

フォトニックアクセスシステム技術

NTTアクセスサービスシステム研究所では、今後ますます多種・多様化すると予想されるユーザニーズに即応可能なアクセスシステム実現に向け、ネットワークの大容量化、高信頼化および経済化に向けた基盤技術の研究開発を行っています。本稿では、有線系のアクセス方式に関する高速・広帯域化および高信頼化のための基盤技術についてその概要を紹介します。

きむら ひであき よしもと なおと
木村 秀明 / 吉本 直人

NTTアクセスサービスシステム研究所

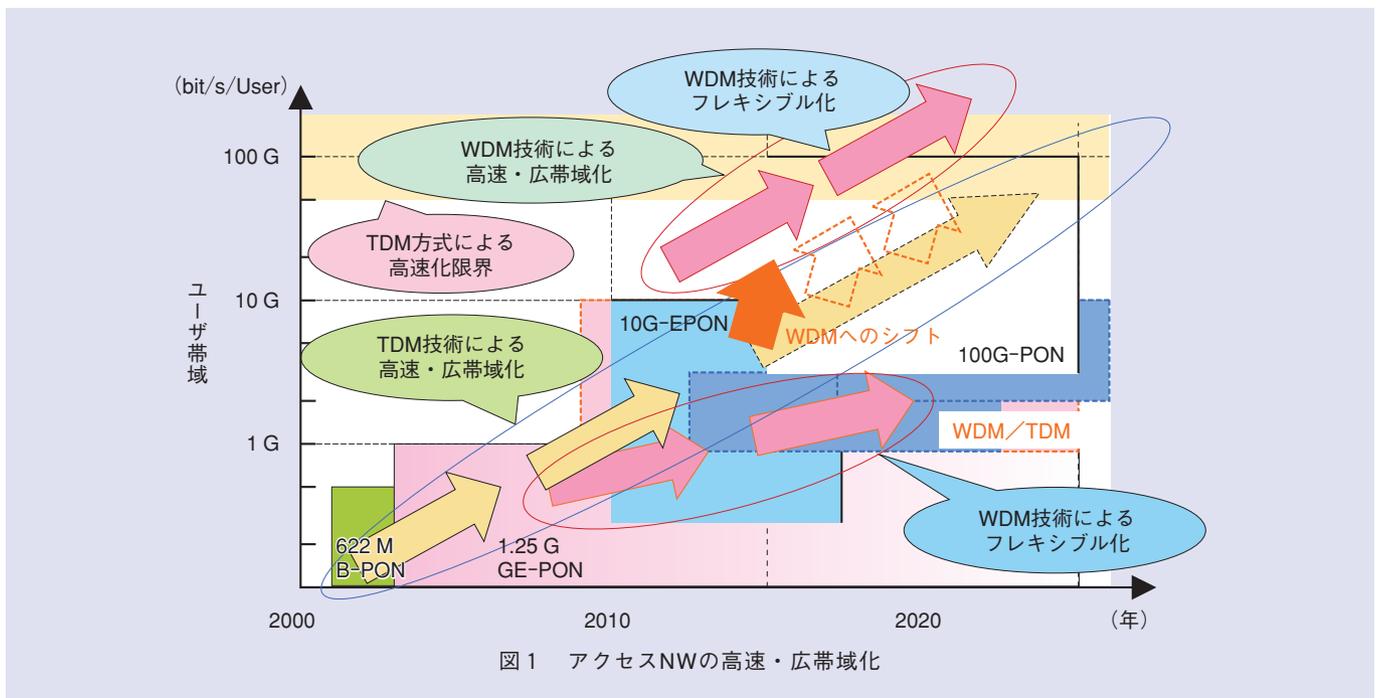
光アクセスの現状と今後

現在、FTTHの急速な普及に伴うインターネットトラフィックの増加は目覚ましいものがあります。今後もこの傾向は継続し、ネットワークの高速化・広帯域化へのユーザ要求はますます増加すると想定されています。NTTが商用導入してきたシステムとユーザ利用帯域変化、今後のシステムトレンド予測を図1に示します。現在、NTTにおいては、TDM技術をベースとした

システム速度 1 Gbit/sのGE-PONが精力的にサービス導入されています。図に示すように、アクセスネットワークの高速・広帯域化傾向は、映像コンテンツ等の大容量サービスへのユーザニーズの高まりにより、今後も継続すると予想されます。しかしながら、デバイス性能の速度限界も近づいてきており、TDM技術による高速化も困難となると予想されています。その点で、アクセスネットワークのさらなる高速・広帯域に向けては、TDM技術と

WDM技術の連携が必要になると考えています。また、今後は、従来のような単なるネットワークの高速・広帯域化ではなく、ネットワークの高信頼化やユーザニーズの多種・多様化へ即応できるネットワーク構築が必要となると予想され、その意味で、サービス追加の容易性やスケラビリティに優れたWDM技術の重要性は今後ますます増加すると考えられます。

図2は、アクセスネットワークに適用されるWDM技術における波長数と



WDMシステム展開予想を示しています。WDM技術は、まずネットワークの高速・広帯域化を実現するTDM技術の限界を打破する技術としてビジネス向けなどに展開が進むと考えられます。このフェーズではWDM関連光デバイスの経済化技術の加速が大いに期待されます。次の段階では、波長パス設定やルーティングなどコアネットワークの一部連携を含めたかたちで進展し、最終的には一般ユーザ向けを含め多種・多様なアプリケーションに対応可能な超多波長フォトニックネットワークのアクセス基盤を実現する技術として広がっていくと考えられます。

NTT研究所では、将来におけるエンド・ツー・エンドのフォトニックネットワーク実現を目指し、各種信号多重化技術、高信頼化技術およびシステム経済化技術の研究開発を行っています。

高速・広帯域化への取り組み

本項では、我々が現在、研究を進めている方式技術のいくつかを簡単に紹介します。

■TDM技術

さらなるブロードバンドサービスの需要増大を想定して、現在NTTの光アクセスシステムの主力として採用されているGE-PONシステムの帯域を10倍にアップグレードしようとしているのが図1のシステムトレンドにも示した10G-EPONシステムです。TDMA (Time Division Multiple Access : 時分割多元アクセス) 技術をベースとしており、GE-PONと技術的親和性が高いことから、近年次世代光アクセスシステムとして注目を集めており、IEEEにおいても標準化活動が開始されています。一般に、PONシステムでは、図3に示すとおり、局内に設置されるOLT (Optical Line Terminal : 光加入者線端局装置) と各ユーザ宅に設置されるONU (Optical Network Unit : 光回線終端装置) までの距離は、ユーザごとに異なります。したがって、各ONUから送信された信号がOLTに達した段階では、光強度と位相が各々異なることとなります。また、ONUは他ユーザが送信中

の場合、送信を停止し、OLT側からの送信許可を受けてから送信を開始するという方式を取っているため、光強度の急激な変化が起こることになります。このような光強度と位相の変化に対して、より瞬時に応答する性能 (バースト応答性) がPONシステムの光送受信回路には要求されます。そして、伝送速度の高速化にしたがって、その要求条件は厳しいものとなってきます。

NTT研究所では、このPONシステムの鍵となる高速バースト光送受信技術の研究開発を精力的に行っております。インピーダンス変換増幅回路 (TIA: Trans-Impedance Amplifier) と振幅制限増幅回路 (LA: Limiting Amplifier) の自動差分制御 (AOC: Automatic Offset Control) 機能、ならびにクロックデータ再生回路 (CDR: Clock and Data Recovery Circuit) の位相同期機能を瞬時応答化し、これらを1チップに集積化した3R (等化増幅: Reshaping, 識別再生: Regenerating, リタイミング: Retiming) 受信回路を作製しました⁽¹⁾。そ

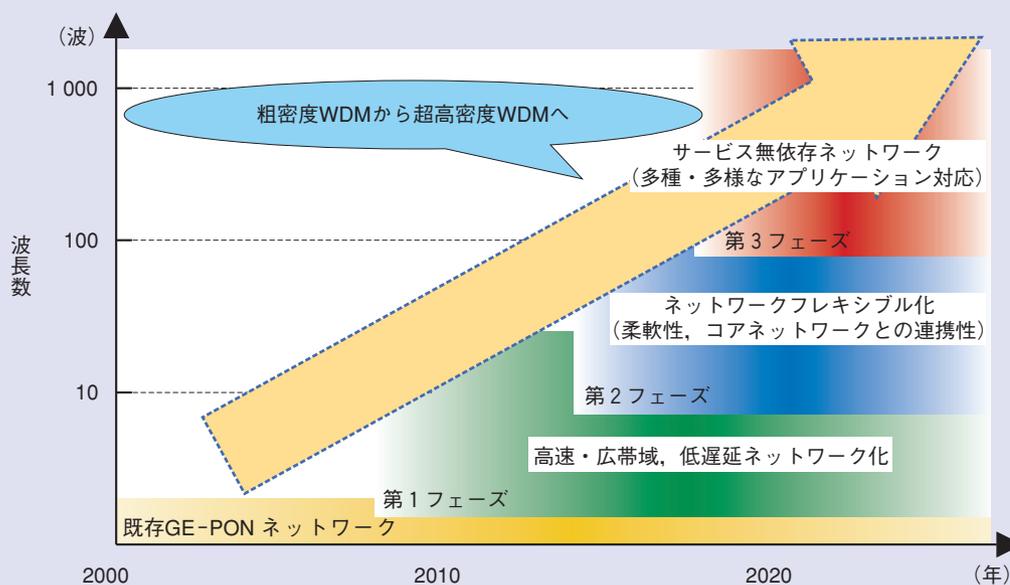


図2 WDMによるアクセスネットワークフレキシブル化

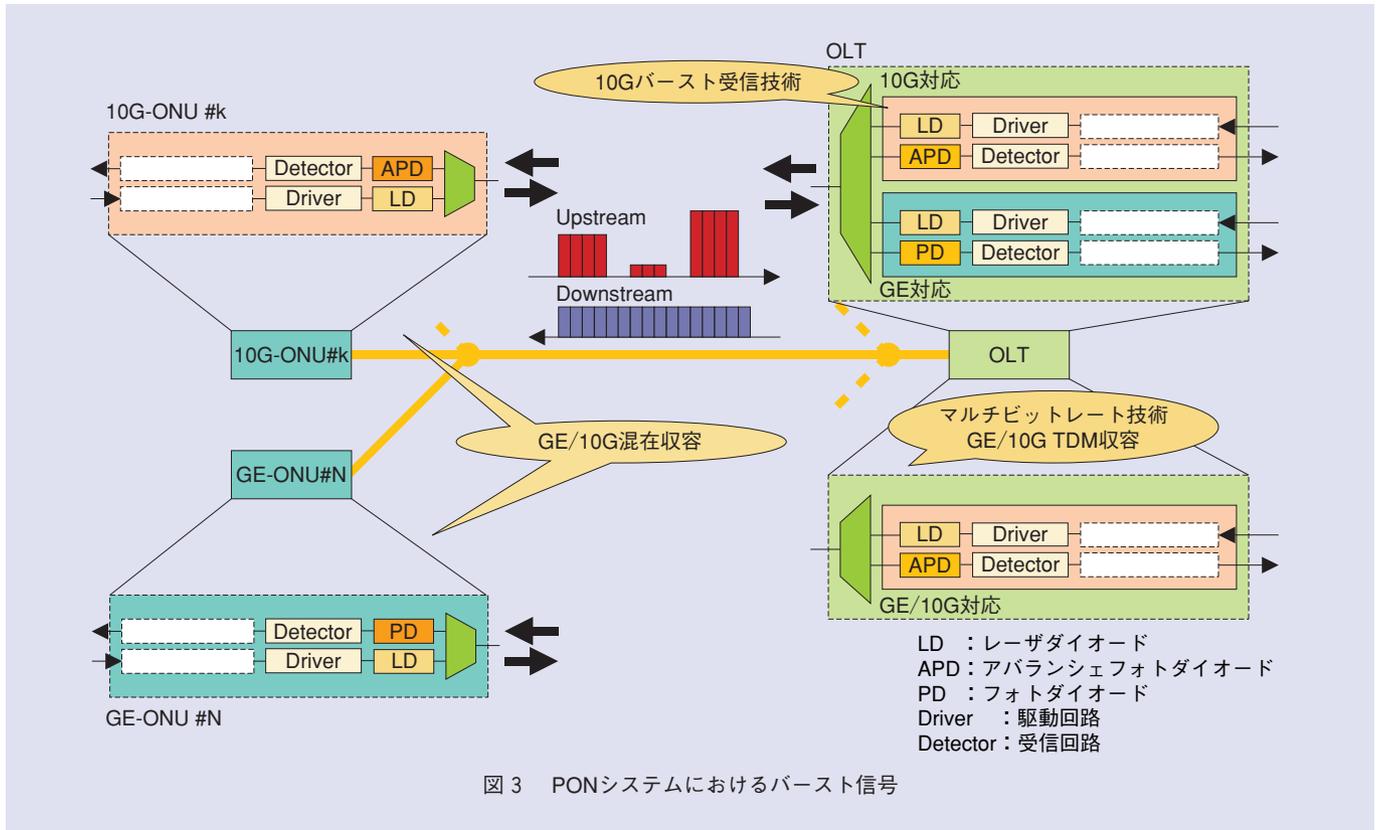


図3 PONシステムにおけるバースト信号

の信号入出力波形を図4に示します。入力光信号パワーが -1.5 dBm から -18 dBm と大きく異なった場合においても良好な波形を得ています。また、バースト信号間のガードタイムが 99 ns 、プリアンブルタイムが 75 ns という高い瞬時応答性能も得られており、将来の10G-EPONシステムへの適用が期待されています。

■WDM技術

図5は、波長多重技術を用いたWDM-PONアクセスシステムの概要を示しています。WDM技術は、電気回路によるTDM多重技術では実現が困難なアクセスシステムの超高速化を実現する要素技術の1つであるとともに、変調方式の異なるサービスあるいはユーザを多重、分離する要素技術の1つです⁽²⁾。図において、ONU#kは波長多重による高速・広帯域化を実現する回路構成を示しています。OLTにおいて高速下り信号は、複数の低速信

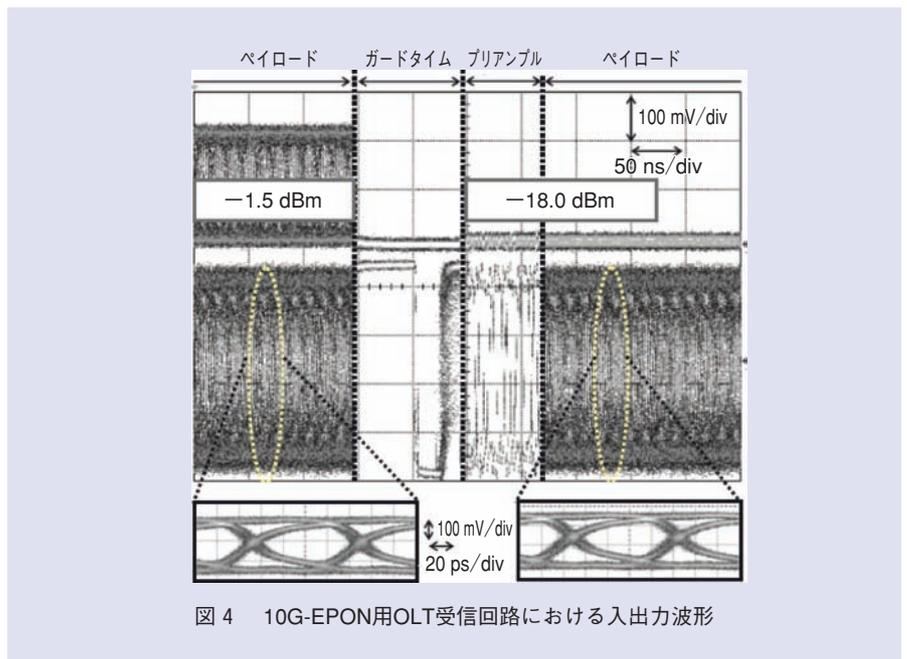


図4 10G-EPON用OLT受信回路における入出力波形

号に速度変換され、それぞれ異なる波長でONUに送信されます。ONUにおいては、波長ごとに受信した低速信号をMUX (Multiplexer: 多重) 回路により多重化することで高速信号を得ることができます。この方式の特徴と

して、取り扱う信号が低速であることから高速化による受信器の感度劣化を補償するための光増幅器等の増幅回路等が不要であるとともに、波長を利用したさまざまなサービスを提供することが可能です。また、図5において、

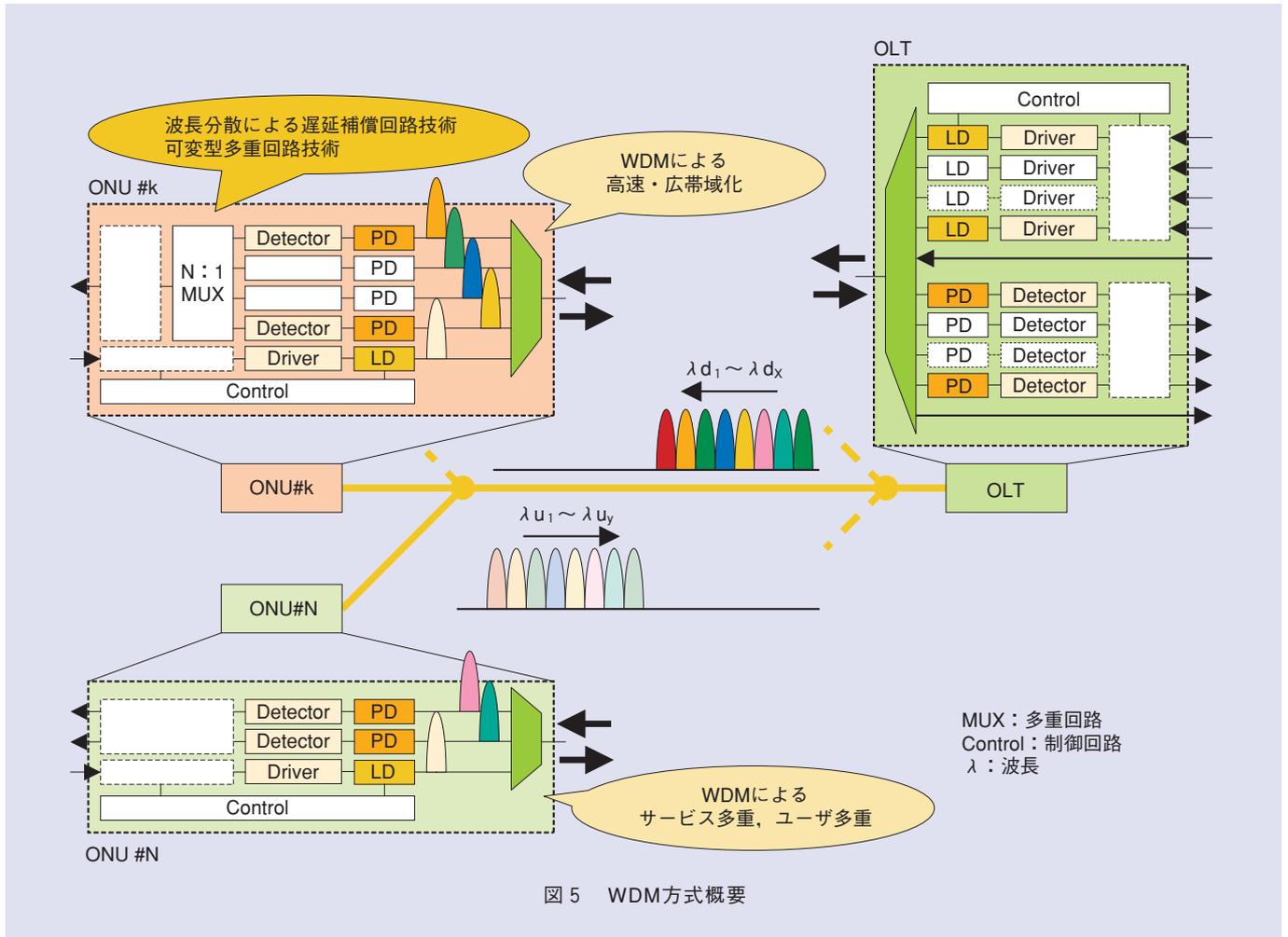


図5 WDM方式概要

ONU#Nは、OLTから送信された複数サービスを波長単位で受信できる回路構成を示しています。

さらに、WDM技術は波長を利用することで、物理ネットワーク内にさまざまな論理ネットワークを構築することが可能であるという特徴も持っています。

■光FDM技術

図6は、高分解能・高感度の光受信技術により多波長化、大容量化、多分岐化を可能とする光FDM-PONアクセスシステムの概要を示しています。光FDM (Frequency Division Multiplexing: 周波数多重) 技術はヘテロダイン検波技術により超多波長多重化を実現することが可能で、100波以上の映像分配を提供することがで

きるとともに、多波長・多分岐により大規模集合住宅収容等へのアクセスサービスを経済的に提供することが可能です⁽³⁾。ここで、ヘテロダイン検波技術とは、信号光とともにLO-LD (Local LD: 局発光源) を混合し光検波器で受信することで、信号光と局発光の干渉を生じさせる光受信方式です。このとき、光検波器より出力される電気信号 [IF (Intermediate Frequency: 中間周波数) 信号] は局発光の強度に比例するため、局発光の光強度を大きくすることにより、信号光を高感度に受信することが可能となります。また、局発光の波長に近接した波長の信号光と干渉を起こすことから、波長多重信号から任意の波長チャンネルを選択受信すること (波長

チューナ) が可能であるという特徴もあります。

■光CDM技術

図7は、光信号処理を用いた光CDM-PON方式のシステムの概要を示しています。本方式は、ユーザごとに異なる符号により符号化された光信号を多重・分離する方式で、多ユーザが同一周波数帯を同時に使用することが可能となることから波長の効率的利用が可能です。また、光CDM (Code Division Multiplexing: 光符号多重) アクセス技術により、多重チャンネル数の増大による新サービスの追加の容易性、耐妨害性の向上による誤接続によるサービス断防止を実現することができるため、アクセスネットワークの信頼性向上を図ることもできます。

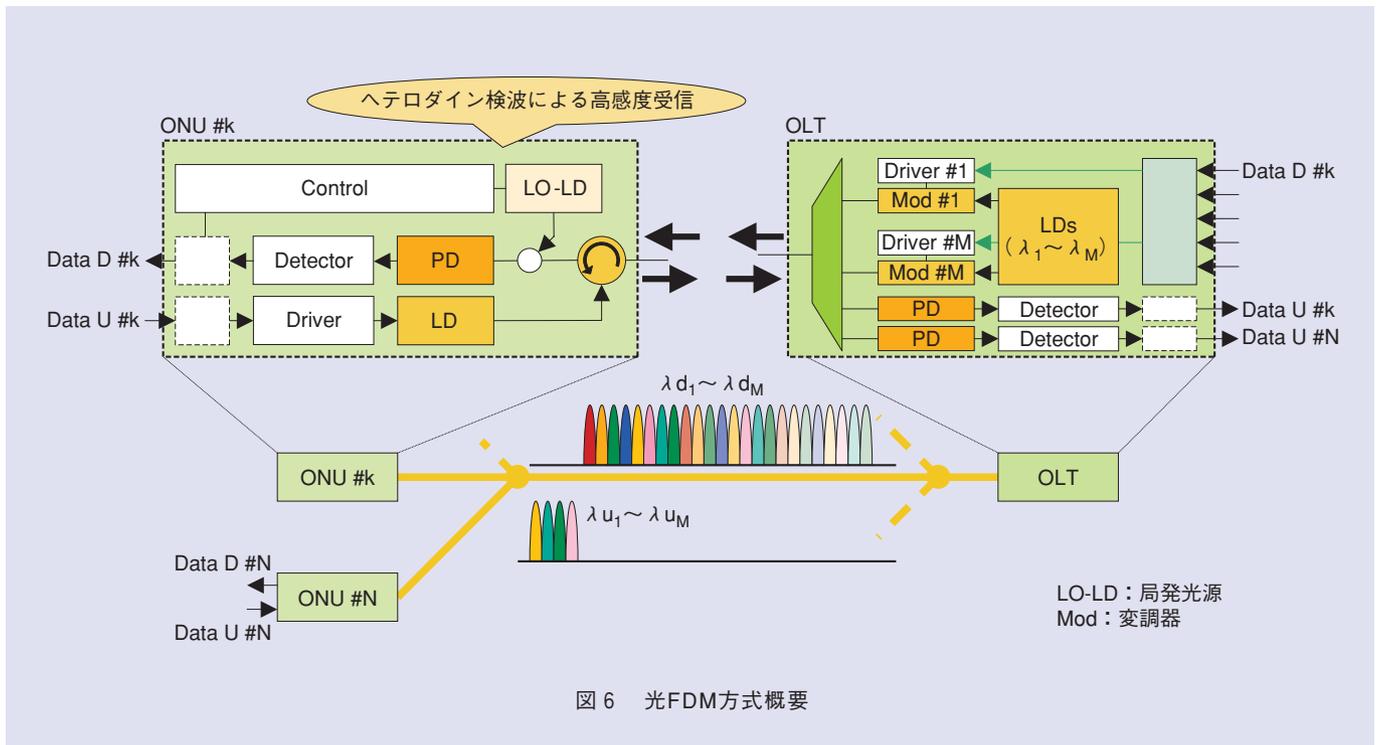


図6 光FDM方式概要

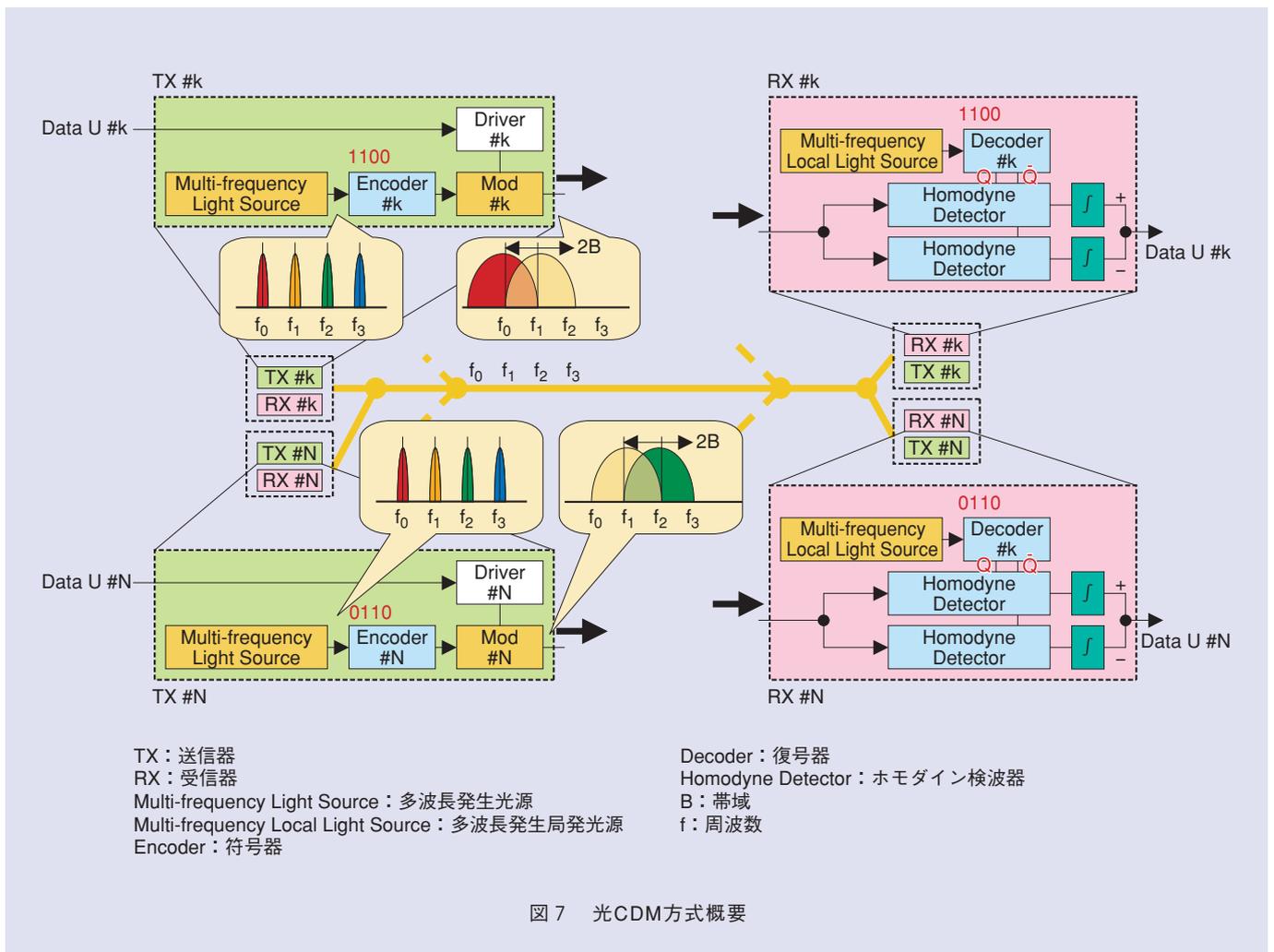


図7 光CDM方式概要

図7に示すように、周波数利用効率向上を目指し、光OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重) と光ホモダイン技術を応用することにより1 bit/s/Hzという高周波数利用効率を実現する技術の研究も行っていきます⁽⁴⁾。

ここで、OFDMとは、複数の搬送波を一部重なり合いながらも干渉することなく高密度に周波数配置することができる無線等で用いられるデジタル変調方式技術で、狭周波数領域を効率的に利用することが可能です。例として、ユーザ数3の場合の光OFDMを用いたCDM方式を示しています。送信器TX#kにおいては、光周波数 f_0 、 f_1 がDataU#kにより、また、送信器TX#Nにおいては、光周波数 f_1 、 f_2 がDataU#Nにより変調・送信されます。受信器RX#kにおいては、局発光・復号器出力と受信信号をホモダイン検波、加減算することで所望の信号を再生します。ホモダイン検波とは、光搬送波の周波数と局発光の周波数が等しいときの干渉を利用することで信号を抽出する位相変調方式による検波技術です。このように光CDM技術は、周波数効率を高めつつ高速広帯域化を実現し、かつ信頼性や柔軟性を向上し得る特徴があります。

簡易なネットワークへの取り組み

本項では、新たな方式の導入を容易にするための技術の一例としてONUカラーレス技術を紹介します。

■波長無依存型ONU技術

WDMアクセス方式においては、波長制御がキー技術であるとともにその経済化が必要不可欠と考えています。NTT研究所では、既存アクセスネットワークにシステム変更を与えることな

く、最低保証帯域を1 Gbit/s以上に拡張可能なWDM型アクセスシステムの経済化技術として、ONUを波長無依存化することによりサービス即応性、保守運用性向上といった柔軟性を拡張する技術の研究をしています。技術としては、ネットワークにおいて自動的に未使用波長を検出し、光トランシーバ間で光送受信波長を自動設定するMCSMA (Multichannel Carrier Sense Multiple Access: マルチキャリア感知多重アクセス) 技術、光トランシーバに搭載する光源ごとの波長監視・安定化回路を不要化し、経済的に一括して波長監視・安定化する波長制御信号一括発生技術、経済的に波長可変が可能な光トランシーバ構成技術等の研究を行っています⁽⁵⁾。これら基盤技術を確立することにより、ONUの単品種化が可能となり、WDM技術を主軸としたアクセスネットワークのトータルシステムの低コスト化が可能となると考えています。

今後の展開

将来のアクセスネットワークは、本稿で紹介したTDM技術、WDM技術、光FDM技術、光CDM技術等の各種基盤技術および経済化技術の連携により、さらなる高速・広帯域化が進んでいくと予想されます。また、サービス追加の容易性、スケーラビリティを特徴とするWDM技術を適用することにより、ネットワークの高速・広帯域化とともに、センサ等の低速ではあるが大規模なサービス等を収容可能といったアプリケーションを選ばないシームレスなアクセスネットワークが構築されていくと考えられます。さらには、WDM技術を利用することで、コアネットワークとの連携によるネットワーク全体としてのフレキシブル化への進

展が期待されます。

■参考文献

- (1) S.Nishihara, S.Kimura, T.Yoshida, M.Nakamura, J.Terada, K.Nishimura, K.Kishine, K.Kato, Y.Ohtomo, and T.Imai: "A 10.3125-Gbit/s SiGe BiCMOS Burst-Mode 3R Receiver for 10F-EPON Systems," OFC2007, PDP8, 2007.
- (2) K.Iwatsuki, J.Kani, H.Suzuki, and M.Fujiwara: "Access and Metro Networks Based on WDM Technologies," J.Lightwave Tech., Vol.22, pp.2623-2630, 2004.
- (3) S.Narikawa, H.Sanjoh, N.Sakurai, K.Kumozaki, and T.Imai: "Coherent WDM-PON using Directly Modulated Local Laser for Simple Heterodyne Transceiver," ECOC2005, WE3.3.2, 2005.
- (4) S.Kaneko, H.Suzuki, N.Miki, H.Kimura, and M.Tsubokawa: "1-bit/s/Hz Spectral Efficiency OCDM Technique Based on Multi-frequency Homodyne Detection and Optical OFDM," ECOC2007.
- (5) H. Suzuki, M. Fujiwara, T. Suzuki, N. Yoshimoto, K. Iwatsuki, and T. Imai, "A remote wavelength setting procedure based on wavelength sense random access (λ -RA) for power-splitter-based WDM-PON," ECOC2006, We3.P.157, 2006.



(左から) 木村 秀明/ 吉本 直人

今後も、誰もが、安心・安全に使えるネットワークの実現を目指し、基盤技術の研究開発を積極的に推進していきたいと思っています。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
光多重システムプロジェクト
次世代アクセス方式グループ
TEL 043-211-2094
FAX 043-211-8883
E-mail kimura.hideaki@ansl.ntt.co.jp