

光伝送機器・モジュールの新開発

開発企画センター 安東 泰博¹

The State-of-the-art Developments of Optical Transmission Equipment and Modules

Y. Ando

当社はこれまでに光通信用、光アクセスシステム用およびデータ通信用の各種光トランシーバやメディアコンバータ、画像伝送装置、FTTH用PON装置、仮想専用線（VPN）装置等の光伝送機器の開発を進めてきました。その一例として最近開発した①光通信システム用 40 Gbit/s RZ-DQPSK 光トランスポンダ、②光インタコネクションの例としてのデータセンター用と産業機器用 AOC、および③広域インターネット網を利用して仮想専用線を構築する VPN 装置について紹介します。

Fujikura has developed a variety of optical transceivers for telecommunication, optical access network, and data communication. We also have developed optical transmission equipment such as a media converter, video transmission equipment, PON equipment for FTTH, and an apparatus for a virtual private network (VPN). This paper reviews recent developments of the above equipment and modules; (1) 40 Gbit/s RZ-DQPSK transponder for optical transport networks, (2) AOC (active optical cable) for data centers and manufacturing facilities, and (3) VPN apparatus that realizes VPN connection over the wide-area IP network.

1. ま え が き

インターネットの普及によりネットワークを流れる通信トラフィックは膨張の一途をたどっています。携帯電話とくにスマートフォンの普及とクラウドサービスの発展により、このトラフィックの増加傾向は収まる気配をみせません。例えば日本におけるインターネット・トラフィックの増加は 2 年ごとに倍増しています。この増大するトラフィックを支えているのが光ファイバを用いた光通信技術です。伝送速度（ビットレート）の高速化、光増幅技術、波長多重技術、多値位相変調方式の導入によって、まだ研究レベルであるが 1 本の光ファイバによって 100 Tbit/s の伝送容量が実現されています¹⁾。

このような光伝送技術の高度化に対応すべく当社では 1980 年台以来、光通信用、光アクセスシステム用およびデータ通信用の各種光モジュール（光トランシーバや光トランスポンダ等）やメディアコンバータ、画像伝送装置、FTTH用PON装置、仮想専用線（VPN）装置等の光伝送機器の開発を進めています。またネットワークにおける通信と比べて格段に短い距離（装置の内部配線や装置間接続）においても光技術の導入が始まっています。いわゆる光インタコネクションであり、最近では光・電気変換部を電気コネクタに内蔵したアクティブ光ケーブル（AOC）という形態の光インタコネクションも現れてきています。

本稿では当社での光伝送機器および光モジュール開発における最近のトピックスとして、①多値位相変調方式を用いた 40 Gbit/s 光トランスポンダ、②光インタコネクションの一例としてのデータセンター用と産業機器用 AOC、および③インターネット網を仮想専用線として利用できる VPN 装置について紹介します。

2. 超 高 速 光 ト ラ ン ス ポ ン ダ

2.1 多値位相変調方式

近年、基幹系の光ネットワークは 10 Gbit/s をベースに波長多重技術（WDM）を併用することにより大容量化が図られてきました。当社でも、これまで基幹系光トランスポンダの業界標準仕様である 300 pin MSA²⁾ に注力し、10 Gbit/s の光トランスポンダの開発を進めてきました³⁾。しかし、さらなる大容量化が求められており、多値位相変調方式を用いた 40 Gbit/s ベースのシステム、さらにはデジタル・コヒーレント技術を利用した 100 Gbit/s 超の伝送システムの導入が始まっています。

40 Gbit/s 以上の伝送を既設の光ファイバで行おうとすると、1 ビット当たりのパルス幅が狭く、したがって占有する周波数帯域が広がるため、従来採用されている NRZ（Non Return-to-Zero）変調方式に代表される振幅変調では光中継増幅器で発生・蓄積する自然放光（ASE）雑音、波長分散、偏波モード分散（PMD）などの影響を強く受け、伝送距離が大幅に制限されます。これらの課題を解決できる変調方式として多値位相変調方

1 理事（工学博士）

略語・専門用語	正式表記	説明
FTTH	Fiber-to-the-Home	光ファイバを一般個人宅へ直接引き込むアクセス系光通信方式
PON	Passive Optical Network	光スプリッタによる信号の分岐によって、一本の光ファイバを複数の加入者で共有する光アクセス網
WDM	Wavelength Division Multiplexing	一本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を同時に入力し、大容量の情報を送る方式
MSA	Multi-Source-Agreement	複数の企業が集まって統一した仕様を策定し、それに準拠した製品を提供する形態
NRZ	Non Return-to-Zero	各ビットの間がいったんゼロにならない2値の符号化方式
RZ	Return-to-Zero	各ビットの間がいったんゼロになる2値の符号化方式
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	2ビットのデータを4つの位相に割り当てるデジタル変調方式であって、直前のビットとの差分に位相情報を与えるもの
C-band	Conventional-band	光通信で使用される波長範囲の一つで、1530-1565 nmの波長帯
L-band	Long wavelength band	光通信で使用される波長範囲の一つで、1565-1625 nmの波長帯
SOA	Semiconductor Optical Amplifier	半導体の誘導放出を利用する光増幅器
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	光ファイバのコアにエルビウムイオンを添加し、そのエネルギー準位の遷移の誘導放出を利用する光増幅器
QSFP	Quad Small Form-factor Pluggable	送受4対のポートを有する活栓挿抜可能な小形光トランシーバのMSA規格
IP	Internet Protocol	インターネットで利用されているネットワーク層の通信規格
IaaS	Infrastructure as a Service	サーバ、ストレージ、ネットワークなどのインフラを仮想的に提供するサービス

式が目されています。40 Gbit/s程度の伝送システムではRZ-DQPSKとよばれるRZ (Return-to-Zero) 化した差動4値位相変調方式(DQPSK)が優れています。当社では1波長あたり最大44.6 Gbit/sまで伝送できる高密度波長多重(DWDM)伝送システムに適用できるRZ-DQPSK光トランスポンダを開発しました⁴⁾。表1に40 Gbit/s変調における従来のNRZ振幅変調とRZ-DQPSKを比較して示します。4値の位相変調を利用することによりシンボルレートは1/2となります(電気回路の動作速度が1/2で良い)。また占有周波数帯域は50 GHzグリッド内に収まり、既存10 Gbit/sシステムの40 Gbit/sへのアップグレードが容易になります。

2.2 40 Gbit/s RZ-DQPSK光トランスポンダ

表2に開発した40 Gbit/s RZ-DQPSK光トランスポンダの主要諸元を示します。最大伝送速度は44.6 Gbit/sで、10 Gbit/sイーサネットを4チャンネル束ねたOTU 3e (Optical-channel Transport Unit 3e)をOTN (Optical Transport Network)をかいして転送することができます。光源には波長可変レーザを用いており、C-bandまたはL-bandそれぞれの全波長域の任意の波長を選択できます。光出力パワーは標準仕様では-5~-2 dBmです

が、世界ではじめて半導体光増幅器(SOA)を内蔵するオプションを有し、4~7 dBmまで増幅することができます。SOAの内蔵はエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)を外付けする場合に比べて、小形、低消費電

表1 40 Gbit/s 変調方式の比較
Table 1. Comparison of 40 Gbit/s Modulation Formats.

変調方式	NRZ-OOK	RZ-DQPSK
信号点配置 I: In-Phase (同相成分) Q: Quadrature-Phase (直交成分)		
Symbol Rate	40 Gsps	20 Gsps
変調光スペクトルの例		

表2 40 Gbit/s光トランスポンダの主要諸元
Table 2. Main specifications for 40 Gbit/s Optical transponder.

項目	最小	最大	単位	備考
共通部				
伝送速度	43.02	44.57	Gbit/s	デュアルレート
電源	+5.0, +3.3, -5.2		V	
消費電力	22 23	26 28	W	標準仕様 SOA オプション
動作温度範囲	-5	70	°C	
サイズ	127 × 177 × 18		mm	
送信部				
光出力パワー	-5 4	-2 7	dBm dBm	標準仕様 SOA オプション
動作中心波長	1528.773 1570.416	1563.455 1607.035	nm nm	C-band L-band
波長間隔	約 0.4		nm	50 GHz
波長精度	-25	25	pm	
受信部				
光入力パワー	0	8	dBm	
色分散耐力	-100	100	ps/nm	1 dBペナルティ
DGD耐力	—	20	ps	1 dBペナルティ

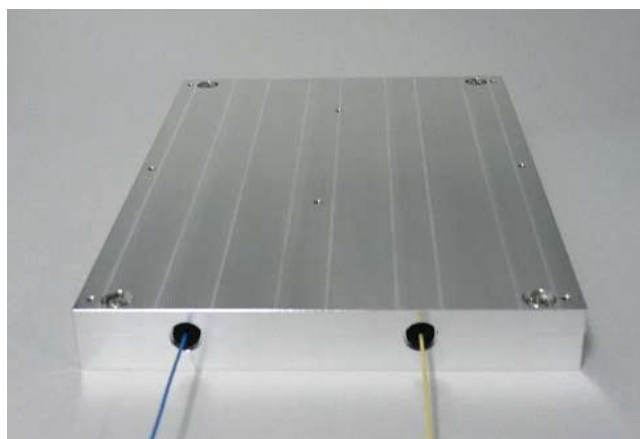


図1 40Gbit/s光トランスポンダの外観
Fig. 1. Appearance of 40 Gbit/s Optical Transponder.

力などの利点があります。しかしSOAは応答速度がnsオーダーと高速なため、NRZなどの振幅変調信号を飽和領域で増幅するとパターン効果（例えばビット「1」が連続したときにSOAの励起キャリアが枯渇し、利得が低下する現象）が発生するという欠点があります。RZ-DQPSKは振幅波形がRZ化されているため、強度「1」が連続することはなく、SOAのパターン効果はほとんど現れず優れた組合せとなっています。

図1に光トランスポンダの外観を示します。筐体部の寸法は127 mm × 177 mm × 18 mmと、300 pin MSAに準拠しています。

2.3 デジタル・コヒーレント技術

さて最近の通信トラフィック増加はネットワークのさらなる高速化を求めています。チャンネル当たり100 Gbit/s超の伝送速度を実現する方式として注目されているのが

表3 QSFP形AOCの主要諸元
Table 3. Main specifications for QSFP AOC.

項目	内容
端末形状	SFF-8436 QSFP+
データレーン数	4レーン（送受信4ペア）
最大伝送ビットレート	56 Gbit/s（1レーン当り14 Gbit/s）
電気データインタフェース	差動100 Ω（AC結合）
中心波長	850 nm
ケーブル長	7～100 m
動作ケース温度	0～70 °C
電源電圧	+3.13 to +3.47 V
各端末の消費電力	最大1.5 W



図2 QSFP形AOCの外観
Fig. 2. Appearance of QSFP AOC.

デジタル・コヒーレント技術です。レーザ光のコヒーレンシ（周波数の長期安定性）を利用して、無線と同様のホモダイン検波で光信号の振幅と位相を正確に測定し、より多値化を進めた位相変調方式により実効伝送速度を上げます。さらに受信信号をアナログ/デジタル変換し、信号を高速デジタル処理により補償・判別する技術です。今後の光伝送技術の主流となるとみられ、当社においても精力的に開発を進めています。

3. 光インタコネクションとアクティブ光ケーブル（AOC）

3.1 データセンター用AOC

スーパーコンピュータに代表されるHPC（ハイパフォーマンスコンピューティング）の内部配線やノード間のデータ通信、およびデータセンター内のデータ通信の分野において、広帯域でしかもケーブルの可撓性に優れたAOCが採用されています。当社は既存のアセンブリ技術と回路設計技術を駆使することでアセンブリコストの低減と高信頼性を実現した新たな電気・光変換部（光エンジン）を搭載したQSFP形AOCを開発しました。

主要諸元を表3に示します。図2の外観をもつ

SFF-8436 QSFP+ に準拠した電気インタフェースを有し、伝送レートはInfiniband規格⁵⁾のFourteen Data Rate (14 Gbit/s) までをサポートしています。

3. 2 産業機器用 AOC

産業機器、特に大容量の画像データを高速で処理するマシンビジョンの分野において、従来のメタルケーブルでは高速化と長距離伝送の両立が困難になってきています。そこで、デジタル映像信号の伝送方式の一つであるカメラリンク規格⁶⁾に準拠した電気インタフェースを有するAOCを開発しました。

主要諸元を表4に、機能ブロック図を図3に示します。伝送距離を制限している映像信号線のみを光化することで、既存品と使い方を変えずにカメラリンク規格で定められた最大伝送距離 10 mを大きく上回る 50 mの信号伝送を実現しました。また、可動部ケーブルに必要な 1000 万回以上の屈曲耐力も有しており可撓性にも優れています。カメラリンク AOCの両端のコネクタ部外観を図4に示します。

表4 カメラリンク AOCの主要諸元
Table 4. Main specifications for CameraLink AOC.

項目	内容
ケーブル長	最大 50 m
ケーブル径	8.9 mm
電気インタフェース	26 ピンコネクタ
電源電圧	+12V ± 5 %
消費電力 (両端末の合計)	0.8 W
動作周囲温度	-10 ~ 50 °C
屈曲耐力 (R = 50 mm)	1000 万回以上
入力ピクセルクロック周波数	20 ~ 85 MHz

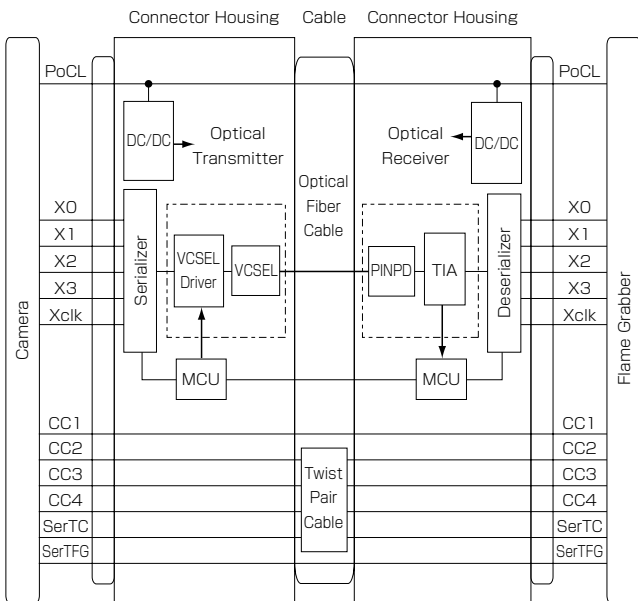


図3 カメラリンク AOCの機能ブロック図
Fig. 3. Block Diagram of CameraLink AOC.

4. 仮想専用線 (VPN) 装置

4. 1 VPN技術

VPNは、インターネットに代表される広域なIP網あるいは広域なイーサネット網をかいして、企業の拠点間などにあたかも専用線のような接続を構築する技術です。物理回線を実際に占有する従来の専用線サービスに比べて安価であることがVPNの第一の利点ですが、インターネット接続の高速化にともない利便性も向上し、その価値は年々高まっています。

VPNが利用する広域網には、多くの場合たがいに関係な多数のユーザが接続されています。所望の相手とだけ安全に通信するために、VPNではユーザと広域網の接続点に接続相手の認証や広域網内の通信の暗号化をになう専用装置 (VPN装置) が用いられます。

4. 2 Fleboシリーズの特徴

当社のVPN装置“Fleboシリーズ”は2004年の発売以来、常にクラス最高水準の性能を提供してきました。図5はその最新モデル“Flebo Next (型番: FNX 0630)”です。

Flebo Nextには専用設計のLSIが搭載されています。パケットのあて先判定、転送、暗号化/復号化などをこのLSIでハードウェア処理することにより、高速な転送性能を接続拠点数などの使用状況によらず安定して提供することができます。ハードウェア処理は容易に類推、改ざんできるものではないので不正なアクセスに対しても堅牢です。

通信装置を運用するためには、一般的には多数のパラメータを適切な値に設定する必要があります。当社は20年以上にわたってIP系通信装置を開発、販売してきました。この間フィールドから得た経験をもとに、Fleboシリーズでは設定パラメータを合理的に絞り込んだうえで、ソフトウェア技術を駆使してWebの設定画面の構成や遷移、操作部の配置、表示メッセージの内容や表示タイミングを洗練し、少数の簡単な操作で設定できるようにしました。

当社のVPN装置はハードウェアとソフトウェアの機能分担を最適化して「簡単・高速・安心・安定」を高いレベルでバランスさせていることを特徴とします。



図4 カメラリンク AOCの外観図
Fig. 4. Appearances of CameraLink AOC.

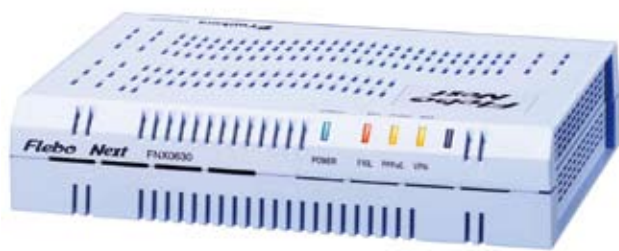


図5 “Flebo Next” FNX0630
Fig. 5. “Flebo Next” FNX0630.

4. 3 VPN技術の新しい応用

VPN装置の拠点間転送方式はブリッジング方式とルーティング方式に大別されます。Fleboシリーズはブリッジング方式のVPN装置です。

クラウド・コンピューティングでサービスを提供するソフトウェアは必ずしも単一のサーバマシン上で固定的に動作するわけではありません。必要に応じて複数のマシン上で動作したり、マシン間を移動したりします。この際、同一のソフトウェアを動作させるマシン間はブリッジング接続されていることが望ましい。一方、すでにルータ装置で切り分けられてしまっているネットワーク間をブリッジ装置で接続しなおすことは現実的には難しいことです。

この問題を解決するためにブリッジング方式のVPN技術が注目されています。クラウド・コンピューティングにおけるネットワークの仮想化（Infrastructure as a Service (IaaS)）はVPN技術の新しい応用のひとつです。

5. む す び

当社の光伝送機器・モジュール分野の最近の開発成果の中から、40 Gbit/s級光トランスポンダ、データセンター用と産業機器用AOCおよびVPN装置を取り上げ、それぞれの現状と展望について紹介しました。

これまで通信を主たる応用分野として発展してきた光伝送技術は、産業機器、医療、センサー・ネットワーク、車載ネットワークやロボティクス等の分野へ今後はその適用範囲を拡大していきます。当社もこのような広い分野への光技術の拡散に必要となる新技術を開発し、社会にインパクトを与え得る製品を提供しつづけていきたいと考えています。

参 考 文 献

- 1) Akihide Sano, Takayuki Kobayashi, Shogo Yamanaka, Akihiko Matsuura, Hiroto Kawakami, Yutaka Miyamoto, Koichi Ishihara, Hiroji Masuda, “102.3-Tb/s (224 x 548-Gb/s) C- and Extended L-band All-Raman Transmission over 240 km Using PDM-64QAM Single Carrier FDM with Digital Pilot Tone,” in Proc. of OFC/NFOEC 2012, no. PDP5C.3.
- 2) <http://300pinmsa.org/>
- 3) 藤咲ほか：「10 Gbit/sフルバンドチューナブル光トランスポンダ」, フジクラ技報, 第111号, pp.16-19, 2006.
- 4) 藤咲ほか：「多値位相変調方式を用いた40 Gbit/s光トランスポンダ」, フジクラ技報, 第120号, pp.23-28, 2011.
- 5) <http://www.infinibandta.org/>
- 6) <http://www.visiononline.org/>