

大久保啓示* 平野幸男**
上村有朋*
平井達也*

10G-EPONシステム技術

10G-EPON System Technologies

Keiji Okubo, Aritomo Uemura, Tatsuya Hirai, Yukio Hirano

要旨

動画共有、高画質映像配信サービスの普及によって、アクセス回線の更なる広帯域化への要求が国内外を問わず、高まりつつある。

三菱電機では、FTTH(Fiber To The Home)を普及させてきたGE-PON(Gigabit Ethernet^(注1)-Passive Optical Network)システムの次世代機として、アクセス帯域を10倍の10Gbpsに広帯域化するとともに、GE-PONシステムを混在収容可能な10G-EPON(Gigabit-Ethernet Passive Optical Network)システムを世界に先駆けて^(注2)開発した。

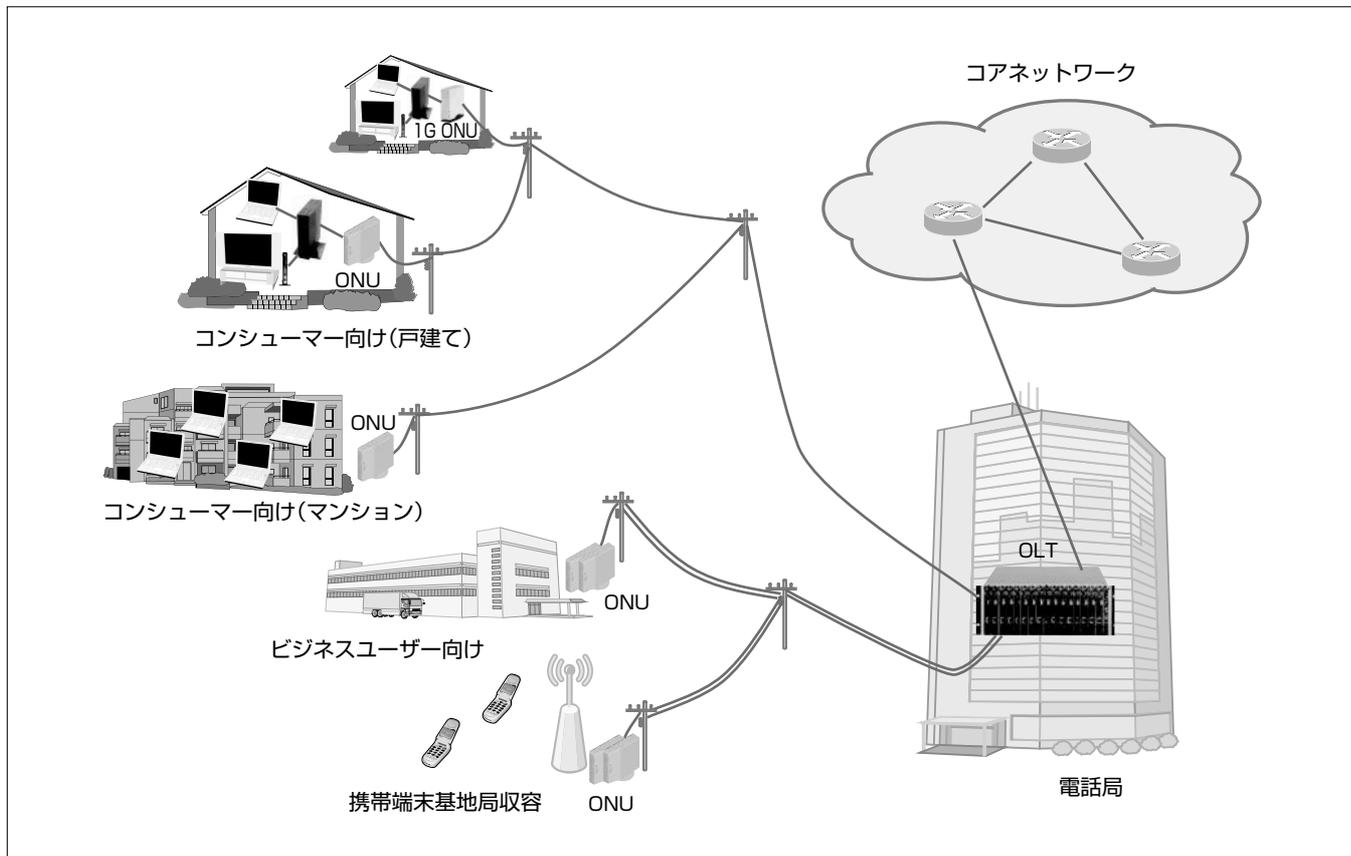
このシステムは、通信事業者局舎内に設置される光加入者線端末局装置(Optical Line Terminal: OLT)とユーザー宅内またはユーザービル構内に設置される光加入者線終端

(注1) Ethernet及びイーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

(注2) 2010年3月25日現在、当社調べ

装置(Optical Network Unit: ONU)で構成され、この特集号の論文“10G-EPON光デバイス技術”で述べられている技術の適用によって、GE-PONシステムの光加入者線終端装置(ONU)の混在収容を可能とする。光加入者線終端局装置は、既存のGE-PONシステムと同サイズで、同数のPON回線を収容でき、監視制御機能の冗長化を実現可能としている。光加入者線終端装置は、低消費電力技術の適用で、実使用を想定したモデルでは、既存のGE-PONシステムと同等以下の低消費電力化を実現している。

本稿では、システムの基本構成と、10G-EPONシステムで新たに開発したコア技術であるPON制御技術、低消費電力技術、冗長化制御技術について述べるとともに、標準化活動及びその動向についても述べる。



10G-EPONシステムの適用例

ブロードバンドアクセス回線の経済的な提供を主目的とし、データ通信に汎用的に使用されるEthernetフレームを効率的かつ経済的に伝送することを特長とする光通信システムで、10Gbpsの広帯域化と、既存GE-PONシステム(GE-PON ONU)の収容を可能としている。また、アクセス回線の広帯域化によって、コンシューマー向けののみならず、ビジネスユーザー向けや携帯端末基地局収容等への適用も考えられる。

1. ま え が き

当社では、FTTHを普及させてきたGE-PON装置の次世代機として、10Gbpsのブロードバンドアクセス回線を経済的に提供可能とする10G-EPONシステムを開発した。

本稿では、まず10G-EPONシステムの基本構成を述べ、次に新たに開発したコア技術であるPON制御技術、低消費電力技術、及び、冗長化制御技術について述べるとともに、標準化活動及びその動向についても述べる。

2. システム構成

2.1 システム構成と特長

このシステムは、通信事業者局舎内に設置される光加入者線端局装置(OLT)とユーザー宅内またはユーザービル構内に設置される光加入者線終端装置(ONU)で構成され、アクセス帯域をGE-PONシステムの10倍の10Gbpsに広帯域化するとともに、GE-PONシステムを混在収容可能としている。OLTは、既存のGE-PONシステムと同サイズで構成され、10Gbps 16ポートのPON回線収容と、監視制御機能の冗長化を実現可能とするとともに、上位ネットワークへのアップリンクに対する集線機能などを拡張可能である。ONUは、低消費電力技術を適用し、実使用を想定したモデルで、既存のGE-PONシステムと同等以下の低消費電力化を実現している。

2.2 主要諸元

主要諸元を、表1に示す。

表1. 主要諸元

項目	諸元
ユニットサイズ	19インチ幅 4U高
スロット構成	インタフェース：16 監視制御：2 機能拡張スロット：2
PON制御	IEEE 802.3av 準拠 IEEE 802.3 2008 準拠
低消費電力化	IEEE P1904.1 準拠 IEEE 802.3az 準拠
監視制御	冗長構成可能 非冗長化でも運用可能 最大128分岐
PON-IF(OLT/ONU)	IEEE 802.3av 10GBASE-PR30 IEEE 802.3av 10GBASE-PRX30 IEEE 802.3 2008 1000GBASE-PR20
SNI(OLT)	10GBASE-SR/LR 1000BASE-T
UNI(ONU)	10GBASE-SR/LR 1000BASE-T
電源電圧	OLT：DC-48V ONU：AC100V

IF：InterFace
SNI：Service Node Interface
UNI：User Network Interface

3. PON制御技術

10G-EPONの技術標準であるIEEE 802.3av⁽¹⁾は、2009年9月に標準化が完了した(図1)。当初はPHY(PHYsical layer)レイヤのみを標準化ターゲットとし、上位のMPCP(MultiPoint media access Control Protocol)レイヤは従来のGE-PONの規格(IEEE 802.3-2008)に準拠することとして標準化検討をスタートしてきたが、伝送技術やシステム要件から、MPCPレイヤにも修正が必要となった⁽²⁾。次に、GE-PONから修正された2点のPON制御技術について述べる。

3.1 ストリームFECの適用に伴う速度調整

10G-EPONでは、送信器の出力と受信器の感度の差であるパワーバジェットを確保するため、PHYレイヤにストリームFEC(Forward Error Correction：前方誤り訂正)機能を不可欠とした。訂正アルゴリズムにはリードソロモン(255, 223)符号を適用する。このストリーミングFEC方式は、図2に示すように、PHYレイヤ内で送信するイーサネットフレームとアイドル(フレームがないことを示すパターン)を合計したデータ量が216バイトとなるたびに、32バイトのパリティを付与して送信する。このため、MPCPレイヤでは、イーサネットフレームの送信速度調整を行う機能を実装することになった。

ストリームFEC適用に際しては、この方式のほかにも、PCSレイヤからMPCPレイヤにフィードバック制御を掛ける案も標準化ワーキンググループで議論されていたが、ロジック回路化した際のフィードバック方式のデメリット(フィードバック応答時間分のバッファを要するなど)や速

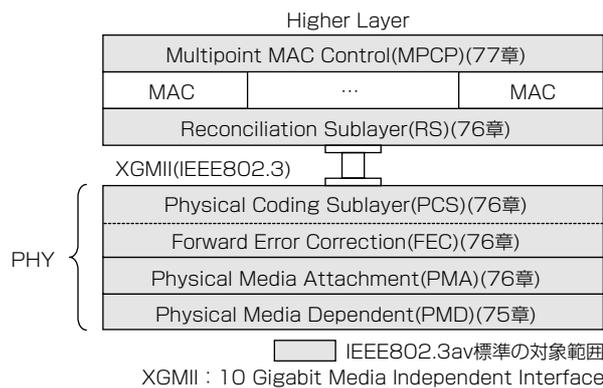


図1. 10G-EPONプロトコルスタックと標準対象範囲

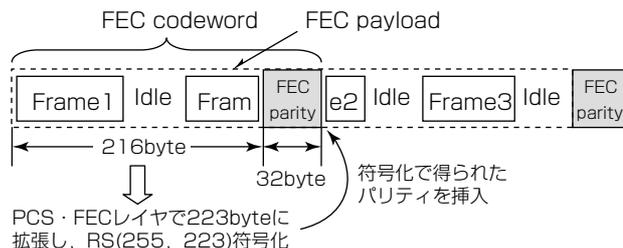


図2. 10G-EPONのFECコードワード構成

度調整方式の実装方法を報告し、MPCPレイヤでの速度調整方式の標準化に貢献した。

3.2 10G対称ONU, 上り1G/下り10G非対称ONU, 1G ONUの混在に対応した登録処理

10G-EPONのOLTでは、上り下り信号とも10Gbpsの対称ONU, 上り1Gbps/下り10Gbpsの非対称ONU, 及び現在サービス中である上り下りとも1GbpsのGE-PON ONUの3種類のONUを混在して収容するシステム要件が生じた。混在収容において、ディスカバリと呼ばれる登録処理の際、登録を希望するONUからの信号が10Gなのか1Gなのかを受信側で識別することが技術的に困難な場合がある。そのため、MACレイヤで、ディスカバリ処理用に用いるロジカルリンク識別子を、10G用と従来の1G用を識別できるように拡張し、さらに、3種類のONUを登録できるタイミング(ディスカバリウィンドウと呼ばれる)を、OLTより任意に指定できるよう、ディスカバリ処理に用いるディスカバリGATEフレームのフォーマットを拡張した(図3)。

4. 低消費電力技術

4.1 低消費電力標準化動向

近年の世界各地での気候変動を背景に、電子機器の低消費電力化に対する機運が高まっている。有線通信機器でも、必要とき以外は消費電力を削減するよう制御することが要求されている。IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)では、イーサネット^(註1)PHYを無通信時に省電力化する方式を2010年にIEEE 802.3az^(註3)(Energy Efficient Ethernet)で標準化した。

また、ONUパワーセーブ制御機能も、2012年の標準化を目指し、現在IEEE P1904.1で議論中である。ONUパワーセーブ制御とは、例えば就寝中や外出中など、ユーザーが実際に通信路を使用していない時間を、ユーザートラフィックがない状況によって判断し、ONUを省電力状態にする制御である。ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)は、IEEEに先行して、各国オペレータ、ベンダー間

でONUパワーセーブについて検討し、要求条件をまとめた⁽⁴⁾。IEEE P1904.1では、ONUの光送信器をパワーダウンさせるDozeモードと、ONUの光送信器と光受信器をパワーダウンさせるSleepモードを定義している。ユーザーが何も通信していない時にはSleepモードに移行し、下りトラフィックは存在するが上りトラフィックがほとんどないIPTV(Internet Protocol Television)の視聴などのときにDozeモードに移行することを想定している(図4)。

4.2 IEEEのONUパワーセーブ制御プロトコル

PONシステムでは、複数のONUの上り信号が衝突しないよう、OLTがONUに対して制御信号(グラント)を発行することによって送信許可時間を指定する。パワーセーブ中にはこの制御信号をやり取りできないが、サービス品質の観点からは、パワーセーブ中にデータトラフィックが発生した場合でも極力迅速にデータ送信できるように、パワーセーブモード中もPONリンクを維持する必要がある。このため、ONUはパワーセーブ状態になっても、定期的に通常状態に戻ってPONリンクを維持する。

ONUとOLTが共にデータトラフィック状態を監視し、特定の条件になったらパワーセーブ開始及び停止制御を行う。パワーセーブの起動には、図5に示すように、OLTから起動する方法と、ONUから起動する方法がある。どちらの方法でも、トラフィック状態に応じてDozeモードとSleepモードを選択する。同様にパワーセーブの停止も、OLTから起動する方法と、ONUから起動する方法がある。

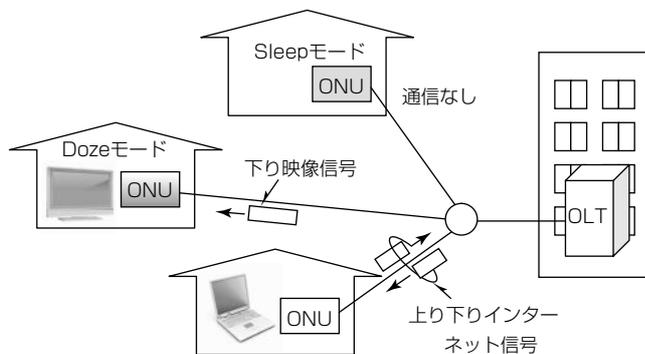


図4. ONUパワーセーブ制御機能概要

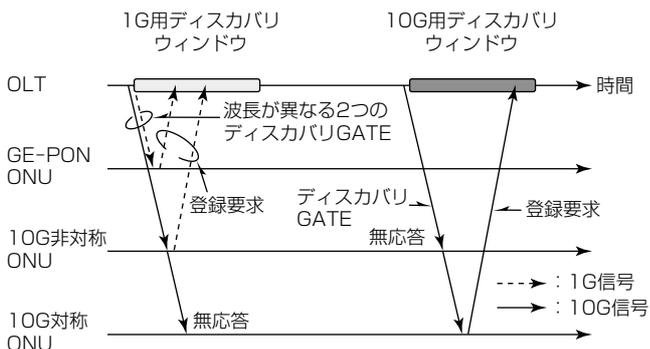


図3. ディスカバリウィンドウ例

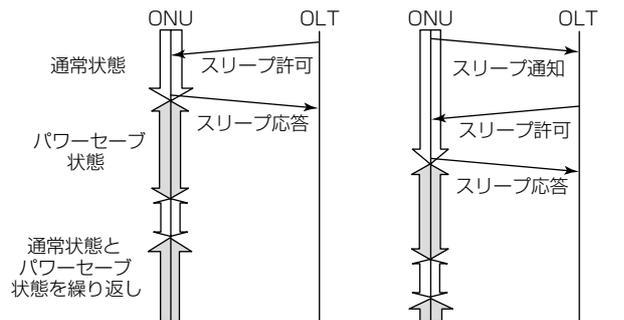


図5. ONUパワーセーブ制御開始シグナリング

表2. 冗長化方式

冗長化方式	ホットスタンバイ	ウォームスタンバイ	コールドスタンバイ
動作	共有メモリなどを用いることで、運用系と予備系を常に同じ状態にしておき、運用系で故障などが発生した場合、予備系が直ちに処理を引き継ぐ。	予備系のOSは起動しておき、運用系で故障などが発生した場合、予備系がアプリケーションを起動して処理を引き継ぐ。	予備系は動作せず、運用系で故障などが発生した場合は、予備系が起動し処理を引き継ぐ。
データ同期	共有メモリなどにより運用系と予備系では状態(データを含む)を絶えず一致させる必要がある。	運用系と予備系間でデータ同期を実施する。	データ同期は行わない。外部からの処理でデータを再構築する必要がある。
切替所要時間、信頼性	切替え所用時間は瞬時。信頼性は高い。	切替え所用時間はアプリケーション起動時間のみ。信頼性は高い。	切替え所用時間は予備系立ち上げ時間+データ再構築時間。信頼性は低い。

4.3 ONUパワーセーブの低消費電力効果

Dozeモードでパワーセーブ中のONUでは、光送信器を停止するだけでなく、トラフィック状況によってはユーザー装置とつながるLAN(Local Area Network)ポート(受信側)をIEEE 802.3azプロトコルによって停止できるケースがある。また、Sleepモードでパワーセーブ中のONUでも同様に、トラフィック状況によっては、光送受信器のほかにも、下りイーサネットフレームバッファメモリやLANポート(双方向)を停止できるケースがある。

IPTV視聴時間の平均を5時間、インターネット接続時間の平均を1時間、残りの18時間は待機状態と仮定したONUで、通常動作時の消費電力を1/2以下に低減できるという検討も行っている。10G-EPON ONUにこのパワーセーブ方式を適用することで、GE-PON ONUと同等程度の消費電力を実現している。

5. 冗長化制御技術

10G-EPON装置に新たに適用する監視制御基板(以下“CONT”という。)の冗長化制御技術について述べる。

CONTの冗長化には、表2に示す冗長化方式がある。ホットスタンバイ方式では、運用系と予備系の状態を絶えず一致させる点がソフトウェア処理上高負荷となり、より高性能なCPU(Central Processing Unit)を搭載する必要があるため、このシステムではウォームスタンバイ方式を採用した。この方式では、予備系CONTは常にOS(Operation System)を起動させておき、運用系CONTに故障等が発生した場合、予備系CONTがアプリケーションを起動して処理を引き継ぐことで、常時1枚のCONTが運用系として動作する。CONTは電源投入時、どちらか一方を運用系として起動させる。

運用系CONTは、起動後に装置監視及び外部通信制御などを開始し、系間通信専用のLANを用いて、予備系CONTとデータの同期を行いながら動作させる。

冗長切替えは、運用系CONTの故障、抜去、保守による切替え指示を受けた場合に行われ、故障発生や保守操作などで運用系CONTの動作が停止するような場合、すみやかに予備系のCONTを運用系に切り換え、装置の監視制御を

維持させる。また、切替えの際、主信号の導通に影響がないようにする。

外部通信制御については、IPアドレスなどの引き継ぎを行うことで、CONTが切り換わっても、継続して処理を可能とする。ただし、切替え要因の発生から切替え後、運用状態に遷移するまでは、外部通信は受け付けない。冗長構成時における切替え後の切り戻し処理については、特別なハードウェアは準備せず、ソフトウェア処理で実現している。

6. むすび

GE-PONシステムの次世代機として開発した10G-EPONシステムでは、本稿で述べた新たなコア技術によって、アクセス帯域の広帯域化及び既存GE-PONシステムの混在収容を実現し、さらに、既存システムと同等以下の低消費電力化と同等以上の高信頼性も実現している。今後は、上位ネットワークへのアップリンクに対する集線機能などの拡張機能を開発する予定である。

参考文献

- (1) IEEE 802.3av-2009: Part 3, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks (2009)
- (2) 小崎成治: 1G混在に対応した10G-PON MACプロトコル, 電子情報通信学会2009年総合大会 チュートリアルセッションBT-5-5 (2009)
- (3) IEEE 802.3az: Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control parameters, Physical Layers and management parameters for Energy-Efficient Ethernet (2010)
- (4) ITU-T G.Supp 45-Means and impact of GPON power saving. White Paper (2009)