素子を使用した場合、CAN パッケージ外郭とその中に実装される LD、PD 素子の位置精度がそれほど高くなく、光ファイバとの高効率結合を図る場合、例えば LD であれば素子を動作させ LD 放射光が効率良く光ファイバに入射される位置を探し固定する、アクティブアライメント技術を用いる必要があります。

#### 4 光導波路を用いた光トランシーバの特徴

今回開発した光トランシーバの構造は図 3 に示すように、1 枚のプリント基板上に、集積化した光学モジュール、及び IC 類を搭載しました。通信路であるシングルモード光ファイバは光学モジュール上で光導波路に実装、LD、PD 素子も光導波路に実装されています。このプリント基板がベースプレートに取り付けられ、ケースに収められ光トランシーバが完成します。

シリコン基板上への光学部品の実装構造は、シリコン基板上に形成した V 溝が高寸法精度を有するため、これを光ファイバの支持ガイドとして用いることで高寸法精度が必要な光ファイバと導波路部分の結合をパッシブアライメントとしました。また LD、PD 素子と導波路部分の結合もパッシブアライメントとする方法を開発しました。

この様に高密度高精度実装が要求される光学系をパッシブアライメントに実装することにより小型でローコストな光トランシーバとすることが可能となりました。

大きさは SFF 規格に対応した、 $W13.59 \times H9.8 \times L49.5$  [mm] であり局用集合型メディアコンバータ上に高密度に実装することが可能となりました。

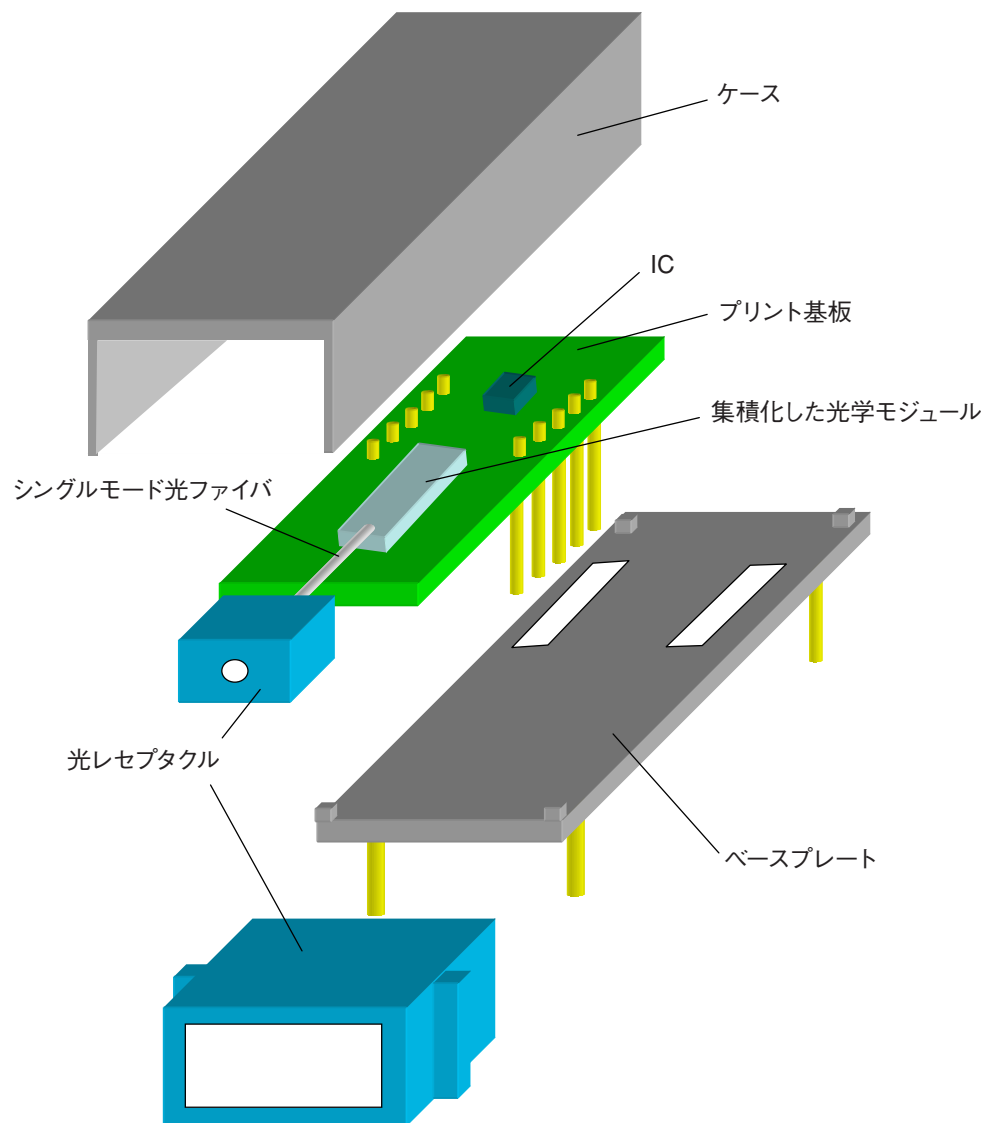


図 3 光トランシーバの構造

## 5 光導波路を用いた光トランシーバの特徴

図 3 で示したような構造を採用することで目標仕様を十分に満足する光トランシーバを開発することができました。表 1 に目標仕様を示します。

光トランシーバの最小受信感度は、受信光量、アンプノイズ、アンプ帯域、光学損失、クロストークで決まります。同一のアンプと光学系を使用した場合、クロストーク低減が最小受信感度を支配する要因となります。クロストークは電気クロストークおよび光クロストークが存在します。電気クロストークは主に送信側 LD を駆動する電流が受信側に電磁結合しているためと考えられます。この電気クロストークは空間や容量で電磁結合する場合と、電源および GND 経由で電磁結合する場合が考えられ、それぞれ対策は異なりますが、一般の電気回路と同様の対策により減少させることができます。また光クロストークは、送信側 LD 光が受光部 PD に直接、間接に光結合しているために起こります。対策として、アイソレーションの向上と迷光遮断技術の開発を行ないました。これらの対策の結果、本光トランシーバの最小受信感度は対策前に比べ 4dB 向上しました。

今回、集積化した光学モジュールを用いることにより光路損失の低減と電気光クロストークの低減を図ることができました。これは上記推定の様に光クロストークが減少する事により BER プロットの示す傾向と、今回開発した光トランシーバの特性が同様な傾向となっていることから光クロストーク低減が達成できたと言えます。図 5 に受信光量対符号誤り率 (BER) の代表的な特性を示します。

得られた最小受信感度 ( $BER < 1 \times 10^{-10}$ 、PRBS :  $2^{23-1}$ ) は、 $-37.6$  dBm であり、目標仕様値  $-31$  dBm に対し 6dB 以上のマージンを確保することができました。

ここで光クロストークの低減効果を推定するために、光トランシーバに光クロストークが存在する場合の受信レベルと BER 特性 (BER プロット) について検討します。

光トランシーバで用いられるデジタル通信系では、伝送誤り率は「マーク」レベルが「スペース」レベルと判定される誤り率および「スペース」レベルが「マーク」レベルと判定される誤り率の和として考えられています。

従来考えられていたガウシアン分布を前提とする BER プロットとは光クロストークが信号のマークスペースに与える変位を考えることにより、従来の BER プロットと異なる傾向を示す事が解りました。

この伝送系に対し電気クロストークノイズが加わるような場合、ガウス分布のノイズの加算を行っても BER プロットは平行移動すると考えられてきましたが、光クロストーク信号として別の「マーク」レベルと「スペース」レベルが存在し、元信号に加算される条件を仮定すると BER プロットの傾きが変化することが解りました。またアンプの「マーク」レベルまたは「スペース」レベルと判定する閾値を変化させても同様に BER プロットの傾きが変化することも解りました。

図 5 はクロストーク量が BER プロットに与える影響を実験値と計算値を比較した結果です。図 6 中、丸で示したのは自発光 LD の光量を変えることで光クロストークの影響度が異なるモデルサンプル A, B, C, D の BER プロット実測値です。実線は計算による、BER プロットのクロストーク依存性で、例えば青で示した実線は、自発光 LD による光クロストーク光量が  $-90$  dBm と少ない条件、紫の実線は  $-40$  dBm と自発光 LD によるクロストーク光量が多い条件を仮定しています。

ここでは、自発光 LD による光クロストークのみを考慮しましたが、判定閾値を変化させても同様の結果が得られました。光クロストークと判定閾値の影響度の切り分けは困難ですが、この 2 つの要素が BER プロットの傾きを支配する要因であることが判明いたしました。

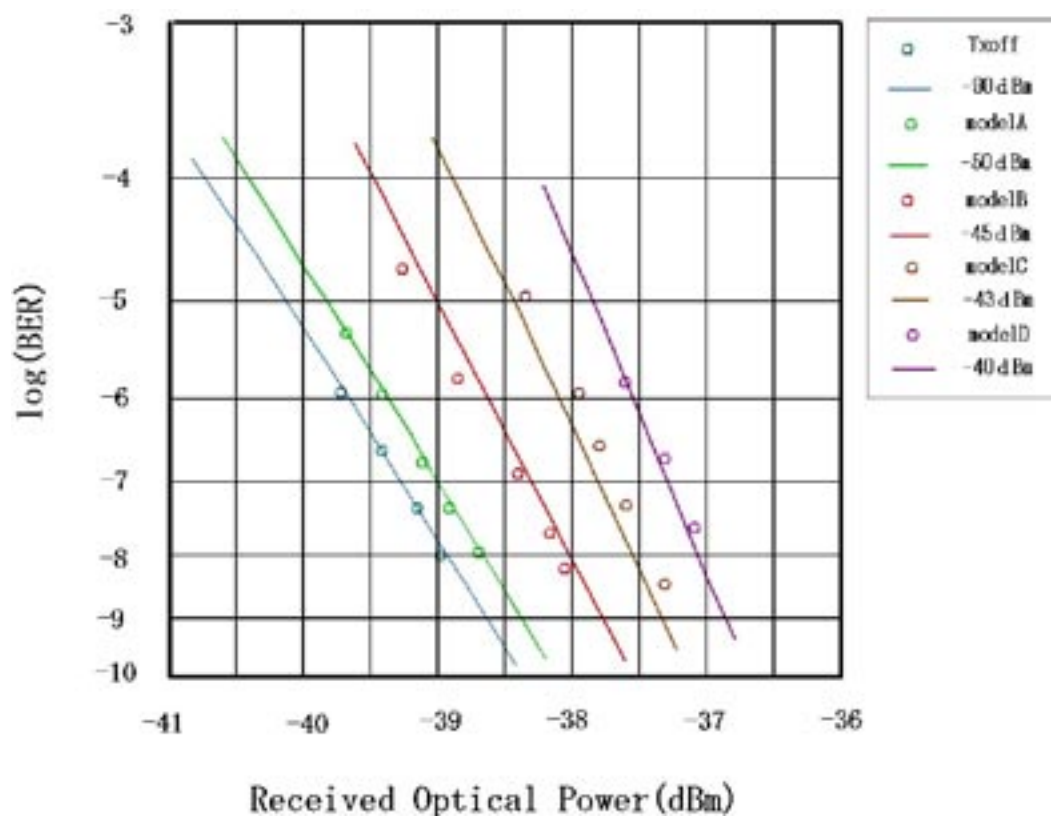


図 4 光クロストークが存在する場合の BER プロット

表 1 仕様一覧

項目	仕様
伝送容量	～ 156Mbps (マーク率 0.4 ～ 0.6)
平均光出力	- 11dBm
最小受信感度	- 31dBm (BER < 1 × 10 <sup>-10</sup> 、PRBS : 2 <sup>23-1</sup> )
適用コネクタ	SC、MU
適用ファイバ	SMF
電源電圧	+ 3.3V



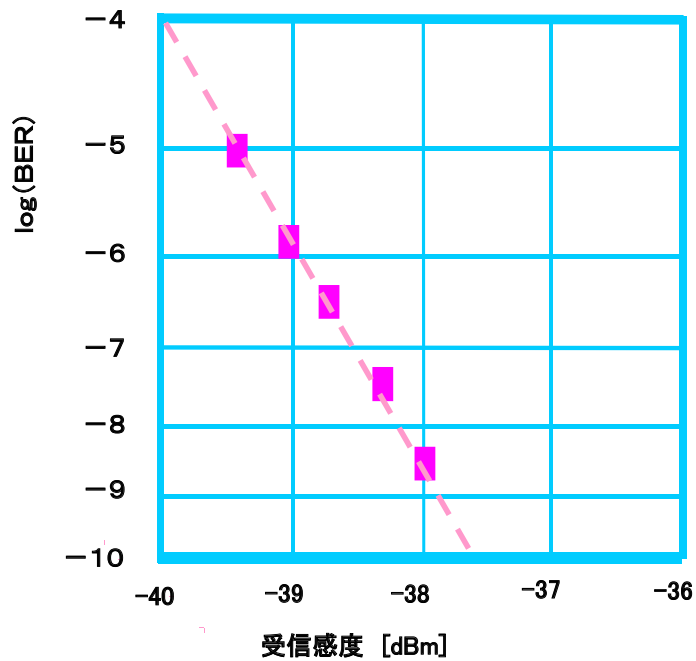


図 5 受信感度特性

## 6 むすび

以上により FTTH のメディアコンバータ方式に適合した小型の 1 芯 WDM トランシーバを開発し、最小受信感度 $-37.6$  dBm を得ました。

インターネットアクセスのブロードバンド化は今後数年にわたり伸びていくことが予想されています。伝送容量 100 Mbps を提供する FTTH サービスは次世代の良質なコンテンツを生み出していく基盤となることでしょう。今後も急速に進化していく通信機器分野において更なる開発を進めてまいります。