



## Gigabit Ethernet-PON (GE-PON) システムの開発

NTTアクセスサービスシステム研究所

おちあい こうじ たつた つとむ ふじもと ゆきひろ たなか たかし  
 落合 康二 / 立田 努 / 藤本 幸洋 / 田中 孝史 /  
 よしはら おさむ おおた のりゆき みき のりき  
 吉原 修 / 太田 憲行 / 三鬼 準基

GE-PON (Gigabit Ethernet-PON) は、IEEE802.3ahで標準化された高速光アクセス方式の1つで、他事業者での光アクセスサービス提供にも採用されるなど注目を集めています。NTTアクセスサービスシステム研究所では、今後し烈な競争が想定されるFTTH市場においても競合可能なGE-PONシステムを開発しました。

### GE-PONとは

GE-PONは、イーサネットのアクセス系への適用を目的にIEEE802.3ahとして昨年6月に標準化された高速光アクセス方式の1つです。

光スプリッタなどの受動（パッシブ）素子で構成されたP2MP（Point to Multipoint）形態の光ネットワークはPON（Passive Optical Network）と呼ばれます。PONでは、局内装置であるOLT（Optical Line Terminal）とユーザ端末装置であるONU（Optical Network Unit）が、図1に示すように木の幹と葉のような関係でP2MP接続されます。IEEE802.3ahでは、イーサネットを使ったPONであるためEPONと呼ばれていますが、日本では特にギガビットであることを強調してGE-PONと呼ばれています。

GE-PONシステムは、LANで一般的に用いられているイーサネットフレームをそのままのかたちで（ATMセルなどに変換することなく）送受信することが可能であり、IPとの親和性が高いイーサネットフレームの伝送に適しています。

PONは複数ONUで光ファイバおよびOLTを共用し、システムコストを接続ONU台数で割り勘することが可能なため、回線単価の低下が図れるという特

徴があります。特にGE-PONは、広く調達可能なイーサネット部品を適用可能であることから、システムコストの低減が期待されています。

### IEEE802.3ah規定の概要

IEEE802.3ah規定の中で、GE-PONに関する部分のプロトコルスタックを図2に色付けして示します。関連規定のうち主要ないくつかの規定の概要を以下に説明します。

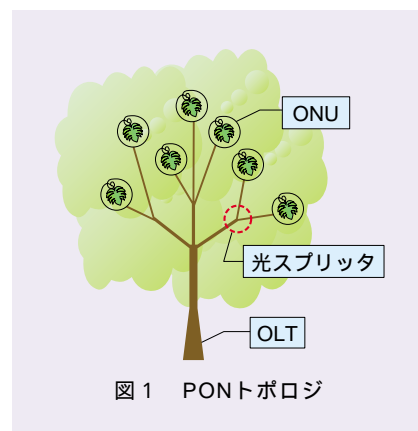


図1 PONトポロジ

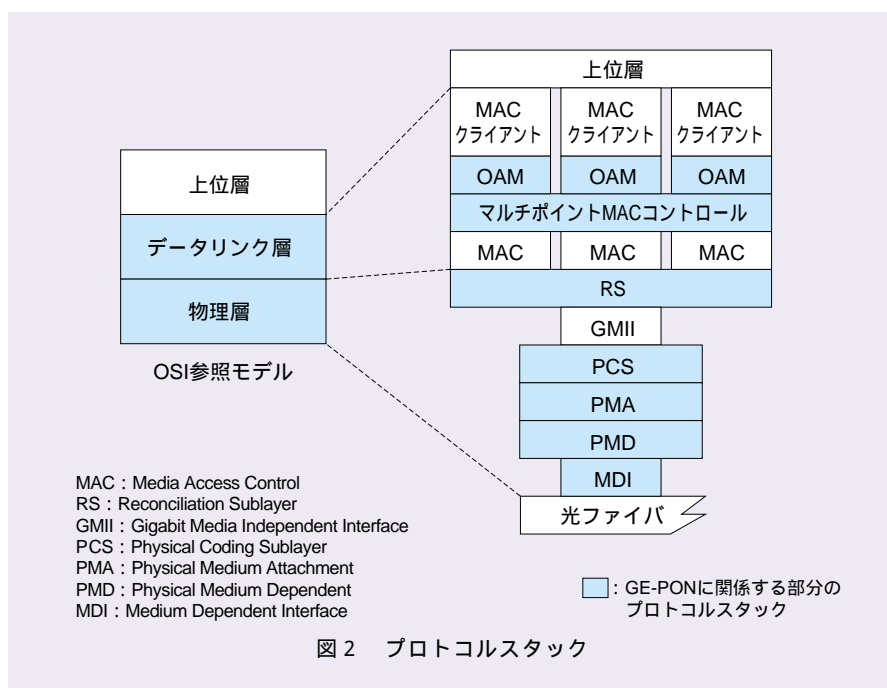


図2 プロトコルスタック

表 1000 BASE-PX種別

装置	伝送距離	~ 10 km	~ 20 km
OLT		1000 BASE-PX10-D	1000 BASE-PX20-D
ONU		1000 BASE-PX10-U	1000 BASE-PX20-U

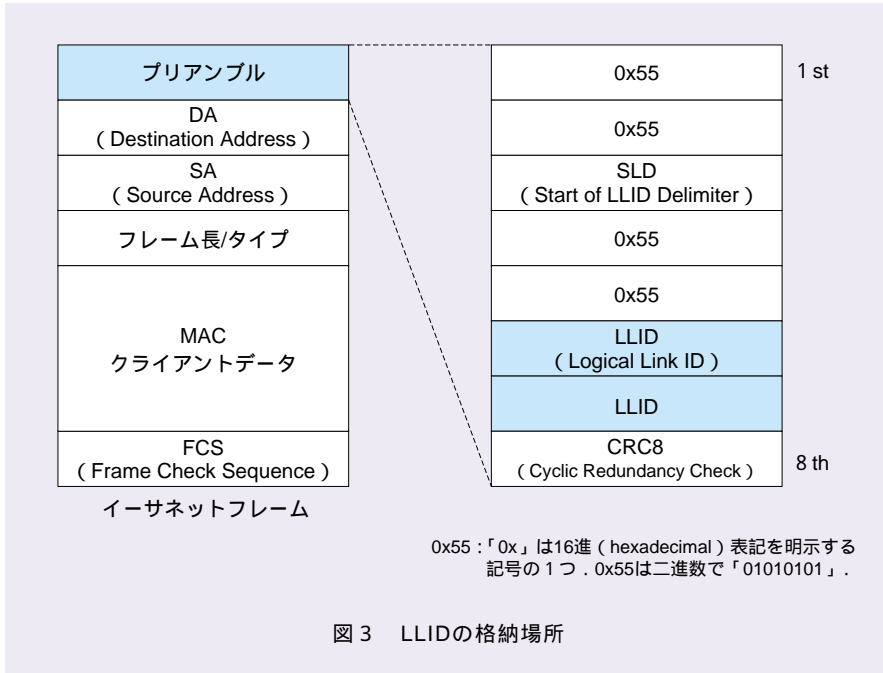


図3 LLIDの格納場所

り当てられたLLIDを送信フレームに埋め込んでPON区間へ送出します。OLTでは受信フレームのLLIDにより、どのONUから送信されたフレームであるかを判別しています。

図4に示すように、LLIDによる識別を行うと、物理的にはP2MP形態であっても論理的にはP2P (Point to Point) 形態での通信が可能となることから、本機能はP2PE (Point to Point Emulation) と呼ばれています。

P2PEの例外として、下り通信に関してブロードキャストLLIDと呼ばれる特別なLLIDが定義されています。ONUは受信フレームがブロードキャストLLIDを持つ場合は、無条件にそのフレームを取り込みます。メディアコンバータなどのP2Pシステムでブロードキャストフレームやマルチキャストフレームを転送する際には、転送対象となるONUの数だけフレームをコピーしてから個別にONUに送る必要があります。処理時間および帯域使用効率の点で難がありました。一方、GE-PONシステムではブロードキャストLLIDを使うことによりフレームをコピーすることなく全ONUに転送可能なため、下り同報配信に適したシステムであるといえます。

(3) マルチポイントMACコントロール副層

GE-PONのマルチポイントMACコントロール副層はIEEE802.3ahの64章で規定されています。その内容はP2MPディスカバリに関するものと、上り帯域制御に関するものに大きく分けることができます。

GE-PONでは、ONUがPONに接続されるとOLTはそのONUを自動的に発見し、通信リンクを自動で確立します。この機能をP2MPディスカバリと呼びます。P2MPディスカバリ中に、OLTは該当ONUとの間のRTT (Round Trip Time : フレーム往復時間) 測定を行い、またONUはOLTとの時刻同期を行います。RTT測定および時刻同期はその後も定期的に行われ、線路条件の変化などによりズレが生じた場合には随時

(1) PMD (Physical Medium Dependent) 副層

GE-PONのPMD副層はIEEE802.3ahの60章で規定されています。

その中で、PONシステムで必要となるバースト信号の送受信を考慮した1000 BASE-PX規格が追加になりました。PX規格は表に示す4種類に分類されます。使用波長帯域は、下り (OLT ONU) 送信波長は1.49 μm帯、上り (ONU OLT) 送信波長は1.31 μm帯であり、波長多重により双方向それぞれ1 Gbit/sの情報速度 (物理信号速度は1.25 Gbit/s) で通信します。

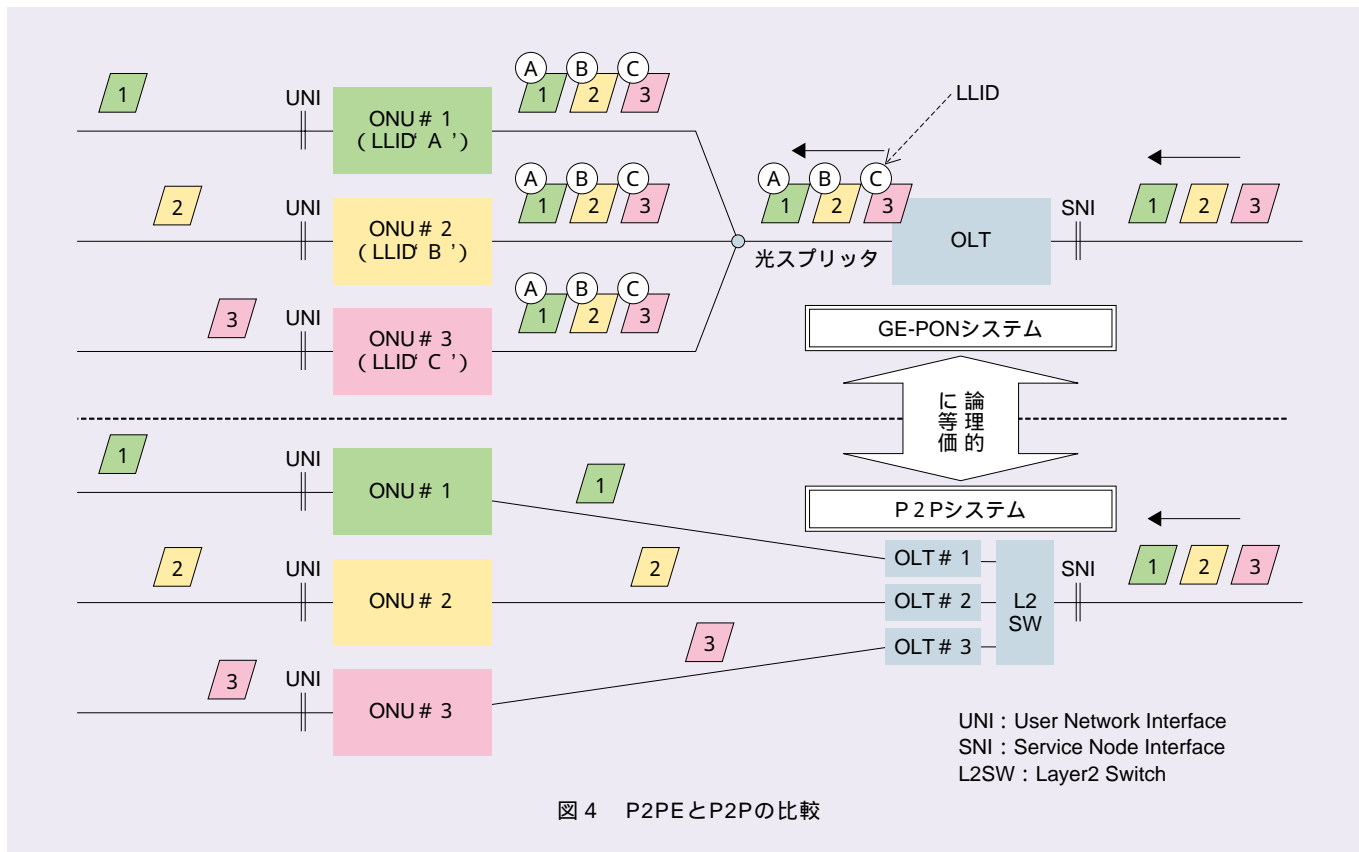
(2) RS (Reconciliation) 副層

GE-PONのRSはIEEE802.3ahの65章で規定されています。

PONシステムでは、下り信号は全く同一のものが放送形式で全ONUに到達します。よって、セキュリティ上の観点から、各ONUは受信したフレームが自分宛 (配下の端末含む) であるかどうかを判断し、受信フレームの取捨選択を行う必要があります。GE-PONでは、この判断をLLID (Logical Link ID) という識別子を用いて行っています。LLIDは図3に示すようにイーサネットフレームのプリアンブル (Preamble) に収容されます。LLIDの値はONU登録時にOLTで決定されます。OLTは自分の配下のONUで重複が起こらないようにLLIDを決定し、ONUへ決定した値を通知します。

下り方向通信では、OLTにて送信フレームごとにどのONUに送信するかを判別し、そのONU用のLLIDを送信フレームに埋め込んでPONへ送出します。ONUは受信フレームのLLIDをOLTから通知されたLLIDと照合し、一致していれば自分宛であると判断して受信フレームを取り込み、そうでなければ自分宛でないと判断し受信フレームを廃棄します。

上り方向通信では、ONUは自分に割

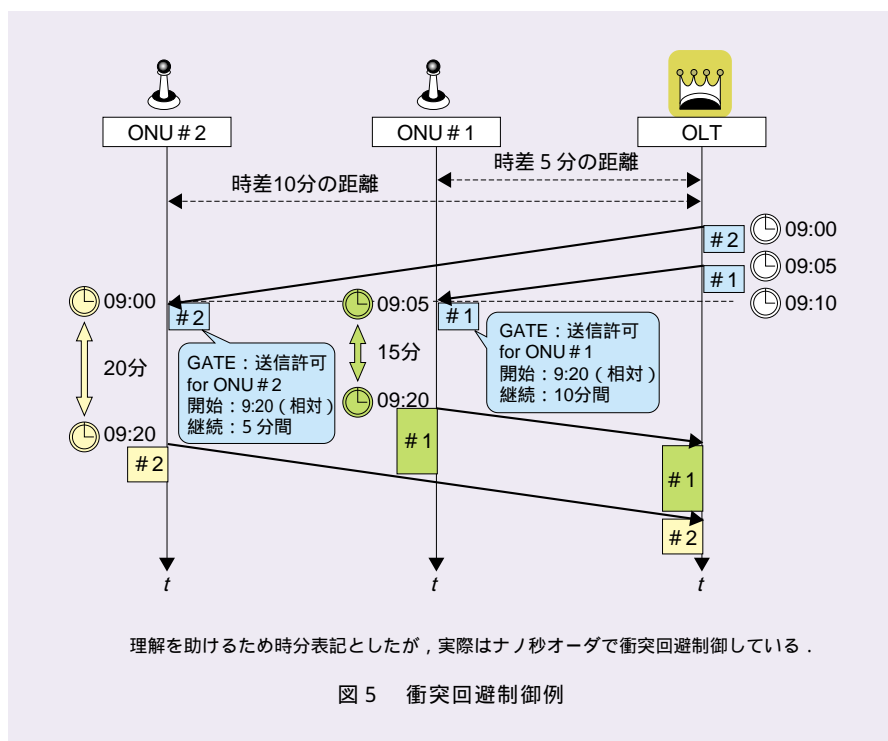


補正されます。GE-PONシステムでは絶対時間はOLTが保持し、各ONUでは設置距離に応じた相対時間となります（時差と同じイメージです）。

GE-PONの上り信号は光スプリッターで合波されるため、各ONUからの上り信号が合波後に衝突しないように制御する必要があります。GE-PONではOLTが司令塔の役割を務め、各ONUに対して送信許可を通知することにより、各ONUからの上り信号を時間的に分離して衝突を回避しています。上り通信衝突回避の例を図5に示します。

送信許可の通知は、具体的には「GATE」と呼ばれる制御フレームをOLTから各ONUへ送ることにより実現されます。GATEフレームは、そのONUにとっての送信開始時刻（相対時刻）と送信継続時間の指示情報から構成されています。ONUはその指示に従ってPONへの上り信号の送信を行います。

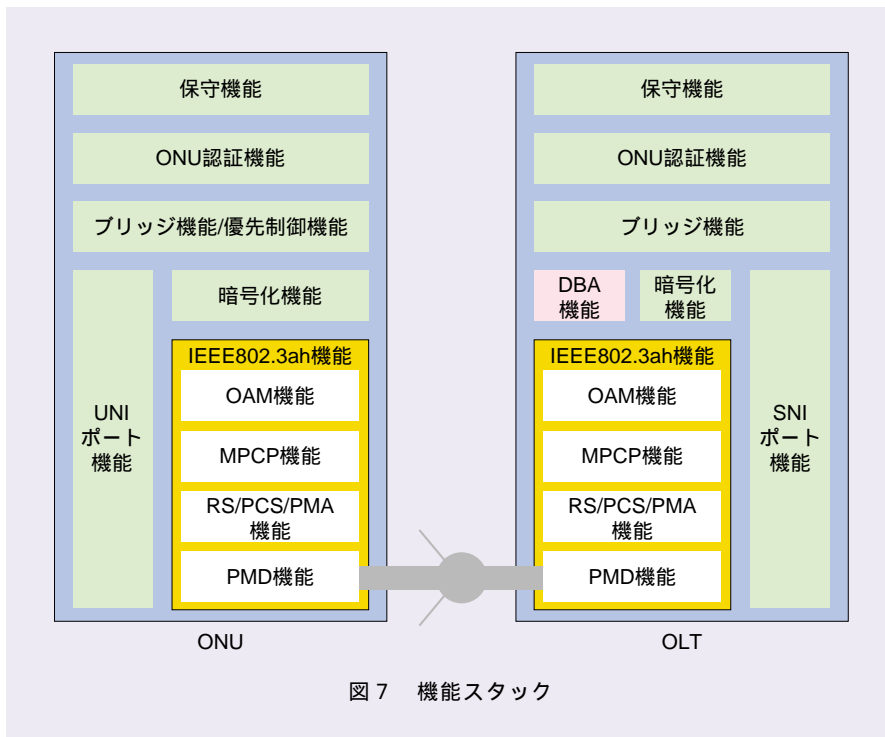
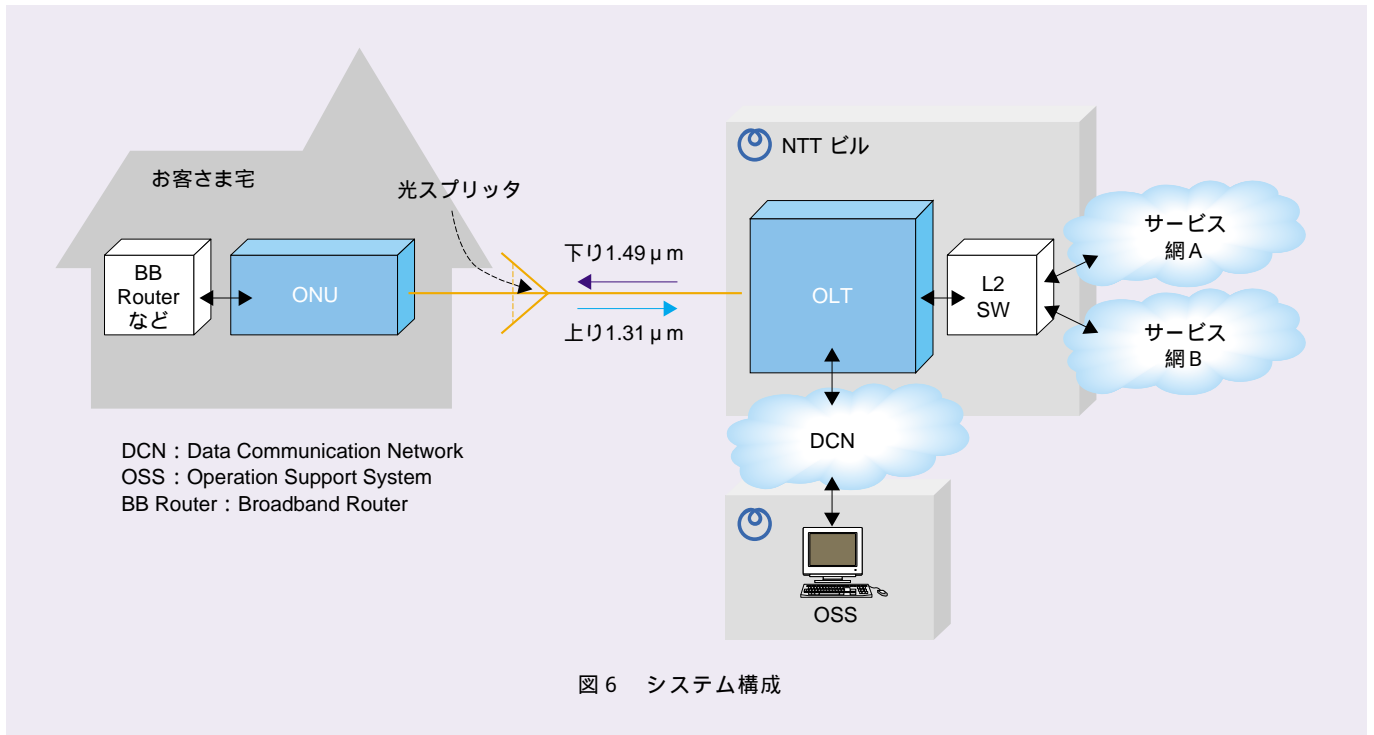
GATEフレームの指示情報はOLTで算出して決定されます。この算出を行うのはOLT内のDBA（Dynamic Band-



width Allocation) アルゴリズムです。DBAは先に述べたRTT情報に加えて、各ONUからの送信要求情報を考慮して指示情報の算出を行います。送信要求

情報とは、各ONUから「REPORT」フレームを使って定期的にOLTへ報告される情報のことです。

なお、IEEE802.3ahでは制御信号の



そのため、IEEE802.3ahではOAM副層が新たに規定されました。

OAMの主な機能には、障害通知、ループバック試験、リンク監視があります。また必要に応じてシステム開発者が規定された手段にのっとり独自にOAMを拡張することも許容されています。

(5) PCS (Physical Coding副層)

アクセス系のような伝送距離では光信号の劣化が想定されるため、受信側でエラー訂正を可能とするFEC (Forward Error Correction) 方式がオプションとしてIEEE802.3ahの65章に規定されました。FECを使用することにより、遠距離ONUの接続や、分割数の増加が可能となります。

### NTTアクセスサービスシステム研究所で開発したGE-PONシステムの主な特徴

GE-PONシステムのシステム構成を図6に示します。

GE-PONのコア部分については、前述のIEEE802.3ahにて規定されましたが、実際にシステムとして運用するためにはIEEE802.3ah規格以外の機能を具備する必要があります。GE-PONシステ

伝達手段であるMPCP (Multipoint Control Protocol) フレーム(GATE, REPORTなど)を規定しているだけであり、各ONUに対する指示情報(上り帯域割り当て)をどのように算出するか、というポリシーや戦略はIEEE802.3ahの規定範囲外となっています。

(4) OAM (Operation, Administration, and Maintenance) 副層

GE-PONのOAM副層はIEEE802.3ahの57章で規定されています。

LANを中心として発展してきたイーサネットをアクセス系に適用するには保守運用機能を強化する必要がありました。

## コラム

## DBA (動的帯域割当) アルゴリズムの概要

GE-PONでは1 Gbit/sの上りの帯域を最大32個のONUで分け合います。上り帯域の割当方法の1つとして、各ONUへの割当帯域を上りのトラヒックにかかわらず固定的に設定するという割当方法があります。しかしこの場合、上り帯域を使っていないONUに対しても帯域が割り当てられてしまうため、帯域の無駄が大きくなってしまいます。そこで、この無駄をなくすため、OLTにDBA (Dynamic Bandwidth Allocation) アルゴリズムを搭載しています。DBAアルゴリズムは、上りのトラヒック量に応じて柔軟に帯域を割り当てます。そのため未使用帯域を他のONUに割り当てることができ、帯域の効率的な利用が可能となります。付図1に示すように、上り帯域を使用しているONUの数に応じて帯域を公平分配することも可能です。

今回開発したDBAアルゴリズムは、GE-

PONに特化したものです。イーサネットの特徴である可変長パケットにおいても、効率的にパケットを詰め込めるよう工夫をし、低遅延と高効率を実現しています。以下に特長を示します。

## (1) 帯域制御機能

最低保証帯域、最大帯域の設定が可能です。帯域は最大帯域を上限に、最低保証帯域比で比例配分されます。

## (2) 遅延制御機能

遅延への要求条件に応じて低遅延クラス、通常遅延クラスの2つのクラスを設定できます。低遅延クラスは、VoIPやTV電話等遅延に厳しいサービスに適用できます。またTCP (Transmission Control Protocol) のACK (応答確認) 信号を遅滞なく送信できるため、高いTCPスループットを実現できます。

次に、DBA機能を実現する仕組みについて説明します (付図2)。

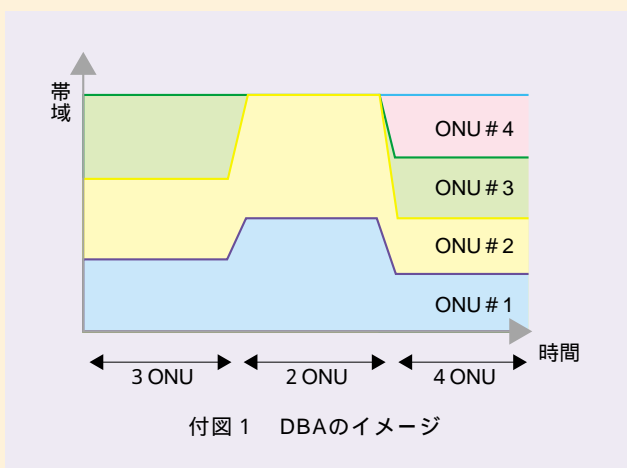
各ONUが帯域要求信号として送信バッファ量を送信します。

収集したバッファ量から各ONUのデータ送信時刻および時間をDBAアルゴリズムが計算します。

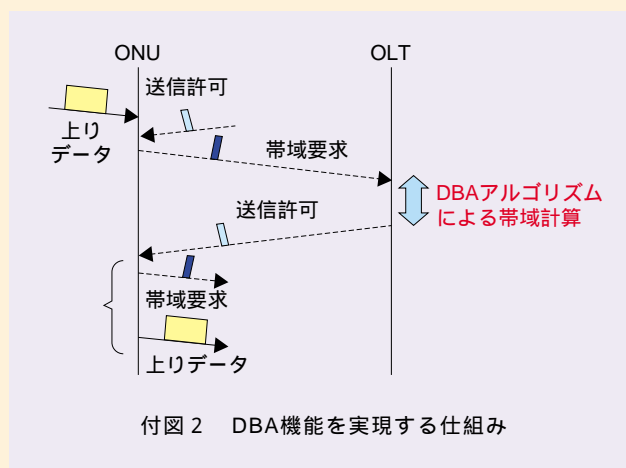
計算した情報を送信許可信号として各ONUに通知します。

ONUは指定された時刻に指定された時間分、次の帯域要求信号とデータを送信します。

この手順はMPCP (Multi-Point Control Protocol) と呼ばれており、IEEE 802.3ahで標準化されています。開発したDBAアルゴリズムはMPCPの枠組みを使って動作しますが、このアルゴリズム自体は、標準化の範囲外ですので、サービスの差別化要素の1つとなっています。



付図1 DBAのイメージ



付図2 DBA機能を実現する仕組み

の機能スタックを図7に示します。またNTTアクセスサービスシステム研究所で開発したOLTおよびONUの外観を図8に示します。

以下にIEEE802.3ah規格以外の特徴的な機能を紹介します。

## (1) DBA機能

前述のとおり、DBA機能はONUの上り使用帯域を決定する機能です。こ

の機能により提供するサービスの特性が変わるため、NTTでは高効率・低遅延を両立するDBA機能を開発しました。詳細についてはコラムに記載します。

## (2) 認証機能

GE-PONシステムをBフレットのよう個人向けアクセスサービスで使用する場合、P2MPディスカバリ機能により不正ユーザが勝手にアクセス可能となっ

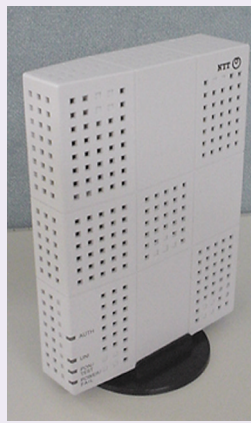
てしまうことが懸念されます。そのため、ONU認証機能を具備し、正規ONU以外からはOLTの上位ネットワークとの通信が行えないようにしました。図9に簡単な認証のイメージを示します。

## (3) 暗号化機能

PONの下り通信はブロードキャストのため、あるONUへの信号は他のONUにも到達してしまいます。受信対



OLT



ONU

図8 OLTとONUの装置外観

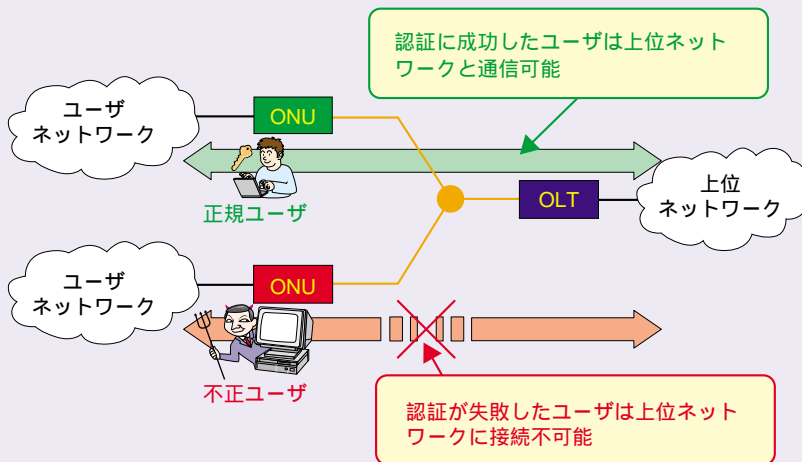


図9 認証による上位網接続

## 今後の展開

認証機能、暗号化機能に関してIEEEで標準化が進められているIEEE 802.1AE/afを採用するなど、今後も積極的に標準化技術を採用することにより、インタオペラビリティの確保ならびにONUの端末化に向けた取り組みを行う予定です。

また商用サービスでの現場の意見をフィードバックしてより運用性を高めていく予定です。

### 参考文献

- (1) IEEE Std 802.3ah-2004 .
- (2) 藤本：“IEEE802.3ah（EFM）標準化動向 Ethernet規格がアクセス系に本格進出，”NTT技術ジャーナル，Vol.14，No.2，pp.66-68，2002 .



(後列左から) 太田 憲行/ 吉原 修/  
立田 努/ 落合 康二  
(前列左から) 三鬼 準基/ 田中 孝史/  
藤本 幸洋

今回開発したGE-PONシステムは、NTTグループが取り組むべき重要な課題の1つである光アクセス・フルIP化の推進に貢献できると考えています。光アクセスによりもたらされる便利なサービスを皆様にも実感していただけるよう留意しながら今後ともシステム開発を進めていきます。

### 問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
第一推進プロジェクト  
TEL 043-211-3290  
FAX 043-211-8875  
E-mail ochiai@ansl.ntt.co.jp

象外のONUで他のONU宛での信号が解析されてしまうのを防ぐために、LLIDごとに異なる暗号鍵を用いて暗号化通信を行っています。

#### (4) 優先制御機能

ONUでは上り方向・下り方向ともIEEE802.1D/Q優先度に応じて数段階の待ち行列処理を行い、重要度の高いものから優先読み出しを行っています。これにより、VoIPなど遅延への要求が厳しいアプリケーションにも対応可能です。

#### (5) 保守機能

ONUの保守については、OLT～ONU間の保守監視インタフェースとしてOAM機能にて規定されていますが、実

際の保守監視項目については規定外となります。またOLTおよびPON区間の保守監視についても規定外となっています。そこで、NTTでは必要と考えられる保守監視機能の実装を行いました。

#### (6) インタオペラビリティの確保

機能ではありませんが、GE-PONシステムが広く調達可能となるには、OLT～ONU間のマルチベンダ接続が可能となることが必要です。そこで、異なるベンダ間での接続を確保しました。将来的には、端末化されたONUをユーザがDIY（Do It Yourself）で取り付け可能となることを目標としています。