



# 高速大容量スイッチを備えた10G-EPONシステム

## 10G-EPON System Featuring High-Speed and High-Capacity Layer 3 Switching

甲斐 雄介\*

Yusuke Kai

濱田 洋平

Yohei Hamada

木崎 直也

Naoya Kizaki

片山 久嗣

Hisashi Katayama

富山 純恵

Sumie Tomiyama

藤野 健治郎

Kenjiro Fujino

インターネットの高速化に対応するためのブロードバンドアクセス技術としてとして、当社は光ファイバを用いたPON (Passive Optical Network) 方式を採用した光アクセス機器の開発を行ってきた。本報告では、さらなるネットワークサービスの高度化と多様化に対応するため、新たなコンセプトで開発を行った10G-EPONシステムFSU7100について報告する。FSU7100は、従来の1GEPONの10倍の速度に対応できる10G-EPONに対応し、高速化されたPON回線に相応する高速大容量スイッチを備えた光アクセスプラットフォームである。共通フレームワークsOFIA (Sumitomo Electric optical fiber access system integration architecture)、回線カード、集線カードのそれぞれの特長について報告すると共に、ソフトウェア機能として、CATV事業者が既存の装置からPON方式に移行する際のコストを低減するDPoE (DOCSIS Provisioning of EPON) についても述べる。

We have been providing advanced broadband technology and internet access equipment to the market. FSU7100 is our latest product that aims for the next generation high-speed transmission service. We offer 1G-EPON (Ethernet passive optical network) cards, 10G-EPON cards, and aggregation switch cards for FSU7100. This paper reports on the specification parameters of the common framework of sOFIA (Sumitomo Electric optical fiber access system integration architecture), line cards, and switch cards. In addition, as a software feature that enables operators to replace DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specifications) systems with PON systems at low cost, DPoE (DOCSIS provisioning of EPON) is introduced.

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

## 1. 緒言

通信量は年々増大し、インターネットアクセスに用いられる加入者線は、電話線（銅線）や同軸ケーブルからより大容量のデータを送受信できる光ファイバを用いたPON (Passive Optical Network) 方式に移行してきた。特に、2004年以降は日本、中国、韓国等の東アジアを中心に普及が進んできた。当社は、2005年に1G-EPON方式の通信システムを実用化し、国内外の事業者に販売してきている。その後、ネットワークサービスの高度化と多様化に伴い、アクセス網に対する高速化の要求がますます高まってきている。映像データを例にとると、4K映像配信が普及することで下り方向のトラフィックが増大する一方で、動画共有サービスへの映像アップロードも盛んになるなど、上り方向にも広帯域が要求される時代になってきている。また、3G-LTEから4G、更には5Gへと高度化が進む移動体通信においても高速回線の需要が、増大している。

本稿では、高速・大容量のスイッチを搭載したFTTHシステムについて報告する。加入者回線としては、1G-EPONに加えて10G-EPONにも対応すると共に、集線カードには、多数の10G-EPON回線を収容し、かつ高速化に対応する高速大容量スイッチを備えている。また、CATV事業

者が既存の装置からPON方式に移行する際のコストを低減するDPoEにも対応した。

## 2. システム概要

### 2-1 システムアーキテクチャ

FSU7100は1Gbit/sサービスで最大10,240回線、10Gbit/sサービスで最大16,384回線収容可能な光アクセスプラットフォームである。装置全体の制御・監視とスイッチ機能を一体化した集線カード2枚実装により冗長構成としている。回線カードは最大16枚実装でき、1G-EPON回線カードと10G-EPON回線カードを混在して搭載可能である。各カードと電源、ファンユニットは電源断することなく交換可能であり、装置故障や1Gbit/sから10Gbit/sへのアップグレードなど、幅広く対応できる。集線カードと回線カード間の通信帯域は80Gbit/sあり、回線カードからは2式の集線カードにそれぞれ接続されている。FSU7100全体では2.56Tbit/sのスイッチング容量を持つ（集線カードと回線カード間の通信帯域の80Gbit/s×16スロット×2式の集線カードのActive-Active運用）。

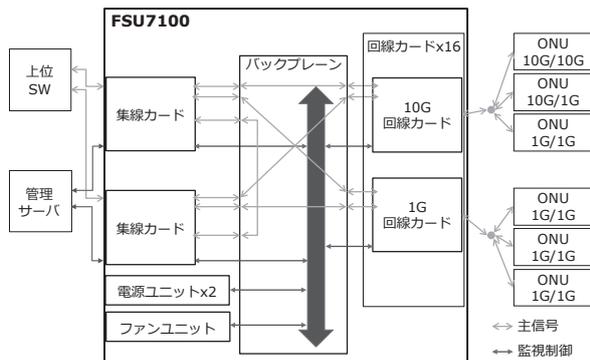


図1 全体構成図

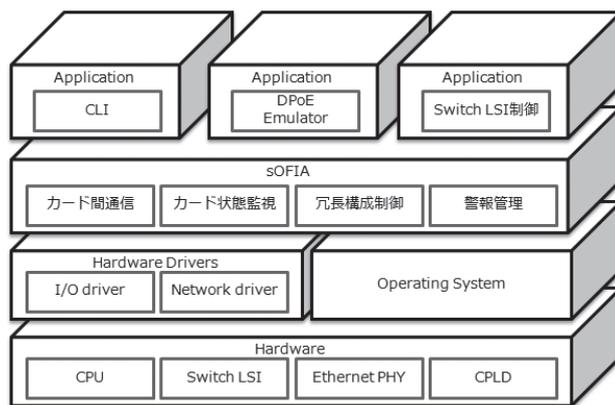


図2 アクセス機器ソフトウェアの階層構成

表1 FSU7100の主要諸元

項目		仕様	
筐体	サイズ	外形寸法 (mm)	W434 × D334 × H444
	スロット数		電源ユニット×2 ファンユニット×1 集線カード×2 回線カード×16
集線カード	アップリンク I/F	ポート数	8ポート
		物理 I/F	SFP+/SFP
		準拠規格	10GBASE-R 1000BASE-X
	監視制御 I/F (Remote)	ポート数	1
		物理 I/F	RJ-45
		準拠規格	1000BASE-T 100BASE-TX 10BASE-T
監視制御 I/F (Serial)	ポート数	1	
	物理 I/F	RJ-45	
	準拠規格	RS232C	
1G 回線カード	PON I/F	ポート数	10ポート
		物理 I/F	SFP
		準拠規格	1000BASE-PX20
10G 回線カード	PON I/F	ポート数	8ポート
		物理 I/F	XFP
		準拠規格	10GBASE-PR 10/1GBASE-PRX 1000BASE-PX30

## 2-2 共通フレームワークsOFIA

アクセス系システムのソフトウェア開発においては、顧客からの多様な要求仕様や新しい技術への柔軟な対応のために開発規模が肥大化し大きな課題となっている。

この課題に対して、2010年より図2に示すソフトウェア階層構成に、sOFIAをフレームワークとして採用し、生産性および品質の向上に取り組んでいる。本項ではsOFIA及び、本取組による効果について紹介する。

### ●ソフトウェア階層構成

ソフトウェア階層は次のように構成されている。

- (1) アプリケーション：顧客要求に応じて、製品の付加価値を向上させるためのソフトウェアモジュール。

保守コマンド (CLI: Command Line Interface) や DPoE機能など。

- (2) sOFIA：各々のアプリケーションで共通に利用可能なシステムの基礎機能・補助機能。
- (3) ハードウェアドライバ：ハードウェア制御を行うためのインターフェースを提供する。
- (4) OS (Operating System)：ソフトウェアの基本的な管理・制御を行う。
- (5) ハードウェア：回路や装置など物理的な構成要素。

### ●sOFIAの機能概要

sOFIAは、表2に示すようなシステム設計に不可欠な基本機能や、アプリケーション開発の簡便化を目的とした補助機能で構成されている。

表2 sOFIA機能例

コンポーネント	機能概要
カード間通信	カード内やカード間におけるアプリケーション間通信の橋渡しをする
カード状態監視	カードの挿抜状態やハードウェア・ソフトウェアの動作状態を監視する
冗長構成制御	カードの冗長化 (運用・待機) を制御することで、装置の信頼性を高める
警報管理	カード内で発生した警報状態を集約し、制御 (ログ・保守通知など) する
OS 抽象化	OS に依ってプログラム仕様が異なるが、それをアプリケーションに意識させないために抽象化する

### ●sOFIAの効果

- (1) アプリケーション開発の効率化
  - (a) 製品ごとに異なるハードウェア、それを制御するハードウェアドライバ、OSを隠ぺいし、統一したAPI (Application Programming Interface) をアプリケーションに提供する。これにより、ハードウェアが異なる新規カードにアプリケーション部を変更することなく流用することが可能となる。

(b) 複雑度が高い機能をパッケージ化することで、新規開発範囲を限定することが可能となる。

(c) 機能をパッケージ化し、製品ごとに搭載する機能を柔軟に組み合わせることが可能なため、アプリケーション開発の効率化の実現に寄与する。

## (2) 品質の向上・標準化

実績のあるソフトウェアモジュールを「標準部品」として組込むことで、品質が向上する。また、多様な製品で「標準部品」を用いることで、改良の水平展開が迅速に行われ、より洗練された部品となる。

# 3. FSU7100の特長

## 3-1 回線カード

回線カードは1G-EPONもしくは10G-EPONの規格に準拠したサービスを提供するカードであり、システムには最大16枚を搭載可能である。回線カードには、1G、10Gのラインナップがあり、1G回線カードは1式当たり10ポート持ち、10G回線カードは8ポート持つ。1G回線カード、10G回線カードともに光トランシーバをモジュール単位で交換可能であり、光トランシーバ故障時に正常なポートのサービスを止めることなく対応することができる。

本章では、10G-EPON回線カードの特徴について述べる。

### (1) 接続台数の拡張

ポートあたりのONU (PON宅側装置) 収容台数は、1G回線カードの64台に対して、10G回線カードでは128台に拡大した。これにより、カードあたりのONU収容数の向上、ポート単価の削減、ファイバの敷設本数低減ができ初期投資コストを下げる事が可能となる。

### (2) 複数の運用モードのサポート

EPON装置が備えている監視・制御機能をそのまま利用するEPONモードと、仮想的にEPON装置をDOCSISで規定されたCMTS (Cable Modem Termination System) とCM (Cable Modem) に見せるDPoEモード (後述) をサポートしている。DPoEモードはCATV事業者の導入コスト低減に効果がある。CATV事業者以外を想定するEPONモードは設定をOLT (PON局側装置) に保存しているためONUの接続が高速というメリットがある。

### (3) 複数種別のONUの接続を実現

1G-EPON規格で規定されている1G-ONU、10G-EPON規格で規定されている10G対称ONU、10G非対称ONUの3種類が接続可能であり、同一PONポートに共存が可能である。そのため、ユーザが既存の1G-EPON装置を10G-EPONに置き換える場合、局側装置のみの変更で、簡単に置き換え可能である。さらに、ONUを10G-ONUに置き換えることで10Gbit/sの高速な通信を提供可能となる。

### (4) 長距離伝送性能

10G回線カードと10G-EPON ONUの間に10G中継器を接続することで長距離伝送が可能となる。10G中継器を

接続する場合の性能についてスループット<sup>\*3</sup>とレイテンシ<sup>\*4</sup>の観点から考察を行った。

図3は10G回線カードと10G中継器を接続し20km、40km、60kmのそれぞれの接続距離での上りスループットの実測値を示すグラフである。

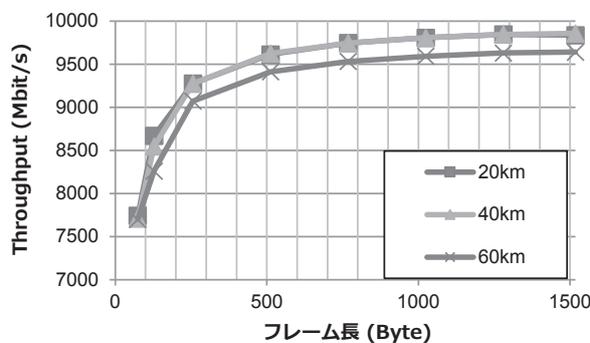


図3 10G中継器接続時のL2スループット

このグラフより、L2<sup>\*5</sup>スループットは接続距離20kmの場合でも接続距離60kmの場合でもほぼ一致することがわかる。つまり、接続距離が伸びてもスループットの劣化はないと言える。

次にレイテンシについて考察を行う。下り遅延はファイバ長による伝送路遅延のみの影響が発生する。PONでは動的帯域割当により上りの衝突制御を行っているため、上りの遅延時間は伝送路遅延をパラメータとする式(1)で表せる。

$$\text{上り遅延時間} = 2 \times \text{伝送路遅延} + \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

$\alpha$ は中継器内の遅延時間である。

図4は20km、40km、60kmのそれぞれの接続距離での上りレイテンシの実測値である。

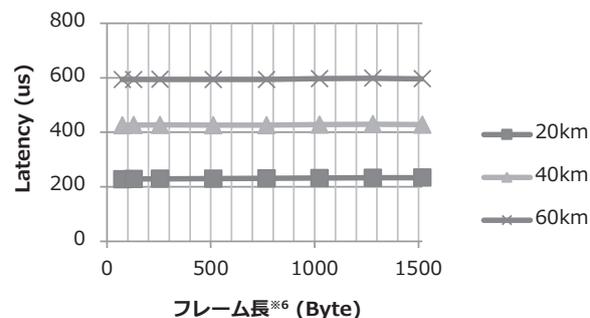


図4 10G中継器接続時のレイテンシ

上記の実験結果から、この実験環境においては、20kmの光ファイバを進むのにかかる時間は約95 $\mu$ s、 $\alpha$ は30 $\mu$ sとなっており、**理論式(1)**に合致し10Gの中継器を接続した場合でも他に余分な遅延が発生していないことがわかる。

### 3-2 集線カード

集線カードは当社従来機器に搭載していた制御・管理機能の他、集線機能と耐障害性機能を新たに搭載したカードである。集線カードは1式辺り720Gbit/sのスイッチング容量を持ち、アップリンクへの通信帯域は80Gbit/sある(10 Gbit/s $\times$ 8ポート)。アップリンクポートは、搭載する光モジュールにより様々な規格で接続が可能である。

#### (1) 管理機能

FSU7100を運用するための設定の変更・保存をする管理機能については、**表3**の機能を搭載する。

**表3 集線カードが有する管理機能**

管理機能	説明
SNMPv1/v2c/v3	リモート管理機能
CLI (SSH/Telnet での通信が可能)	コマンド入力機能
TFTP/SFTP クライアント	ファイル転送機能
syslog クライアント	管理情報転送機能
SNTP/NTP クライアント	時刻同期機能
RADIUS クライアント	アカウント管理機能
TACACS+ AAA クライアント	アカウント管理機能
アクセスコントロールリスト	セキュリティ機能
遠隔地からのソフトウェア更新	リモートアップグレード機能

#### (2) 集線機能

各回線カードからの通信データを集約し、上位ネットワークに転送する役割を担う。この機能により、上位ネットワークに接続する物理ポートの数を減らすことが可能となる。また、L2<sup>\*5</sup>スイッチング機能とL3<sup>\*5</sup>スイッチング機能の両方を併せ持ち、データの高速転送と高度な制御が可能である。

FSU7100のL2スイッチング機能を活用することで、顧客拠点間のデータを専用線のように扱うVPNサービスを提供することができる(米国Metro Ethernet Forum<sup>\*7</sup>(MEF)の認証、MEF9, MEF14を取得済み)。

FSU7100のL3スイッチング機能を活用するとインターネット通信接続サービスを提供できる。L3スイッチは設置されたネットワーク内の他のルータと情報を交換しながら、

**表4 集線カードが有するルーティングプロトコル**

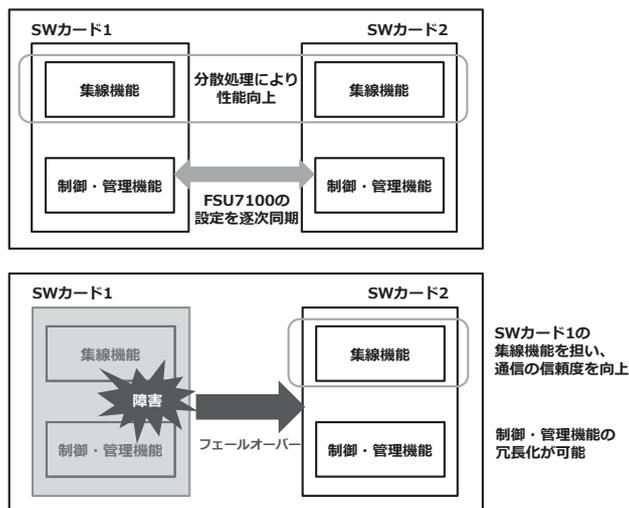
ルーティングプロトコル	説明
OSPFv2	中規模向け
RIPv2	小規模向け
M-ISIS	中規模向け

ら、データ転送先の制御を行う。FSU7100はルーティング機能をサポートし、設置されるネットワークの特徴に応じて使い分けることが可能である(**表4**)。

#### (3) 耐障害性機能

集線カードは各回線カードからの通信データをまとめてインターネットに接続する役割を持つという性格上、通信回線の障害や故障時の影響が大きい。そこで、FSU7100では耐障害性を高めるために複数の特徴を持っている。1つのシャーシに2枚の集線カードを挿入することで、ACT-ACT構成という冗長構成を組むことが可能である。ACT-ACT構成とは、**図5**のように、両集線カードが同じ設定を持ち、同時に稼働することで分散処理によるシステム全体の性能向上を図る。更に、片方の集線カードで障害が発生した場合には、障害が発生した集線カードの機能をもう片方の集線カードが担う(フェールオーバーと呼ぶ)ことにより、耐障害性を高めることが可能である。

更にリンクアグリゲーションやEqual Cost Multi Path (ECMP) といった、複数の通信回線を仮想的に1つの通信回線とみなすことで、更に耐障害性や信頼性を高めることが可能である。



**図5 ACT-ACT構成**

### 3-3 DPoE

米国のCATV事業者団体であるCableLabsは、ビジネス向け広域イーサネットサービスと一般加入者向けインターネット接続サービスを広帯域で実現すると同時に、それまでCATV事業者が開発投資してきた運用管理サーバを変更せずにEPONを運用管理するための仕様を策定し、DPoE (DOCSIS Provisioning of EPON) 1.0を2011年に公開した。

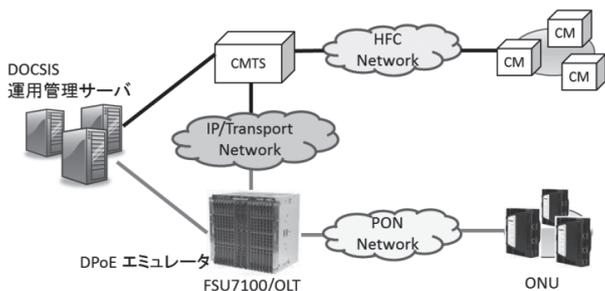


図6 DPoEネットワーク

当社は2009年よりCATV事業者向けにFSU7100の開発を開始し、CableLabsが主催する認定試験仕様の制定から参画してきた。DPoE1.0の相互接続試験にも参加し、2013年にはDPoE1.0認定をOLTとONUの双方で認定を受けた最初の装置ベンダとなった。同時に北米EPON市場の立ち上げを図り、ビジネス向け広域イーサネットサービスの拡張、IPv6、マルチキャストへの対応と、さらなる広帯域を目指す10G-EPONへの対応を目指した標準化活動にも参画し、2012年のDPoE2.0の仕様成立にも貢献してきた。

FSU7100はDPoE1.0、DPoE2.0の機能の一部をDPoEエミュレータとして装置内部で実現している。

DPoEエミュレータは、OLTとONUをそれぞれDOCISISのCMTSとCMとしてエミュレートし、運用管理サーバからの命令を変換して、OLTとONUを制御する。これにより、従来のDOCISIS管理機能を備えた運用管理サーバを流用できるため、EPONの導入コスト削減に繋がる。また、運用管理サーバにCMの設定ファイルを保管することで、各ONUに対してサービス品質を定義しトラフィックを制御することが可能となる(図7)。

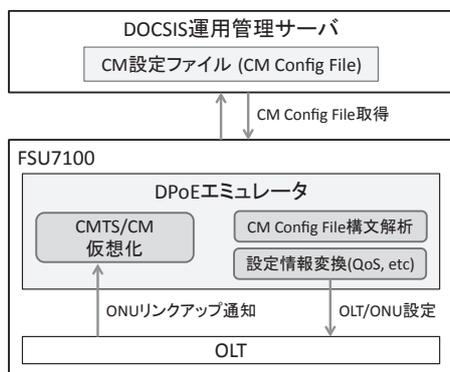


図7 DPoEエミュレータの役割

## 4. 結 言

本稿では、10G-EPONに対応し、高速大容量スイッチを搭載した光アクセスプラットフォームについて概説した。今後、ますます高速化が進む国内外のアクセスネットワークの発展に、今回開発したPONシステムが貢献できるものと考えている。

### 用語集

#### ※1 DOCSIS

Data Over Cable Service Interface Specifications : ケーブルテレビ用途に配線された同軸ケーブルのあいている帯域を利用して、インターネットアクセスサービスを提供することを目的に制定された技術仕様。

#### ※2 DPoE

DOCSIS Provisioning of EPON : DOCSIS を使ってサービスを使ってきた事業者が、DOCSISサービスに使用する顧客管理システムなどをそのまま活用して、光ファイバを用いたPON技術による高速インターネットサービスを行えるようにする技術仕様。

#### ※3 スループット

中継処理能力。

#### ※4 レイテンシ

転送遅延。機器の内部で処理している時間および転送を待たせている時間。

#### ※5 L2, L3

データを転送する際に、L2 (MACレイヤ) の情報で転送するか、L3 (IPレイヤ) の情報で転送するかの方式の違い。L3での転送の方が複雑な制御ができる。

#### ※6 フレーム長

伝送路上に一度に連続して流すデータの長さ。

#### ※7 Metro Ethernet Forum

公衆イーサネットサービスに関する技術仕様を定めている団体。

・sOFIA は住友電気工業(株)の登録商標です。

### 参 考 文 献

- (1) 勢能 他、「ケーブルテレビ事業者向けFTTHシステム」、SEIテクニカルレビュー第183号 (2013)

執筆者

---

甲斐 雄介\* :ブロードネットワークス事業部  
グループ長



濱田 洋平 :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



木崎 直也 :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



片山 久嗣 :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



富山 純恵 :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



藤野健治郎 :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



---

\*主執筆者