

小型低消費電力 10Gbit/s プラガブル 光トランシーバ SFP+ の開発

稲野 滋*・吉川 智・前田 靖裕
大森 寛康・石橋 博人・倉島 宏実
小川 堅博・加藤 考利・神杉 秀昭
沼崎 宣子・佐藤 俊介

10Gbit/s Pluggable SFP+ Optical Transceiver — by Shigeru Inano, Satoshi Yoshikawa, Yasuhiro Maeda, Hiroyasu Oomori, Hiroto Ishibashi, Hiromi Kurashima, Katahiro Ogawa, Takatoshi Kato, Hideaki Kamisugi, Nobuko Numasaki and Syunsuke Sato — SFP+ is the latest pluggable 10Gbit/s optical transceiver. Its form factor is compatible with SFP, which is a major lower-speed (below 4Gbit/s) optical transceiver on conventional optical networks. This paper describes the fundamental structure of SFP+ and the design of Sumitomo Electric's "SPP5101-SR" 850nm SFP+ for 10Gbit/s multimode-fiber application (10GBASE-SR). Sumitomo Electric had developed in the past the 300pin, X2 and XFP as 10Gbit/s optical transceivers. The advantages SFP+ has over these transceivers are not only compatibility with SFP, but also the smallest size and the lowest power consumption (below 1W per data port). SFP+ could be the most versatile device for expanding high-speed optical data communication networks.

1. 緒言

一般に ICT (Information Communication technology) と呼ばれる情報通信技術の発展により大量のデータ通信が可能となり、その重要性も年々増している。

大量のデータ通信を通信できるようになり、近年市民権を得た「ユビキタス (ubiquitous)」の言葉に象徴されるように、今では意識すらしないが、データ通信なしで社会生活ができないのではないかとさえ思われる。

本論文では、今後さらに大量のデータ通信を必要とされる通信ネットワークへの適用する小型、低消費電力、10Gbit/s 光トランシーバ「SFP+ (エスエフピープラス)」について述べる。

2. 通信ネットワークの大容量化と 10Gbit/s 光トランシーバの標準化

データ通信を行う通信ネットワークにおいてその末端に位置するサーバや、FTTH による家庭内の映像装置、デスクトップのパーソナルコンピュータにまで Gbit/s 級の伝送速度が広がり、ボトルネック解消のためよりネットワークが数回線でも集約される部分には大容量通信の 10Gbit/s の通信ネットワーク構築が必要であり、高速なデータ通信が必要になるとともに伝送媒体として広帯域、低損失である光ファイバによるネットワーク構築が進められている。

さらに 1Gbit/s 級 (1000BASE) の通信ネットワークでは伝送媒体としてツイストペア (UTP) を代表とする電気ケーブルを用いてラック間、社屋内の距離である 100m の

通信ネットワークを構築することが可能であるが、伝送速度 10Gbit/s (10GBASE) では電気ケーブルでカバーできる距離は最大 15m しかない*。

すなわち、これまで電気ケーブルで構築してきた近距離の接続も 10Gbit/s の通信ネットワークでは光ファイバによる接続の必要性が大きくなり、通信ネットワークの構成要素としてより重要になっている。

また、これからの通信ネットワークはその多用途性、大容量性すなわち高速性、柔軟性が常に求められ、増設、切り替えが容易なシステムが要求される。大容量通信ネットワークのインフラストラクチャである光ファイバ網との接続に使用される光トランシーバにはシステム稼働後に増設、交換すなわち活線挿抜が可能であるホットプラグブル光トランシーバ (プラグブル光トランシーバ) が多く採用されている。

プラグブル光トランシーバは活線挿抜が可能という性質もあり供給元が複数となる MSA (Multi Source Agreement) と呼ばれる業界標準の形態となることが多い。これはシステム全体から見た時の供給の安定性を確保とともに、オープンな仕様とすることで、新規技術が参入しやすいという利点がある。

当社では通信ネットワークの伝送速度が数 Mbit/s の時代から光トランシーバの開発、製品化を行ってきており、プラグブル光トランシーバについても世界に先駆けて製品化を進めてきた⁽¹⁾。

現在のプラグブル光トランシーバの主流である SFP

(Small Form factor Pluggable) は2001年に制定され、正面パネルではRJ45コネクタと同じ投影面積でGbit/s級の伝送に用いられている。(INF-8074i: SFF committee)

10Gbit/sのプラグブル光トランシーバとしては2003-2005年にXENPAK、XFPさらにXENPAKの派生であるX2、XPAKが制定され、実システムへの適用が進んできた。

2-1 SFP+ MSA 2006年1月に、通信ネットワークの更なる大容量化の要求から、SFP+ (写真1) と呼ばれる、従来のSFPのサイズの10Gbit/sへのアップグレード版のMSAが開始された。仕様はSFF CommitteeでSFF-8431として管理されている。

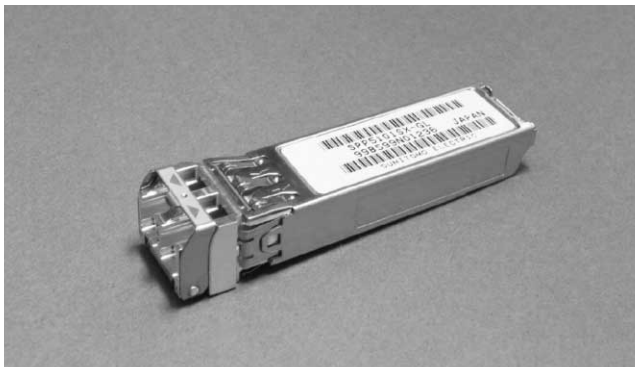


写真1 SFP+ 外観

MSAでの仕様策定過程において参加各社で製品設計を進め、この製品設計からMSAへ仕様策定へのフィードバックが行われ、より現実的な仕様となっている。

MSAではラインカード側のインタフェースの観点で議論され、仕様を謳われるのはサイズや発熱を決める消費電力を含む機構面とラインカード側に接続される電気信号インタフェースである。光側のインタフェースについてはその適用されるシステムにより個別に議論、決定される。

通常の標準化と同じくMSAにおいても、既存技術により実現できる仕様であることが条件とされる。SFP+ではその時点での技術到達度の観点から、消費電力をおさえるために、クロック再生機能を有しないことが前提となっている。

それに伴い、仕様策定として議論の結果、MSAのスコープからはテレコム (SONET/SDH) への適用は削除され、データコムに特化してサイズ、消費電力を絞り込むことで高密度実装対応を可能としたSFP+、テレコム、データコム双方のアプリケーションに対応するXFP、との位置付けとされた。

ただし、MSAはシステム側のサイズを含む機構および電気インタフェースを定めているものであり、テレコムやその他の新しい応用を制限するものではない。

2-2 SFP+の仕様 10Gbit/s用光トランシーバは300pin, XENPAK, XFPと機能をラインカード側とバランスを取りながら機能限定とポートあたりの消費電力の削減を進めてきた。

SFP+は前述のように機構面ではSFPと互換性を持ち、最大48連ポートへの搭載を前提に仕様を決定されており、最大消費電力の規定は1W (Level 1) と1.5W (Level 2) の二段階である。

Level 1はヒートシンクが不要な構成であり、より小型、多連装のシステムへの実装が可能である。またLevel 2はヒートシンクを前提とされているが、電源投入時には1W以下で起動し、Level 2での起動が許される場合にのみLevel 2での動作が開始される。また電源電圧は+3.3V単一である。

電気信号インタフェースはSFP+ high speed serial electrical interface (SFI) と呼ばれる主信号 (10Gbit/s) の差動入出力、電源、グラウンドの他に速度設定ピン、信号強制断、警告、さらに2-wireインタフェースにより認証、内部動作状態の監視などを行う。

ピン配置は従来のSFPと互換性があるが、10Gbit/sへの拡張のためラインカード上のコネクタは高周波特性の改善されたEnhanced型が必要とされる。

写真2、表1にX2、XFPおよびSFP+の比較を示す。

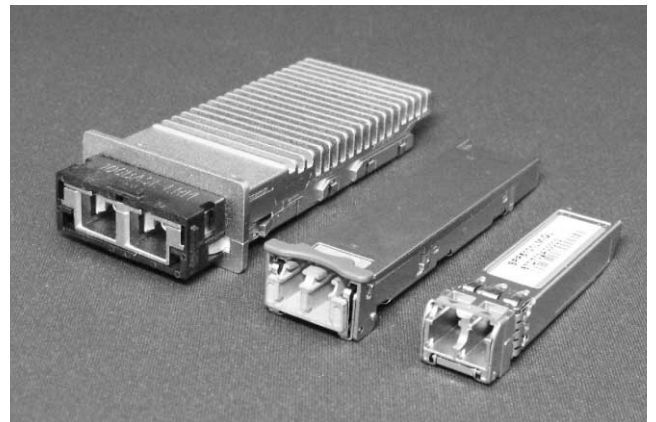


写真2 10Gbit/s プラグブル光トランシーバ (左から、X2, XFP, SFP+)

表1 10Gbit/s プラグブル光トランシーバ比較

	X2	XFP	SFP+
光インタフェース	10Gbit/s シリアル		
電気インタフェース	3.125Gbit/s × 4レーン	10Gbit/s シリアル	10Gbit/s シリアル
サイズ	91 × 36 × 13.4mm (44cc)	78 × 18 × 8.8mm (12.5cc)	55.7 × 13.4 × 8.8mm (6.6cc)
消費電力	4.5W	2.5W	1.0W
主な適用範囲	データコム	データコム テレコム	データコム

3. 10GBASE-SR SFP+

SFP+のMSAを基にマルチモードファイバ（MMF）用光トランシーバ「SPP5101-SR」を開発した。

3-1 10GBASE-SR用SFP+の構成と特性 内部機能ブロックを図1に示し、主要諸元を表2に示す。

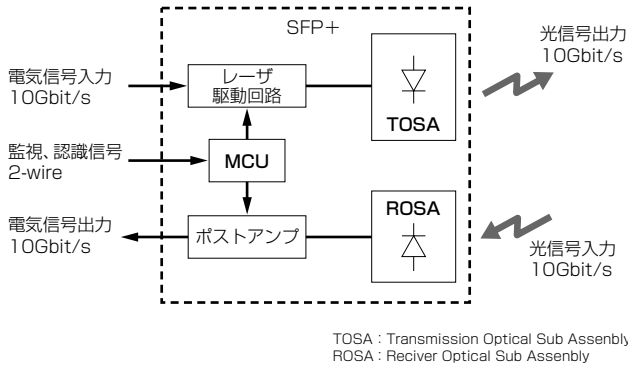


図1 SFP+機能ブロック図

表2 SFP+ (SPP5101-SR) 性能緒元

項目	仕様値	備考		
伝送速度	10.3125Gbit/s 9.95Gbit/s	10GBASE-SR/SW IEEE802.3ae LAN PHY/WAN PHY		
媒体	MMF			
伝送距離	26-300m	ファイバのグレードに 依存する		
光 インタ フェース	送信	出力波長	840~850nm	
		出力パワ	>-4.3dBm	OMA
	受信	波長	840~850nm	
		感度	ストレス無	-11.1dBm
		ストレス有	-7.5dBm	OMA
電気インタフェース	SFI	SFF-8431		
動作温度範囲	0-70C	ケース温度		
電源電圧	3.3V	+/-5%		
消費電力	1.0W以下	Typ.0.6W		

IEEE802.3aeに規定される10GBASE-SRでは、送信光信号が、スペクトラム幅、光振幅（Optical Modulation Amplitude: OMA）、安全面からの光パワの上限から設定される。

写真3に光出力波形と図2に受信感度特性を示す。IEEE 802.3aeでは光入力信号に実際の伝送線で発生しうる最悪状態を模擬した状態（ストレス状態）での伝送（受信感度）が規定されている。

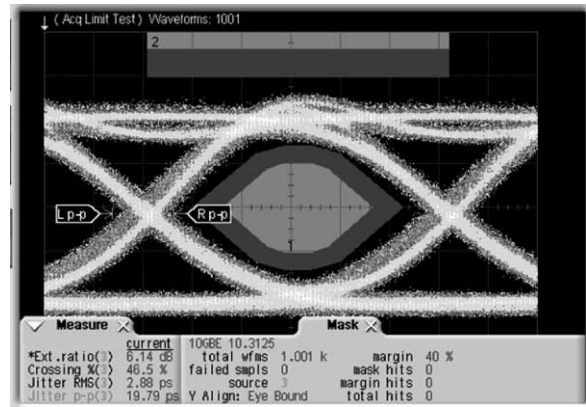


写真3 光出力

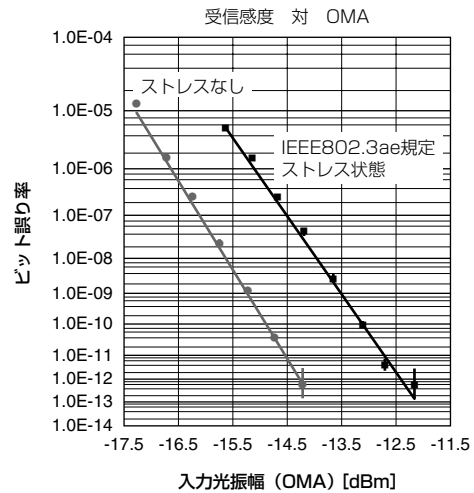


図2 受信感度測定結果

3-2 EMC設計 通信のインタフェースとなる電気信号、光信号については前章で述べたとおりであるが、現在の電子機器で重要な要素となるのが、電磁両立性（Electromagnetic Compatibility: EMC）であり、特に放射ノイズの低減が必須である。

SFP+のパッケージング自体はこれまで述べたように従来のSFPと同じであり、挿抜機構等は基本的に同一である。SFP+はラインカードに実装された金属製の箱（ケージ）に挿入される。ケージはフロントパネルの開口部付近と接点を持ち、放射ノイズの伝搬を抑える構造となっている。ここで放射ノイズの発生源とその伝搬経路を図3に整理する。ここでSFP+本体のみならず、ラインカード上にある信号処理回路からもノイズが放射される。

システムにSFP+が実装された場合、放射されるノイズは、SFP+により決定される系（ノイズ発生源1；経路A）と、SFP+とケージの系（ノイズ発生源1（と2）；経路B）、

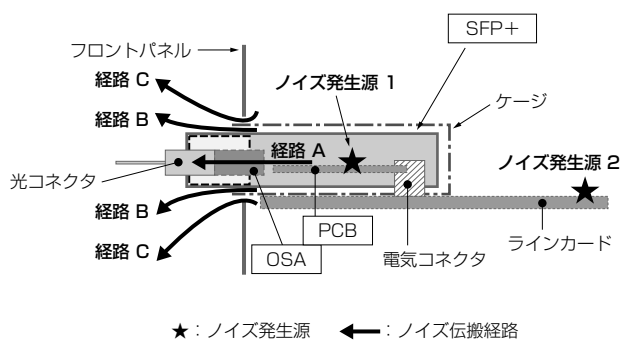


図3 ノイズ伝搬経路

ケージとフロントパネルの系（ノイズ発生源2：経路C）となる。経路Bは光トランシーバが実装されるラインカード上の信号発生源との位置関係などに依存するため定量的な設計は難しいが、SFP+とケージの間隙からの放射を抑える設計が必要である。

3-2-1 考慮すべき規定 10Gbit/sで通信するSFP+に要求される放射ノイズはFCC（Federal Communication Commission）によって規定される「Class B」であり、3m法で放射ノイズ電界強度54dB μ V/m以下を達成することが必要である。

3-2-2 シールド設計 SFP+からの放射ノイズ抑制には、回路設計と機構設計からのアプローチが重要である。前者に関しては、信号線のインピーダンス調整やグラウンドや電源との位置関係などに配慮し、放射の少ない回路構成を採用し、後者に関しては、前述した伝搬経路を塞ぐことが重要となる。具体的には光トランシーバとして塞がない光コネクタの部分の処理、SFP+外周とケージの接触部分の処理が重要である。

3-2-3 電界強度評価結果 3m法の評価系を図4に示す。システムカードを模擬したテストボックスのポート内でSFP+を動作させた際の電界強度を測定した。10GHzポイントの測定結果を図5に示す。水平偏波、垂直

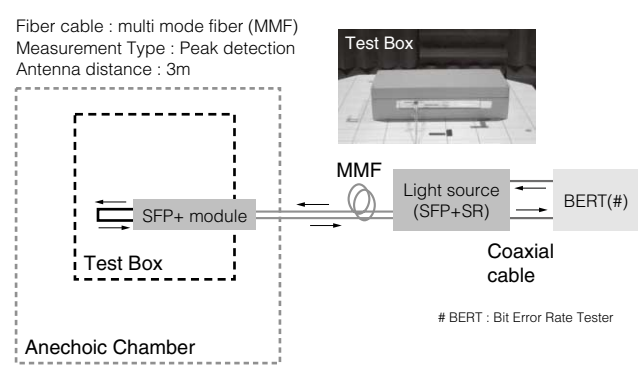
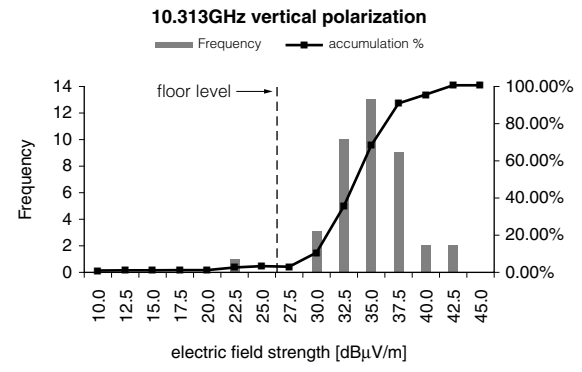
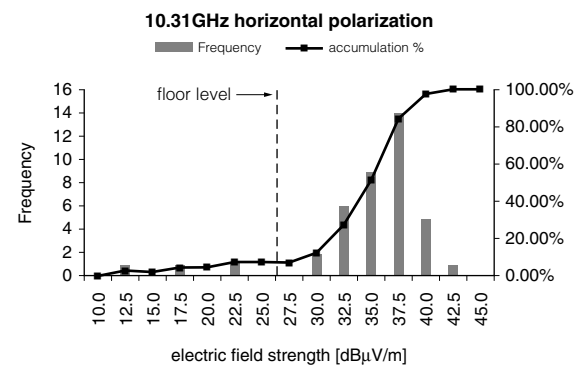


図4 3m法評価系



10.31 GHz	HOR	VER
Average \bar{X} [dB μ V/m]	35.1	33.9
Standard deviation σ [dB]	2.7	2.9
$\bar{X} + 3\sigma$ [dB μ V/m]	43.2	42.6

図5 10GHzの測定結果

偏波それぞれ平均で35dB μ V/m程度となっており、目標の54dB μ V/m（FCC Class B）以下を十分な余裕を持って満たしており、多連実装での使用にも十分に耐えうる特性である。

3-3 SFP+駆動に求められる機能 前述のようにSFP+はクロック再生機能が含まれていないため、その10Gbit/sの伝送速度の入出力の信号は図6-1に示すようにラインカード上の信号配線の長さによる劣化の影響を受ける。

したがって、その劣化はラインカード上の信号処理部に図6-2に示すような減衰する信号をあらかじめ補正してするプリエンファシス回路を採用し、SFP+への入力へはその信号発生器の信号が入力端で正常伝送できるように設定されなければならない。

SFP+を駆動するシステムにおいてはこのプリエンファシスの度合いをそのラインカード上の配線の長さ、またSFP+での波形歪に合わせて設定できる機能がシステム設計上必要とされる。

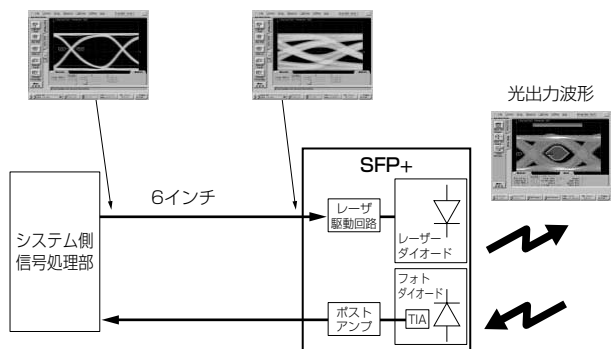


図6-1 ラインカード上のSFP+

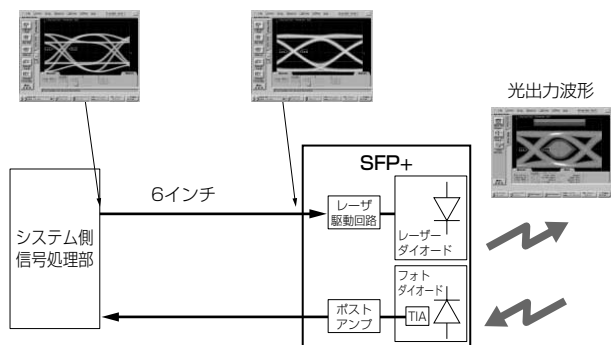


図6-2 ラインカード上のSFP+
システム側信号処理部にプリエンファシス機能

参考文献

(1) 西江、「光データリンクの研究開発」、SEIテクニカルレビュー・第173号、p1-13 (2008年7月)

執筆者

稲野 滋*: 伝送デバイス研究所
光機能モジュール研究部
プロジェクトリーダー
光ネットワーク用光トランシーバ開発、
光伝送仕様の標準化に従事



吉川 智 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
前田 靖裕 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
大森 寛康 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
石橋 博人 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部
グループ長

倉島 宏実 : 光伝送デバイス事業部 開発部 グループ長

小川 堅博 : 光伝送デバイス事業部 製造部

加藤 考利 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 主席
博士 (工学)

神杉 秀昭 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 主査

沼崎 宣子 : 伝送デバイス研究所 光機能モジュール研究部 主査

佐藤 俊介 : 伝送デバイス研究所 光通信デバイス研究部

*主執筆者

4. 結 言

本報告ではマルチモードファイバ用 (850nm) SFP+「SPP5101-SR」の開発について述べた。SFP+はそのサイズ、消費電力から、10Gbit/sの適応範囲を広げ、通信ネットワークの原動力となるものである。長距離光ネットワークへの応用として、シングルモードファイバ (SMF) への適用も急がれる。

*10GBASE-T (IEEE802.3an) では電気ケーブルでの100mの伝送を謳っているが特殊なケーブルの使用、ポートあたりの消費電力大きい等、実際の通信ネットワークへの適用には未だ問題がある。