

# SFF/SFP光トランシーバ

阿部 真也 飛田 謙洋

ギガビットイーサネット、ファイバチャネルおよびSONETなどに対応した光トランシーバにおいて、MT-RJ、Duplex-LC、Duplex-MU（小型2心の光ファイバコネクタ）等をフロントエンドに採用したSFF（Small Form Factor）トランシーバや活線挿抜可能なSFP（Small Form-factor Pluggable）トランシーバは小型、低価格で取り扱いが簡単のため急速に広まりつつある。これらはMSA（Multi Souse Agreement）と呼ばれる業界標準によって寸法、ピン配置、フットプリントが規定されている。SFP-MSAが結ばれて3年以上が経過しており、高機能化、高性能化、更なる低価格化の要求が高まってきた。

株式会社シグマ・リンクスはこれらの要求に応えるため、以下の2製品を新たに開発した。

- ①ギガビットイーサネット規格とファイバチャネル規格に準拠し、リアルタイムでSFP光トランシーバの動作状態を監視できるデジタル診断モニタ機能を内蔵したSFP短波長光トランシーバ（図1参照）
- ②OC-3からOC-48\_FEC（155.52～2666.057Mbit/s）までのアプリケーションに対応し、デジタル診断モニタ

機能を内蔵したAPD（Avalanche Photo Diode）内蔵SFP長波長光トランシーバ

本報では、新たに開発した2製品と代表的な製品の主要特性などについて紹介する。

## 特徴

本製品には次のような特性が要求される。

- ①できるだけ小さいジッタ付加（ユーザ装置のジッタ付加制限を緩和させるため）
- ②各規格を満たす送受信特性
- ③MSAを満たす形状、寸法
- ④低価格

## 設計コンセプト

上記の要求を満たすために、本製品は以下のようなコンセプトで開発した。

- ①プリント基板上の差動伝送線路のディファレンシャルスキューをゼロに近づけ、差動段出力インピーダンスを完全にマッチングさせる。
- ②発光立上り時間の遅い発光素子の場合、この遅さをカ

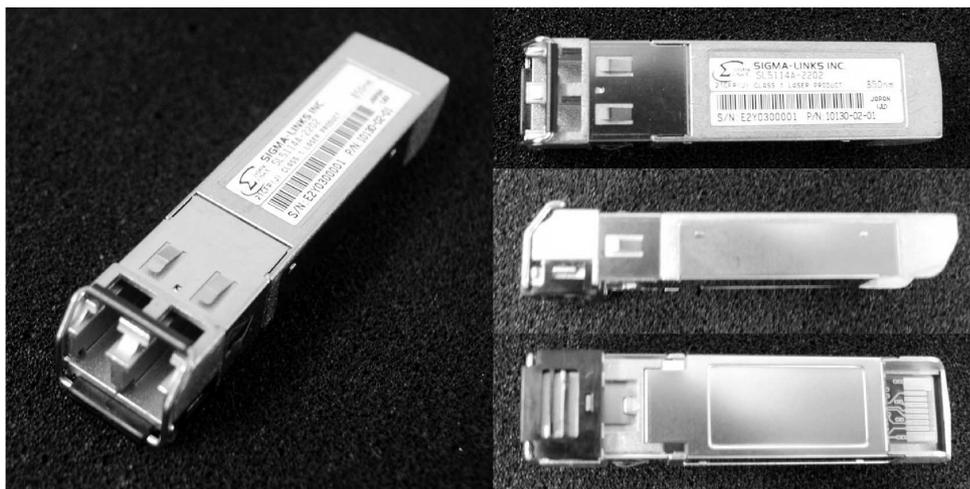


図1 SFP光トランシーバの外観図

パーするために、レーザドライバ出力段にピーキング回路を追加する。

③光コネクタハウジングと筐体が一体となったケースを採用し、組み立てコストを低減する（図1参照）。

### SFF短波長光トランシーバ

SFF光トランシーバは従来のDuplex-SC型光トランシーバの約半分のサイズで、Duplex-LCやMUなどの光コネクタインタフェースを持つ。発光状態を外部に出力するTX\_FAULT（LD周辺回路が故障し、LDがシャットダウンした際に故障を検知する）機能を有する2×6ピンと、この機能がない2×5ピンタイプがあり、この端子は装置側の基板に半田付けにより固定される構造となっている。

表1にSFF短波長光トランシーバ製品とその諸元を示す。電気/光学特性はギガビットイーサネット規格（IEEE 802.3）とファイバチャネル規格（ANSI FC-PI）に準拠し、光コネクタにはDuplex-LCタイプに対応している。図2に外形図を示す。外形サイズ、ピン配置、フットプリントはMSAに準拠している。

表1 SFF短波長光トランシーバの主要諸元

品番	SL4111A	SL5111A	SL5115A
光コネクタ	Duplex-LC		
速度 (Gbit/s)	1.0625/ 1.25	1.0625/2.125	
規格	ANSI FC-PI/ IEEE 802.3	ANSI FC-PI	
発光電力(dBm)	-9.5 ~ -4.0		
受光電力(dBm)	0 ~ -18	0 ~ -16	
端子数	2×5		2×6
電源電圧(V)	+3.3 ± 5 %		
発光素子	波長850nm帯 VCSEL		
適合光ファイバ	50/125, 62.5/125 MMF		
伝送距離(m)	550	300	

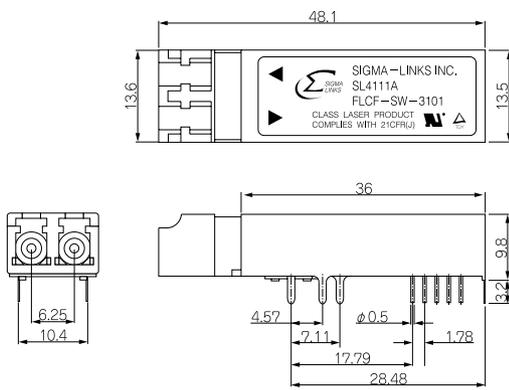


図2 SFF短波長光トランシーバ外形図

### SFP光トランシーバ

SFP光トランシーバはSFFと同じサイズありながら、テールエンドにエッジコネクタを持ち、活線挿抜可能という特徴を持っている。余分なポートにはSFPを挿入しなければよいため、導入コストを抑えることができること、装置間の伝送距離を延長する場合など、トランシーバを交換する作業だけで済むため拡張性の面で優れている。

その他の特徴として、伝送距離、伝送速度やベンダ名など情報をEEPROMに書き込み、I2Cインタフェース（デバイス内部部品間接続の標準シリアルバス）を介して外部から識別するSerial ID機能や、TX\_FAULT機能、RX\_LOS（受信信号の有無を検出する）機能などを有している。

高い信頼性を要求する通信システム向けに、リアルタイムでSFP光トランシーバの動作状態を監視し、保守管理を容易に行うことができるようにするデジタル診断モニタ（DDM）機能を搭載した光トランシーバをリリースしている。診断結果がEEPROMの特定アドレスに格納され、Serial ID機能と同様にI2Cインタフェースを介してこれらの情報を外部から識別することができる。

### SFP短波長光トランシーバ

表2にSFP短波長光トランシーバの諸元を示す。光インタフェースとしてMT-RJ、Duplex-LC、Duplex-MU型光コネクタに対応した製品をラインナップしている。図3に外形図を示す。外形サイズ、ピン配置、フットプリントはMSAに準拠している。

### SFP長波長光トランシーバ

光インタフェースとしてDuplex-LC、Duplex-MU型光コネクタに対応した製品をラインナップしている。伝送距離にあわせてOC-48 SR用の最大伝送距離2kmのものから、受光素子にPIN-PD（PIN Photo Diode）を用い

表2 SFP短波長光トランシーバの諸元

品番	SL4214A	SL4114A	SL4314A
光コネクタ	MT-RJ	Duplex-LC	Duplex-MU
速度 (Gbit/s)	1.0625/ 1.25		
準拠規格	FC-PI / IEEE 802.3		
発光電力(dBm)	-9.5 ~ -4.0		
発光素子	$\lambda = 850\text{nm}$ VCSEL		
受光電力(dBm)	0 ~ -18		
電源電圧(V)	3.3 ± 5 %		
使用光ファイバ	50/125, 62.5/125 MMF		
伝送距離(m)	550 m		

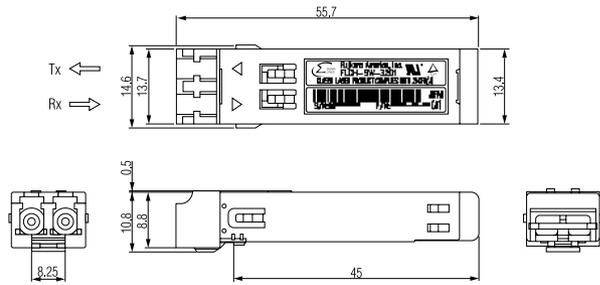


図3 SFPトランシーバ外形図

てギガビットイーサネットのデータを最大80kmできるタイプまで幅広く用意している。製品数が多いため諸元については省略する。

### トリプルレートSFP短波長光トランシーバ (SL5114A)

新たに開発したSFP短波長光トランシーバの諸元を表3に示す。1台でギガビットイーサネット規格 (IEEE802.3) とファイバチャンネル規格 (ANSI FC-PI) に準拠し、1.0625, 1.25, 2.125Gbit/sのトリプルレート伝送を可能としている。また、前頁にて紹介したデジタル診断モニタ機能を標準装備している。

図4にビットレート2.125Gbit/sでの送信アイパターンを示す。規定のアイマスクに対して十分なマージンを持っており、光出力の立ち上り/立ち下り時間、ジッタ特性についても良好な特性が得られている。

短波長製品特有の問題として、緩和振動周波数の低いレーザダイオード (LD) を搭載した1.0625Gbit/sファイバチャンネル用光トランシーバが数多く市場に存在している。光出力波形を図5に示す。相互接続性を確保するため、このような波形の信号でも受信できるようにしつつ、2.125Gbit/sでの受信特性を満足させなければならない。短波長製品全てにこの機能は搭載していたが、受信回路の見直しによって、2.125Gbit/sの受信特性は変わらずに1.0625Gbit/s (緩和振動周波数の低いLD) 信号を受

表3 SFP短波長光トランシーバSL5114Aの諸元

品番	SL5114A		
光コネクタ	Duplex-LC		
速度 (Gbit/s)	1.0625	1.25	2.125
準拠規格	ANSI FC-PI / IEEE 802.3		
発光電力(dBm)	-9.5 ~ -4.0		
発光素子	$\lambda=850\text{nm}$ VCSEL		
受光電力(dBm)	0 ~ -18	0 ~ -16	
電源電圧(V)	3.3 $\pm$ 5%		
使用光ファイバ	50/125, 62.5/125 MMF		
伝送距離(m)	550 m	300m	

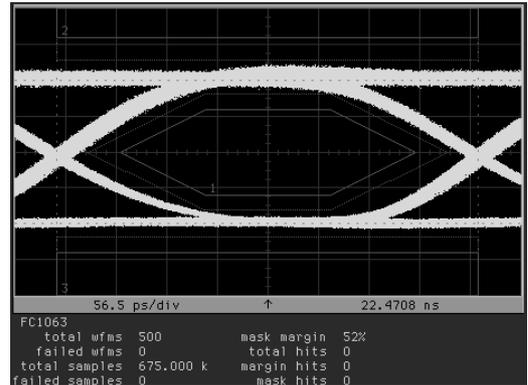
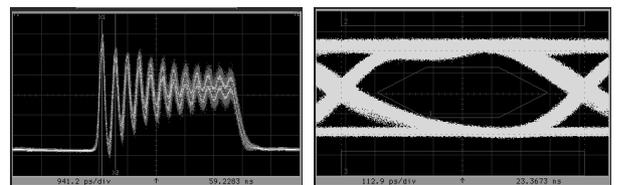
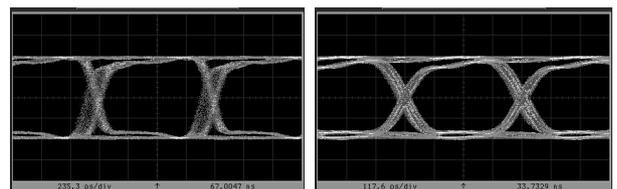


図4 SL5114A送信アイパターン  
(ビットレート 2.125 Gbit/s, PRBS 27-1)



(a)k28.7データパターン (b)マスクテスト

図5 緩和振動周波数の低いLDを搭載した光トランシーバからの光出力波形  
(ビットレート 1.0625Gbit/s, 緩和振動周波数 2.3 GHz)



(a)1.0625 Gbit/s (b)2.125 Gbit/s

図6 受信波形 (データパターン PRBS27-1)

信したときのジッタ特性を従来比で10%改善することに成功した。受信波形を図6に示す。

### 長距離タイプSFP光トランシーバ (SL6124G, SL6134H)

受光素子にAPDを使用したSFPトランシーバを開発した。主要諸元を表4に示す。

諸元に示す通り、動作速度は、155.52~2666.057 Mbit/sと広範囲であり、OC-3からOC-48\_FECまでのアプリケーションに対応できることを特長としている。

APDを使用することで、最小受光感度は最大-28dBmと高感度であり、中心波長 ( $\lambda_c$ ) が1550nmのDFB-LDを搭載したSL6134Hでは、2666.057Mbit/sで最大80kmの無中継データ伝送が可能となる。

SL6124G, SL6134Hは前々頁にて紹介したデジタル

表4 長距離タイプSFP光トランシーバ  
(SL6124G, SL6134H) 主要諸元

型番	SL6124G	SL6134H
光コネクタ	Duplex-LC	
速度	155.52 ~ 2666.057 MHz	
発光素子	$\lambda c=1310$ nm DFB-LD	$\lambda c=1550$ nm DFB-LD
発光電力	-2 ~ 3 dBm	
受光素子	APD	
受光電力	-9 ~ -28 dBm	
電源電圧	+ 3.3V $\pm$ 5 %	
適合光ファイバ	SMF 9/125 $\mu$ m	
伝送距離	40 km	80 km

表5 デジタル診断項目

デジタル診断項目	診断範囲(Typ.)
電源電圧	0 ~ 4.0[V]
内部温度	-40 ~ 100[ $^{\circ}$ C]
発光電力	-20 ~ +3[dBm]
LD平均電流	0 ~ 100[ $mA$ ]
受光電力	-28 ~ -9 [dBm]

診断モニタ機能を標準装備している。表5に診断項目と範囲を示す。SL5114Aも同機能が装備されている。

表5に示した各々の項目について、しきい値（最小、最大）を設定しており、故障等によってこの値を超えた場合には、特定ビットのフラグを立ててアラームするという機能も備えている。このしきい値は使用するデバイスや周囲温度条件などによって変更することができる。

図7にビットレート2.48832Gbit/sでの送信部アイバターンを示す。規定のアイマスクに対して十分なマージンをもっており、光出力の立ち上り/立ち下り時間、ジッタ特性についても良好な特性が得られている。

図8に符号誤り率特性を示す。BER =  $1 \times 10^{-10}$ となる受光電力は、-29.3dBmであり、仕様の受光電力範囲を

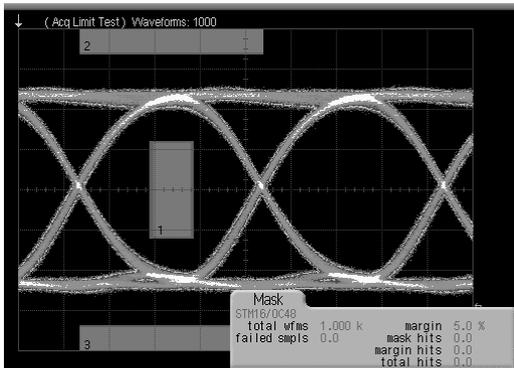


図7 SL6134H送信部アイバターン  
(ビットレート 2.48832 Gbit/s, PRBS 223-1)

符号誤り率  $10^{-n}$  ▲ 2488.32 MHz, PRBS 2<sup>n</sup>23-1

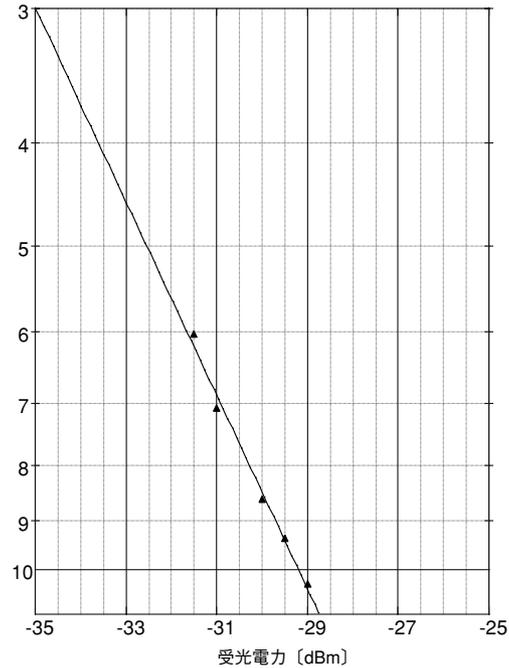


図8 符号誤り率特性

十分満足している。

### 信頼性試験

本報で解説したすべての製品は表6に示すTelcodia (Bellcore) 規格に準拠した信頼性試験を実施しており、いずれも十分な長期信頼性を有していることを確認している。◆◆

表6 信頼性試験項目および条件

項目	条件
振動試験	1500 G, 0.5 msec, 5回/軸
衝撃試験	ピーク加速度20 G, 周波数20~2000 Hz, 4分/サイクル, 4サイクル/軸
高温保存試験	+85 $^{\circ}$ C, 2000時間, 放置
低温保存試験	-40 $^{\circ}$ C, 2000時間, 放置
熱衝撃試験	$\Delta T = 100^{\circ}$ C以上 15サイクル 2分/サイクル以下
温度サイクル試験	-40 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C, 1000サイクル
湿熱試験	+85 $^{\circ}$ C, 85 %RH, 1000時間, 通電
高温通電試験	+85 $^{\circ}$ C, 2000時間, 通電

### ● 筆者紹介

阿部真也: Shinya Abe.株式会社シグマリックス 開発部  
飛田謙洋: Kenyo Tobita.株式会社シグマリックス 開発部