



85℃高温動作80km伝送用 11.1Gbit/s プラガブル光リンク(XFP)の開発

濱島 康宏*・井上 真吾・日野 正登
大坪 和敏・鈴木 信也・乙部 健二

Development of 11.1Gbit/s Pluggable Optical Link Enabling 80km Transmission at 85°C — by Yasuhiro Hamajima, Shingo Inoue, Masato Hino, Kazutoshi Otsubo, Shinya Suzuki and Kenji Otobe — The authors have successfully developed an XFP (10Gbit/s small form factor pluggable) transceiver module, which satisfies all of the requirements by XFP multi source agreement (MSA) at -5 to 85°C. The power dissipation of the newly developed XFP is around 3.0W and 20% lower than the conventional XFP. Furthermore, this module can reach up to 80km (1600ps/nm) at 11.1Gbit/s. We believe that this module will contribute to reduction in the size and cost of transmission equipment.

Keywords: XFP, LR2, E-temp, 11.1Gbit/s, long haul, low power dissipation

1. 緒言

近年、情報通信のデータ量の増大により幹線系に使用される伝送装置の高ビットレート化やWDM (Wavelength Division Multiplexing) 化が急速に進められている。これら伝送装置にはXFP (10Gbit/s Small Form Factor Pluggable) 等のプラガブル光リンクが搭載されたボードが複数枚搭載されている。データ量を増大させるために、1装置あたりのボード枚数を増やすか、ボードあたりのプラガブルモジュールの搭載数を増やす方法が行われる。このため、装置の熱設計の観点から使用されるXFPには低消費電力化や高温動作化が要求される。

今回、我々はこれら要求に適合した85℃、11.1Gbit/sで動作する80km (1600ps/nm) 伝送用XFP LR2/10GBASE-ZRの開発および製品化に成功した。

本稿では、XFPのMSA規格⁽¹⁾の3.5W以下で85℃動作を可能にした低消費電力化設計と開発したプラガブル光リンク(XFP)の特性について報告する。

2. 開発した光リンクの構成と諸元

2-1 主要諸元 開発した11.1Gbit/sXFP光リンクの主要諸元を表1に示す。本製品は動作温度範囲-5～85℃、標準シングルモードファイバにて80km (分散量で1600ps/nm)、11.1Gbit/sまでの伝送を可能とするモジュールである。光電気特性はMSAで定められているTELCORDIA GR-253-CORE⁽²⁾に準拠し、規定されていない11.1Gbit/sは顧客要求の特性を開発目標とした。高温(85℃)になると消費電力が増加してくるが、消費電力3.5W以下を目標とした。距離(分散量)が長くなり、ビットレートが上がるほど光受信部の最小受信感度や分散ペナルティは劣化する傾向にある。11.1Gbit/sでの目標受信感

表1 主要諸元

動作ケース温度	-5～85℃	
外形寸法	78.0mm×18.35mm×8.5mm (12.2cm ³ , MSA準拠)	
電気インターフェース	30ピンコネクタ (MSA準拠)	
伝送速度	9.95/10.3/10.7/11.1Gbit/s	
光送信部	光送信デバイス	EA変調器レーザ
	中心波長	1530～1565nm
	光出力パワー	0～4dBm
	光出力波形	TELCORDIA GR-253-CORE準拠
	消光比	9dB
	ジッタジェネレーション	100mUIpp/10mUIrms
	ジッタトランスファ	TELCORDIA GR-253-CORE準拠
伝送路	伝送路	SMF (1.3μm 零分散シングルモードファイバ; G.652)
	残留分散値	0～1600ps/nm
光受信部	受光デバイス	APD
	受信感度	-24.0dBm (9.95Gbit/s) -23.5dBm (11.1Gbit/s)
	分散ペナルティ	2dB (9.95Gbit/s) 3dB (11.1Gbit/s)
	オーバーロード	-7dBm
	ジッタトレランス	TELCORDIA GR-253-CORE準拠
電源	+3.3V, +5V	
消費電力	3.5W	

度は-23.5dBm以下、分散ペナルティは3dB以下とした。

図1にブロックダイアグラムを示す。本光リンクは、光送信部、光受信部及び制御部の3つの部分より構成される。

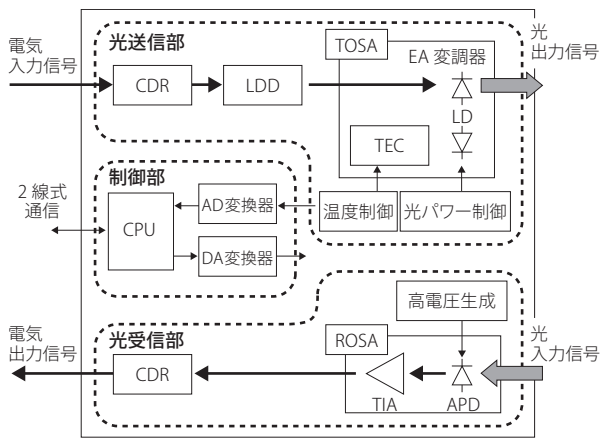


図1 ブロックダイアグラム

2-2 内部構成1 光送信部 光送信部は①電気信号を光信号に変換するTOSA (Transmitter Optical Sub-Assembly)、②電気の入力信号を受けて再生するCDR (Clock and Data Recovery)、③電気信号の振幅を増幅するLDD (Laser Diode Driver)、④LDの駆動電流を制御する光パワー制御回路、⑤TOSA内のLD (Laser Diode) 温度の制御を行う温度制御回路の5つの部分により構成されている。

電気信号を光信号に変換するTOSAは、-5～85℃の温度、11.1Gbit/sまで動作する80km伝送用のEA変調器レーザ (EML: Electro-Absorption Modulator Integrated Laser Diode) を搭載し、XMD-MSAに準拠したものを開発した(写真1)。TOSAケース内にはLDおよびEA変調器やTEC (Thermoelectric Cooler) が内蔵されており、フランジで支えられフレキシブル基板により信号線路がXFP本体の基板と接続される⁽³⁾。

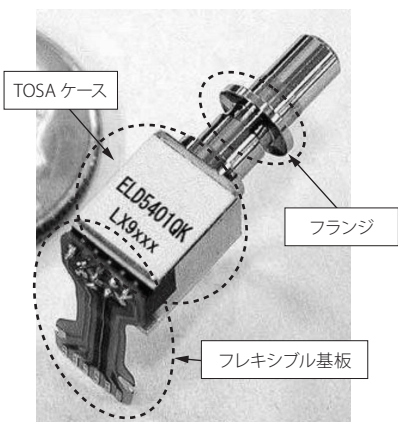


写真1 TOSA外形

2-3 内部構成2 光受信部 光受信部は①光信号を電気信号に変換するROSA (Receiver Optical Sub-Assembly)、②電気の入力信号を受けて再生するCDR、③APD (Avalanche Photodiode)⁽³⁾のバイアス電圧を制御するために高電圧を生成する高電圧生成回路の3つの部分により構成されている。

光信号を電気信号に変換するROSAはInGaAs APD フォトダイオードを内蔵しており、XMD-MSAに準拠したものを開発した(写真2)。中心のROSAケースにはAPDとTIA (Transimpedance Amplifier) が内蔵されており、フランジで支えられフレキシブル基板によりXFP本体の基板と接続される。

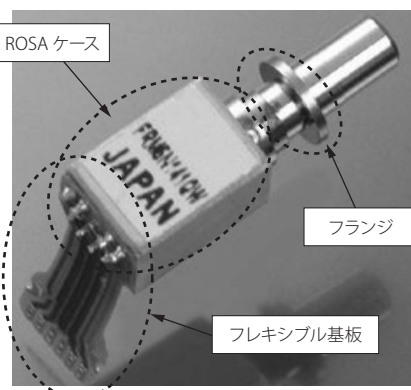


写真2 ROSA外形

2-4 内部構成3 制御部 制御部のブロックダイアグラムを図2に示す。制御部は①モジュールの温度や受信部に入力される光パワーなどの動作状況をモニタしているAD (Analog-Digital) 変換器、②EA変調器駆動電圧やレーザ駆動電流などの制御を行っているDA (Digital-Analog) 変換器、③AD/DA変換器やモジュール全体の動作を監視しているCPUの3つの部分から構成される。また、

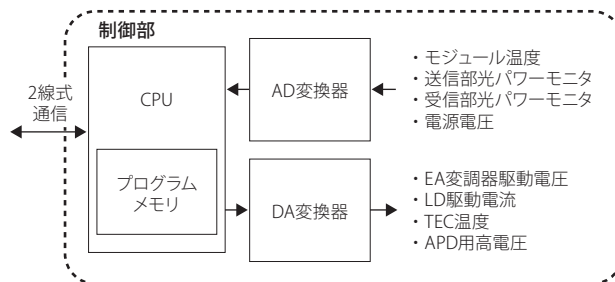


図2 制御部のブロックダイアグラム

CPUは2線式通信機能（2-wire serial interface）により外部との通信を行うことができ、モジュール外部から内部の動作確認、異常検知、固体識別や各種機能のコントロールを行っている。

3. 低消費電力設計

3-1 従来技術を用いた場合のXFPの消費電力 図3に従来技術を用いた設計時の消費電力見積りを示す。XFPのケース温度が高温になるとLD温度を一定に保つためにTECが冷却素子として働き、TEC電流が上昇する。逆にケース温度が低温になると、TECは加熱素子として働き、TEC電流を増大させる。LDの表面温度とXFPのケース温度との温度差が大きいほど、TEC電流は多くの電流が流れるために消費電力が増加する。このため85℃で動作させる場合は、従来の75℃動作と比べ0.8Wも消費電力が増大する。温度変化による消費電力の増大はTECの消費電力変化が最も影響していることが分かる。85℃の消費電力は合計4.0Wになり、同様規格の3.5Wよりも大きくなる結果になった。

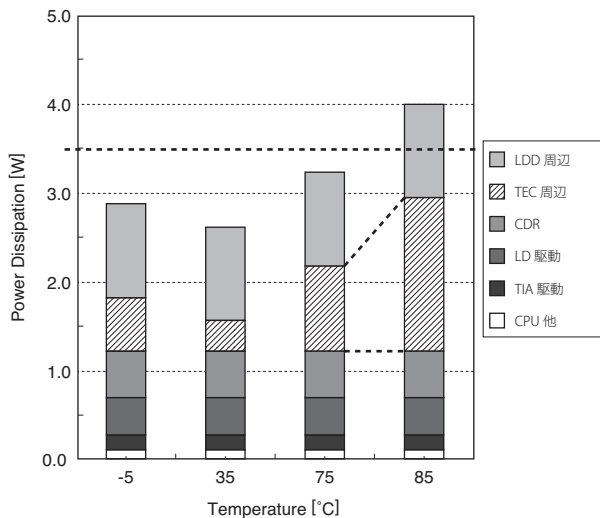


図3 従来技術を用いた場合のXFPの消費電力

実際にはTECの冷却能力に制限があり、これを超えるとLDの発熱を吸収することができなくなる。この場合はLDの表面温度が上昇し、注入電流の増加、さらに発熱する熱暴走モードに入ることになる。よってLDの消費電力を減らすことが重要になる。

TEC周辺部以外にもEA変調器、LDD部や、CDRなど消費電力が大きい回路があり、これらの低消費電力化も必須である。

3-2 新たに開発した低消費電力XFP 今回開発したXFPは下記（1）～（4）を行うことで低消費電力化を実現した。

- (1) TEC (Thermo Electric Cooler) 周辺での低消費電力化。85℃で0.6W削減。
 - ① 新規に開発した高効率LDを採用し、従来よりも約30%の注入電流を削減した。これによりチップの発熱量が下がるためTECの消費電力が下がる。
 - ② TEC駆動回路の高効率化。
 - ③ 高効率DC/DCコンバータ（電圧変換器）を効果的に使用。
 - ④ 低電圧の安定化電源を作り、部品への印加電圧を抑制。
- (2) LDD周辺での低消費電力化。85℃で0.3W削減。
 - ① LDバイアス回路への給電方法の見直し。
 - ② 低電圧駆動のEML-LDDを採用。
- (3) 低消費電力のCDR-ICを採用。85℃で0.2W削減。
- (4) TIAの電源電圧を最適化。85℃で0.1W削減。

図4に今回新規に設計したXFPの消費電力を示す。従来技術で支配的なTEC周辺やLD駆動回路の消費電力は、新規設計品のTEC周辺では85℃で0.6W、LDD周辺では0.3Wを削減する見積りとなっている。

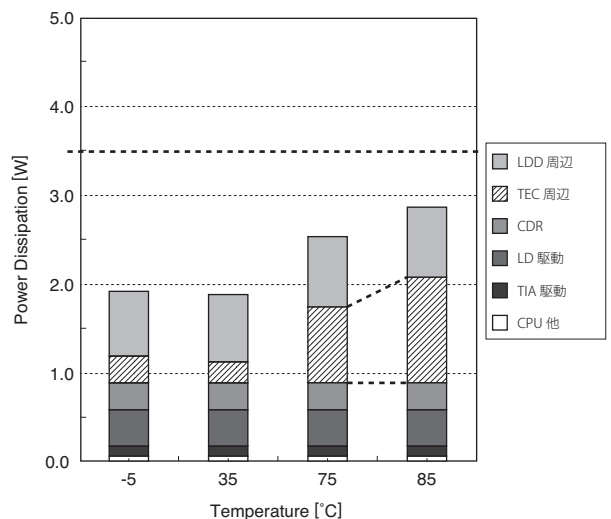


図4 新たに設計したXFP消費電力

4. 諸特性

4-1 消費電力 図5に開発したXFPモジュール全体の消費電力を示す。消費電力は温度35℃で1.9W、75℃で2.6W、85℃で2.9Wとなり、設計どおりの消費電力で実現できており、規格の3.5W以下を達成できた。

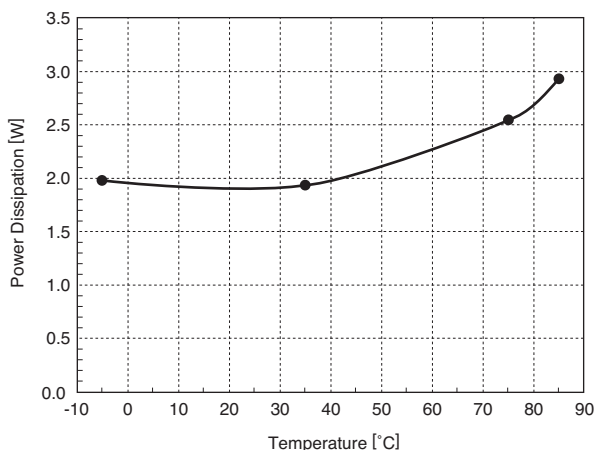


図5 XFPモジュールの消費電力

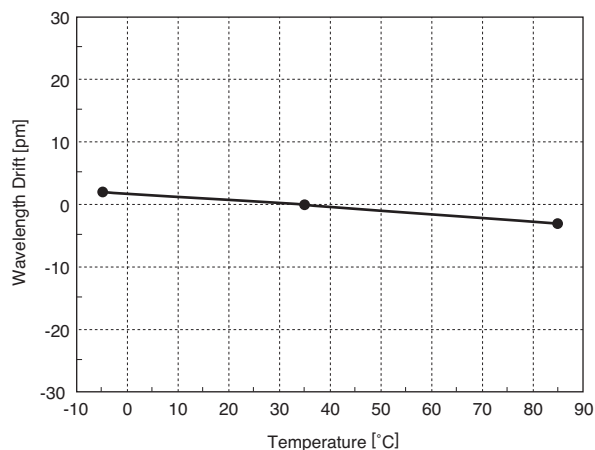


図7 光波長安定度

4-2 光出力波形 図6にフィルタ透過後の1600ps/nm伝送前後の光出力波形を示す。伝送前の波形(図の上段)は、GR-253-COREで規定されるマスクパターンを満足しており、マージン10%以上を確保することができた。伝送後の波形(図の下段)は11.1Gbit/sでも開口しており1600ps/nm伝送が可能であることを示している。Tx側のオフセット電圧Voを深くすると伝送後の波形は0(ゼロ)レベルの信号が下がるため開口し伝送特性が良くなるが伝送前の波形は開口が狭くなる。逆にオフセット電圧Voを浅くすると伝送後の波形は0(ゼロ)レベルの信号が上がるため開口が狭くなり、伝送前の波形は開口が広がる。伝送前と伝送後の波形はトレードオフとなっており、オフセット電圧Voを最適化した。

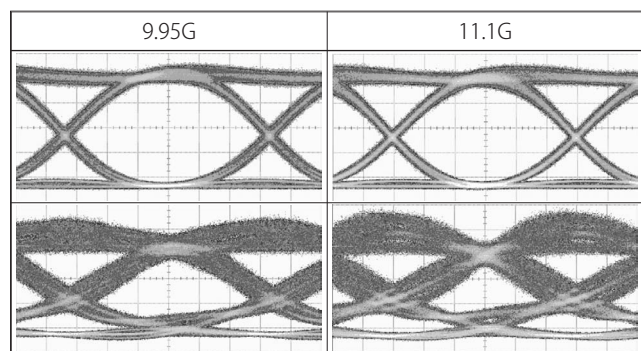


図6 伝送前後の光出力波形 (35°C, PRBS31)

精密な波長制御を実現しており、今後DWDM用途への拡張が可能である。

4-4 伝送特性 光受信側の特性として図8に9.95Gbit/s、35°Cケース温度でのBER(Bit Error Rate)グラフを示す。規格-24dBmに対して十分に余裕があり、1600ps/nm伝送時の分散ペナルティはほぼ0dBと良好な特性が得られた。

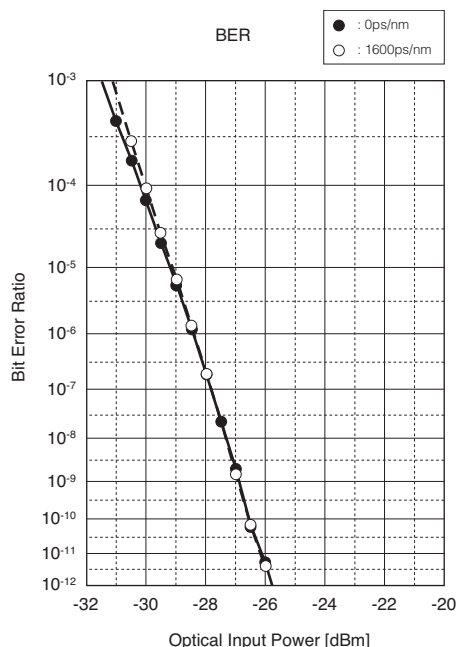


図8 伝送特性 (35°C, 9.95Gbit/s, PRBS31)

4-3 光波長安定度 図7に光波長の安定度を示す。動作ケース温度範囲(-5~85°C)において±25pm以内の

図9に最少受信感度の温度特性を示す。高温1600ps/nm伝送時に約0.8dBの受信感度劣化が確認されたが、温度特性は十分に低い結果が得られた。これはTIAの閾値電圧やAPDの駆動電圧を温度に対し受信感度が最小になるよう最適化しているためである。

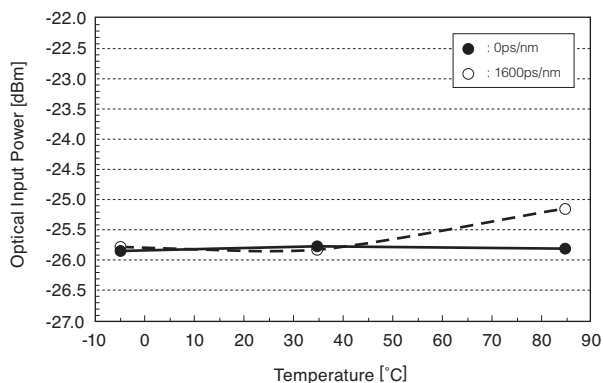


図9 受信感度の温度特性 (9.95Gbit/s, PRBS31)

図10にファイバ分散値と分散ペナルティのビットレート依存性を示す。分散量が増えると、またビットレートが高くなると分散ペナルティは悪化するが、11.1Gbit/s、1600ps/nmまで分散ペナルティは2dB以下の良好な特性を確認することができた。

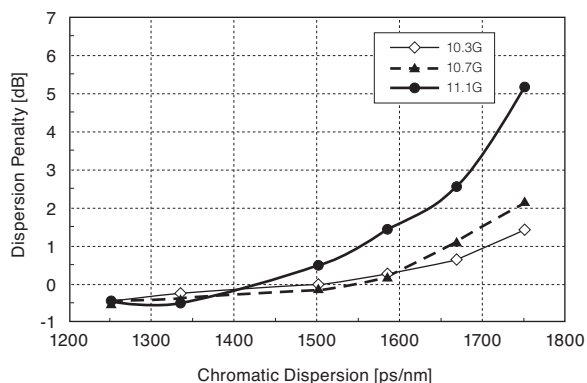


図10 ファイバ分散値と分散ペナルティ

4-5 ジッタトレランス 図11にジッタトレランス特性を示す。GR-253-COREの要求に適合している。

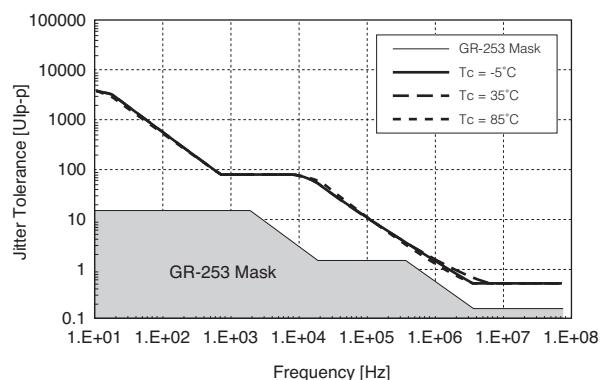


図11 ジッタトレランス特性

5. 結 言

新規に開発したTOSAの採用および新たに回路を設計することで85°Cにて3.5W以下の消費電力を実現し11.1Gbit/sで動作する80km(1600ps/nm)伝送用XFP LR2/10GBASE-ZRの開発および製品化に成功した。本製品を用いることで伝送装置のボードあたりのXFP数量を効果的に増やすことが可能になり、現在加速している情報量増大のニーズに対応できると考えられる。

用語集

※1 WDM

Wavelength Division Multiplexing (波長分割多重方式) : 波長毎に異なる信号を変調し、1本のファイバに結合させる。

※2 XFP

10 Gigabit Small Form Factor Pluggable : 活栓挿抜可能な10Gbit/s対応光トランシーバ。

※3 MSA

Multi-Source Agreement : モジュールサプライヤ各社が、外部仕様を共通化するための協定。

※4 TOSA

Transmitter Optical Sub-Assembly : 発光素子と光ファイバとを容易に光学結合させることができるレセプタクルタイプのモジュール。

※5 CDR

Clock Data Recovery : シリアル伝送システムの受信側において、シリアル信号に織り込まれているクロック成分を再生し、それで信号を再同期させることによって、元の信

号を回復させること、またはその回路要素。GbEでは8B/10B符号によって、SONET/SDHではスクランブル処理によって、ある程度値が変化するシリアル信号になっている。CDRの特性としては、同値連続への耐性や、ジッタ耐性が重要である。さらに、PONの上りにおいてはバースト信号になるので、同期時間も重要になる。

※6 LD

Laser Diode (半導体レーザー)。

※7 ROSA

Receiver Optical Sub-Assembly : 受光素子と光ファイバとを容易に光学結合させることができるレセプタクルタイプのモジュール。

※8 APD

Avalanche Photo Diode (エーピーディー/アバランシフォトダイオード/アバランチフォトダイオード) : ブレークダウン電圧に近い大きな逆バイアス電圧(数十~200V)が印加された半導体のp-n接合において、吸収光子によって生成された正孔-電子のペアが電界による加速を受けて伝搬する際にイオンと衝突することにより正孔-電子のペアを追加生成し加速度的に電流が増大するなだれ(アバランシ)現象を示す。このアバランシ増倍現象を利用して、光信号を増幅する能力をもった光受信モジュールの高感度化に有利な受光素子の総称。

※9 TIA

Trans-impedance amplifier (トランスインピーダンス・アンプ) : フォトダイオードなどの微小電流信号を増幅するためには、入力バイアス電流が少なく、入力オフセット電圧やドリフトも小さなアンプを用いてI-V変換するのが一般的。その際に多く用いられている回路方式は、反転アンプの入力にフォトダイオードを直接入力するトランスインピーダンスと呼ばれる方式。

※10 DWDM

Dense Wavelength Division Multiplexing (高密度波長多重伝送) : 高密度波長分割多重。1.6nmもしくは0.8nm、0.4nm間隔で波長多重する方式。多重波長数は、16~160程度。幹線系の高性能なWDMシステムに利用される。

※11 BER

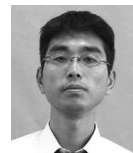
Bit Error Rate (ビット誤り率)。

参 考 文 献 -----

- (1) SFF Committee, "10 Gigabit Small Form Factor Pluggable (XFP) Transceiver MultiSource Agreement (MSA)", Revision4.0, p1-183 (April 13, 2004)
- (2) International Telecommunication Union, "ITU-T G.693 and Telcordia GR-253 Specifications"
- (3) K.Morito, "Penalty-Free 10Gb/s NRZ Transmission over100km of Standard Fiber at 1.55um with a Blue-Chirp Modulator Integrated DFB Laser", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL.8, NO.3, p431-433 (MARCH, 1996)

執 筆 者 -----

濱島 康宏* : 伝送デバイス研究所
機能モジュール研究部
光ネットワーク用光トランシーバ開発に
従事



井上 真吾 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
日野 正登 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
大坪 和敏 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主査
鈴木 信也 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主査
乙部 健二 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
グループ長

*主執筆者