



FDDI マルチモードファイバー対応 10GBASE-LRM 用 X2 光トランシーバの開発

稲野 滋*・神 杉 秀 昭・加 藤 考 利
 船田 知之・高 木 敏 男・熊 谷 安紀子
 佐伯 智哉・田 中 康 祐・沖 和 重
 松元 健 悟・藤 村 康・石 橋 博 人
 倉 島 宏 実

Development of 10G BASE-LRM X2 Transceiver for FDDI Multimode Fiber Application — by Shigeru Inano, Hideaki Kamisugi, Takatoshi Kato, Tomoyuki Funada, Toshio Takagi, Akiko Kumagai, Tomoya Saeki, Yasuhiro Tanaka, Kazushige Oki, Kengo Matsumoto, Yasushi Fujimura, Hiroto Ishibashi and Hiromi Kurashima — Sumitomo Electric has developed new X2 transceiver SDX4101LM. This transceiver is compliant to the IEEE802.2aq (10GBASE-LRM) standard which may allow FDDI multimode fiber networks built in the 1980s to achieve 10Gbit/sec. In order to meet the standard, the transceiver employs not only 10Gbit/sec optical devices, but also the electronic dispersion compensation (EDC) technology for compensating degradation due to mode dispersion on MMF. This transceiver may cause a paradigm shift of optical communication networks and exhaustively expands 10Gbit/sec optical fiber networks.

1. 緒 言

基幹網に限られてきた 10Gbit/sec の大容量伝送技術が、2001 年以降、XENPAK や X2、XFP 等の活栓挿抜可能なプラグ光トランシーバ採用のシステムの登場により、光ネットワークへ浸透しつつある。

当社では各種 10Gbit/sec 対応の光トランシーバを開発してきたが⁽¹⁾、⁽²⁾、⁽³⁾、今回 SDX4101LM X2 光トランシーバの開発に成功したので報告する。SDX4101LM は IEEE 標準化委員会にて新たに策定された。1980 年代に敷設した FDDI (Fiber-Distributed Data Interface) グレードのマルチモードファイバー (MMF) を 10Gbit/sec にアップグレードする伝送仕様 10GBASE-LRM を満足するものである。

ことで既設の FDDI グレードの MMF、220m をカバーする新しい伝送標準である。

2-1 電子式分散補償 (EDC) 既設の FDDI グレードの MMF は図 1 に示すように、その当時の製法からファイバの断面方向に屈折率が一律でない領域が存在し、その伝送帯域は 160MHz・km である。

この MMF で 10Gbit/sec を伝送した場合、帯域不足のため、220m の伝送は達成できない。そこで、今回 IEEE 標準化委員会では MMF への標準化の新しい概念として EDC 技術を採用し、LRM を策定した。EDC はファイバで発生す

2. 10GBASE-LRM (IEEE802.3aq)

従来、10Gbit/sec の MMF 用の光伝送仕様は、IEEE 802.3ae に仕様化されている以下の二種類であった。

「10GBASE-SR」は 850nm 帯を用い、既設の MMF では伝送距離が 26m と極端に短かった。

「10GBASE-LX4」は 1.3μm 帯の信号を用い、すべての MMF で 300m の伝送は可能であるが、4 波 CWDM の応用による光部分のコスト高のため、MMF の 10Gbit/sec へのアップグレードの障害となってきた。

そこで、IEEE802.3aq で新たに策定された仕様が、「10GBASE-LRM」(以下、LRM) である。電子式分散補償 (Electronic Dispersion Compensation、以下 EDC) を用いる

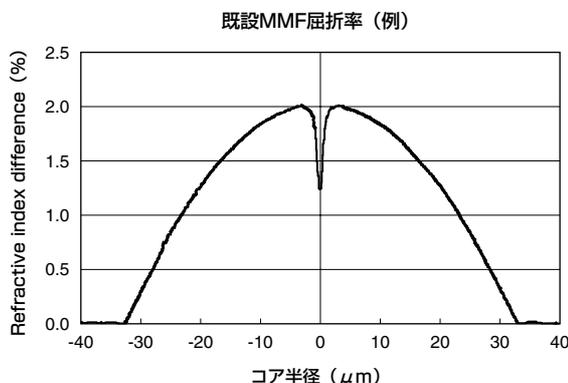


図 1 FDDI グレード MMF 屈折率分布⁽⁴⁾ (例)

るモード分散などによる波形変化（劣化）を補償する技術であるが、本来ファイバ内で発生する劣化はベクトルであり、受光素子によりスカラー量に変換された部分でのEDCで補償できる範囲は限られる。しかしながら、信号伝送の品質を改善する誤り訂正符号（FEC：Forward Error Correction）に比べ符号の付加が不要であり、大規模な信号処理が不要であることから、SMFでの超長距離伝送を前提に検討が続けられてきた。

既設のFDDIグレードMMFの伝送では10Gbit/secの信号が伝送された場合、モード分散により伝送信号は劣化する。LRMではこのモード分散に対応するパルス応答を伝送時のストレス条件として図2に示すようにPre-cursor, Post-cursor, Symmetricの三種類に分類し、伝送特性の標準化が行われた。

図3に標準化で検討されたEDCの基本構成を示す。LRMの仕様策定には、標準化としてFFE（feed-forward equalizer）及びDFE（decision feedback equalizer）を用いた帯域補償と判別補償を行い、伝送を確保する提案が行われ、既設MMFの品質を勘案したFFE及びDFEの必要補償値が策定された。

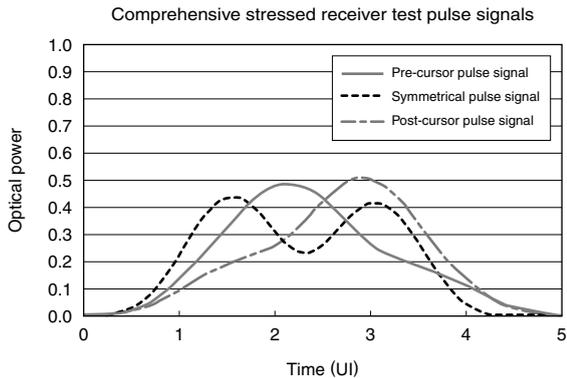


図2 MMFでのパルス応答

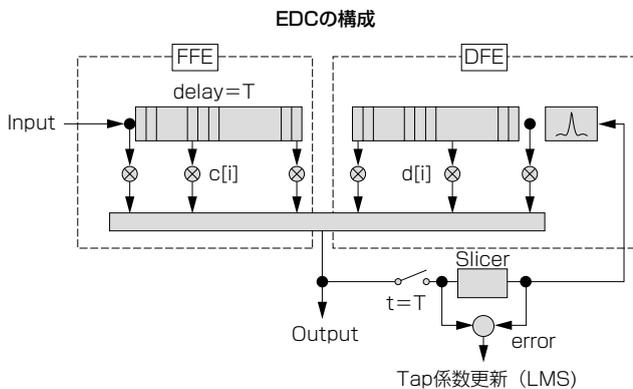


図3 標準化過程で検討されたEDCの基本構成

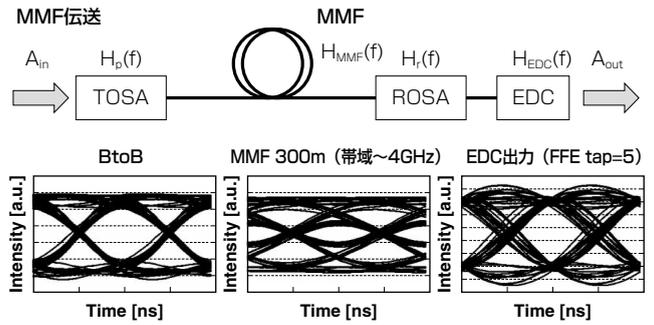


図4 EDCのアイパターンでの効果

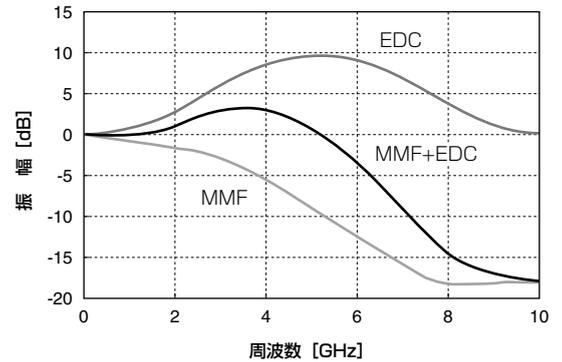


図5 EDCの小信号的な効果

EDCのアイパターン、小信号的な効果の概念を図4、図5に示す。

標準化ではEDCはアナログイコライザが基本とされたが、デジタルプロセッシング技術を用いた最尤判定法等も検討されている⁽⁵⁾。

2-2 TWDP TDWP (Transmitter waveform and dispersion penalty) とは上記FFE/DFEで補償可能な量を推測する二値変調のタイムスロット中心での必要補償量を規定したLRMで新しく採用された指標である。

TWDPはIEEE802.3内で擬似ランダム9段（511ビット）の波形データから計算することが標準化されている⁽⁶⁾。

2-3 パワーバジェット 以上の伝送特性の検討から最終的に決定されたLRMの伝送特性を規定するパワーバジェットを図6に示す。

なお、当初標準化の目標は伝送距離300mであったが、既設MMFの品質、補償可能範囲からのパワーバジェットの限界から220mに短縮され、確定された。

3. LRM 準拋光トランシーバ

開発したSDX4101LM X2光トランシーバの主要緒元を表1に、ブロックダイアグラムを図7に示す。

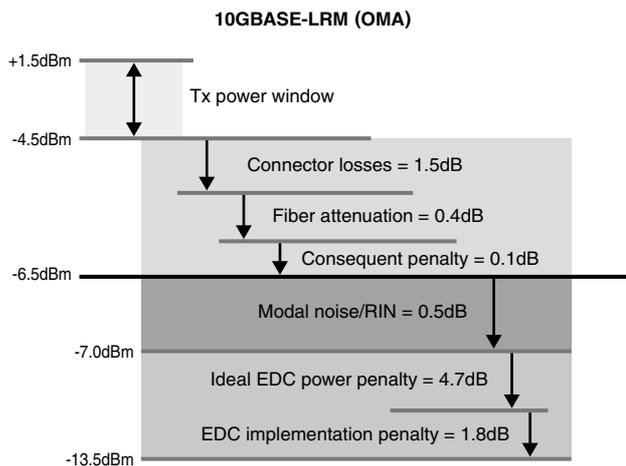


図6 パワーバジェット

表1 主要緒元

動作ケース温度	0 ~ 70℃	
外形寸法	36 × 78 × 11mm (31cc)	
電気インターフェース	XAUI (3.125Gbit/sec X4 レーン)	
光伝送速度	10.3125Gbit/sec ± 100ppm	
光送信部	光送信デバイス	FP レーザー
	中心波長	1260-1355nm
	光出力パワー (OMA)	-4.5 ~ +1.5dBm
	光出力波形	IEEE802.3aq 準拠
	TWDP	4.7dB 以下
光受信部	受光デバイス	PIN-PD
	受信ダイナミックレンジ	-13.5 ~ +1.5dBm
電源電圧	1.25V/3.3V	
消費電力	4W 以下	

3-1 構成 本光トランシーバは、物理層を処理する LAN-PHY 部、制御部、光送信部、及び光受信部から構成される。

電気入出力は 3.125Gbit/sec × 4 レーンの平行インターフェース (XAUI) であり、LAN-PHY 部で 10.3125Gbit/sec のシリアル信号に変換される。制御部はマイクロコントローラシステムを搭載し、光出力を一定にするため LD の制御、光入力監視、また、上位のネットワーク機器が MDIO シリアル通信を使用して光送受信パワーなど光トランシーバの動作状態を監視できるように、DOM (Digital Optical Monitoring) 機能を構成している。

3-2 光送信部 光送信部は光送信サブアセンブリ (TOSA) とその駆動制御部から構成される。写真1に光トランシーバの光出力波形を示す。

10Gbps 対応の FP-LD (Fabry Perot Laser Diode) を用いた TOSA は既報⁽³⁾ に示された技術を用い開発したものである。

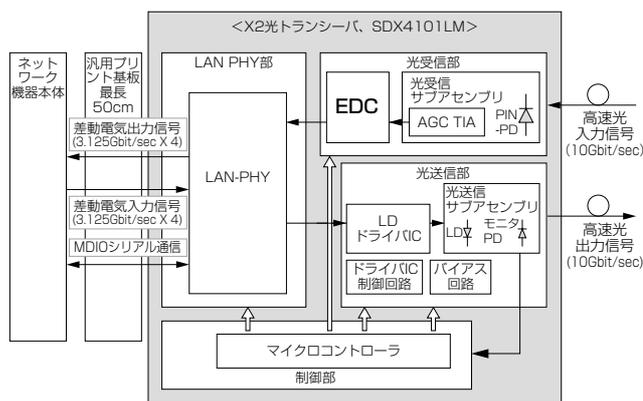


図7 ブロックダイアグラム

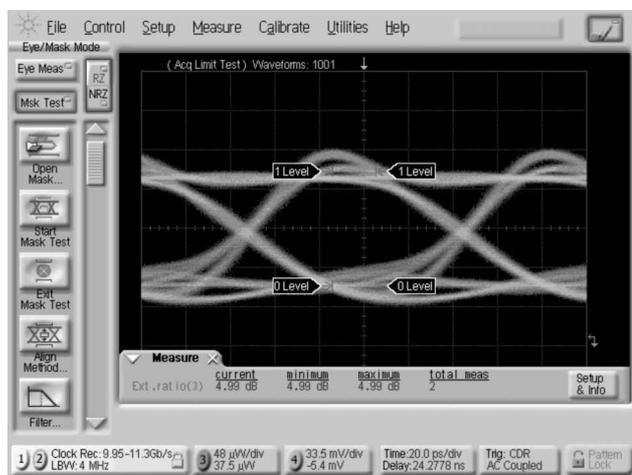


写真1 光トランシーバの光出力波形

3-3 光受信部 光受信部は、光受信サブアセンブリ (ROSA) と EDC から構成される。

従来の光受信部では信号雑音比で定義される最小受信感度と電気回路の飽和/非線形特性で定義される最大入力感度で受光ダイナミックレンジは決定されているが、本光トランシーバの受信部ではパワーバジェットで示された範囲で伝送され劣化した光信号の忠実な EDC への入力が必要とされるため AGC (オートゲインコントロール) 特性で受信ダイナミックレンジが定義される。ROSA の入出力特性を図8に示す。受光ダイナミックレンジ内での歪み特性、群遅延特性は制御され、波形を補償する EDC へ入力される。

写真2に LRM の模擬ストレス条件下での光入力波形を示す。

LRM で規定されたストレス条件下での符号誤り率グラフは図9に示され、仕様を満足している。

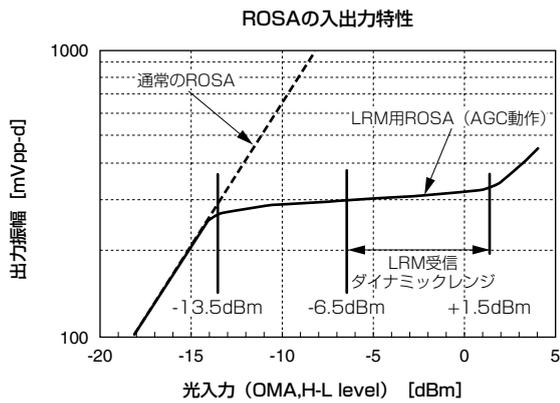


図8 ROSA入出力特性

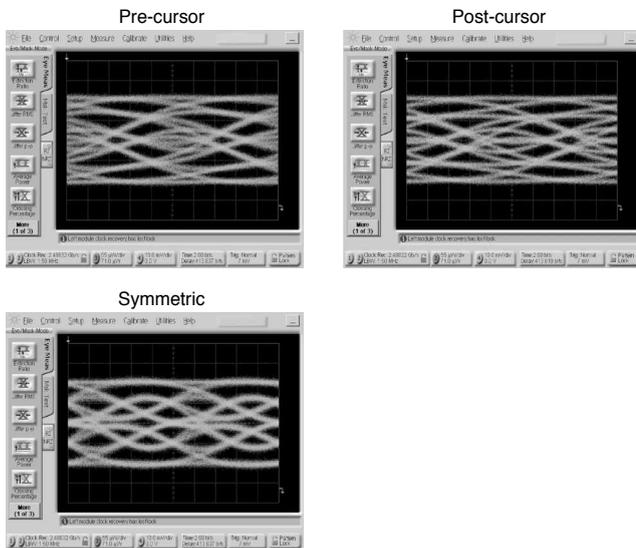


写真2 ストレス状態の光入力

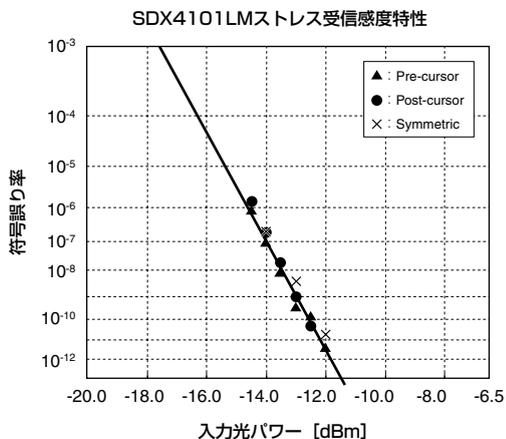


図9 ストレス化での符号誤り率

4. 結 言

本記事では、10Gbit/secの新仕様であるLRMを満足するSDX4101LM X2光トランシーバを紹介した。

この光トランシーバは光デバイス、伝送線路の特性を電氣的に補償する新しい概念を導入したものであり、既設の光ファイバ網を10Gbit/secにアップグレード可能にし、大容量ネットワークがいたるところで活用できる光通信ネットワークの大きな変革点である。

参 考 文 献

- (1) 松元他、「長距離版10Gbpsトランスポンダモジュールの開発」、SEIテクニカルレビュー No.161 (Sept.2002)
- (2) 日高他、「中距離10GbpsXFP トランシーバの開発」、SEIテクニカルレビューNo.165 (Sept, 2004)
- (3) 船田他、「10Gigabit Ethernet 用X2 光トランシーバの開発」、SEIテクニカルレビューNo.168、(Mar, 2006)
- (4) 試料提供 Ali Ghiasi (Broadcom Corporation)
- (5) Agazzi他「Maximum-Likelihood Sequence Estimation in Dispersive Optical Channels」J. Lightw.Technol., p.749-763, VOL. 23, NO. 2, FEB (2005)
- (6) <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/aq/public/tools/TWDP/TWDPfinite.m>

執 筆 者

- 稲野 滋* : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 プロジェクトリーダー
- 神杉 秀昭 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 主査
- 加藤 考利 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 主査 博士(工学)
- 船田 知之 : 光伝送デバイス事業部 開発部 主席
- 高木 敏男 : 光伝送デバイス事業部 光デバイス技術部 主査
- 熊谷安紀子 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部
- 佐伯 智哉 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部
- 田中 康祐 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
- 沖 和重 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
- 松元 健悟 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 グループ長
- 藤村 康 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部 主席
- 石橋 博人 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 グループ長
- 倉島 宏実 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 グループ長

*主執筆者