



10G-EPONにおける保守運用性の向上

平井秀幸*・芝 晋吾・神山真一
嶋田善行・道又淳一・村田拓史

Improvement in Maintenance and Operation of 10G-EPON System — by Hideyuki Hirai, Shingo Shiba, Shinichi Kouyama, Yoshiyuki Shimada, Junichi Michimata and Hiroshi Murata — FTTH (Fiber To The Home) is the mainstream broadband service in Japan, and the number of its subscribers has been increasing. Many of these subscribers are using telephone, terrestrial digital television, and video-on-demand services provided by IP networks. Therefore, FTTH systems are required to have high stability and redundancy that the telephone switchboard has. To meet this demand, we have developed the next-generation FTTH technology 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network) system that has the protection function to achieve redundancy at the time of maintenance or emergency and the in-service firmware update function. This paper presents the evaluation results of this system and introduces our approaches to the improvement in maintenance and operation of the 10G-EPON system.

Keywords: FTTH, 10G-EPON, protection

1. 緒 言

ブロードバンドサービスは、2012年12月現在、全体で5,360万契約、そのうち、FTTH (Fiber To The Home) の契約数は2,354万契約であり、四半期ベースで1.5%増加が続いている⁽¹⁾。現在、主流となっているFTTHのアクセス技術は2004年6月にIEEE802.3 Working Group (WG) で標準化されたGE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) であり、国内で初めて導入されてから既に8年が経過している。GE-PON導入後も、映像サービスの更なる多チャンネル化、スマートフォンの普及によるオフロードトラフィックの増加が続いており、さらに4Kや8Kに代表される超高品位の映像配信サービスへの期待や、端末数の増加とクラウド通信への期待もあり、GE-PONより高速で大容量なアクセス技術が必要とされている。この背景から、GE-PONを10倍高速化した10G-EPONが2009年9月にIEEE802.3WGにて標準化された。これに続き10G-EPONのシステム仕様 (SIEPON: Standard for Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks) についても、2013年6月にIEEE P1904.1WGにて標準化された。

FTTHでは、GE-PONの導入によって、インターネット接続サービスや電話サービスの提供はもちろんのこと、その高速性を生かした、地上デジタルテレビ放送の再送信サービスや多チャンネル映像配信サービスが提供されており、多くのユーザーが利用している。そのため、現在では重要インフラの一つとなっており、FTTHを提供するアクセス機器に対しても、従来の電話交換機のような安定動作が求められるようになってきている。当社は、ブロードバンド

の黎明期よりアクセス機器の研究・開発を行い、市場に提供してきた。今回、ソフトウェアの更新や、故障等の障害時にも安定運用が可能なSIEPON標準準拠の10G-EPONシステムを開発し、動作性能の実機評価を行ったので、その評価結果について報告する。

2. 10G-EPON システム

2-1 要求条件 10G-EPON導入時には、設備投資の抑制の意味からもGE-PON用に敷設した既存の光ファイバ網やGE-PONの宅装置 (ONU: Optical Network Unit) をそのまま利用できることが要求されている。また、10G-EPONは伝送速度がGE-PONの10倍に高速化されることから、多分岐による設備投資の低減も期待されている。これまで、当社は10G-EPON非対称機の試作⁽²⁾や10G-EPON通信LSIの開発⁽³⁾などを通して、GE-PON ONUとの共存や多分岐の実証検証を進めてきた。

一方、保守運用に関しては、回線故障等の障害回復作業や、機能向上及び不具合改修に伴う装置のソフトウェア更新作業で発生する運用コストについても低減が求められており、また、これら作業に伴うサービス停止時間の削減も求められている。そのためには、可能な限りサービス停止を行わず、且つ、人手を介さずに回線切替えやソフトウェア更新が実施できる手段が10G-EPONシステムに必要となる。

今回の開発では、これらの保守運用性を向上させる機能として、10G-EPON ONUとの接続 (PONリンクアップ)

を維持したまま回線経路を切り替える冗長切替え機能と、ソフトウェア更新機能を開発した。

2-2 10G-EPONシステムの概要 今回開発したのは、10G-EPON局装置（OLT: Optical Line Terminal）及び10G-EPON宅装置（ONU）である。OLTは10G-EPONの回線を提供する回線ユニットであるOSU（Optical Subscriber Unit）と、それらを集線し上位ネットワーク（コア網）に転送する集線ユニット、及びOLTの各ユニットの制御と管理装置への制御インタフェースを提供する制御ユニットで構成される（図1）。OLTに実装される各OSUは、1枚のOSUを冗長OSUとして、光スイッチユニットに接続され、それぞれ配下のONUを収容し、N:1冗長切替え（OSUプロテクション）を可能としている。光スイッチユニットは、制御ユニットの指示でONUの接続経路を冗長OSUへ切り替えることが可能である。10G-EPONシステムの諸元を表1に示す。

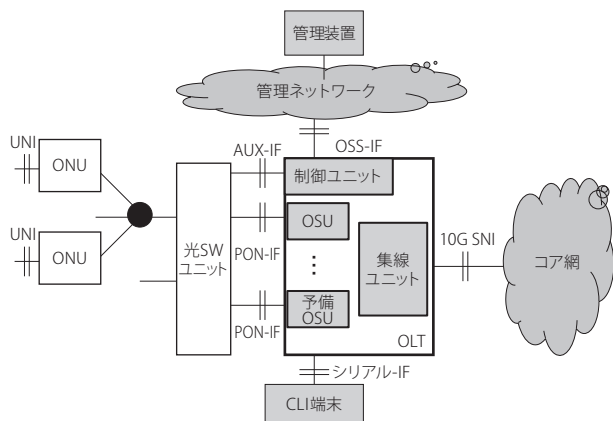


図1 10G-EPONのシステム構成

表1 10G-EPONのシステム諸元

PONインタフェース	10GBASE-PR30
SNIインタフェース	10GBASE-LR
UNIインタフェース	1000BASE-T
管理インタフェース	100BASE-TX シリアルIF (RS232C)
PON分岐数	最大128分岐
SIEPON機能	Power saving、セキュリティ、eOAM等 (Draft 3.0 Package B準拠)
保守運用機能	N:1 OSUプロテクション サービス無停止ソフト更新

2-3 標準化対応 IEEE802.3においてGE-PONや10G-EPONで標準化されているのは、光の強度や符号化を規定するPHY層やフレーム送受を規定するMAC層といっ

た下位層になる。これより上位のシステムは、通信事業者や機器ベンダ間で仕様が異なり、すでに導入されているGE-PONでは、相互接続において難があった。SIEPONでは、GE-PONシステムも含めて、10G-EPONシステムの相互接続を実現するため、世界の主要国で既に運用されているGE-PONシステムをベースに、Package A、Package B、Package Cの3つのシステム仕様が取り込まれている。今回開発した10G-EPONシステムでは、SIEPON (Draft3.0) 準拠の機能として、日本国内向けのシステム仕様であるPackage Bに準じた機能を実装している。

3. 保守運用性向上のための機能

3-1 N:1 OSUプロテクション機能 10G-EPONにおいて、OSUプロテクションを実施する状況としては、

- ① OLT装置の故障検知を契機とする切り替え
- ② オペレータの操作契機の切り替え

が想定される。

故障契機の場合、当該OSU配下のONUのすべてにおいて、サービスの継続が不可となるような光リンク故障や10G-EPONのLSI等の故障を検知した場合が該当する。この場合、ONUとのPONリンクアップを維持できる保障がないため、故障検知後、自動での早急な切り替え処理が必要となる。

また、オペレータ操作契機の場合は、定期保守やOSUの交換等、運用側の都合での切替えである。この場合は、当該ONUのPONリンクアップを維持することが必要で、サービス停止につながる恐れのある通信フレームの欠損は許容されにくい。

今回開発した10G-EPONシステムでは、切替え処理中に入力されるフレームを一時的に保持できる十分なサイズのバッファメモリを用意するとともに、PONリンクアップ維持に必要なパラメータを切替え元から冗長OSUに移行させるタイミングと、フレーム伝送を一時的に停止するタイミング、及び集線ユニットでの経路切替えのタイミングを調整し、OLT内部でフレームの欠損が発生しないような高速切替えを実現した。表2に今回開発したOSUプロテクション機能の性能目標をまとめる。

表2 OSUプロテクション機能の性能目標

切替え仕様	N:1プロテクション (N ≤ 15)
故障契機	<ul style="list-style-type: none"> ・ OSU故障、OSU無応答、光ファイバ断による自動切替え ・ 故障検知後、5s以内に切替え。
オペレータ操作契機	<ul style="list-style-type: none"> ・ マニュアル操作による予備系への切替えと予備系からの切り戻し ・ PONリンクアップを維持 ・ フレーム欠損なし

3-2 サービス無停止ソフトウェア更新機能 サービスの安定運用が求められる 10G-EPON システムでも、検出された OLT のソフトウェア不具合の改修や、新規機能追加による OLT ソフトウェア更新は、保守運用上、避けられない。通常、ソフトウェア更新では動作する装置の再起動が必要であるが、PON 回線では電話通話、特に緊急通話が行われている可能性もあり、これを提供する OSU は容易に再起動ができない状況が考えられる。この場合、サービス無停止でソフトウェア更新が可能になれば、ユーザーへの事前告知が不要になり、緊急通話の有無によらずソフトウェア更新できる。このため、システムの信頼性の向上とともに、運用コスト低減に貢献できる。

サービス無停止での OSU ソフトウェア更新は、OSU プロテクション機能を用いることでも実施が可能となるが、今回、開発した 10G-EPON OLT では、プロテクション機能を利用しないで、OSU 単独でサービス無停止の OSU ソフトウェア更新を実現した。

OSU ソフトウェアは、**図 2** のとおり構成される。

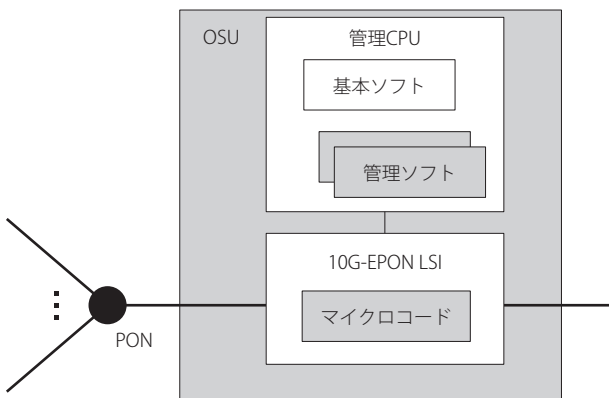


図 2 OSU ソフトウェアの構成

基本ソフトは、OSU の管理 CPU で動作するブートプログラム、オペレーティングシステムであり、個別に動作する管理ソフトに対して、割り込みやスケジューリング等の基本機能を提供する。また、管理ソフトは、10G-EPON の運用を行うためのソフトウェア及び 10G-EPON LSI 等のデバイスをコントロールするデバイスドライバである。マイクロコードは、デバイスにダウンロードしデバイス内部で動作する。今回実装した機能は、10G-EPON サービスの運用に直接関与する管理ソフトと 10G-EPON LSI にダウンロードするマイクロコードをサービス無停止更新の対象とした。

管理ソフトは、モジュール化により個別に更新が可能な構成として、更新前のモジュールの処理状態を更新後も引

き継ぐことによって、フレーム伝送を行っている主要デバイスには影響を与えずに更新を可能とした。

一方、10G-EPON LSI のマイクロコードは、LSI 内部での主信号導通において MPCP^{*1} や DBA^{*2} 動作に直接的に関与しており、マイクロコード更新時にマイクロコードの実行を停止すると PON ラインのフレーム伝送が停止してしまう。そこで、マイクロコードを実行するユニットを OSU 内部に複数個儲け、あるユニットでマイクロコードの実行を継続させながら、別のユニットのマイクロコードの更新を行えるようにするとともに、マイクロコードの更新前後に、ユニット間で PON のフレーム伝送に関する処理を引き継げるようにした。これにより、PON リンクアップを維持し、サービス停止の原因となるフレーム欠損が発生しないマイクロコード更新を実現した。

表 3 に OSU ソフトウェア更新時における要求事項をまとめる。

表 3 OSU ソフトウェア更新での要求事項

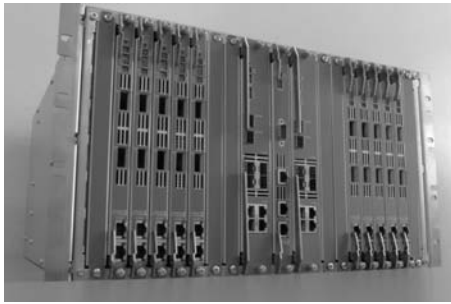
基本ソフト更新	本機能の対象外。 OSU の再起動で更新。
管理ソフト更新	PON リンクアップを維持。 フレーム伝送を継続しながら更新。 フレーム無欠損。
マイクロコード更新	PON リンクアップを維持。 フレーム伝送を継続しながら更新。 フレーム無欠損。

基本ソフトでは、更新には OSU の再起動が必要となり、サービスが一時的に停止する。しかし、OSU プロテクション機能を使用することで、サービス無停止でソフトウェア更新可能となる。このように OSU プロテクション機能を併用することで、基本ソフトを含むソフトウェア全体に及ぶ大規模な変更を行うソフトウェア更新にはプロテクション機能を使い、不具合改修や機能改善等の小規模なソフトウェア更新には本機能を使うといった状況による使い分けが可能となる。

4. 実機評価

4-1 N:1 プロテクション機能 写真 1 は、今回開発した 10G-EPON システムの OLT と ONU の外観である。

図 3 は評価試験系である。OLT には運用 OSU と冗長 OSU を実装し、運用 OSU には複数台の ONU を接続する。ONU の UNI と OLT の SNI にネットワークアナライザを接続し、試験フレームの伝送をさせながら、冗長 OSU への切替えを行い、動作性能について評価を行う。



(a) OLT外観



(b) ONU外観

写真1 10G-EPONシステム機器の外観

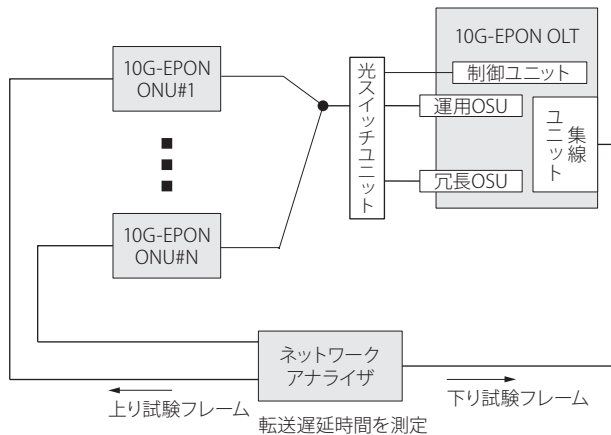


図3 評価試験系

以下に故障契機とオペレータ操作契機によるOSUプロテクション機能の動作性能の評価について報告する。

(1) 故障契機によるプロテクション機能の評価

以下を契機とするOSUプロテクション機能の評価を行った。

- ① OSU装置故障
- ② OSU無応答
- ③ 光ファイバ断

上記① OSU装置故障では、OSU内部の10G-EPON LSI

等主要デバイスで異常を検知した場合に故障発生と判断した。② OSU無応答では、制御ユニットからの制御通信が一定時間無応答となる場合に故障発生と判断した。①②の故障は、実際に故障を発生させることは困難であるため、疑似的に故障が発生する治具を準備した。①②での動作性能の評価では、疑似故障を発生させてから冗長 OSUでサービスを再開した時間を、③では光ファイバの抜去を実施してから、冗長 OSUでサービスを再開した時間を切替え時間として測定した。結果を表4に示す。

表4 故障別の切替え時間 (ONU10台接続)

	切替え契機となった要因	切替え時間 (平均)
①	OSU装置故障 (10G-EPON LSI疑似故障)	4.4 s
②	OSU無応答	34.8 s
③	光ファイバ断	4.9 s

上記② OSU無応答では、無応答の判定時間を30sとしており、故障検知後の実質的な切替え時間は4.8sとなる。よって、今回の開発した10G-EPONシステムは、故障検知後、5秒以内に冗長 OSUへ切り替える性能を有することが確認できた。

(2) オペレータ操作契機によるプロテクション機能の評価

オペレータ操作契機のOSUプロテクションでは、フレーム無欠損での切替え処理を実現するため、フレーム伝送を一時的に停止させ、その間に経路切替えを行っている。このため、この停止時間がフレームの伝送遅延時間の増加として現れる。今回、OSUプロテクション機能の性能評価は、PONリンクと試験フレームの欠損状況、及び伝送遅延時間を測定することで行った。

開発した10G-EPON OLTでは、OSUプロテクションを実施するための操作コマンドを用意している。評価試験では、ONU5台を接続した図4の評価試験系を用いて、各ONUで上下20Mbpsの試験フレームを伝送中に、コマンドによりOSUプロテクションを実行し、最大の伝送遅延時間を測定した。

表5に測定結果を示す。フレーム無欠損でOSUプロテクションが動作しており、伝送遅延時間も60ms以下と短い値となっている。

表5 オペレータ操作契機OSUプロテクションの性能

試験フレームの導通	PONリンク	フレーム欠損	伝送遅延時間
上り (UNI→SNI)	リンク断なし	なし	36.0 ms
下り (SNI→UNI)		なし	54.8 ms

上記評価結果をもとに、OSUプロテクション実行時の内部の処理時間を分析し、接続ONU数毎にフレームの伝送遅延時間の推定値を算出した。これを図4に示す。

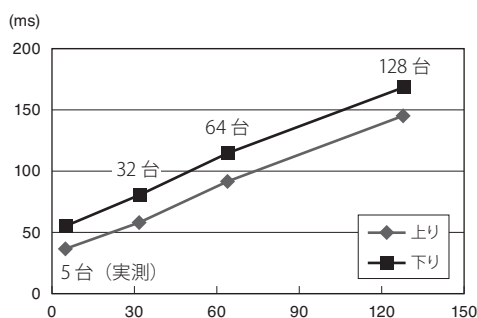


図4 OSUプロテクションによるONU台数別の伝送遅延時間の推定値

ONU64台接続では最大115ms、ONU128台接続で最大170ms程度の伝送遅延時間となる。以上の結果により、今回の開発したOSUプロテクション機能は、フレーム無欠損で切替え処理が実行可能であり、多台数でも高速な切替えが可能な性能を有することが確認できた。

4-2 サービス無停止ソフトウェア更新機能 フレーム伝送に直接影響のある10G-EPON LSIのマイクロコードの更新について、PONリンクアップを維持し、フレーム欠損なしで更新可能か評価を行った。マイクロコードの更新では、2つの10G-EPON LSI間でPONのフレーム伝送に関する処理の引き継ぎを行うため、この引き継ぎ時間がフレームの伝送遅延時間として現れる。このため、試験フレームの欠損状況の確認に加え、伝送遅延時間も測定し、伝送フレームへの影響を確認した。

表6は、1台のONUを接続した状態で、試験フレームを疎通中に、サービス無停止ソフトウェア更新機能によりLSIのマイクロコード更新を行った際のPONリンクとフレーム欠損の状況、及び伝送遅延時間測定の結果である。マイクロコード更新により、PONリンクアップへの影響はフレーム欠損はないことを確認した。

表6 10G-EPON LSIマイクロコード更新の評価

試験フレームの導通方向	PONリンク	フレーム欠損	伝送遅延時間
上り (UNI→SNI)	リンク断なし	なし	64.3 ms
下り (SNI→UNI)		なし	72.5 ms

表7は、64台のONU接続で、実際に内部の切替え処理時間を測定し、その結果からフレームの伝送遅延時間を推定した結果である。

表7 64台ONU接続における10G-EPON LSIマイクロコード更新時の伝送遅延時間 (推定)

試験フレームの導通方向	伝送遅延時間
上り (UNI→SNI)	165ms以下
下り (SNI→UNI)	213ms以下

上記のとおり、サービス無停止ソフトウェア更新機能は、多台数ONUが接続された状態でも、OSUプロテクション機能よりも伝送遅延時間が大きくなる傾向があるものの、フレーム無欠損でマイクロコードの更新処理が可能であることを確認した。

5. 結 言

今回、10G-EPONシステムの保守運用性を向上させる機能として、N:1 OSUプロテクション機能を開発し、PONリンクアップを維持し、フレーム無欠損で動作可能な性能を有することを実機にて確認できた。また、ソフトウェア更新機能においても同様に、PONリンクアップを維持し、フレーム無欠損で、サービス無停止ソフトウェア更新が可能であることを確認した。

用語集

※1 DSL

Digital Subscriber Line : 電話回線を使用した高速デジタル技術。

※2 MPCP

Multi-Point Control Protocol : GE-PONや10G-EPONにおける制御プロトコル。

※3 DBA

Dynamic Bandwidth Allocation : 動的帯域割当の意味。ONUからOLTへの上りトラフィックの帯域を動的に割り当てる仕組み、機能。

・ Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標です。

参 考 文 献

- (1) 総務省報道資料、「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24年度第3四半期 (12月末)) (平成25年3月27日)
- (2) 大道 他、「非対称10G-EPONシステムの開発」、SEIテクニカルレビュー第175号、pp103-107 (2009)
- (3) 大道、「10G-EPON用通信LSIの開発」、SEIテクニカルレビュー第180号、pp43-48 (2010)

執筆者

平井 秀幸* : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター
プロジェクトリーダー



芝 晋吾 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター
主査



神山 真一 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター



嶋田 善行 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター



道又 淳一 : インフォコミュニケーション・社会システム研究開発センター



村田 拓史 : 住友電工ネットワークス(株) 副部長



*主執筆者