

光アクセスシステム—現状と今後の方向性—

くもぎ きよみ
雲崎 清美

NTTアクセスサービスシステム研究所 担当部長



急速に普及が進むFTTHにより、高品質・高信頼性のブロードバンドサービスが身近なものとなっています。本稿では、FTTHの発展を支える光アクセスシステムであるPONシステムの現状について紹介するとともに、次世代PONシステムの方向性について展望します。

ブロードバンドアクセスの現状

インターネットの急速な普及を契機に、より高速かつ安価なアクセス回線への要求が高まり、情報通信のブロードバンド化が急激に進展しています。当初、既設の電話線を用いたADSL（Asymmetric Digital Subscriber Line）方式で始まったブロードバンドアクセスは、アクセス速度を向上させながら契約数を増やしてきましたが、メタリックケーブル特有の伝送距離や雑音環境等の制約によりその伝送速度には限界がありました。そこでこのような性能限界がない光ファイバを用いたFTTH（Fiber To The Home）が有望であり、現在ADSLからFTTHへのシフトが進んでいます。

その背景には、①より高速なインターネットアクセスの要求が社会的に高まったこと、②FTTHでは光電話サービスの提供が可能であるということ、③経済性に優れたPONシステム技術により、FTTHのサービスを低額な月額利用料で提供できること、などの要因があると思われます。

日本におけるブロードバンドアクセスの契約数は、2007年第2四半期の段階でそれぞれ、ADSLが1,379万、FTTHが970万、CATVインターネットが369万となっています（総務省報道資料より）。CATVインターネットが安定的に微増を続け、ADSLが減少傾向にある一方で、FTTHの契約数が飛躍的に増加しているという状況です。しかも増加のペースも急上昇しており、四半期ごとの契約数の推移でいえば、2006年以降の毎四半期、FTTHは約80万回線台の伸びを継続しています。対照的にADSLについては、2006年第2四半期を境にマイナスに転じました。

また、国内全体ではまだADSLが上位にあるものの、NTTにおいては2007年に入って間もなく、すでに落ち込み始めていた「フレッツADSL」契約数を、急速に伸びている「Bフレッツ」契約数が上回りました。

光アクセスシステム

■アクセスネットワークの特徴と要求条件

アクセスネットワークは、通信事業

者とお客さま宅とを結ぶネットワークであり、

- ・通信事業者を中心に、伝送路が面的な広がりを持つ
- ・通信インフラとして、高い信頼性ととともに経済性が要求される
- ・サービス需要に対して即応性が要求される

といった特徴を有しています。

光アクセスシステムの場合には、通信事業者のビル内のOLT（Optical Line Terminal）から、地下ケーブルおよび架空ケーブルを介してお客さま宅のONU（Optical Network Unit）に接続される構造になっています。

光アクセスシステムを構成する中心的な技術は、光ファイバを分岐し、お客さま宅と「1対1」でなく「1対n」で接続するPONシステムです。PONシステムには、次のような要件が求められます。

- ① 安定したサービスの提供
 - ・伝送路符号誤り率が極めて小さいこと
 - ・故障発生時に迅速に復旧できること

② ユーザ通信データの保護

- ・下り方向ブロードキャスト通信データの安全な伝送

③ 不正アクセスの防止

- ・正規アクセスであることを確認して通信を許可

④ 多様なサービスの提供

- ・複数のサービスクラス（マルチQoS）をサポートできること

⑤ ユーザ間の公平性確保

- ・公平な帯域割り当て

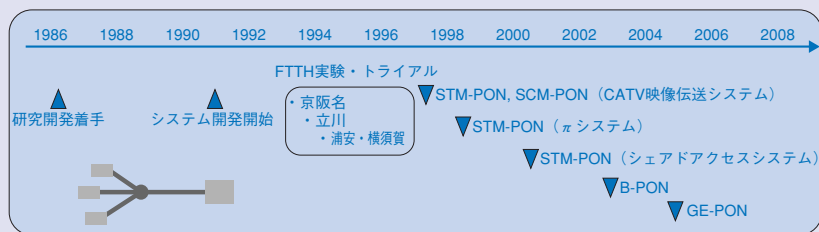
■GE-PONシステムの構成と特徴

NTTではこれまで、複数のPONシステムを開発してきました。その研究開発には、すでに約20年の歴史があります（図1）。1986年ごろ、研究開発に着手したのを端緒に、1990年ごろには本格的なシステム開発を開始、その後フィールドトライアルの実施を経て、1997年には最初の商用導入に至りました。

代表的なPONシステムには、「STM-PON」「B-PON」「GE-PON」の3種があります。現在FTTHの主流の方式となっているGE-PONには、次のような特徴があります。

- ・1心光ファイバで最大1 Gbit/sの高速データ通信を提供できること
- ・イーサネット技術を利用したシンプルな装置構成
- ・高速インターネットアクセスとの高い親和性

GE-PONシステムは、OLTとONUの間を1心光ファイバと最大32分岐の光スプリッタでつなぐ構造で、信号伝送には上り1.31 μm 、下り1.49 μm 帯の波長をそれぞれ使用します。お客さま宅では、ONUにさらにホームルータ等を介して、インターネットや光電話サービスが提供されます。



	STM-PON	B-PON	GE-PON
準拠標準	NTT仕様	ITU-T G.983シリーズ勧告	IEEE 802.3ah標準
伝送速度	16 Mbit/s	622 Mbit/s(下り)/156 Mbit/s(上り)	1.25 Gbit/s
上り下りの多重方法	時間圧縮多重(TCM)	波長多重(WDM)	
転送フレーム形式	STM	ATM	Ethernet
商用導入年	1997	2002	2004

STM-PON: Synchronous Transfer Mode Passive Optical Network
 B-PON: Broadband Passive Optical Network
 GE-PON: Gigabit Ethernet Passive Optical Network
 SCM-PON: Subcarrier Multiplexing Passive Optical Network

TCM: Time Compression Multiplexing
 WDM: Wavelength Division Multiplexing
 ATM: Asynchronous Transfer Mode

図1 NTTにおけるPONシステムの開発の変遷

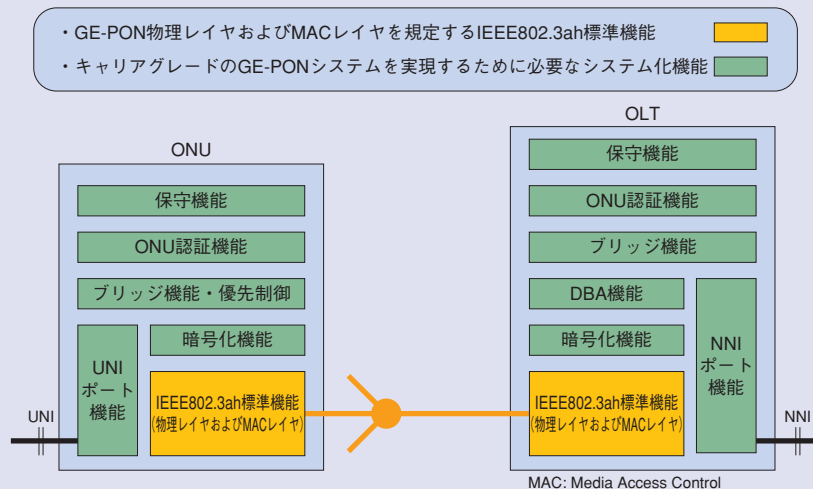


図2 ONU、OLTのシステム化機能

一方NTT局側では、OLTはコアネットワークに接続されると同時に、DCN（Data Communication Network）を介して、保守・監視のためのシステムであるOSS（Operation Support System）に接続されます。

■GE-PONシステムの機能ブロック

ONUおよびOLTについて、IEEE802.3ahの標準機能として規定

されているのは、物理レイヤやMACレイヤに関する部分のみです。したがって、キャリアグレードのGE-PONシステムとして完成するためには、標準機能のほかに、ONU、OLTそれぞれに必要な機能（システム化機能）を追加搭載する必要があります（図2）。

ONU、OLT双方に共通するシステム化機能には、

- ・保守機能
- ・ONU認証機能
- ・ブリッジ機能
- ・暗号化機能

などがあり、さらにONUには

- ・優先制御機能
- ・UNI (User Network Interface) ポート機能

が、またOLTには

- ・DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) 機能
- ・NNI (Network Node Interface) ポート機能

が搭載されます。

■DBA (動的帯域割当) 機能

GE-PONシステムで特に重要な機能がDBA機能です。DBAは、帯域の割り当てを制御する機能で、複数のONUで共有する帯域を、上りトラヒック量に応じて各ONUに動的に割り当てます。またGE-PONではDBA機能により、イーサネットの可変長フレームを適切なタイミングと順序で送信することで、高い帯域使用効率および低遅延を実現し、高いTCPスループットを達成しています。最低保証帯域と最大使用帯域の設定や、遅延によるクラス分けも可能であり、複数のサービスクラス (マルチQoS) をサポートすることができます。

この機能により、例えばある1台のONUに対して、上り帯域が空いていれば最大使用帯域が割り当てられ、逆に極めて混雑していれば、割り当ては最低保証帯域に制限されます。ほどほどの混雑であれば、その状況に応じた帯域が割り当てられます。

そのアルゴリズムのポイントは、ONUからOLTに対する要求情報として、キュー長のほかフレーム境界情報も通知することにあります。ONUの上

りバッファ全体の蓄積量 (蓄積データ量①) と、あらかじめ設定されたしきい値以下でしきい値にもっとも近いデータフレームの境界までの蓄積データ量 (蓄積データ量②) の両方の情報をOLTに通知すると、OLTでは、上りのリクエスト量に応じてそのどちらか一方を選択し、帯域を割り当てます。

具体的には、通信中のONUの数が少ないときには蓄積データ量①を選択、逆に多いときには蓄積データ量②を選択するONUの数を減らして、蓄積データ量②を選択するONUの数を増やす、といった要領でOLTは帯域を制御します。これにより、ONUが蓄積しているフレームの境界と割り当てられた帯域が一致し、帯域のロスが生じない仕組みになっています。

光映像配信システム

■ 3波多重による光映像配信システム

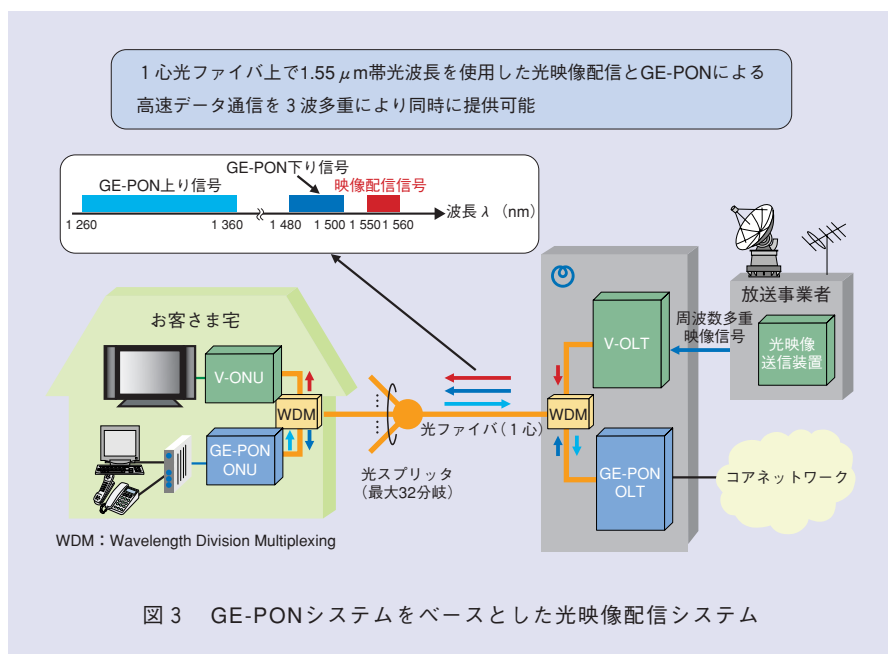
本システムでは、波長多重技術を用いてGE-PONシステムで使用している光ファイバに映像伝送信号を重畳し

て3波多重することにより、通信系サービスと映像系サービスを、1心の光ファイバにより伝送します。

光映像信号は、放送事業者の光映像送信装置から周波数多重信号として入力され、これをV-OLT (Video distribution Optical Line Terminal) で光増幅・分岐し、さらにGE-PONの上り信号および下り信号とともに同じ光ファイバに乗せるために、波長多重フィルタで合波します。映像信号には、1.55 μm の光波長を使用します。1心の光ファイバによって通信系信号とともに伝送された映像信号は、お客さま宅において波長多重フィルタによって分離され、V-ONU (Video distribution Optical Network Unit) で受信後、V-ONUに接続されたTV端末で視聴されます (図3)。

この光映像配信システムのメリットは、多チャンネル映像信号を各お客さま宅に伝送できることです。

使用する770 MHzの電気周波数帯域において、約100本のキャリアを伝送することができます。1キャリア当



りで伝送できるチャンネル数は一般に、標準画質（SDTV）ならば4～5チャンネル、ハイビジョン画質（HDTV）ならば1チャンネルですから、光ファイバ1心で提供できるチャンネル数は、SDTVの場合最大約500チャンネル、HDTVでも最大約100チャンネルになります。

■FM一括変換技術

光映像配信システムにおけるキー技術として、FM一括変換技術が挙げられます。

FM一括変換技術は、周波数多重信号をそのまま伝送するのではなく、一括して広帯域FM信号に変換してから伝送する技術です。光受信器の入力光電力が小さくて済むので、長距離伝送および光信号の多分岐が可能であり、また光反射の影響を受け難いなどのメリットがあります。

伝送信号の流れを追うと、まず映像信号源からの周波数多重された多チャンネル映像信号は光映像送信装置内で広帯域FM信号への変換および光強度変調されたのち、中継伝送路へ転送されます。続いてV-OLTにおいて光増幅・光分岐してV-ONUに伝送されます。V-ONUで受信された広帯域FM信号はO/E変換されたのち、FM復調器によって元の周波数多重信号に変換されます（図4）。

次世代PONシステム

■PONシステムの動向と方向性

PONシステムの伝送速度は、STM-PON、B-PON、そしてGE-PONと高速化が進み、それぞれのシステムが商用導入されてきました。「次世代PONシステム」はこれらを超える伝送容量を提供する将来システムとして位置付けられます。次世代PONシステ

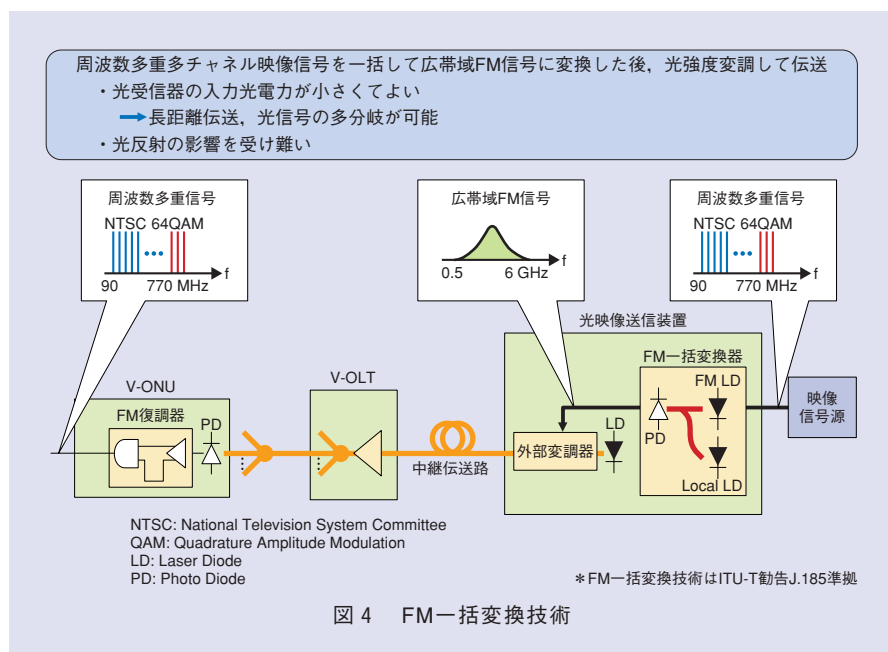


図4 FM一括変換技術

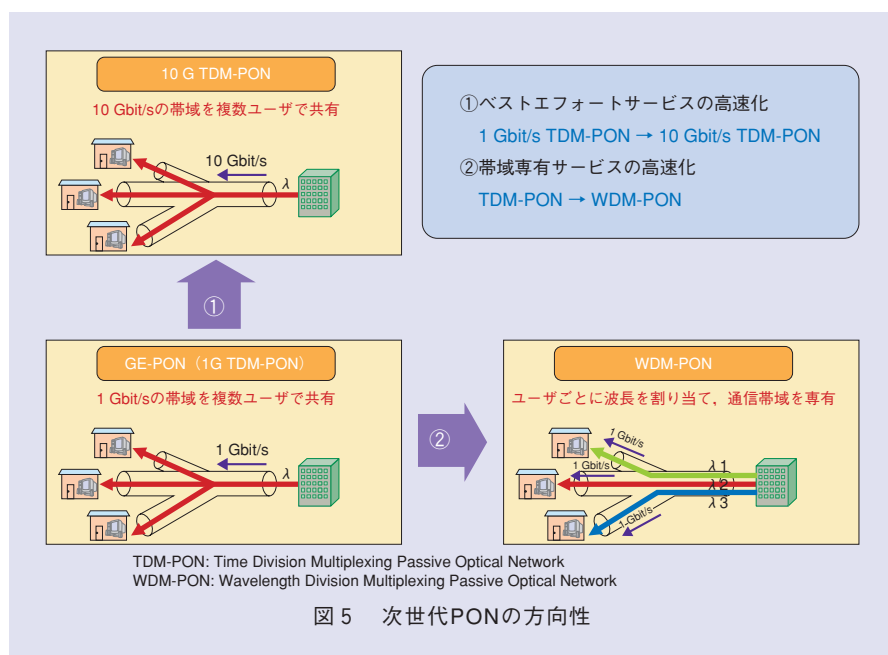


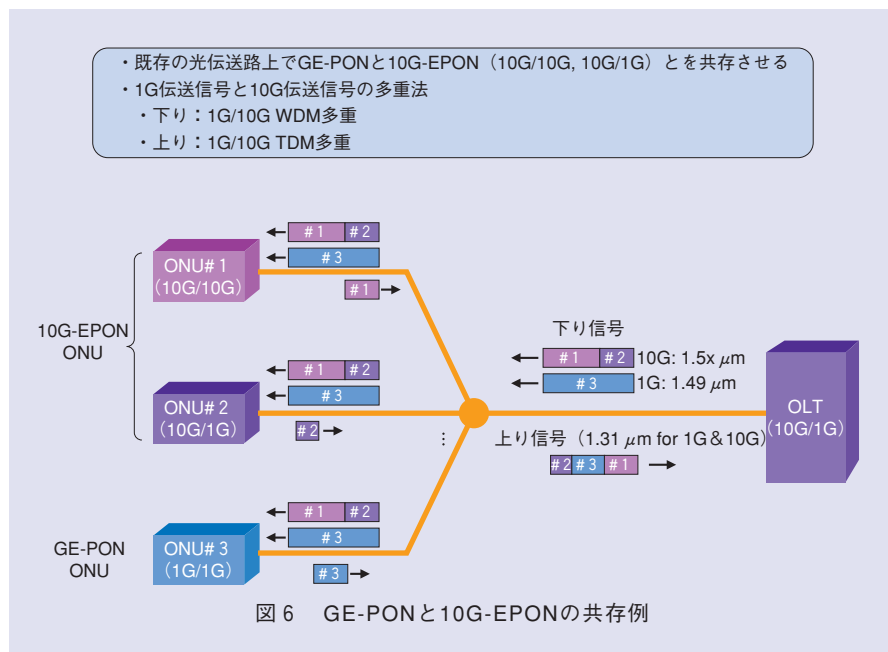
図5 次世代PONの方向性

ムには、以下のような要件が挙げられます。

- ・既設の、光スプリッタを用いた32分岐光伝送路を利用できること
- ・既存システムであるGE-PON、光映像配信システムとの共存が可能であること
- ・既存システムから次世代システムへのアップグレードが容易である

こと

次世代PONシステムの方向性を考えるうえで、転送するトラフィック特性から、①ベストエフォートサービス、および②帯域専有サービス、の2つが考えられ、これらのサービスの高速化に対応して次世代PONシステムの候補が挙げられます（図5）。現在、FTTHシステムの主流であるGE-PON



は、1 Gbit/sの帯域を複数ユーザで共有する時分割多重（TDM）タイプのPONです。

- ① ベストエフォートサービスの高速度化に対しては、共通の帯域を複数ユーザで共有するTDMタイプのPONの高速化が有望であり、例えば10 Gbit/sのTDM-PONが候補になります。
- ② 帯域専有サービスの高速度化に対しては、例えばユーザごとに波長を割り当てて通信帯域を専有するWDM-PONが有望であると考えられます。

なお、①、②の方向性のほか、これらを組み合わせた方式の可能性も考えられます。

■次世代PONシステムの例

10G TDM-PONに関しては、IEEE P802.3av 10G-EPON Task Forceが設立され、現在、「10G-EPON」として物理レイヤの標準化が進められています。対象となるシステムには、「下り10 Gbit/s、上り10 Gbit/s」の上下対称形のもの、「下

り10 Gbit/s、上り1 Gbit/s」の上下非対称のものがあります。

10G TDM-PONの実用化に向けては、①GE-PONの光伝送路を利用可能とする伝送特性の実現、②既存システム（GE-PON、光映像システム）との共存の実現、が課題として挙げられます。前者に対しては、高速化に伴う伝送特性劣化を補うFEC技術や、光アンプ等の適用の検討が、また後者に対しては、波長配置の検討などがなされています。

既存の光伝送路上で、GE-PONと10G-EPON（10G/10Gおよび10G/1G）とを共存させるには、1G伝送信号と10G伝送信号を多重伝送する必要があります。

多重法の一例として、下りでは10G伝送信号を1G伝送信号とは別の波長で伝送することにより波長多重し、上りでは1G伝送信号と10G伝送信号を同一波長で時分割多重する構成が考えられます（図6）。このようにして同一PON上にGE-PONと10G-EPONのONUを混在収容することが可能に

なります。

このような共存の実現は、1Gから10Gへのマイグレーションをスムーズにするものと考えられます。

まとめ

光アクセスシステムには、今後さらなる高速大容量化、経済的かつ高いユーザビリティが求められるものと想定されます。既存システムとの共存を踏まえながら、次世代光アクセスシステムの実現に向けた研究開発に取り組み、お客さまにより快適なブロードバンドアクセスを提供したいと考えています。

◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所
 光アクセスシステムプロジェクト
 TEL 043-211-3284
 FAX 043-211-8875
 E-mail kumozaki@ansl.ntt.co.jp