



# データセンタ用低消費電力光トランシーバ

神 杉 秀 昭\*・石 井 邦 幸・村 山 哲  
 田 中 弘 巳・倉 島 宏 実・石 橋 博 人  
 津 村 英 志

40 Gbit/s Small-Form Low-Power Optical Transceiver for Data Center Networks — by Hideaki Kamisugi, Kuniyuki Ishii, Tetsu Murayama, Hiromi Tanaka, Hiromi Kurashima, Hiroto Ishibashi and Eiji Tsumura — The authors have successfully developed an optical transceiver that complies with the Quad Small Form-Factor Pluggable Plus (QSFP+) standard. The optical interface conforms to the 40GBASE-LR4 for 40 gigabit Ethernet over up to 10 km single mode fibers using 1.3  $\mu\text{m}$ -range coarse wavelength division multiplexing (CWDM). The transceiver is designed for high-density application in data center networks, where low power consumption and superior electromagnetic interference (EMI) performance are required. We have reduced the total power consumption to less than 2.5 W by utilizing quadrupled shunt-driving technique and achieved a very low emission level. This paper presents the outline of the development and evaluation results.

Keywords: QSFP+, 40GBASE-LR4, CWDM, EMI

## 1. 緒 言

インターネットトラフィックは、増加の一途を辿っている。特に近年は、モバイル環境の充実、スマートフォン等の高機能端末普及に伴い、クラウドサービスの拡大が著しい。これらのサービスを支えるデータセンタの重要性も高まる一方で、インターネットトラフィックは、データセンタへ集中する傾向を強めている。一方、データセンタ内部では、サーバ仮想化技術の導入が進み、従来は縦方向中心であったトラフィックが、サーバ間での水平のやり取りが急増し、全方向トラフィックの増大が課題となっている。これら大量のデータを処理するために、データセンタ向け機器では、より高速な通信規格が求められている。

この要求に応えるべく、IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers：米国電気電子学会) は、2007年に40/100Gbit/s Ethernetの標準化に着手、2010年6月に全工程を完了した。中でも40Gbit/s Ethernet仕様は、データセンタ用途を主目的に整備されたものであり、マルチモードファイバに対応した40GBASE-SR4規格(最大伝送距離100m)とシングルモードファイバに対応した40GBASE-LR4規格(同10km)が規定されている<sup>(1)</sup>。

データセンタ用途において、高速化と並ぶもう一つの関心事項は、低消費電力化である。光トランシーバの低消費電力化は、それ自体として、電力費削減に効果的であるだけでなく、放熱要件の緩和を通じて、光トランシーバの小型化を可能にする。それは即ち機器の小型化、あるいは光トランシーバの高密度実装化による単位面積あたりのデータ処理量改善に貢献し、データセンタ運用コスト削減に繋がる。

筆者らは、当社がこれまでに培ってきた光・電子デバイス技術、実装技術及び制御技術を活用し、40GBASE-LR4規格に対応した低消費電力光トランシーバを開発したので、以下に報告する。

## 2. 光トランシーバ規格

通信ネットワークにおいて、光信号と電気信号の変換を担う光トランシーバは、ペンダ間の相互互換性を目的として、サイズ・ピン配置・機能・光/電気コネクタ形状・監視制御インターフェースなどを共通規格として策定することが一般的になっている。これをMulti-Source Agreement (MSA)と呼ぶ。40Gbit/s用のMSA規格としては、CFP (Centum gigabit Form Factor)<sup>(2),(3)</sup>が2009年に策定され、その後、本稿の主題とするQSFP+ (Quad Small Form-Factor Pluggable Plus)規格<sup>(4)</sup>が導入された。これら二つの規格概要を表1に、また外観図を写真1に示す。

光トランシーバ規格は、ターゲットとする市場・用途に対し最適化されている。CFPは公衆通信網への適用を念頭に開発されたため、豊富な制御・監視機能を備えている。またクロックデータリカバリを内蔵することにより、シグナルインテグリティに優れるというメリットはあるが、反面、サイズは大きくなり高密度実装には適さない。今回開発したQSFP+は大幅な小型化・低消費電力化を実現しているが、制御・監視機能は一部簡略化されている。

表1 QSFP+、CFP規格概要

規格名称	QSFP+	CFP
寸法 全長	72.4mm	144.75mm
全幅	19.0mm	82.0mm
高さ	13.5mm	14.0mm
端子数	38	148
光コネクタ種類	LC (SMF) MPO (MMF)	LC又はSC (SMF) MPO (MMF)
消費電力クラス	1 : 1.5W 2 : 2.0W 3 : 2.5W 4 : 3.5W	1 : 8W 2 : 16W 3 : 24W 4 : 32W
ラインカードへの最大搭載数	44	8 (Class 1の場合)

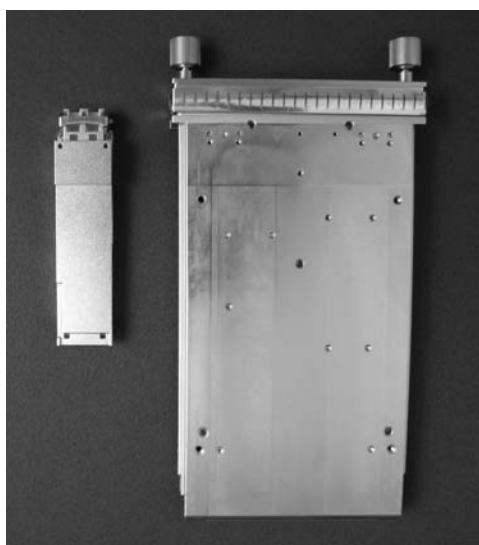


写真1 QSFP+、CFPの外観写真(左がQSFP+)

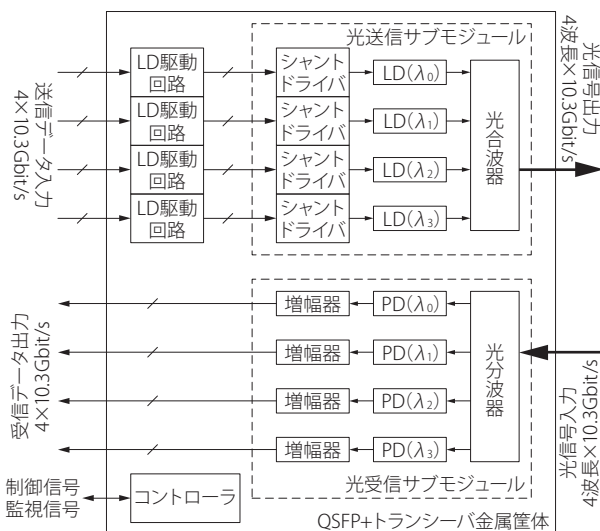


図1 QSFP+ トランシーバのブロック図

では光ファイバの曲げ半径による制約や余長処理のために、小型化が難しいという課題があった。今回、4つのLDと光導波路技術を用いた合波器を同一のパッケージ内に集積し、レンズ結合を用いて光信号を結合することにより、QSFP+に収納可能な小型光送信サブモジュールを実現している。

低消費電力化のために、シャント駆動を採用した。シャント駆動とは、図2に示すように、LDと並列に接続されたトランジスタのスイッチングにより、LDに流れる電流を変調する方式である。LDを低電圧で駆動出来るために、消費電力特性に優れている。当社は、SFP+ トランシーバ開発においてシャント駆動を初めて導入<sup>(5)</sup>したが、今回、同技術を4チャンネルに拡張することに成功した。なおLDの駆動電圧は、ホスト機器から供給される電源電圧3.3Vではなく、トランシーバ内部で生成する2.5Vを使用している。

表2に、QSFP+ トランシーバの主要諸元を示す。光イン

### 3. QSFP+ トランシーバの構成と主要諸元

図1に、今回開発したQSFP+ トランシーバの構成を示す。送信側は4つのLD (Laser Diode) 駆動回路と、光送信サブモジュールから構成される。光送信サブモジュールは、それぞれに波長の異なる4つのLDとシャントドライバ、光合波器を気密封止パッケージ内に集積したものである。受信側は、光分波器と4つのPD、増幅器を同様にサブモジュール化している。更に、トランシーバの制御および監視機能を担うコントローラ回路を備えており、これら全ての部品が金属筐体に収納される。

光送信・受信サブモジュールの小型化は、QSFP+ トランシーバの実現に際して、最も重要な技術である。送信側を例に説明すると、従来は4つの個別にパッケージングされたLDと別体の光合波器を、光ファイバによって相互に接続することで実現されていた。しかしながら、この方法

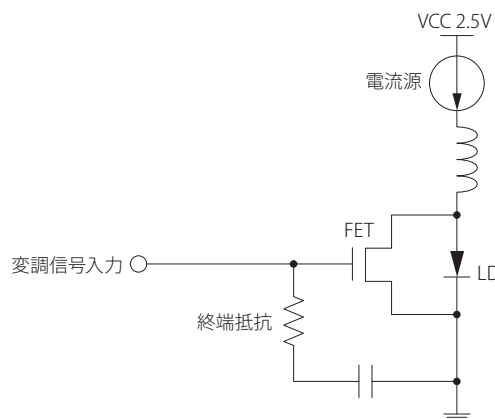


図2 シャント駆動方式

ターフェースは、送受ともに 40GBASE-LR4 規格への準拠を目標とした。消費電力性能は、QSFP+MSA 規格で許容されている最大値 3.5W (クラス 4) ではなく、高密度実装を可能とする 2.5W (クラス 3) を目標としている。

表 2 QSFP+ 目標諸元

項目	最小	最大	単位	
動作温度	0	70	°C	
電源電圧	3.135	3.465	V	
消費電力	—	2.5	W	
動作レート	10.3125		Gbit/s	
光送信特性				
中心波長	$\lambda_0$	1264.5	1277.5	nm
	$\lambda_1$	1284.5	1297.5	
	$\lambda_2$	1304.5	1317.5	
	$\lambda_3$	1324.5	1337.5	
光出力 (OMA)	-4.0	3.5	dBm	
消光比	3.5	—	dB	
光アイマスク	IEEE 802.3 規定			
光受信特性				
受信感度 (OMA)	—	-11.5	dBm	
オーバーロード	3.5	—	dBm	

## 4. 特性

本節では、開発した QSFP+ トランシーバの性能評価結果について、送信特性、受信特性、消費電力特性及び EMI 特性に分けて紹介する。

**4-1 送信特性** 40GBASE-LR4 規格で使われる光波長は、1271、1291、1311、1331nm の 4 波長である。これら 4 波長のスペクトルを重ねた状態で、**図 3** に示す。室温 (約 25°C) 環境下で取得されたデータだが、各波長ウィンドウのほぼ中央に位置しており、良好な特性と言える。LD の温度一定制御は使用していないため、中心波長は約 0.1nm/°C のレートで周囲温度に対して変動するが、全動作温度範囲 0-70°C において、**表 2** の波長規格を十分満足出来ることが分かる。

**図 4** に光出力波形を示す。全波長ともに十分な開口が得られている。40GBASE-LR4 規格で規定された光アイマスクに対する余裕度であるマスクマージンは、約 40% と良好な特性を示している。電気-光変換の周波数特性を **図 5** に示す。3dB 動作帯域として、約 9GHz が得られており、10Gbit/s の動作には十分であると言える。また消光比は、全波長ともに約 5dB に設定し、規格下限 3.5dB に対して余裕がある。

**4-2 受信特性** 光受信側の特性として、**図 6** にピッ

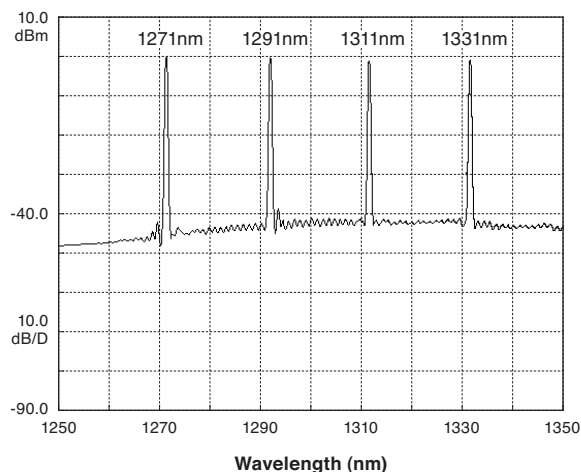


図 3 波長特性

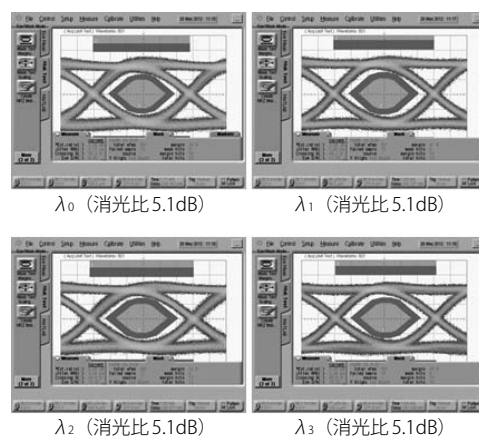


図 4 光出力波形

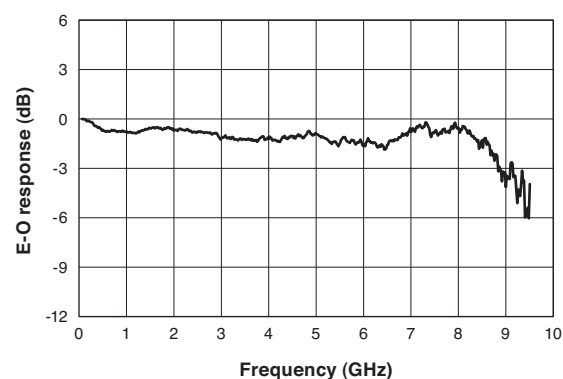


図 5 周波数特性

ト誤り率特性を示す。最小受信感度は、40GBASE-LR4 規格の最大値 -11.5dBm を大幅に上回る -16dBm 以下の特性が得られている。**図 7** に、QSFP+ から出力される 10Gbit/s の電気波形を示す。電気波形に対するマスク試験に、十分

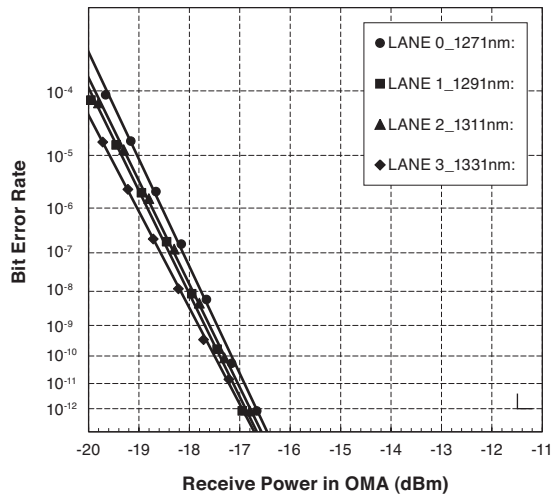


図6 ビット誤り率特性

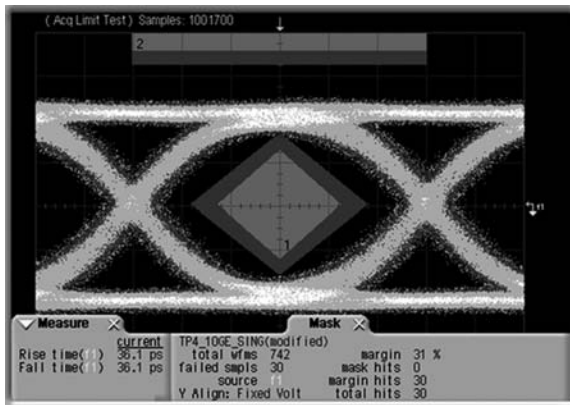


図7 受信電気波形

な余裕を持って合格していることを確認した。

**4-3 消費電力特性** 図8に、消費電力の温度依存性を示す。高温動作時はLDの駆動電流が増加するために、全体消費電力も増加しているが、目標値である2.5Wに対し、測定結果は2.1Wと十分なマージンを確保している。

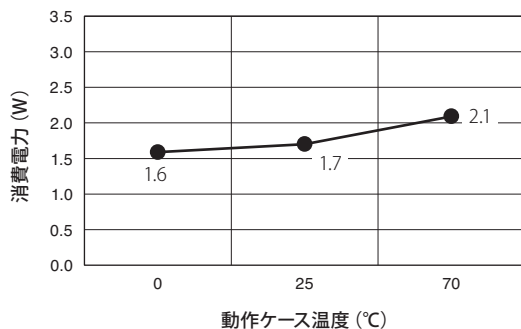


図8 消費電力温度依存性

**4-4 EMI特性** 図9にEMI評価結果を示す。1～26.5GHzの範囲で、電磁放射ノイズピークは観測されていない。実用上特に重要な周波数は、第二高調波である10.3125GHzと第四高調波に相当する20.625GHzであるが、これらクリティカルな周波数においても、フロアレベル程度のノイズに抑制されていることが分かる。これは、今回開発したQSFP+トランシーバ筐体のシールド性能が優れていることを示唆している。

また、シャント駆動方式では、光送信サブモジュールの入力インピーダンスが50Ωに設計されることから、インピーダンス整合が取りやすく、不要輻射の低減に繋がっていると考えられる。従来型のLD駆動方式では、低インピーダンスであるLDとの整合を取ることは難しく、反射波の影響による光波形の乱れや、不要輻射に課題があった。

通信機器に多数の光トランシーバを実装して使用するデータセンタ環境では、しばしば不要輻射の問題がクローズアップされてきたが、今回我々が開発したQSFP+トランシーバは、優れたEMI性能を備え、データセンタ用途に適していることが確認された。

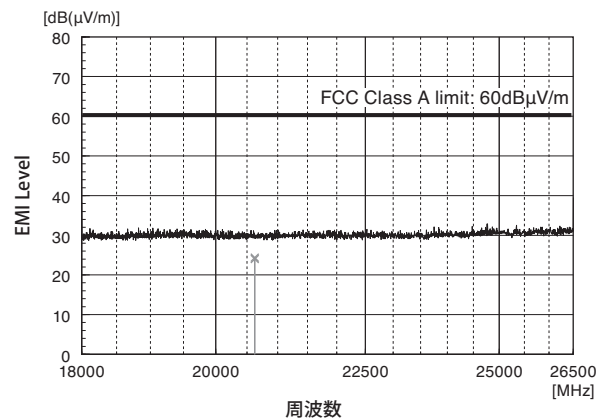
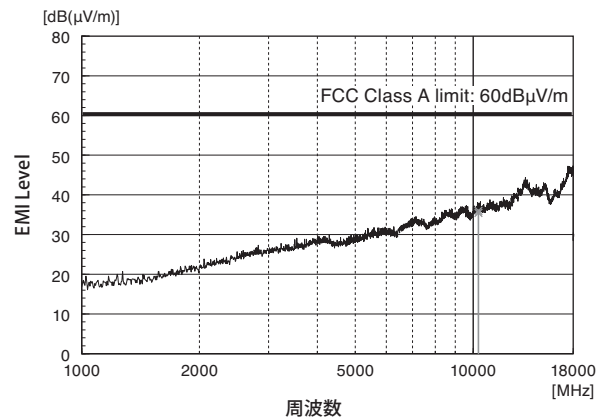


図9 EMI特性 (上) 1～18GHz、(下) 18～26.5GHz

## 5. 結 言

IEEE 40GBASE-LR4規格および、QSFP+MSA規格に準拠した低消費電力光トランシーバを開発した。光送信及び光受信サブモジュールの集積化により、従来技術対比で大幅な小型化を達成し、シャント駆動の採用により70°C動作時消費電力を2.5W以下に抑えることに成功した。新規に開発したトランシーバ筐体はシールド性に優れ、不要輻射は十分に抑圧されている。筆者らは、今回開発したQSFP+トランシーバが、データセンタの発展に貢献するものと考えている。

### 用語集

#### ※1 CWDM

光ファイバの伝送密度を高めるWDM (Wavelength Division Multiplexing : 波長分割多重) 技術の一種で、波長密度の低い通信方式のこと。

#### ※2 シグナルインテグリティ

プリント基板や、それらの間を接続するケーブルなどを流れるデジタル信号の品質のこと。

・ Ethernetおよびイーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標です。

### 参 考 文 献

- (1) IEEE 802.3ba-2010 Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 40Gb/s and 100Gb/s Operation
- (2) 津村英志 他、「43/112Gbit/s用光トランシーバの開発」、SEIテクニカルレビュー第181号 (2012年7月)
- (3) CFP MSA Hardware Specification, Rev. 1.4 and CFP MSA Management Interface Specification, Rev. 1.4
- (4) SFF-8436 Specification for QSFP+ 10 Gb/s 4X PLUGGABLE TRANSCEIVER Rev 4.7 (February 11, 2013)
- (5) 田中啓二 他、「SFP+用低消費電力ICチップセットの開発」、SEIテクニカルレビュー第175号 (2009年7月)

### 執 筆 者

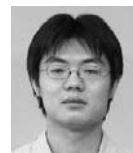
神杉 秀昭\* : 伝送デバイス研究所 グループ長



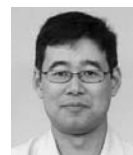
石井 邦幸 : 伝送デバイス研究所 主査



村山 哲 : 伝送デバイス研究所



田中 弘巳 : 伝送デバイス研究所 主席



倉島 宏実 : 伝送デバイス研究所 グループ長



石橋 博人 : 伝送デバイス研究所 グループ長



津村 英志 : 伝送デバイス研究所 部長



\* 主執筆