

# 40 ギガビット光分波器集積小型光受信モジュールの開発

沖 和 重\*・川 村 正 信・中 島 史 博  
 鈴木 三千男・原 弘・藤 村 康

Development of 40GBASE-LR4 Small Receiver Module with Integrated Optical Demultiplexer — by Kazushige Oki, Masanobu Kawamura, Fumihito Nakajima, Michio Suzuki, Hiroshi Hara and Yasushi Fujimura — The authors have successfully developed a small receiver module with an integrated optical demultiplexer. The module is compliant with the 40GBASE-LR4 specification and sufficiently small (7 mm) to be mounted in a QSFP+ (Quad Small Form-factor Pluggable) next generation 40GE optical transceiver. The optical demultiplexer uses thin film band pass filters to divide a multiplexed optical signal into 4 demultiplexed optical signals, thereby realizing low optical insertion loss and low temperature dependency. The unique optical alignment system that consists of the optical demultiplexer, a PD array, a collimator sleeve and a micro lens array enables the downsizing of the receiver module. The module demonstrates excellent performance at the specified temperature range (-10 to 95 deg. C) and supply voltage (3.0 to 3.6 V). The low loss optical design realizes a high receive sensitivity of -17 dBm, providing a wide margin to the IEEE requirement of -11.5 dBm.

Keywords: 40GBASE-LR4, OTU3, demultiplexer, ROSA, QSFP+

## 1. 緒 言

通信トラフィックの増大に対応するために、ルータやスイッチと言った光伝送装置の大容量化が求められている。そのため光伝送装置の基幹部品の一つである光トランシーバにおいても高速化、小型化が必須である。

現在、業界共通仕様にに基づいた外形形状やインターフェースを有する XFP/SFP+ 光トランシーバといった、10GE シリアル変換型の小型光トランシーバに代わり、より高速化のために内部で 10Gbit/s の信号を光合波/分波器により多重化する機能を有する 40GE 光トランシーバが求められている。当社からも製品化されている業界共通仕様に基づいた CFP 光トランシーバ (以下、CFP)<sup>(1)</sup> は、サイズが大きく、より高密度実装を実現できる小型の 40GE 光トランシーバが光伝送装置の大容量化には必須である。

今回、光伝送装置への実装密度が CFP 光トランシーバの 4 倍以上である QSFP+ 光トランシーバ (以下、QSFP+)<sup>(2)</sup> に搭載可能な小型の光受信モジュールの開発を行った<sup>(3)</sup>。薄膜フィルタを用いた光分波器により低光損失化、低温度依存性を達成し、さらに部品の全体配置を工夫することにより小型化を図った。本稿では、その光受信モジュールの構造と基本特性について報告する。

## 2. 開発目標、仕様

図1は、光トランシーバが搭載される一般的な伝送装置と、それらを構成するラインカードに CFP が横並び実装さ

れた状態を示す。幅が CFP の約 1/4 である QSFP+ を採用することで 1 ラインカード当たりの伝送容量を 4 倍と格段に増やすことが可能となる。QSFP+ に搭載可能な光受信モジュールの幅は 7mm 以下と見積もられ、CFP のように光ファイバで接続された 4 つの 10Gbit/s 光受信モジュールと光分波器を内蔵することは不可能であり、それらの一体化が必須である。

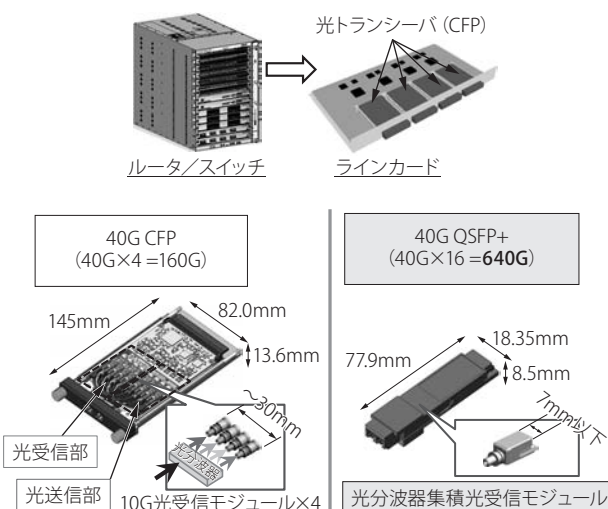
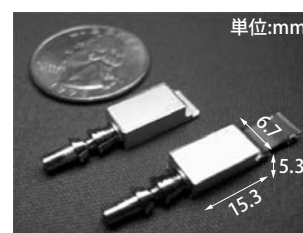


図1 光トランシーバ内の光受信モジュールの実装可能領域

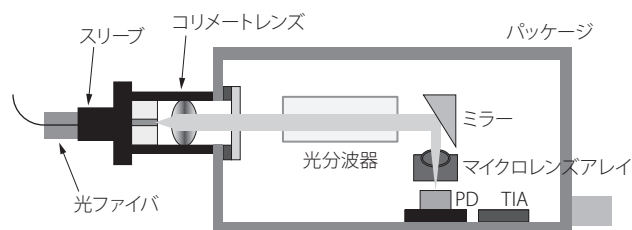
表1にはIEEE802.3ba 40GBASE-LR4の規格とITU-T G.695で定められるOTU3レートでの規格を示す。光受信モジュールの性能として、1271nmから1331nmまでの20nm間隔の4波長のCWDM光を4つのレーンに分波することが求められる。40GBASE-LR4（伝送速度10.3Gbit/s）では、レーン間の入力パワー差が7.5dBのときも、各レーンで-11.5dBm（OMA）の最小受信感度を満たすことが求められている。また、最大入力（オーバーロード）は3.5dBm（OMA）である。一方、OTU3（伝送速度10.8Gbit/s）では最小受信感度-10.8dBm以下が必要となる。また、光受信モジュールの光結合部に要求される光反射減衰量は26dB以上と規定されている。

表1 光受信モジュール仕様

項目	仕様		単位
	40GBASE-LR4	OTU3	
伝送速度	10.3125	10.7546	Gbit/s
波長	レーン0	1271 ± 6.5	nm
	レーン1	1291 ± 6.5	nm
	レーン2	1311 ± 6.5	nm
	レーン3	1331 ± 6.5	nm
オーバーロード (OMA)	> 3.5		dBm
チャンネル間パワー差	< 7.5	< 5.5	dB
最小受信感度 (OMA)	< -11.5		dBm
平均パワー受信感度		< -10.8	dBm
光反射減衰量	> 26	> 26	dB



(a) 外観



(b) 内部断面

図2 光分波器集積小型光受信モジュール

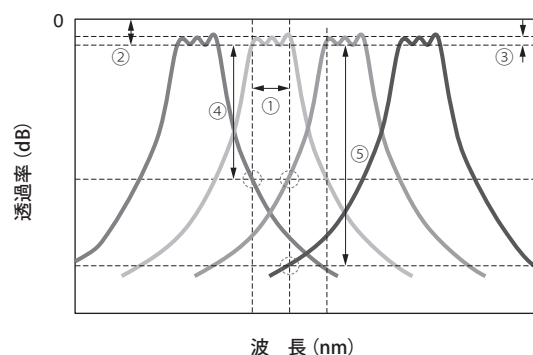
キシブル基板上でトランシーバの回路基板に接続する構造としている。これによりQSFP+に搭載可能なパッケージのサイズ15.3mm×6.7mm×5.3mmを実現した。

**3-2 光分波器** 光分波器の特性パラメータを図3に示す。これらに加え、特性パラメータの温度依存性と、外形サイズが光分波器の性能を表す。光ファイバからの入射光を分波する方式には、薄膜フィルタ、AWG（アレイ導波路）、方向性結合器、グレーティングなど様々なものがあるが、今回、サイズ、挿入損失、各波長のアイソレーション、さらにそれらの温度依存性を主に考慮し、薄膜フィルタ方式を選定した。

### 3. 光分波器集積小型光受信モジュールの構造

**3-1 全体構造** 今回開発した光分波器集積小型光受信モジュールの外観図を図2(a)、内部断面図を図2(b)に示す。図2(a)の上段は後述するフレキシブル基板が無い状態、下段はある状態を示す。パッケージ内には、光分波器、マイクロレンズアレイ、および4chのフォトダイオード(PD)、トランスインピーダンスアンプ(TIA)等が搭載される。これに、光ファイバからの入射光(1271, 1291, 1311, 1331±6.5nmのCWDM4波が合波した光信号)を光分波器に入射させるスリーブとコリメートレンズが調芯固定される構造となっている。PDには高速応答性と光学設計の点から、受光径φ50μmの上面入射型のアレイチップを採用しており、光分波器で分波された4波の光信号はマイクロレンズアレイで集光され、PDに結合する設計としている。

また、4レーン分の高周波出力を含む多くの出力端子を7mm以下に配置する狭幅化を実現するため、パッケージ後部に4chの高周波端子とDC端子を2段で構成し、フレ



①パスバンド幅
②挿入損失
③パスバンドリップル
④隣接チャネルアイソレーション
⑤非隣接チャネルアイソレーション

図3 光分波器の特性パラメータ

**3-3 光学設計、特性** 今回開発した光分波器集積小型光受信モジュールの光学系の模式図を図4に示す。外部からの光信号が入力されるファイバスタブより出射した光を、コリメートレンズで平行光に変換する。光分波器はミラーと各レーンに対応した波長のみを透過する特性を持つバンドパスフィルタ（以下、BPF）で構成されている。入射した平行光は一つ目のBPFでレーン3（1331nm）に対応する光が分波され、残りのレーン0（1271nm）、1（1291nm）、2（1311nm）に対応する光は反射される。その後ミラーで再度反射され、二つ目のBPFでレーン2（1311nm）が分波される。この繰り返しにより4波に分波される。

図4から容易に理解できるようにレーン0～レーン3では光路長が異なる。小型光受信モジュールに搭載するサイズの光学系で用いる平行光は伝播に伴う拡散を無視できないため、マイクロレンズアレイ上での各レーンのビーム径のばらつきが最小になるように、ファイバスタブとコリメートレンズ間距離を最適に調整している。BPFは光の入射角度に依存して透過波長がシフトする特性を有している、また特に最後に分波されるレーン0（1271nm）の光学長が長くなる、の2点から、所望の光分波特性を得るためには、BPFに対する平行光の角度調芯と位置決めが非常に重要となる。そこでBPFとミラーを良好な光分波特性が得られるようあらかじめ位置決めして接着固定し、一つのサブアセンブリ（光分波器）として扱い調芯する。分波された平行光は各レーンのPDに対して一括調芯されたマイクロレンズアレイにより集光され、PDアレイへ集光する。

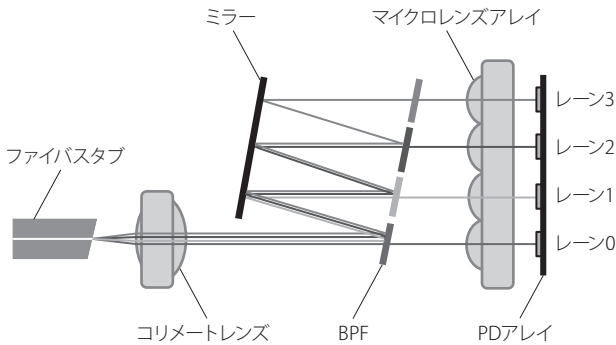


図4 光受信モジュールの光学系

図5に光分波器集積小型光受信モジュールの波長依存性（光分波特性）を示す。各レーンに所定の波長が分波され、受光感度は0.8A/W以上と良好な特性が得られている。表2に光学特性を示す。光分波器の挿入損失は0.5dB以下、隣接レーンのアイソレーションは27dB以上と良好な特性を得た。また、光反射減衰量は33dBと仕様を十分満たす結果を得た。

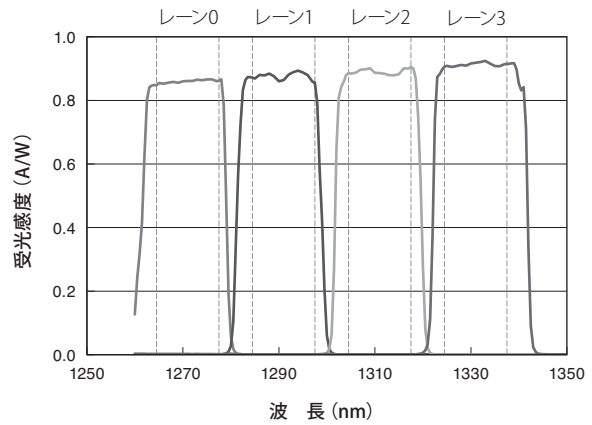


図5 光受信モジュールの波長依存性（光分波特性）

表2 光学特性

パラメータ	レーン	目標仕様	波長		
			-6.5nm	センター	+6.5nm
受光感度 [A/W]	レーン0	> 0.7	0.85	0.86	0.86
	レーン1		0.87	0.86	0.86
	レーン2		0.89	0.89	0.91
	レーン3		0.91	0.92	0.91
挿入損失 [dB]	レーン0	< 1.0	0.38		
	レーン1		0.46		
	レーン2		0.40		
	レーン3		0.32		
リップル [dB]	レーン0	< 0.5	0.07		
	レーン1		0.20		
	レーン2		0.15		
	レーン3		0.11		
隣接レーンアイソレーション [dB]	レーン0	> 25	-	-	29.6
	レーン1		27.8	-	31.4
	レーン2		29.2	-	32.4
	レーン3		29.3	-	-

**3-4 RF設計、特性** 今回開発した光受信モジュールは幅7mm以下の極めて狭いスペースを4つの信号が伝搬するため、各レーン間のクロストークにより受信感度の劣化が懸念される。パッケージのセラミック部に配置する信号線路設計を工夫することで、図6および図7に示すようにパッケージ（単体）の良好な透過特性およびパッケージ内各レーン間の電気クロストークの低減を実現した。

図8に光受信モジュールの符号誤り率（Bit Error Rate: BER）特性を示す。評価用光源には消光比5.5dBの40G-CFPを用いた。40GBASE-LR4とOTU3の入力光信号に対し、BER=10<sup>-12</sup>における最小受信感度は全レーンとも-17dBm

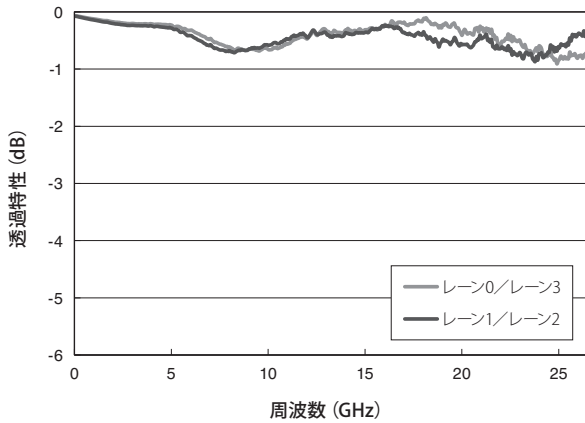


図6 パッケージ (単体) の透過特性

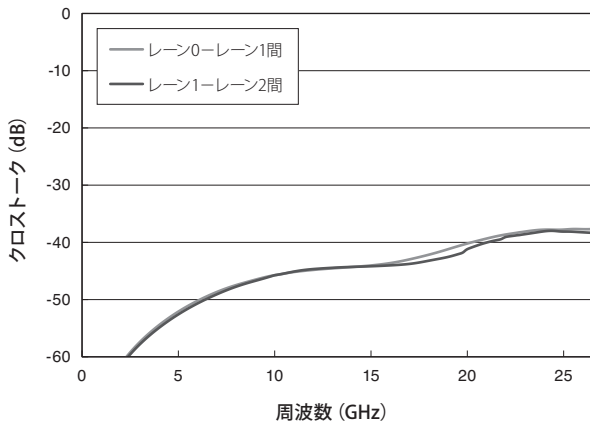


図7 パッケージ内レーン間の電気クロストーク

以下を示した。図9に示すように、光受信モジュールのケース温度  $T_{case} = -10 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 、動作電圧  $3.0 \sim 3.6\text{V}$  の範囲において、最小受信感度は  $-16.4\text{dBm}$  以下、その変動量も  $1.0\text{dB}$  以下を確認した。クロストークの影響を確認するため、測定するレーンとそれ以外のレーンに入力する光信号間に光量差  $7.5\text{dB}$  をつけた状態で、BER特性を評価した。図10に各レーンでのクロストークペナルティを示す。最大でも  $0.2\text{dB}$  とクロストークは十分小さいことを確認した。オーバーロードは  $3.7\text{dBm}$  (OMA) と仕様を満たす結果が得られた。また図11に電源電圧  $V_{cc} = 3.3\text{V}$ 、 $T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$  における入力光パワー別の出力波形を示す。良好な結果を確認した。以上の評価結果から、本モジュールはIEEE規格で定められた最小受信感度  $-11.5\text{dBm}$  (OMA) 以下と、OTU3の  $-10.8\text{dBm}$  以下という仕様に対し、非常に大きなマージンを有していることを明らかにした。

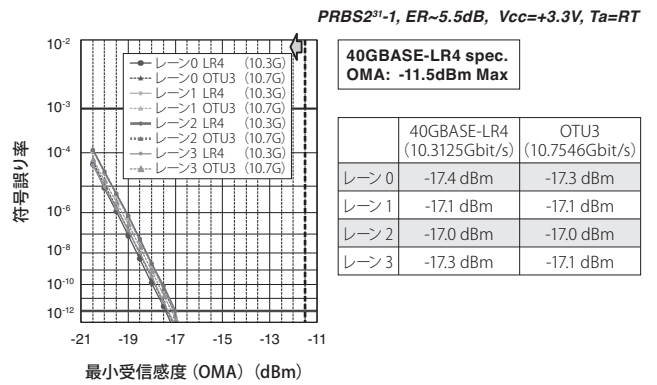


図8 光受信モジュールの符号誤り率

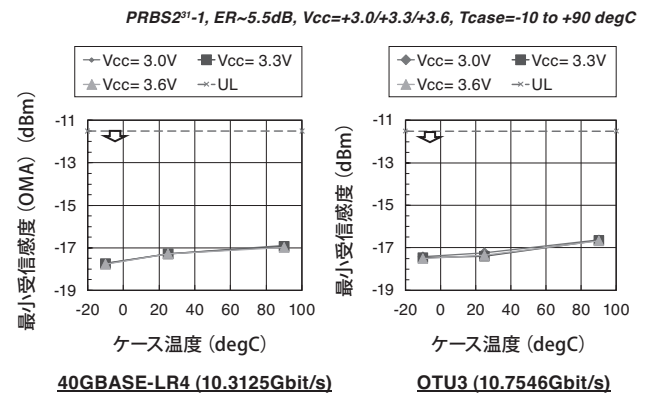


図9 最小受信感度の温度依存性

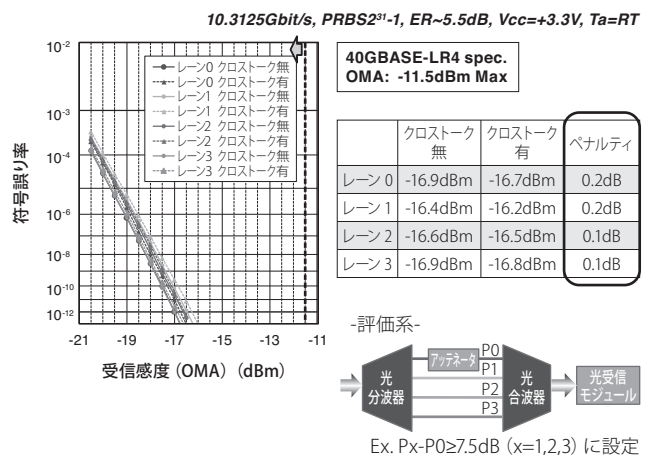


図10 クロストークペナルティ

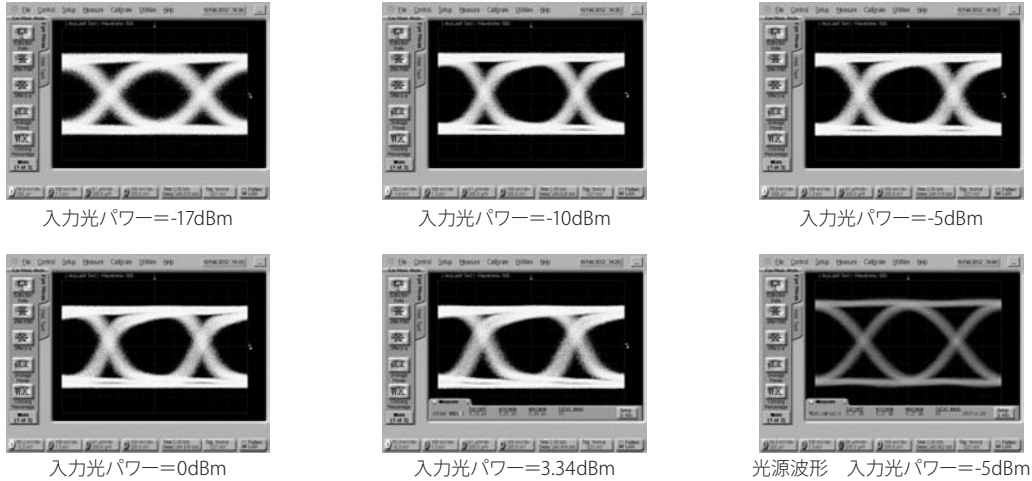


図11 出力波形

#### 4. 結 言

QSFP+に搭載可能な40GBASE-LR4光分波器集積小型光受信モジュールを開発した。光分波器を含む光学設計、パッケージ設計など全体構造を最適化することにより、光受信モジュールの小型化を実現した。特性面では、受光感度は0.8A/W以上、最小受信感度は-17dBm以下@BER=10<sup>-12</sup>と、IEEE/OTU3規格を十分満たす特性を実現した。今後、光伝送装置の更なる大容量化に対応するため、現在仕様策定が進められている小型の100GE光トランシーバに搭載可能な光受信モジュールを同様の形態で開発していく。

#### 参 考 文 献

- (1) 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)
- (2) "SFF-8436 Specification for QSFP+ 10 Gbs 4X PLUGGABLE TRANSCEIVER Rev 4.3 July 7, 2012"  
(ftp://ftp.seagate.com/pub/sff/SFF-8436.PDF)
- (3) 沖和重 他、「40GBASE-LR4 QSFP+用WDM集積小型光受信モジュールの開発」、2012 電子情報通信学会総合大会論文集、B-10-115、pp.438 (Mar. 2012)

#### 用 語 集

※1 XFP/SFP+

それぞれ、10Gbit/s小型光トランシーバの業界標準規格の一つ

※2 CFP

40, 100Gbit/s小型光トランシーバの業界標準規格の一つ

※3 QSFP+

40Gbit/s小型光トランシーバの業界標準規格の一つ

※4 CWDM

Coarse WDM : 20nm 間隔の波長多重

※5 OMA

Optical Modulation Amplitude : 光変調振幅

※6 AWG

Arrayed Waveguide Grating : アレイ導波路

#### 執 筆 者

沖 和重\* : 伝送デバイス研究所 主査



川村 正信 : 伝送デバイス研究所

中島 史博 : 伝送デバイス研究所 工学博士

鈴木三千男 : 伝送デバイス研究所

原 弘 : 伝送デバイス研究所 グループ長

藤村 康 : 伝送デバイス研究所 グループ長

\*主執筆者