



小型100Gbit/s光トランシーバ (CFP4)

Compact Optical Transceiver “CFP4” for 100 Gbit/s Network Systems

大森 弘貴*
Hiroataka Oomori

松井 崇
Takashi Matsui

田中 康祐
Yasuhiro Tanaka

田中 弘巳
Hiromi Tanaka

津村 英志
Eiji Tsumura

光ネットワークの伝送容量を拡大するには、伝送装置あたりの光トランシーバの搭載数を増やす必要があり、光トランシーバへの小型・低消費電力化要求が高まっている。このような要求に応えるべく、筆者らはCFP4トランシーバと呼ばれる新しい小型の100Gbit/s光トランシーバを開発した。このトランシーバは従来のCFP光トランシーバに比べて、占有面積比1/6と小型でかつ最大消費電力5.3Wと大幅な削減に成功した。本稿では、これら小型・低消費電力を可能にした技術を含めたいくつかの特徴と、その諸特性について紹介する。

One of the keys to enhancing the optical networking capacity is increasing the number of optical transceivers on a network card. A new compact optical transceiver called “CFP4” has been developed for 100 Gbit/s systems. Because of a compact integrated optical transmitter and receiver, the size of the transceiver is less than 1/6 in comparison with the conventional 100 Gbit/s CFP transceiver. Its power consumption is less than 5.3 W at any operating case temperature by leveraging the multi-channel shunt-driving technique. The small size and low power consumption contribute to the expansion of the transmission capacity of a network card.

The transceiver complies with IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) standards and CFP MSA (Centum gigabit Form factor Pluggable Multi-Source Agreement) specifications. The CFP4 transceiver supports the same management interface with the CFP transceiver, thus making it possible to reuse existing firmware. Additionally, the CFP4 transceiver newly implements the in-service firmware upgrading. This paper describes the superior optical and electrical properties of the transceiver as well as some of the design features.

キーワード：光トランシーバ、100GBASE-LR4、CFP4

1. 緒言

近年、高機能携帯端末等を利用した超高速大容量データ通信サービスが普及拡大し、これに伴いネットワークを構築する光伝送装置には高速化並びに大容量化が常に求められている。ネットワークに流れる光信号と電気信号を変換することが光伝送装置の一つの重要な機能であり、これに搭載される光送受信器（以下、光トランシーバ）が、この機能の実現を担っている。このため、光ネットワークシステムからの光伝送装置への上記の要求は、一部形を変えた形で、光トランシーバへの要求となる。光伝送装置の高速化への要求に対しては光トランシーバでも同じだが、大容量化への要求に対しては、光伝送装置1台あたりに搭載可能な光トランシーバの台数を増やすことと等価であることから、光トランシーバを小型化することで応えることになる。

現在市販されている光トランシーバのうちCFP (Centum gigabit Form factor Pluggable) と呼ばれる活線挿抜可能な光トランシーバが、最高伝送速度の100Gbit/sを実現している⁽¹⁾。しかし、パッケージサイズが144.75×82×13.6mmと大きく、一般的な光伝送装置で用いられる通信カードには高々4台程度しか搭載できないことがすでに知られており、光伝送装置の大容量化を阻害する一つの要因と

なっている。

一方で、昨今では、100Gbit/sの光伝送において必須となる光合分波器の小型化、並びにこれを集積した光送信モジュール^{(2),(3)}あるいは光受信モジュール^{(4),(5)}の開発がなされており、これらを用いることにより、大幅な光トランシーバの小型化を実現できる可能性が示されている。

光トランシーバは活線挿抜であるが故に、サプライヤ間の機能・外形互換性が要求され、業界標準規格を複数のサプライヤで構成された業界団体に策定するのが一般的となっている。100Gbit/s光トランシーバの業界団体の一つであるCFP MSA (Centum gigabit Form factor Pluggable Multi-Source Agreement) は、近年のモジュール開発状況を鑑み、現在市販されているCFPと互換の光信号インターフェースと監視制御インターフェースを有しつつ、かつ小型化を志向したCFP4と呼ばれる新規100Gbit/s用光トランシーバの業界標準規格の策定を進め、2014年8月に規格を公開した⁽⁶⁾。この規格では、IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers：米国電気電子学会) にて同時並行で審議されていた25.78Gbit/sの高速データ信号に関する電気インターフェースを採用することが前提となっている。光トランシーバの電気インターフェースの速度が

10.31Gbit/sから25.78Gbit/sに引き上げられたことにより、CFPでは送受あわせて40本必要であった高速データ信号線がCFP4では16本に削減され、占有面積比約1/6の小型化を可能にしている。

筆者らは当社で開発した光送信モジュール、光受信モジュールを搭載し、シングルモード光ファイバを伝送媒体とした光伝送装置に搭載可能な100Gbit/s用光トランシーバ(以下、CFP4光トランシーバ)を開発したので、以下に報告する。開発した光トランシーバは、CFPと比較して1/4以下の低消費電力化も小型化と合わせて実現しており、消費電力の増加をもたらすことなく光伝送装置の通信容量拡大に貢献できるものである。

2. CFP4光トランシーバの概要と主要諸元

本節では、今回開発したCFP4光トランシーバが準拠する規格とそれらに基づく開発主要諸元について紹介し、これを実現するための内部構成及び、これまで当社で開発してきた光トランシーバとは異なる、新規に搭載された機能について詳述する。

2-1 準拠規格と主要諸元

光トランシーバの仕様は、光・電気信号を処理する通信インターフェースに関するものと、外形サイズ、ピン配置、コネクタ形状、監視制御インターフェースに関するものに大別される。前者については、IEEEで2010年6月に規格制定

された100GBASE-LR4⁽⁷⁾及び、2015年3月に規格制定されたChip-to-module 100 Gb/s four-lane Attachment Unit Interface⁽⁸⁾に準拠している。後者については、CFP MSAが策定したCFP MSA CFP4 Hardware Specification⁽⁶⁾とCFP MSA Management Interface Specification⁽⁹⁾に準拠している。

これらの規格を加味したCFP4光トランシーバの開発主要諸元を表1に示す。表1での光信号送受信部特性並びに高速データ信号入出力部特性の諸元は、1チャンネルあたりの値である。

2-2 機能と構成

CFP4光トランシーバの外観を写真1に、ブロック図を図1に示す。光トランシーバは、合波器を集積した光送信モジュール、分波器を集積した光受信モジュール、クロック・データ再生IC、光送信モジュール内部のペルチェ素子を制御する温度制御IC、光トランシーバを監視制御し、光トランシーバが搭載されるホストボード内のICと通信する監視制御IC、これらのICに電源を供給する電源IC及び電気コネ

表1 CFP4光トランシーバの開発主要諸元

	最小	最大	単位	
動作筐体温度	-5	70	℃	
電源電圧	3.135	3.465	V	
消費電力		6	W	
光信号送受信部特性				
出力光波長	λ0	1297.53	1296.59	nm
	λ1	1299.02	1301.09	nm
	λ2	1303.54	1305.63	nm
	λ3	1308.09	1310.19	nm
出力光パワー (OMA)	-1.3	4.5	dBm	
消光比	4.0		dB	
信号速度	25.78		Gbit/s	
光アイマスク	100GBASE-LR4規定			
最小受信感度 (OMA)		-8.6	dBm	
オーバーロード (OMA)	4.5		dBm	
高速データ信号入出力部特性				
信号速度	25.78		Gbit/s	
開口部時間幅	0.57		UI	
開口部振幅	229		mV	
外形				
寸法	全長	92.0	mm	
	全幅	21.5	mm	
	高さ	9.5	mm	
光コネクタ形状	LC (SMF)			

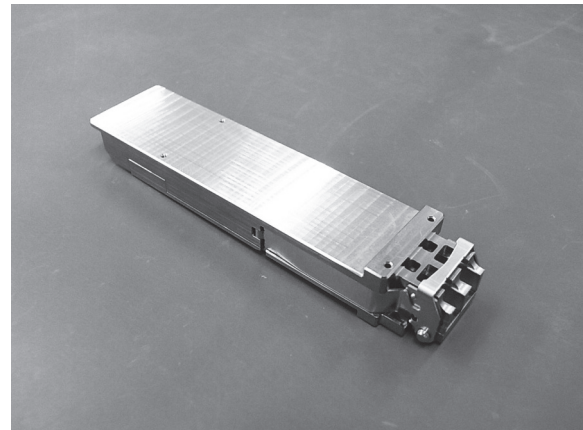


写真1 CFP4光トランシーバの概観

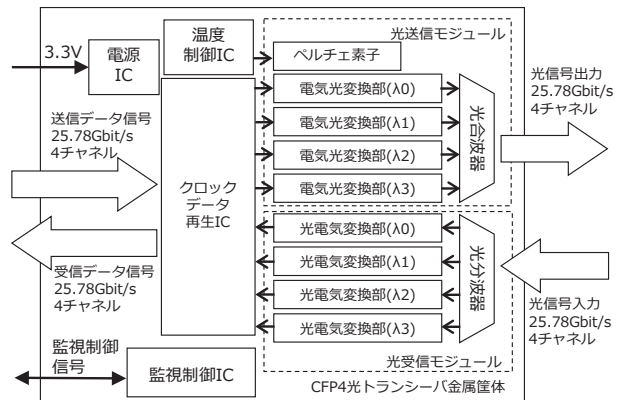


図1 CFP4光トランシーバブロック図

クタ等から構成される。

100GBASE-LR4では、表1記載のように光波長変動の許容幅が狭い。発光素子であるレーザダイオードは環境温度の変化に応じてその発振波長が変動するので、変動幅を抑えるためには、ペルチェ素子を利用してレーザダイオードを温度制御する必要がある。ペルチェ素子を用いた温度制御で消費する電力は、レーザダイオードの駆動方式に大きく左右される。これを最小限に抑えるために、過去にQSFP+^{*1}トランシーバ開発⁽¹⁰⁾で導入済みの多チャンネルシャント駆動方式を25.78Gbit/sに拡張した、レーザダイオード駆動回路IC⁽¹¹⁾を光送信モジュール内部の電気光変換部に実装し、低消費電力化を実現した。

光トランシーバに搭載される監視制御ICには、予めICが所望の動作をするためのファームウェアと呼ばれる一種のソフトウェアが監視制御ICに書き込まれている。CFPをはじめとしたこれまでの光トランシーバでは、ファームウェアを更新する場合には、一旦光伝送装置から取り出して専用装置でファームウェアを書き換える必要があったが、CFP4では光トランシーバを光伝送装置に装着・動作させたままでファームウェアを更新することを可能にした。

3. CFP4光トランシーバの特性

本節では今回開発したCFP4光トランシーバの特性について、消費電力、光信号送受信部、高速データ信号入出力部の観点から特徴的なものについていくつか紹介する。

3-1 消費電力特性

図2に今回開発したCFP4光トランシーバの動作筐体温度に対する消費電力の変化を示す。筐体温度が低い場合は光送信モジュール内部のレーザダイオードを加熱するように、また、筐体温度が高い場合はこれを冷却するようにペルチェ素子を温度制御ICが動作する。このため、常温環境に近い筐体温度で、消費電力が最小値を示している。図2によると筐体温度75℃の環境下でも、目標の6Wを下回る5.3Wの消費電力を示しており、十分なマージンを持って低消費電力化を実現できているといえる。

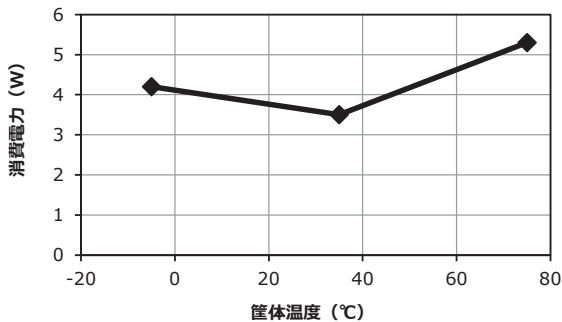


図2 消費電力の筐体温度特性

3-2 光信号送受信部

光送信側の特性として最も重要な指標の一つは、光出力波形である。図3にCFP4光トランシーバの各チャンネルでの光出力波形を示す。消光比は、全チャンネル5dBになるように調整した。光出力波形の品質は、IEEEで規定された六角形のアイマスクに対するマージン量であるマスキングマージンという指標で評価される。今回開発したCFP4光トランシーバでは、全チャンネルで18%以上の良好な波形品質が得られている。

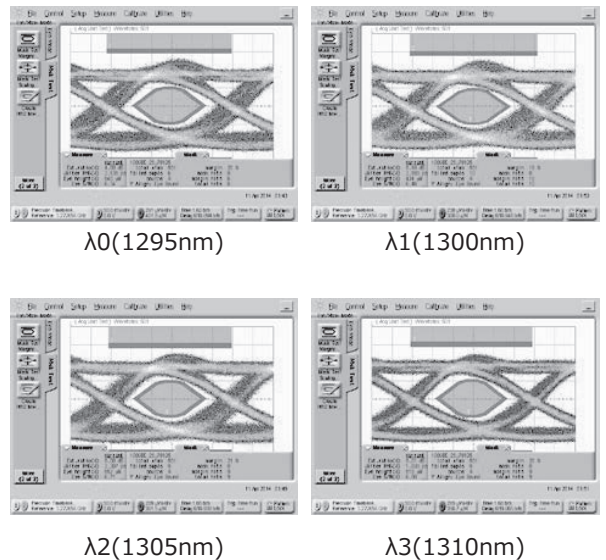


図3 光出力波形

光受信側では、光受信誤り率が 10^{-12} 以下となる最小光入力振幅である最小受信感度が重要な指標である。図4に各波長での光受信誤り率特性を示す。本測定では、被測定チャネ

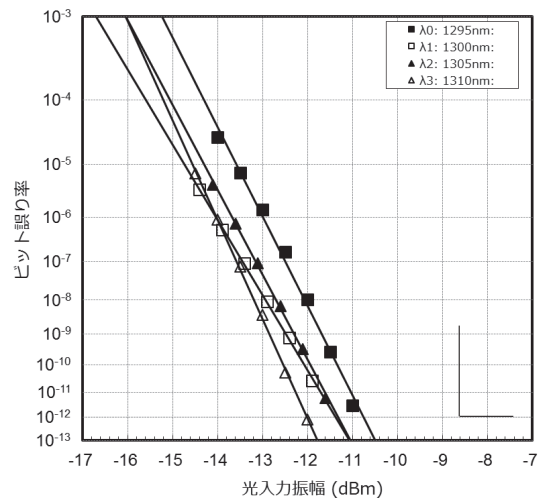


図4 光受信誤り率特性

ルとそれ以外のチャンネルとの間に+6dBの光量差が発生するように入力光を調整し、意図的に被測定チャンネルに干渉を引き起こしている。図4に示すように、チャンネルごとに最小受信感度はばらつきが存在するものの、-10.6dBm以下の最小受信感度を有している。これは、100GBASE-LR4の規定である-8.6dBmに対して2dB以上の十分なマージンを持つことを意味する。

光送信波形では、送信信号にノイズが重畳したり、波形が歪んだりすると一般にマスクマージンは劣化する。最小受信感度は、クロック・データ再生ICで受信する信号に重畳されるノイズ量に応じて劣化する。CFP4光トランシーバ内部には図1のブロック図から明らかなように、クロック・データ再生ICと電気光変換部および光電気変換部との間の限られた狭い空間の中に、25.78Gbit/sの高速電気信号を伝送する配線が多数張り巡らされているが、今回得られた良好な光送信波形品質や最小受信感度は、高速データ信号配線間の相互干渉によるノイズの発生を十分に抑えられていることを意味する。

3-3 高速データ信号入出力部

CFP4光トランシーバから出力される高速データ信号の波形を図5に示す。3-1節でふれたマスクマージンではなく、波形開口部の時間幅と振幅が出力波形品質の指標となる。開口部時間幅は0.66UI^{※2}、開口部振幅は365mVであり、Chip-to-module 100 Gb/s four-lane Attachment Unit Interfaceでの規定値0.57UI、228mVに対して十分なマージンを持っている。

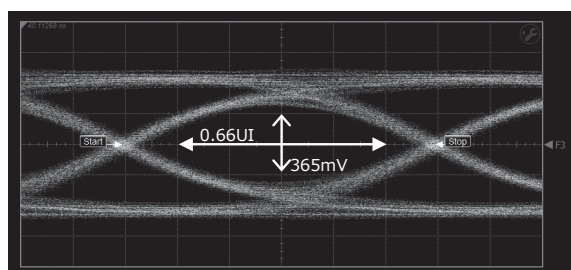


図5 高速データ信号出力波形

図6に高速データ信号入力部の特性評価として行った許容ジッタ^{※3}量のジッタ周波数依存性の結果を示す。許容ジッタ量は、想定される最悪のデータ信号波形で測定されることが求められる。そこで、ジッタ印加前の被測定チャンネルに入力する信号波形を、開口部振幅82mV、開口部時間幅0.46UIとなるように調整している。また、その他のチャンネルにはCFP4光トランシーバから出力される高速データ信号を直接入力させることで、意図的に被測定チャンネルへの干渉を引き起こしている。図6の測定結果によれば10kHzから250MHzの広い範囲にわたって十分広い許容ジッタ量を全

チャンネルで実現できている。このことは、光トランシーバが搭載されるホストボード内での高速データ信号配線設計の自由度を高められることを意味する。

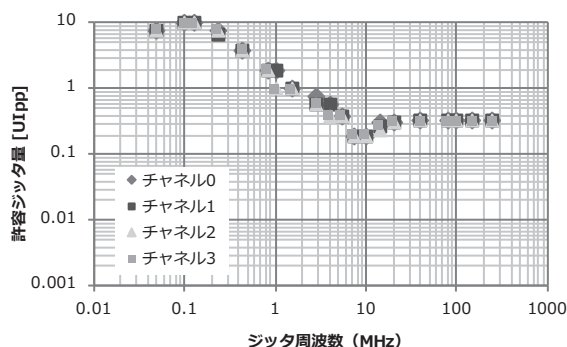


図6 高速データ信号入力部の許容ジッタ量特性

4. 結 言

IEEE規格及びCFP MSA仕様に適合した100Gbit/s CFP4光トランシーバを開発した。光信号送受信部、高速データ信号入出力部ともに良好な特性を示し、筐体温度75℃の環境下でも6Wを下回る低消費電力化も同時に実現した。今回開発したCFP4光トランシーバは、従来のCFP光トランシーバからの小型化・低消費電力化により、100Gbit/sの光伝送装置の大容量化を容易にするものと筆者らは期待する。

用語集

※1 QSFP+

Quad Small Form factor Pluggable Plus。40Gbit/s用小型光トランシーバの業界標準規格の一つ。

※2 UI

Unit Intervalの略。1ビットの時間長さを1UIとする。25.78Gbit/sの場合、38.79psが1UIとなる。

※3 ジッタ

ジッタとは信号波形の時間軸方向の揺らぎのこと。1秒あたりの揺らぎの繰り返し回数をジッタ周波数と呼ぶ。クロック・データ再生回路は、入力されたデータ信号からクロック成分を抽出するが、データ信号のもつジッタが大きくなると、クロック成分を抽出できなくなりクロック・データ再生回路において再生誤りが発生する。再生誤りが発生しない最大のジッタ量を許容ジッタ量と呼び、UIpp (UI peak-to-peak) を単位とする。

参 考 文 献

- (1) 津村、中本、大江、松井、河西、沖、二見、大森、田中、田中、松元、倉島、石橋、「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)
- (2) 佐藤、佐伯、沖、川村、中島、黒川、鈴木、本、田中、生駒、矢崎、原、藤村、「100Gbit/s小型WDM集積TOSA/ROSA」、電子情報通信学会ソサイエティ大会2014 CI-1-7
- (3) T. Saeki, S. Sato, M. Kurokawa, A. Moto, M. Suzuki, K. Tanaka, K. Tanaka, N. Ikoma, and Y. Fujimura, "100Gbit/s Compact Transmitter Module Integrated with Optical Multiplexer," IEEE Photonics Conference 2013, TuG3.2
- (4) F. Nakajima, M. Kawamura, K. Oki, Y. Koyama, A. Yasaki, Y. Fujimura, and H. Hara, "100Gbit/s Compact Receiver Module with the Built-in Optical De-multiplexer," IEEE Photonics Conference 2013, TuG3.1
- (5) 川村、中島、大森、原、矢崎、「40G/100Gbit/s 用光分波器集積小型光受信モジュール」、SEIテクニカルレビュー第186号(2015年1月)
- (6) CFP MSA, "CFP4 Hardware Specifications Rev. 1.1"
- (7) IEEE 802.3ba-2010 Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 40 Gb/s and 100 Gb/s Operation
- (8) IEEE 802.3bm-2015 Physical Layer Specifications and Management Parameters for 40 Gb/s and 100 Gb/s Operation over Fiber Optic Cables
- (9) CFP MSA, Management Interface Specification Ver.2.4 r06b"
- (10) 神杉、石井、村山、田中、倉島、石橋、津村、「データセンタ用低消費電力光トランシーバ」、SEIテクニカルレビュー第183号(2013年7月)
- (11) A. Moto, T. Ikagawa, S. Sato, Y. Yamasaki, Y. Onishi, and K. Tanaka, "A Low Power Quad 25.78-Gbit/s 2.5 V Laser Diode Driver Using Shunt-Driving in 0.18 μm SiGe-BiCMOS," IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium 2013 G-3

執 筆 者

大森 弘貴* : パワーデバイス開発部 主席



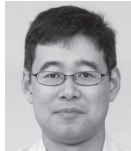
松井 崇 : 伝送デバイス研究所 主査



田中 康祐 : 伝送デバイス研究所 主席



田中 弘巳 : 伝送デバイス研究所 主幹



津村 英志 : 伝送デバイス研究所 部長



*主執筆者