

北米MSOの次世代アクセスのための分散PONアーキテクチャ

Distributed PON Architectures for North American MSO's Next-Generation Access

アブラムソン ハワード* 濱田 洋平
Howard Abramson Yohei Hamada

辻本 敬一
Keiichi Tsujimoto

松本 一也
Kazuya Matsumoto

PON (Passive Optical Network) 方式による光アクセス網は、局舎に設置されるOLT (Optical Line Terminal) と加入者宅あるいは複数の加入者宅を接続するDP (Distribution Point) に設置されるONU (Optical Network Unit) で構成されると定義されてきた。本論文では、距離、ポートあたりの加入者数、幹線ファイバ数、統合OSS (Operations Support System)、機器設置スペースのコストや電力消費の節減、機器の冷却といったMSO (Multi-System Cable Operators) のアクセス網に対する根本的な要求に添えるべく当社が提唱する北米MSOの次世代アクセス網アーキテクチャを紹介する。

A traditional passive optical network (PON) consists of an optical line terminal (OLT) installed in a central office (CO) and optical network unit (ONU) at the subscriber's house (Fiber-to-the-Premise, FTTP) or a distribution point serving multiple subscribers (Fiber-to-the-Distribution-Point, FTTdp). This paper describes a new class of products Sumitomo Electric Industries, Ltd. is introducing to assist North American multiple system operators (MSO) in addressing fundamental access network requirements such as distance, subscribers served per port, trunk fiber conservation, uniform operations support systems (OSS), and the cost of space, power, and cooling of equipment.

キーワード：10G-EPON、FTTH、DPoE

1. 緒言

PON (Passive Optical Network) は加入者にネットワーク・アクセスを提供する効率的、経済的かつ大容量の方式である。しかし、CATV局舎に設置されたOLT (Optical Line Terminal) 装置と加入者宅側装置ONU (Optical Network Unit) を接続する従来のPONアーキテクチャではMSO^{*1} (Multi-System Cable Operators) がサービスを展開するに際して以下のような課題がある。

- (1) OLTとONUの間の距離
- (2) PONポート単位でサービスが提供できる加入者数
- (3) 利用可能な幹線ファイバ数
- (4) 局舎の機器設置スペース、消費電力とコスト
- (5) ネットワーク内の各機器の統一的な管理

本論文では、これらの課題に対する解決策としての次世代アーキテクチャと、それに対する当社FSU7100シリーズ製品での移行パスを提示する。

2. MSOネットワーク概観

2-1 MSOのアクセス網

MSOのアクセス網は、1940年代後半から1950年代に導入が始まった片方向アナログ映像配信のためのケーブルテレビ網を起源としており、地上波によるテレビ放送の視聴エリアを拡大するものとして広まった。このシステムはそ

の後、幹線部分をファイバに変更したHFC (Hybrid Fiber Coaxial) システムに進化、アナログ光信号を使い局舎と加入者宅に設置された装置の間でビデオ、データ、電話音声を送るようになった (図1)。

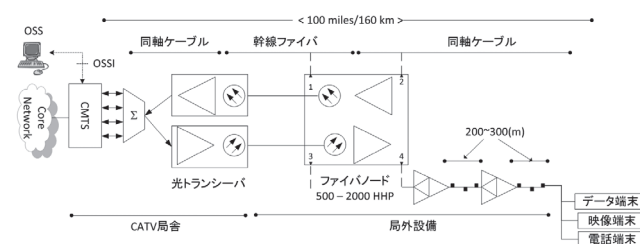


図1 MSOのHFCアクセス網

MSOのアクセス網は1990年代半ばのDOCSIS^{*2} (Data Over Cable Service Interface Specification) バージョン1.0から現在のDOCSISバージョン3.1へと進化してきた。CMTS (Cable Modem Termination System) は、加入者宅内データ端末であるCM (Cable Modem) の対向として動作するケーブルモデムの終端装置であり、局舎に設

置され、高速データ通信サービスを提供する。

第一世代と第二世代のCMTSは統合型のシステム(I-CMTS: Integrated CMTS)であり、DOCSISバージョン3.0仕様では、下りの物理レイヤをCMTSから分離することを可能にした第三世代CMTSを規定した。第四世代のCCAP (Converged Cable Access Platforms) は、エッジQAM^{*3}とオプションでEPON (Ethernet PON) もサポートする非常に高いポート密度のCMTSとして定義された。

MSOはAll IPサービス^{*4}への移行と、加入者あたりの帯域拡大を進めており、PONはMSOにとってDOCSISにとって代わりうる技術となってきた。現在MSOは第五世代のアクセス網を定義中であり、ネットワーク機能のさらなる分散化が図られようとしている。

2-2 MSOアクセス網へのPON導入の課題

(1) 距離

MSOのアクセス網は双方向マルチメディア・サービスを提供できるよう進化してきたが、HFCネットワークは元々の局舎と加入者の地理的分布の制約から逃れてはいない。例えばCMTSと加入者宅のCMの間の最大距離は、1990年代半ばに双方向ケーブル設備とDOCSISを導入以来160kmである。DOCSIS 3.1標準の抜粋⁽¹⁾にあるように、それ以来、多様な密度で存在する加入者にサービスを提供するためのMSOの要求はあまり変わっていない。

(2) 加入者線の分岐数

MSOは同軸ケーブルのセグメントあたりのサービス提供が可能な加入者宅数であるHHP (House Holds Passed) 数を減らすことにより、加入者の帯域拡大に対する貪欲な要求に応えている。すなわち、より加入者の近くまで光ファイバを張り、局外設備としてファイバノードを設置すること、あるいは既存ファイバノードを複数にノード分割することで、ファイバノードから加入者までの同軸ケーブルの容量を実質的に倍増させることで帯域拡大を行っている。表1に示すようにDOCSISの新バージョン毎にHHPの縮小が図られている。

HFCネットワークにおいて光ファイバ区間を延長してゆくと、光ファイバを同軸に変換するファイバノードがサービスを提供する加入者数は減少し、第5世代ではPONにおけるファイバの分岐数と同等程度になる。ノード分割により加入者あたりの帯域を増やせるかどうかは、局舎とファイバノード間の利用可能な幹線ファイバの数に依存する。

表1 ファイバノード当たりのHHP数の変遷

CMTS/CCAPの世代	DOCSIS Version	ファイバノード当たりのHHP数
第1および第2世代 I-CMTS	DOCSIS 1.0	<1000~2000 HHP
	DOCSIS 2.0	<1000 HHP
第3世代I/M-CMTS	DOCSIS 3.0	<500~750 HHP
第4世代I/M-CCAP	DOCSIS 3.1	<128 - 256 HHP
第5世代分散CMTS	MHAv2 / R-PHY	<64 HHP

MHAv2: Modular Headend Architecture version 2

(3) 幹線ファイバ

局舎設備とファイバノード間の通信は、現状、幹線ファイバを介した光強度変調アナログ信号により行われている。現在使われているファイバノードは単一波長あるいはWDM (Wavelength Division Multiplexing) 光トランシーバを使用している。ノード分割を行うためには、単一波長光トランシーバの場合1本の幹線ファイバが、WDM光トランシーバの場合には一つの波長が追加が必要となる。万単位の加入者にサービスを提供する局舎は、多くの光ファイバあるいは波長を終端する必要がある。特に局舎設備が一般の共用ビルに設置されている場合、実用上のファイバ数の限界が問題となり、波長数の制約や光バジェットの制約も考慮する必要がある。MSOのアクセス網にPONを導入する際は、配下の全加入者へのサービスをHFCからPONに一斉に切り替えるのは現実的ではないため、既存のDOCSISおよびRFビデオ信号と幹線ファイバを共用できるよう考慮する必要がある。

(4) 局舎の機器設置スペース、消費電力とコスト

MSOは、アクセス網の容量を増大させようとすると同時に、局舎の機器設置床面積、電力消費および空調容量を減らし、関係する維持保守費用を削減するため、小規模局舎の廃止を進めている。この相反する施策を実現するため、MSOは従来の統合型アーキテクチャから、機器をアクセス網上に分散させたOSP (Optical Service Platform) アーキテクチャに移行しつつある。局外設備として設置される新しい機器には、低コストと低消費電力で更なる帯域を提供することだけでなく、高い信頼性により、少ない手間で維持管理できることが求められている。

(5) 機器の接続とネットワーク管理

DOCSIS標準には相互接続性を確保し、適合するOSS (Operations Support System) の開発を加速するための共通OSSI⁽²⁾ (Operations Support System Interface) 仕様を含んでいる。

PONでは2010年にDPoE (DOCSIS Provisioning of EPON) 仕様が発定され、一様なプロビジョニング方式、ネットワークと管理インタフェース、そして共通機器ユーザインタフェースが規定された⁽³⁾。DPoE仕様の主な目的の一つは既存のDOCSIS OSSI仕様を可能なかぎり再利用し、DOCSISベースのバックオフィスを使いEPONシステムのプロビジョニングおよび運用を行うことである。

PONのような新技術をネットワークに導入する際、従来のネットワークと同じバックオフィス、ネットワーク構成とスケーラビリティ、アクセス網に関するプロビジョニングと管理についての知識を利用できることをMSOは強く要求している。

3. MSOのPONアーキテクチャ

3-1 OLT機能実現の基本方式

本論文ではPONのOLT機能実現方法を以下の4つの基本方式に分類する。

- (1) I-PON (Integrated PON) 方式
- (2) I-PON+R (I-PON + リピータ) 方式
- (3) R-PON (Remote PON) 方式
- (4) M-PON (Modular PON) 方式

表2はDPoEプロトコル参照モデルに対するOLT機能の分割・配置方式を示したものである。

表2 OLT機能の基本方式

方式	DPoEシステム機能			
	運用/管理	レイヤ2/ レイヤ3 パケット転送	MAC層/上位 プロトコル レイヤ	物理層
DPoE仕様	OSSI	IP-NE/MEF	MULPI/OAM	PHY
(1) I-PON	← 局舎設備 →			
(2) I-PON+R	← 局舎設備 →		← 局外設備 →	
(3) R-PON	← 局外設備 →			
(4) M-PON	← 局舎設備 →		← 局外設備 →	

(1) I-PON (Integrated PON) 方式

I-PON (Integrated PON) は統合型のOLT筐体と、それに接続する光スプリッタ等の受動デバイスで構成されたODN (Optical Distribution Network) から構成される。2-1節で述べたI-CMTSと類似したものである(図2)。

都市部など加入者が集中しており、局舎と加入者宅の距離と幹線ファイバ数がサービス展開上の主な問題ではない場合、I-PON方式のすべての特長、機能はMSOの要求に合致したものになっている。

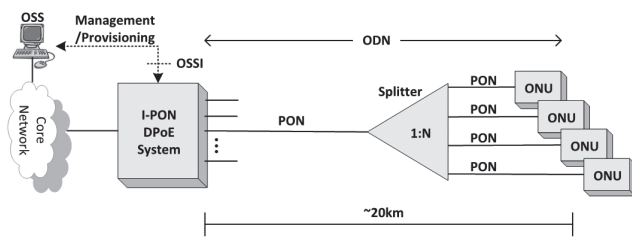


図2 I-PON方式

(2) I-PON+R (I-PONとリピータ) 方式

郊外やルールの地域など、局舎と加入者宅との距離が離れている場合、あるいは幹線ファイバ数がサービス展開上の制約となる場合、I-PON+R方式の採用が考えられる。こ

の方式ではI-PON方式のODN中にPONリピータが挿入される(図3)。当社は2006年に1G-EPONによるI-PON+R方式を提唱⁽⁴⁾、製品化を行った。10G-EPONでも当社はPONリピータの試作を行っている⁽⁵⁾。

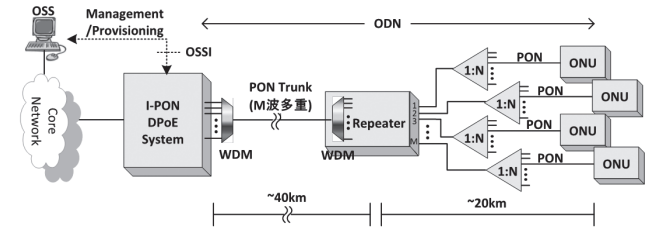


図3 I-PON+R方式

I-PON OLTとPONリピータ間をWDM光リンクで接続することにより、最大60kmの距離を確保し、同時に幹線ファイバの節約を実現することもできる。サービス提供可能なエリアが広がることにより、一つのI-PON OLT装置に収容する加入者数の増加が期待できる。ただし、OLTポート当たりの加入者数はI-PON OLTと同じであり、加入者数が増加した場合には、追加の波長あるいは幹線ファイバが必要となる。

(3) R-PON (Remote PON) 方式

DPoEのすべての機能仕様を備えた統合型R-PON方式を図4に示す。R-PON方式は局舎と加入者宅の距離と幹線ファイバ数の問題を解決することができる一方、I-PON方式では1台のOLTで提供されていた機能や容量を多くの独立したR-PON OLT装置により提供する。このため、サービス展開にあたっては、より多くのOLT装置を設置し、これらを維持、管理しなければならないという欠点もある。また、この方式ではR-PON OLTは一般にI-PON OLTで使われる大型筐体のスロット数を削減した小型筐体となり、それぞれにコストのかかる冗長スイッチ構成が必要という問題も抱えている。

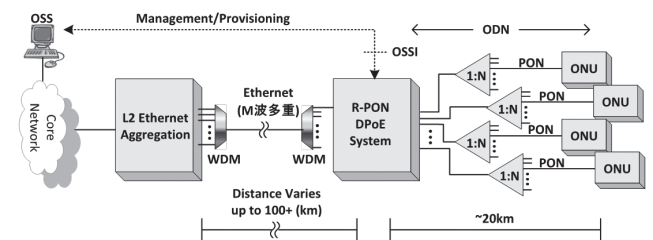


図4 R-PON方式

(4) M-PON (Modular PON) 方式

M-PON方式は2-1節で述べた第4および第5世代CMTSの最新の構成を取り入れたものである。M-PON方式では、I-PON方式の統合型OLTの回線カード内に集約されていた機能をM-PONコアと複数の独立したリモートMAC/PHYノードに分散配置する(図5)。

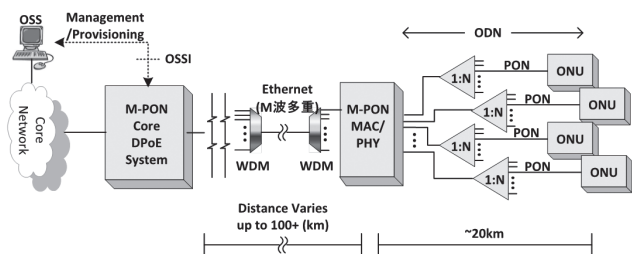


図5 M-PON方式

M-PON方式では、I-PON方式のOLTが持つ運用/管理機能やレイヤ2/レイヤ3ネットワーク機能^{※5}をM-PONコアが受け持ち、PON物理層、MAC層と上位プロトコルレイヤ等を局外設備であるリモートMAC/PHYが提供する。このリモートMAC/PHYは典型的なI-PON方式のOLTにおけるリモート回線カードと見ることができ、この方式では、すべてのシステム機能の管理をM-PONコアが提供する統合されたプロビジョニングおよび管理インターフェースで扱うことができる。この方式は上記三つの方式のよい部分を併せ持っており、M-PONコアがI-PON方式のPONポートとリモートMAC/PHYを同時に動作させることも可能である。

3-2 各方式の比較

分類した4つの方式について、各方式を比較したものを表3に示す。現在、展開されているI-PON方式からネットワーク機能の分散化を進める場合、M-PON方式が最も適切な方式である。

表3 各方式の特徴比較

	I-PON方式	I-PON+R方式	R-PON方式	M-PON方式
局舎/加入者宅間の距離	△	○	◎	◎
加入者分岐数	△	△	○	○
幹線ファイバ数	△	○	○	○
局舎設置スペース等	△	△	○	△
局外設備コスト	◎	○	×	△
機器の統一的管理	○	○	△	○

◎：より良い、○：良い、△：普通、×：劣る

4. FSU7100を使ったネットワーク構築

当社のFSU7100⁽⁶⁾はI-PON方式によるキャリア・グレードのOLT装置である。DPoE仕様をサポートし、MSOの一般加入者向けサービスとビジネス向けサービスの要求を満たす製品である。本装置は集線カード(FSW7112)を2枚収容して冗長構成を実現するとともに、最大16枚の回線カードを収容可能である。回線カードとして1G-EPON回線カード(FCM7121:1G-EPON 10ポート搭載)と10G-EPON回線カード(FCM7133:10G-EPON 8ポート搭載)を用意している。

4-1 FSU7100でのM-PON方式の実現

当社はFSU7100を使用したM-PON方式の実現のため、10Gイーサネット回線カード(FCM7151:10Gイーサネット 8ポート搭載)とリモートMAC/PHY装置FSR7143を開発した。リモートMAC/PHY装置FSR7143は4ポートの10G-EPONポートと4ポートの10Gイーサネットポートを搭載し、屋外設置が可能な筐体に収容される。FSU7100に装着した10Gイーサネット回線カードを介してリモートMAC/PHY装置を接続することにより、FSU7100が備える運用/管理機能、レイヤ2/レイヤ3パケット転送機能等、MSOがサービス提供時に要求するあらゆる機能を提供できる。

図6にFSU7100に10Gイーサネット回線カードおよびリモートMAC/PHY装置を接続した例を示す。リモートMAC/PHY装置は仮想的に17番目以降のスロットに装着された回線カードとして取り扱われ、直接収容された10G-EPON回線カード上の10G-EPONポート、およびその配下に接続されたONUと同様に運用、管理を行うことができるように設計されている。また、I-PON方式とM-PON方式のサービスを同時に提供することができることから、MSOは既存のサービスを継続しながら、分散アーキテクチャへの移行を進めることができる。

WDM光トランシーバを使用することで、局舎と加入者宅間の距離の延長、使用する幹線ファイバの数の削減というMSOの要求を実現している。10Gイーサネット回線カードとリモートMAC/PHY装置間を接続する10Gイーサネットポートを複数束ねるリンク・アグリゲーション機能を利用することで、加入者数の増加による通信トラフィックの増加に対して帯域拡張を行うことができ、幹線ファイバの冗長化を実現することも可能である。

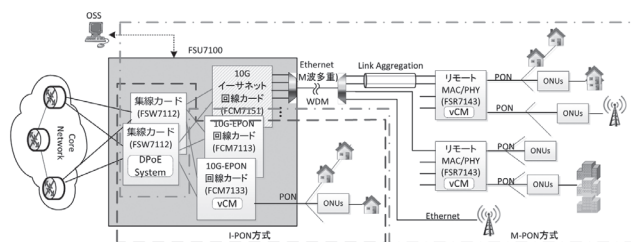


図6 FSU7100でのM-PON方式の実現

また、10Gイーサネットポートをビジネスサービス用に使用するオプションや、複数のリモートMAC/PHY装置をカスケード接続することにより加入者収容数を増やすオプション機能の開発を予定している。

4-2 分散M-PON方式、S-PON方式への移行

M-PON方式を実現したFSU7100およびリモートMAC/PHY装置FSR7143は、将来のソフトウェアアップグレードにより分散M-PON方式およびSDN^{※6} (Software Defined Network) / NFV^{※7} (Network Function Virtualization) を実現するS-PON (Software Defined PON) 方式への移行が可能である。

(1) 分散M-PON方式の実現構想

分散M-PON方式は、レイヤ2/レイヤ3のトンネリングプロトコルにより、FSU7100の集線カード上のDPoE機能と接続することで、ネットワーク上に設置されたリモートMAC/PHY装置を制御する方式である(図7)。

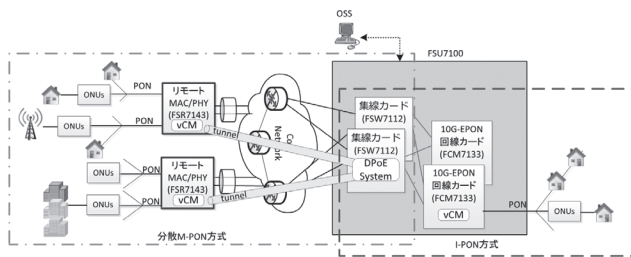


図7 分散M-PON方式の実現構想

この方式の実現により、現在のI-PON方式で課題となっているOLTと加入者宅間の最大距離、OLTあたりのポート数、ポートあたりの最大加入者数などを解決できる。M-PON方式で使用した場合と同じ機能、相互接続性、管理インターフェースを利用して、より柔軟なネットワーク構成が可能となる。

(2) S-PON方式の実現⁽⁷⁾

S-PON方式では、PONの物理層とMAC層の一部を除くすべての機能は、独立した市販のイーサネット・スイッチにより階層型に構築されたリーフ&スパイン型トポロジのスイッチネットワークと、コンピュータ・サーバが分担して実現する。分散M-PON方式においてFSU7100上で動作していたDPoE機能がコンピュータ・サーバ上で動作し、すべてのネットワーク構成要素は公開された標準プロトコルを使ってソフトウェア・ベースのコントローラとアプリケーションから設定されることになる。ただし、現時点ではこれらは標準化されていない。

図8はリモートMAC/PHY装置FSR7143のソフトウェアをアップグレードにより、S-PON方式に適合させた場合の例を示している。

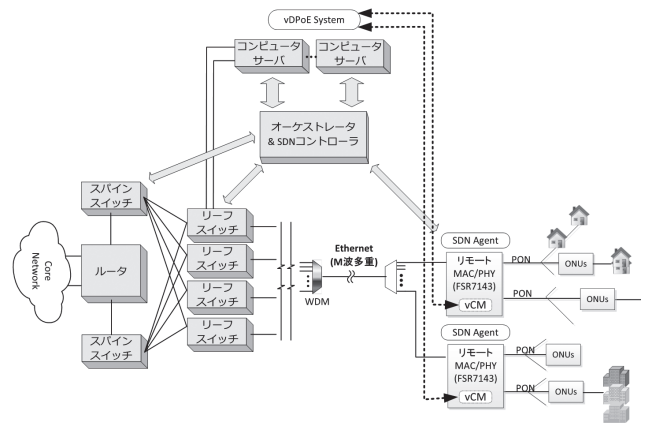


図8 S-PON方式の実現構想

4. 結 言

本論文では、MSOのアクセス網にPONを導入する際の課題を提示し、それらの課題を解決するより良い方法を理解するため、OLT機能を分割・再配置する四つの基本方式を提示し、比較を行った。MSOアクセス網にPONを導入する場合、M-PON方式を実現するリモート・デバイスを含むI-PON方式機器は、ソフトウェアのアップグレードにより、分散M-PON方式さらには将来のS-PON方式をも実現できることから、MSOにとって最良のパスであることを示した。この方式の実現のため、複数のMSOに認定されたI-PON方式のFSU7100に加えて、あらたにFSU7100に装着可能な10Gイーサネット回線カードFCM7151とリモートMAC/PHY装置FSR7143を開発した。

当社は今日のI-PON方式とM-PON方式を実現する製品から、次世代の分散M-PON方式、更に将来のS-PON方式に容易に移行可能なEPON製品を提供することで、MSOによるEPONアクセス網の展開を支援してゆく。

用語集

※1 MSO

Multi-System Cable Operators：ケーブルテレビ統括運用会社。

※2 DOCSIS

Data Over Cable Service Interface Specifications：ケーブルテレビ用の同軸ケーブルを利用して、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。

※3 エッジQAM

ビデオストリームをQAM（直交振幅変調）信号に変換するゲートウェイ装置。

※4 All IPサービス

データ、音声、映像、モバイル等、様々な種類のデータや情報をパケット化して、すべて IP（インターネット・プロトコル）によりサービスを提供するアーキテクチャ。

※5 レイヤ2/レイヤ3ネットワーク機能

レイヤ2（MACレイヤ）あるいはレイヤ3（IPレイヤ）の情報をを使用してパケット転送等を行う機能。

※6 SDN

Software Defined Network：ソフトウェアによって仮想的なネットワークを構築するための技術全般。

※7 NFV

Network Function Virtualization：ネットワーク機器の機能を汎用サーバの仮想化基盤上でソフトウェアとして実装する方式。

参考文献

- (1) CableLabs DOCSIS® 3.1, Physical Layer Specification, CM-SP-PHYv3.1-I11-170510 (May 10, 2017)
- (2) CableLabs DOCSIS® 3.1 Cable Modem Operations Support System Interface Specification, CM-SP-CM-OSSiv3.1-I10-170906 (September 6, 2017)
- (3) <https://www.cablelabs.com/specifications-library/dpoe/>
- (4) D. Umeda, et al., "Bidirectional 3R-repeater for GE-PON Systems," ECOC 2006, Mo4.5.6 (2006)
- (5) 梅田 他, 「伝送距離60kmを実現した10G-EPON用波長多重中継装置」, SEIテクニカルレビュー第190号 (2017)
- (6) 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 (2016)
- (7) T. Anschutz, et. al., "CORD: The Central Office Re-architected as a Datacenter," A White Paper, Proof-of-concept demonstration at Open Networking Summit, onosproject.org (June, 2015)

執筆者

アブラムソン ハワード*:

Sumitomo Electric Lightwave Corp.
VP



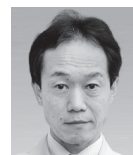
濱田 洋平：情報ネットワーク研究開発センター
主査



辻本 敬一：ブロードネットワークス事業部
主幹



松本 一也：Sumitomo Electric Lightwave Corp.
EVP



*主執筆者

・ DOCSIS は、米国 Cable Television Laboratories, Inc. の米国及びその他の国における商標または登録商標です。