



# 400Gbit/s用光トランシーバに搭載可能な 8ch集積光受信モジュール

Optical Receiver Module with Integrated 8-ch Optical De-multiplexer  
for 400 Gbit/s Transceivers

川村 正信\*  
Masanobu Kawamura

三井 主成  
Kazuaki Mii

中山 謙一  
Kenichi Nakayama

大森 寛康  
Hiroyasu Oomori

中島 史博  
Fumihiro Nakajima

原 弘  
Hiroshi Hara

高速・大容量通信が求められるクラウドサービスの普及に伴い、100Gbit/s用光トランシーバであるCFP4やQSFP28の普及が進んでいる。次世代通信規格として、IEEEにて400GBASE-FR8/LR8の標準規格が定められ、CFP MSAにて400Gbit/sに対応した光トランシーバとしてCFP8が新たに策定されており、市場ニーズが高まっている。当社がこれまで開発してきた4ch集積光受信モジュールの設計をベースとして、今回、8波長の分波機能を1つのパッケージ内に集積した、CFP8に搭載可能な400Gbit/s用8ch集積光受信モジュールを開発した。本稿では、モジュール構造、8波長の分波特性、4値パルス振幅変調（4-level Pulse Amplitude Modulation, PAM4）信号を用いた変調速度26.56Gbaudにおける最小受信感度等の特性を紹介する。

With the growth of cloud services that require high-speed communication, CFP4 and QSFP28 optical transceivers have been commonly used for 100 Gbit/s transmission. Along with an increase in the market need for higher-speed transmission beyond 100 Gbit/s, the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) published 400GBASE-FR8/LR8 as the next-generation communication standards, and the CFP Multi-Source Agreement (MSA) defined the CFP8 form factor of an optical transceiver to support 400 Gbit/s interfaces. Against this backdrop, we have developed a new optical receiver module for 400GBASE-FR8/LR8 CFP8. Using the conventional design for 100 Gbit/s, the module has an integrated 8-ch optical de-multiplexer. This paper describes the module structure, optical characteristics, and sensitivity in 26.56 Gbaud PAM4 signal transmission.

キーワード：光受信モジュール、400G、光分波器、CFP8

## 1. 緒言

近年、スマートフォン等の携帯端末の高機能化に伴い、クラウド・テクノロジーを用いた動画・音楽配信サービスの普及が進んでいる。これらのサービスでは、端末～基地局間の無線通信ネットワークだけでなく、それらにつながる光通信ネットワークにおいても、高速化・大容量化が求

められており、光通信ネットワークを構成する光送受信モジュールも、小型化・高速化が必須となっている。

現在、伝送速度100Gbit/sに対応した、**図1**に示すCFP4<sup>\*1</sup>やQSFP28<sup>\*2</sup>といった、MSA<sup>\*3</sup>に対応した光トランシーバが普及期に入っているが、次世代通信規格として、400GbEの標準化がIEEEにて進められている。2015年には、伝送距離2～10km、変調方式としてPAM4<sup>\*4</sup>を用いた、LAN-WDM<sup>\*5</sup>に対応した8波長による波長多重方式がIEEE802.3bs<sup>(1)</sup>で勧告され、2017年には、CFP MSAにて400Gbit/sに対応した光トランシーバとして、CFP8が新たに策定されており、400Gbit/sに対応した光トランシーバへの期待は高まっている。

当社はこれまでに、QSFP28に搭載可能な、100Gbit/s用4ch集積光受信モジュール<sup>(2),(3)</sup>や、200Gbit/s用4ch集積光受信モジュール<sup>(4)</sup>を開発してきた。今回、8波長の分波機能を1つのパッケージ内に集積することで、従来品と同等な低挿入損失を実現した、CFP8に搭載可能な400Gbit/s用8ch集積光受信モジュールを開発した。

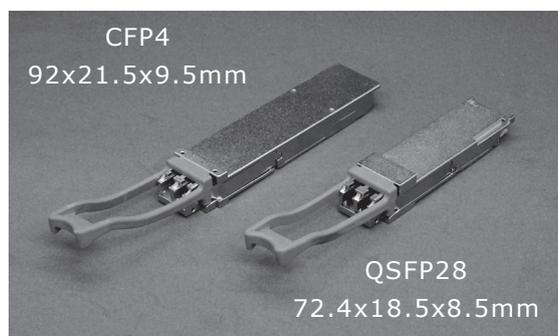


図1 100Gbit/s用光トランシーバ

## 2. 8ch集積光受信モジュールの構成

8ch集積光受信モジュールの外観を図2に示す。今回、開発した光受信モジュールのパッケージサイズは22.3mm×12.0mm×5.3mmと、CFP8に搭載可能なサイズを実現している。また、従来の100Gbit/s用4ch集積光受信モジュールと類似の形状設計を採用することで、既存の量産ラインとの親和性の高い設計としている。

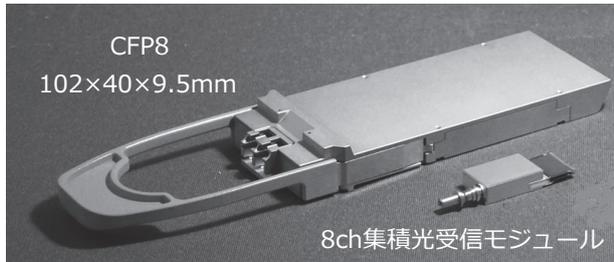


図2 400Gbit/s用光トランシーバと光受信モジュール

光受信モジュール内の構成を図3に示す。波長多重化された入力光信号は、コリメートレンズで平行光に変換し、パッケージ内の1：8光分波器にて8波長の光信号に分波され、ミラーにてパッケージ底面方向へ光軸を変えた後、レンズアレイによって集光されPDへ結合する。1：8光分波器は図4に示すように、2つの対応する波長の異なる1：4光分波器、ショートパスフィルタ (Short pass filter, SPF)、ミラーで構成されている。1：8光分波器に入射した光信号は、SPFにて短波側4波長群 (1273.55nm～1286.66nm) と、長波側4波長群 (1295.56nm～1309.14nm) に分波したのち、各々に対応した1：4光分波器に入射する。1：4光分波器は、所定の波長のみを透過するバンドパスフィルタ (Band pass filter, BPF) とミラーが対向するように構成されており、各 Lane に対応した波長の光信号のみを透過、その他の波長の光信号は反射、を繰り返すことで、波長多重化された光信号を分波する。

IEEE802.3bsにて規定されている400GbEの規格では、

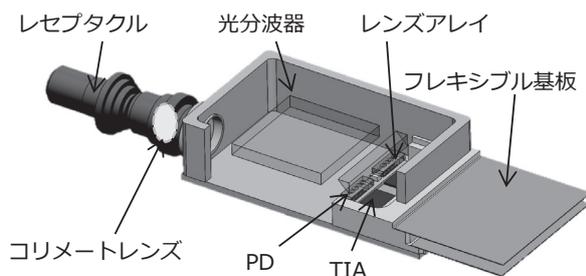


図3 光受信モジュールの構造

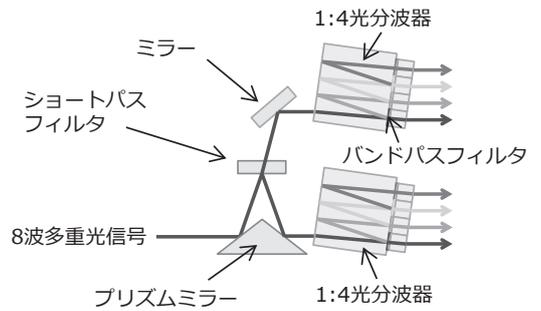


図4 1：8光分波器の構造

50Gbit/s超の伝送速度を実現するために、従来のNRZ (Non-Return to Zero) 信号ではなく、PAM4 (4-Level Pulse Amplitude Modulation) 信号を用いる変調方式が採用されている。PAM4変調された8つの光信号は、PDにて光電変換され、トランスインピーダンスアンプ (Transimpedance amplifier, TIA) にて増幅された後、パッケージ及び、フレキシブル基板の高周波伝送線路を經由して、光受信モジュールから出力される。

## 3. 開発目標仕様

表1に目標仕様となる、IEEE802.3bsで規定されている400GBASE-FR8/LR8の規格を示す。

表1 目標仕様

項目	400GBASE-FR8	400GBASE-LR8
変調速度	26.5625Gbaud	
変調方式	PAM4	
中心波長	Lane0	1273.55nm
	Lane1	1277.89nm
	Lane2	1282.26nm
	Lane3	1286.66nm
	Lane4	1295.56nm
	Lane5	1300.05nm
	Lane6	1304.58nm
	Lane7	1309.14nm
オーバーロード (OMA)	<5.7dBm	
最小受信感度 (OMA)	>-5.3dBm	>-7.1dBm
反射減衰量	>26dB	

## 4. 光受信モジュール特性

### 4-1 光学特性

8ch集積光受信モジュールの分波特性を図5に、各 Lane の受光感度、アイソレーション、反射減衰量を表2に示す。

IEEE802.3bsで規定されている8波長は、短波側4波長と長波側4波長の間に1波長分の空間を設けて規定されている。今回新たに設計した、SPFを用いた低損失な1:8光分波器では、全Laneにおいて挿入損失1dB以下、アイソレーション25dB以上、反射減衰量26dB以上の良好な特性が得られている。

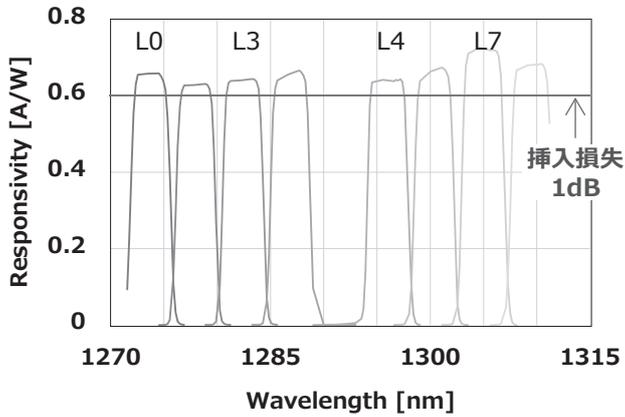


図5 分波特性

表2 光学特性一覧

Lane	受光感度 [A/W]	アイソレーション [dB]		反射減衰量 [dB]
		短波側	長波側	
Lane0	0.658	短波側	27.7	43.4
Lane1	0.628	長波側	31.7	
Lane2	0.641	短波側	29.2	40.7
		長波側	28.6	
Lane3	0.655	短波側	28.4	40.0
Lane4	0.642	長波側	28.6	38.9
Lane5	0.664	短波側	29.3	40.7
		長波側	30.3	
Lane6	0.726	短波側	29.9	40.5
		長波側	30.1	
Lane7	0.680	短波側	30.7	42.3

受光感度とアイソレーションの温度依存性を図6に示す。パッケージ温度-20~+90℃の範囲で、受光感度変動は±0.1dB以内、アイソレーション変動も±1dB以内と、安定した特性が得られている。

#### 4-2 周波数特性

8ch集積光受信モジュールに使用しているパッケージは、高速伝送に対応するため、高周波伝送線路を最適化するにあたり、各Laneの特性差をなくすとともに、相互からのクロストークを低減するよう最適化している。図7に示すように、透過特性の-3dB帯域は20GHz以上得られている。

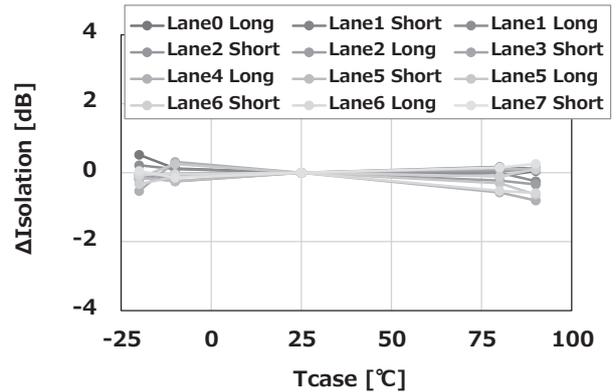
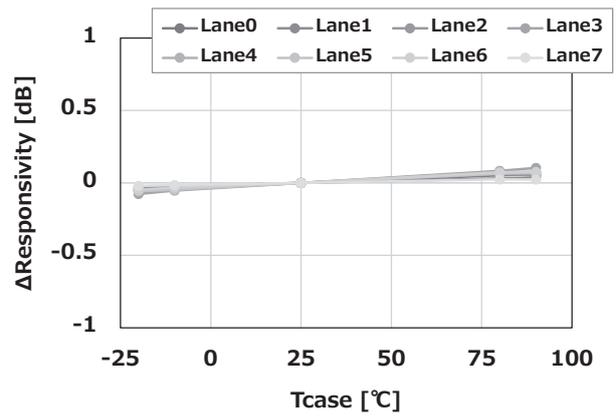


図6 分波特性の温度依存性

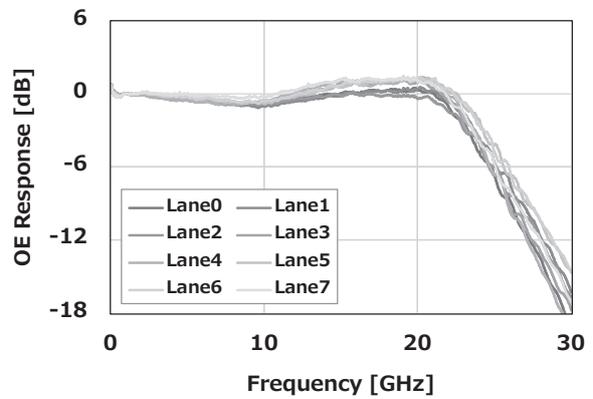


図7 周波数特性

また、各Lane間のばらつきも少なく、フラットな特性が得られている。

#### 4-3 クロストーク特性

光コンポーネントアナライザを用いて、Lane6以外に該当する波長の信号光 (Lane0,1,2,3,4,5,7,) を入力した際の、Lane6の電気出力の周波数特性を図8に示す。

隣接LaneであるLane5とLane7からの影響が、他Laneと比較して大きいですが、クロストーク量は25GHzで-30dB以下

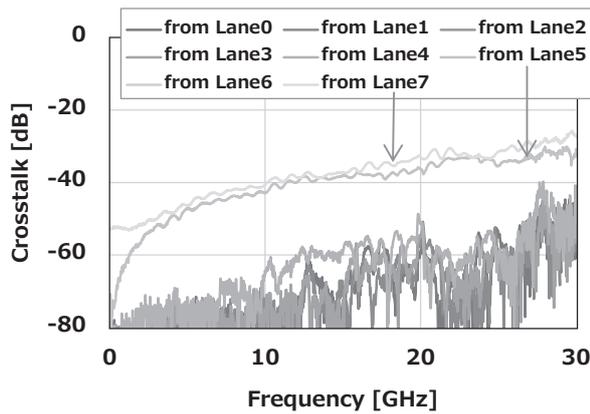


図8 クロストーク特性

下となっており、クロストークの影響は非常に小さい特性が得られている。

#### 4-4 最小受信感度

変調速度26.56Gbaud (PRBS<sup>231</sup>-1)、PAM4変調した光信号を入力した際の、符号誤り率特性を図9に示す。前方誤り訂正前では、最小受信感度は-13dBm (符号誤り率=  $2.4 \times 10^{-4}$ )、前方誤り訂正後でも最小受信感度は-13dBm (符号誤り率=  $1 \times 10^{-12}$ ) と、400GBASE-FR8/LR8双方の規格を満たす良好な特性が得られている。

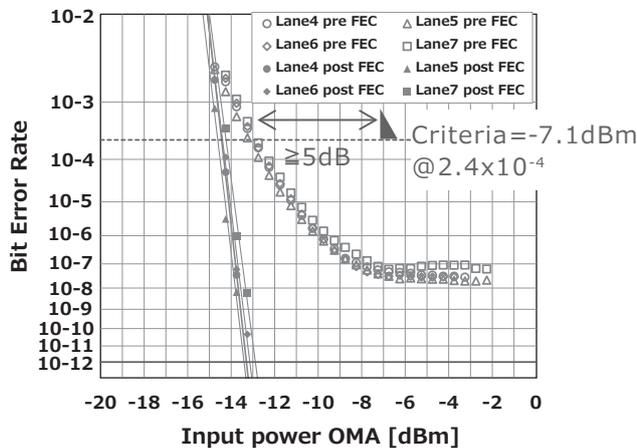


図9 符号誤り率

## 5. 結 言

次世代400Gbit/s用光トランシーバCFP8に搭載可能な8ch集積光受信モジュールを開発した。8波長の分波機能を1つのパッケージ内に集積することで、挿入損失1dB以下と、従来品と同様な低損失を実現した。変調速度

26.56Gbaud (PRBS<sup>231</sup>-1)、PAM4変調した光信号を入力した際の符号誤り率特性は、前方誤り訂正前では、最小受信感度は-13dBm (符号誤り率=  $2.4 \times 10^{-4}$ )、前方誤り訂正後でも最小受信感度は-13dBm (符号誤り率=  $1 \times 10^{-12}$ ) と、安定した400Gbit/s伝送が可能な特性を示している。

### 用語集

#### ※1 CFP/CFP4/CFP8

C Form-factor Pluggable: 100~400Gbit/s用トランシーバの業界標準の一つ。CFP8では、50Gbit/sの光信号を8Lane束ねることで、400Gbit/sの伝送速度を実現する。

#### ※2 QSFP28

Quad Small Form-factor Pluggable: 100~400Gbit用トランシーバの業界標準の一つ。QSFP28では、25Gbit/sの光信号を4Lane束ねることで、100Gbit/sの伝送速度を実現する。

#### ※3 MSA

Multi Source Agreement: モジュールサプライヤーによる、部品仕様の共通規格。

#### ※4 PAM4変調方式

4-level Pulse Amplitude Modulation: 1シンボルあたり2ビットの情報を伝送可能な、4値パルス振幅変調方式。

#### ※5 LAN-WDM

Wavelength Division Multiplexingの方式の一つ。LAN-WDMは800GHz間隔で波長多重する。

### 参 考 文 献

- (1) <http://www.ieee802.org/3/bs>
- (2) 川村正信、「40G/100Gbit/s用光分波器集積光受信モジュール」、SEIテクニカルレビュー第186号 (2015年1月)
- (3) Fumihito Nakajima, "100 Gbit/s Compact Receiver Module with the Built-in Optical De-Multiplexer," IEEE Photonics conference 2013, TuG3.1
- (4) 中島史博、「高速 (100G/200G/400G) 高感度APDチップ搭載4ch集積受信デバイス」、SEIテクニカルレビュー第192号 (2018年1月)

執筆者

---

川村 正信\* : 伝送デバイス研究所 主査



三井 主成 : 伝送デバイス研究所 主査



中山 謙一 : 伝送デバイス研究所



大森 寛康 : 伝送デバイス研究所 主席



中島 史博 : 住友電工デバイス・イノベーション(株)  
博士 (科学)



原 弘 : 伝送デバイス研究所 グループ長



---

\*主執筆者