



# 次世代10G級PONシステムの標準化動向

かに じゅんいち すずき けんいち

可児 淳一 / 鈴木 謙一

NTTアクセスサービスシステム研究所

FTTH (Fiber To The Home) によるブロードバンドサービスの提供では、主にPON (Passive Optical Network) と呼ばれる経済的な光アクセスシステムが利用されています。2004年前後に、通信速度が1 Gbit/s程度のPONシステムが標準化され、FTTHの全国的な普及の足掛かりとなりました。現在は、次世代に向けて、10ギガビット級のPONシステムの標準化が進展しています。ここでは、この10G級PONシステムの最新標準化動向を紹介します。

## 10G級PON標準化の検討概要

光アクセスシステムの標準化検討体制を図1に示します。IEEE 802.3 ワーキンググループ<sup>(1)</sup>は、“Ethernet”の仕様を策定している伝統的なグループで、2001年から、“Ethernet in the First Mile (EFM)”と称するタスクフォースにおいて、イーサネットをベースとした通信速度1 Gbit/sのPONシステム (GE-PON: Gigabit Ethernet-PON) の標準化 (IEEE Standard 802.3ahの作成) を開始しました (2004年完了)。PONシステムは、OLT (Optical Line Terminal) が複数のONU (Optical Network Unit) と受動素子である光スプリッタを介して一対多 (Point-to-Multipoint) の光ファイバ通信を行うシステムで、GE-PONの場合は、1 Gbit/sの帯域が複数のONUで共有されます<sup>(2)</sup>。EFMでは、GE-PONの物理層規定

(1000BASE-PX10, 同20), PON専用の制御機能 (Multi-Point MAC Control), 光アクセスに適した運用管理機能 (Operation, Administration and Maintenance) が標準化されたほか、100 Mbit/sおよび1 Gbit/sのPoint-to-Pointシステムの物理層規定 (100BASE-BX10, 同LX10, 1000BASE-BX10, 同LX10) も策定されました (“PX”はPON, “BX”は光ファイバ1心によるPoint-to-Point, “LX”は2心Point-to-Pointを表し, “10”, “20”はそれぞれ10 km版, 20 km版を表す)。GE-PONではPON区間のデータ転送にイーサネットを用いるMAC (Media Access Control) フレームを利用します。

この802.3ワーキンググループにおいて、2006年に“10G PHY”タスクフォースが設置され、通信速度10 Gbit/sのPONを実現するための物理層規定の検討 (IEEE Standard 802.3avの作成) が開始されています。上り10G/下り10Gの光インタフェース規定として10GBASE-PR10, 20, 30が、また、上り1G/下り10Gの規定として、10G/1GBASE-PRX10, 20, 30が規定される予定です (ちなみに, “30”は30 km版ではなく20 kmの高ロス対応版)。これらの規定をベースとしたイーサネットベースの10G級PONシステムを「10G-EPON (10Gigabit-Ethernet PON)」と呼びます。

一方、ITU-Tでは、スタディグループ

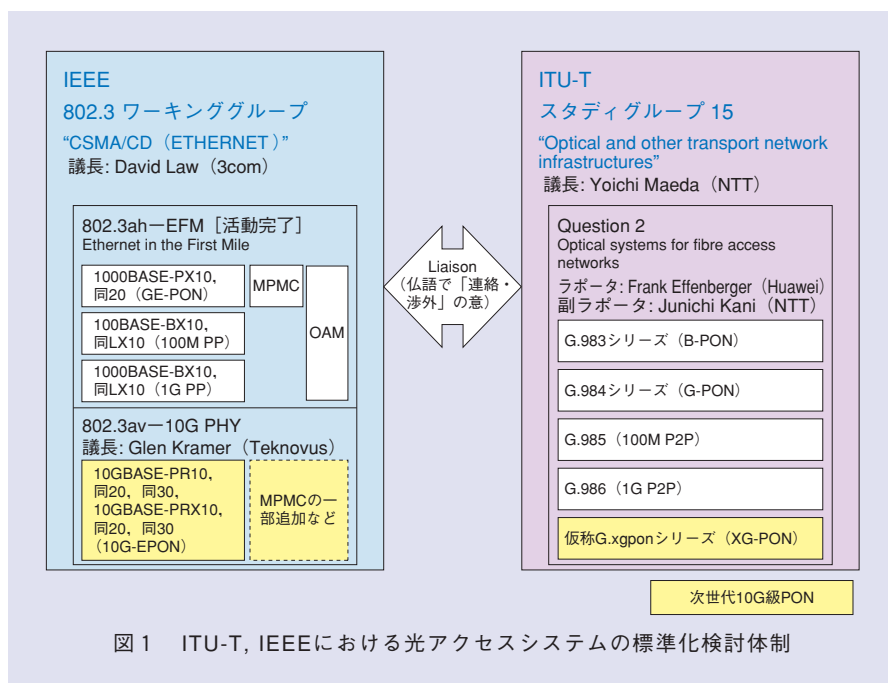


図1 ITU-T, IEEEにおける光アクセスシステムの標準化検討体制



プ15の課題2 (“Q 2/15”)において光アクセスシステムの検討が行われており<sup>(3)</sup>, 2001年までに、伝送速度155~622 Mbit/sのB-PON (Broadband PON, ITU-T Recommendation G.983シリーズ)の標準化を、また、2002~2004年にかけて、伝送速度上り1.25 Gbit/s, 下り2.5 Gbit/sまでのG-PON (Gigabit-capable PON, ITU-T Recommendation G.984シリーズ)の標準化を行いました。B-PON, G-PONでは、PON区間のデータ転送に、それぞれ、ATMフレーム, GTC (G-PON Transmission Convergence) フレームが利用されています。ITU-Tでは、G-PONの後継としてXG-PON (Xはローマ数字の10の意、つまり10G-PONの意)の標準化検討が開始されています。

IEEE 10G-EPONとITU-T XG-PONの標準化スケジュールを図2に示します。IEEE 10G-EPONは、2009年9月に承認を予定しています。ITU-T XG-PONは、2009年10月に全体的要件と物理層規定〔G.xgpon.1, 同.2 (仮称)]の承認を、2010年7月に上位層の規定〔G.xgpon.3, 同.4 (仮称)]の承認を目標としています(それぞれの内容は後述します)。なお、ITU-Tの標準はB-PON, G-PONとも、FSAN (Full Service Access Network)<sup>(4)</sup>と呼ばれるフォーラムにおいて実質的な技術検討が行われてきた経緯があり、XG-PONについても、FSANでは2007年前後から検討が行われています。FSANからITU-Tへは、FSANメンバによる共同提案というかたちで技術検討結果が提供されています。



10G-EPON (IEEE Std 802.3av)の標準化は、光アクセスシステムのさ

らなる高速化を目指し、GE-PONの標準化仕様に10 Gbit/sの物理層規定を追加することを目的として開始されました。標準化開始当時、すでにGE-PONが普及し始めていたことから、GE-PONからの円滑なシステムアップグレードが円滑に行えることも標準化の目的に加えられました。物理層以外(MAC層以上)の変更は当初標準化の対象外とされていましたが、その後、物理層規定との整合および円滑なシス

テムアップグレードの実現に必要な機能について追加が認められることになりました。

GE-PONからの円滑なシステムアップグレードを可能とするために、10G-EPONでは、同一光スプリッタ配下にGE-PON用のONUを接続できるようになっています。次の3つのONUの共存を実現するための光信号多重の仕組みを図3に示します。

① 対称 (上り10G/下り10G)

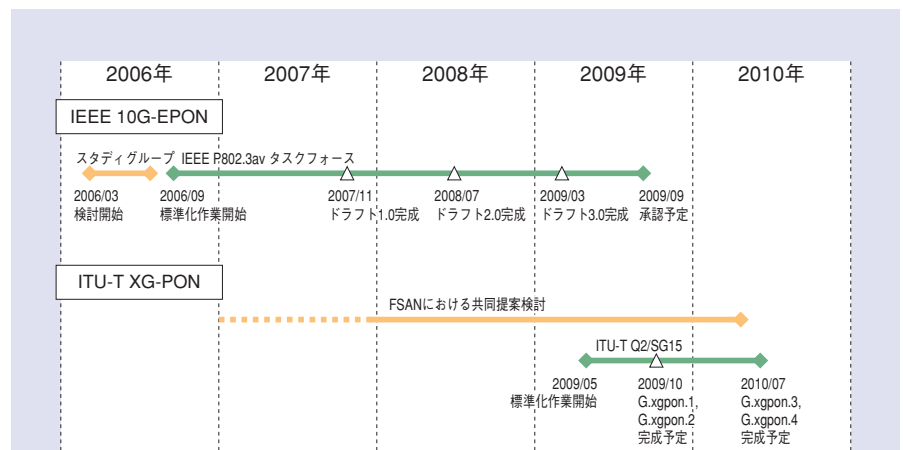


図2 次世代10G級PONの標準化スケジュール

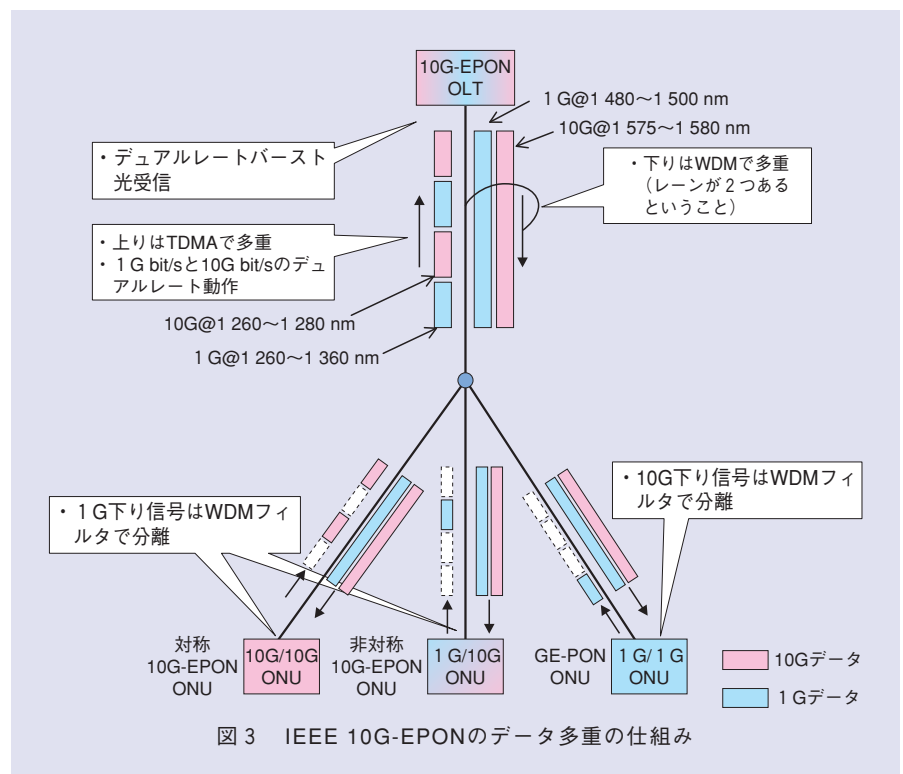


図3 IEEE 10G-EPONのデータ多重の仕組み



## 10G-EPON

② 非対称 (上り1G/下り10G)

## 10G-EPON

③ GE-PON (上り1G/下り10G)

1G下り信号と10G下り信号は、異なる波長帯 (それぞれ1480~1500nmと1575~1580nm) で送信され、ONUはいずれか所望の信号をWDMフィルタ (波長分離を行うフィルタ) によって選択します。このような方式は波長分割多重 (WDM) と呼ばれています。1G上り信号と10G上り信号は、同一の波長帯 (それぞれ1260~1360nmと1260~1280nm) で送信されますが、OLTからの制御によって、異なる時間にOLTに到着するように送信されます。このような方式は時間分割多重アクセス (TDMA) と呼ばれます。OLTには、速度 (1Gまたは10G) と強度の異なる断片的な (バースト的な) 上り信号が次々と入力されるので、デュアルレートバースト受信器が搭載されます。10G-EPONの標準化では、デュアルレートバースト光受信器の実現性を確認し、その構成を付録として記載しています。

GE-PON, 非対称10G-EPON, 対称10G-EPONの上り信号と下り信号の波長を図4の上段にまとめます。図4に併せて示したように、10G-EPONの波長配置は、PONを用いた映像配信システム<sup>(5)</sup>との共存も可能となるように配慮されています。

また、10G-EPONでは、低コストな光トランシーバモジュールが利用できるように、高利得の誤り訂正符号 (FEC: Forward Error Correction) を適用することとしており、リードソロモン (255, 223) と呼ばれる符号が採用されています。

物理層規定以外では、主に以下の事項を実現するための規定が盛り込ま

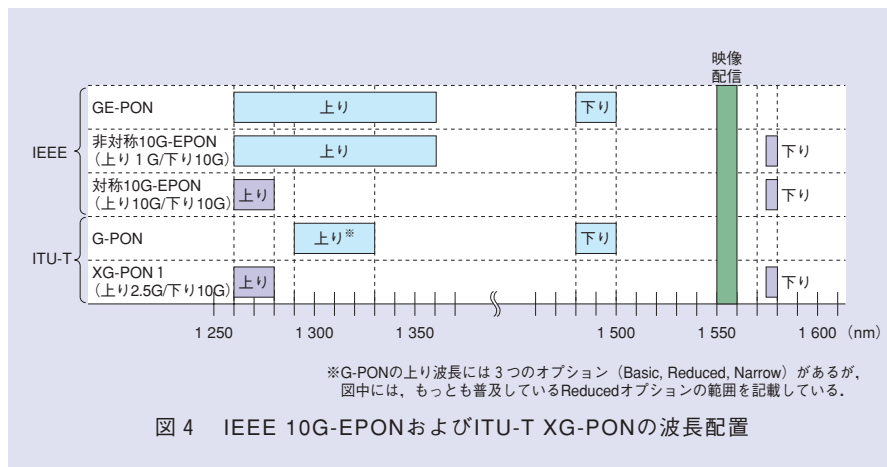


図4 IEEE 10G-EPONおよびITU-T XG-PONの波長配置

れます。

- ・上りのバースト信号を送出するレーザの性能に応じたシステム運用を可能とするため、GE-PONで固定時間として扱われていたMPMC (Multi-Point MAC Control) におけるレーザオン/オフ時間 (T<sub>on</sub>/T<sub>off</sub>) を所定の範囲で変更できるようにする。
- ・各種のシステム要件に柔軟に対応できるように、拡張用MAC制御フレームを定義し、Std 802.3で規定されていないMAC制御を実装できるようにする。
- ・前述の3種類のONUが共存できるように、MPMCにおけるレンジングウインドウの起動を上り信号の速度ごとに行えるようにするとともに、上り信号速度が同じ1Gであっても、非対称10G-EPONかGE-PONなのかを区別できるようにする。

さらに、これらの追加機能を駆使したデュアルレートDBA (Dynamic Bandwidth Allocation) のアルゴリズム (標準化範囲外) を適用することにより10G-EPONとGE-PONとの共存が可能となり、既存システムからの柔軟なシステムアップグレードが行えます。



ITU-T XG-PONの検討は、当面、上り2.5 Gbit/s, 下り10 Gbit/sのPONシステム (XG-PON1) を対象として検討が進められています。冒頭で触れた4つの勧告 (G.xgpon.1~G.xgpon.4) に加え、用語・略語定義の勧告 (G.xgpon) も作成される予定です。これらの勧告の表題と内容を表にまとめます。

G.xgpon.1「XG-PON: 全体的要件」は、G.xgpon.2~G.xgpon.4に続くシステム規定を策定するうえでの指標として、サービス要件、他システムとのインタフェース要件、スケラビリティ (距離、分岐数) 要件などをまとめる勧告です。サービス要件としては、超高速IP接続や、エミュレーションまたはシミュレーションを基本としたレガシーサービスの収容などに加えて、次世代移動体通信の基地局収容で求められるOLT—ONU間の時刻同期要件などが議論されています。IEEEでの議論と同様に、ギガビットのPONからのスムーズなマイグレーションを可能とすることも、重要な要件の1つと位置付けられています。OLT—ONU間の最大光損失 (ロスバジェット) 要件は、ギガビットのPONのために各キャリアが導入した光ファ



表 ITU-T G.xgponシリーズの各文書と内容

勧告仮称	表題	内容
G.xgpon	XG-PONの用語・略語定義	G.xgponシリーズで用いる用語・略語の定義
G.xgpon.1	XG-PON：全体的要件	サービス要件，他システムとのインタフェース要件，スケーラビリティ（距離，分岐数）要件など
G.xgpon.2	XG-PON：PMD層規定	OLTとONUの間で送受信される光信号のパラメータ規定，および距離延伸器（オプション）のパラメータ規定
G.xgpon.3	XG-PON：TC層規定	フレーム構造，上り信号の時分割多重アクセス（TDMA）制御機能，ONU起動方法，下り信号の暗号化方法などの規定
G.xgpon.4	XG-PON：OMCI規定	ONUマネジメントおよびコントロールインタフェース（OMCI）における，各種管理情報のMIB，および転送のためのプロトコル・メッセージ形式の規定

イバ・光スプリッタの特性を踏まえて，28～30 dBとなる見込みです。

G.xgpon.2「XG-PON: PMD (Physical Media Dependent) 層規定」は，OLTとONUの間で送受信される光信号の各種パラメータを規定する勧告です。また，2009年10月の初版承認の後，改版において，通常20 kmのOLT—ONU間の最大距離を最大60 kmまで長延化する距離延伸器の規定が追加される予定です。ONU/OLTの送信波長規定，つまり，上り/下り光信号の波長配置は，ギガビットのPONからのスムーズなマイグレーションを可能とするとともに，IEEE 10G-EPONとの部品共通化を可能とするため，図4の最下段に示した波長配置（上り：1 260～1 280 nm，下り：1 575～1 580 nm）が有力な候補となっています。図4の下から2段目には，G.984.5において規定されるG-PONの波長配置（3つのオプションのうちもっとも利用されているReducedオプションの配置）を示しました（上り1 290～1 330 nm，下り1 480～1 500 nm）。この配置によれば，XG-PON1とG-PONは，上り下りとも波長が重ならないため，波長分割多重（WDM）によって同一の光ファイバでの共存が可能となります。

なお，IEEEの対称10G-EPONの上り波長は，G.984.5のReducedオプションに準じたギガビットのPONとWDMで共存できることに配慮し，1 260～1 280 nmと規定されたものです。

また，IEEE 10G-EPON同様，高いロスバジェットを実現するための前方誤り訂正符号（FEC）の効率的な利用法について検討が進められています。

G.xgpon.3「XG-PON: TC (Transmission Convergence) 層規定」は，各種のクライアントプロトコルに適應するフレーム構造，上り信号のTDMA制御機能，ONU起動方法，下り信号の暗号化方法などを規定する勧告です。G-PONでは，各種のクライアントプロトコルに適應するためにGEM（G-PON Encapsulation Method）フレームが規定され，これとTDMA制御機能を合わせてPMD層に送り出すためにGTCフレームが利用されていますが，これらをXG-PON用に拡張するための議論が行われています。

G.xgpon.4「XG-PON: OMCI (ONU Management and Control Interface) 規定」は，各種ONU管理情報のMIB，およびこれらの転送の

ためのプロトコル，メッセージ形式を規定する勧告です。G-PON OMCIは，ATMの影響で，固定長（53バイト）の packets フォーマットになっていますが，これを可変長に変更し，より柔軟に管理制御情報の送受が行えるようにすることなどが議論されています。

## まとめ

ここでは，現在のFTTHを支えるギガビットのPONシステムの後継として検討されている10ギガビット級PONシステムの標準化動向を紹介しました。IEEE 10G-EPONとITU-T XG-PONの標準化は，活発なりエゾン文書の交換（図1）のもとに，連携して進められています。IEEE（802.3 WG）からは，10G-EPONの拡張用MAC制御フレームを活用し，ITU-Tで追加機能を検討することを示唆するリエゾン文書も出ています。一方，ITU-T XG-PONでは先行した10G-EPONの物理層規定を可能な範囲で活用する検討がなされています。両者の連携で，より良い標準仕様が完成することが期待されます。

### 参考文献

- (1) <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>
- (2) 技術基礎講座：“GE-PON技術 第1回 PONとは，”NTT技術ジャーナル，Vol.17，No. 8，pp.71-74，2005。
- (3) <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/index.asp>
- (4) <http://www.fsanweb.org/nga.asp>
- (5) 数議：“映像配信網サービスVCAST，”NTT技術ジャーナル，Vol.16，No.5，pp.52-55，2004。