



43/112Gbit/s 用光トランシーバの開発

津村英志*・中本亮一・大江英輝
 松井 崇・河西慎太・沖 和重
 二見 竜太郎・大森弘貴・田中康祐
 田中弘巳・松元健悟・倉島宏実
 石橋博人

Development of 43/112 Gbit/s Optical Transceiver Modules — by Eiji Tsumura, Ryoichi Nakamoto, Hideki Ooe, Takashi Matsui, Shinta Kasai, Kazushige Oki, Ryutaro Futami, Hirotaka Oomori, Yasuhiro Tanaka, Hiromi Tanaka, Kengo Matsumoto, Hiromi Kurashima and Hiroto Ishibashi — The authors have successfully developed optical transceiver modules operating at 43 Gbit/s and 112 Gbit/s. They are compliant with the ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) standard and the CFP MSA (Centum gigabit Form factor Pluggable Multi-Source Agreement) specification and they showed excellent performance with lower power consumption by leveraging in-house optical devices, ICs, and optical subassemblies. This paper describes the outline of optical transceiver development and evaluation result.

Keywords: optical transceiver, ITU-T, CFP MSA, 43 Gbit/s, 112 Gbit/s

1. 緒 言

新興国市場における通信ネットワークへのアクセス人口の爆発的増大に加え、高性能モバイル機器の普及に伴うアクセス1回あたりのデータ量増加により、情報通信トラフィック量の増大は留まるところを知らない。この市場要求に応えるべく、光伝送装置の大容量化が進められる中、従来の伝送速度 10Gbit/s の次世代伝送速度となる 40Gbit/s 及び 100Gbit/s 伝送仕様の標準化が、ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector: 国際電気通信連合の一部門) 及び IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers: 米国電気電子学会) で開始され、2009年9月にITU-Tでの標準化が、また、2010年6月にはIEEEでの標準化が完了した^{(1)~(3)}。

上述の伝送仕様標準化と並行し、光伝送装置に用いられる光信号と電気信号の変換を受け持つ活線挿抜可能な光送受信トランシーバ(以下、光トランシーバ)の業界共通仕様の策定が、CFP MSA (Centum gigabit Form factor Pluggable Multi-Source Agreement) により進められ、2009年3月に業界共通仕様が公開された⁽⁴⁾。

そこで、筆者らは、当社関連部門で開発した光素子及びICを搭載した光モジュールを活用し、43Gbit/s用及び112Gbit/s用光トランシーバを開発したので報告する。なお、開発した光トランシーバは、ITU-T規格、IEEE規格、CFP MSA仕様に適合した設計となっているが、本稿では、ITU-T規格及びCFP MSA仕様への適合性につい

てのみ報告する。

2. ITU-T及びIEEEインタフェース規格概要

ITU-Tインタフェース規格概要を表1に、IEEEインタフェース規格概要を表2に示す。IEEEでは、シングルモードファイバ(SMF)だけでなく、マルチモードファイバ(MMF)を媒体としたインタフェースについても規定されている。

表1 ITU-Tインタフェース規格概要

規格名称	C4S1-2D1	4I1-9D1F	4L1-9C1F
伝送速度	43Gbit/s	112Gbit/s	
伝送距離	10km	10km	40km
光ファイバ	SMF		
光波長	1300nm 4波長 CWDM	1300nm 4波長 LAN WDM	
光信号 伝送速度	波長当たり 10.75Gbit/s	波長当たり 28Gbit/s	
電気信号 伝送速度	10.75Gbit/s (4チャンネル)	11.2Gbit/s (10チャンネル)	

表2 IEEE インターフェース規格概要

シングルモードファイバインターフェース			
規格名称	40GBASE-LR4	100GBASE-LR4	100GBASE-ER4
伝送速度	41.25Gbit/s	103.13Gbit/s	
伝送距離	10km	10km	40km
光ファイバ	SMF		
光波長	1300nm 4波長 CWDM	1300nm 4波長 LAN WDM	
光信号 伝送速度	波長当たり 10.31Gbit/s	波長当たり 25.78Gbit/s	
電気信号 伝送速度	10.31Gbit/s (4チャンネル)	10.31Gbit/s (10チャンネル)	
マルチモードファイバインターフェース			
規格名称	40GBASE-SR4	100GBASE-SR10	
伝送速度	41.25Gbit/s	103.13Gbit/s	
伝送距離	100m		
光ファイバ	MMF リボン		
光波長	850nm 4レーンパラレル	850nm 10レーンパラレル	
光信号 伝送速度	レーン当たり 10.31Gbit/s		
電気信号 伝送速度	10.31Gbit/s (4チャンネル)	10.31Gbit/s (10チャンネル)	

3. CFP 光トランシーバ外観及び概要

開発したCFP光トランシーバの外観を図1に示す。CFP光トランシーバは、148ピン電気コネクタを有し、12対の10Gbit/s電気信号を入出力することが可能である。光コネクタは、用途に応じてSC2芯、LC2芯、MTP12芯、MTP24芯の4種類に対応可能となっている。消費電力は4つのクラス (< 8W, < 16W, < 24W, < 32W) に区分されており、光伝送装置側で消費電力クラスに応じた放熱設計が行われる。

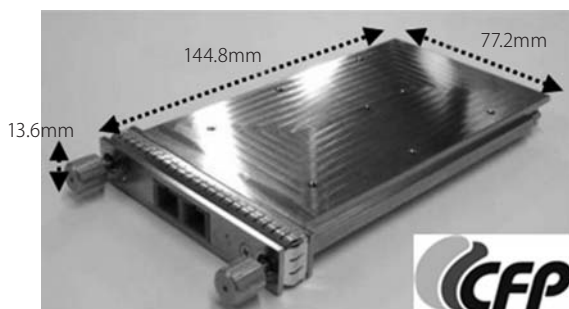


図1 CFP光トランシーバ外観図

4. 43Gbit/s光トランシーバ概要

4-1 機能と構成 43Gbit/s光トランシーバのブロック図を図2に示す。光トランシーバは、光合波器、光分波器、4つの光送信部、4つの光受信部、クロック・データ再生ICと通信・制御部等の回路を搭載した実装基板、及び電気コネクタ等の他の部品で構成され、これらの部品が筐体に収納されている。

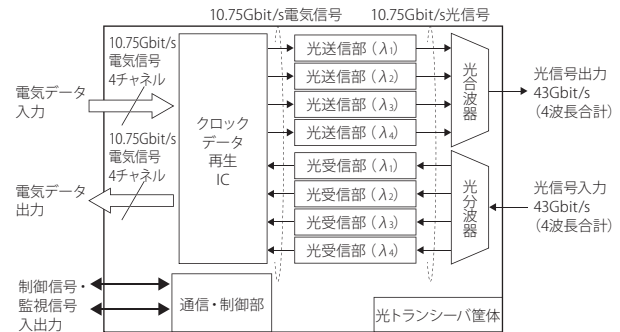


図2 43Gbit/s光トランシーバブロック図

光送信部（光送信モジュール）及び光受信部（光受信モジュール）には、既存の10Gbit/s用モジュールを活用し、これら光の入出力部を光合波器及び光分波器と接続することで、ITU-T仕様で定められた4波長の光信号の合・分波機能を実現した。

光送信モジュールには、ITU-Tで定められた波長の10.75Gbit/s光信号を生成する分布帰還型レーザダイオード（以下、DFB-LD）が搭載され、光受信モジュールには、入力された10.75Gbit/sの光信号を電気信号に変換するフォトダイオードとその出力を増幅する前置増幅器ICが搭載されている。

5. 43Gbit/s光トランシーバ主要諸元及び諸特性

5-1 主要諸元 43Gbit/s光トランシーバ開発主要諸元を表3に示す。

5-2 光送信特性 光出力波形（波長1271nm）を図3に示す。伝送速度10.75Gbit/sにおける消光比は、全温度範囲で7dB以上、ITU-Tで規定された光アイマスクに対するマージン率も全温度範囲で35%以上であり、良好な特性を示している。

5-3 光受信特性 波長1271nmにおける光受信誤り率特性を図4に示す。誤り率 10^{-12} で規定した最小受信感度は、全温度範囲で-15dBm以下であり、ITU-Tで定められた最小受信感度-10.8dBmに対し十分なマージンを有している。また、オーバーロード（光大入力耐性）についても、仕様の2.3dBmに対し、十分なマージンを有している。

表3 43Gbit/s光トランシーバ開発主要諸元

	最小	最大	単位	
動作温度	0	70	℃	
電源電圧	3.2	3.4	V	
消費電力	—	8	W	
光送信特性				
光波長	λ_1	1264.5	1277.5	nm
	λ_2	1284.5	1297.5	nm
	λ_3	1304.5	1317.5	nm
	λ_4	1324.5	1337.5	nm
光出力平均値	-2.3	2.3	dBm	
消光比	4.5	—	dB	
光アイマスク	ITU-T G.959.1			
光受信特性				
最小受信感度	—	-10.8	dBm	
オーバーロード	2.3	—	dBm	

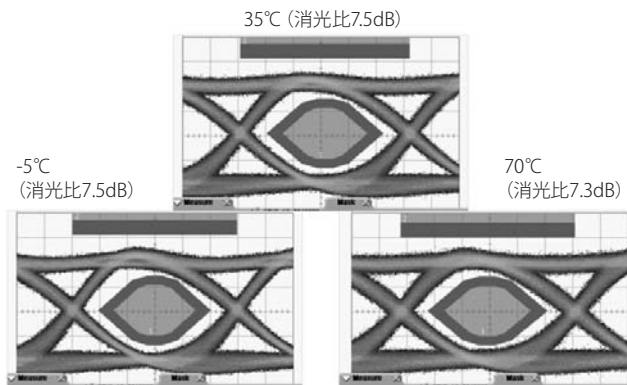


図3 光出力波形 (10.75Gbit/s、1271nm)

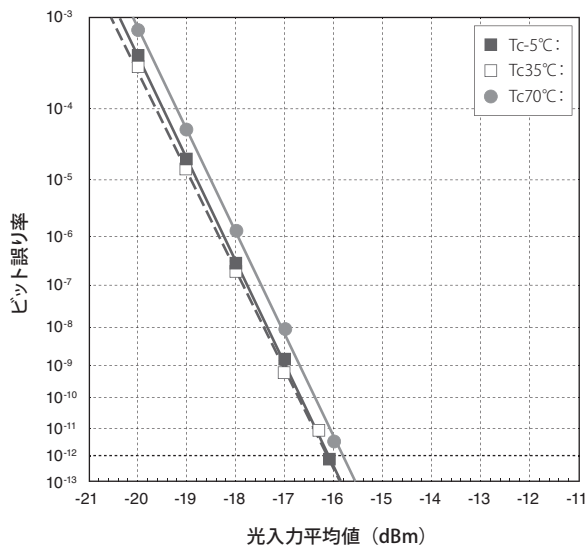


図4 光受信誤り率特性 (10.75Gbit/s、1271nm)

5-4 その他諸特性 光トランシーバの消費電力は、5.2W (-5℃)、5.5W (35℃)、6.0W (70℃) と仕様の8Wに対し十分なマージンを持っている。

その他、CFP MSAにて規定された諸特性、制御・監視機能についても仕様を満足している。

6. 112Gbit/s光トランシーバ概要

6-1 機能と構成 112Gbit/s光トランシーバのブロック図を図5に示す。光トランシーバは、光合波器、光分波器、4つの光送信部、4つの光受信部、多重・分離ICと通信・制御部等の回路を搭載した実装基板、及び電気コネクタ等のその他部品で構成され、これらの部品が筐体に収納されている。

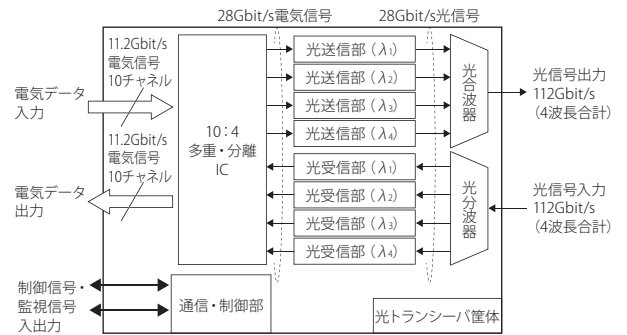


図5 112Gbit/s光トランシーバブロック図

6-2 28Gbit/s光送信部 (光送信モジュール)⁽⁵⁾ 28Gbit/s光送信モジュールの外観を写真1に示す。モジュールには、高周波入力及び電源・制御用の計18本のピンが備え付けられており、フレキシブル基板を介して多重・分離ICを搭載した実装基板に接続される。パッケージサイズは、フレキシブル基板を除き24.2mm×5.8mm×5.6mmである。



写真1 28Gbit/s光送信モジュール外観

モジュールは、入力された28Gbit/sの電気信号を所望の振幅に増幅する駆動IC、その出力に接続され、ITU-T仕様で定められた波長の28Gbit/s光信号を生成する電界吸収型光変調器集積レーザダイオード（以下、EA-DFB）、及びEA-DFBの温度を一定に保つための温調素子で構成される。駆動ICの製造プロセスに、超高速、大振幅動作に適した社内製のInP DHBT（燐化インジウム ダブルヘテロ型バイポーラトランジスタ）プロセス（ $f_t = 150\text{GHz}$, $f_{\text{max}} = 200\text{GHz}$ ）を採用することにより、電源電圧-5.2Vでの消費電力が約1.1Wと低消費電力化を実現している。

6-3 28Gbit/s光受信部（光受信モジュール） 28Gbit/s光受信モジュールの外観を写真2に示す。モジュールには、高周波出力及び電源用の計8本のピンが備え付けられており、フレキシブル基板を介して多重・分離ICを搭載した実装基板に接続される。パッケージサイズは、フレキシブル基板を除き13.9mm×5.6mm×5.6mmである。モジュールは、入力された28Gbit/sの光信号を電気信号に変換するフォトダイオードとその出力を増幅する前置増幅器ICで構成される。前置増幅器ICの製造プロセスに、駆動ICと同じInP DHBTプロセスを採用することで、小信号帯域20GHz、トランスインピーダンス1.5kΩと28Gbit/s動作に十分な性能を電源電圧3.3V、約0.3Wの消費電力で実現している。



写真2 28Gbit/s光受信モジュール外観

6-4 その他 光合波器及び光分波器は、ITU-T仕様で定められた4波長の光信号を合波または分波する光モジュールである。

10：4多重・分離ICは、10チャンネルの11.2Gbit/s電気信号を4チャンネルの28Gbit/s電気信号に変換する信号多重化部と4チャンネルの28Gbit/s電気信号を10チャンネルの11.2Gbit/s電気信号に変換する信号分離部により構成されるICである。

7. 112Gbit/s光トランシーバ主要諸元及び諸特性

7-1 主要諸元 112Gbit/s光トランシーバ開発主要諸元を表4に示す。

表4 112Gbit/s光トランシーバ開発主要諸元

	最小	最大	単位	
動作温度	0	70	°C	
電源電圧	3.2	3.4	V	
消費電力	—	24	W	
光送信特性				
光波長	λ_1	1294.53	1296.59	nm
	λ_2	1299.02	1301.09	nm
	λ_3	1303.54	1305.63	nm
	λ_4	1308.09	1310.19	nm
光出力平均値	-2.5	2.9	dBm	
消光比	7	—	dB	
光アイマスク	ITU-T G.959.1			
光受信特性				
最小受信感度	—	-10.3	dBm	
オーバーロード	2.9	—	dBm	

(12年2月発行ITU-T規格を参照)

7-2 光送信特性 光送信特性のうち、光送信スペクトルを図6に光出力波形を図7に示す。

光送信スペクトルは、4波長を重ね合わせ表示している。いずれの波長もITU-Tで定められた波長グリッドに適合し、かつ、隣接波長とのアイソレーション等、その他の特性についても良好な特性を示している。

光出力波形は、波長1300nmの光波形を示している。伝送速度27.95Gbit/sにおける消光比は、全温度範囲で9dB

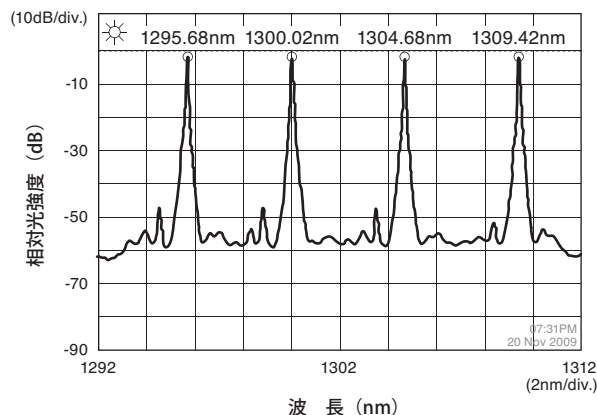


図6 光送信スペクトル（4波長重ね合わせ）

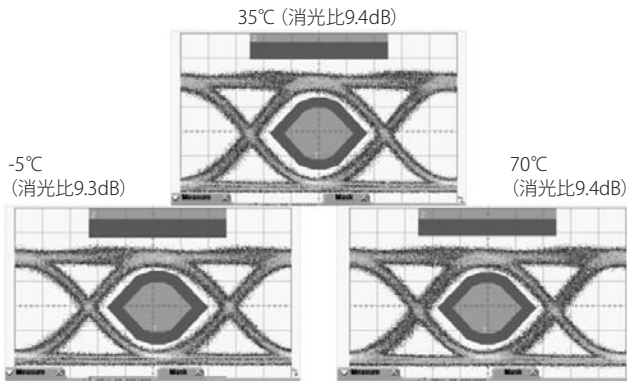


図7 光出力波形 (27.95Gbit/s、1300nm)

以上、ITU-Tで規定された光アイマスクに対するマージン率も全温度範囲で40%以上と、良好な特性を示している。

7-3 光受信特性 波長1300nmにおける光受信誤り率特性を図8に示す。誤り率 10^{-12} で規定した最小受信感度は、全温度範囲で-13dBm以下とITU-Tで規定された最小受信感度-10.3dBmに対し十分なマージンを有している。また、オーバーロード（光大入力耐性）についても、仕様の2.9dBmに対し、十分なマージンを有している。

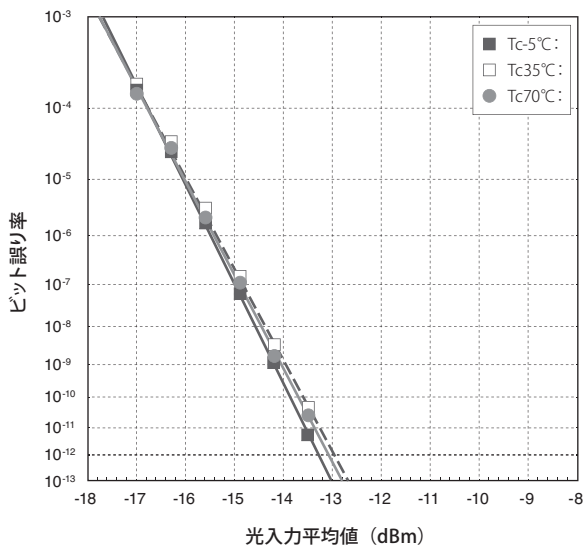


図8 光受信誤り率特性 (27.95Gbit/s、1300nm)

7-4 その他諸特性 光トランシーバの消費電力は、18.5W (-5°C)、19.1W (35°C)、21.0W (70°C) と仕様の24Wに対し十分なマージンを持っている。

その他、CFP MSAにて規定された諸特性、制御・監視

機能についても仕様を満足している。

8. 結 言

ITU-T規格及びCFP MSA仕様に適合した43Gbit/s用及び112Gbit/s用光トランシーバを開発した。当社関連部門で開発した光素子及びICを搭載した光モジュールを活用することで、良好な光・電気特性と低消費電力性を両立した。

40Gbit/s及び100Gbit/s用CFP光トランシーバの導入が本格化する一方で、光伝送装置の更なる大容量化のための低消費電力化、小型化への要求は更なる高まりを見せている。これらの要求に応えるべく、引き続き、CFP光トランシーバの更なる低消費電力化に加え、小形化への取り組みを進めていく。

用語集

※1 WDM

Wavelength Division Multiplexing：光波長分割多重の意。波長間隔20nmで分割する場合をCWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)、波長間隔約4.5nmで分割する場合をLAN WDM (Local Area Network Wavelength Division Multiplexing) という。

※2 SC2芯、LC2芯、MTP12芯、MTP24芯

光コネクタの名称。いずれの光コネクタも、IEC (International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議) により規格化されている。

参 考 文 献

- (1) "ITU-T勧告 G.695 Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications" (Oct. 2010)
- (2) "ITU-T勧告 G.959.1 Optical transport networks physical layer interfaces" (Feb. 2012)
- (3) "IEEE 802.3ba Media Access Control Parameters", Physical Layers, and "Management Parameters for 40Gb/s and 100Gb/s Operation"
- (4) "CFP MSA Hardware Specification", "Rev. 1.4 and CFP MSA Management Interface Specification, Rev. 1.4" (<http://www.cfp-msa.org/documents.html>)
- (5) 巽泰三 他、「25G/40G用電界吸収型変調器ドライバICの開発」、SEIテクニカルレビュー第180号 (2012年1月)

執筆 者

津村 英志* : 伝送デバイス研究所
機能モジュール研究部 部長
光トランシーバの研究開発に従事



中本 亮一 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
大江 英輝 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
松井 崇 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
河西 慎太 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部
沖 和重 : 伝送デバイス研究所 部品実装研究部 主査
二見竜太郎 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主査
大森 弘貴 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主査
田中 康祐 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主査
田中 弘巳 : 伝送デバイス研究所 機能モジュール研究部 主席
松元 健悟 : 伝送デバイス研究所 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 機能モジュール研究部 グループ長
石橋 博人 : 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