

FTTHを支える光アクセス用PLC技術

いのうえ やすゆき^{†1} いしい もとはや^{†1}
井上 靖之 / 石井 元速
ひだ やすひろ^{†1} やなぎさわ まさひろ^{†1}
肥田 安弘 / 柳澤 雅弘
えのもと よしたか^{†2}
榎本 圭高

NTTは世界に先駆けてFTTH (Fiber To The Home) による次世代ネットワーク構築を推進しています。石英系プレーナ光波回路 (PLC) 部品は小型・量産性・信頼性に優れており、FTTHを支える重要な光部品として研究開発および実用化されています。本稿ではその光アクセス用PLC技術を紹介します。

^{†1}NTTフォトニクス研究所

^{†2}NTTアクセスサービスシステム研究所

FTTHを支えるPLC光部品

NTTグループは、ブロードバンド・ユビキタス社会の発展のため、2010年までに3,000万回線を目標にアクセス網の光化を推進していくことを中期経営戦略で表明し取り組んでいます。具体的には、ユーザと局とを結ぶアクセスシステムをB/GE-PON (Broadband/Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)⁽¹⁾と呼ばれるシステムで実現しています。B/GE-PONシステムは、1台の局側装置で複数(最大32)ユーザとの通信を時分割処理するため、局側装置コストを複数ユーザで分担できる経済的なシステムです。さらに、B/GE-PONは端末以外はすべて受動光部品で構成されるため、信頼性の高い安心で安全なシステムとなります。

B/GE-PONシステムの構成を図1に示します。B/GE-PONシステムは、局側データ装置(B/GE-OLT: B/GE-Optical Line Terminal)、光スプリッタ、宅内データ装置(B/GE-ONU: B/GE-Optical Network Unit)およびそれらを結ぶ光線路から構成されます。ユーザから局へのデータ通信には1.31 μm 光が、局からユーザへの

データ通信には1.49 μm 光がそれぞれ用いられます。B/GE-PONシステムではデータ通信機能に加えて、1.55 μm 光を用いた映像配信サービス機能もあります。映像配信サービスは、局側映像配信装置(V-OLT: Video-OLT)と宅内映像受信装置(V-ONU)を波長合成分波器(WDM: Wavelength Division Multiplexing)フィルタを介して、それぞれB/GE-OLT、B/GE-

ONUと並列に配置することで実現されます。さらに、光アクセスシステムの信頼性を確保するために光線路監視システム(AURORA)⁽²⁾が使われています。この光線路監視システムは、局に設置される光試験モジュール、試験光を線路に結合するためのカプラ、試験光がユーザ宅に入らないためのカットフィルタから構成されます。

B/GE-PONシステムにおいて、光

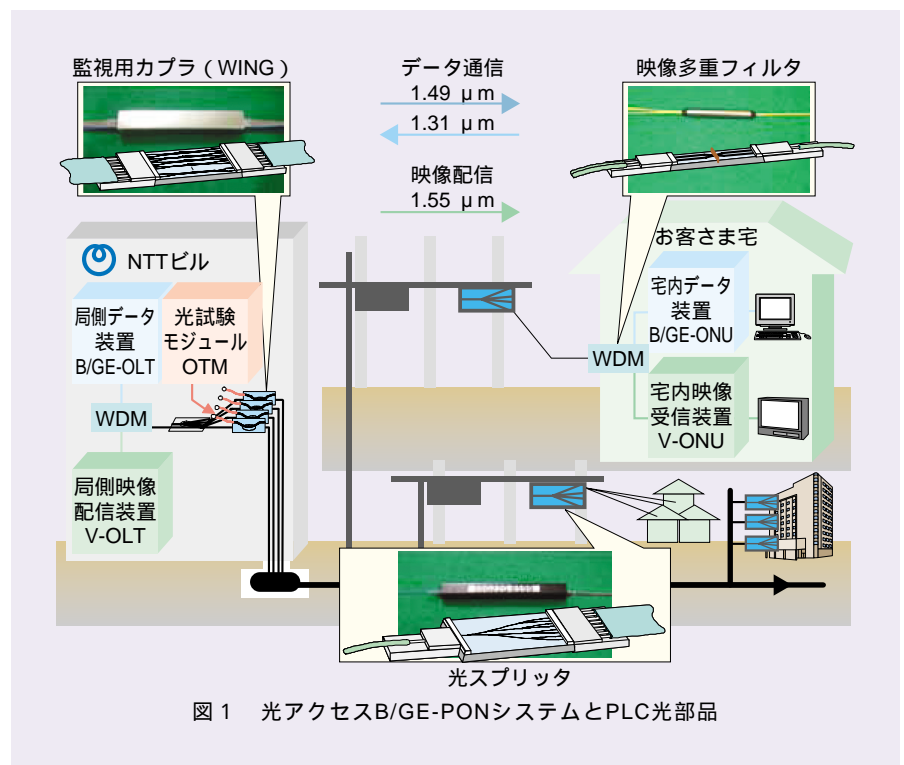


図1 光アクセスB/GE-PONシステムとPLC光部品

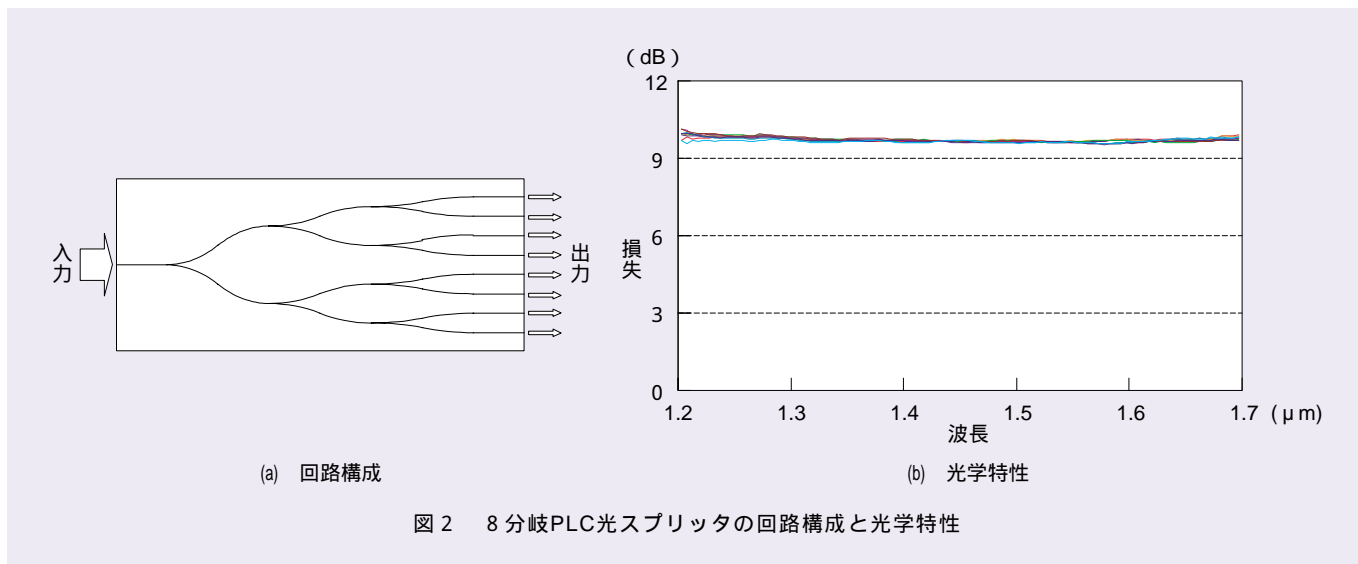


図2 8分岐PLC光スプリッタの回路構成と光学特性

スプリッタ，監視用カブラ，映像多重フィルタは，PLCを用いた研究開発が進められ一部実用化が開始されています（図1）。次に，各PLC部品の構成，特性を紹介します。

光スプリッタ

光スプリッタとしては4分岐もしくは8分岐が多く用いられ，局内およびユーザ宅近くにそれぞれ一対で設置されます⁽³⁾。両者を直列接続することで最大32分岐のB/GE-PONシステムを実現しています。ここで局外に設置される光スプリッタは厳しい環境に耐えるため高い信頼性が要求されます。さらに，限定されたスペースでの設置が求められるため部品の小型化が，またマスマーケットに対応するため量産性に優れた技術が求められます。PLCは極めて安定した性質を持つ石英系ガラスで構成されるため高い信頼性が確保できます。光ファイバとPLCとの接続は紫外線硬化樹脂で行いますが，その接続部の信頼性に関しても十分な信頼性が確保できています⁽⁴⁾。さらにPLCはフォトリソグラフィを用いたプレーナプロセスで作製されるため小型化および量産性に優れます。まさしくPLCは光

スプリッタとして最適な技術であるといえます。

8分岐PLC光スプリッタの回路構成は，図2(a)に示すようにY分岐を多段接続して構成されています。光学特性例を図2(b)に示します。1.2 μmから1.7 μmまでの広い波長範囲において平坦で出力ポート間損失ばらつきの小さな特性が得られていることが分かります。平均損失は，原理損失9 dBを含んで10 dB以下が実現されています。この平坦な波長特性と損失ばらつきの小ささがPLC光スプリッタの特徴です。

監視用カブラ

光アクセス線路の監視は，故障箇所を特定して迅速な復帰を実現するために必要な技術です。光線路監視にはパルス試験光の反射を時間的に観測するOTDR（Optical Time Domain Reflectometer）と呼ばれる技術が使われます。光試験モジュール（OTM：Optical Testing Module）から送信された試験光は，監視用カブラを介して信号光に合波され，ユーザ宅までの光アクセス線路を監視します。この監視用カブラは，試験光と信号光を合波

するという機能だけではなく，信号光に異常がないかどうかを診断するためのカブラとしても機能しています。このため監視用カブラとしては，その結合率が波長に依存しない波長無依存性が求められています。PLCでは，2つの結合率の異なるカブラと波長オーダ以下の遅延線の組合せにより，波長に依存しない波長無依存カブラ（WINC：Wavelength Insensitive Coupler）⁽⁵⁾を実現しています。

WINCの回路構成とその光学特性を図3に示します。ここでは，入力ポートと同じ側にある出力ポートをスルーポートと，反対側にある出力ポートをクロスポートと定義します。本来，カブラの結合率は強い波長依存性を持ちますが，WINCでは2つのカブラの波長依存性を，両者の間に挿入した遅延線により光位相を制御することで，互いに干渉して打ち消し合い，回路全体の結合率の波長無依存特性を実現しています。このように光の波としての性質を利用できる点がプレーナ光波回路と名付けられたゆえんです。WINCは8～16チャンネル並列に集積されており小型集積性にも優れています。

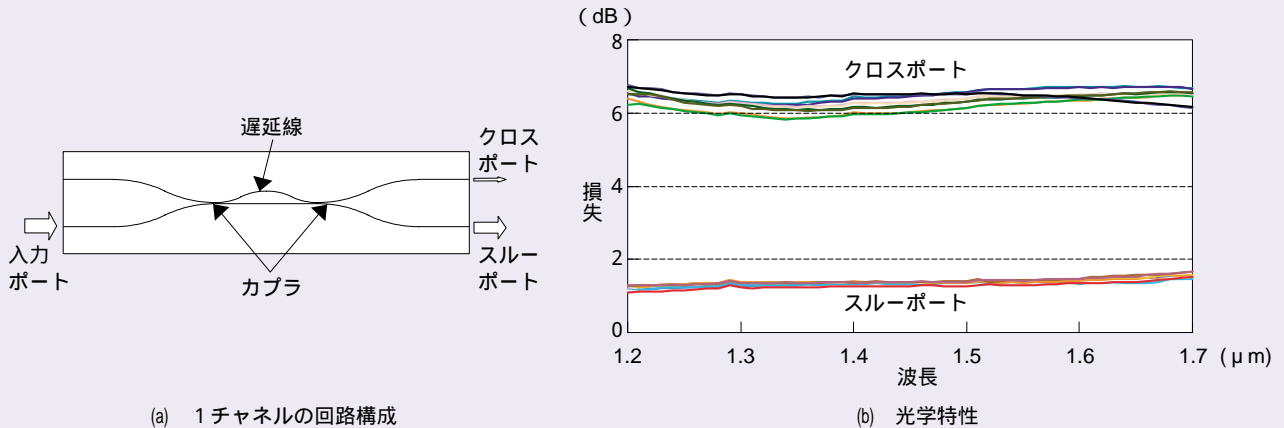


図3 PLCを用いた16チャンネル波長無依存監視用カプラ (WINC) の波長特性

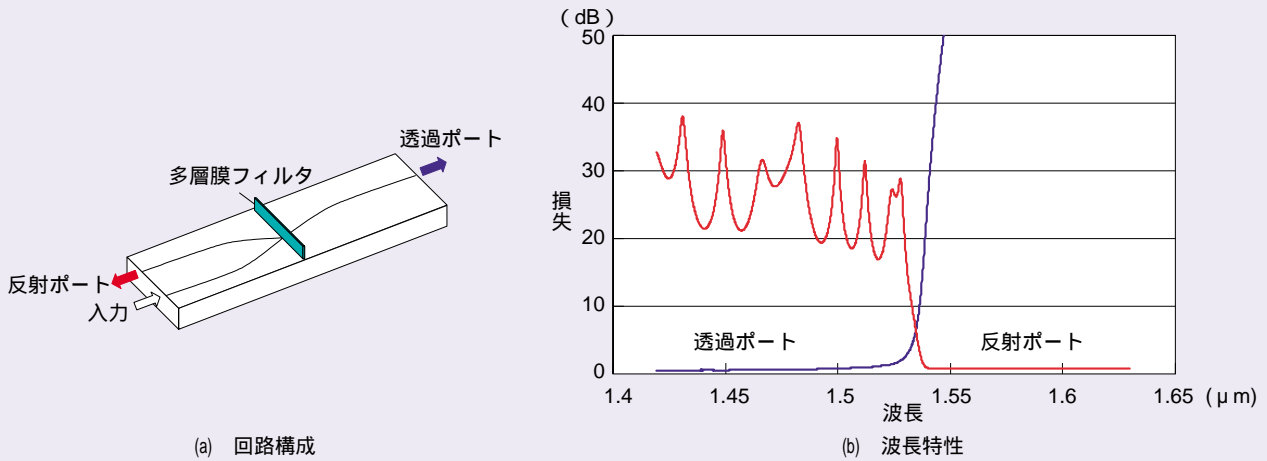


図4 PLCを用いた宅内用映像多重フィルタの波長特性

映像多重フィルタ

前述したようにB/GE-PONシステムでは、双方向のデータ通信に加えて波長多重による映像配信サービスが可能です。データ信号と映像信号の合分波にはWDMフィルタが使われています。複数ユーザのデータ信号と映像信号を一括して合分波する局内WDMフィルタに比べて、ユーザ宅に設置するWDMフィルタは特に小型経済化が求められます。

PLCを用いた宅内用映像多重フィルタの回路構成とその波長特性を図4

に示します。ここで、入力ポートから入射された光は、交差導波路中に挿入された誘電体多層膜フィルタにより分波されます。具体的には、波長 $1.55\mu\text{m}$ 以上の光は誘電体多層膜フィルタに反射されて、図中に示す反射ポートから出力されます。一方、波長 $1.50\mu\text{m}$ 以下の光は誘電体多層膜フィルタを透過して、図中に示す透過ポートから出力されます。この回路では、誘電体多層膜フィルタが厚くなると光の損失が大きくなります。そこでガラスに比べて大幅な薄膜化が可能なポリイミドを基板とした誘電体多層膜フィルタ⁽⁶⁾を

用いて光過剰損失の抑制を行っています。交差導波路に関しては、誘電体多層膜フィルタ中での回折を抑制するために交差部の導波路幅を広く設計することで急峻な遮断スペクトルを実現しています⁽⁷⁾。この結果として、図4(b)に示すように波長 $1.50\mu\text{m}$ 以下の光と $1.55\mu\text{m}$ 以上の光を急峻に切り分け、かつ挿入損失 1dB 以下の良好な特性を実現しています。PLCを用いた映像多重フィルタは部品点数が少なく、小型経済性に有利な構造となっています。

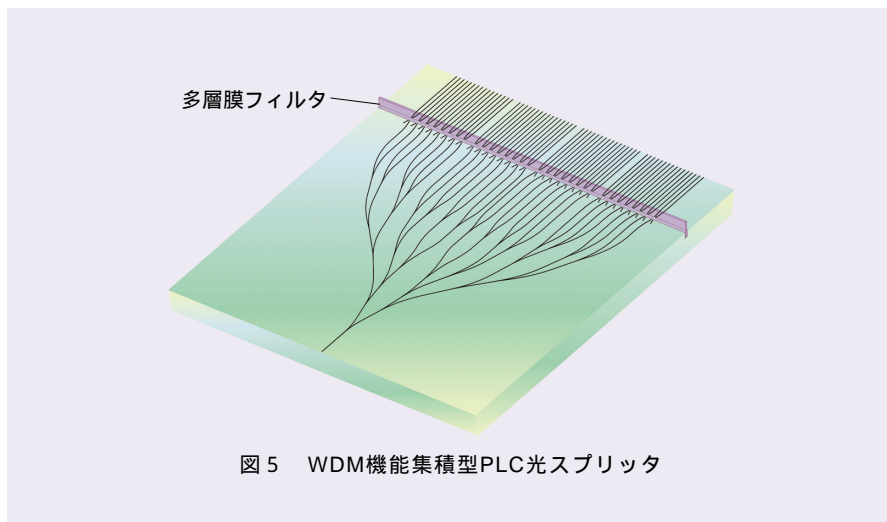


図5 WDM機能集積型PLC光スプリッタ

高機能アクセス光部品

FTTHの進展に伴いより高度な光部品の要求に柔軟にこたえるため、PLCを用いたさまざまな光部品の研究開発が進められています。その一例としては、光スプリッタとWDMフィルタを組み合わせた図5に示すような光部品⁽⁸⁾や、屋外でも使用できるように温度制御を不要とした温度無依存アレイ導波路格子型波長合分波器（AWG: Arrayed Waveguide Grating）⁽⁹⁾などが挙げられます。PLCは光の波としての性質を利用して高度な機能を実現することができ、かつそのファイバ接続実装はすでに確立された技術を適用することができるため、高機能光部品を経済的に開発することが可能です。光通信システムの高度化に伴い、多種多様なPLC部品の創出が期待されています。

今後の展開

アクセス用光部品はコントロールされた環境で使われないことが多く、また設置場所の制限もあり、小型・耐環境性が求められます。それにも増して、

* 割り勘効果：コストを複数ユーザで分担できる効果。

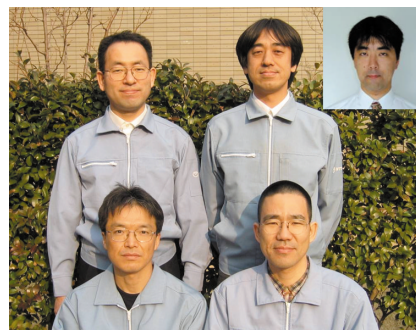
幹線に比べて割り勘効果*が効かないため光部品に対する経済化が強く求められています。これらのニーズにこたえるためにPLC技術を中核にさらなる研究開発を推進し、光アクセス網の発展に貢献していきます。

参考文献

- (1) Y. Maeda, K. Okada, and D. Faulkner : "FSAN OAN-WG and future issues for broadband optical access networks," Communications Magazine, IEEE, Vol. 39, No. 12, pp. 126-132, Dec. 2001.
- (2) N. Nakao, H. Izumita, T. Inoue, Y. Enomoto, N. Araki, and N. Tomita : "Maintenance method using 1650-nm wavelength band for optical fiber cable networks," J. Lightwave Technol., Vol. 19, No. 10, pp. 1513-1520, 2001.
- (3) Y. Enomoto, K. Mine, A. Miyashita, H. Machino, H. Izumita, K. Hogari, and M. Nakamura : "Novel compact optical splitter for outside plant in access network," OECC 02, Tech. Digest, pp. 380-381, 2002.
- (4) Y. Hibino, F. Hanawa, H. Nakagome, M. Ishii, and N. Takato : "High reliability optical splitters composed of silica-based planar lightwave circuits," J. Lightwave Technol., Vol. 13, No. 8, pp. 1728-1735, 1995.
- (5) K. Jinguji, N. Takato, A. Sugita, and M. Kawachi : "Mach-Zehnder interferometer type optical waveguide coupler with wavelength-flattened coupling ratio," Electron. Lett., Vol. 26, No. 17, pp. 1326-1327, 1990.
- (6) T. Oguchi, J. Noda, H. Hanafusa, and S. Nishi : "Dielectric multilayered interference filters deposited on polyimide films," Electron. Lett., Vol. 27, No. 9, pp. 706-707, 1991.
- (7) M. Yanagisawa, Y. Inoue, M. Ishii, T. Oguchi, Y. Hida, H. Izumita, N. Araki, and T. Sugie : "Low-loss and compact TFF-embedded silica-waveguide WDM filter for video distribution services in FTTH systems," OFC 04, Vol. 1, pp. 23-27, 2004.
- (8) Y. Hida, Y. Inoue, F. Hanawa, T. Fukumitsu, Y. Enomoto, and N. Takato : "Integrated 1x32

PLC-splitter with 32 WDM couplers for fiber line testing at 1.65 μm," ECOC 98, pp. 321-322, 1998.

- (9) Y. Inoue, A. Kaneko, F. Hanawa, H. Takahashi, K. Hattori, and S. Sumida : "Athermal silica-based arrayed-waveguide grating (AWG) multiplexer," Electron. Lett., Vol. 33, No. 23, pp. 1945-1947, 1997.



(後列左から) 井上 靖之/ 柳澤 雅弘/
榎本 圭高 (右上)
(前列左から) 肥田 安弘/ 石井 元速

光アクセスシステムのさらなる発展を目指して、経済的かつ高機能なPLC光部品の研究を進めていきます。

問い合わせ先

NTTフォトニクス研究所
複合光部品研究部
TEL 046-240-4022
FAX 046-240-4529
E-mail yinoue@aecl.ntt.co.jp