



1G-EPONの更新と運用コストの低減を 狙った10G-EPON局側装置

10G-EPON Optical Line Terminal for Replacing 1G-EPON Systems and Reducing Operational Expenditures

清水 浩行*
Hiroyuki Shimizu

船田 知之
Tomoyuki Funada

大間 稔
Minoru Daima

高橋 博之
Hiroyuki Takahashi

吉谷 直樹
Naoki Yoshitani

村田 拓史
Hiroshi Murata

当社は、光ファイバを用いたFTTHブロードバンドサービスを国内外に普及させるため、PON (Passive Optical Network) 方式を採用した機器の開発を行ってきた。ネットワーク上に流れるトラフィックの量は年々増加しており、特に高品質の映像配信サービスに対応するために、ブロードバンドサービスのさらなる高速化が要求されている。そこで当社は、現行方式の1G-EPON*1対比で約10倍の伝送容量を持つ10G-EPON対応の局側装置 (OLT: Optical Line Terminal) を製品化した。本書では、既存の1G-EPON用の線路設備や宅内装置を使いつつ、新たに10G-EPON用の宅内装置 (ONU: Optical Network Unit) を使用することで、4K/8Kといった高帯域な映像サービスにも対応できる10G-EPONシステムについて記述する。また、10G-EPON OLTを使うことによる設置スペースの縮小や、消費電力の低減など、運用コストの削減などの効果についても記述する。

We have been developing communication equipment based on passive optical network (PON) technology to promote the widespread use of fiber-to-the-home (FTTH) broadband services domestically and globally. To accommodate the data traffic that has been increasing due to high-quality video distribution, we have developed a 10 Gigabit Ethernet PON (10G-EPON) optical line terminal (OLT) that supports nearly ten times higher line-speed transmission than the current Gigabit Ethernet PON (1G-EPON). This paper presents the 10G-EPON OLT that supports upcoming features of broadband video services, such as 4K and 8K resolutions, using existing optical distribution networks and optical network units (ONU) for 1G-EPON. It also reports on the lower size and power consumption of the 10G-EPON OLT, which will reduce operational expenditures.

キーワード：FTTH、10G-EPON、1G-EPON、Optical Internet Access

1. 緒言

我が国のブロードバンドサービス契約者の総ダウンロードトラフィックは、スマートフォンやタブレットによる映像サービス等の普及により、前年比約50%の割合で増大している⁽¹⁾。また、本格的なIoT社会の到来により、多種多様な機器が大量にネットワークに接続されるようになり、通信量はますます増大を続けると予想されている。

固定系ブロードバンドサービスでは、2,900万回線 (2016年12月末時点) がアクセス回線としてFTTHを利用しており⁽²⁾、その多くで最大帯域が1Gbit/sの1G-EPON方式が使われている。当社は、2005年に1G-EPON方式の通信システムを実用化して以来、国内外の通信事業者に局側装置 (OLT) および宅内装置 (ONU) を販売してきた。

昨今の固定系ブロードバンドサービスでは、データ系サービス (インターネット) に加え、通信品質の異なる音声系サービス (電話)、映像系サービス (テレビ放送やVideo on Demand)、ビジネス向けサービスなどが定期的に提供されており、社会インフラとしての役割が大きくなってきた。特に、映像系サービスについては、高精細映像技術の

進歩による2K映像から4K/8K映像への変化に伴い、映像データの高帯域化が飛躍的に進んでいる。加えて、多チャネル放送サービスへの対応も必要であるため、多量の映像データを安定的に配信可能で、将来のサービス拡張にも対応可能なアクセス回線として、現行の1G-EPON方式より約10倍高速な10G-EPON方式への期待が高まってきた。

当社は、2006年度より10G-EPONの要素技術や機器開発に取り組みできたが、このたび10G-EPON OLTを製品化したので、以下に報告する。

2. OLTに対する要求条件とシステム構造

2-1 要求条件

新しいOLTの製品化にあたり、以下の要求条件を踏まえて開発を行った。

(1) アクセス回線の高速化

4K映像と8K映像の配信には、それぞれ約30Mbit/sと約100Mbit/sの帯域が必要と試算されている。これらの高精細映像の多チャネル配信に対応するために、アクセス回線

速度が現行方式の約10倍で、現行の1G-EPONと親和性の高い10G-EPONを採用した。

(2) 高速アクセス回線への移行容易性

PONシステムでは、局側に設置したOLTと加入者宅に設置したONUの間を光ファイバアクセス網で結んでいる。現行の1G-EPON向けに設置されたアクセス網とは別に、10G-EPON向けの新しいアクセス網を構築することは、事業者の投資負担が大きく、円滑な高速アクセス網への移行の妨げとなることが懸念される。また、高速アクセス回線への移行の過程では、現行アクセス回線も引き続き提供されると想定される。そのため、10G-EPON OLTでは、既存の1G-EPON向けのアクセス網を流用可能とし、かつ、同一アクセス回線上で1G-EPON向けと10G-EPON向けのONUを混在して収容可能とした。

(3) 運用コストの低減

ブロードバンドサービスの進展に伴い、通信装置や通信網も社会インフラの一部としての重要性が高まっているため、運用コスト低減に対する社会の要請にも対応していく必要がある。そのため、10G-EPON OLTでは、

- (a) 装置の種類の削減
- (b) 装置の設置台数の低減（装置1台あたりの収容加入者数の増加）
- (c) 設置スペースの縮小
- (d) 消費電力の低減

といった運用コストの低減を目指して開発した。

(4) 装置の信頼性向上

運用コストの低減のため、装置の設置台数を低減し、装置1台あたりの収容加入者数を増やすと、障害時に影響が及び加入者も多くなる。10G-EPON OLTでは、装置の信頼性を向上させるため、障害発生時にOLTの一部機能が停止した場合でも、加入者サービスの継続が可能となるように冗長性を確保した。また、OLTのオペレータに対し、冗長機能の管理操作を行うための汎用的なユーザインタフェースを提供し、運用時における利便性にも配慮した。

2-2 システム構成

10G-EPON OLTでは、回線収容を行う部分には、1G-EPONと10G-EPONの共存が可能な光インタフェースを採用した。この光インタフェースは、システム稼働後の増設や交換などに柔軟に対応できるように、活線挿抜対応（ホットプラグブル）とした。また、シンプルなネットワーク構成を実現し、運用コストの低減（省スペース、省電力）を図るため、複数のPONアクセス回線を束ねる集線機能を含んだ構成とした。さらに、消費電力を抑えた部品を採用し、高密度実装にも対応した。

集線機能部を含むことで、集線機能部や、本装置と上位網にある装置とをつなぐアップリンクポートに収容可能な加入者数が多くなるため、集線機能部やアップリンクポートの冗長機能に対応し、耐障害性を確保した。

各機能部の設定や、障害管理、冗長機能の管理などを実

現するにあたっては、当社の光ネットワーク機器のソフトウェア共通プラットフォームとして実績のあるsOFIA (Sumitomo electric Optical Fiber access system Integration Architecture) を採用し、開発の効率化と、品質面の向上を図った⁽³⁾。

3. 10G-EPONの適用効果

3-1 PON区間の10Gbit/s化

IEEE 802.3標準⁽⁴⁾では、先行して普及している1G-EPONと新たに導入される10G-EPONの混在運用が考慮され、**図1**に示す波長配置が決められた。下り（OLTからONUの方向）は1G-EPONと10G-EPONの波長多重（WDM^{*2}）、上りは1G-EPONと10G-EPONの時分割多重（TDM^{*3}）とすることで、混在運用可能な仕様となっている（**図2**）。また、1G-EPONの上り波長を10G-EPON上り波長と重ならないように運用仕様を選択した場合（例えば1G-EPONの上り波長を1290nm～1330nmに配置した場合）は、1G-EPON専用システムと10G-EPON専用システムをWDMで共存させ、それぞれ独立に運用することが可能である。

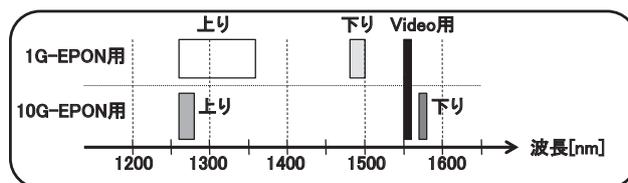


図1 EPONの波長配置

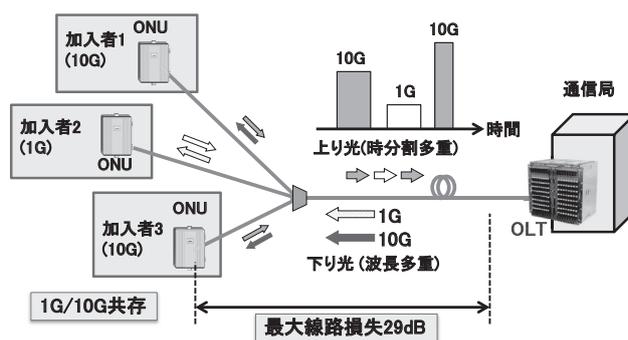


図2 10G-EPONシステム構成

本装置のPON光インタフェースは、IEEE802.3で規格化され、最大32分岐かつ20kmの線路を想定した最大線路損失29dBに対応した1000BASE-PX30、および、10GBASE-PR30をサポートする（表1）。

表1 PON光インタフェース仕様

パラメータ	下り		上り		Unit	
	PR30	PX30	PR30	PX30		
ラインレート	10.3125	1.25	10.3125	1.25	GBd	
波長	1575~1580	1480~1500	1260~1280	1260~1360	nm	
最大距離	≥20	≥20	≥20	≥20	km	
最大線路挿入損失	29	29	29	29	dB	
Tx	平均光出力パワー	2~5 *	3~7 **	4~9 **	0.62~5.62 **	dBm
	消光比	≥6	≥6	≥6	≥6	dB
	TDP	≤1.5	≤1.0	≤3.0	≤1.4	dB
Rx	ビット誤り率	≤10 ⁻³	≤10 ⁻¹²	≤10 ⁻³	≤10 ⁻¹²	-
	平均光受信パワー	-10~-28.5	-8~-27	-6~-28	-9.38~-29.78	dBm

*消光比9dB **消光比6dB

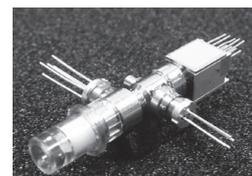
1G-EPON ONUと10G-EPON ONUを同一のOLTを使って混在收容する場合、OLTのMulti-Point Control Protocol (MPCP^{※4}) が上りTDM制御を担い、各ONUの送信タイミングを管理する。MPCPと連携し、各ONUからの上り信号到着時間に合わせて、受信器の動作帯域を1G-EPON用、または、10G-EPON用のいずれかに切り替えるレートセレクト機能を実装したことで、動作帯域毎に受信器の最適調整が可能となり、1G-EPON ONUと10G-EPON ONUの混在下でも高受信感度を実現した。

また、PONシステムに接続された新たなONUは、OLTのMPCPによって自動的に発見され、登録される。これをディスカバリプロセスと呼ぶ。ディスカバリプロセスにおいても上りTDM制御が必要となるが、1G-EPON ONUに対するディスカバリプロセスと、10G-EPON ONUに対するディスカバリプロセスを個別の時間帯に行うことで、各ディスカバリ期間において受信器の動作帯域を最適に設定することが可能となり、1G-EPON ONUと10G-EPON ONUが混在した状況でのディスカバリプロセスにおいても、高受信感度を実現した。

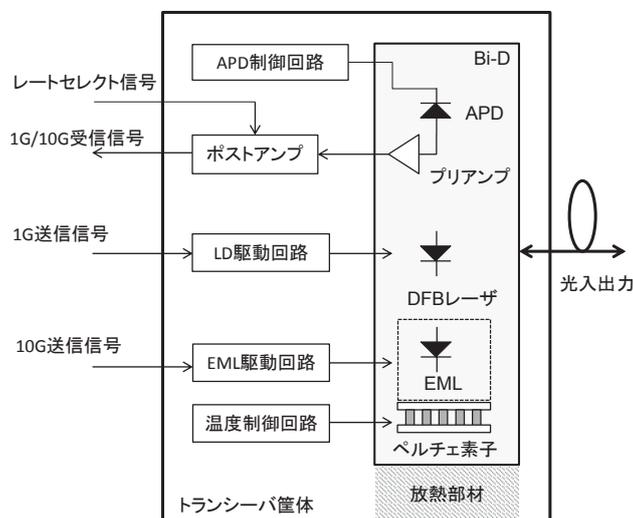
PON光インタフェースは、システム稼働後の増設や交換など、柔軟に運用するためのホットプラグ対応に対する要求が強い。本装置では、XFP (10Gbit/s Small Form Factor Pluggable)⁽⁵⁾ と呼ばれる業界標準サイズの光トランシーバを開発した⁽⁶⁾。

本装置で使用する光トランシーバは、1つのトランシーバで10G-EPONと1G-EPONの両方の送受信をサポートする必要があり、小型化が課題であった。送信側は1G-EPONの下り信号である1490nmの1Gbit/s信号光と、1577nmの10Gbit/s下り信号光をWDMで送信する。受信側は、1G-EPON ONUからの1310nmの1Gbit/s信号光と10G-EPON ONUからの1270nmの10Gbit/s信号光が時分割多重されたバースト信号光を受信する。10G-EPON用に新規開発したトライポートの一心双方向デバイス (Bi-D: Bi-Directional optical device) を用いてトランシーバの小

型化を実現した。図3 (a) にBi-Dの外観を、図3 (b) に光トランシーバのブロック図を示す。本構成の光トランシーバは、トランシーバ内に收容するBi-Dの放熱方法を工夫することで、1Gbit/sと10Gbit/sの高出力送信器を有しつつ、ケース温度-30~80°Cの広温度範囲で動作し、かつ、XFP仕様で規定されている標準的な消費電力クラス3 (3.5W以下) を満足する低消費電力を実現した。図4に、典型的なサンプルにおける消費電力のケース温度依存性を示す。



(a)



(b)

図3 (a) Bi-Dの外観
(b) OLT用光トランシーバのブロック構成

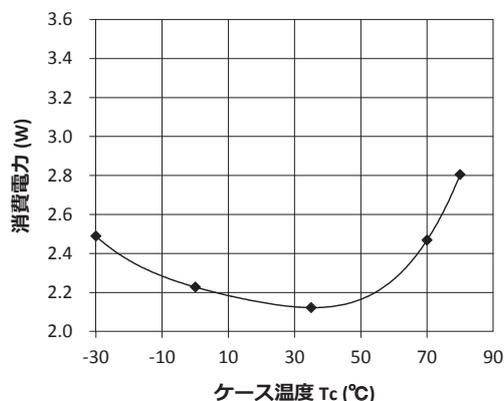


図4 トランシーバの消費電力

3-2 運用コストの低減

運用コスト低減に対する社会要請に応える取り組みについて述べる。10G-EPON OLTでは、従来は複数の装置に分かれていた回線收容機能と集線機能を統合することで、加入者あたりの省スペース化と省電力化を実現した。

(1) 省スペース

装置内の使用部品の小型化を積極的に進め、レイアウトを工夫し集積度を向上させる等の試みにより、当社の1G-EPON OLTと比較して、1加入者に対する装置の必要体積を3分の1以下とした(表2)。加えて、集線機能をOLT装置内に統合したことで、集線機能用の装置スペースも加味すると、さらなる省スペースを実現した。なお、1G-EPON OLTと比べて1台あたりの收容加入者数は大きく増加した。

(2) 省電力

10G-EPON装置では集積度を向上させた半導体を積極的に採用し、使用電源の効率を向上させる等の試みを行った。加えて、集線機能をOLT装置内に統合したことで、同じ收容加入者数で比較した場合、1G-EPON OLTと比較して、1加入者に対する装置の消費電力は6割程度となった(表2)。なお、消費電力の見積もりにあたっては、文献(7)を参考にした。

表2 1G-EPON/10G-EPON OLTの比較(比較値)

	1G-EPON	10G-EPON
集線機能	外部に設置	内蔵
加入者あたりの体積	1	0.28
加入者あたりの消費電力	1	0.63

3-3 装置の信頼性向上

多くの加入者が收容される10G-EPON OLTでは、集線機能部全体に影響が及び故障発生や、集線機能部のファームウェア更新等の保守作業時においても、加入者サービスを継続可能とする構造が必要となる。そのため、集線機能部を二重化し、定常時には双方の集線機能部を動作させて收容される加入者のトラフィックを負荷分散する構成で中継させ、障害などにより一方の集線機能部が使用できなくなった場合には、他方へ機能を縮退させ、收容される全加入者のトラフィックを継続して中継させることができるようにした(図5)。保守コマンドを使用して集線機能部を強制的に縮退させる、あるいは、復旧させることも可能なため、ソフトウェア更新などの保守作業がサービスを停止させることなく実施可能となり、利便性も向上した。

また、集線機能部と上位ネットワーク装置間の接続においては、アップリンクポートのLink Aggregation (LAG^{*5})による接続を可能とした。各集線機能部が持つアップリンクポートを組み合わせることで、一つのポートが故障や光ケーブルの交換等の保守作業によって通信不

可となった場合でも、別のポートに通信を縮退させ、通信継続が可能な構成とした。アップリンクポートについても保守コマンドにより強制的な縮退や復旧が可能であり、保守作業時の利便性も向上した。

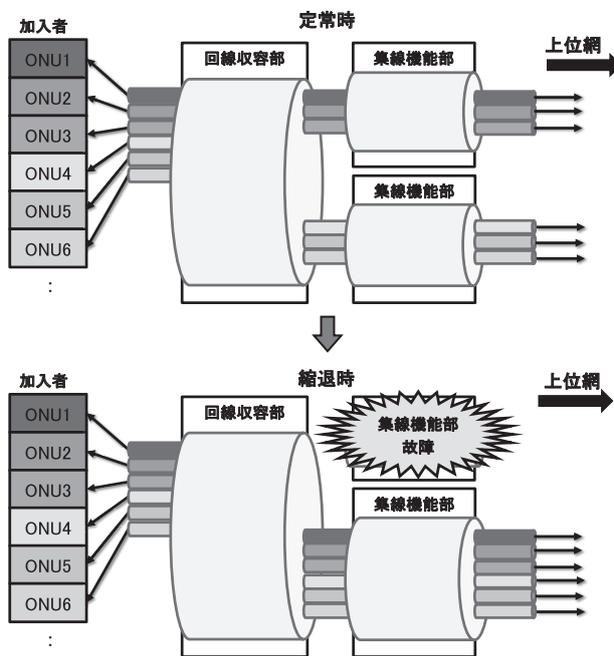


図5 集線機能部の縮退動作

集線機能部や、LAGを使ったアップリンクポートの縮退や復旧は、汎用的なユーザインタフェースを用いて操作できる。この機能は、当社の他の光ネットワーク製品と共通で使用され、豊富な運用実績のあるソフトウェアプラットフォームであるsOFIA上で実現されている。sOFIAは製品毎に異なるハードウェアの差異を吸収し、さまざまな機能に対して共通化されたインタフェースや機能を提供する。その結果、当社のこれまでの開発で得られた資産を活かした開発が可能となり、大規模ソフトウェア開発におけるソフトウェアの品質低下リスクを抑えて信頼性を確保した。

4. 結 言

今回、10G-EPONに対応したOLTの開発を行った。既存の1G-EPONとの互換性を確保したうえで、集線機能を集積することで、省スペース化と省電力化を実現した。また、集線機能部とアップリンクポートの冗長化による耐障害性の向上と、共通プラットフォームの採用による信頼性の向上を実現した。

10G-EPONを使ったアクセス回線の高速化により、高精細画質の映像中継や、高帯域を前提とする新しいサービス

の展開が可能となり、国内外でのネットワークサービスの高速化や多様化への貢献が期待できる。

用語集

※1 EPON

FTTHで使用される方式の1つで、Ethernet フレーム形式でデータをやり取りする。局側装置と複数の宅内装置で構成され、1本の光ファイバ上で複数のユーザの通信が可能である。最大通信速度が1Gbit/sの1G-EPONや10Gbit/sの10G-EPONなどの規定がある。

※2 WDM

Wavelength Division Multiplexing：波長多重。1つの光ファイバ回線で異なる周波数帯域を使って、同時に複数のユーザでの通信を行う方式。

※3 TDM

Time Division Multiplexing：時分割多重。1ユーザ毎に送信可能な時間を割り当てることにより、複数のユーザで1つの光ファイバ回線を共有して通信を行う方式。

※4 MPCP

Multi-Point Control Protocol：一台の局側装置と複数台の宅内装置を一对多接続する区間において効率的な上り方向（宅内装置から局側装置への方向）の通信を実現するための仕組み。

※5 LAG

Link Aggregation：複数の回線を束ねて1つの回線とみなす仕組み。複数回線を同時に使えるため、通信帯域を増やすことができる。また、複数回線中のいずれかの回線に障害が発生した場合にも通信を継続できるため、耐障害性に優れる。

- ・sOFIAは、住友電気工業(株)の登録商標です。
- ・IEEEは、The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.の商標または登録商標です。
- ・Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標または登録商標です。

参考文献

- (1) 総務省、「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果（2016年11月分）」（2017）
- (2) 総務省、「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表（平成28年度第3四半期（12月末）」）（2017）
- (3) 甲斐 他、「高速大容量スイッチを備えた10G-EPONシステム」、SEIテクニカルレビュー第189号、pp46-51（2016）
- (4) LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Ethernet (IEEE Std 802.3-2015)," 3 September (2015)
- (5) SFF Committee, "INF-8077i 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module," Revision 4.5, August (2005)
- (6) 船田 他、「10G-EPON用小型光トランシーバの開発」、SEIテクニカルレビュー第181号、pp84-88（2012）
- (7) 氏川 他、「光アクセス系通信装置の省電力化の取り組み」、NTT技術ジャーナル2015年1月、pp32-35（2015）

執筆者

清水 浩行*：情報ネットワーク研究開発センター
部長補佐



船田 知之：情報ネットワーク研究開発センター
主幹



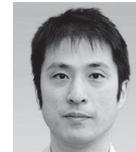
大間 稔：情報ネットワーク研究開発センター
主幹



高橋 博之：ブロードネットワークス事業部
グループ長



吉谷 直樹：ブロードネットワークス事業部
主席



村田 拓史：情報ネットワーク研究開発センター
次長



*主執筆者