

# 次世代光アクセスシステムCOF-PONの研究開発

## ～ 長距離ハイブリッドWDM-CDM-PON ～

玉井 秀明  
更科 昌弘

岩村 英志  
鹿嶋 正幸

渡辺 竜一

インターネットに代表されるIPデータ通信量は年々増加の一途を辿っている。日本ではNTT東西のBフレッツをはじめとするFiber to the Home (FTTH) サービスが2006年6月に600万加入を突破し、光アクセスの普及が急速に伸びている<sup>1)</sup>。

一方、海外でもアクセスネットワークに対する投資が増え始めている。特に北米の通信キャリアはトリプルプレーサービスで先行するCATVを追撃するため、RBOCs (Regional Bell Operating Companies) を中心にG-PON (Gigabit Passive Optical Network) の敷設が2007年から開始される予定である。

さらに今後はデータ通信にとどまらず、映像を中心とした大容量コンテンツ配信が基本サービスとして定着していくと予想されている。このようなサービスを展開するには、ネットワーク容量の増強と帯域の保証を同時に実現できる回線を敷設しなければならない。

しかし現在このような大容量アクセスサービスの収益性は必ずしも高くない。さらに、人口密度の低い地域でサービスを展開するには局舎から各ユーザーまでの距離は必然的に長くなるため、長距離化も欠かせない要素になる。よって通信キャリアは設備投資額・運用コストを極力抑えた上で上記のサービスを展開しなければならない。

このような低コスト化要求を踏まえて、標準化委員会や国際会議では次世代大容量光アクセスネットワークの検討が行われている。特に現在バックボーン系で用いられている波長分割多重 (WDM) 技術をアクセス系に適用させる方式が注目されている。ファイバ1本あたりの信号多重度を上げ、1システムあたりのユーザー数を増やすことでコストを低減するのが狙いである。この方式は、WDM信号を多重／分離するWDMフィルタの特性上、上りと下りで同一の波長を用いることを前提としている。しかし、現在アジア、特に日本で主流のGE-PON (Gigabit Ethernet PON) や、北米を中心に普及が始まっているG-PONは上りと下りで異なる波長を用いて通信を行っているため、WDM適用による低コスト化は困難な状況にある。

### ハイブリッドWDM-CDM-PONアクセスシステム

我々が開発しているCDMA on Fiber (COF) は符号分割多重 (CDM) 技術を用いた光アクセス方式である<sup>2)</sup>。COFは、従来用いられている時分割多重 (TDM) 技術を用いた方式に比べてより長距離伝送が可能であり、また帯域保障機能を有するといった特長を持つ。さらにCOFは双方向同一波長通信を行うため、前述のWDMへの適用

が容易である。これらの特長を活かし、上記の次世代光アクセスネットワークへの要求を満たすハイブリッドWDM-CDM-PONシステムを提案する。図1は提案するシステムの概要である。バックボーンネットワークに近い中央局に局側装置 (OLT : Optical Line Terminal) を配置し、リモートターミナル (RT: Remote Terminal) に配置されたWDMフィルタと1本のファイバで結ぶ。WDMフィルタで分岐されたファイバは光スプリッタで、各ユーザー端末装置 (ONU : Optical Network Unit) の手前でさらに分岐される。1つの光スプリッタに接続されたONU群とOLTを1つのグループと定義する

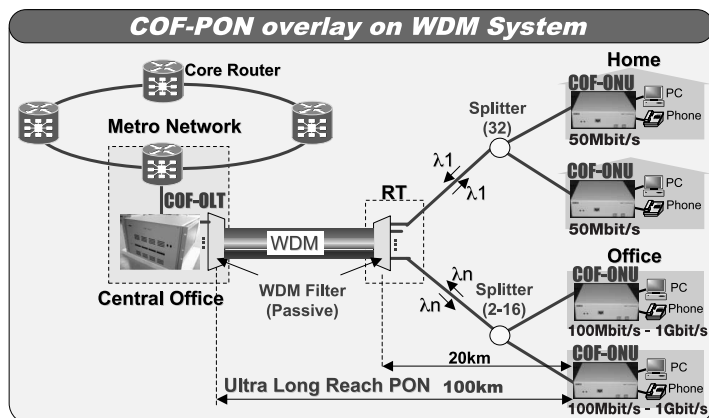


図1 ハイブリッドWDM-CDM-PONシステム

と、グループ内の通信はCDMを用い、上り・下りともに同一の波長を使用する。さらに各グループにはそれぞれ異なる波長を割り当て、WDMで多重する。新たなグループを追加する時はWDMの波長数を増やすことで対応できる。またWDMフィルタは光スプリッタと同様パッシブデバイスなので電源を必要としない。したがって自由に設置でき、さらにメンテナンスも不要である。

このように、ハイブリッドWDM-CDM-PONシステムはユーザー数、ネットワーク構成に関して設計自由度の高いネットワークを低価格で構築することが可能である。

本稿では、我々が開発したCOFトランシーバのプロトタイプを紹介する。さらに本プロトタイプを用いて、提案した長距離ハイブリッドWDM-CDM-PONの伝送実験を行った結果を報告する。

### COFトランシーバのプロトタイプ

最初に、図2を用いてCOFトランシーバの概要を説明する。本稿では各ブロックの動作を簡単に説明するにとどめ、詳細は文献2)に譲ることとする。

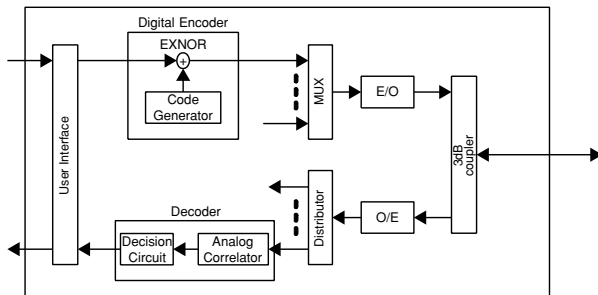


図2 COFトランシーバ ブロック図

入力インタフェースを介して入力されたユーザー送信データは符号化部で符号拡散される。符号化の方法は、データ1ビットに対して、符号パターンをEXNORで演算することで実現する。符号化された信号はMUX部で多重（アナログ加算）され、光信号に変換して送信される。

一方、受信した光信号は電気信号に変換した後、マッチドフィルタを用いて復号化処理を行う。マッチドフィルタは入力信号と符号パターンとを照合し、一致した場合のみ、プラスまたはマイナスの強いピーク（自己相関ピークという）を出力する。このピークの向きは送信データの“1”または“0”に対応している。したがってマッチドフィルタの自己相関ピークを検知することで、符号多重された信号から、特定の符号パターンで拡散されたデータのみを復号することができる。

我々はこのマッチドフィルタとして、電荷結合素子

（CCD: Charge Coupled Device）マッチドフィルタを採用している。CCDマッチドフィルタはアナログ的に相関処理を行うことで数ギガに及ぶ高速な符号化信号を処理することができる<sup>3)</sup>。このような高速なCCDマッチドフィルタを用いて受信機を構成したところが、COFトランシーバの大容量化を実現する特長である。

使用する符号は直交符号である。直交符号は、同期を行うことにより、自己相関位置で相互相関値が“0”となり、他チャンネルの相互相関の影響を受けないため、多重数が多く取れる。たとえば、16チップ（符号長）の直交符号は16通りあり、16多重（チャンネル）が実現できる。符号処理の速度は、（データレート）×（符号長）となる。この符号処理の速度は、マッチドフィルタのデバイス性能で制約されるために、一定となる。したがって、データレートとチャンネル数はトレードオフの関係となる。

COFトランシーバの商品開発における技術確認を行うために、我々はプロトタイプを作製した。写真1にその外観を、表1に仕様を示す。

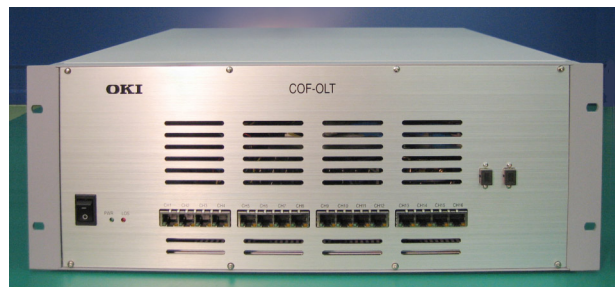


写真1 プロトタイプ外観（上段：OLT，下段：ONU）

表1 プロトタイプの仕様

| 項目         | 性能                   |           |
|------------|----------------------|-----------|
|            | OLT                  | ONU       |
| データレート     | 62.5Mbit/s/125Mbit/s |           |
| 符号         | 直交符号(16チップ)          |           |
| ユーザインタフェース | 10/100Base-T         |           |
| チャンネル数     | 16                   | 1         |
| 光波長        | CWDM/DWDM            |           |
| 電源         | AC100～200V           |           |
| サイズ        | 44×44×17cm           | 20×23×7cm |

## ハイブリッドWDM-CDM-PON伝送実験

作製したプロトタイプを用いて、我々は100kmハイブリッドWDM-CDM-PON伝送実験を行った<sup>4)</sup>。図3に実験系を示す。

OLTとONUをつなぐ伝送路は2分岐光カプラ、DWDMフィルタ、光スプリッタ、100kmシングルモードファイバが接続された形態である。

DWDM光源は16個のDFB-LDで構成されている。出力強度は+6dBmで、波長は1540.56nmから1552.52nmの100GHz間隔、つまりITU-Tグリッドに準拠した配置になっている。受信には現在のアクセスネットワークでも用いられているアバランシェフォトダイオード（APD）を使用した。通常のNRZ信号受信時のAPDの最小受信感度は-34dBmである。

1チャンネルあたりのデータレートは62.5Mbit/sであり、これを符号長16の直交符号で拡散を行った。拡散符号の

変調レート（チップレート）は1Gchip/sである。符号相関を行うマッチドフィルタには、化合物半導体CCDマッチドフィルタを使用した。CCDマッチドフィルタの符号長は16で、1GHzのクロックで動作させた。

### (1) CDM100km単一方向伝送実験

最初に、符号多重および100km伝送がデータの送受信に与える影響を評価した。本稿では、波長多重および100km伝送による影響の評価に主眼を置いているため、符号多重数は4までとしている。図4 (a) は1, 2, 4チャンネルの符号多重を行った時の誤り率測定結果（伝送なし）である。同様に図4 (b) は100km伝送後の結果である。図5 (a), (b) はそれぞれ1チャンネルのみ、および4チャンネル多重をした時の相関後の受信波形である。同様に図5 (c), (d) はそれぞれ100km伝送後の受信波形である。図4 (a) および (b) より、4チャンネル符号多重したときのパワーペナルティは2dBであることが確認できた。こ

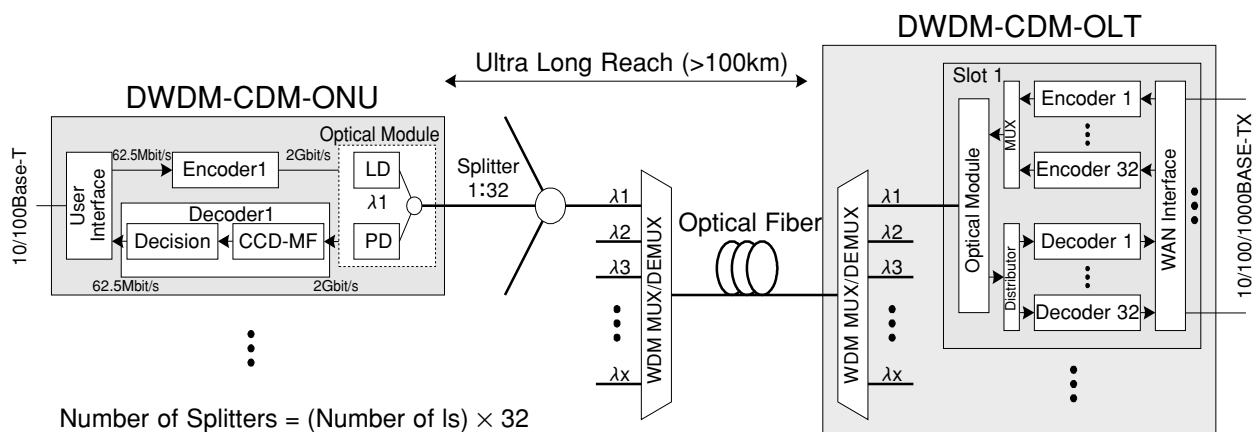
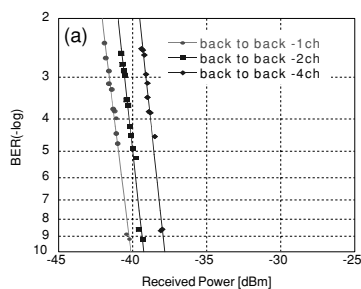
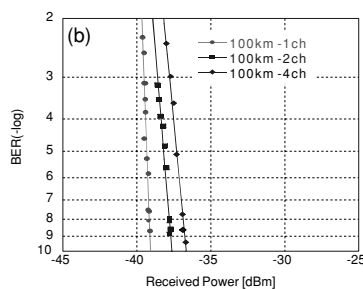


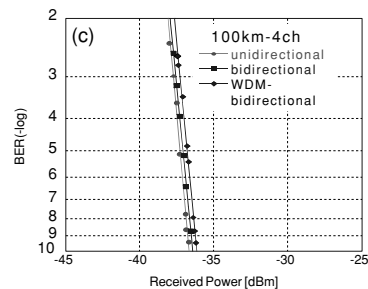
図3 ハイブリッドWDM-CDM-PON実験系



(a)単一方向符号多重伝送なし

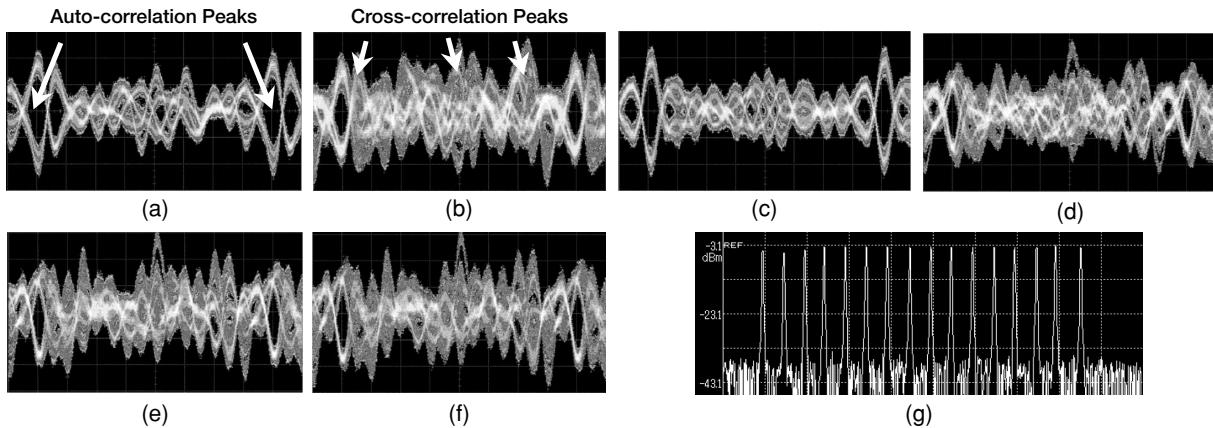


(b)単一方向符号多重100km伝送後



(c)双方向WDM-CDM100km伝送後

図4 誤り率測定結果



(a) 単一方向CDM 1チャンネル伝送なし (b) 単一方向CDM 4チャンネル多重伝送なし (c) 単一方向CDM 1チャンネル100km伝送後  
(d) 単一方向CDM 4チャンネル多重100km伝送後 (e) 双方向CDM 4チャンネル多重100km伝送後  
(f) 双方向16波DWDM-CDM 4チャンネル100km伝送後 (g) 16波DWDM-CDM 4チャンネル光信号スペクトル

図5 相関後受信波形

れは干渉チャンネルの相互相関値が完全にゼロになりきれず、ノイズとして影響を及ぼしたためである。CCDマッチドフィルタの改良を施すことで、この問題は解決できると考える。一方、100km伝送によるペナルティは0.5dB以下であり、伝送前後の波形を見比べても波形の劣化は殆ど観測されなかった。以上より、100km伝送による影響は殆ど無いことが確認できた。

## (2) 100km双方向WDM-CDM-PON伝送実験

次に、前述の16個のDWDM光源を用いて100km双方向WDM-CDM-PON伝送実験を行った。図4 (c) および図5 (e), (f) は誤り率の測定結果および相関後の受信波形である。また送信光スペクトルを図5 (g) に示す。双方向通信および波長多重によるパワーペナルティは0.2dB以下であった。つまりファイバの非線形現象による波長間クロストークの影響は殆ど無いことが確認できた。

以上の結果より、我々は提案したハイブリッドWDM-CDM-PONアクセスシステムが実現可能であることを、実験的に証明することに成功した。

## ま と め

次世代光アクセスネットワークのソリューションとして、我々はハイブリッドWDM-CDM-PONを提案した。作製したCOFトランシーバのプロトタイプ仕様を説明し、本プロトタイプを用いたハイブリッドWDM-CDM-PONの100km伝送実験の結果を紹介した。実験結果より、提案したアクセスシステムが実現可能であることを示した。

今後は、装置の小型化・低コスト化を図り、また監視

系の付加することでシステムの運用性・安定性を高めていく。さらに、さまざまなユーザインタフェースの開発を行うことでさまざまな顧客の要求に対応し、商品化を進めていく。◆◆

## 参考文献

- 1) 総務省：情報通信白書平成18年度版  
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/whitepaper01.html>
- 2) 鹿嶋 他：高QoSマルチメディア光配信システムの研究開発-COFトランシーバ-, 沖テクニカルレビュー200号, Vol.71 No.4, pp.84-87, 2004年10月
- 3) T. Sugiyama, et al, "HEMT CCD Matched Filter for Spread Spectrum Communication," 6th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, TuB4, 2005
- 4) H. Iwamura, et al, "42dB Loss Budget Hybrid WDM-CDM-PON without Optical Amplifier," OFC/NFOEC 2007, OWL5, 2007

## 筆者紹介

玉井秀明：Hideaki Tamai. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

岩村英志：Hideyuki Iwamura. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

渡辺竜一：Ryoichi Watanabe. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

更科昌弘：Masahiro Sarashina. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ

鹿嶋正幸：Masayuki Kashima. 研究開発本部 ネットワークデバイスラボラトリ チームマネージャ