

次世代光アクセスシステムの開発

藤田 典一 高橋 明宏 小池 武史
鈴木 祥也 大西 一三

国内のブロードバンドサービスの利用人口は、Fiber To The Home(以下、FTTH)サービスを中心に順調な伸びを示しており、2,093万を超えた¹⁾。トラフィック量も、Internet Protocol Televisionのような映像サービスの拡大と、近年のスマートフォンの急増などにより、ダウンロード方向のトラフィックは前年度比22.6%増²⁾と大幅に増加しており、今後光アクセスラインに対する広帯域化の要求が高まると推測される。

また、高品位な精細画像伝送が必要な遠隔医療・診断や、リアルタイム性が要求されるテレビ会議システムなど、ブロードバンドサービスの多様化も、広帯域化の要求を加速する要因となると考えられる。

一方、京都議定書締結以降、地球温暖化防止・低炭素社会の実現に向けた取り組みが盛んに行われており、2009年6月に社団法人電気通信事業者協会他、全5団体で構成する「ICT分野におけるエコロジーガイドライン協議会」が発足し、自主規格として「ICT分野におけるエコロジーガイドライン」³⁾を発表した。ガイドラインでは、消費電力量により5段階の評価基準が設けられている。ネットワーク全体の中で数量が膨大な宅内装置(Optical Network Unit、以下、ONU)は、全体の約6割の電力を消費しているとされ⁴⁾、上記ガイドラインに沿った省電力化が大いに期待されている。

さらに、デジタルデバイド解消のため、ルーラルエリアをはじめとする光未整備地区への経済的な光アクセスネットワークの導入が求められている。また、中継施設をバイパスして設備維持管理費の削減や省電力効果も期待できることから光アクセスの長距離伝送技術も求められている。長距離伝送技術は、都市部では集合住宅などユーザー密集エリアでの効率的なユーザー収容のための多分岐の実現にも寄与する。

一方、国際標準化の場では、10Gbpsクラスの光アクセスシステムとして、IEEEにおいて、2009年9月にIEEE802.3av(10G-EPON)を、ITU-T/FSANでは2010年6月にXG-PON1(G.987)の標準化が完了した。ITU-Tでは、必要な全レイヤを規定するが、IEEE802.3av/802.3ah(GE-PON)では、PHYとMACのみの規定のためEPONシス

テムレベルではキャリアまたはベンダの独自仕様となっていた。そこで2009年にIEEEにおいてシステムレベルおよびネットワークレベルの標準化およびIEEE802.3で規定していない部分の標準化を行うP1904.1(SIEPON)が発足した。2011年には、適合性試験規定(P1904.1/Conformance)が発足し、現在、P1904.1(SIEPON)は2013年2月、適合性試験規定は2013年12月の標準化完了を目指して活動中である。

このような背景を踏まえ、我々はホームネットワークを含めた光アクセスネットワーク全体の省電力化、長延化、広帯域化などに積極的に取り組んでいる。

光アクセスの省電力化

(1) 次期ONU開発における省電力化

GE-PON ONUの省電力化へ向けて、新たに開発した次期ONUの省電力化技術を紹介する。次期ONUは現行品と同じ機能を具備したまま、ハードウェアベースで省電力化することを目標にした。この開発を行うにあたり取り組んだ内容は、

1. 主要LSI/ICの微細プロセス化
 2. 高速シリアルインタフェース回路の最適化
 3. 電源部の効率化
- の3点である。

1の「主要LSI/ICの微細プロセス化」は、自社開発したPON-LSIとUNI側の物理レイヤ終端を行うPHY-ICをそれぞれ微細プロセスにし、特にPON-LSIは、後述する省電力規格に準拠したものを新たに開発し、今後の更なる省電力化要求にも柔軟に応えられる構成とした。2の「高速シリアルインタフェース回路の最適化」は光終端部とPON-IFのMACレイヤ処理を行うPON-LSIとの間の高速シリアルインタフェースの回路構成をより省電力な方式に変更した。3の「電源部の効率化」はACアダプタおよびONU内部で各電圧を生成するための電源回路をより高効率となるように最適化した(図1)。

以上の3つの取り組みにより、消費電力は現行品比、約

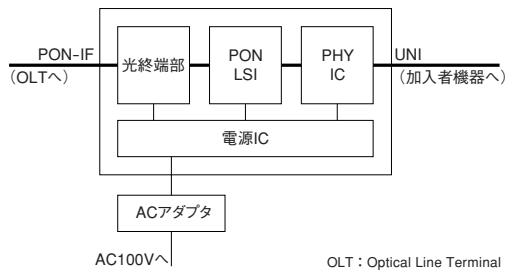


図1 GE-PON ONU ブロック図

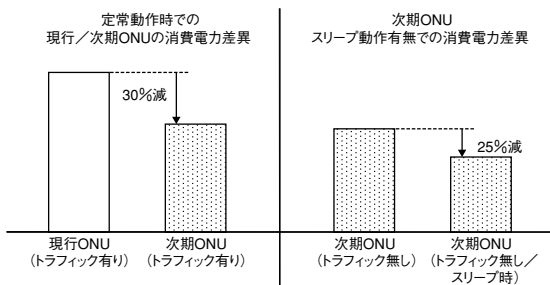


図2 GE-PON ONUの消費電力推移

30%低減することができた(図2)。また、「ICT分野におけるエコロジーガイドライン(第2版)」においてGE-PON ONUの評価基準で最高ランクの星5つを達成することができた。2011年現在のFTTH加入者の機器が現行ONU相当から今回開発した次期ONUに置き換わった場合、1年間で約9万トンのCO₂が削減でき、これは約650万本の本の木が吸収できるCO₂の量に相当する⁵⁾。

また、今回開発したONUはUniversal Serial Bus(以下、USB)給電能力の範囲内の消費電力を実現しており、例えばバッテリー駆動のノートパソコンからのUSB給電で動作するONUを提供すれば、災害発生時・計画停電時などにインターネットへのアクセス手段が確保され、安否確認など必要な情報の入手が可能となる。

(2) スリープ機能の開発による省電力化

前項のデバイス・回路レベルの省電力化に加え、システムレベルでのスリープ機能の導入による、更なる省電力化への取り組みを紹介する。前述した次期ONUのファームウェア変更により各種スリープ機能に対応可能である。

①UNI側のスリープ動作による省電力

UNI側のスリープ機能として、IEEE 802.3azに準拠したPHY ICをPON-LSIからLPI(Low Power Idle)と呼ばれる信号で、トラフィック状況に応じてスリープ/スリープ解除を制御することにより省電力化を実現した。

②PON側のスリープ動作による省電力

前述したIEEE P1904.1(SIEPON)の中で省電力機能に

ついても議論されており、トラフィック無しの際にOLT-ONUが連携してスリープモードに遷移し、ONU側はスリープ可能箇所のPOWER OFF/ONを周期的(図3のT1、T2)に繰り返すことで省電力化を実現する。ONU側のスリープ箇所としては送信側のみスリープさせるTxモード、送受信共にスリープさせるTRxモードが規定されている。図3にONUの動作概要(例)を示す。我々はIEEE P1904.1(SIEPON)Draft2.0に準拠したスリープ機能を開発し、10G-EPON OLTと10G-EPON ONU、GE-PON ONUが混在した系で省電力化を実現した。

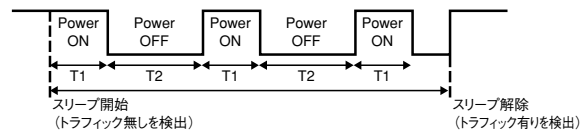


図3 IEEE P1904.1におけるスリープ動作概要(例)

また、上記標準化準拠以外のONU単独で実現可能なスリープ機能も開発している。これら各種スリープ動作により更なる省電力化の実現が可能となり、トラフィック無し時の消費電力を約25%低減することができた(図2)。今後は省電力機能を動作させた場合のレイテンシなど、サービスへの影響を考慮した各種詳細パラメータにおける省電力動作を確認していく予定である。

光エリア拡大へ向けた施策

(1) 長延化の課題

ルーラルエリアをはじめとする光未整備地区の光化実現には、GE-PONのPON区間(OLT~ONU間)において、光線路損失が大きくなることやFabry-perotレーザダイオードの波長分散の影響が無視できなくなる等の課題があった。

(2) GE-PON高性能光送受信器の開発

前述の課題を解決するため、送信器の送信出力と受信器の受光感度の差で定義される「光パワーバジェット」が大きく、かつ波長分散の影響が少ない高性能な光送受信器を新規に開発したので紹介する。

高性能光送受信器を実現するために、

1. 光送信器：非球面レンズによる結合効率向上
 2. 光送信器：Distributed Feedbackレーザダイオードによる高出力化
 3. 光受信器：高感度が得られるアバランシェ・フォトダイオード(APD)による高受信感度化
- の3点の技術を新規に適用した。

これによりPON区間での光パワーバジェットを拡大し

GE-PONシステムで20km以上のエリアへ光サービスの提供を可能にした。

(3) 次世代アクセスシステムにおける長延化

IEEE802.3avで規定された波長のうち、OLTの10G下り送信波長は、1577nm帯となっており波長分散の影響を受けやすいため長距離伝送が難しくなる。波長分散を補償する方法としては、分散補償ファイバを用いる方法や電気分散補償(以下、EDC)方式を用いる方法等がある。

PONシステムに適用する場合は、設置されるONUの距離に応じて分散補償ファイバを敷設するのは現実的ではないため、距離依存をICレベルで補償するEDCが最適である。

試作したMaximum Likelihood Sequence Estimation (MLSE)ベースのEDC機能をOLT-ONU間の100kmファイバ通過後に設置し、下り100km伝送を確認できたので、今後は市場要求に応じてONUへEDC機能の搭載を検討していく予定である。

光アクセスの広帯域化

(1) 10G-EPONシステムの開発

トラフィックの増加に対する広帯域化に向けて、我々はGEPONの後継システムとして、IEEE802.3avに準拠した10G-EPONシステムを開発したので紹介する。

10G-EPONシステムはOLTとONUで構成され、OLT配下には10G-EPON ONUとGE-PON ONUの共存が可能である(図4)。PON区間の下り信号は10Gに1577nm、1Gに1490nmの波長を使用した波長分割多重(WDM)方式を、上り信号は10Gに1270nm、1Gに1310nmの同波長帯を使用した時間分割多重アクセス(TDMA)方式を使用している。

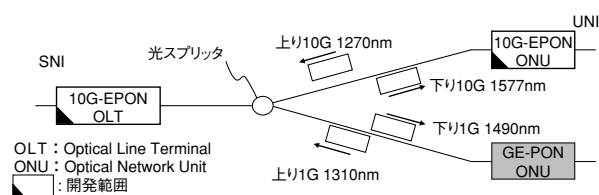


図4 10G-EPONシステム構成例

(2) 10G-EPONシステムの特徴

本システムのOLTとONUは、以下の①～③の特徴を有する。本システムのブロック図を図5と図6に示す。

① OLTのDual Rateのバースト受信性能

本システムのOLTは、10G-EPON ONUとGE-PON ONUが同一Optical Distribution Network(ODN)内で共存する時においても、IEEE802.3av PR30を満たすこと

が必要である。そこで、Dual Rate受信が可能なバースト Transimpedance Amplifier(TIA)内蔵の高感度APD-TIAを搭載した光トランシーバ(OLT Tx/Rx)を採用し、10GbpsバーストCDR内蔵のバーストSerDesと組み合わせることで必要なロス budgetsの確保を実現した。

② 10G-EPON ONU、GE-PON ONUの共存動作

10G-EPON、GE-PON ONUを共存可能にし、円滑なマイグレーションに寄与するため、Dynamic Bandwidth Allocation(DBA)アルゴリズムを独自方式で開発した。

ユーザー宅にて接続された複数のONUを検出し、OLTに接続させるMulti-Point Control Protocol機能及びDBA機能は、パラメータ/アルゴリズム変更への柔軟性を有するようソフトウェア処理とした。

③ ONUの複数論理リンク収容

本システムのONUは、1台に複数の論理リンクID(LLID)を収容しており、各LLIDを複数のユーザーに割り当てて使用することが可能である。このように、複数のユーザーで1台のONUを共有することで設備費用の削減に寄与することができる。

また、単一のユーザーに複数のサービスを提供することも可能で、柔軟なサービスの提供にも対応することができる。

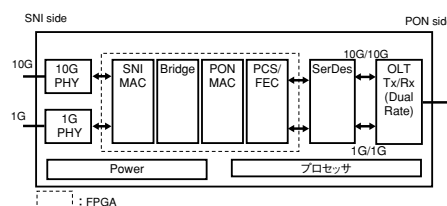


図5 10G-EPON OLTブロック図

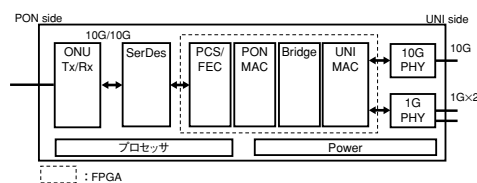


図6 10G-EPON ONUブロック図

光アクセスとホームネットワークへの取り組み

(1) ホームネットワークの機器構成

ホームネットワークは、PCのみならずAV家電・生活家電・住設機器・センサといった様々なノンPC機器を家庭内でネットワーク接続するものである。このホームネットワークをバックボーンネットワークと接続し、宅内機器とバックボーンネットワークが連携することで、ホー

ムエネルギーマネジメント、メディアシェアリング、宅内機器リモートサポート、ホームセキュリティ、医療遠隔指導等の新たなICTサービスを家庭で享受する試みがなされている。このようなホームICTサービスを利用する際の機器構成を図7に示す。

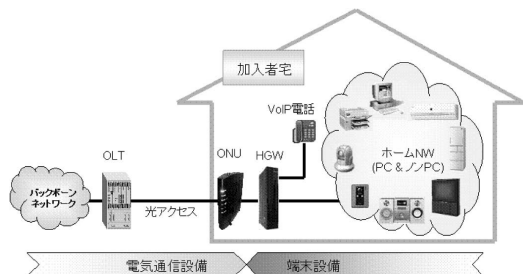


図7 ホームICTサービス機器構成

ホームネットワークをバックボーンネットワークに接続するには、その境界にONUとHome Gateway(以下、HGW)が必要になる。

ONUとHGWは、PCやAV家電等とは異なりユーザーが直接操作する必要がない機器なので、潜在ニーズとして小型化や一体化が求められる一方、新機能対応により装置進化の速いHGWと、それに比べて装置進化スピードの遅いONUは、分離して各部独立に交換できることが望ましい。

(2) 小型モジュール型ONUの試作

ONUとHGWを物理的に分離しつつ、かつ、小型化と一体化を同時に実現する方策の一つとして、ONUを小型モジュール形状で実現し、HGWに設けた実装スロットに差し込む形で一体化して運用する装置構成が考えられる。

この装置構成では、ONUの小型化が鍵になるため、実現性確認としてGE-PONの超小型モジュールONUの試作を行った。

実装条件および電気インタフェース条件は、汎用性を考慮し、スロットイン型モジュールの標準規格の一つであるGBIC規格に従った。

試作機のサイズは、30.5[W]×10.0[H]×65.3[D]mmで、従来型ONUとの容積比は約1/35である(写真1)。

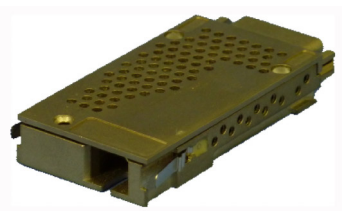


写真1 GBIC型ONU試作機

小型化実現に当たって、従来の単体型ONUと異なる大きなポイントは、次の3点である。

1. 小型BGAパッケージLSIを採用し搭載面積を縮小
2. 部品内蔵基板を採用し基板面積を縮小
3. 光モジュールのBOSA on Board化による小型化

ホームネットワークを組まない場合においても、例えばIP-TVのような機器に、本ONUを直接スロットインすれば、室内インテリアとして邪魔にならない設置形態でサービス提供することが可能になる。

(3) 今後の取り組み

試作機はGBIC規格の適用であったが、今後は、最新の技術動向を取り入れて、より汎用性の高いモジュール型ONUを検討していく予定である。

また、従来の単体型ONUについても、加入者宅内の様々な設置形態や運用形態に対応するため、Wi-Fi、G.hn、VoIP等の多様なインタフェース・機能を取り入れていく予定である。 ◆◆

参考文献

- 1) ブロードバンドサービス等の契約数の推移(総務省)
http://www.soumu.go.jp/main_content/000130400.pdf
- 2) 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算(総務省)
http://www.soumu.go.jp/main_content/000130485.pdf
- 3) ICT分野におけるエコロジーガイドライン 第2版(社団法人電気通信事業者協会)
http://www.tca.or.jp/information/pdf/ecoguideline/guideline_2.pdf
- 4) Power Saving Adhoc Report (Sep. 2008 Akihiro OTAKA)
http://iee802.org/3/av/public/2008_09/3av_0809_otaka_1.pdf
- 5) 「地球温暖化防止のための緑の吸収源対策」(環境省/林野庁)

筆者紹介

- 藤田典一：Yoshikazu Fujita. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発2部
鈴木祥也：Akiya Suzuki. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発2部
高橋明宏：Akihiro Takahashi. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発1部
小池武史：Takeshi Koike. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発1部
大西一三：Kazumi Onishi. 株式会社オー・エフ・ネットワークス 開発1部