

XG-PON光トランシーバ

石飛聡志*
三田大介**

Optical Transceiver for XG-PON System

Satoshi Ishitobi, Daisuke Mita

要旨

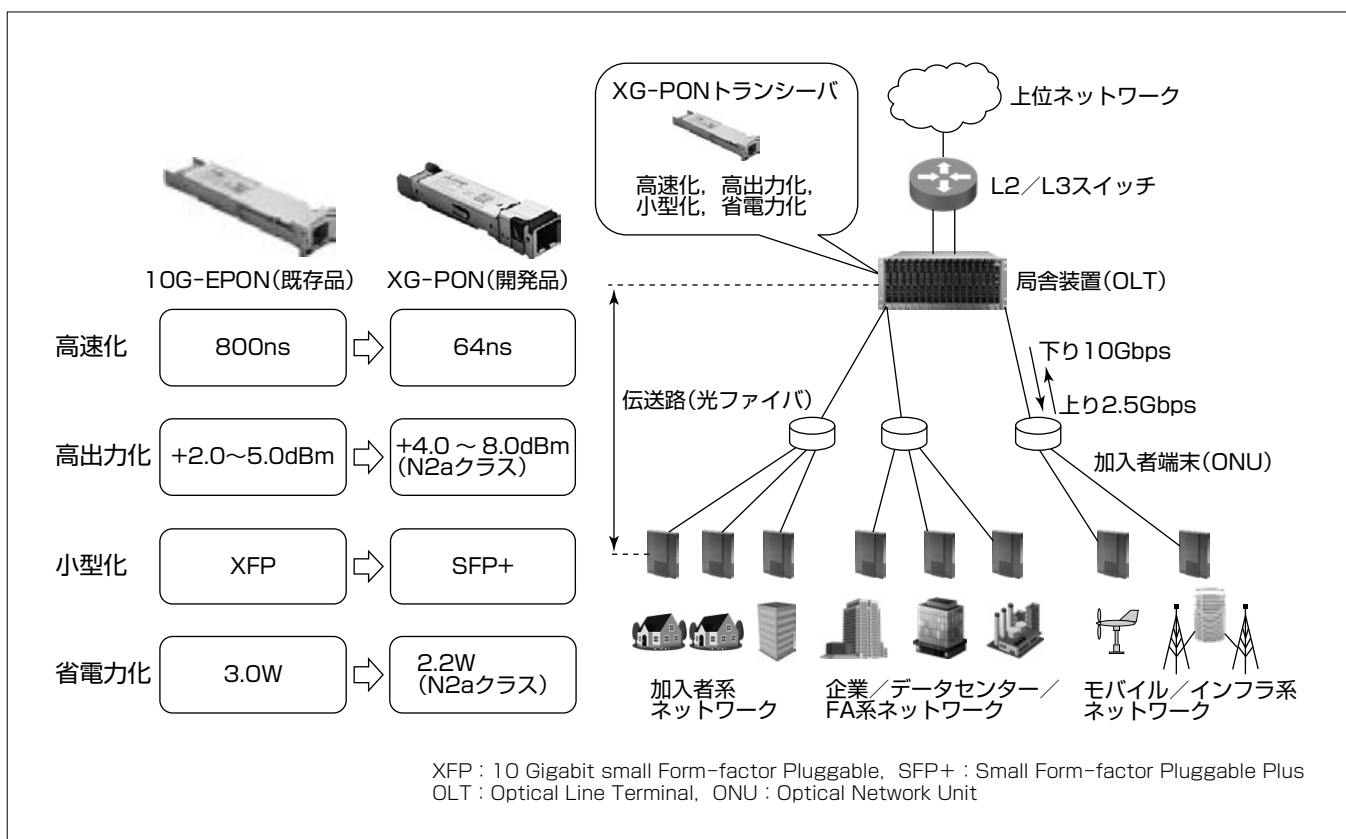
快適な社会の実現に向けて、光通信ネットワークには、フルハイビジョンの約4倍の解像度を持つ4Kの超高精細映像配信などを可能とする広帯域化が期待されている。既に国内のFTTH(Fiber To The Home)システムでは伝送速度を従来の10倍とする10Gbpsクラスの10G-EPON(10Gigabit-Ethernet Passive Optical Network)⁽¹⁾の導入が始まっている。また、海外では中国・北米を中心にXG-PON(10Gigabit capable PON)⁽²⁾が普及しつつある。広帯域なネットワークサービスを効率的に提供するため、システムに用いる光トランシーバには、高速化、高出力化、小型化、省電力化が求められている。

三菱電機では、高速化要求に対応するため、同期引込み時間(プリアンブル)64ns、同符号連続耐力72bitを満足するICを

開発⁽³⁾し、国際規格ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector) G987.2⁽⁴⁾に準拠する性能を得た。高出力化については、国際規格ITU-T G987.2 N2aクラスをターゲットとし、高光出力時にも伝送ペナルティを抑制するために光送信素子の制御方法を最適化した。

小型化については、基板構成、回路方式を見直し、SFP+サイズ(64.7×13.4×8.5(mm))に必要な機能を実装した。また、楕形(くしがた)放熱構造の採用によって温度上昇を抑制し、消費電力2.2W(N2a仕様)を達成した。

これらの取組みによって、高速、高出力、小型、省電力を特長とするXG-PON光トランシーバを実現した。



XG-PON光トランシーバ

中国・北米を中心に採用されている伝送速度10GbpsクラスのXG-PONシステム用光トランシーバを開発した。この製品は、高速な同期引込み性能、ITU-T G987.2 N2aクラスの高い光出力、SFP+サイズ、2.2Wの省電力を特長とし、広帯域ネットワークの効率化に貢献する。

1. ま え が き

フルハイビジョンの約4倍の解像度を持つ4Kの超高精細映像配信などに対応するため、光通信ネットワークの広帯域化の要求が高まっている。既に国内のFTTHシステムでは伝送速度を従来の10倍とする10Gbpsクラスの10G-EPON⁽¹⁾の導入が始まっている。また、海外のFTTHシステムでは、中国・北米を中心にXG-PON⁽²⁾が普及しつつある。

FTTHシステムの局内装置(OLT)では、複数の加入者端末(ONU)からバースト的に入力されるパケットを高速に再生するための応答速度と、同符号が連続する入力信号に対して受信特性を満足する必要がある。また、ファイバの伝送損失、OLTの冗長化に用いる光スイッチ等の損失を補うため、光トランシーバにはより一層の高出力化が求められている。ネットワークサービスを効率的に提供するためには、OLT当たりの収容ユーザー数を増やすことが望ましく、光トランシーバには小型化、省電力化も要求されている。

これらの高速化、高出力化、小型化、省電力化の要求に対応する光トランシーバを開発した。

2. 光トランシーバの主要諸元

今回開発したSFP+サイズのXG-PON光トランシーバの外観を図1に、主要諸元を表1に示す。標準的な光出力性能を持つ国際規格ITU-T G987.2 N1クラスと、高出力性能を実現したN2aクラス⁽⁴⁾の2品種を開発した。

本稿ではN2aクラスの光トランシーバを中心に述べる。



図1. SFP+サイズのXG-PON光トランシーバ

表1. 主要諸元

項目	仕様(N1)	仕様(N2a)
動作温度	0~70℃	
電源電圧	3.13~3.47V	
消費電力	2.0W以下	2.2W以下
光送信特性	光強度	2.0~6.0dBm
	中心波長	1,575~1,580nm
	消光比	8.2dB以上
	伝送ペナルティ	1.0dB以下
光受信特性	受信感度	-27.5~-7.0dBm
	プリアンプ	64ns
外形	SFP+	
寸法(W×L×H)	64.7×13.4×8.5(mm)	
光コネクタ	SC	

3. 光トランシーバの性能

3.1 高速化(受信部)

3.1.1 バースト光受信器構成

OLTに用いるXG-PON光トランシーバは、バースト光受信器と光送信器から構成される。図2に、バースト光受信器のブロック図を示す。バースト光受信器は、光-電流変換素子であるAPD(Avalanche Photo-Diode)、主要な受信特性を決定するバーストプリアンプIC、波形整形を行うバースト2R(Reshaping, Regenerating)-ICで構成する。

3.1.2 課題

FTTHシステムでは、複数の加入者端末から光強度が異なるパケット信号がバースト的にOLTに送信される。バースト光受信器では、プリアンプとして規定された時間内に、信号の振幅を一定にして、同期引込みを完了する必要がある。プリアンプは、従来の10G-EPONでは800ns以下であったが、XG-PONでは64ns以下と規定されている。バースト光受信器では、高速にパケット信号に同期すること、すなわち応答速度を高速化することが求められている。一方で、パケット内のペイロードには一定の確率で0又は1が連続するため、安定な通信のためには同符号連続耐力を確保しなければならない。XG-PONでは、同符号連続耐力は72bit以上と規定されている。

応答速度の高速化を優先して設計した場合、72bitの0連続をパケットの間の無信号区間と誤判断し、信号を適切に再生できなくなる。したがって、トレードオフの関係がある高速応答と同符号連続耐力を考慮した設計が必要となる。

3.1.3 自己検出利得固定機能

高速応答と同符号連続耐力を両立させるため、パケット開始時はTIA(Trans-Impedance Amplifier)の利得を高速に制御し、収束完了後に利得を固定させる自己検出利得固定機能を開発することにした。この機能はバーストプリアンプIC⁽³⁾に実装した。

図3に、自己検出利得固定機能タイミングチャートを示す。初めに光信号①の入力を契機に外部からリセット信号②を入力し、各回路を初期化する。その後、TIAの出力強

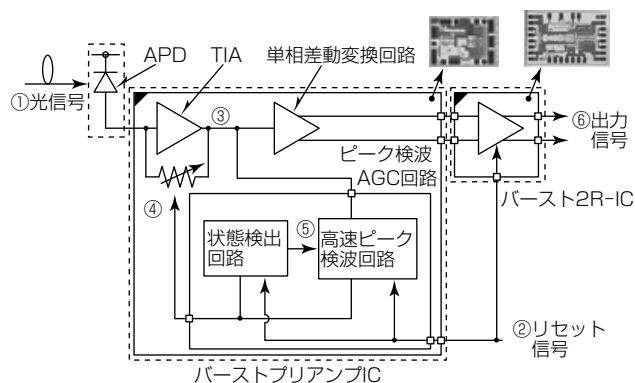


図2. バースト光受信器のブロック図

度を高速ピーク検波回路で検出する。高速ピーク検波回路の出力であるAGC(Auto Gain Control)信号④を用いてTIA内部の可変帰還抵抗を制御し、TIAの出力振幅が所定値となるようにTIAの利得を高速にフィードバックする。このため、プリアンプの開始から短時間で一定値に収束し、光信号①を適切に受信することができるようになる。

次に、状態検出回路では、AGC信号④の変化を監視し、フィードバック動作の収束を自己検知後に、利得を固定する。利得固定以降は、同符号が連続する信号が入力されても利得が一定に保持されるため、0符号連続をプリアンプと誤って利得を急変してしまうことがなくなり、光信号①を適切に再生する。

3.1.4 受信特性

図4に、光トランシーバのバースト信号に対する応答波形とBER(Bit Error Rate)特性を示す。信号パッケージは、64nsの10交番信号によるプリアンプとPRBS(Pseudo Random Bit Sequence) 2²³-1及び72bitの同符号連続データを組み合わせたペイロードで構成した。また、直前パッケージは、システム規格上の最大光強度である-9dBmとし、パッケージの先頭で外部からリセット信号を入力した。応答速度(同期に要する時間)の実測値は20nsであり、プリアンプ規格64nsを満足した。また、同符号連続72bitを持つペイロードに対して、最小受信感度-32.5dBm

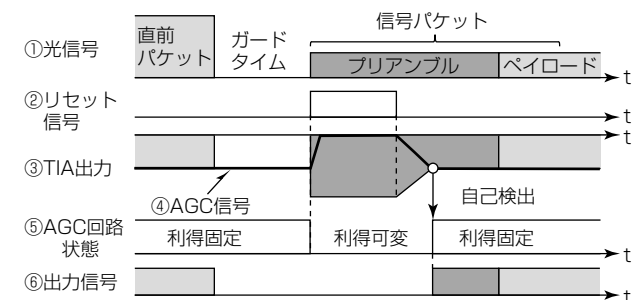


図3. 自己検出利得固定機能タイミングチャート

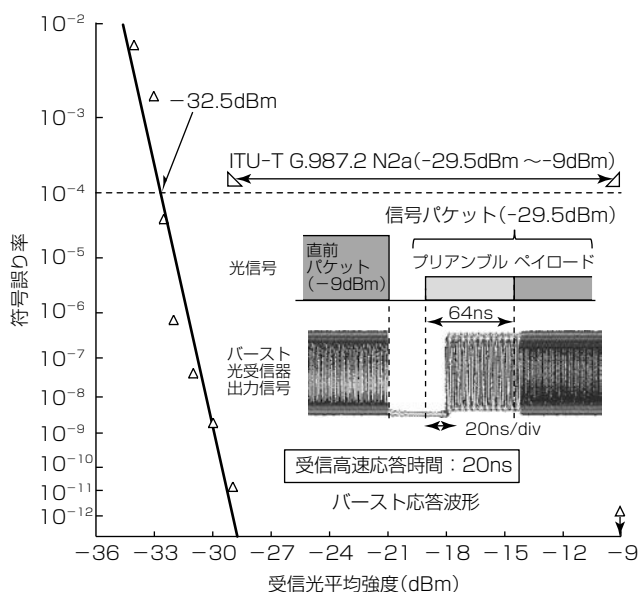


図4. バースト応答波形とBER特性

(BER = 10⁻⁴), 最大受信感度-9dBm(BER < 10⁻¹²)が得られ、ITU-T G.987.2 N2aクラスに要求される受信感度の規格(-29.5~-9dBm)を満足した。

3.2 高出力化(送信部)

サービス提供範囲を広げるための長尺の光ファイバ、装置冗長を実現するための光スイッチやカプラの挿入損失を許容するため、光トランシーバには一層の高出力化が求められている。光送信素子には、光トランシーバの光強度を高めると、スペクトル幅が広がるという特徴があり、光ファイバ伝送後の波形が劣化する。波形の劣化量を受信性能の劣化量として表現したものを伝送ペナルティという。光強度と伝送ペナルティはトレードオフの関係にあり、両者の値を決定する光送信素子の駆動電圧を最適化することで、高い光強度時の伝送ペナルティを抑制した。

図5に伝送ペナルティの試験系、図6に伝送ペナルティの特性を示す。光強度6.0dBmで、伝送ペナルティは0.4dB以下になり、国際規格ITU-T G.987.2 N2aクラスに要求される送信性能を満足する結果が得られた。

3.3 小型化

システムの高密度化のために光トランシーバのサイズをSFP+サイズ(64.7×13.4×8.5(mm))とすることが求められている。SFP+サイズは、従来のXFPサイズ(87.0×18.4×8.5(mm))の約50%の容積に相当する。限られた容

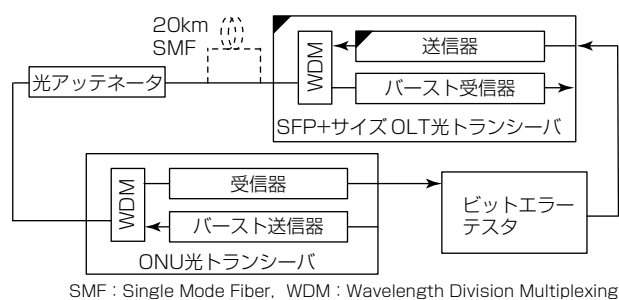


図5. 伝送ペナルティの試験系

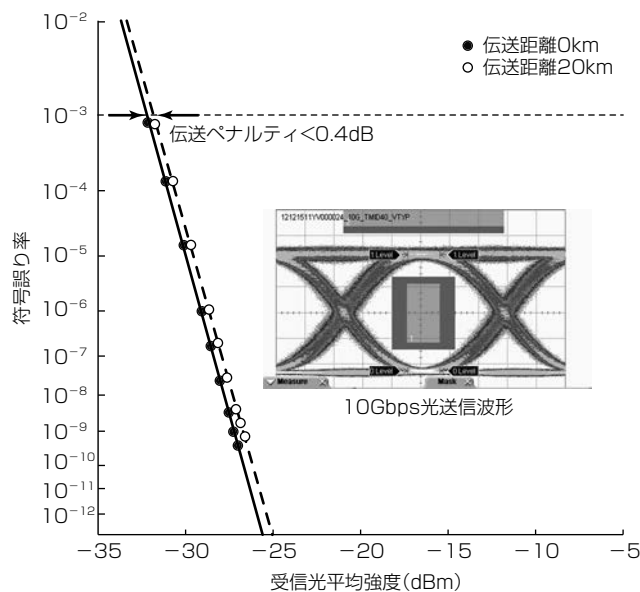


図6. 伝送ペナルティの特性

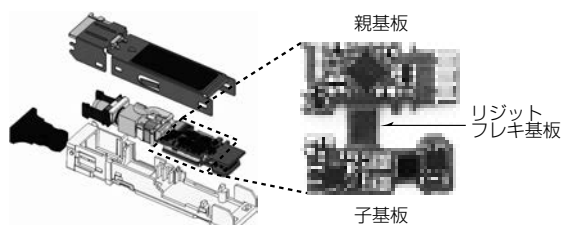


図7. リジットフレキシ基板を適用した光トランシーバ

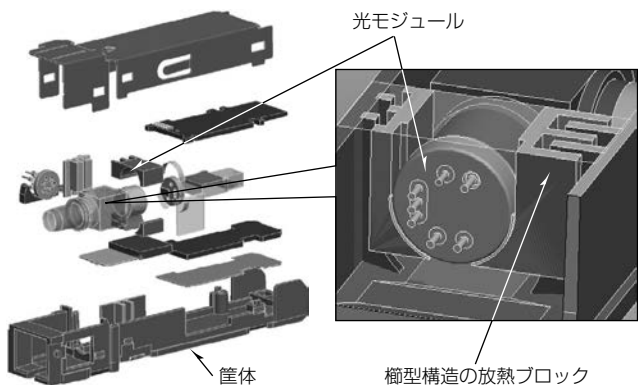


図8. 楯型構造の放熱ブロック

積に必要な回路を実装するため、部品実装面積の確保と回路の小型化の両面から検討した。

部品実装面積を確保するため、図7に示すようにXFPでは1枚であった基板を、親基板と子基板の2枚構成とし、基板間をリジットフレキシ基板で接続した。低背部品の採用、親・子基板の実装部品が干渉しない部品配置によって、2枚の基板を狭い間隔で重ねることができた。

また、次に代表される方策によって部品点数を20%削減することで回路の小型化を実現した。

(1) ソフトウェア化

従来はトランジスタ、OPアンプ、チップ抵抗等計10点のハードウェアで構成していた定電流源回路を抵抗2点とソフトウェア制御で簡素化

(2) 部品共用化

電源デカップリングコンデンサの共通化

3.4 省電力化

3.4.1 自社製バースト受信IC

従来機種ではバーストプリアンプICとバースト2R-ICの消費電力は、0.75Wを占めていた。今回開発した2種類のICに次の施策を適用することによって、IC合計の消費電力を0.75Wから0.40Wに低減した。

(1) バーストプリアンプIC

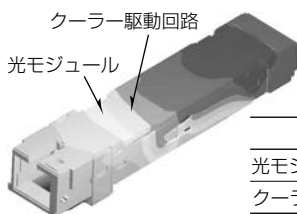
出力部に消費電力が小さくなる回路方式の採用

(2) バースト2R-IC

消費電力を抑制するよう利得を最適化

3.4.2 放熱構造

光トランシーバの小型化、省電力化で、放熱構造が重要である。小型化に伴い筐体(きょうたい)の表面積が小さくなるため、放熱効果が低下し、内部の温度が筐体表面温度



	シミュレーション	実測
光モジュール	3.26°C	3.00°C
クーラー駆動回路	9.06°C	8.20°C

図9. 楯型構造の放熱ブロックを用いた温度上昇のシミュレーション及び実測結果

より上昇する。このとき光モジュール内部の光送信素子の温度を下げるようにクーラー素子が働くため、消費電力が増加するという悪循環が生じる。一方、放熱構造を改善し、光モジュールの温度上昇を従来の10°Cから5°C以下に改善できれば、0.06Wの省電力化が見込める。

光モジュールの寸法にはばらつきがあるため、光モジュールの放熱ブロックを直接光トランシーバ筐体に接触させて放熱効率を高めることは難しい。このため、図8に示すように放熱ブロックを筐体と互い違いに噛み合う突起形状(楯形状)にすることで、放熱面積を増やし、同時に光モジュールの寸法公差を吸収できるよう設計した。

楯型構造の放熱ブロックを用いた光トランシーバの温度上昇のシミュレーションと実測の比較を図9に示す。実測はシミュレーションとよく一致しており、高温度時の光送信素子の温度上昇は3.00°Cに抑制された。このように楯型構造の適用によって、消費電力を0.07W削減できた。

4. むすび

高速、高出力、小型、省電力を特長とするSFP+サイズXG-PON光トランシーバを開発した。高速化は独自の自己検出利得固定機能を実装した専用ICによって、高出力化は光送信素子の制御方法の最適化によって実現した。また、基板構成、回路方式の見直し、楯形放熱構造の採用によって、SFP+サイズで消費電力2.2Wの小型・省電力化を達成した。このトランシーバは広帯域ネットワークサービスの提供に寄与する。

参考文献

- (1) Yoshima, S., et al.: Latest progress of burst-mode transceiver for 10G-EPON, ECOC2012, Tu.1.B.3 (2012)
- (2) Kim, J., et al.: XG-PON1 OLT transceiver with a single-chip burst-mode receiver, CLEO/IQEC/PACIFIC RIM 2011, 1323~1324 (2011)
- (3) Mita, D., et al.: 2.5Gbit/s burst-mode receiver with rapid response and high tolerance to CIDs for PON systems, Electron. Lett., 51, No.15, 1180~1182 (2015)
- (4) XG-PON1, ITU-T Recommendation G.987 Series (2010)