



# 拡大する光通信技術 (進化する光データリンク)

西江光昭

Advancement of Optical Communication Technology — by Mitsuaki Nishie — Many countries and regions all over the world have turned into information societies, where significant volume of data is transmitted ubiquitously. Communication infrastructure that supports these information societies is largely depending on optical and wireless communication technologies. Optical transmission technology in particular is playing an important role in various applications including public communication systems, local area networks, FTTx networks, computer peripheral devices and mobile information systems. In line with this, optical data links, core parts for optical communication systems, are also expanding their application fields. This paper describes the current status of optical data links and the movement toward standardization in various application fields.

Keywords: optical network, optical data link, communication, standardization, multi-source agreement

## 1. 緒言

先進国をはじめ世界中の多くの国地域が情報化社会に突入し、何時でもどこでも誰とでも通信ができることが当たり前になってきた。また、新興国市場の立ち上がりによる通信ネットワークへのアクセス人口の爆発的増大に加え、高品位画像データ等1度のアクセスあたりにネットワークに流れるデータ量も増大し、通信ネットワークを流通するトラフィックの増大は留まるところを知らない。最近では画像データ等がインターネットに流れることが社会に大きな影響をもたらすことも周知の通りである。

その情報化社会を支える通信インフラは大半が光通信技術と無線通信技術に依存しており、タブレット端末、ス

マートフォン等の高性能モバイル機器によるインタフェース環境の整備とともに、膨大な量のデータを扱う光通信高速ネットワーク環境の更なる大容量化、インテリジェント化が推し進められ、新規技術開発とその応用製品の市場投入がなされている。また、光通信技術の応用は公衆通信網、LANシステムに留まらず、光アクセス網 (FTTxシステム)、コンピュータ周辺機器、車載光通信等にも拡大している (図1)。

光通信ネットワークにおいて光信号と電気信号の変換を受け持つ光データリンクやその構成部品ともなる光送信モジュールや光受信モジュールも応用範囲が拡大しており、社会インフラとしての公衆通信システム用光データリンク、ローカルエリアネットワーク (LAN) 用の光データリンク、コンピュータ周辺機器用光データリンク、車載用光データリンク等の開発が鋭意進められている。本稿では、このように幅広く使用されている光データリンクの現状、標準化動向について概説する。

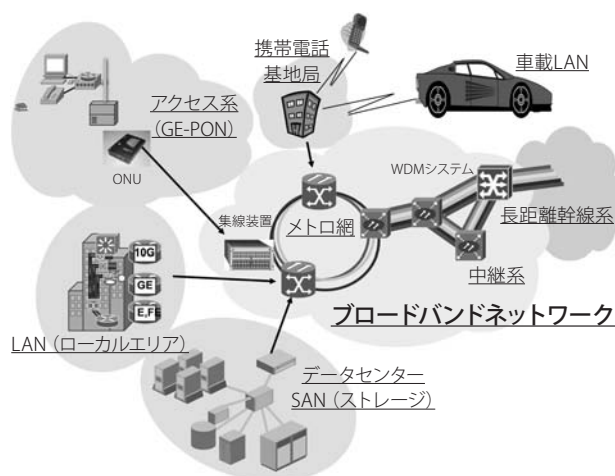


図1 通信ネットワーク

## 2. 公衆通信網／LAN用光データリンク

光通信技術は公衆通信網、ローカルエリアネットワーク (LAN) 用途でいち早く、また幅広く使われてきた。この用途では光通信システム方式の標準化と平行して、光／電気信号変換を行う光データリンクも標準化が進められてきた。ここでは主に上記の分野で複数の光データリンクメーカーとユーザー間でデファクトスタンダードとして検討されてきた Multi Source Agreement (MSA) について概説する。

当初、光通信システムは伝送速度、光信号レベル等が標

準化されておらず、従って、光データリンクを構成する部品であるLD、PD等の光半導体素子、増幅器ICや駆動IC等光通信用ICには汎用品はなく、テレコム装置ベンダ各社が垂直統合的に自社開発するという形が一般的であった。この場合には、光送受信機能を担うユニットはラインカードレベルのものであり、装置設計者はそれぞれ独自のパッケージ形状やピン配置を持つ個別の光半導体モジュール、IC類を使用してラインカードのボード設計を行うのが普通であった。一方、データコムにおいては、1980年代に入りFDDI等に代表されるLANや大型コンピュータと周辺機器間通信のデータ伝送速度が数100Mbit/s以上に高速化され、自前の光半導体素子を持たない通信装置メーカーは、光半導体素子と周辺電子回路をパッケージ内に一体実装した光データリンクの形態で光半導体素子メーカーあるいは光データリンクメーカーから供給されるという状況であった。この時点では、ピン配置やパッケージサイズ等にMSAとしての厳密な規定はなかったものの、通信装置メーカーからは光データリンクメーカー間の相互接続性、互換可能性が求められ、MSAの萌芽が生まれつつあった。その後、1990年代に入ってから、テレコム、データコムに通称1x9、2x9と呼ばれる形状の光トランシーバが広く使われ始めた。MSAとしての規格化は行われなかったものの実質的な業界標準として光データリンクメーカー各社に広く採用され、1x9タイプについては、その後IEC、JISでもパッケージ仕様が標準化されるに至った<sup>(1),(2)</sup>。

こうした背景の下、1990年代半ばになると、本格的にMSAとしての標準化が開始され、1995年11月にはギガビットイーサネットやファイバチャネルに用いることを目的としたGBIC (GigaBit Interface Converter) が<sup>(3)</sup>、1998年1月には光コネクタの小型化を機会に数Gbit/sまでの伝送速度向けに対応したSFF (Small Form Factor) がそれぞれ制定され、広く普及するに至った。GBICは光通信装置のホストボードに対して活線挿抜を可能とするという特長を持ち、通信事業者にとって保守性や機能拡張といった利便性を提供するものであった。2000年に入ると、小型光コネクタ対応と活線挿抜機能の両者の特長を併せ持った光データリンクであるSFP (Small Form Factor Pluggable) のMSAが9月に制定された<sup>(4)</sup>。このSFPでは、更にユーザの利便性向上のため、I2C (Inter-Integrated Circuit) インタフェースを通じて光送信レベル、光受信レベル等をモニタできる機能も追加される等の機能拡張も図られ、MSAの爆発的な普及をもたらすに至った。

伝送速度の高速化が進み、テレコム規格のSDH/ソネット、データコム規格のイーサネットがともに10Gbit/sを超える時代を迎えると、ボード上の電気信号速度を落としてボード設計を容易にするために、光モジュール内部に電気信号の多重・分離機能を持たせたトランスポンダと呼ばれる形態のMSAが2000年3月に制定された<sup>(5)</sup>。光モジュールの電気ピン数をとって300-pin MSAと称される

ものである。現在も長距離伝送系や40Gbit/sシリアル等の高速用途を主体に幅広く採用されている。

一方で、伝送装置全体のサイズ、単位サイズ当たりの伝送容量を重視するデータコム用途の通信装置業者を中心に、光データリンクの小型化、低消費電力化、着脱容易性等に関する要求は強く、イーサネットの10Gbit/sへの高速化(10GbE)に対応した、XENPAK (2001年5月)が生まれ<sup>(6)</sup>、続いてこれを小型化したXPAK (2002年3月)、X2 (2002年7月)<sup>(7)</sup>等のMSAが次々と生まれた。これらの光データリンクはXAUI (3.125Gbit/s × 4レーン) という電気信号インタフェースに対応しており、何れも内部に電気信号あるいは光信号の多重・分離機能を持っている。しかし、これらの光データリンクはXAUIに準拠しているため、用途は10GbEに限られるものであった。

このデータコムにおける動きと並行して、10Gbit/s対応の光データリンクをSDH/ソネットに準拠する公衆通信用途にも適用する動きが始まり、電気インタフェースにXFIと呼ばれる10Gbit/sシリアル信号を持つ光データリンクのMSA (XFP) が生まれた (2002年3月)<sup>(8)</sup>。これはイーサネット、SDH/ソネット双方のアプリケーションに対するマルチプロトコル対応可能である。XFPでは10Gbit/sの高速電気信号が光トランシーバとホストボードとの受け渡しに用いられることになり、信号品質確保のためにボード上配線の特性インピーダンス、電気信号ピンのインピーダンス、電気コネクタ境界における電気信号波形などが詳細に規定されることになった。XFPは光モジュール内にクロック再生機能を持っており、基本的に3R (Reshaping Retiming Regenerating) 機能内蔵光データリンクである。

更なる小型化要求、低消費電力化に対応し、4Gbit/s以下の速度で広く用いられるに至ったSFPの電気インタフェースを拡張しSFIと呼ばれる10Gbit/sシリアル信号を取り扱えるようにしたSFP+と呼ばれるMSAも生まれた (2006年5月)<sup>(9)</sup>。SFP+はクロック再生機能を内蔵していない。10kmまでの短距離用途を中心にイーサネット

表1 10Gbit/s対応光データリンクMSAの主要仕様

	XENPAK	X2	XFP	SFP+
筐体寸法	121 × 36.174mm	91 × 36 × 11 mm 91 × 36 × 13.46 91 × 36 × 22.86	78 × 18.35 × 8.5 mm	56.5 × 13.7 × 8.6 mm
光コネクタ	SC2芯	SC2芯	LC2芯	LC2芯
電気コネクタ	70pin	70pin	30pin	20pin
電気インタフェース	4レーンXAUI (3.125Gbit/s × 4ch)	4レーンXAUI (3.125Gbit/s × 4ch)	XFI (10Gbit/s シリアル)	SFI (10Gbit/s シリアル)
消費電力	850,1310nm : ≤ 6W 1550nm : ≤ 10W	Class I : ≤ 4W Class II : 4-5W Class III : > 5W	Level 1 : ≤ 1.5W Level 2 : ≤ 2.5W Level 3 : ≤ 3.5W Level 4 : > 3.5W	Level 1 : ≤ 1.0W Level 2 : ≤ 1.5W

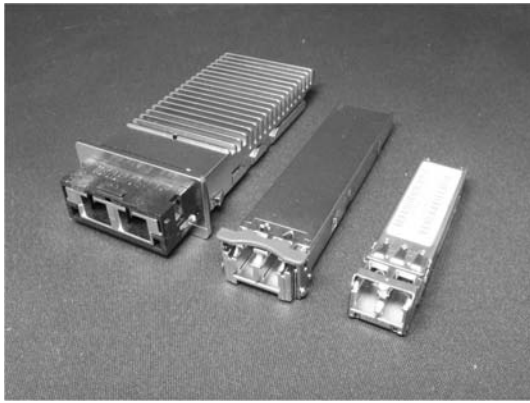


写真1 X2、XFP、SFP+光データリンク (夫々左から)

(10GbE)、ファイバチャネル (8GFC) への適用が始まっており、更には実伝送速度が14Gbit/sに達する新しいファイバチャネル規格 (16GFC) への適用も検討されている。これら10Gbit/sに関する種々の光トランシーバの代表的MSA仕様を表1にまとめる。また、X2、XFP、SFP+の外観写真を写真1に示す。

2000年代後半に入り伝送速度の高速化は更なる進展を迎え、40GbE並びに100GbEに関する新たなEthernet仕様IEEE802.3baが予定通り2010年6月に承認された。光データリンクに関連するインターフェース規格を表2にまとめる。

表2 40GbE及び100GbE対応光データリンク インターフェース主要規格

	規格名称	光 インターフェース	電気 インターフェース	伝送距離	主な 光データリンク
40GbE	40GBASE-SR4	10Gbit/s × 4レーン (パラレル)	XLAUI : 10Gbit/s × 4レーン	100m (OM3 MMF)	QSFP+
	40GBASE-LR4	10Gbit/s × 4レーン (CWDM)		10km (SMF)	CFP
100GbE	100GBASE-SR10	10Gbit/s × 10レーン (パラレル)	CAUI : 10Gbit/s × 10レーン	100m (OM3 MMF)	CXP
	100GBASE-LR4	25Gbit/s × 4レーン (LAN WDM)		10km (SMF)	CFP
	100GBASE-ER4	25Gbit/s × 4レーン (LAN WDM)		40km (SMF)	CFP

また、これに対応する光データリンクについても、単芯のシングルモードファイバを用いるCFP<sup>(10)</sup>、複数芯のマルチモードファイバを用いるQSFP+<sup>(11)</sup>、CXP<sup>(12)</sup>等各種のMSAが制定されている。これらMSAの中でCFPは、短距

離用途に限定した他のMSAと異なり、100GbE及び40GbEに限定されず、公衆通信網対応も目指して制定されたものである。そのため、消費電力は8W以下、16W以下、24W以下、32W以下の4つのクラスに分かれ、パッケージサイズも145mm×77mm×13.6mmと他のMSAに比して大きくなっており、汎用性や使い勝手に対しても十分に配慮された仕様となっている。特に放熱設計に関してはMSA文書の付録として熱設計デザインリファレンスを用意し、ホストボード設計者に対する熱評価及び熱設計に関する設計ガイドラインを提供している。CFPトランシーバは既に市場での流通も始まっており、100GbE用途の第一世代MSA光トランシーバとしての適用が進むことが予想される。CFPの外観写真を写真2に示す。



写真2 CFP光トランシーバの外観写真

今後も通信トラフィックの爆発的増大に対応するため、高速化、低消費電力、高信頼性、互換性を備えた光データリンクのMSAが進められるであろう。特にクライアントサイド用途を考慮した場合には、更なる小型化、低消費電力化の要求は必定であり、既にその議論が開始されている。

### 3. FTTxシステム用光データリンク

FTTxシステムでは以前から、SDH/ソネット規格をベースにしたA-PON、B-PON<sup>(13)</sup>、G-PON<sup>(14)</sup>や、イーサネット方式をベースにしたGE-PON<sup>(15)</sup>、イーサネット方式の信号を光電気変換する方式のメディアコンバータ等が提案、審議されてきた。その中で、現在では局側機器の簡素化と光ファイバ本数の削減が可能なPON (Passive Optical Network) 方式で、イーサネットをベースにした1Gb/sのGE-PONが日本では主流となっている。PON方式は、一つの局側装置に光分岐器を介して多数の端末が繋がる方式である<sup>(16),(17)</sup>。各端末からの局側への上り信号は光信号の衝突

を避けるため順序良く決められたタイミングでバースト信号として出す必要があるが、局側での光受信レベルは送信される各端末毎にばらつくので、光受信部には広いダイナミックレンジと光受信回路にとって最も厳しい条件となる大入力信号直後の小信号検出対応が必須となる。これは従来の光データリンクには無い機能であり、様々な受信方式が検討されてきた。その中でも、GE-PONで使われる8B10Bコーディングされた1GbE信号はSDH/ソネット信号に比べて“1”“0”の連続ビット数が少なく、比較的簡単な受信回路で上記の要求を満たすことができた。

PON方式のFTTxシステムはいずれにしても、上り下り信号の非対称性により局側の光送受信要求仕様が特殊なものになることから、光データリンクは個々のPONシステムメーカーのカスタム品という位置付けになっており、1章で述べたようなピン互換までも含むMSA化は未だ進んでいないが、今後、FTTxシステムの普及と共にこの用途の光データリンクの標準化が進むと思われる。

GE-PONの更なる高速化を目指して10G-EPON<sup>(18)</sup>の開発が進められ、方式の標準化は2009年9月に完了している。10G-EPONはGE-PONに比べて、コーディング方式の差異により、“1”“0”の連続ビット数が長く、ガードタイムを短く設定して使うことも許容されているため局側の光受信回路がより高度になる。また、光送受信器の能力のみでGE-PONと同等の光パワーバジェットを実現するのが困難であるため、FEC (Forward Error Collection) が採用されている。今後、従来のGE-PONと共存可能な下りが10Gb/s、上りが1Gb/sの非対称10G-EPON<sup>(19)</sup>の実用化、さらには上り下り共に10Gb/sのシステムが普及していくものと思われる。

FTTxシステムでは、局側については保守性の観点からシステムボードに着脱可能なSFP、XFP等のパッケージを使ったバースト対応光データリンクが今後使われていくであろう。端末側については、低コスト化の観点から光送受信機能のみをモジュール化するのではなく、通信制御機能を含めたONU (Optical Network Unit) としてモジュール化されていくと思われる。

#### 4. コンピュータ周辺機器用光データリンク

テレコム/データコムから普及・拡大した光通信技術は、近年のユビキタス社会化、高精細動画に代表される情報量の増大に伴い、多様な分野へと適用領域が拡大している。データセンター、HPC (High Performance Computer : いわゆるスパコン) では、CPU/メモリ間伝送、メモリ/メモリ間伝送の速度がシステム性能を決定する大きな要因となっているため、1980年代から光通信方式が採用されており、当社でも国内外のスパコン用にセミカスタム仕様の光データリンクを供給してきた。その当時当社で製品化したものは多心ファイバを使うパラレル方式ではなかったが、

コンピュータ用途ではデータバス幅に近いパラレル方式が望ましいことから、パラレル伝送光データリンクの開発が多くのメーカーで進められ、近年では大容量のパラレル伝送光データリンクが実用化されている。

特に近年ではHPCは演算性能の競争が激しく、年ごとに性能上位が目まぐるしく入れ替わる状況である。光通信は低消費電力化が期待できること、クロストークが極めて少なく狭ピッチ化が可能なことからHPCには光インタコネクタは必須の方式となっている<sup>(20)</sup>。

2010年に移働した東京工業大学のHPC「つばめII」では、演算性能2.4PFLOPSを得るために総データ伝送容量200Tbpsを確保しており、主要なデータ伝送路にはケーブルコネクタ端末で電気-光変換を行なうアクティブ光ケーブルが採用されている。

図2にIBTA (Infiniband Trading Association) が公表しているデータ伝送容量のロードマップを示す。1ch当たりの伝送速度は、5Gbps (DDR) から25Gbps (EDR) と、6年間で5倍となる。現在では、10Gbps (QDR) × 12chの並列データ伝送でリンク容量120Gbpsのものが商用化されている。これらの光通信では、光源として直接変調のVCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting LASER) アレイが用いられている。

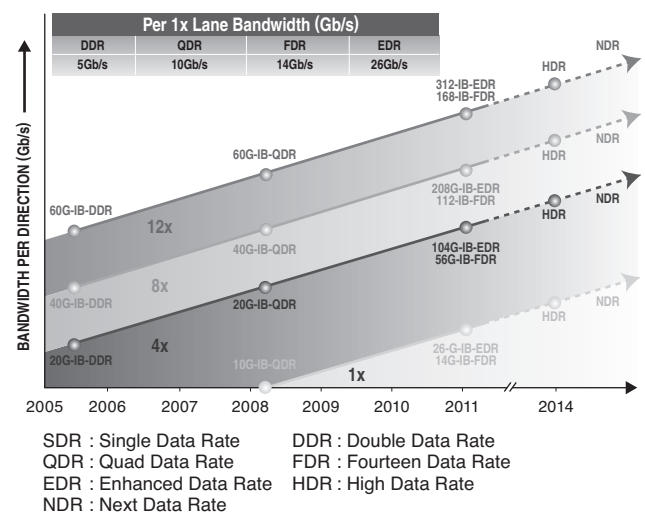


図2 Infinibandロードマップ (IBTAホームページより)

また、現在は主としてラック間伝送に光通信技術が用いられているが、カード間伝送、さらに将来のチップ間伝送の光化に向けた開発が盛んに行なわれている。小型・低消費電力・低コスト化の観点から、従来の光ファイバに加えて平面導波路、シリコン半導体製造プロセスをベースとするSi-Photonics技術等の活用が期待される分野である。

アクティブ光ケーブルの一例を写真3に示す。



写真3 アクティブ光ケーブル

コンシューマエレクトロニクスの分野では3D-TVや4Kシネマに代表される動画高精細化の流れの中で、更に高速のデータ伝送が要求されつつある。既にHDMI (High-definition Multi-media Interface) やDVI (Digital Visual Interface) といった画像伝送インタフェースでは数十m以上の伝送距離が必要なところで、電気-光変換ユニットやアクティブ光ケーブルといった光通信技術が活用されている (写真4参照)。

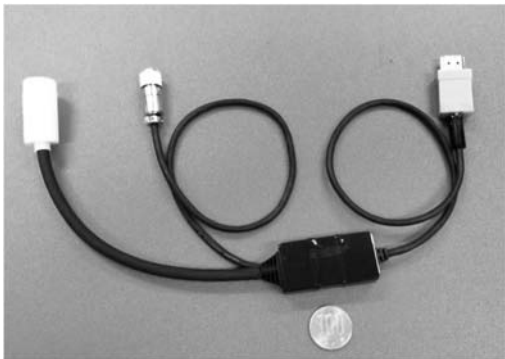


写真4 HDMI用電気-光変換ユニット

USBはほとんどのパソコンに標準搭載されており、2008年に規格化されたUSB3.0は伝送速度5Gbpsをサポートしているが、ケーブル長が最大3mという制約がある。これに対し、2011年2月にインテル社/アップル社が発表したThunderboltは、コネクタインタフェースとしては電気信号であるが、物理的にはメタルケーブル・アクティブ光ケーブルの双方に対応できるものとなっている。伝送速度は10Gbpsで、HD映像の映画を30秒で伝送できる能力がある。ケーブル長さが一定以上に必要な用途、お

よび、10Gbps以上の高速伝送が要求される場面では、今後、光通信が主流となっていくものと考えられる。今後、この種の光伝送部品のMSAが進められるであろう。

## 5. 車載用光データリンク

自動車の電子化が進むと共に、カーナビゲーションや車内エンターテインメントの情報容量拡大に伴い、車載機器間通信の伝送速度も高速化されている<sup>(21)</sup>。車載ネットワーク規格として、様々な方式が提案されてきたが、光通信としては既に欧州を中心に、POF (Plastic Optical Fiber) を用いたMOST<sup>®</sup>25 (Media Oriented Systems Transport 25Mb/s) 規格が実用化されている (写真5)。MOST<sup>®</sup>25のシステムでは、LED光源と大口径のステップインデックス型光ファイバを用いるため伝送速度25Mbpsという制約があるが、さらに高速伝送を追求する動きが有り、MOST<sup>®</sup>150 (150Mb/s)、IDB1394 (100Mb/s~1Gb/s) 等が検討されている。通信速度の高速化には、光源としてVCSEL、伝送路としてグレーデッド型光ファイバを用いるのが有力である<sup>(22)</sup>。近い将来、Gbpsクラスの車載光データリンクを用いた光LANが実用化されることになるであろう。

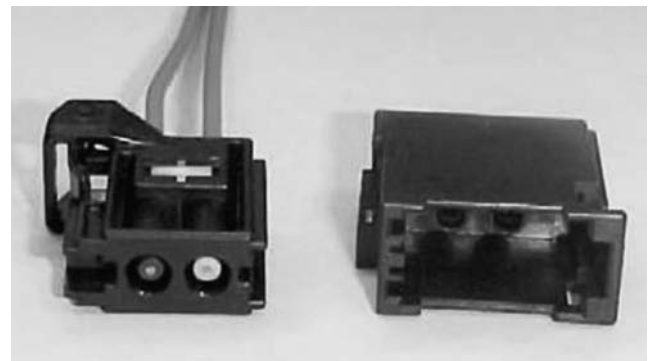


写真5 MOST用光コネクタと光データリンク

## 6. 結 言

光データリンクの現状、標準化動向を大まかな分野毎に述べた。特に光データリンクのMSAに関しては、ユーザにとっては複数のベンダから相互互換な光データリンクを調達できるというメリットは非常に大きく、光部品市場の成長拡大に大きく寄与してきたといえる。

その一方で、最もMSA化が進んでいる公衆通信網/ LAN用光データリンクに関しても、高速化や管理機能、活線挿抜機能の追加等に代表される高機能化に伴い、MSAで

全てのインタフェースを一義的に決めることが困難になってきているという側面もあり、市場での流通に際しては、汎用化とカスタマイズ化の両面をにらみながら製品化を進めるというのが実際のところである。今後、飛躍的に技術が進展すると思われるFTTxシステム、コンピュータ周辺機器、車載用途等に於いては様々な仕様の標準化、MSA化が試みられると思われるが、今後とも光通信システムの発展、光部品市場の一層の拡大に向けては、光部品のコモディティ化を推し進めることが必須であり、MSA文書内容の充実や仕様作成時の事前実験など、ユーザ、メーカ双方での努力が今後とも続けられていくであろう。

- ・イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標です。
- ・Thunderboltは米国Intel Corporationの米国及びその他の国における商標又は登録商標です。

## 参 考 文 献 -----

- (1) JIS C5952-5 光伝送用能動部品－パッケージ及びインタフェース標準－第5部：SC (F04形) コネクタ付 1×9ピン光送信・受信モジュール及び光トランシーバ
- (2) IEC62148-5:2003, Fibre optic active components and devices – Package and interface standards – Part5: SC 1x9 fibre modules
- (3) INF-8053i Specification for GBIC (Gigabit Interface Converter)
- (4) INF-8074i Specification for SFP (Small Formfactor Pluggable) Transceiver
- (5) <http://300pinmsa.org/html/documents.html>  
"Reference Document for 300PIN 10Gb Transponder"
- (6) INF-8474i A Cooperation Agreement for 10 Gigabit Ethernet Transceiver Package
- (7) INF-8476i Specification for X2 10 Gigabit Ethernet Transceiver
- (8) INF-8077i 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module
- (9) SFF-8431 Specifications for Enhanced 8.5 and 10Gigabit Small Form Factor Pluggable Module "SFP+"
- (10) <http://www.cfp-msa.org/documents.html>
- (11) SFF-8436 Specifications for QSFP+ Copper and Optical Modules
- (12) Supplement to InfiniBand architecture Specification Volume 2 Release 1.2.1 Annex A6: 120 Gbit/s 12x Small Form-factor Pluggable (CXP)
- (13) ITU-T Recommendation G.983.1 (1998), Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON).
- (14) ITU-T Recommendation G.984.1 (2003), Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.
- (15) IEEE Std 802.3ah™-2004: Amendment to IEEE Std 802.3™-2003: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks, now part of IEEE Std 802.3™-2008
- (16) 辻 他、「GE-PON装置用光IFの開発」、SEIテクニカルレビュー第164号、P.51 (2004年3月)
- (17) 村田 他、「GE-PONシステムの開発」、SEIテクニカルレビュー第168号、P.42 (2006年3月)
- (18) IEEE Std 802.3av™-2009, Amendment 1 to IEEE Std 802.3™-2008: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks
- (19) 大道 他、「非対称10G-EPONシステムの開発」、SEIテクニカルレビュー第175号、P.103 (2009年7月)
- (20) 中川、「光インタコネクタ技術」、電子情報通信学会誌、P.1042 Vol.93、No.12 (2010)
- (21) 各務、「車載ネットワークの最新動向」、電子情報通信学会誌、P.851、Vol.93、No.10 (2010)
- (22) 加藤 他、「車載光LAN用光学部品」、信学技報、P.69 Vol.110、No.436,2011

## 執 筆 者 -----

西江 光昭 : フェロー

材料技術研究開発本部 技師長  
光データリンク開発に従事  
フォトランスミッション研究所長、  
伝送デバイス研究所長、  
解析技術研究センター長を経て、現職

