

技術基礎講座

【GE-PON技術】

- 第1回 PONとは
- 第2回 IEEE802.3ah標準規格**
- 第3回 DBA機能
- 第4回 GE-PONシステム技術
- 第5回 今後の標準化

IEEE802.3ahは高速広帯域なイーサネット（Ethernet）通信をアクセスネットワークに適用することを目的にIEEE（米国電気電子技術者協会）802委員会で標準化された規格です。規格の中に、今注目を集めているGE-PON（Gigabit Ethernet-PON）の仕様について規定されています。

IEEE802.3ahの概要

IEEE802.3ahはイーサネットの標準化団体として知られるIEEE802.3WGで、イーサネットの経済性、相互接続性、高速広帯域性をアクセスネットワークに適用するための新しいブロードバンド規格として昨年6月に標準化されました。802.3ahは通称EFM（Ethernet in the First Mile）と呼ばれています。アクセスネットワーク（正確には、**き線点***からお客さま宅までの最後の数百m）のことを「ラストワンマイル（Last one Mile）」と呼ぶことがあります。EFMではユーザ側を起点と考え「ファーストワンマイル（First one Mile）」と呼び、そ

* き線点：加入者ケーブルが地下管路から架空へと立ち上がるポイントのこと。

こにイーサネットを適用するという意味でEFMと呼ばれました。IEEE802.3ahでは、Copper方式、光Point to Point（P2P）方式、光Point to Multipoint（GE-PON）方式の3つの通信方式とすべての方式に共通で使える保守監視機能（OAM: Operation, Administration, and Maintenance）を規定しています。各機能は、レイヤごとに規定されています。図1はIEEE802.3ahのレイヤ構造です。

なお、GE-PONはIEEE802.3ahではEPON（Ethernet-PON）と呼ばれていますが、ここでは混乱を招かないようにGE-PONと呼ぶこととします。

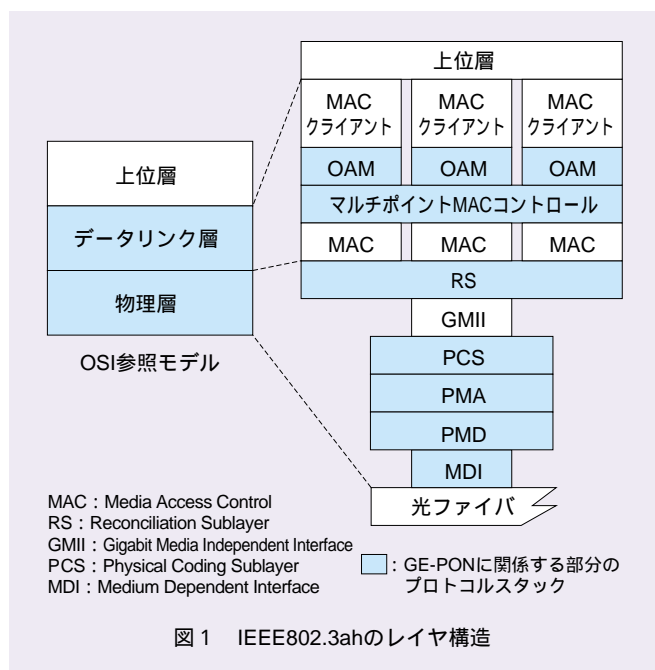
PMD副層

IEEE802.3ahではGE-PON方式、光P2P方式、Copper方式のPMD（Physical Medium Dependent）副層が規定されています。表にPMDの光インタフェースを示します。

表 PMDの光インタフェース

方式	名称	実効速度 (bit/s)	ファイバ	距離 (km)	トランシーバ波長 (μm)
P2P	100BASE-LX10	100 M	2心	10	1.31
P2P	1000BASE-LX10	1 G	2心	10	1.31
P2P	100BASE-BX10-D 100BASE-BX10-U	100 M	1心	10	1.55 1.31
P2P	1000BASE-BX10-D 1000BASE-BX10-U	1 G	1心	10	1.49 1.31
GE-PON	1000BASE-PX10-D 1000BASE-PX10-U	1 G	1心	10	1.49 1.31
GE-PON	1000BASE-PX20-D 1000BASE-PX20-U	1 G	1心	20	1.49 1.31

D：OLT側インタフェース
U：ONU側インタフェース



GE-PON方式では、従来の1 Gbit/sの伝送速度を持つギガビットイーサネットが標準とされていた1000BASE-Xファミリー(1998年標準化規格化タスクフォース名: IEEE802.3z)とは別に、GE-PONで必要となるバースト信号の送受信を考慮した1000BASE-PX規格が追加されました。PX規格は伝送距離(10 km対応/20 km対応)と上り・下り方向それぞれの合計4種類に分類されます。使用波長帯域は1.55 μm帯による映像の多重を考慮して、1.49 μm帯〔OLT (Optical Line Terminal) ONU (Optical Network Unit)〕および1.31 μm帯 (ONU OLT) を用います。波長多重により双方向それぞれ1 Gbit/sの通信速度(物理信号速度は1.25 Gbit/s)で通信を行います。

光P2P方式では光ファイバ2心で通信を行う100BASE-LX10, および1000BASE-LX10とWDM (Wavelength Division Multiplexing: 波長分割多重)方式を用いた100BASE-BX10, および1000BASE-BX10が規定されています。

なお、BXとPXの場合WDMを用いた双方向通信を行うため、OLT側とONU側を入れ替えて使用することはできません。100BASE-BX10, 1000BASE-BX10間も使用する波長が異なるため相互接続できません。1000BASE-BX10と1000BASE-PX10は使用波長が同一ですが、後に説明するGE-PON方式のマルチポイントMACコントロールの機能がP2P方式にはないため、相互接続ができません。

Copper方式では、短距離・高速用の10PASS-TSと長距離・低速用の2BASE-TLのPMDが規定されています。10PASS-TSのPMDおよびPMA (Physical Medium Attachment) はANSI T1.424のVDSL (Very high-bit-rate Digital Subscriber Line) に準拠しており、最大通信速度10 Mbit/s, 最大通信距離750 mを可能とします。2BASE-TLのPMDおよびPMAはITU-T G.991.2のSHDSL (Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line) に準拠し、最大通信速度2 Mbit/s, 最大通信距離2700 mを可能とします。

Reconciliation副層 (RS)

RSは、MACと物理層の仲介役(フレーム間隔の調整)を行っています。IEEE802.3ahでは、OLT - ONU間のイーサネットフレームを識別するため、RSで規定するプリアンブル(Preamble)の一部に識別子を埋め込み、新機能を加えています。

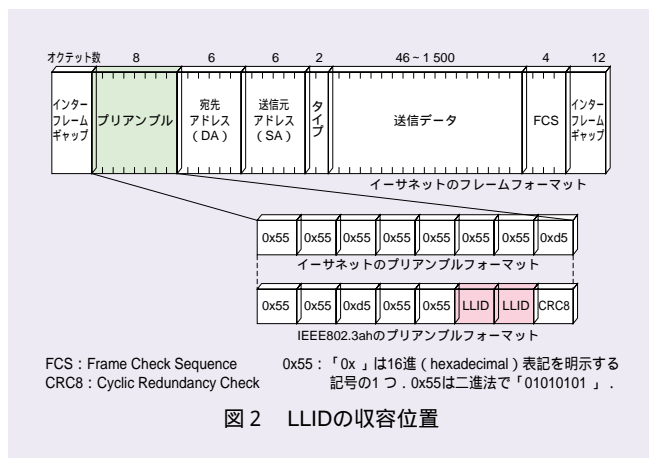
GE-PONシステムでは、下り信号(OLT ONUの信号)は全く同一のものが放送形式で全ONUに到達します。よって、各ONUは受信したフレームが自分宛であるかどうかを判断し、受信フレームの取捨選択を行う必要があります。GE-PONではこの判断をLLID (Logical Link ID) という識別子を用いて行います。LLIDは図2のようにイーサネットフレームのプリアンブルに収容されます。なお、LLIDの値はONU登録時にOLTで決定され、OLTは自分の配下のONUでLLIDの重複が起こらないように管理しています。

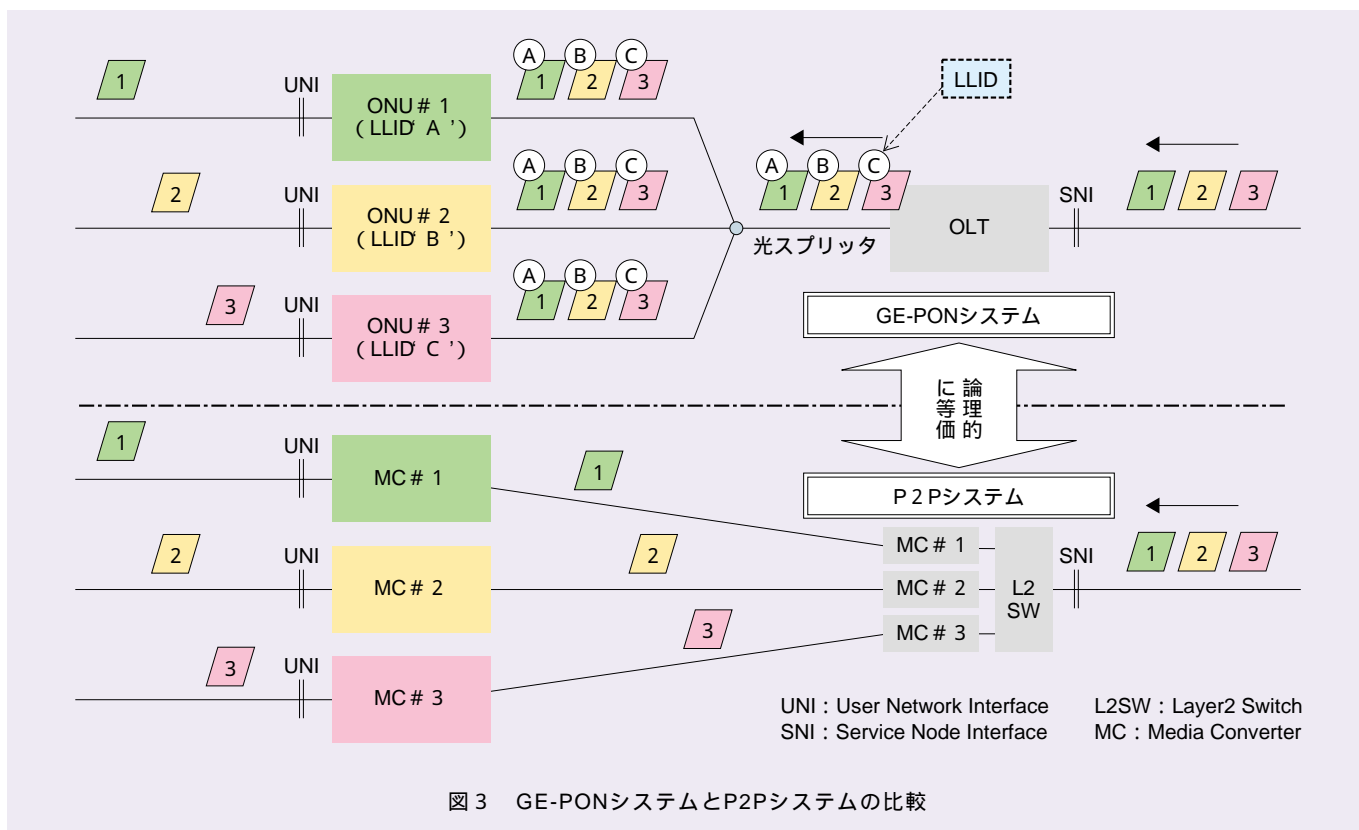
下り方向通信では、OLTは送信フレームごとにどのONUに送信するかを判別し、そのONU用のLLIDを送信フレームに埋め込んでONUへ送出します。ONUは受信フレームのLLIDをあらかじめOLTから通知された自分のLLIDと照合し、一致していれば自分宛であると判断して受信フレームを取り込み、そうでなければ自分宛でないと判断し受信フレームを廃棄します。

上り方向通信(ONU OLT方向の通信)では、ONUは自分に割り当てられたLLIDを送信フレームに埋め込んでOLT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3に示すようにLLIDによる識別を行うと、物理的にはGE-PONの形態であっても論理的にはP2P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(MC: Media Converter)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MCの数だけフレームをコピーしてから個別にMCに送る必要があるため、コピーに処理時間を要し、帯域使用効率が低下するという問題がありました。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。

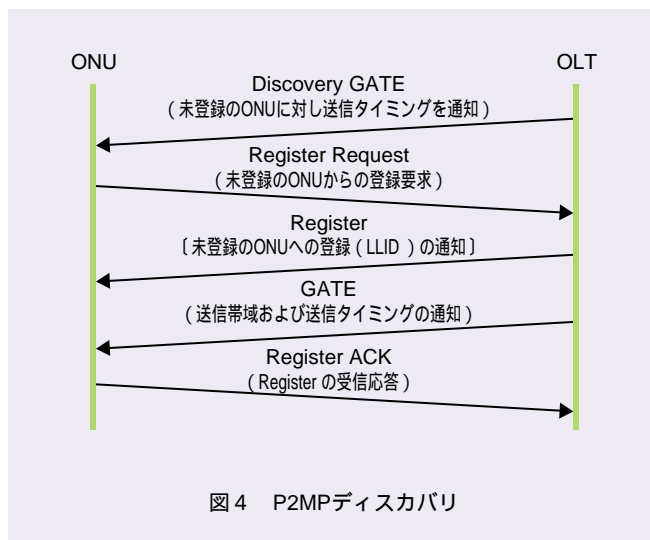
Physical Coding副層 (PCS)

PCSではデータの符号化を行います。IEEE802.3ahでは、PCSに、エラービットを訂正する機能をオプションとして加えています。

アクセスネットワークのような長距離伝送では、光信号が劣化するため、受信側でエラー訂正を可能とするFEC (Forward Error Correction) 方式を規定しています。FECを使用することにより光特性の改善を図ることができ、遠距離のONU接続や、ONU接続数の増加が可能となります。

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



P2MPディスカバリに関するものと、上り信号制御に関するものに大きく分けることができます。

P2MPディスカバリ

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、ONUにLLIDを付与して通信リンクを自動的に確立します。この機能をP2MPディスカバリと呼びます。P2MPディスカバリのシーケンスを図4に示します。

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補正されます。

上り信号制御

GE-PONの上り信号は光スプリッタで合流するため、各ONUからの上り信号が合流後に衝突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フレームには、そのONUに対する送信開始時刻と送信量（いつの時点からどれだけの上り信号を送ってよいという情報）が収容されています。ONUはその指示に従って上り信号の送信を行います。

なお、IEEE802.3ahでは各ONUへの上り信号送信許可方法は規定されていますが、各ONUへの帯域の割当（送信開始時刻と送信継続時間の計算）方法については規定されていません。

OAM副層

OAMとは、装置や回線の保守監視制御のことです。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監視機能を強化する必要がありました。そのため、IEEE802.3ahではOAM副層が新たに規定されました。

OAM副層では、OAM機能としてOAMフレームとOAMフレームを用いた制御機能について規定されています。GE-PONではOAMフレームはOLT - ONU間で使用されています。OAMフレームを用いた主な機能としては、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IEEE802.3ahで規定された手段に従って不足するOAM機能を拡張することもできます。

OAM副層はGE-PON方式だけではなく、P2P方式やCopper方式にも適用可能となっています。

GE-PONシステムとIEEE802.3ah

以上述べてきたように、IEEE802.3ahではGE-PONに関する各種規定がなされています。しかしながら、GE-

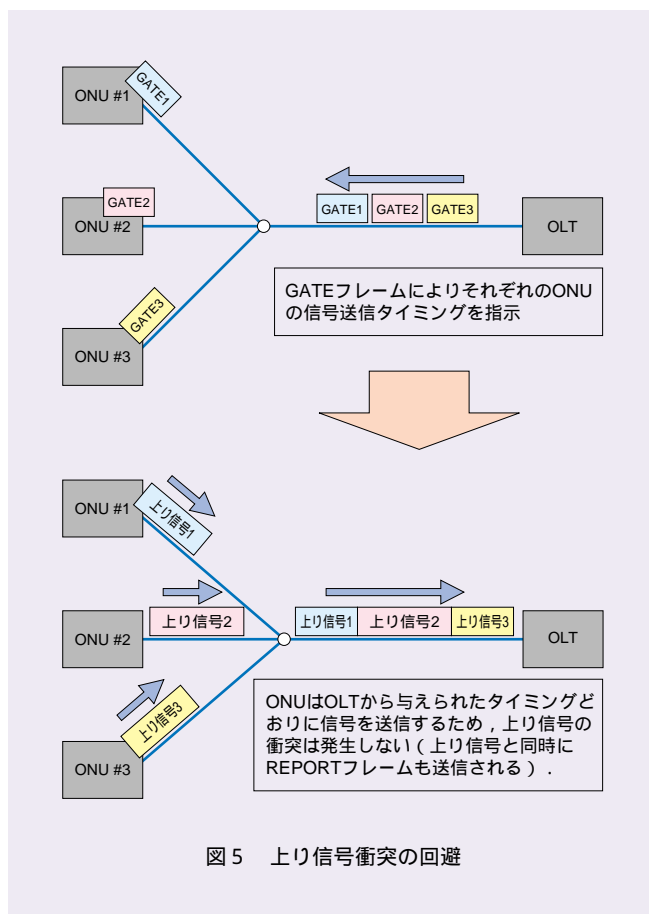


図5 上り信号衝突の回避

PONを実際にシステム（装置）として導入していくためには、他にもさまざまな機能が必要となります。

その1つの例が、マルチポイントMACコントロール副層の上り信号制御の項で触れた各ONUへの帯域割当を行う機能です。この機能はDBA (Dynamic Bandwidth Allocation) 機能と呼ばれています。次号では、DBA機能について詳しく説明します。

参考文献

- (1) 落合・立田・藤本・田中・吉原・太田・三鬼：“Gigabit Ethernet-PON (GE-PON) システムの開発,” NTT技術ジャーナル, Vol.17, No.3, pp.75-80, 2005.
- (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.10, pp.66-68, 2002.

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 IPアクセス推進DP
 TEL 043-211-3290
 FAX 043-211-8875
 E-mail shuzo@.ansl.ntt.co.jp

このコーナーで取り上げて欲しいテーマをE-mailで編集部までお寄せください。
 (社)電気通信協会内 NTT技術誌事務局 E-mail jrr@tta.or.jp