

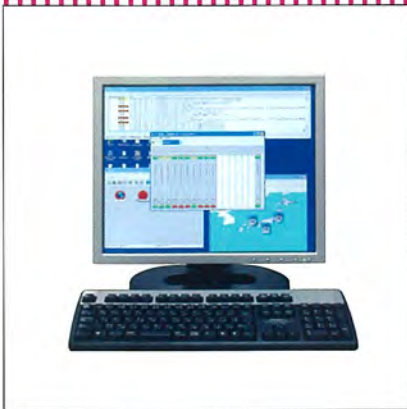
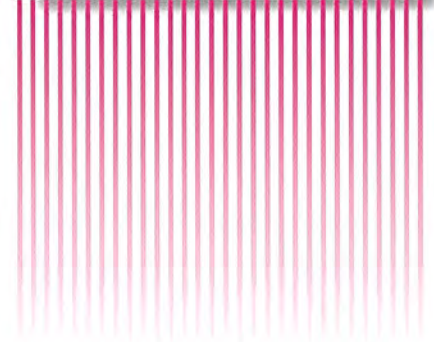
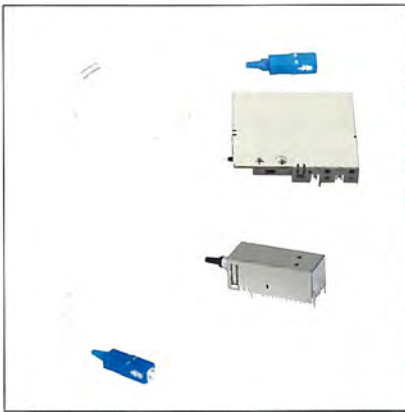
# MITSUBISHI

## 三菱電機技報

Vol.80 No.2

2006 **2**

特集「光アクセス技術」



目次

特集「光アクセス技術」

光アクセス技術特集に寄せて ..... 1  
中村元行

光アクセスシステムのトレンドと発展 ..... 2  
下笠 清・一番ヶ瀬 広・本島邦明

IPネットワークにおけるマルチメディア伝送の  
QoS評価と制御 ..... 7  
田坂修二

光アクセスシステムにおける標準化動向 ..... 11  
村上 謙・横谷哲也

トリプルプレーに向けたGE-PON技術 ..... 15  
武元理矢・堀田善文・山中秀昭・中瀬卓也・小島洋之

B-PON相互接続とONU開発 ..... 19  
上田広之・桶田幸成・横谷哲也・向井宏明

RPR対応光ネットワーク ..... 23  
曾田圭一・小林雅人・高橋克佳・北山健志

ケーブルテレビにおける放送・通信サービス ..... 27  
橋本孝治・岡畑英成・近藤清司・中澤宣彦・石野義行

光アクセス用光送受信器 ..... 31  
中川潤一・野上正道・野田雅樹・片山政利・韓 昌一

光アクセス用光デバイス ..... 35  
金子進一・羽田英樹

FTTHにおけるVoIP実現技術 ..... 39  
伏見 渉・鈴木茂明・小川 勇・矢島 久・鈴木克志

光アクセスシステム用オペレーションシステム ..... 43  
大田 聡・木田等理

光ホームゲートウェイ ..... 47  
羽根稔尚・名取英男・横谷哲也

通信・放送融合端末技術 ..... 51  
横山幸雄・牧野豊司

次世代ネットワーク(NGN)に向けた  
ネットワーク制御技術 ..... 55  
土田 充・横谷哲也・佐藤浩司

次世代PONシステムにおける基盤技術 ..... 59  
中川潤一・清水克宏・鈴木巨生・安部淳一

Optical Access Technology

Survey of Optical Access Technology  
Motoyuki Nakamura

Trend and Advance of Optical Access System  
Kiyoshi Shimokasa, Hiroshi Ichibangase, Kuniaki Motoshima

QoS Assessment and Control of Multimedia Transmission over IP Networks  
Shuji Tasaka

Status Toward Standardization at Optical Access Systems  
Ken Murakami, Tetsuya Yokotani

Technologies for the Triple Play with Gigabit E-PON Systems  
Michiya Takemoto, Yoshifumi Hotta, Hideaki Yamanaka, Takuya Nakase, Hiroyuki Ojima

B-PON Interoperability and the ONU Development  
Hiroyuki Ueda, Kosei Oketa, Tetsuya Yokotani, Hiroaki Mukai

Optical Networks based on RPR  
Keiichi Soda, Masato Kobayashi, Katsuyoshi Takahashi, Kenji Kitayama

Broadcasting Program and Broadband Service over Cable Television Access Network  
Koji Hashimoto, Hidenari Okahata, Kiyoshi Kondo, Norihiko Nakazawa, Yoshiyuki Ishino

Optical Transceiver for Optical Access Systems  
Junichi Nakagawa, Masamichi Nogami, Masaki Noda, Masatoshi Katayama, Han Changil

Optical Devices for Access Network Systems  
Shinichi Kaneko, Hideki Haneda

Technology of Voice over IP on FTTH  
Wataru Fushimi, Shigeaki Suzuki, Isamu Ogawa, Hisashi Yajima, Katsushi Suzuki

Operation System for Optical Access System  
Satoshi Ota, Toshimichi Kida

Residential Gateway for Optical Network  
Toshihisa Hane, Hideo Natori, Tetsuya Yokotani

Integrated Communication and Broadcasting Terminal  
Yukio Yokoyama, Toyoshi Makino

Network Control Technology for Next Generation Network  
Mitsuru Tsuchida, Tetsuya Yokotani, Koji Sato

Technologies for Next Generation Optical Access Systems  
Junichi Nakagawa, Katsuhiko Shimizu, Naoki Suzuki, Junichi Abe

特許と新案

「ネットワークによるデジタルコンテンツ配信システム」  
「光パースト送受信制御システム、これに用いる親局装置、  
子局装置および光パースト送受信制御方法」 ..... 63

「多段符号化方法、多段復合方法、多段符号化装置、  
多段復合装置およびこれらを用いた情報伝送システム」 ... 64

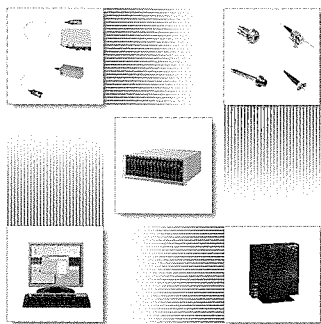
スポットライト

GE-PON型光アクセスシステム

表紙：光アクセス技術

三菱電機では、ブロードバンドユビキタス通信の足回りを提供する光アクセス装置及びそれを実現するための技術開発を行っている。この分野では、光を分岐することで低コスト化を図るPON(Passive Optical Network)方式実現のための長年にわたる技術蓄積に加えて、標準化及び半導体の微細加工技術をベースに、光部品並びにLSIのコスト低廉化が熟成し、光アクセスシステムが実用化されつつある。

表紙写真は当社の代表的な製品群であり、特にPONのネットワーク構成で最大64加入者装置を1 Gbpsの速度で、1本の光ファイバで分岐してサービスを提供するGE-PON用OLT(中)、及び加入者宅に置かれイーサネット回線を提供するONU(Optical Network Unit)(右下)を実用化した。また、オペレーション装置(左下)はOLTと接続し、保守監視機能を提供する。また、低コスト化の追求のために光コンポーネント及び光モジュールを自社開発している。写真の左上はGE-PON OLT及びONUで使用される1.25Gbpsパースト通信用光送受信モジュールを、写真右上にはそれを構成するコンポーネント(プリアンプ内蔵APD(Avalanche Photo Diode), FP-LD, BIDIモジュール, DFB-LDモジュール)を掲載している。



## 光アクセス技術特集に寄せて

Survey of Optical Access Technology



中村元行  
Motoyuki Nakamura

ITバブルがはじけ光通信ビジネスが厳しい時代に突入してから数年、市場は好転し、長年の課題であった国内主要キャリアによるFTTH(Fiber To The Home)サービスが実用化され、2005年8月には加入者300万超と、普及の兆しが現実になりつつある。いわば、FTTHサービスがこれまでの過去のプロジェクトの失敗をバネにようやくここに結実しつつあると言っても過言ではない。三菱電機においても、過去にFTTH関連の幾つかのプロジェクトが事業化に至らず消えていったが、今回、ここに1ベンダーとして、幾多の諸先輩の知恵と努力を結集して育ててきた光アクセス技術を継承発展し製品として結実させ、国内主要キャリアに実用化いただくに至ることができた。その結果として微力ながら社会に若干貢献を行い得たことや、光アクセスシステムが社会インフラとして定着しつつあることに対し、長年技術開発に携わった者の一人として大変感慨深いものがある。まさに、過去を振り返ったとき、光アクセス技術に長年にわたり寛容に開発投資いただいた諸先輩に対し感謝の念を禁じ得ない。

FTTHが実用化された要因について二、三考えてみたい。まず、国策としてのe-Japan戦略の推進によりブロードバンドサービスに対する推進体制が整ったことと、技術面として、従来のポイントツーポイント接続のメトリックベースの通信とは異なるポイントツーマルチポイント接続による経済性を追求したPON(Passive Optical Network)技術の進展したことが挙げられる。具体的には、NTTを始めとする国内主要キャリアで、光通信本来の特長である低損失・広帯域を生かしたPONの標準化への取り組みや、PONにかかわる技術開発プロジェクトが推進され、これを受けて装置ベンダー及び部品ベンダーによる高機能かつ低コストが可能な装置及びデバイスへの取り組みが従来にも増してなされるようになったことも見逃せない。これらの取り組みが結集し、半導体の微細加工技術をベースとしたLSIの開発動向とも適合し、アクセス速度が数百Mbps

からGbpsクラスで実用化のレベルに入ってきたと言える。キャリアにとっては、光アクセスシステムのうち、き線点までの光化は従来推進されてきたものの、各加入者の所まで光ファイバをひくネットワークの置き換えは、加入電話普及期以来の数十年に1度の大事業とならざるを得ない。今後光アクセスシステムが普及範囲を拡大しFTTHサービスとして真の社会インフラに成長し得るかについては、将来性も含め更に検証が必要と考えられる。特に、最近提唱されているユビキタスネットワーク、携帯電話のバックボーンに要求されるFMC(Fixed Mobile Convergence)及び次世代ネットワークNGN(Next Generation Network)の足回りの実現方式に対し、機能、性能面で問題がないかなどは今後の検証のかなめとなろう。そのためには、更に幾つかの技術の進歩が必要と考えられるものの、現在のところこのPONをベースとした光アクセスシステムがそのソリューションとして最右翼にあると考える。

このような中、本誌にて「光アクセス技術」特集号を出すことは真に時節を得たものであり、微力ではあるが光アクセスシステムの技術開発に長年注力してきた当社の足跡をご高覧いただければ幸いである。光アクセス技術分野は、光伝送技術などのレイヤ1機能だけでなく、イーサネット通信技術、セキュリティ、認証技術、オペレーション、情報端末技術など多岐にわたる。この特集号に掲載している論文がカバーする領域はその中でもほんの一部に過ぎず、また、各々の技術も必ずしも成熟していないものもあると考えている。

当社は、更なるFTTHの広範囲な発展を目指し、技術の深掘りや拡大をしていく所存であるが、読者の皆様により一層ご指導ご鞭撻(べんたつ)をいただければ幸いである。

最後に、光アクセス技術の発展によって、光アクセス市場が今後ますます活況を呈すことを念願する次第である。

# 光アクセスシステムの トレンドと発展



下笠 清\*



一番ヶ瀬 広\*\*



本島邦明\*\*\*

## Trend and Advance of Optical Access System

Kiyoshi Shimokasa, Hiroshi Ichibangase, Kuniaki Motoshima

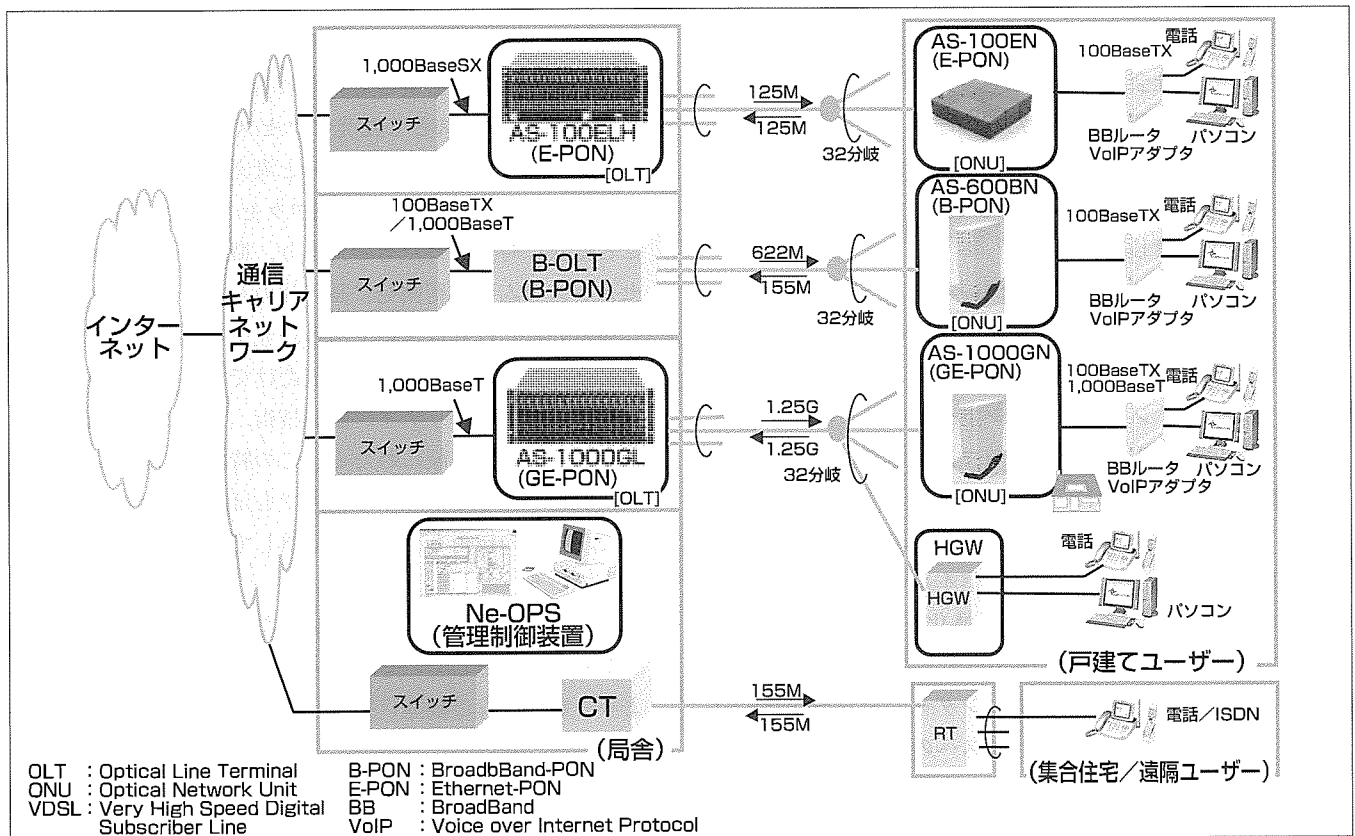
### 要 旨

ブロードバンドインターネットが急速に普及してきた中で、2002年から光通信によるFTTH(Fiber To The Home)サービスが始まった。日本国内では2005年9月には加入者がほぼ400万加入となり、2005年末には500万加入に到達する勢いで、FTTHはCATV(Cable Television)を抜いてADSL(Asynchronous Digital Subscriber Line)に次ぐ第2の伝送メディアになった。FTTHは長年の光通信技術者の夢であったが、中継系が光化されてから20年、実に長い年月がかかったことになる。

下図に、アクセス系に適用する三菱電機の装置構成を示す。従来のアクセス系は、遠隔に集中している加入者に対して複数のメタル回線を光で集約するCT/RT(Central Terminal/Remote Terminal)方式であった。これに対し、アクセスラインに光スプリッタを置き、複数加入者を

1本の光ファイバで収容するPON(Passive Optical Network)方式の登場で停滞していた研究開発が加速化した。当初は150MbpsのPONが主流であったが、LSI技術の進歩により1Gbpsで動作する回路が安価に集積化できるようになり、光アクセスの伝送速度が低コストを維持しつつギガビットまで飛躍的に増加した。さらに、標準化による仕様の統一、光伝送部品の低コスト化の追及、イーサネット通信技術の確立・適用などの技術進歩の結果がここに来て結実し、ようやくFTTHが今花開こうとしている。

この特集では、光アクセスシステムの変遷、光アクセスシステムを支える主要な技術である光送受信器技術、PON制御技術、レイヤ2制御技術、QoS(Quality of Service)技術、監視制御技術等について、当社での取り組みを中心にその概要を述べる。



### 光アクセスシステム

当社製品が適用可能な光アクセスシステムを示す。光アクセス系にPON技術を適用することで低コスト化が図られてきた。将来にわたる次世代ネットワーク及びユビキタスネットワークの足回りとして期待されている。

## 1. ま え が き

従来の電話サービス又は電話網を利用してのデータ通信から、2005年6月末にはブロードバンドインターネット契約が2,000万加入を突破し、新たなサービスとして急速に普及してきた。その中でまず普及したのがCATVの空チャンネルを利用したケーブルモデムによる伝送技術であり、その後ADSLによるメタル線上での広帯域化技術が開発され、1,000万加入を超えるブロードバンドが主役となった。しかしながら、場所(電話局からの距離)によっては伝送帯域に制約があり、万能というわけではなかった。これに対して、十分に帯域が広い光通信のアクセス系への導入が長年の間期待されていたが、コストの壁を越えられなかった。1990年代に入って、光アクセス低コスト化のために光スプリッタで分岐して複数ONUに接続するPON技術が提案された。当初は欧州、日本などで独自の方式で開発が進められたが、1998年にITUでATM(Asynchronous Transfer Mode)-PON又はB-PONとして標準化が制定された<sup>(1)</sup>。これによって特に光部品の仕様が共通化され、急速に低コスト化が進み、アクセス系への光通信の導入が現実味を帯びてきた。2005年6月にはFTTHの契約数が約340万加入に、2005年度末には500万加入が見込める状況となり、ADSLに次ぐブロードバンドサービスの足回りとなった(図1)。

本稿では、まずこれまでの光アクセスシステムの変遷についてそのサービスとアーキテクチャについて述べる。その上で、これらの装置に適用してきた光アクセスシステム

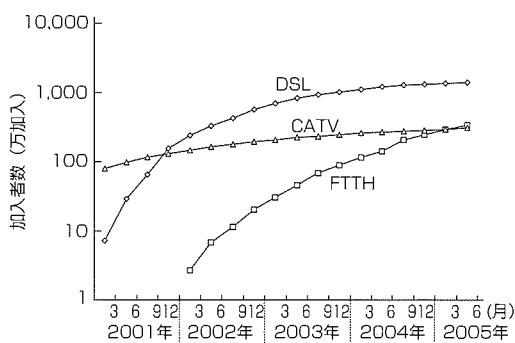


図1. ブロードバンド契約数の推移<sup>(2)</sup>

を支える主要な技術である光送受信器技術、PON制御技術、レイヤ2制御技術、QoS技術、監視制御技術等についての当社での取り組みの概要について述べる。

## 2. 光アクセスシステムアーキテクチャの変遷

この章では、光アクセスシステムのアーキテクチャ、技術の変遷について振り返ってみる。

### 2.1 FTTxシステム

1980年代に入り中継系において同軸伝送方式が光ファイバ通信に置き換えられ、1990年代に入りSDH(Synchronous Digital Hierarchy)による多重化階梯(てい)の同期化及びビットレートが標準化され、光通信が普及期に入った。当初実用化されたのは、加入者が遠隔地に集中する場合に複数のメタル回線を光ファイバで集約して伝送し、低コスト化を図る光加入者線多重伝送方式であった。伝送するサービスはISDN(Integrated Services Digital Network)基本及び1次群信号、低レート専用線、POTS(Plain Old Telephone Service)サービスであり、多重化による経済性が見込める地域から普及していった。また、ADSL普及に伴い、ADSL装置を遠隔に置く、DSLAM(Digital Subscriber Line Access Multiplexer)方式が導入された。CATVの分配系には、光のアナログ伝送により性能改善を行うHFC(Hybrid Fiber Coaxial)方式が開発された。

### 2.2 FTTHシステム

FTTH導入の動きは1980年代から始まった。1990年代になってから、アクセス区間に光スプリッタを配備して、下り信号光を複数の加入者に分岐し、上りを時分割多元接続(Time Division Multiple Access: TDMA)するPON方式の研究開発が始まった。当初は100Mbps以下のビットレートであったが、その後、SDHのハイアラキに則して150Mbps/600Mbpsへと帯域を延ばしていった<sup>(3)</sup>。当初このPON方式の適用はATM専用線を用いたシステム<sup>(4)</sup>で、その後、イーサネットインターフェースを提供するFTTHシステムへと展開された。PONの標準仕様は、1998年にITUにおいてG.983シリーズとして勧告化された。同時期に100Mbpsの独自PON方式も経済性が図れるものとして開発され一部地域で実用化された<sup>(5)</sup>。表1に光アクセス方

表1. PON方式比較

光アクセス方式	標準化	伝送速度	TDMA制御	提供サービス
独自E-PON	非標準	下り125Mbps 上り125Mbps	ポーリング	インターネット
B-PON	ITU-T G.983 シリーズ	下り150M/600Mbps 上り150Mbps	グラント制御	インターネット, VoIP
GE-PON(Gigabit Ethernet-PON)	IEEE802.3ah	下り1.25Gbps 上り1.25Gbps	グラント制御	インターネット, VoIP, IPビデオ
G-PON(Gigabit-PON)	ITU-T G.984 シリーズ	下り2.488Gbps 上り1.244G/2.488Gbps	タイムスロット割付	未定
SS(Single Star) (メディアコンバータ)	IEEE802.3ah TTC TS-1000	下り125M/1.25Gbps 上り125M/1.25Gbps	-	インターネット

TTC: Telecommunication Technology Committee

式比較を示す。米国ではB-PON方式がトリプルプレーサーサービス(POTS, インターネット, CATV)に適用され、一部地域で実用化された。

### 2.3 PONのギガビット化

ここ1, 2年でPONはギガビット化され、コンピュータ通信の標準化を監修してきたIEEE802.3委員会でもコンピュータ端末から見たファーストマイルの伝送方式としてギガビットクラスのラインインタフェースの必要性を認識し、1.25GbpsのPONインタフェース802.3ahの標準化を2004年5月に完成した。国内では、各オペレータがこの標準に従った装置を2004年度中にGE-PON(Gigabit Ethernet-PON)システムとして実用化した。ITUでは1.2Gbps及び2.4GbpsのG.984シリーズとして標準化された。これらの標準に即したチップもチップベンダーから提供され、また、光伝送デバイスの開発により装置コストが下がり、ギガビットPONのFTTHへの適用が急速に進みつつある。図2に市場のサービス動向と光アクセスシステムのロードマップを示す。以下、次章でこれらを支える要素技術について述べる。

## 3. 光アクセス装置を支える技術

この章では、光アクセス伝送装置を支える上で必要な技術の開発動向を示す。光アクセス技術は、光デバイス技術、光送受信器技術、PON制御技術等のレイヤ1に関するものだけでなく、イーサネット制御技術、暗号認証技術、VLAN(Virtual Local Area Network)、優先制御等のレイヤ2技術、VoIP技術、ホームゲートウェイ、端末技術など高位のレイヤにまたがる技術からなっている。次節以降に当社で取り組んできた技術について概説する。

### 3.1 光送受信器技術

PON方式による光送受信器の技術課題は、上りのためのバースト光送受信技術と伝送路に光スプリッタが挿入されることによる伝送損失を補償する局側装置OLT、加入者側装置ONUそれぞれの高光出力化と受光感度の向上である。

まず、前者のバースト光送受信制御に対しては、連続

AGC(Automatic Gain Control)方式によるバースト光受信回路、フィードフォワード形APC(Automatic Power Control)方式によるバースト光送信回路を開発した<sup>(8)(9)</sup>。異なる距離に置かれるONUからのバースト信号を取りこぼすことなく受信するために、各バーストの先頭で光のバーストの大きさに依存せずに短時間でバーストのビット同期をとることが必要である。特にギガビットクラスのPONでは、伝送距離増大のためのFEC(Forward Error Correction)が定義されており、誤りが発生している中でも正確にビット同期できる仕組みが要求される。当社では、この機能を8相クロックによるDLL(Delayed Lock Loop)を内蔵する1チップLSIを開発することにより実現した<sup>(10)</sup>。

後者の広ダイナミックレンジ化については、OLTにおいて、SiGe BiCMOS(Bipolar Complementary Metal Oxided Semiconductor)プロセスを適用したプリアンプICとリミッティングICを開発し、バースト対応プリアンプの利得制御方式として連続AGC方式を採用した。また、ONUの光出力レベル制御には、フィードフォワード型APC方式を適用した。

また、光送受信器の実装方式は、低コストで実装するためにパッシブアラインメント方式を採用している。また、光デバイスとしては、局側のOLTには高出力かつ広温度動作可能なDFB(Distributed FeedBack)レーザと高効率な非球面レンズ光学系を組み合わせたモジュールの開発、受信モジュールには高感度APD(Avalanche Photo Diode)と低雑音プリアンプICの採用により受光感度の向上を図った。

### 3.2 PON制御技術

PONの通信において、キーとなる技術は上りのTDMA制御技術である。伝送効率を上げるため、事前に各ONUまでの遅延時間を測定し、最遠端のONUからの送信タイミングに合わせて送信する遅延制御が使われている。また、下り方向では信号の宛先(あてさき)制御を行うため、ONUごとの宛先を情報に応じてその都度宛先を設定する仕組みを入れている。B-PONでは、これをATMのVPI(Virtual Path Identifier)により実現し<sup>(2)</sup>、GE-PONではEthernet パケットをベースにLLID(Logical Link Identification)を付与し、このLLID単位でのパケット処理をするMPCP(Multipoint to Point Connection Protocol)プロトコルを定義した<sup>(6)</sup>。G-PONでは、上りTDMAのためのタイムスロットをOLTから指定する方式をとっている<sup>(7)</sup>。

当社は、これまで、独自E-PON方式等のOLT及びONUの開発を行うことで技術を蓄積し、この技術を基にB-PON方式でのOLT/ONUの開発を行った<sup>(5)</sup>。これらの経験を基に、ビットレートを1けた上げてGE-PON装置を開発した<sup>(11)</sup>。特に上りTDMA制御では、遅延及びスループットなどの伝送性能に対して、DBA(Dynamic Band-

年度	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
国内加入者	2.6万	30万	200万	500万	1,000万	1,500万	2,000万
市場	ベストエフォート		品質保証		高付加価値サービス		
	インターネット		光IP電話				
	光映像: CATV/VOD						
製品	CT/RTシステム						
	独自PON						
	ITU-T B-PON						
			IEEE GE-PON, ITU-T G-PON		10G/WDM-PON		

VOD: Video On Demand  
 ITU-T: International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector  
 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

図2. 光アクセス装置のロードマップ

width Assignment)と呼ばれる上りの伝送制御が必要となるが、当社独自のDBAについても提案・開発することで、伝送効率の性能向上を図ってきた<sup>(12)</sup>。

### 3.3 暗号，認証技術

ネットワークを介した遠隔通信や商品取引での個人情報保護などの観点で暗号認証技術が注目されているが、PONネットワークでは1対多接続通信を採用しているため、レイヤ1においても暗号，認証機能が要求される。B-PON標準では簡易なChurn方式による暗号が用いられたが、米国政府標準のAES(Advanced Encryption Standard)といった強固な暗号方式がIEEE標準にも導入された。

認証については、B-PONではONUのOpS(Operation System)への登録を条件に通信手順の確立を行い、GE-PONではディスクバリ手順が加わり、ONUが回線に接続されれば自動的にPONリンクが確立する方式を採用しているため、正規なONUと接続するための認証機能が取り入れられるようになった。

### 3.4 VLAN機能，優先制御機能

B-PONはATM多重，GE-PONはパケット多重，G-PONではTDM(Time Division Multiplex)多重を採用し、アクセス系でサービス多重するには、それぞれの多重化レイヤで優先制御が不可欠となっている。特にGE-PONではすべてイーサネットフレームを送信するため装置の作りが簡単になる反面、多種サービスの適用ではサービスごとの要求に応じたQoS制御が要求され、複数加入者へのサービス提供，加入者群ごとの契約により、それぞれのサービス品質を確保するため、VLAN機能の搭載が不可欠となった。

### 3.5 VoIP技術

IP電話サービスが実用化開始され、特に光アクセスを用いてIP電話の“0ABJ番号”化が推進されている。当社でもHGW(Home GateWay)の開発を行った。特にHGWで実現される主要な技術である音声信号の伝送を行う音声ストリーム制御技術，電話端末同士の接続を制御する制御技術を開発した。

### 3.6 光アクセス用オペレーション

従来，光アクセスシステムのオペレーションシステムは、汎用ネットワーク管理マネージャーによる集約監視や、CIT(Craft Interface Terminal)による個体監視で運用監視を行うことが多かった。しかしながら，光アクセスシステムの大容量化に伴い，オペレーションシステムにも大規模かつ高度な運用監視が求められている。当社では，これにこたえるためにHP社製汎用ネットワーク管理マネージャー(OpenView Network Node Manager)に自社開発の専用管理アプリケーションを組み込むことでこれを実現した。

この特集では，別論文で，オペレーションシステムの構

成と特長について述べるとともに，専用管理アプリケーション開発に使用したJava<sup>(注1)</sup>共通プラットフォームM3での開発技術についても述べる。

### 3.7 映像サービスの収容

光アクセスシステムで伝送されるサービスは，従来の電話サービスに加えて，インターネット接続用データサービスが加わった。さらに，今後は映像サービスの取り込みが期待される。FSAN(Full Service Access Network)/ITUではこれを想定し，B-PON標準化の際に下り波長多重にて映像信号を別波長で送る仕様が規定された。特に北米ではこの波長を使用したCATVサービスが期待され，一部に導入されている。

映像サービスの別なアプローチとして，IP化された映像信号を取り扱う方法についても検討されている。こちらの方はNGN(Next Generation Network)で検討されているイーサネットフレームを前提とした転送ネットワークとの親和性が良いのと，デジタルTV放送の普及とあいまって急速に進展する可能性がある。

一方，ケーブルテレビにおけるアクセスネットワークでは，サービス，ネットワーク，端末での放送・通信の連携，IPインフラの高度化，地上デジタル放送の2011年全面移行などに向けて，高速又は超高速なインフラ整備を目指している。HFC，FTTC(Fiber To The Curb)からFTTH型ケーブルテレビへネットワークの高度化を含め，ケーブルテレビインフラを活用し，新サービスに対応した最適なソリューションを提供したネットワークへ進化していく傾向にある。

## 4. 将来の技術

この章では，将来PON技術の研究開発動向につき，当社での取り組みを中心に述べる。

### 4.1 次世代PONシステム

ITUでは下り2.5Gbps，上り1.25GbpsまでのPONの標準化が完了した。FTTHサービスでは，速度としては十分であると思われるが，大容量の専用線が必要なビジネスユーザーが集中している領域などでは，更に高速なPONシステムの要求がある。また，FTTHサービスとこれらのビジネスユーザーへのサービスをWDM(Wavelength Division Multiplexing)で多重化するなどの可能性があるWDM-PONシステムの研究が活発に行われている。当社では，10Gbpsの光インタフェース部の試作を行い良好な特性を得たこと，及びWDM-PONシステムでキーとなるONU用SOA(Semiconductor Optical Amplifier)-EA(Electro Absorption)-SOA集積化デバイスを開発したので，この特集論文で述べる。

(注1) Javaは，Sun Microsystems Inc. の登録商標である。

## 4.2 NGNに向けたネットワーク制御

携帯電話と固定電話とが融合するFMC(Fixed Mobile Convergence)を実現する将来のネットワークとして、NGNについてITUを中心に検討されつつある。NGNでは、従来の電話網と同等以上の品質・安全性を確保するため、各ネットワーク内網内リソースを管理し、要求に応じて適切な割当て制御を行うとともに、ネットワーク境界のゲートウェイ機能により、流入トラフィックの制限・ネットワーク構成情報の隠蔽(いんぺい)等のQoS・セキュリティ保護を行う。また、必要に応じ、アドレス変換やプロトコル/メディア変換(インタワーキング)等を実施し、ネットワーク間の相互接続性確保を行う。セッションボーダーコントローラ(Session Border Controller:SBC)は、上記を実現する機能であり、今後、重要性が高まると考えられる。

## 5. む す び

光アクセス関連の技術の中で特に当社で取り組んできた技術について概説した。それぞれの詳細については後続の特集論文を参照願いたい。

光アクセスの今後の予測として2010年に3,000万加入FTTH普及などと言われているが、更に低コスト、高機能、高性能を実現する技術的ブレークスルーが必要であろう。当社でも、今後これを契機になお一層技術力の向上に精進し、更にもう1段高いレベルを目指す所存である。

## 参 考 文 献

(1) ITU-T Recommendation G.983.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

(2) 総務省情報通信統計データベース, ブロードバンドサービス等契約数の推移【平成17年6月末現在】

(3) 中本博司, ほか: 国際標準ATM-PDSインタフェースを適用したATMアクセスシステムの構成法, 電子情報通信学会技術研究報告, CS98-135, 21~28 (1998-12)

(4) 土田 充, ほか: ATM加入者線伝送システム, 三菱電機技報, 71, No.2, 172~175 (1997)

(5) 牧野真也, ほか: 光アクセスシステム技術, 三菱電機技報, 76, No.12, 763~768 (2002)

(6) IEEE802.3ah標準

(7) ITU-T G.983.3/G.983.4 標準

(8) 小宮 剛, ほか: 1.25Gbit/s光加入者用ONU光送受信器の開発, 電子情報通信学会全国大会, B-10-86 (2003-3)

(9) 野上正道, ほか: APDを用いた1.25Gbit/sバースト受信器, 電子情報通信学会ソサエティ大会, B-10-40 (2003-9)

(10) 小崎成治, ほか: GE-PON向けバーストCDR-LSIの開発, 電子情報通信学会全国大会, B-10-90 (2003-3)

(11) 向井宏明, ほか: PONにおけるバッファ量通知方式に関する考察, 電子情報通信学会全国大会, BS-8-13 (2005-3)

(12) 武元理矢, ほか: GE-PONにおける遅延時間を考慮した帯域制御方式の一提案, 電子情報通信学会全国大会, B-8-10 (2005-3)





田坂修二\*

# IPネットワークにおけるマルチメディア伝送のQoS評価と制御

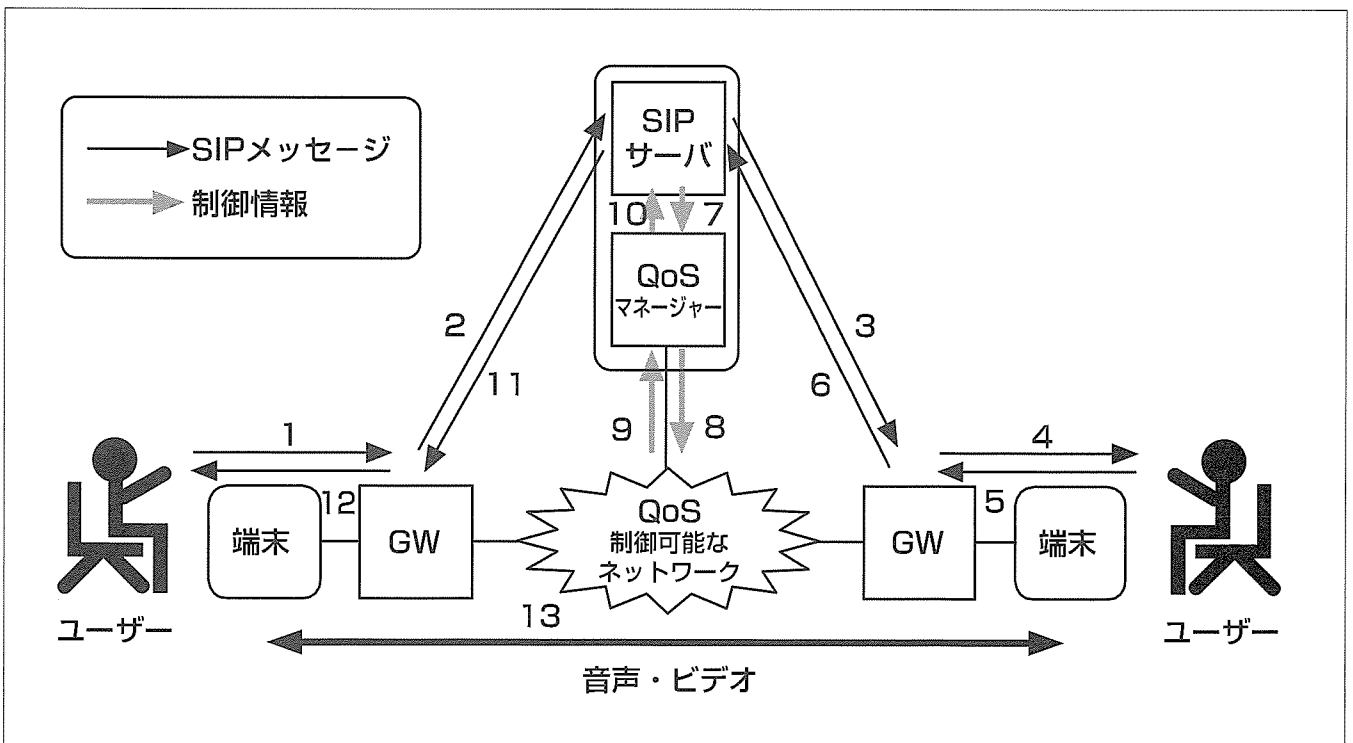
QoS Assessment and Control of Multimedia Transmission over IP Networks

Shuji Tasaka

## 要旨

次世代のネットワークインフラストラクチャとなりつつあるマルチメディアIP(Internet Protocol)ネットワークにおいて、ユーザーの主観品質(ユーザーレベルQoS(Quality of Service: サービス品質))保証を実現するための方法論を議論する。マルチメディアアプリケーションの基本構成要素となる音声・ビデオ伝送を対象とし、そのユーザーレベルQoSの測定・評価法、リアルタイム推定法、QoS保証のための制御法を考察する。まず、IPネットワークにおける階層ごとのQoSを定義し、QoSマッピングとQoSパラメータの概念を導入する。そして、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication sandardization sector) 勧告のNGN(Next Generation Network)におけるQoSの位置付けを行い、この勧告だけではユーザーレベルQoS保証の枠組みとして十

分でないことを述べる。また、ITU-TとITU-R(ITU-Radio communication sector)の勧告を中心として、現在利用可能なユーザーレベルQoS評価方法を概観する。次に、マルチメディアQoS研究の現状を概説し、従来研究や勧告の問題点を指摘する。特に、ITU-T及びITU-R勧告のユーザーレベルQoS評価方法は、IPネットワークにおける音声ビデオ同時伝送のリアルタイム推定には利用できないことを指摘する。続いて、ユーザーレベルQoSの測定及び推定方法を考察し、リアルタイム推定の一方法を提案する。さらに、所望のユーザーレベルQoSを満足するようなQoS制御実現のために行った簡単な予備実験の結果について述べる。最後に、下図に示すユーザーレベルQoS保証のためのQoS制御方式に言及する。



## ユーザーレベルQoSを保証するQoS制御

音声・ビデオ伝送を伴うマルチメディアアプリケーションにおいて、ユーザーは所望の主観品質(ユーザーレベルQoS)を指定する。ゲートウェイ(GW)は、指定されたユーザーレベルQoSと端末属性情報などをSIP(Session Initiation Protocol)サーバ、QoSマネージャーとやり取りする。QoSマネージャーは、ユーザーレベルQoS値とネットワーク資源のマッピング関数データベースを参照し、必要なネットワーク資源を確保する。端末は、ユーザーレベルQoSを常時監視し、必要に応じてQoSマネージャーへQoS制御の依頼を行い、所望のユーザーレベルQoSを達成する。

\*名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 教授

Professor, Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

## 1. ま え が き

インターネットに代表されるIPネットワークは、その急速な普及により、新たなネットワークインフラストラクチャとなりつつある。ITU-Tでも、この流れをNGNと位置付け、Y.2000シリーズの勧告として、活発な標準化活動を行っている。

IPネットワークは、そのコア部分の光化のみならず、光アクセス網や高速無線アクセス網の導入により、エンドツーエンドでの高速サービス提供を可能にしつつある。

高速化に伴い、そこで提供されるアプリケーションサービスは多様化してきている。なかでも音声やビデオなどの連続メディア伝送は、これらアプリケーションの基本構成要素となっている。

多様なマルチメディアアプリケーションサービスを高品質で実現するためには、そのQoSを的確に評価・制御できなければならない。特にサービス利用者が主観的に感じる品質、すなわち、ユーザーレベルQoSを所望のレベルで達成できるようなQoS制御の実現が理想的である。そのためには、ユーザーレベルQoSを定量的に測定・評価し、さらには、推定できることが前提となる。高度なアプリケーションを実現するためには、サービス中のネットワークにおけるユーザーレベルQoSのリアルタイム推定技術が重要となるのである。

そこで、本稿では、IPネットワークにおける音声・ビデオ伝送に焦点を合わせ、マルチメディアアプリケーションのユーザーレベルQoSの測定・評価、推定及び制御の方法を議論する。

## 2. IPネットワークにおけるQoS

### 2.1 QoSとQoSマッピング

IPネットワークにおけるQoSは、その階層に従って、物理レベル、ノードレベル、ネットワークレベル、エンドツーエンドレベル、アプリケーションレベル、ユーザーレベルの6レベルに分類できる<sup>(1)</sup>。

ネットワークでのサービス提供の最終目標は、ユーザーレベルQoSを保証することにある。したがって、所望のユーザーレベルQoSを達成できるように下位層のQoSを制御する必要がある。異なる階層間のQoS対応付けをQoSマッピングと呼ぶ<sup>(1)</sup>。ユーザーレベルQoSの推定や保証のための制御は、いずれもQoSマッピングによって実現される。

QoSは、QoSパラメータによって定量的に表現される<sup>(1)</sup>。その適切な決め方は簡単ではない。エンドツーエンド以下のQoSパラメータは、基本的にはメディア種別に依存していない。スループット、遅延、欠落率、誤り率が典型例である。これは、IPネットワークが階層化アーキテクチャを採用していることから生じる当然の性質である。

一方、アプリケーションレベルQoSパラメータは、メディアごとに考える必要がある。音声のPESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) とR値、ビデオのPSNR (Peak Signal to Noise Ratio) は、その例である。音声やビデオのような連続メディアの場合には、そのアプリケーションレベルQoSには時間構造品質を反映させなければならない。また、マルチメディアの場合には、複数メディア間の時間関係を表現するQoSパラメータも不可欠となる。

メディアの時間構造を考慮したアプリケーションレベルQoSは、メディア同期品質である。メディア同期は、メディア内同期、メディア間同期、端末間同期に分類される<sup>(1)</sup>。

ユーザーレベルQoSパラメータは、人の主観を表現する尺度であるので、アプリケーションレベル以下とは異なった方法によって求める必要がある。よく用いられるのは、平均オピニオン評点 (Mean Opinion Score : MOS) である。

### 2.2 NGNにおけるQoS

NGNについては、IPネットワークに関してNetwork Performanceと称して、ネットワークレベルQoSに相当するものが定められている。さらには、エンドツーエンドレベルとアプリケーションレベルのQoSに対応するものを、Quality of Serviceと呼んでいる。

NGNでは、ユーザーレベルQoSは、QoE (Quality of Experience) と呼ばれ、規定外になっている。そのため、勧告されているQoSパラメータ値が所望のユーザーレベルQoSを達成する保証はない。レベルが低すぎる可能性があるし、過度の要求となってネットワーク資源の非効率的な使用となっているかもしれない。

### 2.3 音声・ビデオのユーザーレベルQoS評価法

音声とビデオの主観品質 (ユーザーレベルQoS) の客観評価の方法は、ITU-TやITU-Rで勧告されている。音声については、ITU-TでPESQを定めたP.862や、E-modelのG.107が有名である、ビデオについては、ITU-R BT.500やITU-T P.910, J.143などがある。これらの勧告は、ユーザーレベルQoSパラメータとしてMOSを用いている。

## 3. マルチメディアQoS研究の現状と課題

IPネットワークにおける6レベルのQoSのうち、エンドツーエンド以下のレベルのQoSについては、従来多くの研究が行われている。しかし、アプリケーションレベルとユーザーレベルのQoSについては、IPネットワークの観点からの研究は少ない。なかでも、マルチメディアのユーザーレベルQoSについては、限られた条件の下でのわずかな研究が行われているにすぎない。

IPネットワークの観点からのユーザーレベルQoSに関する従来研究のほとんどは、音声 (Voice over IP : VoIP) のみか、又は音声なしのビデオのみ、若しくはコンピュータデータのみのいずれか一つのメディアを対象としているに

すぎない。この問題は、ITU-TやITU-Rの品質評価の勧告にも見られる。このことは、ITU-Tでも認識され、主観品質評価においてモダリティ間の影響(Cross-modal influence)を考慮に入れることの必要性が勧告J.148として2003年5月に出されている。しかし、勧告J.148もIPネットワークを考慮したものではない。

また、従来研究では、ユーザーレベルQoSパラメータとしてはMOSだけが用いられている。MOSは、基本的には順序尺度(大小関係のみが意味を持つ：序数尺度とも呼ぶ)<sup>(2)</sup>であり、その値自身に意味がある尺度(比率尺度：比例尺度とも呼ぶ)<sup>(2)</sup>でも、値の差に意味のある尺度(距離尺度)<sup>(2)</sup>でもない。したがって、MOSは、単一メディアの主観評価には頻繁に使用され実際的には有用な尺度であるが、マルチメディアに対して適切な尺度である保証はない。

さらに、従来のユーザーレベルQoS評価方法は、IPネットワークでのリアルタイム推定には使用できない。例えば、PESQ評価は、原音声を必要とする、いわゆるFull Reference(FR)法であり、サービス中のネットワークでは使用できない。E-modelもネットワークプランニングを目的としたものである。ビデオのITU-TとITU-Rの勧告も、そのほとんどがFR法である。これに加えて、これらのビデオ評価方法は、基本的には専用線を用いたテレビ中継システムや放送を対象としており、品質劣化要因として、パケットネットワークの特徴であるパケット損失や遅延、遅延揺らぎを考慮していない。

以上から、IPネットワークの観点から従来研究と国際標準勧告の問題点をまとめると、次のようになる。

- (1) 音声又はビデオのみの単一メディアを扱っている。したがって、モダリティ間の影響まで考慮して、両メディアを同時に扱う必要がある。
- (2) ユーザーレベルQoSパラメータとして、MOSだけが用いられている。少なくとも距離尺度となるQoSパラメータの導入が必要である。
- (3) ユーザーレベルQoSのリアルタイム推定法は、ほとんどない。
- (4) ユーザーレベルQoS保証のQoS制御技術がない。

#### 4. ユーザーレベルQoSの測定及び推定法

##### 4.1 測定法

ユーザーレベルQoSの測定・評価は、基本的には、評価対象(音声やビデオ)を複数の被験者に提示し、各被験者に主観的に判断してもらうことによって行われる。代表的な方法は、評定尺度法である。この方法では、例えば、品質が“非常に良い”から“非常に悪い”の5段階の κατηγοリーを用意し、それらに5から1の数値を付与する。一つの対象の判断結果数値を全被験者について平均して得られるのがMOSである。

ここで、MOSは、カテゴリー間隔が均一であるという暗黙の仮定を置いていることに注意されたい。MOSが基本的には大小関係のみが意味を持つ順序尺度であるというのはこのような意味である。したがって、カテゴリー間隔の違いまで考慮した尺度である距離尺度か比率尺度をユーザーレベルQoSパラメータとして用いる必要がある。

距離尺度は、評定尺度法によって測定されたデータから比較的簡単に計算できる。これを、心理的尺度(Psychological scale)と呼ぶ<sup>(1)(3)</sup>。

##### 4.2 リアルタイム推定法

サービス中のネットワークにおいて、前節で述べた方法を用いてユーザーレベルQoSをリアルタイムで測定することは、現実的には不可能である。リアルタイムで測定可能な下位レベルのQoSパラメータを用いてユーザーレベルQoSを推定することが必要である。これは、リアルタイムのQoSマッピング問題である。問題解決に際しては、3章で指摘した従来研究と国際標準勧告の問題点(1)と(2)を考慮する必要がある。

次に、リアルタイム推定の一方法を提案する。

$Aa$ ,  $Av$ ,  $Aav$ を、それぞれ、音声のメディア内同期品質、ビデオのそれ、音声とビデオのメディア間同期品質を表すアプリケーションレベルQoSパラメータベクトルとする。これらは、リアルタイムで測定可能なものである。そして、ユーザーレベルQoSパラメータ $U$ を推定する次のマッピング関係を定義する<sup>(3)</sup>。

$$U = f(Aa, Av, Aav)$$

関数 $f$ は、多変量解析における主成分分析と重回帰分析の手法を用いて求められる。 $U$ は、スカラーでもベクトルでもよい。スカラーとした場合の議論は、文献(3)( $U$  = 距離尺度)でなされている。

関数 $f$ は、コンテンツに依存し、コンテンツをどのように分類しどの程度の範囲の回帰式を用意すればよいかは、今後検討すべき重要課題である。

#### 5. QoS制御

前章で提案したユーザーレベルQoSのリアルタイム推定法を用いて、ユーザーレベルQoSを保証するQoS制御を考えることができる。そのための予備実験を、図1に示す実験ネットワークを用いて行った<sup>(4)</sup>。これは、ノンインタラクティブな応用(ストリーミングサービス)を想定したものである。

実験では、メディア送信端末からメディア受信端末へ音声・ビデオを伝送した。負荷生成端末は、WWW(World Wide Web)サーバとして、WebStoneによって発生したWWWトラフィックを、WWWクライアントである負荷受信端末(クライアントのプロセス数は50)へ送信した。

音声は、1.536Mbpsでlinear PCM(Pulse Code Modula-

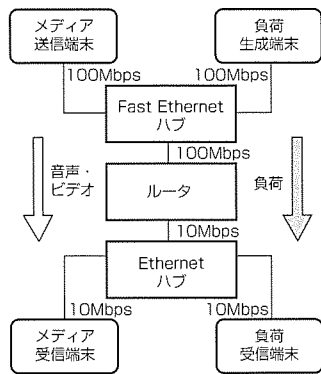


図1. 実験ネットワーク

tion)符号化されたもので、ビデオはMPEG1(Moving Picture Experts Group phase 1)である。評価に使用したコンテンツは、テニス中継の1シーンとミュージッククリップであり、ビデオのビットレート(Mbps)の(平均, 最大)は、それぞれ、(2.623, 3.194), (2.636, 3.298)である。

ルータは、Cisco社製Cisco2691であり、CBWFQ(Class Based Weighted Fair Queueing)を実装している。この実験では、CBWFQの設定として、音声、ビデオ、負荷トラフィック用の3つの待ち行列を用意した。音声フローに対する予約割当て帯域幅を1.6Mbpsとし、ビデオフローの予約割当て帯域幅は、2.5Mbpsから3.3Mbpsまで変化させた。音声とビデオが使用する残りの帯域を負荷トラフィックに割り当てた。

メディア受信端末で出力された音声・ビデオを記録し、これを評価対象とした。5段階妨害尺度によって被験者(20代の男性20名)に評価してもらった。その評価結果から求めた心理的尺度を図2に示す。横軸は、ビデオの予約帯域幅である。さらに、ビデオの予約帯域幅の関数として心理的尺度の推定値を得るため、コンテンツごとに単回帰分析を行った。図3は、その結果である。

図3から、あるカテゴリー以上の心理的尺度を得るために必要なビデオの最低予約帯域幅を求めることができる。例えば、ユーザーの判断が“劣化が分からない(imperceptible)”となる心理的尺度値を得るためには、“劣化が分かるが気にならない(perceptible but not annoying)”の上限の境界値(3.853)を与えるビデオの予約帯域幅を図3の回帰直線から求めればよい。この値は、コンテンツがテニスの場合は3.091Mbps、ミュージッククリップの場合は3.224Mbpsとなる。

以上議論した方法を用いて、所望のユーザーレベルQoSを達成するQoS制御を実行できる。その概要を、本稿最初のページの図に示している。サービス提供されるアプリケーションで想定されるコンテンツを、一定個数のタイプに分類する。タイプごとに、図3のような回帰式を用意する。この回帰式の集合が、ユーザーレベルQoS値とネットワーク資源のマッピング関数データベースとなる。

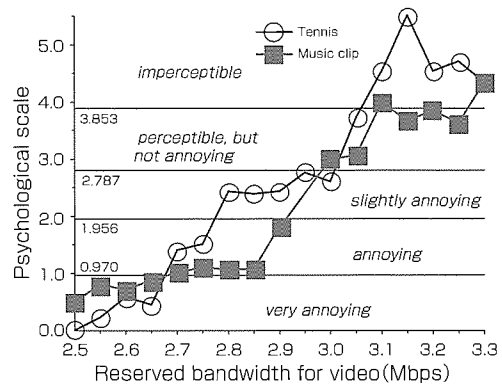


図2. ビデオの予約帯域幅に対する心理的尺度

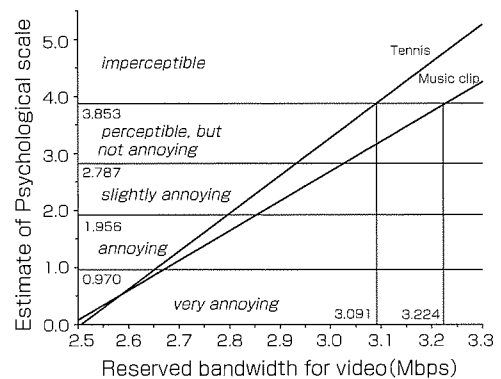


図3. ビデオの予約帯域幅に対する心理的尺度の推定値

## 6. む す び

IPネットワークにおけるマルチメディア伝送のユーザーレベルQoS保証を目標として、そのQoS測定・評価、リアルタイム推定法を考察した。さらに、保証のための初歩的なQoS制御法の提案も行った。本稿で述べた方法論は、まだ研究の初期段階にあり、多くの解決すべき課題を残している。これらの課題を解決するためには、多様な分野の手法と相互の連携が必要である。この方法論が実用可能な技術の創出へと発展することを期待したい。

## 参 考 文 献

- (1) 田坂修二：情報ネットワークの基礎，数理工学社(2003)
- (2) 田中良久：心理学的測定法 第2版，東京大学出版会(1977)
- (3) Tasaka, S., et al.: Psychometric analysis of the mutually compensatory property of multimedia QoS, Conf. Rec. IEEE ICC, 1880~1886 (2003)
- (4) 伊藤嘉浩，ほか：インターネットにおける音声・ビデオ伝送におけるユーザーレベルQoSに基づいた帯域保証，電子情報通信学会ソサイエティ大会，B-11-20 (2005)

# 光アクセスシステムにおける標準化動向

村上 謙\*  
横谷 哲也\*\*

Status Toward Standardization at Optical Access Systems

Ken Murakami, Tetsuya Yokotani

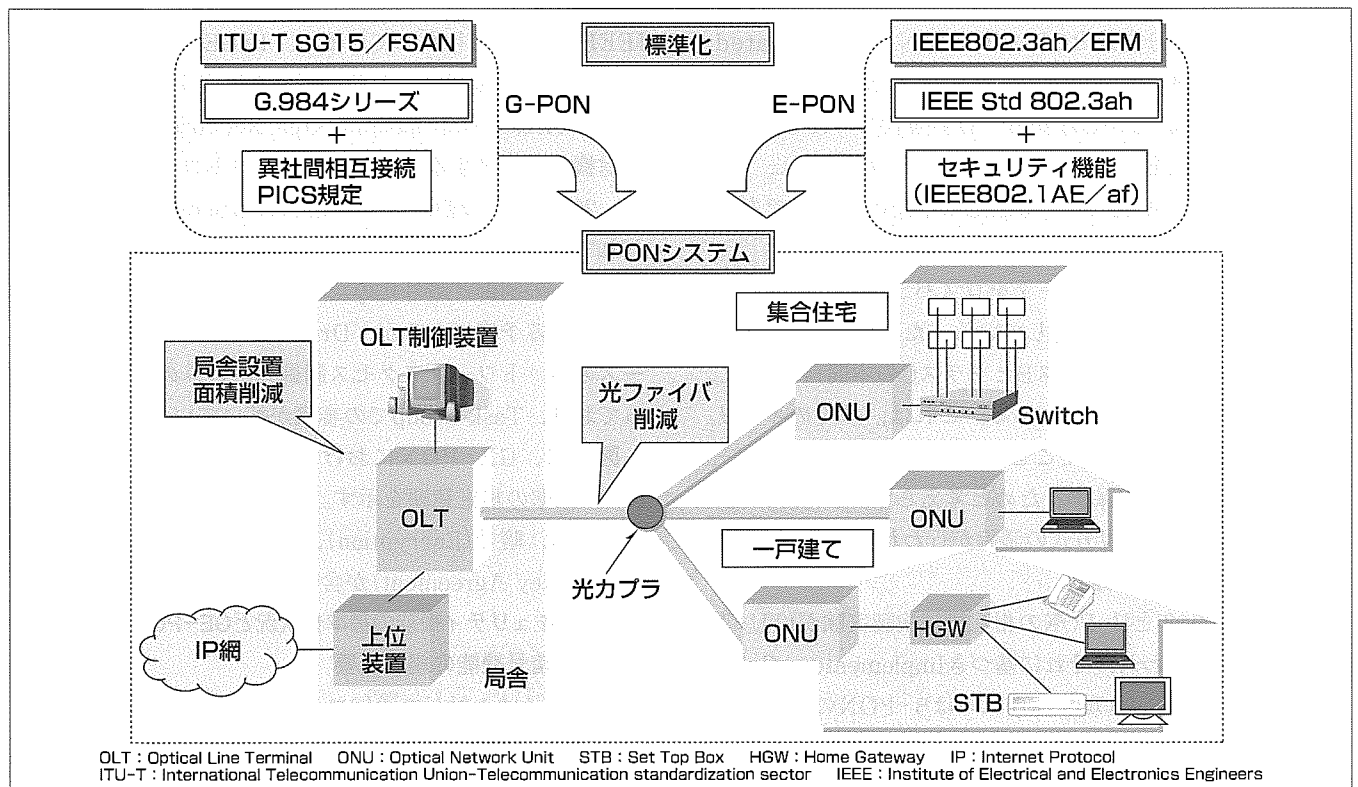
## 要 旨

ブロードバンド利用可能世帯数は既にe-Japan戦略の目標を越えており、インフラの整備は順調に進展している。これを受け、ブロードバンド契約数も順調に拡大しており、なかでも光ファイバによるFTTH(Fiber To The Home)の契約数増加が顕著で、今後FTTHが更に進展していくと予想される。

一方、FTTHのインフラである光アクセスシステムでは、ファイバ数の削減、局舎の設置面積の削減等多くの長所を持つPON(Passive Optical Network)方式に関心が集まっており、国内の主要な通信事業者はPON方式によるブロードバンドサービス戦略を明らかにしている。

このような光アクセスシステムの普及の背景には、システムの基本部分についての標準化が完了していることが挙げられる。PON方式については、以前からITU-T SG15/

FSAN(Full Service Access Network)及びIEEE802.3ah/EFM(Ethernet in the First Mile)で標準化が進められてきた。ITU-T SG15/FSANではG-PON(Gigabit-PON)、IEEE802.3ah/EFMではE-PON(Ethernet-PON)の標準化を行ってきており、いずれも基本部分の標準化が完了している。現在は、異社間相互接続検証やPICS(Protocol Implement Conformance Statements)等の規定、拡張機能や運用方法についての議論が行われている。特に、イーサネット技術をベースとしたE-PONについてはIEEE802.1AE/afにおいてレイヤ2セキュリティ機能の議論が進められており、これをE-PONに適用していくことが予想される。これらの議論により、今後更に光アクセスシステムが普及していくと予想される。



## PONシステム

PONシステムは、アクセス区間に光カブラを用いて光レベルでの分岐構成を実現する。このため、光ファイバ数の削減や局舎の設置面積の削減といった多くの長所を持っている。ITU-T SG15/FSANではG-PONの標準化を行っており、現在は異社間相互接続検証及びPICS等の規定が計画されている。IEEE802.3ah/EFMではE-PONの標準化を行っており、現在はIEEE802.1AE/afでレイヤ2セキュリティ機能の標準化を行っている。

## 1. ま え が き

ブロードバンドサービスの普及によりそれを支える光アクセスシステムが世界的に注目されている。その中でも、ファイバ数の削減、局舎の設置面積の削減等多くの長所を持つPON方式に関心が集まっている。PON方式では、以前からITU-T SG15/FSAN及びIEEE802.3ah/EFMで標準化が進められてきた。本稿では、それらの概要及び最近のトピックスについて述べる。

## 2. 標準化機関における審議状況

PON方式において、ITU-T SG15及びそれを支援するFSANグループではG-PONの標準化を進めてきた。一方、IEEE802.3ah/EFMではEthernetと親和性の高いE-PON(日本ではGE-PON(Gigabit Ethernet-PON)と一般に呼ばれているため以後GE-PONという。)の標準化を行ってきた。両者とも基本標準の規定は完了しており、現在は拡張機能及び運用方法についての議論が行われている。この章では、これらの標準化機関における最近の審議状況について述べる。

### 2.1 G-PONの審議状況

G-PONはITU-T G.984シリーズ(G.984.1~G.984.4)として標準化が行われている。G-PONはB-PON(Broadband-PON)で用いられていたATM(Asynchronous Transfer Mode)方式とGEM(G-PON Encapsulated Mode)方式と呼ばれるパケットベースの伝送の両方をサポートしている。しかしながら、世界規模でのIP収斂(しゅうれん)の潮流を受けGEM方式が注目されている。

G-PONにおける現状の主な議論は下記のとおりである。

#### 2.1.1 光パラメータのオプション規定

ITU-Tでは、光パラメータをロスバジェットに従ってA, B, Cの3クラスを規定している。ただし、B-PONで追加されたクラスB+(クラスBとクラスCの間)について、G-PONにも適用する動きがある。これは、多くのキャリアがクラスB+を採用したことにより、B-PONからG-PONへの移行性を確保するためと考えられる。現在、クラスB+についての実現方式の議論が行われている。

#### 2.1.2 相互接続性の確保

2003年、2004年とB-PONの相互接続検証実験がITU-T Workshop等で行われ、それに基づきImplementers GuideやPICSが規定された(現状、これらはB-PONの基本勧告であるG.983.1 Amendmentとして規定されている)。G-PONでも、今後の普及促進のためにOLTとONU間の異社間相互接続検証及びPICS等の規定が計画されている。

### 2.2 GE-PONの審議状況

GE-PONはIEEE802.3ahとして基本部分は標準化が完了している<sup>(1)</sup>。GE-PONの場合は、G-PON等のITU-Tで

標準化されたPON方式と異なり、保守管理機能や運用方法については標準化の枠組みから外してレイヤ2以下に注力して議論が行われてきた。これは、ネットワークオペレータのサービスや運用条件に依存するところが大きいためである。

ところで、GE-PONについて現状での議論としては、セキュリティの問題がある。GE-PONのセキュリティ機能では、IEEE802.1AE/afで議論されているレイヤ2セキュリティ技術を適用する動きにある。本稿では、GE-PONのこれらの最近の標準化におけるトピックスと、実運用において補完すべき保守管理機能や運用方法について次章で詳細に述べる。

## 3. GE-PONの標準化状況と今後の見込み

### 3.1 GE-PON標準化範囲

アクセスネットワークへのイーサネット技術の適用を目的として、2004年9月にIEEE標準802.3ahが制定された。この標準は、PON区間におけるギガビットでの双方向伝送を可能とするGE-PONのレイヤ2以下のプロトコル規定を含んでいる。GE-PONでは、論理リンクと呼ばれる仮想リンクを通信の単位とし、論理リンクに対するアクセス制御やブリッジ動作を行う。

また、GE-PONを含むレイヤ2ネットワークのためのセキュリティ機能に関する標準が、IEEE802.1AE及びIEEE802.1afで行われている<sup>(2)</sup>。IEEE802.1AEはMAC(Media Access Control)サービスを適用するLAN/MAN(Local Area/Metropolitan Area Network)でのセキュア通信機能を提供するための暗号化プロトコルを規定しており、2005年10月現在、Draft4.0によるSponsor Ballotが行われている。一方、IEEE802.1afは認証を用いた通信コネクシオンの制御と暗号化のための鍵(かぎ)交換プロトコルを規定する予定であるが、Draft0.2では一般的なポートベースのネットワークアクセス制御方法のみの規定にとどまっており、Task Groupでの審議が続いている。

図1に、GE-PONにおけるプロトコルスタックと、IEEE標準の規定範囲を示す。現在議論中のセキュリティ機能には、暗号(Encryption)、認証(Authentication)及び鍵交換(Key Agreement)が含まれる。

### 3.2 セキュリティ機能の標準化状況とGE-PONへの適用例

#### 3.2.1 暗号機能の規定概要

1対1又は1対Nの通信コネクシオン(セキュアチャネル)上で、送信側はMACフレームを暗号化し、受信側で復号することにより、セキュア通信を提供する。この暗号化/復号処理を行うエンティティをMACセキュリティエンティティ(SecY)と呼ぶ。暗号方式として、128ビットの鍵長を持つGCM-AES(Galois/Counter Mode of Operation with Advanced Encryption Standard)<sup>(3),(4)</sup>を採用

している。暗号化範囲はMACフレームのType/Length~FCS(VLAN(Virtual LAN)タグ含む)で、暗号化に伴い、SecTAG(Security TAG)とICV(Integrity Check Value)がオーバーヘッドとして付与される。図2に暗号化/復号のシーケンスを示す。

### 3.2.2 実システムへの適用方法

IEEE802.1AEで規定されている暗号機能のGE-PONシステムへの適用例を図3に示す。各論理リンクがセキュアチャンネルに相当し、論理リンクごとに個別の暗号化/復号処理を行う。1対1接続のユニキャスト論理リンクでは、個々に異なる複数の暗号鍵(Secure Authentication Key: SAK)をOLTとONUで共有する。一方、SCB(Single Copy Broadcast)により全ONUにフレーム配信するためのブロードキャスト論理リンクも1つのセキュアチャンネルと考えられるが、これについては全ONUで共通の暗号鍵とする。

### 3.2.3 IEEE802.1AE/afの連携(鍵交換)

SecYはSAKを用いた暗号化/復号処理を行う。SAKは

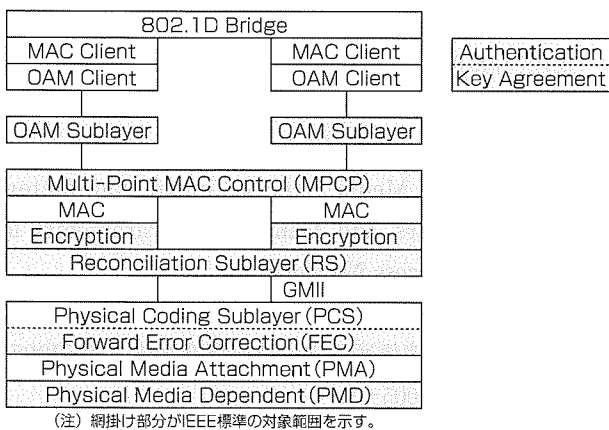


図1. GE-PONプロトコルスタックと標準対象範囲

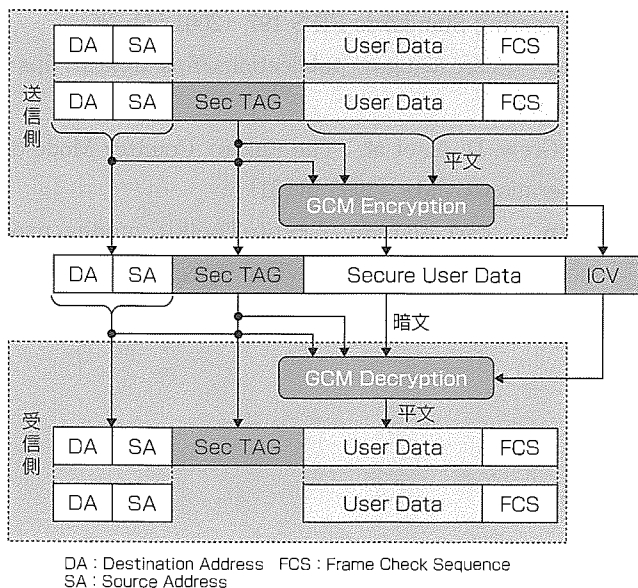


図2. 暗号化/復号シーケンス

IEEE802.1afで規定される鍵交換手順(Key Selection Protocol: KSP)により定期的に更新される。鍵交換手順を実行するエンティティをKaY(Key Agreement Entity)と呼ぶ。図4に示すように、KaY間の鍵交換手順でやり取りされる新暗号鍵は、装置内のLMI(Layer Management Interface)を介してSecYに通知される。

### 3.2.4 IEEE802.1afの主な課題

#### (1) 認証実行エンティティの状態遷移定義

認証手順を実行し、ポート制御を行うPAE(Port Access Entity)の状態遷移を規定する必要がある。

#### (2) 鍵交換手順

接続ポート間での鍵交換手順を規定する必要がある。その際、GE-PONのブロードキャスト論理リンクのような片方向のセキュアチャンネルも考慮した手順とする必要がある。

#### (3) マネジメント規定

3.2.3項に記載のとおり、KSPにより交換される暗号鍵はLMIを介してKaYからSecYに通知する。このためのマネジメントインタフェース規定や、MIB(Managed Information Base)のための管理属性を規定する必要がある。

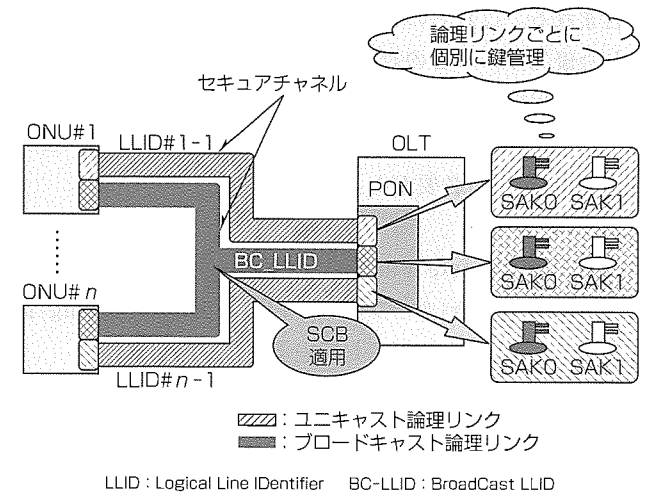


図3. IEEE802.1AEのGE-PONシステムへの適用例

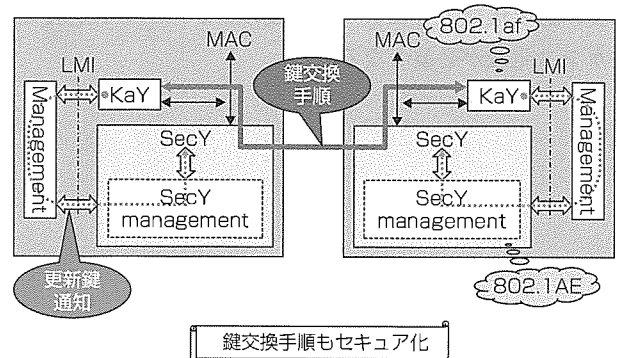


図4. 暗号鍵交換に伴うIEEE802.1AE/afの連携

### 3.3 802.3ahの規定概要と実運用のための補完機能

ここではMPCPとOAM(Operations, Administration, and Maintenance)に絞って、標準の規定概要と実運用に際して補完すべき機能について述べる。

#### 3.3.1 MPCP

MPCPは、論理リンクの接続制御や論理リンク上でのアクセス制御の枠組みを規定している。論理リンクに対するアクセス制御では、MPCPのGATEメッセージとREPORTメッセージを使用する。

図5に示すように、REPORTメッセージには1つ又は複数のキューセットが含まれ、各キューセットは最大8つのキュー長から構成される。つまり、REPORTメッセージでは、IEEE802.1pで規定の8つのCoS(Class of Service)ごとに優先キューが具備されるケースを想定しており、また、各キューについて複数のキュー長を通知できる枠組みを規定している。ただし実運用では、各論理リンクに割り当てられた優先キューがどのキュー長を使うか、複数のキューセットにそれぞれどのようなキュー情報を含めるかを規定し、これをOLTのDBA(Dynamic Bandwidth Allocation)処理で意識する必要がある。

一方、GATEメッセージには、最大4つのグラント情報が含まれる。これらのグラントと、論理リンクに割り当てられた優先キューとの対応付けは規定されない。したがって、実運用では、与えられたグラントをどのように優先キューに配分するか(優先キューからの読み出し制御=優先制御)を規定する必要がある。

#### 3.3.2 OAM

OAMは、Remote Failure Indication(検出障害通知)、Remote Loopback(ループバック)及びLink Monitoring(伝送路監視)の枠組みを規定している。

実運用では、例えばONUの構成設定(キュー数、キューサイズ、論理リンク数など)やONUファームウェアのダウンロードといった機能が必要となる。このような上位レイヤの管理のために、Organization Specific OAMフレームが規定されている。Organization Specific OAMフレームのデータ領域は、システムに特化した定義が可能となっており、必要機能ごとにデータ領域のフォーマット定義やシーケンス定義が必要となる。

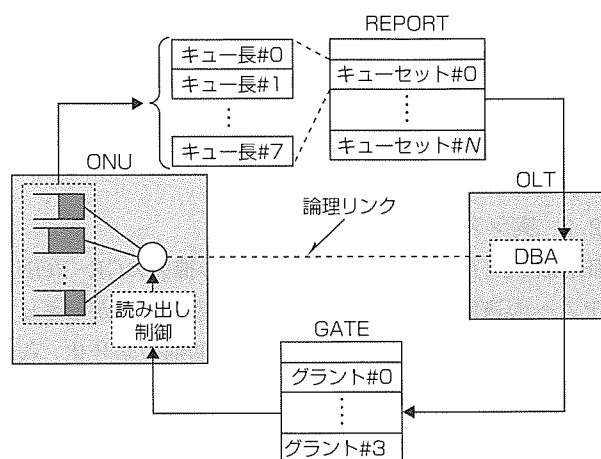


図5. MPCPによるアクセス制御

## 4. む す び

本稿では、光アクセスシステムの代表的な方式であるGE-PONの標準化状況と今後の見込みについて述べた。

## 参 考 文 献

- (1) IEEE Std 802.3ah-2004 : Part 3 : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment : Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks
- (2) 村上 謙, ほか: レイヤ2セキュリティの標準化動向と課題, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2005-85, 37~41 (2005-9)
- (3) The National Institute of Standards and Technology (NIST) : Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES), Federal Information Processing Standards FIPS 197 (2001-11-26)  
<http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>
- (4) McGrew, D. A., et al. : The Galois/Counter Mode of Operation (GCM) (2005-5-31)  
<http://csrc.nist.gov/CryptoToolkit/modes/proposedmodes/gcm/gcm-revised-spec.pdf>



# トリプルプレーに向けた GE-PON技術

武元理矢\* 中瀬卓也\*\*  
堀田善文\* 小島洋之\*\*  
山中秀昭\*

*Technologies for the Triple Play with Gigabit E-PON Systems*

*Michiya Takemoto, Yoshifumi Hotta, Hideaki Yamanaka, Takuya Nakase, Hiroyuki Ojima*

## 要 旨

ブロードバンドサービスの普及、ユビキタスネットワーク社会の到来により、各家庭や事業所のトラフィックが増大し、光ファイバによるブロードバンドアクセスが本格化している。GE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムは、イーサネットの標準化団体であるIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)の802.3ahにおいて標準化された次世代アクセス方式の一つであり、特に、FTTH(Fiber To The Home)サービスの最有力ソリューションの一つである。この方式の特長は、アクセス区間に光カプラを用いて物理的に分岐し、ファイバの効率的な利用が可能であり、かつ、論理的にユーザー一人当たりの通信容量を最大1 Gbpsに拡大したことである。また、LAN(Local Area Network)で普及しているイーサネット技術を採用しているため、市販のイーサネット機器を活用することによる大幅なコストダウンを実現した上、PON構成による共有化効果によりユーザー当たりのファイバコストや局側の機器コストを低減可能とした。FTTHサービスでは、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)と異なり、局舎からユーザーまでの距離に依存せずに20kmまでのサービス提供が可能である。さらに、アクセス技術の発展に伴い、光アクセスの利点である広帯域を提供しつつトラフィックの遅延を抑制することが可能であり、音声や映像など様々なサービスが提供可能に

なる。このFTTHの特長を生かし、国内の主要通信事業者の多くは、イーサネットによるパソコン接続のみならず、電話等の音声サービス、さらにオンデマンドによる映像配信サービスを組み合わせたトリプルプレーモデルに代表される統合サービスを展開している。

GE-PONシステムにおいて、複数のサービスを収容するに当たって、下記のそれぞれ異なる要求条件を満たすための技術開発が活発化している。

### (1) データトラフィックの要求条件

複数の加入者からファイル転送など大容量TCP(Transmission Control Protocol)トラフィックを伝送するため、上下方向に広帯域が必要になる。

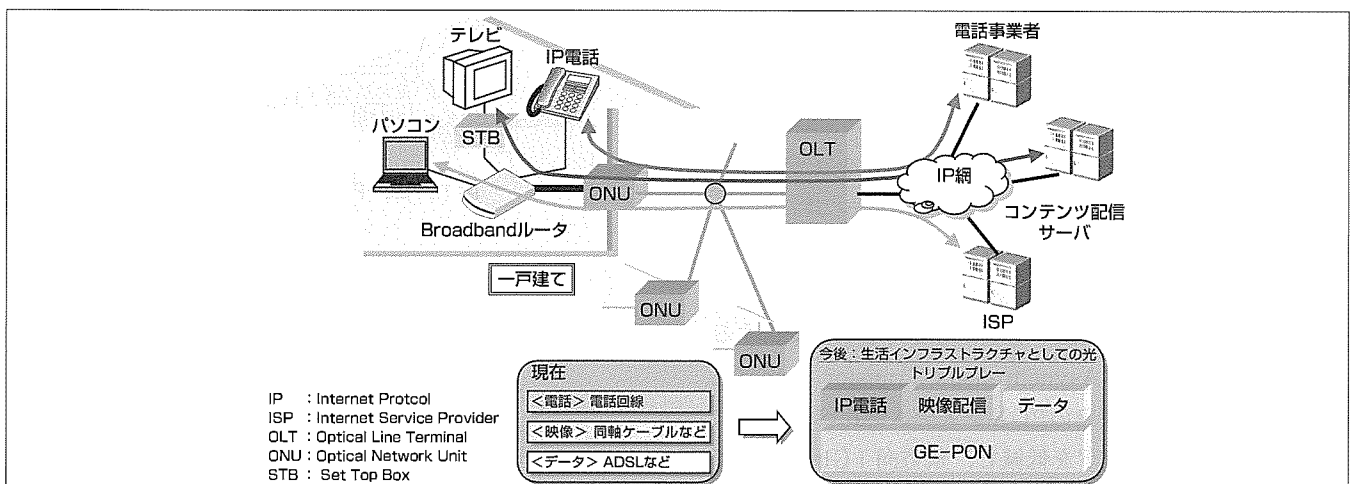
### (2) 音声トラフィックの要求条件

大容量トラフィックではないため広帯域は必要ないものの厳しいリアルタイム性が要求されるため、GE-PONアクセス区間での遅延を極力なくすることが必要になる。

### (3) 映像配信トラフィックの要求条件

同一映像を視聴するユーザーに対してトラフィックの増加を招かずにサービス提供するために、マルチキャストによる下りトラフィック伝送が必要になる。

本稿では、GE-PONシステムの概要について述べ、トリプルプレーモデルにおける課題に対する解決手法、技術に関して述べる。



## GE-PONシステム

GE-PONシステムは、アクセス区間に光カプラを用いて光ファイバを光レベルで分岐したPON構成にギガビットイーサネット技術をベースとしたアクセス制御を取り込んだものである。局側に配備されるOLTと宅内に配置されるONUから構成され、安価なFTTHサービスを提供する。

### 1. ま え が き

安価にFTTHサービスを提供する方式として、PONアーキテクチャが普及している。PONは光ファイバの途中に光カプラを設けて分岐させるが、光カプラは電源がいらず、保守も不要なので、伝送路の複数箇所に設置しながら柔軟なネットワークを設計できる。また、敷設する光ファイバを節約でき、局舎面積を小さくできるため、今後のユーザー数の増加に伴い、光アクセスネットワークの主流になっていくと考えられている。このPON方式において、Ethernetフレームを基本としたギガビットでのデータ転送を行うGE-PONの標準化が、IEEE 802.3ah タスクフォースで進められてきた<sup>(1)(4)(5)</sup>。PONにEthernet技術を適用することで、安価なシステムを構築し、広く普及しているIP通信を効率良く収容する。

一方、2005年7月の総務省情報通信審議会で、「地上デジタル放送の利活用のあり方と普及に向けて行政の果たすべき役割」の第二次中間答申が公表され、地上デジタル放送は日本全国をカバーすることが基本方針だが、サービスエリアの確保からIPマルチキャストによる放送再送信の技術条件、法制度を整備する必要があることが述べられた。今後、光アクセスネットワークでのマルチキャスト機能の重要性が高まることが予想される。

本稿では、2章でGE-PONの概略を述べ、3章で提供するサービスの基本となるロジカルリンクの考え方を述べた後、4章でGE-PONにおけるマルチキャスト技術を述べる。5章でマルチキャスト機能を実現するために特に重要となるセキュリティの提案を行う。

### 2. GE-PONシステム概要

GE-PONシステム(図1)は、局舎に光加入者端局装置(OLT)、ユーザー宅に光加入者線終端装置(ONU)を設置し、両装置間を光ファイバと光スプリッタにより接続し、最大32世帯に分岐して最大1 Gbpsの帯域を共有するシステムであり、従来の光アクセスシステムと比べ、以下の特長がある。

- (1) 1台のOLTに対して最大32台のONUを光スプリッタで多重接続するPONトポロジーを採用し、メディアコンバータ方式に比べ、局舎側装置のコスト低減を実現する。
- (2) LANで用いられているGigabit Ethernet技術を応用し、End-to-EndでEthernetフレームをそのまま受信することにより、ATM(Asynchronous Transfer Mode)技術をベースにした従来のPONシステムと比べ、変換に要するオーバーヘッドを低減し、双方向1 Gbpsサービス提供を可能とする。

光インタフェースは、GE-PONシステムのPMD(Physical Media Dependent)機能として提供され、上り1,310nm、下

り1,490nmの異なる波長によるWDM(Wavelength Division Multiplexing)方式で最大伝送距離20kmに及ぶ双方向多重通信を実現している。また、PONインタフェースに接続された複数ONUに対する接続を行うものとしてMPCP(Multi-Point Control Protocol)機能があり、PONインタフェースに接続されたONUを検出してLLID(Logical Link ID)を付与するDiscovery制御や、各ONUの送信制御を行うGATE/REPORT制御を行う。このMPCP機能において、遅延を抑え、帯域効率を向上させる独自の動的帯域割当てアルゴリズム(Dynamic Bandwidth Allocation : DBA)を用いることによって、ユーザー間の公平性を保ちつつ、IP電話やデータ通信といったサービスを意識した優先制御を行う(図2)。

GE-PONシステムの特徴として、下り伝送にTDM(Time Division Multiplexing)方式を用いているため、下り信号は全ONUに向け一斉に送信される。このため、特定ONUあての信号を他のONUで解読されないようにするため、セキュリティ機能が不可欠である。このためAES(Advanced Encryption Standard)暗号化アルゴリズムを採用して、各OLT-ONU間での秘匿性を確保している。

### 3. GE-PONにおける音声とデータの混在収容方法

トリプルプレーサービスを提供する際、音声トラフィックが要求する低遅延性と、データトラフィックが要求する広帯域性を両立させる必要がある<sup>(2)</sup>。これらの伝送制御を行うに当たって、2章で述べたように、OLT-ONU間でLLIDと呼ばれる論理リンクごとにアクセス制御を行い、双方向

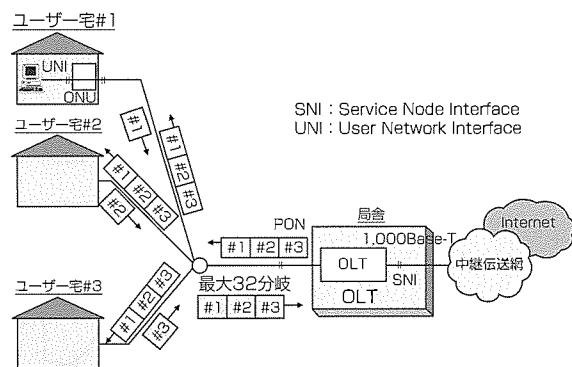


図1. GE-PONシステム構成

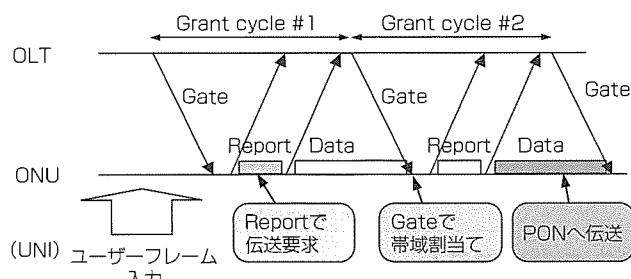


図2. 上り信号帯域割当てシーケンス

伝送を実現する。加入者に対して複数トラフィック、つまり、複数サービスを提供する場合、一般的に以下の方式が考えられる。

### 3.1 複数LLID収容方式

GE-PONでは、1ONU当たり複数のLLIDを割り当てる事が可能であり、図3(a)のようにサービスごとにLLIDを割り当て、LLIDを単位とした帯域制御を行うことが可能である。この方式では、サービス単位に帯域制御可能であるため様々なトラフィックを収容できるが、多数のサービスを収容することでLLID数も増加するため、多重制御におけるオーバーヘッドが増加し、PON区間の帯域利用率が劣化する欠点がある。

### 3.2 単一LLID収容方式

図1のGE-PONシステム構成のように、ONUごとに単一LLIDを加入者に割り当てる場合、図3(b)のように単一LLID内のキュー制御を行うことで、サービスごとの帯域制御が可能である。この方式では、サービス増加に伴うオーバーヘッド増加がなく、高効率な帯域利用が可能であるが、ONU自身が出力制御を行うためPON全体としての帯域調整が困難となる。

### 3.3 低遅延性と広帯域性の両立

ここでは、高効率な帯域利用が可能である単一LLID収容方式に焦点を当て、サービスごとの優先制御を実現する方法について述べる。

図4では、複数の優先キューにより構成されるONUが、OLTに対して各キュー状態をREPORTメッセージとして申告する。OLTは申告量を基に帯域計算を行うが、ここで高優先キューから順に帯域を割り当て、低優先キューに対しては、帯域に余剰がある際にのみ割り当てる。帯域を割り当てられたONUは、高優先キューから順に出力するため、PON区間全体としてサービスごとの優先制御を行うことが可能となる。

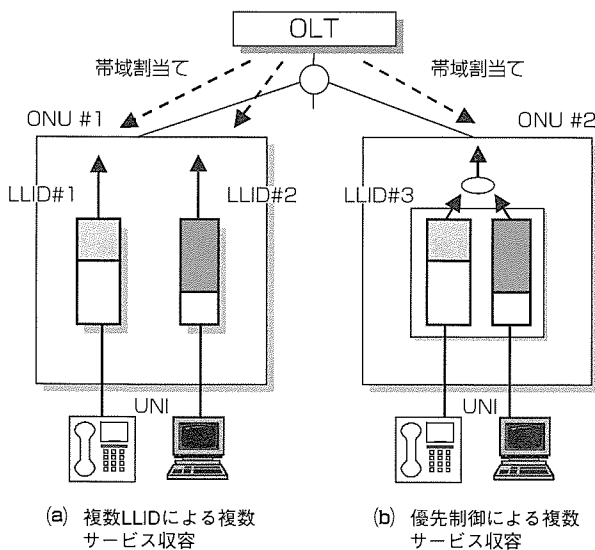


図3. 複数サービスの収容方法

この単一LLID収容方式を用いると、高優先サービスに対する優先制御と、単一LLIDのメリットである高効率な帯域利用が可能となり、低遅延性と広帯域性を両立することができる。

## 4. GE-PONにおけるマルチキャスト技術

GE-PONにおけるトリプルプレーサービスにおいて、マルチキャスト技術を用いた映像配信が一つの鍵(かぎ)となる。GE-PONでは、2章で述べた各ONUに付与されるLLIDとは別に、全ロジカルリンクが受信可能なブロードキャストLLIDが定義されており、ブロードキャストLLIDを利用すると、フレームのコピーを必要としない同報配信が可能となる。

GE-PONシステムでマルチキャスト配信を考えると、①ブロードキャストLLIDを利用するSingle Copy Broadcast (SCB)方式、②ユニキャストLLIDを利用しOLTより上位でフレームをコピーして必要なLLIDに転送するMultiple Copy Broadcast (MCB)方式がある。以下にそれぞれの方式の特徴を示す。

### 4.1 Single Copy Broadcast (SCB)

SCB方式では、図5に示したようにブロードキャストLLIDを用いてマルチキャスト配信を行う。この場合、マルチキャストフレームは、全ONUに配信されるため、RS (Reconciliation Sublayer)レイヤより上位レイヤでのフィルタをONU側に実装することが望ましい。SCB方式は1つのフレームをブロードキャスト配信するため、帯域を有効活用できる。

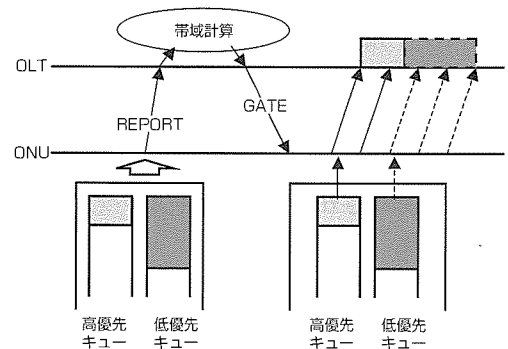


図4. 単一LLID帯域制御方法

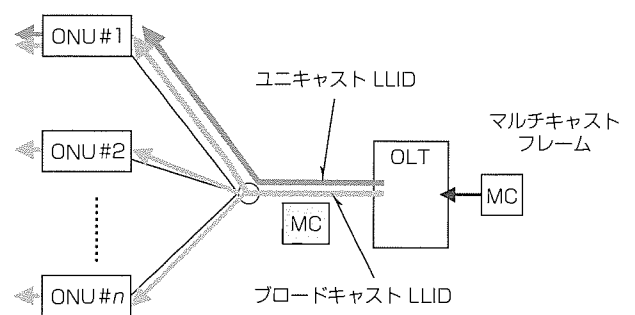


図5. SCB方式

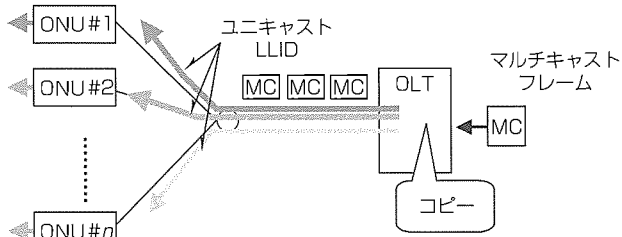


図 6. MCB方式

#### 4.2 Multiple Copy Broadcast (MCB)

MCB方式では、ユニキャストLLIDを用いてマルチキャスト配信を行う。図6に示した例では、マルチキャストフレームがOLT内部で必要数だけコピーされ、各ユニキャストLLIDで必要なONUに配信されている。この場合、SCB方式のようなRSレイヤより上位レイヤでのフィルタは必要ないが、マルチキャストトラフィックが下り帯域を圧迫する。

### 5. マルチキャストにおけるセキュリティ

この章ではPONのメリットであるSCBを利用しつつセキュアなマルチキャスト配信を実現する技術として、マルチキャストグループ内のONUのみにフレームを効率的、かつ確実に送信する手段と、マルチキャスト用暗号鍵の配信方法について述べる<sup>(3)</sup>。

#### 5.1 SCB方式でのマルチキャスト配信実現方法

前述のようにSCBでマルチキャスト配信を行う場合、マルチキャストグループ内のONUのみがフレームを受信するためのフィルタがONU側に必要となる。ここでは、グループ管理情報と暗号技術を連携させることでグループ識別を行う方法を提案する。

マルチキャスト用の暗号鍵は、OLTでグループ管理情報を基に生成され、特定グループに加入した複数ONU間で共有される。鍵を持たないONUはデータを復号できないので、結果としてマルチキャストグループ外のONUでは、当該鍵で暗号化されたマルチキャストフレームはフィルタリングされる。

このように、配布するフレームが暗号化されている場合、暗号機能を識別子の代わりとして利用することができる。

#### 5.2 マルチキャスト用暗号鍵配信方法

一方、マルチキャスト通信に暗号技術を適用する場合の鍵管理は、グループ管理をOLT側で行っているため、図7に示すように、OLT側で生成しONUへ配布するのが望ましい。さらに、マルチキャスト用の暗号鍵は、図8に示すように、他の暗号鍵(例えば、既存のユニキャスト配信用の暗号鍵)を用いてマルチキャスト用の鍵情報を暗号化すれば、安全にONUに通知できる。

このように、PONの特徴の1つであるSCB技術と暗号技術、グループ管理を組み合わせることにより、効率が良く、かつ、セキュアなマルチキャスト配信が実現可能である。

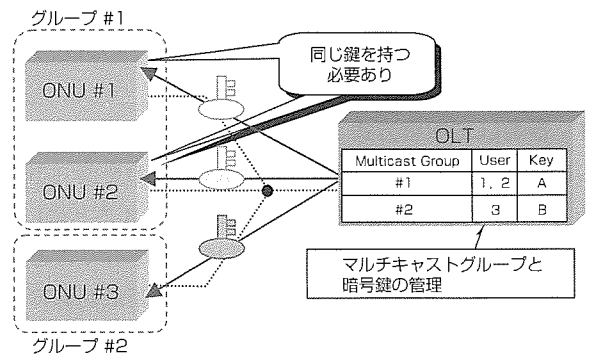


図 7. マルチキャスト暗号鍵

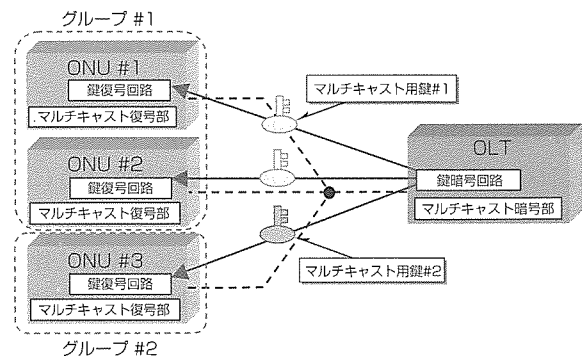


図 8. マルチキャスト暗号鍵の配信方法

### 6. む す び

本稿では、ブロードバンド社会でのFTTH技術として、GE-PONにおけるトリプルプレーサーサービスの課題と解決方法について述べた。

近年、情報インフラの整備が進み、特にFTTHに向けたGE-PONでの光アクセスサービス戦略が活発化している。当社は、今後ますます成長するGE-PONシステムの技術開発に取り組み、FTTHを普及させるよう貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

- (1) IEEE P802.3ah, IEEE Draft P802.3ah/D2.0 (2000-9)
- (2) 武元理矢, ほか: GE-PONにおける優先制御方法の一提案, 2004年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-8-15 (2004)
- (3) 石川真弓, ほか: GE-PONにおけるマルチキャスト配信方法の一提案, 2005年電子情報通信学会総合大会, B-8-7 (2005)
- (4) 中西健二, ほか: ブロードバンド光アクセスシステムの標準化動向, 電子情報通信学会技術研究報告, CS 2002-114, 37~42 (2002-11)
- (5) 村上 謙, ほか: IEEE802.3ahにおける標準化動向とシステム構築上の課題, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2003-24, 1~6 (2003-6)

# B-PON相互接続とONU開発

上田広之\* 横谷哲也\*\*  
桶田幸成\* 向井宏明\*\*\*

*B-PON Interoperability and the ONU Development*

*Hiroyuki Ueda, Kosei Oketa, Tetsuya Yokotani, Hiroaki Mukai*

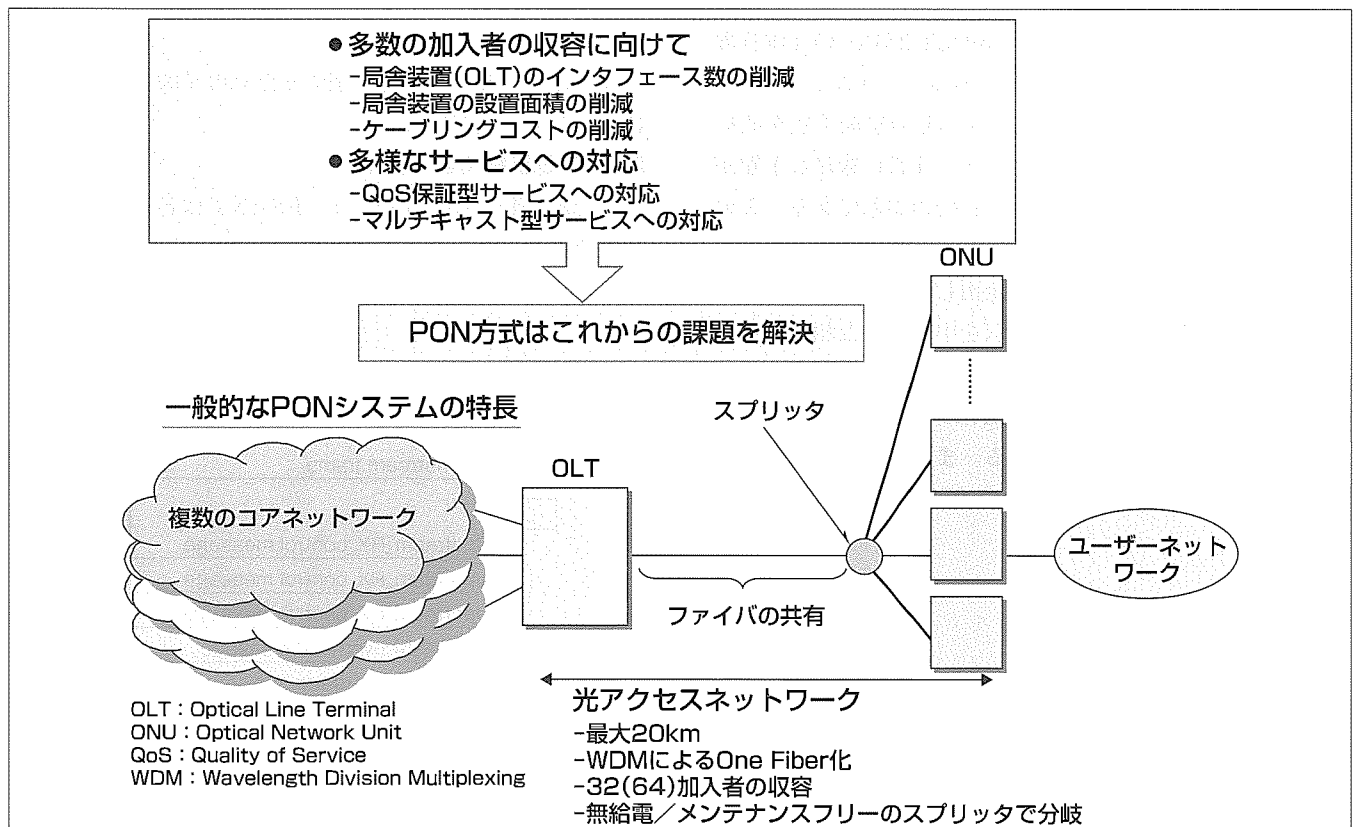
## 要 旨

インターネットアクセス需要の拡大と高速回線の強い要望により、光ファイバを適用したFTTH(Fiber To The Home)サービスが、現在、ブロードバンドサービスの主流になりつつある。

FTTHサービスの場合、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)と異なり、光ファイバを新設する必要があるため、光ファイバ数を節約できるPON(Passive Optical Network)方式が有力と考えられる。PON方式は、下図に示すように、多数の加入者の収容が可能、多様なサービスへの対応が可能などの長所があり、FTTHの主力実現方式と期待される。FTTH市場拡大のために、通信機器の安定供給及び価格低下が必要であり、OLTとONUの異社間での相互接続は不可欠である。今回、B-PON(Broad-

band-Passive Optical Network)について国際標準準拠の相互接続仕様の①G.983.1 Implementers' Guide, ②PICS(Protocol Implement Conformance Statements)策定を取りまとめITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)で承認を得た。また、三菱電機を含む複数ベンダーの実機試験及びデモ(計4回)により相互接続性を確認した。

上述の相互接続性検証を通してブロードバンドサービスに対応した相互接続仕様準拠の宅内回線終端装置B-PON-ONU“AS-600BN”をいち早く製品化した。本稿では、ITU-T G.983に基づく相互接続性の検証状況、相互接続性デモ、当社B-PON-ONUの概要について述べる。



## PONシステムの特長とシステム構成

局舎装置OLTに複数の宅内回線終端装置ONUが光ファイバ及びスプリッタによって接続される。1本の光ファイバに対して、最大32(64)台のONUが接続可能である。無給電/メンテナンスフリーのスプリッタで光信号を分岐し、最大伝送距離20kmを確保する。光ファイバ削減効果により、OLTのインタフェース数及び設置面積削減、光ファイバコスト削減を図る。

1. ま え が き

パソコン等端末機器の高性能化・低価格化とアプリケーションソフトウェアのネットワーク対応化により、図1に示すように、インターネットは世界的に普及してきた<sup>(1)</sup>。また、ADSLの登場によりユーザーは通信費を気にしない定額制通信に移行した。これにより、ストリーム型のエンタテインメントアプリケーションやオンラインゲーム等にインターネットの利用用途が一気に広がった。広帯域化に対するニーズが増え続け、ITU-T SG15 WP1/Q4を中心にADSLの高速化が積極的に検討されてきた。しかし、映像配信等安定した性能を提供する手段としては限界があり、ADSLの次の世代を担う手段としてFTTHと呼ばれる光ファイバによる伝送への移行が始まり、数年後には日本ではADSLの加入者を超えることが確実視されている。FTTHの場合、ADSLと異なり、光ファイバを新設する必要があるが、光ファイバ数を節約できるPON方式が有力と考えられてきた。PON方式は、要旨に示すように様々な長所があり、FTTHの主力実現方式と期待されている。PON方式は、当初、ITU-T SG15 WP1/Q2やそれを支えるFSAN(Full Service Access Network)グループによって検討され、B-PON方式がITU-T G.983シリーズとして策定された。しかし、大量導入や価格低減のためには、OLTとONU間の異社間接続を行いOLTとONUの在庫管理や設置を独立に行うことが必要である。一方で、PON方式の場合、レンジングと呼ばれるONUの接続手順を始めとして従来の1対1型の通信と比べて非常に複雑な手順が必要で、詳細仕様の明確化が相互接続の課題である。この解決のために、ITU-T/FSANでは、相互接続のための仕様策定及び公式な接続試験を企画してきた。本稿では、ITU-T/FSANにおけるB-PONを中心とした相互接続のための検証の概要を述べる。また、PON方式関連製品の開発と標準化<sup>(2)</sup>を通して当社が携わってきたこの相互接続に対する取り組みについて述べる。また、策定した相互接続仕様を満たす当社ONUについて述べる。

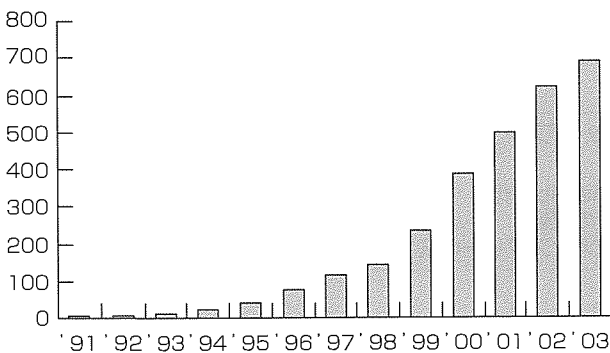


図1. 世界のインターネット利用者数 (100万人)<sup>(1)</sup>

2. 相互接続性の検証状況

ITU-T/FSANでは、相互接続性の検証のために、ITU-T勧告を中心とした文書類の充実化とリファレンスマシンとの実機試験の実施を進めてきた。詳細は参考文献(3)等で報告されているが、この章ではその概要と当社の取り組みについて述べる。

2.1 文書(勧告)の規定

相互接続を確実にを行うために、FSANでは、①G.983.1 Implementers' Guide, ②PICS(Protocol Implement Conformance Statements), ③Test Suiteの3種類の文書(勧告)を規定した<sup>(4)</sup>。当社はFSANに参画するキャリア及びベンダーと協調し①②を取りまとめITU-Tで承認を得ている。

①では、PONの基本制御を規定するITU-T G.983.1の詳細化、具体的には図2に示すようなレンジング時のメッセージシーケンスを明確化した。また、警報保守関係の記述に重点を置き、標準解釈の明確化のために補足説明を行った。この内容は既に勧告に組み込み済みである。

②では、装置(OLT, ONU)が相互接続を行うために満たすべき事項を整理した。この文書により装置開発時の標準適合性確認が容易になった。既に、G.983.1 AmendmentとしてITU-Tに承認されている。PICSの表紙を図3に示す。

③では、相互接続性を検証するための試験仕様及び構成について記述している。

2.2 実機試験による検証

上記2.1節と並んでITU-T/FSANでは各社製品の相互試験を推進した。この検証を通じてITU-T G.983.1に記述されているPON制御基本機能についての相互接続性を確

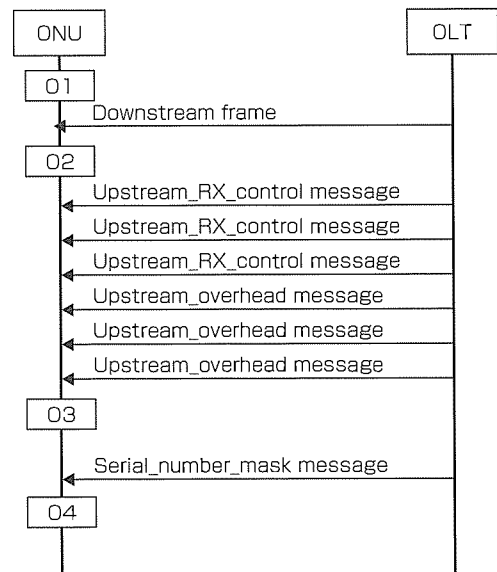


図2. レンジング時のメッセージシーケンス例

認した。詳細は参考文献(3)で報告されているが、これまでに、以下3回の実機検証を行った。

- 2004年3月：幕張(9ベンダー参加)
- 2004年9月：サンラモン(6ベンダー参加)
- 2004年10月：ジュネーブ(8ベンダー参加)

### 3. 相互接続性デモンストレーション

上記の相互接続性の結果報告の広報を兼ねて2005年6月のSuperComm(米国, シカゴ)でデモンストレーションが実施され、27ベンダーが参加した。構成及び接続例を図4に示す。図に示すように、当社も勧告に準拠したONUを出品し、2社のOLTとの相互接続を実証した(図5)。

### 4. 当社B-PON-ONUの概要

#### 4.1 装置の特長

上述の相互接続性の検証を通して相互接続仕様準拠の

B-PON-ONUをいち早く製品化した。外観を図6に示す。装置の特長は以下のとおりである。

- (1) 相互接続仕様(ITU-T G.983シリーズ)に準拠
- (2) 小型軽量(750cc, 270g)による省スペース化
- (3) 100Mbpsの高速で本体5W以下の低消費電力
- (4) 光ケーブルのねじなし固定など、施工作業の省力化が可能

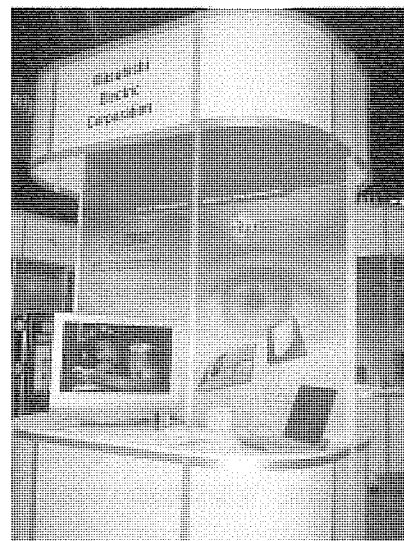


図5. SuperCommの当社ブース

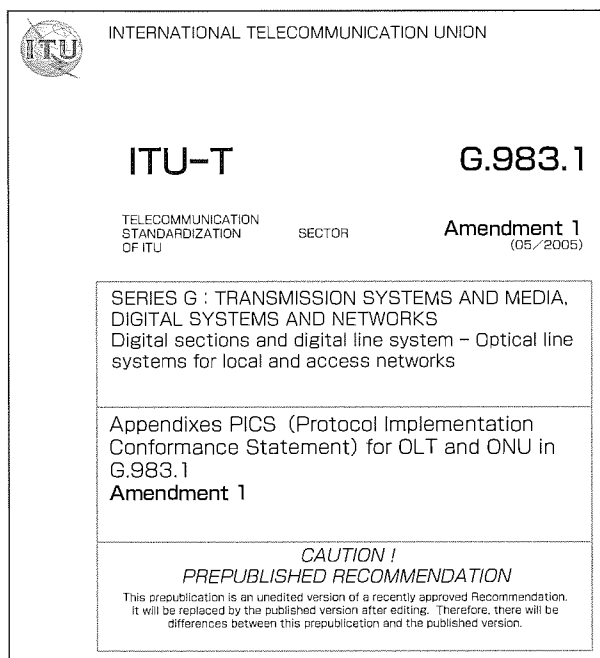


図3. G.983.1 Amendment 1 (PICS) の表紙

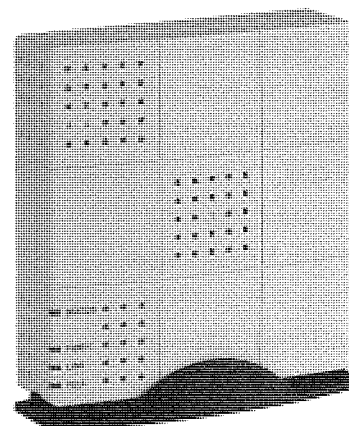


図6. 当社B-PON-ONUの外観

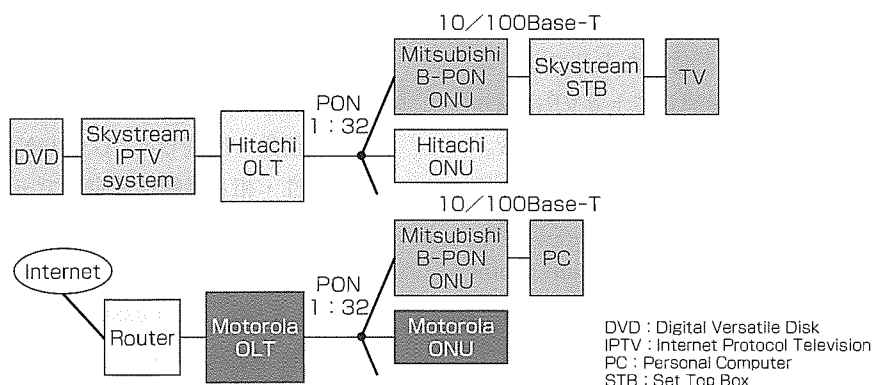


図4. デモンストレーション構成及び接続例

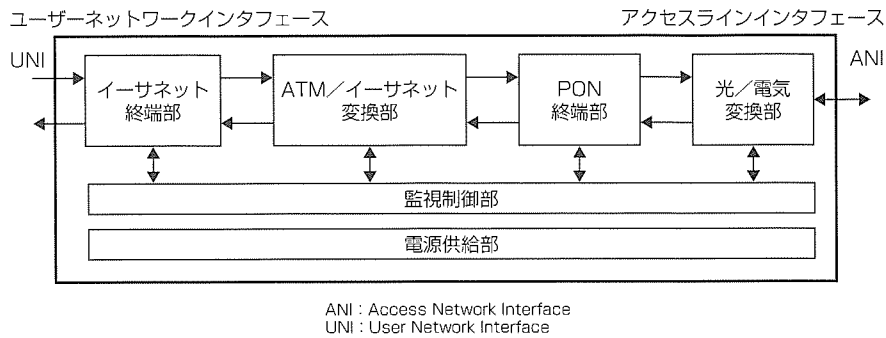


図7. 装置構成

#### 4.2 装置の構成

相互接続では物理インタフェースの整合に加えてメッセージシーケンスの適合性、OLTからの制御メッセージの解釈のそごをなくすことが重要であり、以下に述べる装置は相互接続仕様に基づきこれらの機能を実現している。

装置構成を図7に、構成各部の機能概要を以下に示す。なお、光/電気変換部、PON終端部、ATM(Asynchronous Transfer Mode)/イーサネット変換部、イーサネット終端部、監視制御部、電源供給部の6機能ブロックにより構成される。

- (1) 光/電気変換部は、局側装置OLTとのアクセスラインインタフェースに接続され光信号と電気信号を変換する。ITU-T G.983.1に準拠した上り155.52Mbpsと下り622.08Mbpsの光信号の多重及び分離機能を持っている。
- (2) PON終端部は、B-PONアクセスラインを終端する。ITU-T G.983.1及びITU-T G.983.4に準拠したPON物理レイヤの終端処理、上りと下り信号のバッファリング機能、下りVP(Virtual Path)フィルタリング機能を持っている。上り下りともHigh/Low 2クラスの優先制御クラスのバッファでバッファリング機能を実現する。OLTからOMCI(ONU Management and Control Interface)経由で設定されるVPは上り下りで異なるVPI(Virtual Path Identifier)値が設定可能である。
- (3) ATM/イーサネット変換部は、アクセスラインのATM信号とUNI(User Network Interface)のイーサネット信号を変換する。SAR(Segmentation and Reassembly)機能によりUNIから受信した上りフレームのVLAN(Virtual LAN)タグを参照して上りVPに振り分ける。下りVPはPON終端部で振り分けを実施する。
- (4) イーサネット終端部は、UNIのイーサネット信号を終端する。IEEE802.2, IEEE802.1Qに準拠したMAC(Media Access Control)/PHY(PHYSical layer protocol)レイヤ終端機能を持っている。設定により10M半二重, 10M全二重, 100M半二重, 100M全二重, オートネゴシエーションの計5種類のモードに対応する。設定パ

ラメータは、OLTからOMCI経由で通知され監視制御部で解釈しイーサネット終端部に設定する。IEEE802.3, IEEE802.1Q, Ethernet Ver2.0(DIX)に準拠したイーサネットフレームで、64バイト以上, 1,518(VLANタグなし)バイト以下, 1,522(VLANタグあり)バイト以下のフレーム長に対応する。そのほかMACアドレス学習機能, MACアドレスによるフィルタリング機能及びフロー制御機能(全二重通信時はPAUSEフレーム, 半二重通信時にはジャム信号による)を実現する。

- (5) 監視制御部は、装置内の監視を行いOLTに通知するとともにランプを表示する。ITU-T G.983.2及びITU-T G.983.8に準拠したOMCI終端処理を行い、OLTの制御に従い装置内各部を制御する。
- (6) 電源供給部は、装置内に必要な電源を供給する。

#### 5. む す び

以上、FTTHの主力方式の一つであるB-PONについて標準化機関における相互接続に関する活動の概要と当社の取り組みについて述べた。今後は、サービスレベルでの相互接続等更に進んだ議論が必要と考える。

#### 参 考 文 献

- (1) 総務省, 平成17年版 情報通信白書 (2005)
- (2) Nakamura, M., et al.: Proposal of networking by PON technologies for full and Ethernet services in FTTx, IEEE J. of lightwave technology, **22**, No.11, 2631~2640 (2004)
- (3) 吉田龍彦: PON適合性・相互接続性のための国際標準化活動-B-PON/G-PON国際標準勧告作成から適合性・相互接続性認定まで-, 電子情報通信学会技術研究報告, CS2005-26 (2005)
- (4) ITU-T勧告G983.1: Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks(PON) (1999)



# RPR対応光ネットワーク

曾田圭一\* 高橋克佳\*\*  
小林雅人\* 北山健志\*\*

Optical Networks based on RPR

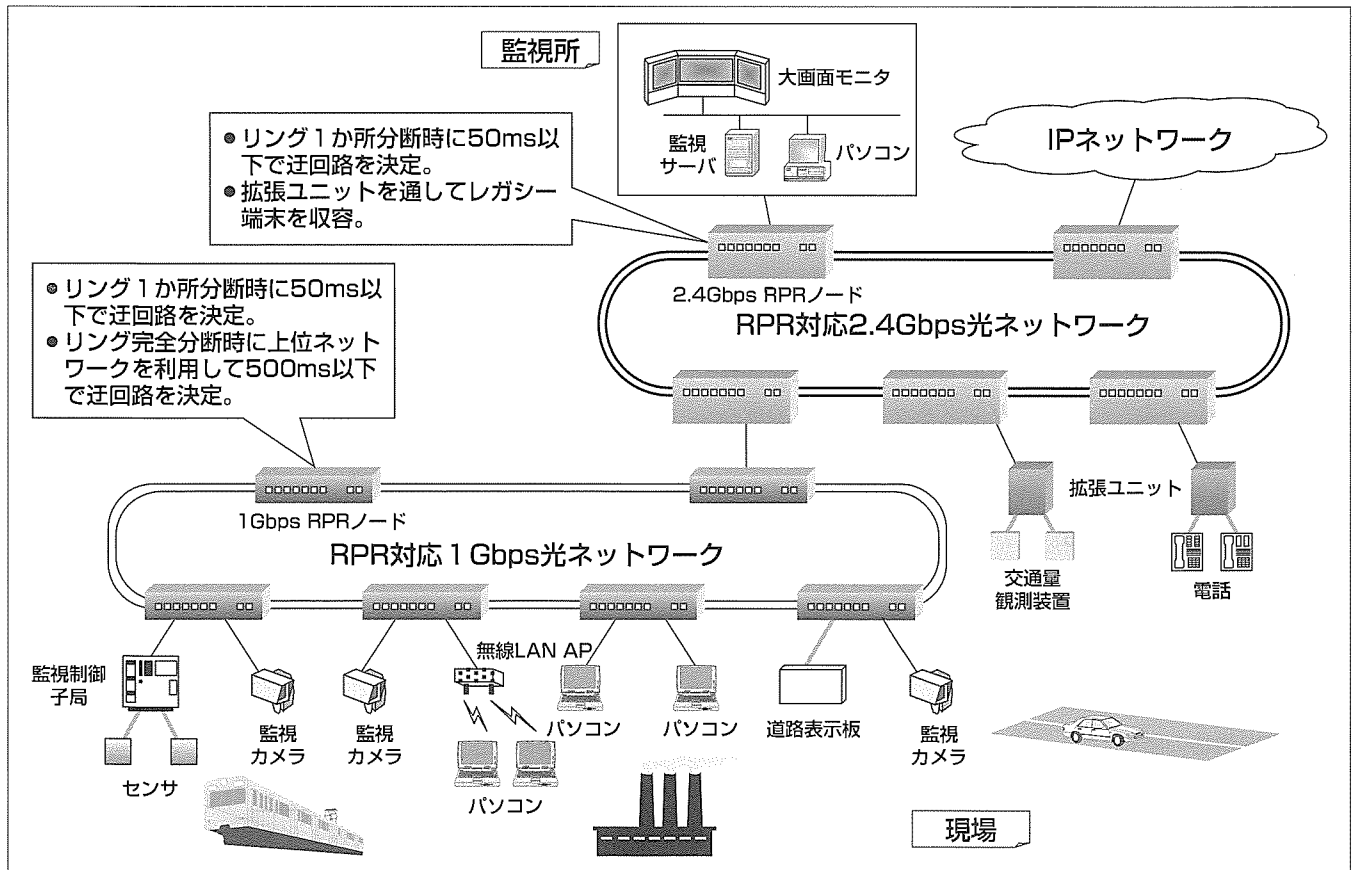
Keiichi Soda, Masato Kobayashi, Katsuyoshi Takahashi, Kenji Kitayama

## 要旨

道路、河川、鉄道、発電所等の社会インフラを広域にわたって監視及び制御する光ネットワークの分野では、ノードの屋外設置を前提とした耐環境性、多数のノードを接続し大規模ネットワークを構築可能な拡張性、伝送路の断線やノードの故障に対し業務に支障を与えず瞬時に復旧できる耐障害性が要求されている。さらに、近年、監視カメラ等の端末のIP(Internet Protocol)化に伴い、ネットワークのIP化が要求されているが、一般的なイーサネットスイッチやルータでは、多段接続時の段数の制約や障害発生時に経路切換え時間が長い等の問題があり、監視制御用光ネットワークへの適用に制約があった。

一方、メトロ系ネットワークの分野でも、同様にIPネットワークの拡張性と耐障害性強化の要求があり、この解決をねらい2004年6月にIEEE802.17 RPR(Resilient Packet Ring)<sup>(1)</sup>規格が標準化された。

今回、このRPR技術を適用した監視制御用光ネットワークノードを開発した。このRPR対応ノードは、前記の耐環境性、拡張性、耐障害性の要求を満たすとともに、サブネットワーク分断時の上位ネットワーク経由の高速迂回(うかい)機能、及び音声2W/4Wや1.5M/6.3M等の低速データインタフェースを持つレガシー端末の収容機能を持っている。



## RPR対応光ネットワークのシステム構成例

現場近傍のRPR対応1Gbps光ネットワークは、監視カメラや無線LAN(Local Area Network)アクセスポイント(AP)等を収容する。監視所近傍のRPR対応2.4Gbps光ネットワークは、前記RPR対応1Gbps光ネットワークや監視所の監視サーバ、大画面モニタ等を収容するとともに、拡張ユニットを通して交通量観測装置や電話等のレガシー端末を収容する。RPR対応光ネットワークは、伝送路の断線やノードの故障によるリング1か所分断時に50ms以下で迂回路を決定する。

1. ま え が き

道路、河川、鉄道、発電所等の社会インフラを広域にわたって監視及び制御する光ネットワークの分野では、ノードの屋外設置を前提とした耐環境性、多数のノードを接続し大規模ネットワークを構築可能な拡張性、伝送路の断線やノードの故障に対し業務に支障を与えず瞬時に復旧できる耐障害性が要求されている。さらに、近年、監視制御用光ネットワークに接続される監視カメラ等の端末のIP化が進み、これに伴い、監視制御用光ネットワークのIP化が要求されている。しかし、一般的なイーサネットスイッチやルータでは、多段接続時の段数の制約や障害発生時に経路切換え時間が長い等の問題があり、監視制御用光ネットワークへの適用に制約があった。

一方、メトロ系ネットワークの分野でも、同様にIPネットワークの拡張性と耐障害性強化の要求があり、この解決をねらい2004年6月にIEEE802.17 RPR規格が標準化された。

今回、このRPR技術を適用した監視制御用光ネットワークノード“MELNET-RP1000”と“RP2400”を開発した。

本稿では、RPR技術の概要、RP1000とRP2400の特長及び技術課題と解決策について述べる。

2. RPR規格

2.1 RPR規格の概要

2000年3月に米国のネットワーク機器メーカー数社が中心となりIEEE802.17 RPR規格の標準化ワーキンググループが発足し、2004年6月に標準化が完了した。

ネットワーク構成はリングであり、リングネットワークの利点である単一の障害に対し唯一の迂回路が決まる特長を生かし、Resilient(回復の早い)の名のとおり高速障害迂回を実現する。また、一般的にリングネットワークの弱点とされるフレームの無限周回によるストームの危険性を幾重にも防止する機構を設け、キャリアクラスの信頼性の高いネットワークを実現する。

RPR規格は、データリンク層のメディアアクセス副層の仕様を規定し、物理層を限定しない。また、ノードのレイヤ2/3中継機能や支線ポートの仕様も実装に任されている。

2.2 RPR規格の特長

RPR規格の特長を次に示す。

(1) 高速障害迂回

255ノードの多段接続時にも、伝送路の断線やノードの故障によるリング1か所分断時に50ms以下で迂回路を決定する。不可欠機能のステアリングプロテクション(図1)とオプション機能のラッピングプロテクション(図2)の2方式が規定されている。

(2) 自律的な接続位置検出

各ノードがリング上の全ノードの接続位置を常時かつ自律的に把握し、高速障害迂回時に参照するテーブルを作成する。ノードの移設や増設に柔軟に対応する。

(3) リング伝送帯域の有効利用

右回りのリングと左回りのリングを個別に使用可能である。宛先(あてさき)ノードで終端することにより、あるフローの宛先ノードよりも下流のリング伝送帯域を他のフローが再利用可能である。

(4) リング伝送帯域の公平利用

各ノードがフェアネスアクセス制御を実行することにより、送信元ノードから宛先ノードまでの経路ノード数に依存せず、各ノードがリング伝送帯域を公平に利用できる。

3. MELNET-RPシリーズ

3.1 主な仕様

RPR対応ノードMELNET-RP1000とRP2400の外観を図3と図4に、主な仕様を表1に示す。

RP1000とRP2400の特長を次に示す。

(1) 耐環境性

屋外設置を前提とし、動作周囲温度-10~+55℃をサポートする。

(2) 拡張性

1 Gbps(RP1000)又は2.4Gbps(RP2400)の広帯域光リングネットワークを構成し、リング上に最大128ノードを多段接続可能である。3クラスの優先制御、リングへのフレーム流入量上限を定めた流入量制御、RPRのフェアネスア

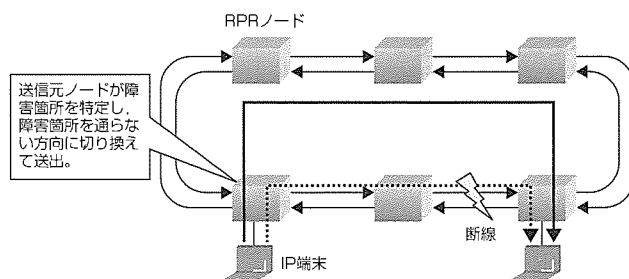


図1. ステアリングプロテクション

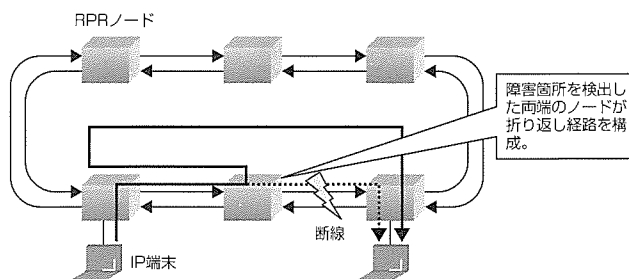


図2. ラッピングプロテクション

アクセス制御の各機能を備え、ネットワークの大規模化に伴い大量のトラフィックを収容した場合に高優先トラフィックの通信品質を保証可能である。

また、RP2400はIP端末に加え独自のレガシー端末収容機能を備え、レガシー端末を収容した既設のネットワークから容易に移行可能である(3.3節に詳細を述べる)。

(3) 耐障害性

RPRのステアリングプロテクションをサポートし、リング1か所分断時に50ms以下で迂回路を決定する。

また、RP1000では、リング完全分断時にも独自迂回プロトコルにより500ms以下で上位ネットワークを経由した迂回路を決定する(3.2節に詳細を述べる)。

いずれの迂回プロトコルも、リング分断時や回復時にフレームの二重到着又は順序逆転到着を完全に防止する機構を備え、高信頼なネットワークを構築可能である。

(4) メンテナンス容易性

ノード交換時に、設定情報をバックアップしているノードから該当ノードの設定情報を自動取得することにより、ノードの交換作業を容易にする。

また、RP1000はファンレスで、長寿命の電源モジュール(平均周囲温度40℃で15年以上)を使用しているため、定期交換が必要な保守部品を持たない。

3.2 上位ネットワーク経由の高速迂回 (MELNET-RP1000独自機能)

ネットワークが完全に分断された場合の対処として、一般的に、上位ネットワークに冗長経路を構成する次の二つの方法が採られる。一つは、上位ネットワークを含めて全体で大きなサブネットを構成し、STP(Spanning Tree Protocol)又はRSTP(Rapid Spanning Tree Protocol)で迂回路を決定する方法であり、もう一つは、ノードをすべてルータ又はレイヤ3スイッチで構成し、IPルーティング機能で迂回路を決定する方法である。

一般的に前者は数秒~1分程度、後者は数秒~数十秒の切換え時間を要し、さらに、前者はブロードキャストフレームやMAC(Media Access Control)アドレス未学習フレームを常に上位ネットワークに流すため上位ネットワークの伝送帯域を圧迫し、後者はネットワークを複数サブネットに細分化するためネットワーク設計を複雑化する問題を持っている。

この課題を解決するために、RP1000では、独自の迂回プロトコルを開発した。その概要を次に示す(図5)。

- (1) リング上の各ノードは、レイヤ2中継機能を持ち、リングネットワーク全体で単一のサブネットを構成する。
- (2) 上位ネットワークに接続された2ノード(便宜上ゲー

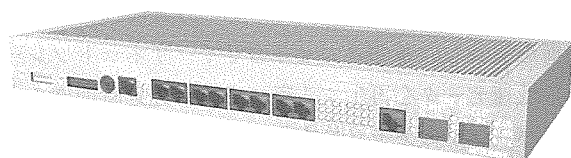


図3. MELNET-RP1000の外観

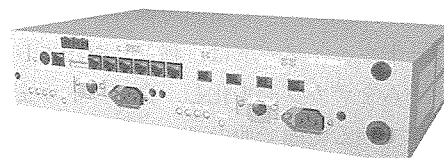


図4. MELNET-RP2400の外観

表1. MELNET-RP1000とRP2400の主な仕様

項目	MELNET-RP1000	MELNET-RP2400
光リングインタフェース	1000BASE-X(1 Gbps) × 2ポート	STM-16(2.4Gbps) × 2ポート
接続ノード数	最大128台	最大128台
ノード間伝送距離	最大500m/10km/40km/80km選択可	最大15km/40km/80km選択可
障害迂回方式*	RPRステアリングプロテクション	RPRステアリングプロテクション
障害迂回時間*	50ms以下	50ms以下
LANインタフェース	10/100BASE-T × 8ポート 10/100/1000BASE-T × 1ポート	10/100/1000BASE-T × 6ポート 1000BASE-T又は1000BASE-X × 2ポート
レイヤ2中継機能	VLAN, STP, IGMPスヌーピング	VLAN, STP, IGMPスヌーピング
レイヤ3中継機能	-	OSPF, PIM-SM, IGMP, VRRP
上位ネットワーク経由の迂回	独自迂回方式により500ms以下で迂回	STP又はOSPFで迂回
レガシー端末収容	-	拡張ユニットを経由して収容 音声2W/4W, 1.5M/6.3M, 接点, 他
サイズ	(W)430 × (D)180 × (H)44(mm)	(W)430 × (D)250 × (H)88(mm)
電源	AC100V/DC48V	AC100V/DC110V(二重化可能)
動作周囲温度	-10~+55℃(自然空冷)	-10~+55℃(強制空冷)

IGMP : Internet Group Management Protocol, OSPF : Open Shortest Path First, PIM-SM : Protocol Independent Multicast-Sparse Mode, STP : Spanning Tree Protocol, VLAN : Virtual LAN, VRRP : Virtual Router Redundancy Protocol,

\* : IEEE802.17 RPR規格で規定される機能

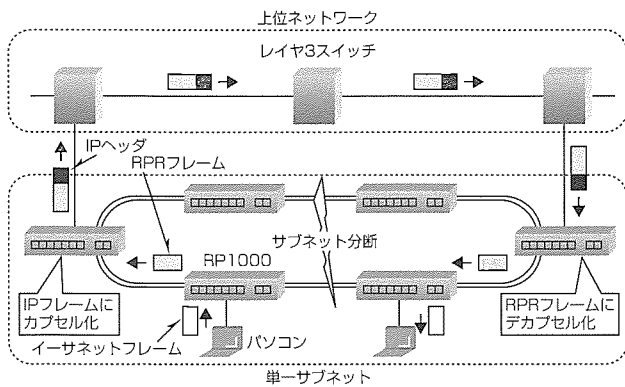


図5. 上位ネットワーク経由の高速迂回

トウェイノードと呼ぶ)は、RPRの接続位置検出機能を利用してお互いにリング上の導通を監視する。

(3) リングが完全に分断された場合、ゲートウェイノードは、自身が接続されている範囲でリング上に流れるRPRフレームを収集し、自ゲートウェイノードが送信元IPアドレスかつ相手ゲートウェイノードが宛先IPアドレスの新たなIPフレームにカプセル化し、上位ネットワークのIPルーティング機能を利用して相手ゲートウェイノードに送信する。このとき、上位ネットワークの伝送帯域消費を抑制するために、RPRフレームの優先度に応じて、迂回するか否かを選択可能である(例えば伝送帯域を大量に消費する映像データを迂回対象外にする等)。

(4) 相手ゲートウェイノードは、到着したIPフレームからRPRフレームをデカプセル化し、自ゲートウェイノードが接続されている範囲で他のノードに中継する。以上の処理をハードウェアで高速に実行する。

以上により、ネットワークを複数サブネットに細分化せず、かつ上位ネットワークの伝送帯域を圧迫せずに、重要度の高いフレームを高速迂回可能とした。

### 3.3 レガシー端末の収容(MELNET-RP2400独自機能)

鉄道の運行管理向けネットワーク等では、IP端末に加えて、音声2W/4Wや1.5M/6.3M等の低速データインタフェースを持つ既設のレガシー端末を収容するニーズが強い。レガシー端末間では、クロック同期をとる必要があるが、レガシー端末向けにクロック同期のとられた回線交換型ネットワークとIP端末向けにRPRによるパケット交換型ネットワークを個別に設けた場合、光ファイバの敷設本数や設備コストと工事コストの増加を招く。

この問題に対し、RPRによる単一のパケット交換型ネットワーク上でレガシー端末間のクロック同期をとり、これを簡易な回路で実現する方法を開発した。RP2400におけるレガシー端末間のクロック同期と低速データ中継動作の概要を次に示す(図6)。

(1) オプションの拡張ユニットをイーサネットインタフェ

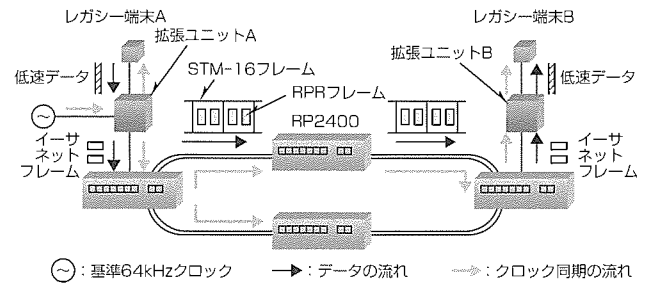


図6. レガシー端末の収容

ースでRP2400に接続する。拡張ユニットは、レガシー端末の低速データをイーサネットフレームにパケット化する機能を持っている。

- (2) RP2400間で光インタフェースのSTM(Synchronous Transport Module)-16を利用して64kHzのクロック同期をとる。RP2400とこれに接続した拡張ユニット間もイーサネットインタフェースとは別に専用インタフェースで64kHzのクロック同期をとる。図の例では、拡張ユニットAが外部から基準64kHzクロックを受け取る例を示している。ネットワーク上のすべてのRP2400と拡張ユニットは、この基準64kHzクロックに同期する。
- (3) レガシー端末Aから出力された低速データは、図に示す流れでクロック同期を保ちながらレガシー端末Bに到着する。RP2400にRPRフレームの遅延時間ゆらぎ抑制機構を実装し、拡張ユニットBでイーサネットフレームから低速データを再生する際に必要な遅延時間ゆらぎ吸収用バッファのメモリ量を削減している。

以上により、RPRによる単一のネットワークでIP端末とレガシー端末の同時収容を実現した。

## 4. む す び

以上、RPR技術の概要、RPR対応ノードMELNET-RP1000とRP2400の特長を述べ、ネットワーク完全分断時の上位ネットワーク経由の高速迂回、及びレガシー端末収容を実現する上での技術課題と解決策について述べた。

現在、MELNET-RP1000とRP2400は、道路や河川の監視画像集配ネットワーク、有料道路の課金情報収集ネットワーク、鉄道の運行管理情報伝送ネットワーク等に適用されている。

今後、社会インフラ向けネットワークばかりでなく、車両内ネットワークやビル管理ネットワーク等様々なネットワークの高信頼化に寄与していけるものと期待する。

## 参 考 文 献

- (1) IEEE 802.17: Resilient packet ring (RPR) access method & physical layer specifications/D3.3 (2004)

# ケーブルテレビにおける放送・通信サービス

橋本孝治\* 中澤宣彦\*\*  
 岡畑英成\* 石野義行\*\*  
 近藤清司\*

Broadcasting Program and Broadband Service over Cable Television Access Network

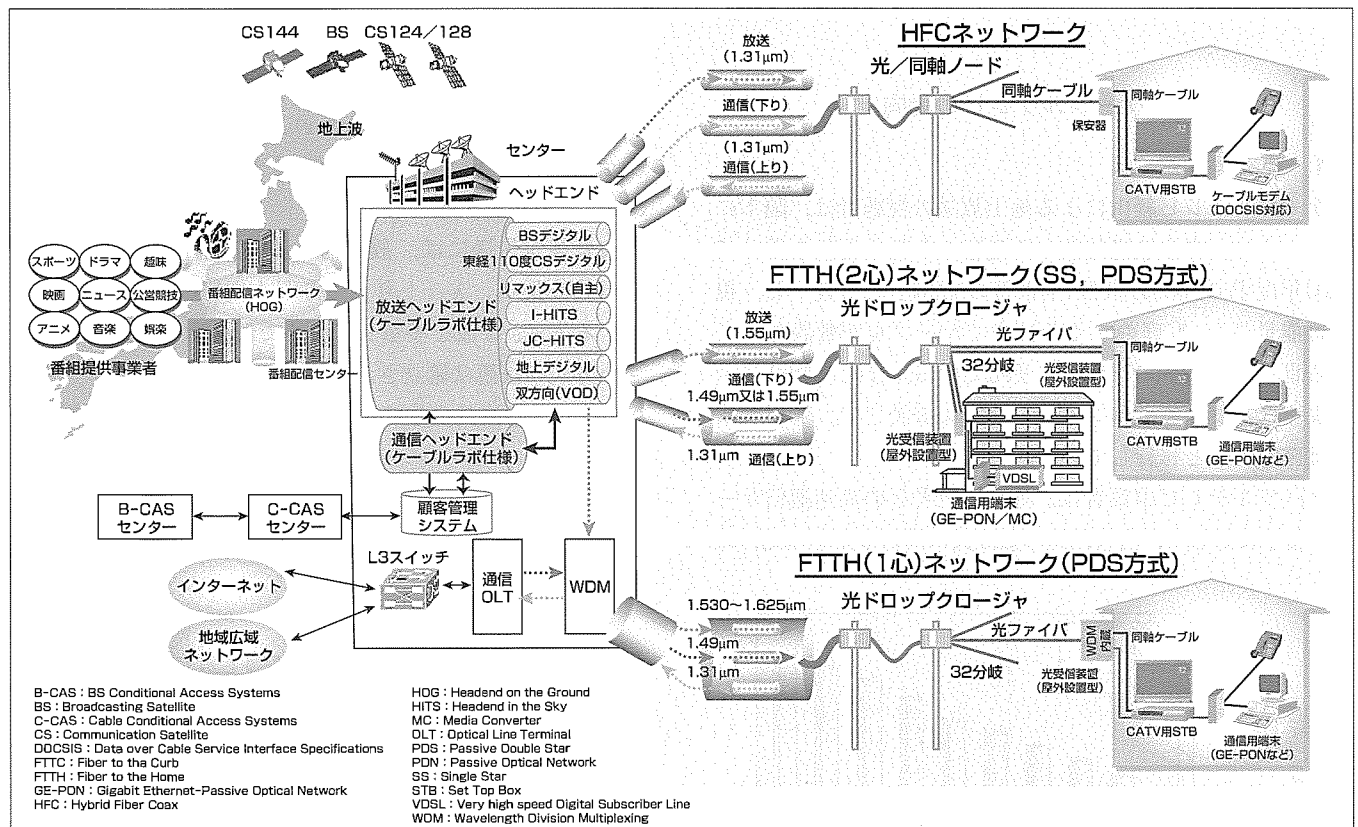
Koji Hashimoto, Hidenari Okahata, Kiyoshi Kondo, Norihiko Nakazawa, Yoshiyuki Ishino

## 要旨

ケーブルテレビ(CATV)は、テレビ難視聴対策及び電波障害対策から始まり、基幹放送・準基幹放送(BS・CS衛星)の再送信及び自主放送番組など多チャンネルサービスを提供してきた。普及に当たり、(株)日本ケーブルテレビ連盟内にある日本ケーブルラボで、ケーブルテレビ事業者の要求に基づいて、すべての放送メディアのデジタル化に対応した運用仕様を策定し、円滑にデジタル化を推進して、視聴者の利便性の向上を図っている。また、連盟の業界ビジョンでは広域ネットワーク構想による番組配信、地域番組情報の活用、VOD(Video on Demand)など新サービスを目指しており、アクセス系の広帯域化が進むと予測される。さらに、政府は、世界最先端のICT(Information and Communication Technology)国家を目指し、u-Japan

政策(2006年~2010年)を推進している。その中で、ネットワークの高速化又は超高速化を目指しており、ケーブルテレビは、HFC・FTTC・FTTHなどネットワークの高度化が進むものと想定される。

本稿では、FTTH型ケーブルテレビにおける伝送方式を中心に、特に有線テレビ放送方式に準拠した放送信号品質と通信信号品質を確保するための光レベル設計、三菱電機の納入事例における特長及びサービスについて述べる。今後、ケーブルテレビインフラのネットワークが高度化されていく中で、当社は、システム構築、サービス提案など最適なソリューションを実現し、新サービスの普及促進に努める所存である。



## ケーブルテレビにおける放送・通信サービスの仕組み

ケーブルテレビにおける放送サービスは、番組提供事業者からの番組を含めてすべての放送メディアを、地上放送、衛星放送及び地上回線を経由してケーブルテレビ事業者が受信し、ケーブルテレビのデジタル伝送方式に準拠し、各家庭のCATV用STBで視聴する。通信サービスは、ケーブルテレビネットワーク形態に応じて、ケーブルモデム又はFTTH用端末で電話及びインターネットサービスなどを実現している。

## 1. ま え が き

ケーブルテレビは、難視聴対策及び電波障害対策から始まり、基幹放送・準基幹放送(BS・CS衛星)の再送信及び自主放送番組を提供してきた。ケーブルテレビ事業者は、すべての放送メディアのデジタル化に対応し、各デジタル放送の運用仕様を策定の上、デジタル化を推進して視聴者の利便性の向上を図り、放送・電話・インターネットのトリプルプレーサービスを提供している。また、ケーブルテレビの幹線は、光化率がほぼ100%であり、今後、アクセス系の広帯域化が進むと予想される。

政府はe-Japan政策において、地域情報化ケーブルテレビ施設整備を推進し、さらに2006年から2010年までに世界最先端のICT国家を目指すu-Japan政策をかかげている。その中で、サービス、ネットワーク、端末レベルの放送・通信連携、IP(Internet Protocol)インフラの高度化、地上デジタル放送の2011年全面移行の実現を推進している。

このような状況下において、ケーブルテレビではHFC・FTTC・FTTHなどネットワークの高度化が進むものと想定される。

本稿では、ケーブルテレビの動向、FTTH型ケーブルテレビの伝送路検討及び当社の納入事例を、さらに、ケーブルテレビによる放送・通信連携したサービスについて述べる。

## 2. ケーブルテレビの動向

### 2.1 普及状況

ケーブルテレビ経由による地上放送の視聴者は、図1に示すように、自主放送施設と再送信のみ行う施設を併せて、2004年度末に2,600万世帯(全世帯の50%超)に普及<sup>(1)</sup>し、視聴可能世帯数(家庭のすぐそばまでケーブルが敷設されている世帯数)は3,800万世帯に及んでいる。また、図2に示すように、ブロードバンドサービスの普及<sup>(2)</sup>で、通信事業者はFTTHへと移行している。

ケーブルテレビ事業者は、通信事業者との高速通信サービス競争に対して、自営回線の敷設又は通信事業者の光回線

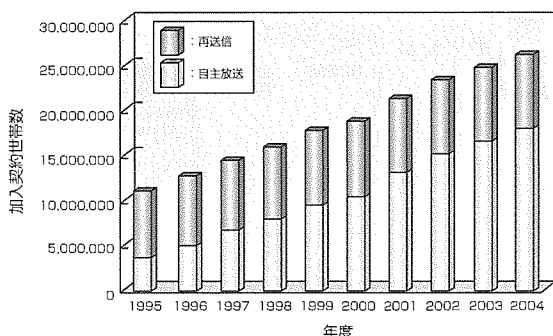


図1. ケーブルテレビの普及状況<sup>(1)</sup>

の活用により、通信サービスの高度化を目指している<sup>(3)</sup>。

### 2.2 市場動向・技術動向

通信事業者は、FTTHサービスの加入を推進している。このFTTH化が進む中で、HFCでの通信サービスは、北米DOCSIS仕様(ITU-T J-112 Annex B)のケーブルモデムシステムを採用し、最大42.9Mbps(256QAM(Quadrature Amplitude Modulation)/6MHz)を3波束ね下り通信速度126Mbps、最大24波の256QAM/6MHzを束ね1Gbps程度の下り通信速度を実現する方式もあり、FTTHと同等以上のサービスを実現できる可能性がある。

この高速通信サービスの市場ニーズの高まりに対して、ケーブルテレビ事業者は、設備投資、既存インフラとの親和性・拡張性を踏まえ、既設HFC又はFTTH化によるアクセス系の広帯域化を検討しており、FTTH型ケーブルテレビは黎明(れいめい)期にある。

## 3. FTTH型伝送路の検討

### 3.1 現 状

ケーブルテレビのサービスでは、70~770MHzの周波数帯域において、アナログ及びデジタル有線テレビ放送方式に準拠した放送信号を伝送している<sup>(4)</sup>。FTTHでは、同軸増幅器、タップオフなどのパッシブ機器が不要で、かつBS・CS-IF(Intermediate Frequency)伝送も含め、広帯域化した放送周波数配置が可能である。また、放送品質を確保するための所用性能であるCN(Carrier to Noise)比、CSO(Composite Second Order)、CTB(Composite Triple Beat)、レベル偏差等の端末格差を最小限に抑えられる。

### 3.2 波長多重伝送

波長多重伝送には、放送信号波長 $\lambda_1$ (下り片方向)と通信信号波長 $\lambda_2, \lambda_3$ (上り・下り双方向)を分けて2心で伝送する方式、3波を多重して1心で伝送する方式があり、2心方式の技術は確立されている。

一方、1心波長多重では、レイリー散乱、波長分散及び

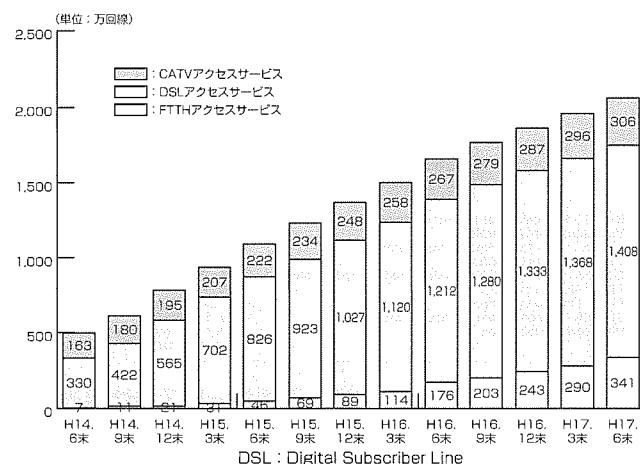


図2. ブロードバンドサービス契約数推移<sup>(2)</sup>

非線形光学効果(誘導ラマン散乱, 誘導ブリュアン散乱)を踏まえ, 光受信装置のCN比劣化及びスプリアス発生により放送信号への影響を及ぼすことがないようにする必要がある。放送信号波長に通信信号波長が混入することにより, 光受信装置で変換された電気信号には線形クロストークが発生し, デジタルデータの固定パターン繰り返し周期の周波数成分が存在する。これが妨害波(スプリアス)として放送信号に影響するため, 光信号の段階でWDMフィルタによる通信信号波長の除去を行うとともに, 放送信号品質を確保できる通信信号の光運用レベルを決定する必要がある。また, 接続点での多重反射による反射減衰量を低減するために, 融着技術・コネクタを適切に選択する必要がある。

これらの点を踏まえ, ケーブルテレビに適用する1心波長多重では, 波長規定, 光受信装置の入出力の性能規定及び放送への影響評価方法などの技術基準を策定の上, 省令改正などの整備が進められている。今後, 民間の標準化及びマルチベンダー化が課題となる。

当社は現状, 実用性, 信頼性及び保守性を考慮し, 放送と通信を分離した2心方式の設計・施工としている。

### 3.3 伝送路方式

伝送路方式には, センターから加入者まで1対1で光ケーブルを敷設するSS方式と, 光ケーブル1心を線路上で最大64分岐し, 加入者に分配するPDS方式がある。

方式選定では, サービスエリアや世帯数, バックボーンの通信容量などの面から判断する必要がある。

#### (1) SS方式

この方式は, センターと加入者宅内に設置する通信装置のMC(Media Converter)間を, 光ケーブルで1対1接続する構成である。この方式は, 心線管理の容易性, サービスエリアでの部分導入や段階的なエリア拡張性に富んでいる。また, 将来導入できる光伝送装置の選択肢も多い。ただし, センターでは収容する光心線数が多く, 通信装置や光成端架が大型化し, 設置スペースの確保が必要となる。

#### (2) PDS方式

この方式は, 光ケーブルを光分岐し複数の加入者で共有する構成とし, PON(Passive Optical Network)装置を使用する。この方式は, SS方式と比べた場合, 伝送路構築費を10%から30%の範囲で低減でき, センター装置の収容

体積も約50%に圧縮できる(当社試算)。また, 敷設光ケーブルを有効利用できる利点もある。

### 3.4 放送信号と通信信号の光レベル設計

#### (1) 放送信号レベル

放送信号を光強度変調して伝送する場合には, 出力レベルが18dBmを超えると, 光散乱(誘導ブリュアン散乱)の影響でCN劣化となり, レベルを考慮する必要がある。表1に示すように, 許容伝送損失を考慮し, SS方式では, センターで64分岐し出力レベルを-1dBm, PDS方式では, EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)光増幅器の出力レベル(20dBm)を2分岐し出力レベルを17dBm程度に抑え, 所望CN比を満足させる光受信装置の到達レベルを-4.5dBmとすると, 線路上で32分岐し最大64分岐まで可能である。

#### (2) 通信信号レベル

表に示すように, 通信の入力レベル範囲(約20dB)は, 放送の入力レベル範囲(6dB)に比べ非常に広い。そのため, レベル設計では, 放送信号を基準に許容伝送損失を考慮することで, 通信信号レベルも入力レベル内に確保できる。

## 4. 納入事例

当社が納入したケーブルテレビの概要を述べる。

この事例は, 国内でサービス・規模ともに先進的な実用型施設で, 当社が先行的にシステム構築したものである。

#### (1) SS方式FTTH型施設例(図3)

この施設ではエリア拡張性の観点からSS方式を採用し, 地上波, ラジオの再送信を基本に, 隣接するケーブルテレビ事業者の多チャンネル放送サービスを提供している。

通信サービスでは, 上り・下り100Mbpsで, インターネット, IP電話(域内通話無料), センターからマルチキャストで配信できるIP音声告知放送を実現している。

#### (2) PDS方式FTTH型施設例(図4)

この施設では設備費用抑制の観点からPDS方式を採用し, 地上波放送(アナログ及びデジタル)とFM・AMラジオ放送の再送信を基本とし, BS・CSデジタル放送サービスも提供している。CSデジタル放送は, 番組供給事業者から番組を受け, ケーブルテレビ事業者側で視聴制御(C-CAS)

表1. 放送信号と通信信号の光レベル

伝送路方式	光信号の内容	波長λ (nm)	出力レベル 規格値 (dBm)	64分岐 損失 (dB)	10km線路 損失 (dB)	入力レベル 規格値 (dBm)	到達レベル 設計値 (dBm)
SS方式	放送(下り)	1,550	+20	21(Typ.)	3.5(Typ.)	-1~-7	-4.5
	通信(下り)	1,550	-11(Ave.)	-	3.5(Typ.)	-3~-30	-12.6
	通信(上り)	1,310	-11(Ave.)	-	4(Typ.)	-8~-30	-13.1
PDS方式	放送(下り)	1,550	+20	21(Typ.)	3.5(Typ.)	-1~-7	-4.5
	通信(下り)	1,490	+5.3(Ave.)	21(Typ.)	3.5(Typ.)	-9.5~-29.7	-19.2
	通信(上り)	1,310	+2.3(Ave.)	21(Typ.)	4(Typ.)	-5.5~-25.7	-23.4

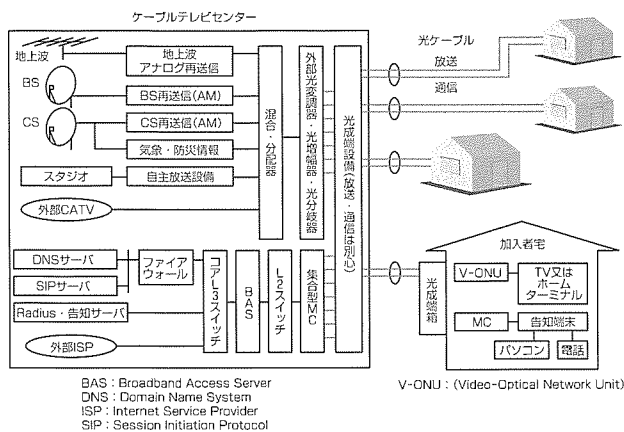


図3. SS方式FTTH型施設

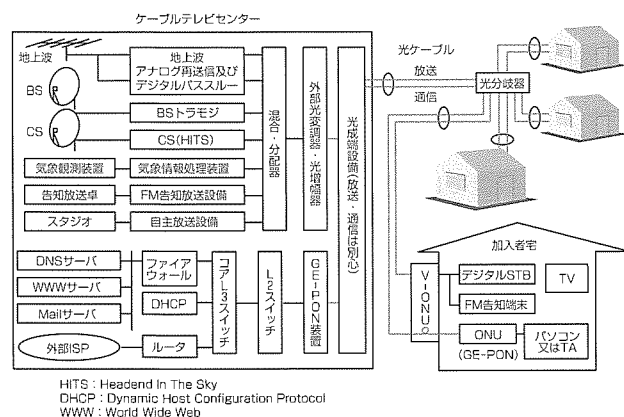


図4. PDS方式FTTH型施設

を行っている。また、FM音声告知放送や気象情報、道路・河川の監視映像情報など、防災用途のサービスも提供している。

通信サービスは、上り・下り100Mbpsのベストエフォート型で、インターネット、外部プロバイダーの提供するIP電話サービスを提供している。

### 5. ケーブルテレビインフラの活用

ケーブルテレビは、テレビ放送やインターネットにとどまらず、行政・防災といった安全・安心な生活にかかわる地域情報サービスを提供する基幹インフラの位置付けにある。

ここでは、ケーブルテレビインフラ活用によるメリットについて述べる。

#### 5.1 地上デジタル放送の普及促進

ケーブルテレビインフラと放送の小規模中継局とを組み合わせた伝送方式の確立や、受信環境の整備として共聴施設への対策などにより、地上デジタル放送の普及促進の可能性が高まる。

#### 5.2 地域番組(コミュニティチャンネル)

ケーブルテレビ事業者がそのサービス地域内で独自に提

供するコミュニティチャンネルは、河川・道路の監視画像、気象情報(地震・台風)、行政からの告知、地域イベント情報など、地域密着型の情報を提供している。

今後、HDTV(High Definition Television)化や、データ放送の活用、ネットワーク接続による番組・コンテンツの流通、制作、保存など、広域連携による地域情報発信インフラに進展する可能性がある。

### 5.3 地域サービス

#### (1) 一般利用者の利点

ケーブルテレビネットワークは、高速化に加え広域化の方向へ進んでおり、地域の経済圏・生活圏を越えて、遠隔医療、遠隔教育、VODサービスなどが実現でき、電子政府・電子自治体を中心とした公共サービス、ホームセキュリティなどケーブルテレビによる統合したサービスの提供が可能となる。

#### (2) 行政の利点

現状では、専用線により構築されている上下水道のテレメータや河川・道路設備の遠隔監視制御は、地域インフラであるケーブルテレビを活用して一元管理することが可能であり、同時に防災情報(地震・気象)を放送することで、安全・安心な生活基盤を提供することができる。また、電子マネー・クレジット決済などを活用した行政サービスにおける業務効率化についても実現の可能性はある。

## 6. むすび

FTTH型ケーブルテレビの伝送方式、放送・通信における伝送路設計、及び当社納入システムの概要・特長につき述べた。さらに、ケーブルテレビにおける放送・通信連携したサービス例についても述べた。

ケーブルテレビは住民・企業、行政が一体となって活用するインフラであり、既に地域社会と密接な関係にある。

当社は、ケーブルテレビ全般のシステム構築、サービス提案、及び運用支援を行い、ユビキタス社会の実現に向けて、地域基幹インフラであるケーブルテレビにおける新サービスの普及促進に努める所存である。

### 参考文献

- (1) 総務省：ケーブルテレビの現状 (2005-6)
- (2) 総務省：ブロードバンドサービス契約数の推移等 (2005-8)
- (3) 中澤宣彦, ほか：地上デジタル放送の開始にあたって-行政面からのアプローチ-, 情報処理, 45, No.2, 152~159 (2004)
- (4) 中澤宣彦, ほか：地上デジタル放送の開始にあたって-技術面からのアプローチ-, 情報処理, 45, No.4, 378~387 (2004)



# 光アクセス用光送受信器

中川潤一\* 片山政利\*\*\*  
野上正道\*\* 韓 昌一\*\*\*  
野田雅樹\*\*

## Optical Transceiver for Optical Access Systems

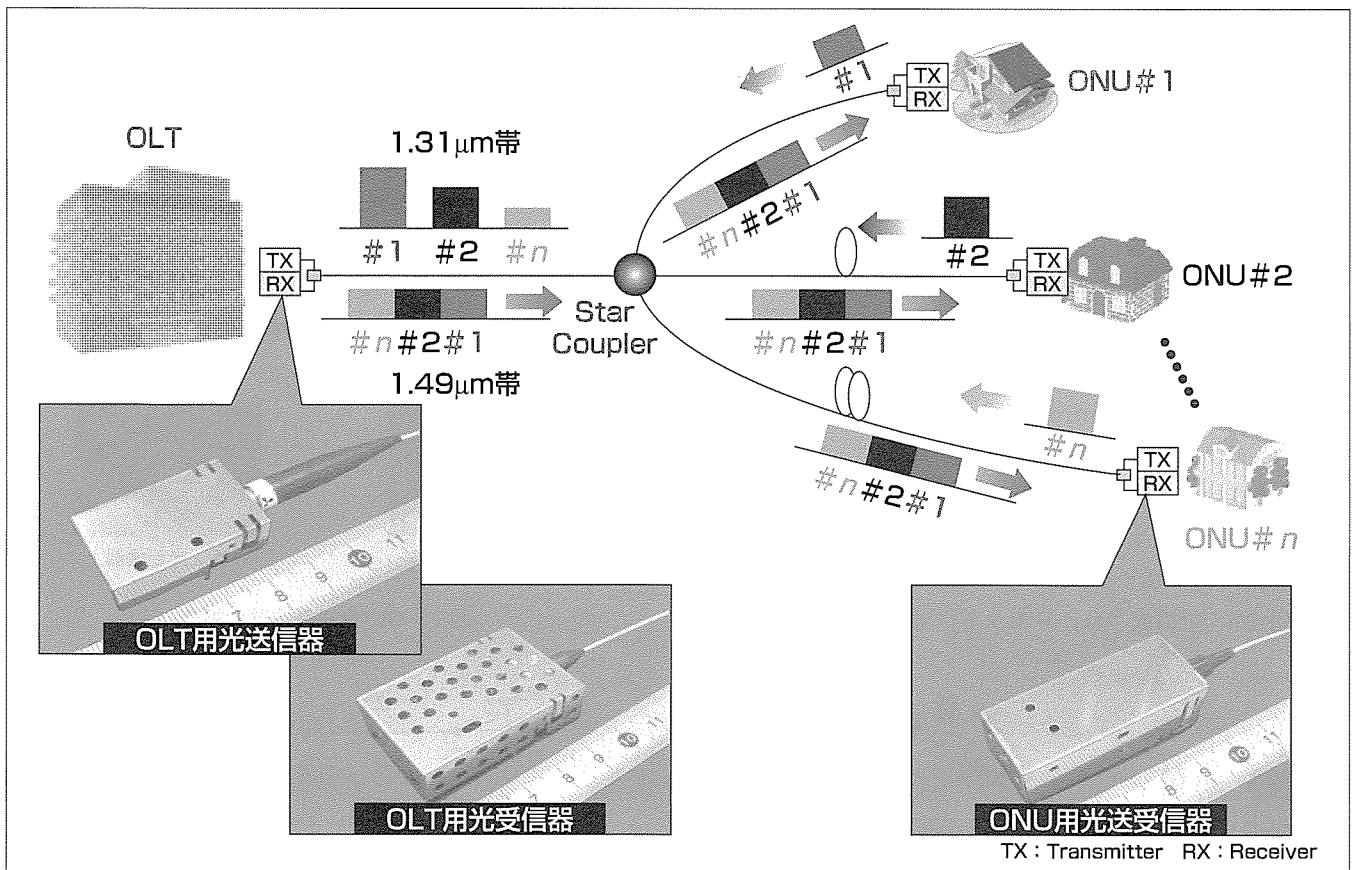
Junichi Nakagawa, Masamichi Nogami, Masaki Noda, Masatoshi Katayama, Han Changil

### 要 旨

近年、高速・大容量の光加入者網を経済的に実現できる方法として、1.25GbpsのGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムの商用導入が進んでいる。GE-PON システムでは、各加入者(Optical Network Unit : ONU)が光スターカプラから異なる距離に位置するため、局側(Optical Line Terminal : OLT)に到達する各ONUからの受光レベルは受信パケットごとに異なることから、OLT光受信器には異なる受光レベルのパケットを瞬時に再生する必要がある。さらに、光スターカプラの分岐に伴う損失を補うため、OLT光送受信器には高光出力

化と受光感度の向上が要求される。一方、ONUからOLTへの上り通信は、各ONUのデータが衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重通信方式が適用されるため、ONU光送受信器には、信号速度1.25Gbpsのパケット光を瞬時発光する機能が必要となる。

本稿では、国際規格IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)802.3ah<sup>(1)</sup>規格を満足するGE-PON OLT/ONU用の光送受信器を開発したのでこれについて述べる。



### GE-PONシステム

GE-PONシステムでは、OLT及び複数のONU間を光スターカプラを用い光ファイバで接続する構成であるため、OLTからONUへの下りは光波長1.49μm帯を用いた同報通信を行い、各ONUからOLTへの上りは光波長1.31μm帯を用いて各ONUのデータが衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重通信を行う。

1. ま え が き

GE-PON装置の光インタフェース機能を実現する光送受信器は、GE-PONシステムのキーデバイスである。今回、国際規格IEEE802.3ah規格<sup>(1)</sup>に準拠した局側(OLT)及び加入者側(ONU)光送受信器を開発したのでこれについて述べる。

2. GE-PONシステムの概要

GE-PONシステムのトポロジーを図1に示す。1台のOLTと複数のONUが光スターカプラを介して接続される構成であり、多数のONUに対してOLTと伝送路である光ファイバの大部分は共有できるため運用コストの経済化が期待できる。

OLTからONUへの下りは光波長1.49 $\mu$ m帯を用いた同報通信方式を用い、各ONUは割り当てられたタイムスロットのデータのみ取り出す。一方、各ONUからOLTへの上りは、光波長1.31 $\mu$ m帯を用い、各ONUのデータが衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重通信方式を用いている。各ONUは光スターカプラから異なる距離に位置することから、OLTにおける各ONUの受光レベルは受信パケットごとに異なるため、OLTの受信回路は異なる受光レベルのパケットを安定に再生する必要がある。また、光スターカプラの分岐に伴う損失を補償するために、OLTには、高光出力化と受光感度の向上も要求される。

3. OLT光送受信器

3.1 OLT光送受信器の構成

図2にOLT光送受信器の概略ブロック図を示す。

光送信器は、波長1.49 $\mu$ mの高出力DFB-LD(Distributed Feedback-Laser Diode)とドライバICで構成され、APC(Automatic Power Control)回路、光出力断警報発出機能、シャットダウン機能を内蔵している。

光受信器は、APD(Avalanche Photo Diode)、バースト信号対応のプリアンプ、ATC(Automatic Threshold Control)機能を持つリミッティングアンプ、APDバイアス電圧供給回路<sup>(2)</sup>で構成され、リセット信号フリーで動作する。

プリアンプICとリミッティングICは、0.32 $\mu$ m SiGe BiCMOS(Bipolar Complementary Metal Oxided Semiconductor)プロセスを適用し、IEEE802.3ahに準拠するよう新規に開発した<sup>(3)</sup>。

図3にOLT光送信器とOLT光受信器の外観を示す。光送信器のサイズは32.4mm $\times$ 20mm $\times$ 11mm、電源電圧は3.3V $\pm$ 5%、消費電力0.76W以下である。また、光受信器のサイズは46.3mm $\times$ 30.6mm $\times$ 12.7mm、電源電圧は3.3V $\pm$ 5%、消費電力は0.87W以下である。

3.2 OLT光送信特性

図4に平均光出力と消光比の評価結果を、図5にカットオフ周波数937MHzの4次ベッセル・トムソンフィルタ通過後の光出力波形を示す。環境温度0 $\sim$ 70 $^{\circ}$ Cにおいて、平均光出力は+4.0dBm以上、消光比17dB以上、マスクマージン65%以上の良好な波形が得られた。また、SMF(Single Mode Fiber)20km伝送後(総分散量:317ps/nm)の伝送ペナルティは0.1dB以下であった。

3.3 OLT光受信特性

PONシステムのOLT光受信器は、各ONUからの様々な

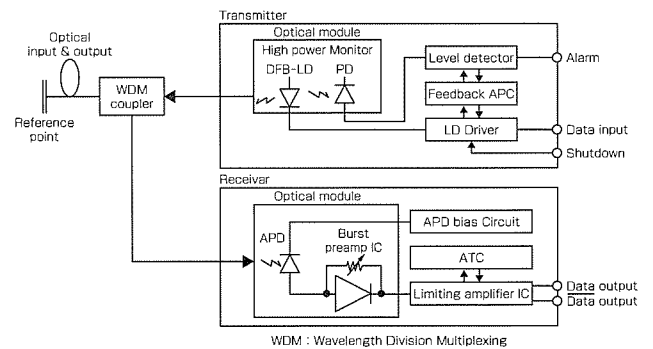


図2. OLT光送受信器の概略ブロック図

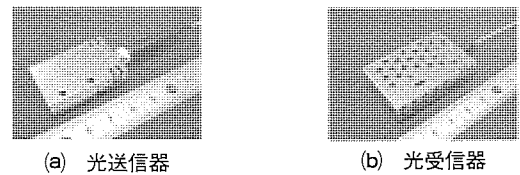


図3. OLT光送受信器の外観

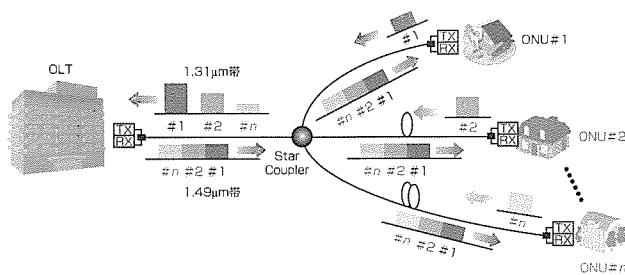


図1. GE-PONシステムのトポロジー

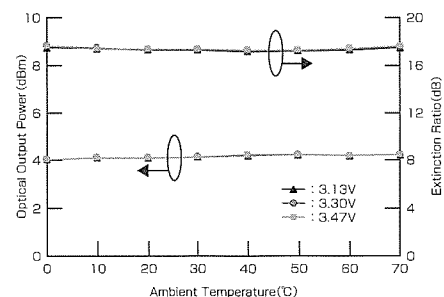


図4. OLT光送信部の平均光出力と消光比評価結果

受光レベルのバースト信号を高速かつ安定に再生する必要があるため、広ダイナミックレンジ特性が要求される。今回、IEEE803.2ahに準拠するバースト対応プリアンプの利得制御方式として連続AGC(Automatic Gain Control)方式を採用した。連続AGC方式とは、常に振幅を検出して連続的に緩やかに利得を制御する方式であり、各パケットの受信レベル差のみならず、ONU送信波形の過渡応答に柔軟に対応可能な特長を持っている。

図6にOLT光受信器の入力光波形と出力電気波形を示す。入力信号のパケットはアイドルパターン(セットリングタイムST=400ns)とPN7段のデータからなり、2つのパケット間ガードタイム(GT)を削除したフレーム構成とした。第1パケット及び第2パケットの平均光出力は、それぞれ-6dBmと-30.1dBmに設定した。図から、第2パケットの出力電気波形はデータ領域の先頭から誤りなく再生されており、バースト間レベル差として24.1dB以上の十分な特性が得られる。

図7に符号誤り率測定時のパケット構成を示す。第1パケットの平均光出力を-6dBmに固定し、第2パケットの平均光出力を変えて、第2パケットのデータ領域(PN7段)の符号誤り率特性を評価した。図8にバースト受信時の符号誤り率特性を示す。环境温度-5~75℃において、-30.1~-5dBmの受光レベル範囲で $1 \times 10^{-12}$ 以下の

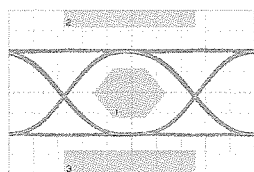


図5. OLT光送信器の光出力波形

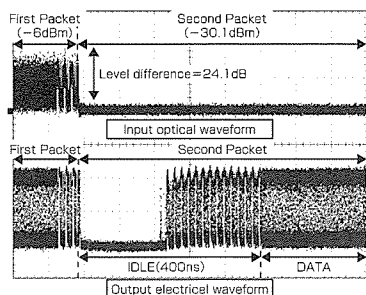


図6. OLT光受信器の入力・出力波形評価結果

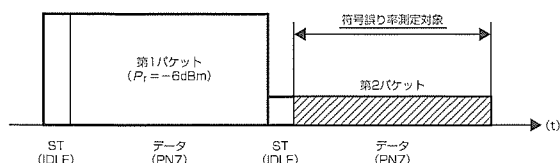


図7. 符号誤り率測定時のパケット構成

符号誤り率特性が得られており、IEEE802.3ahの規格を十分満足できる。

#### 4. ONU光送受信器

##### 4.1 ONU光送受信器の構成

ONU光送受信器は、加入者端末装置に設置される光インタフェースであり、他のONUのパケットと衝突しないようにバースト送信が要求される。

図9にONU光送受信器の概略ブロック図を示す。ONU光送受信器は、送信部、受信部と、小型化・低価格化を実現するため発光素子、受光素子、プリアンプICと合分波フィルタとを一体化した双方向波長多重光モジュールにより構成した。また、1.55μm帯のリジ렉션フィルタを内蔵して、将来のビデオ信号を多重したトリプルプレーにも対応している。

送信部の発光素子には、波長分散ペナルティを考慮して、SMF10km伝送用(PX10)についてはFP-LD(Fabry Perot-Laser Diode)を、20km伝送用(PX20)についてはDFB-LDを採用した。また、光出力レベル制御には、フィードフォワード型APC方式を適用し、シャットダウン機能も内蔵している。

受信部は、PD(Photo Diode)、プリアンプ、リミッティングアンプで構成され、光入力断警報発出機能を備えている。図10にONU光送受信器の外観を示す。光送受信器のサイズは46.6mm×19.6mm×21.0mm、電源電圧は3.3V±5%、消費電力は0.99W以下である<sup>(4)</sup>。

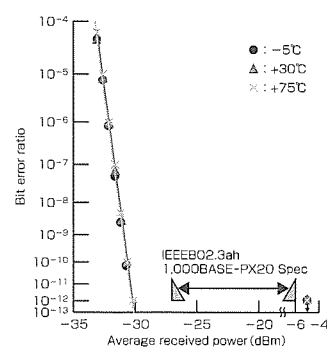


図8. OLT符号誤り率評価結果

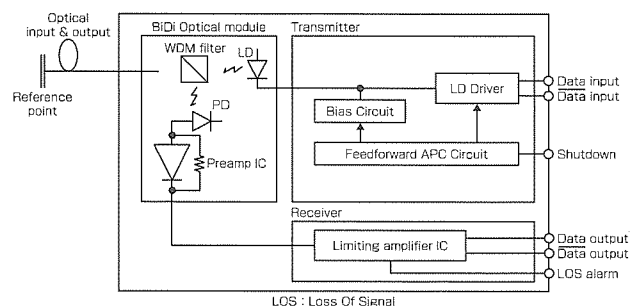


図9. ONU光送受信器の概略ブロック図

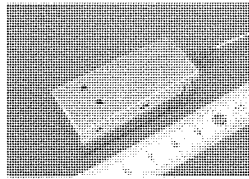


図10. ONU光送受信器の外観

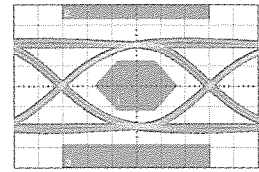
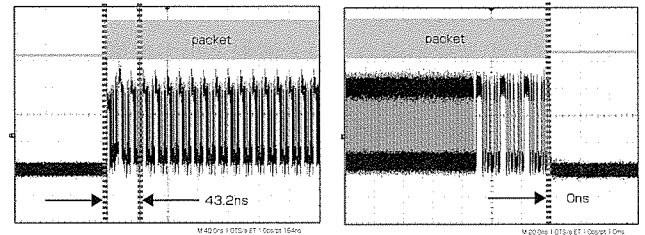


図11. ONU光出力波形

#### 4.2 ONU光送信特性

図11に、カットオフ周波数937MHzの4次ベッセル・トムソンフィルタ通過後の光送信波形を示す。周囲温度0～70℃において、平均光出力は+1.8dBm以上、消光比は11.0dB以上、マスクマージンは30%以上の良好な波形が得られた。図12にパケット先頭とパケット末尾の光出力波形を示す。パースト動作時の立ち上がり時間は43.2ns以下、立ち下がり時間は0nsであり、IEEE802.3ahの規格値512nsと比較して十分なマージンが得られた。



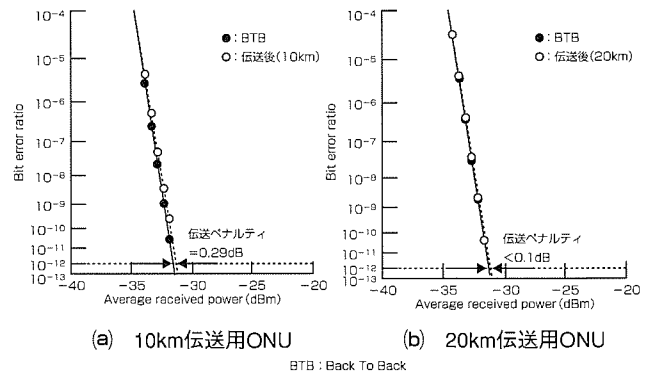
(a) パケット先頭 (b) パケット末尾

図12. パケット先頭とパケット末尾の光出力波形

図13に、10km伝送用(発光素子:FP-LD)、及び20km伝送用(発光素子:DFB-LD)ONUの伝送特性を示す。総分散量は、IEEE 802.3ahで規定される送信波長に対する最悪条件となるように、それぞれ30.6ps/nm、25ps/nmとした。伝送ペナルティはそれぞれ、0.29dB、0.1dB以下であり、IEEE802.3ahの規格値である2.8dB、1.8dBを十分満足する特性が得られた。

#### 4.3 ONU光受信特性

図14にONUの符号誤り率特性を示す。周囲温度0～70℃において、-28.5dBmの受光レベルで $1 \times 10^{-12}$ 以下の符号誤り率特性が得られており、IEEE802.3ahの規格を十分満足している。また、送信器側動作によるクロストーク劣化量は、構造や実装の最適化により0.2dB以下に抑えられた。



(a) 10km伝送用ONU (b) 20km伝送用ONU

BTB: Back To Back

図13. ONU光送信器の伝送特性評価結果

### 5. む す び

国際標準IEEE802.3ahに準拠したGE-PON ONU/OLT光送受信器を開発した。OLT受信器には、ONUから送信される任意の発光パターンのパケット信号を再生するために、連続AGC方式を採用したパーストプリアンプICと、高速応答性に優れたATC回路を内蔵するリミッティングアンプICを新規に開発した。さらに、小型・低価格化のため、ONUには、発光素子、受光素子、プリアンプICと、波長合分波フィルタを一体化した双方向波長多重光モジュールを開発し、GE-PON用光送受信器として十分な特性が得られることを示した。

#### 参 考 文 献

(1) IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force, IEEE Standards Association.  
 (2) 野上正道, ほか: APDを用いた1.25Gbit/sパースト受信器, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-

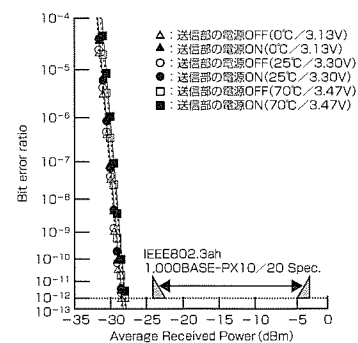


図14. ONU符号誤り率評価結果

40 (2003)

(3) Nakagawa, J., et al.: Newly Developed OLT Optical Transceiver for GE-PON System Compliant with IEEE802.3ah, ECOC2004, We4., 139 (2004)  
 (4) 本島邦明, ほか: GE-PON用光インタフェース技術の開発, 電子情報通信学会技術研究報告書, CMN-04-75 (2004)

# 光アクセス用光デバイス

金子進一\*  
羽田英樹\*\*

Optical Devices for Access Network Systems

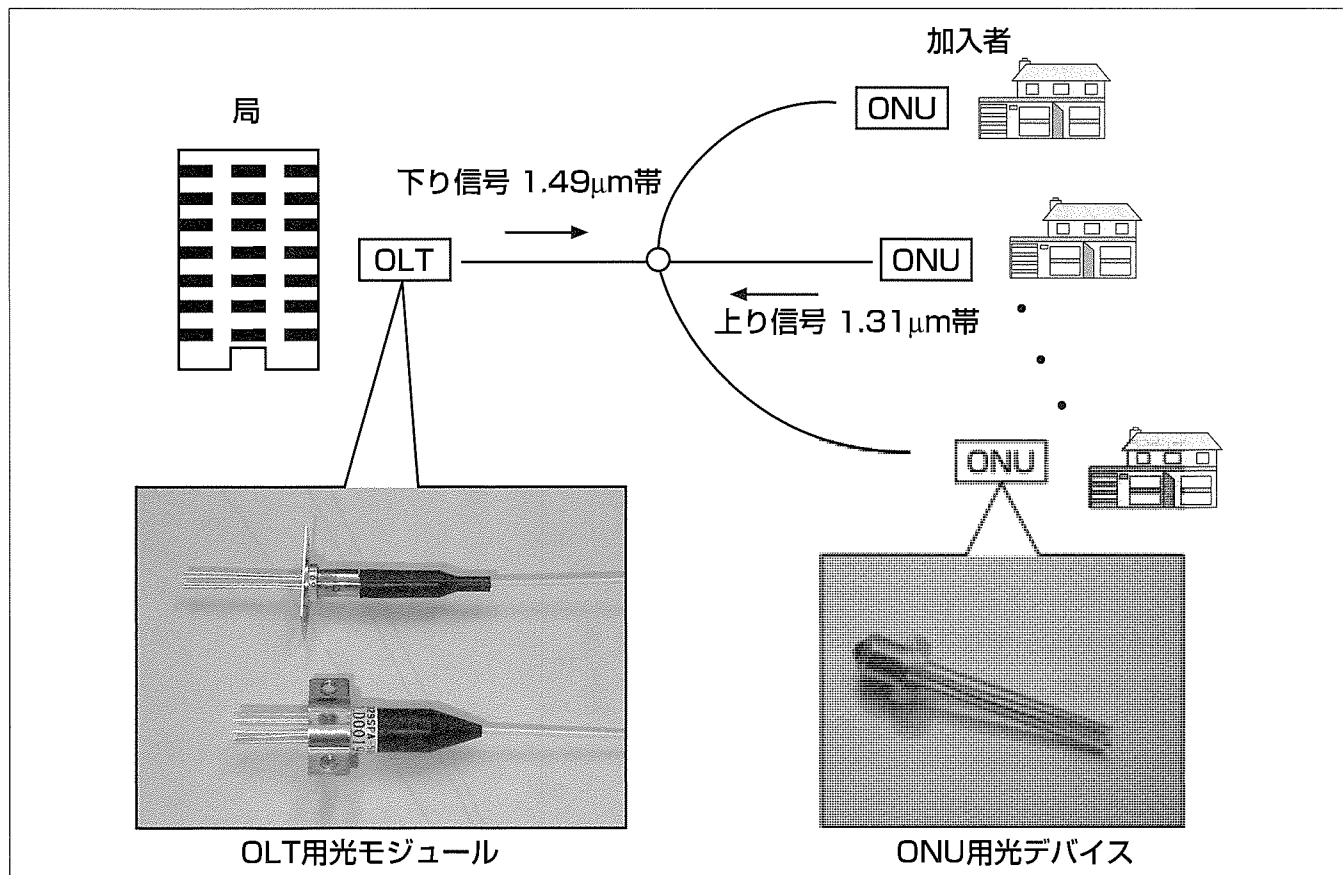
Shinichi Kaneko, Hideki Haneda

## 要旨

インターネットの普及に伴い、より高速かつ低コストなサービスを提供できるアクセス系通信システムへの要求が強まっている。GE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムは、伝送媒体に光ファイバを用いているため、加入者までの距離によらず1.25Gbpsの高速伝送が可能であり、また、1つの局側装置を多数の加入者で共用するため、設備コストを抑えることができる。これらの特長により、GE-PONシステムは盛んに導入が進められている。なお、GE-PONシステムでは、光信号を分岐して多数の加入者に分配するため、高速・低コストのみならず、高光出力又は高感度な光デバイスが要求される。

今回、GE-PONシステムに用いられている光デバイス

及びその光デバイスを光ファイバと結合した光モジュールについて述べる。局側のOLT(Optical Line Terminal)光送信モジュールには高出力かつ広温度動作可能なDFB(Distributed FeedBack)レーザと高効率な非球面レンズ光学系を採用したことにより、0~70℃の温度範囲においてもピーク光出力8mWと高い光出力が実現できた。また、OLT光受信モジュールには、高感度APD(Avalanche Photo Diode)と低雑音プリアンプICを採用したことにより、最小受信感度-30.1dBmと高い受信感度が実現できた。さらに、加入者側のONU(Optical Network Unit)光送信デバイスにはレンズ付きキャップを用いることで低コスト化を実現している。



## 光アクセス用光デバイス及び光モジュール

OLT光送信モジュールは、高出力かつ広温度動作可能なDFBレーザと、高効率な非球面レンズ光学系を採用したことにより、広い温度範囲において高い光出力を実現している。また、OLT光受信モジュールは、高感度APDと低雑音プリアンプICを採用したことにより、高い受信感度を実現している。さらに、ONU光送信デバイスは、レンズ付きキャップを用いることで低コスト化を実現している。

\*高周波光デバイス製作所(工博) \*\*同製作所(理博)

1. ま え が き

インターネットにおける動画配信など大容量のデータ通信が必要となるコンテンツの増加に伴い、より高速かつ低コストなサービスを提供できる加入者系(アクセス系)通信システムが求められている。伝送媒体に光ファイバを用いた光アクセス系システムは、加入者までの距離によらず高速なサービスを提供できるため、アクセス系システムとして非常に有望である。なかでも、GE-PONシステムは、1.25 Gbpsの高速伝送が可能であり、なおかつ、1つの局側OLT装置を多数の加入者で共用するために設備コストを抑えることができるため、盛んに導入が進められている。

GE-PONシステムでは、局側のOLT送信装置からの出力光信号が多数の加入者に分岐して送信されるため、高効率かつ高光出力な送信光デバイスが必要となる。また、OLT受信装置では、様々なレベルの各加入者からの光信号が分岐部で減衰するため、高感度かつ様々なレベルの光信号を受信できる広ダイナミックレンジな受信光デバイスが必要となる。なお、加入者側装置には、OLT光送受信装置ほど高い性能は要求されないが、より低コストな光デバイスが要求される。

今回、GE-PONシステムに用いられている光デバイス及びその光デバイスを光ファイバと結合した光モジュールについて述べる。なお、GE-PONシステムでは、OLT送信装置の信号光波長は1.49 $\mu\text{m}$ 帯であり、ONU送信装置の信号光波長は1.31 $\mu\text{m}$ 帯である。

2. 光アクセス用光デバイス

2.1 DFBレーザ

OLT用送信光デバイスでは狭スペクトル幅かつ高出力な1.49 $\mu\text{m}$ 帯の光源が必要であるため、活性層近傍に設けた回折格子によって選択的な単一モード発振を可能とするDFBレーザとした。素子の基本構造としては、MQW (Multiple Quantum Well) 活性層を埋め込んだFSBH (Facet Selective-growth Buried Hetero structure) 構造を採用した。この構造のレーザは、広い温度範囲で高い効率が得られるため、PONシステムで特に有用である。

図1にDFBレーザの光出力-電流特性を示す。素子特性としては、低しきい値電流、広動作温度範囲、高いサイドモード抑圧比 (typ. 40dB)、高速応答(立ち上がり・立ち下がり時間0.12ns(20~80%))を特長とする。実使用条件で10万時間以上の信頼性を確保している。

2.2 FPレーザ

ONU用送信光デバイスでは、光モジュールの低コスト化のために、レンズ付きFP (Fabry-Perot) レーザを主に使用している。PONシステムでは、分岐数に比例して送信光の高出力化が必要なため、素子の高出力化を行った。

送信光として使われる素子の前端面からの光出力を大きくするため、設計の最適化により、25 $^{\circ}\text{C}$ での効率0.45W/A、光出力20mWを達成した。図2にFPレーザの光出力-電流特性を示す。また、従来よりデバイスの容量を下げて、1.25Gbpsの高速変調に対応した。

光モジュールの高光出力化のために、レンズの改善も併せて行った。加入者側で使用される一心双方向光モジュールでは、レーザに付属するレンズで直接光ファイバに光結合をとることが多い。高屈折率のレンズを使用することで光結合効率20%が可能である。さらに、収差の影響がより小さいレンズの導入により、光結合効率28%も達成した。これにより、安価なレンズによる高結合効率LD (Laser Diode) モジュールが可能となった。

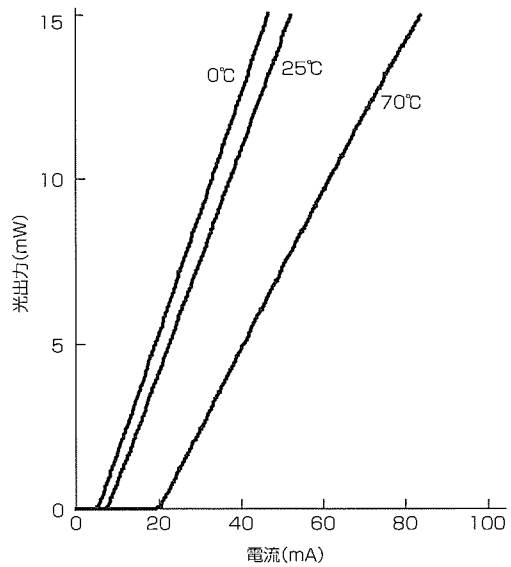


図1. OLT用DFBレーザの光出力-電流特性

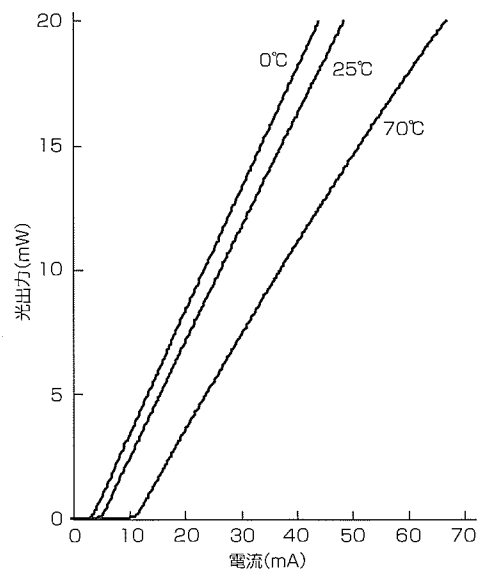


図2. ONU用FPレーザの光出力-電流特性

### 2.3 APD

OLT用受光デバイスには、分岐によって入力光強度が低下するため、高感度な受信特性が得られるアバランシェフォトダイオード(APD)が用いられる。APDでは、降伏電圧近傍にバイアスすることで光電流の増幅作用が生じ、PINフォトダイオードに比べてはるかに大きな光電流が得られる。1.0~1.6 $\mu\text{m}$ の波長の光に対して十分な感度のあるInGaAsを光吸収層に、また、InPを増倍層に使用したInGaAs-InPプレーナ構造を採用した。なお、受光径は $\phi 35\mu\text{m}$ である。

図3にAPDの電圧-電流特性を示す。降伏電圧(VBR)は60Vであり、入射光0.3 $\mu\text{W}$ 時における最大増倍率は10以上の値が得られている。表1に主な特性を示す。APDチップの受光感度は波長1.31 $\mu\text{m}$ で0.9A/Wであり、周波数帯域は2.5GHzと、GE-PONシステムに必要な感度と周波数特性が得られている。

### 3. 光アクセス用光モジュール

OLT送受信装置に用いられる高出力光送信モジュール(LDモジュール)と高感度光受信モジュール(プリアンプIC内蔵APDモジュール)について述べる。図4に両光モジュールの外観を示す。

#### 3.1 LDモジュール

図5にLDモジュールの内部構造を示す。モジュール構造は、量産性・信頼性に優れ低コストな同軸構造を採用した。前章で述べた1.49 $\mu\text{m}$ 高出力DFBレーザを内蔵し、光結合特性に優れた非球面レンズを用いてDFBレーザ出射光を光ファイバに集光する。光結合効率は、約65%と高い効率が得られている。なお、DFBレーザの背面にはモニ

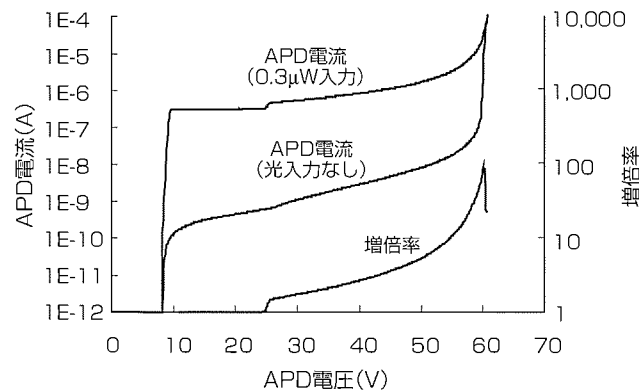


図3. APDの電圧-電流特性と増倍率

表1. OLT用APDの特性一覧

項目	条件	典型値
降伏電圧	-	60V
受光感度	増倍率1, 波長1.31 $\mu\text{m}$	0.9A/W
帯域	増倍率10, 波長1.31 $\mu\text{m}$	2.5GHz

タPD(Photo Diode)を実装しており、DFBレーザの光出力を検出し、常にDFBレーザからの出射光出力が一定になるように制御することが可能になっている。また、光ファイバの光入射端面には、反射戻り光によるDFBレーザからの雑音発生を抑圧する光アイソレータを実装している。DFBレーザからのビーム径が最も小さくなる光ファイバの入射端面に実装することで、光アイソレータを小型化し、低コスト化を図っている。

図6に周囲温度を変えて測定したLDモジュールの光出力-電流特性を示す。高温時においても直線性の良い良好な特性が得られ、高い光出力が得られている。また、各温

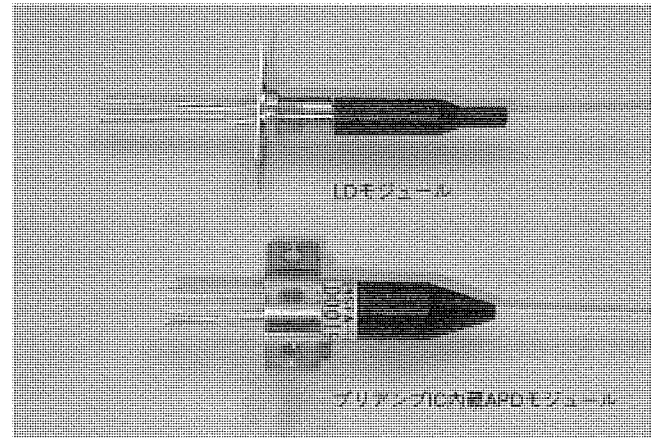


図4. 光アクセス用光モジュール

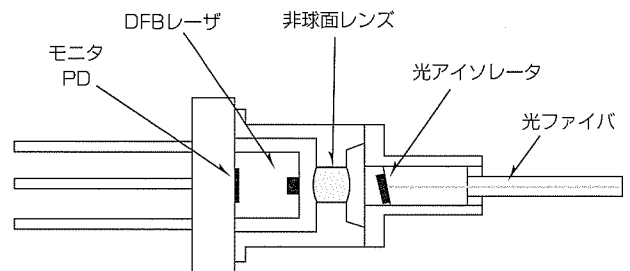


図5. LDモジュール構造

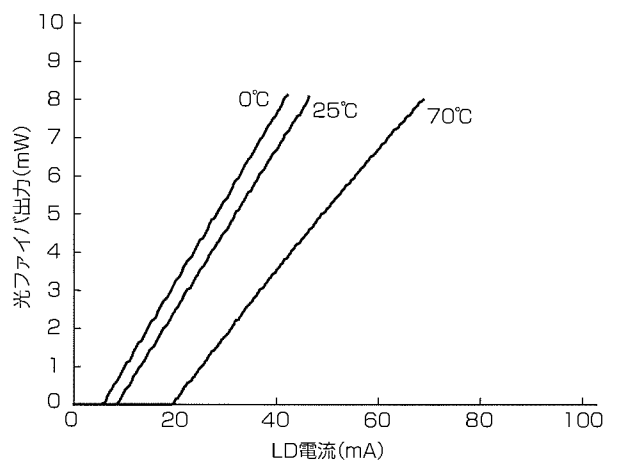


図6. LDモジュールの光出力-電流特性

度での光出力のピークは、25℃において光ファイバ出力が8mWとなるモニタPD電流値と一致する光出力値であり、周囲温度を変えても光出力変化±0.1dB以下の安定な光出力が得られていることが分かる。

### 3.2 プリアンプIC内蔵APDモジュール

図7にプリアンプIC内蔵APDモジュールの内部構造を示す。モジュール構造は、LDモジュールと同様に、同軸構造を採用した。このモジュールには、前章で述べた高感度APDと、APDで受信した微弱信号を増幅して出力する新規開発の低雑音バーストプリアンプIC<sup>(1)(2)</sup>を内蔵している。GE-PONシステムの高速度信号に対応した高速応答特性を確保しつつ受光径の大きなAPDを用いているため、光学調整の簡略化を行いつつほぼ100%の光結合を実現している。なお、プリアンプICには、各加入者から送られてくる様々な信号レベルに瞬時に対応するため、信号レベルに応じて連続的に変換利得を変化させる連続AGC (Auto Gain Control)方式を用いている。

高感度APDと連続AGC方式を用いた低雑音プリアンプICの採用により、-6dBmという大きなレベルの信号の直後に小さなレベルのバースト信号がきたときの最悪条件でも最小受信感度-30.1dBmと高い受信感度を実現している<sup>(2)</sup>。

## 4. む す び

GE-PONシステムに用いられる光デバイス及び光モジュールについて、その構造及び特性を述べた。OLT光送信モジュールには高出力かつ広温度動作可能なDFBレーザと高効率な非球面レンズ光学系を採用したことにより、0~70℃の温度範囲においてもピーク光出力8mWが達成で

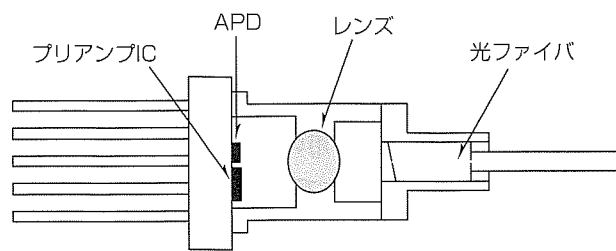


図7. プリアンプIC内蔵APDモジュール構造

きた。また、OLT光受信モジュールには高感度APDと低雑音プリアンプICを採用したことにより、最小受信感度-30.1dBmと高い受信感度が達成できた。今後は、波長多重/分離機能を内蔵した光送受信モジュールの適用により、更なる低コスト化を図る。ONU光送信デバイスでは、デバイス自体の高出力化とともに、高光結合効率のレンズ付きキャップの採用により、高出力かつ低コストなデバイスを実現した。これら光デバイス及び光モジュールを用いることで、高速かつ低コストなGE-PONシステムが構築可能となる。

## 参 考 文 献

- (1) 野田雅樹, ほか: IEEE802.3ah 準拠GE-PON OLT光送受信器の開発, 電子情報通信学会技術研究報告 OCS2004-75 (2004)
- (2) Nakagawa, J., et al.: Newly developed OLT optical transceiver for GE-PON systems compliant with IEEE802.3ah, ECOC2004, We4. P.139 (2004)



# FTTHにおけるVoIP実現技術

伏見 渉\* 矢島 久\*  
鈴木茂明\* 鈴木克志\*  
小川 勇\*

Technology of Voice over IP on FTTH

Wataru Fushimi, Shigeaki Suzuki, Isamu Ogawa, Hisashi Yajima, Katsushi Suzuki

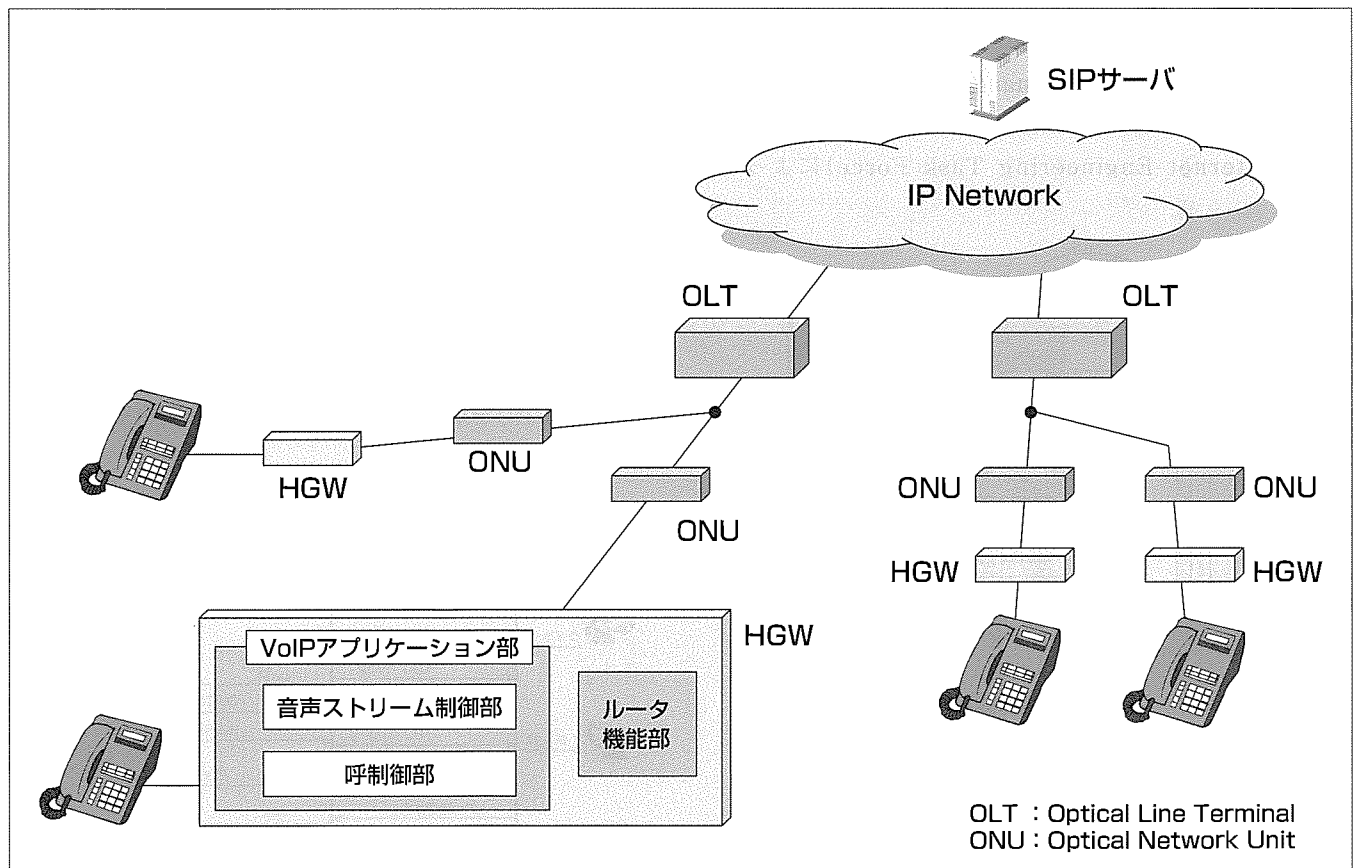
## 要 旨

各キャリアが電話ネットワークのIP(Internet Protocol)化を進める中、インターネットアクセス回線として、FTTH(Fiber To The Home)サービス加入者数は300万件を超えて順調に伸びるとともに、加入者純増数においてもADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)サービスを上回るなど、アクセス回線の今後の主役はFTTHサービスになるものと見られている。そのFTTHサービスの一環としてIP電話サービスの提供も開始されており、従来の加入者線電話と置き換えが可能なものとして“03”などで始まる“0AB-J番号”が使えることが大きな魅力の一つとなっている。ホームゲートウェイ(以下“HGW”という。)は、既存の電話機をIP電話としてFTTHサービスに接続する役割を

担う機器である。

三菱電機は、このFTTHサービスに適用可能なHGWの開発検討を重ね、試作機の開発を行っている。本稿では、HGWにおいて実現されるVoIP(Voice over Internet Protocol)部の主要な技術である電話端末同士の接続を制御する呼接続技術、及び音声信号の伝送を行う音声ストリーム制御技術について述べる。

今後は、商用展開を図るため更なる検討を行うとともに、サービス事業者との連携を密として、サービス事業者特有の機能・実現方式へ対応するなど、HGWとしての機能拡充を図っていく予定である。



## FTTHにおけるVoIPサービスの実現イメージ

FTTHにおけるVoIPサービスの実現構成を示した図である。OLTやONUなどで構成されたFTTH網に、呼制御をつかさどるSIPサーバ、及びアクセス端末として呼制御のクライアント機能や音声ストリーム制御機能を備えたHGWが接続されることで、VoIPサービスが実現される。

## 1. ま え が き

各キャリアが電話ネットワークのIP化を進める中、アクセス回線の今後の主流はFTTHサービスになるものと見られている。そのFTTHサービスの一環として、IP電話サービスの提供も開始されており、従来の加入者線電話と置き換えができるものとして、“03”などで始まる“0AB-J番号”が使えることが大きな魅力の一つとなっている。HGWは、既存の電話機をIP電話としてFTTHサービスに接続する役割を担う機器である。

当社は、このFTTHサービスに適用可能なHGWの開発検討を積み重ねてきた。図1にHGWのVoIP部の機能構成を、図2にVoIP部のプロトコルスタックを示す。以下、HGWにおいて実現されるVoIP部の主要な技術である電話端末同士の接続を制御する呼接続技術、及び音声信号の伝送を行う音声ストリーム制御技術について述べる。

## 2. 呼制御技術

### 2.1 概 要

VoIPで通話を行う場合、電話端末同士の接続を制御するためにシグナリングプロトコルを使用した呼制御を行う必要がある。VoIPで使用される主なシグナリングプロトコルには、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)勧告H.323とSIP(Session Initiation Protocol)がある。SIPはIETF(Internet Engineering Task Force)によって

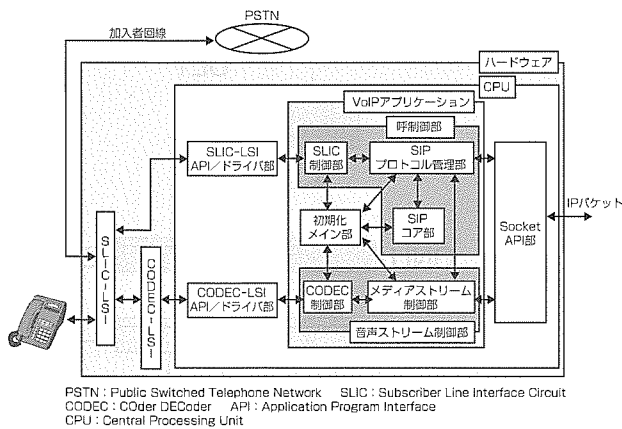


図1. HGW機能構成

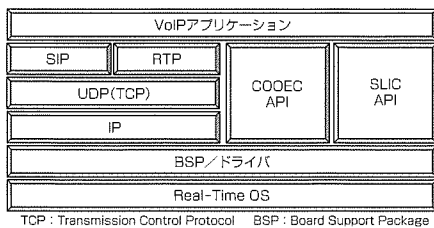


図2. プロトコルスタック

RFC3261として標準化されたプロトコルであり、H.323と比較してシンプルでインターネットとの親和性が高いという特長により、現在のVoIPシグナリングプロトコルの主流になっている。そこで、このHGWでは、シグナリングプロトコルとしてSIPを採用することとした。

図3にSIPによる基本的な呼制御の流れを示す。発呼側HGWから相手先HGWの電話番号を含んだ通話開始要求のINVITEメッセージがSIPサーバに向けて出される。SIPサーバで相手先電話番号から相手先HGWのIPアドレスが解決され、相手先HGWに向かってINVITEメッセージが転送される。相手先HGWでは呼出しを鳴らすとともに発呼側HGWに向けて180 Ringingメッセージを出し、このメッセージを受け取った発呼側HGWでは受話器から呼出音を出力する。着呼側で電話に出る(受話器を取る)ことで200 OKメッセージが発呼側HGWに向けて出され、発呼側HGWからのACKメッセージを受信することでHGW間の音声ストリームが形成され、通話が可能となる。

### 2.2 課 題

HGWにおける呼制御技術を実現する上で、以下の課題が見いだされた。

#### (1) サービス事業者(キャリア)独自仕様への対応

SIPの仕様を規定しているRFC3261は記述内容にあいまいな部分が含まれているため、メーカーやキャリアによって仕様の解釈に幅が生じており、各社が開発した装置のSIPの動作が異なる状況となっている。さらに、既存の固定電話の付加サービスを実現する方式に関しては標準化されておらず、サービス事業者が独自に仕様を規定している状況にある。このため、HGWのSIPプロトコルスタック(SIPスタック)では、装置を適用するサービス事業者ごとのSIP独自仕様に対応した効率的な実装が課題となる。

#### (2) SIPスタックの省メモリ化

1つのCPUを用いてルータ機能とVoIP機能を実現する

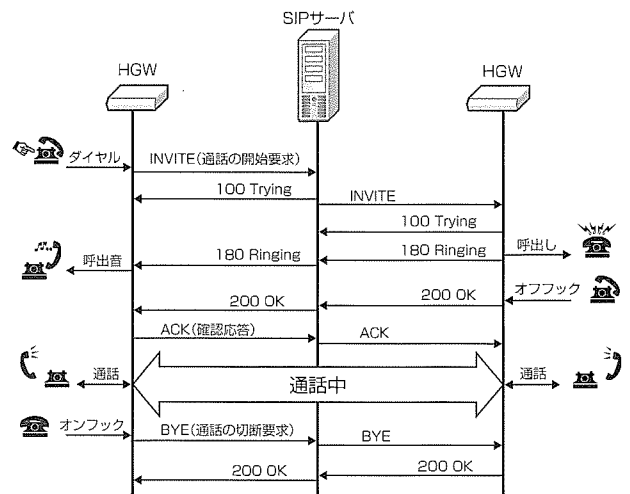


図3. SIPによる呼制御の流れ

場合、他の機能への影響を抑えるためには少ないリソースでSIPによる呼制御を行う必要がある。そのため、HGW向けSIPスタックを実装する場合は省メモリ化が課題となる。

### 2.3 課題の解決策

#### (1) SIPの効率的なカスタマイズ

SIPの相互接続性を確保するためには、HGWを適用するネットワークのSIP独自仕様に適応するためのカスタマイズが必要である。HGW向けSIPスタックでは、仕様の解釈が異なる処理を個々のソフトウェアライブラリとして用意しておき、適用するネットワークの仕様に応じてライブラリを組み合わせることで効率的なSIP仕様のカスタマイズを可能とした。

#### (2) SIPスタックの省メモリ実装

SIPはリクエストと応答メッセージの送受信処理としてトランザクション制御を行うため、複数の端末から同時にリクエストを受信する場合など、SIPの管理するトランザクションが増えてメモリ消費量の増大を招くケースがある。そこで、SIPスタックのメモリ消費量を抑制するために、リクエストの重要度やメモリ消費状況に応じて適応的にメモリ管理を行う独自のSIPトランザクション制御アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを適用することにより、従来比1/2のコンパクトなモジュールサイズを実現した。表1にHGW向けSIPスタックの主要諸元を示す。

## 3. 音声ストリーム制御技術

### 3.1 音声ストリーム制御の概要と課題

図4にHGWにおける音声ストリーム制御の基本構成を示す。電話機側から入力された音声信号はA/D変換器によってデジタル化され、更に音声符号化された後にIPパケ

表1. SIPスタックの主要諸元

項目	仕様
SIPメッセージの生成・解析	RFC3261, RFC3264, RFC3262準拠
SDPの生成・解析	RFC2327準拠
リクエスト	INVITE, ACK, BYE, CANCEL, REGISTER, UPDATE, PRACK, OPTIONS, REFER, NOTIFY
応答	1xx, 2xx, 3xx, 4xx, 5xx, 6xx

SDP: Session Description Protocol

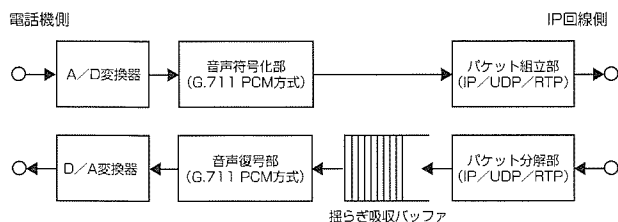


図4. 音声ストリーム制御の基本構成

ット化される。音声符号化方式は、ITU-T勧告G.711準拠PCM(Pulse Code Modulation)符号化方式を適用する。IPパケットは、IPヘッダ、UDP(User Datagram Protocol)ヘッダ、RTP(Real-time Transport Protocol)ヘッダ、及び音声符号データより構成される。RTPヘッダにはシーケンス番号やタイムスタンプ情報等が含まれており、パケット損失や伝送遅延揺らぎの検出等が可能となる。IP回線側から受信したIPパケットは、パケット分解部でヘッダ情報が取り除かれ、音声符号データが揺らぎ吸収バッファに格納される。ここで、パケット到着遅延揺らぎが吸収され、音声符号データは一定のレートで音声復号部に渡される。復号された音声信号はD/A変換されてアナログ電話機に出力される。

音声符号データがIPパケット化して伝送される場合、伝送回線のビットエラーや機器輻輳(ふくそう)等によりIPパケットが廃棄され、バースト状のデータ欠落が発生する。また、A/D、D/A変換器のサンプリングクロック周期が通信先のHGWと異なると、揺らぎ吸収バッファの溢(あふ)れや枯渇が起きて音声途切れるクロックスリップ現象が発生する。このようなIPパケットの廃棄と送受装置間のクロック誤差による音声品質の劣化を抑えることが、音声ストリーム制御を実現する上での課題となる。

### 3.2 課題の解決策

#### (1) 受信処理の構成

以上の課題を考慮した音声ストリーム制御の受信処理の構成を図5に示す。パケット廃棄検出部は、RTPヘッダのシーケンス番号を監視してIPパケットの損失を検出する。パケット損失が検出された場合、音声復号/音声補間部において音声符号データ補間を行う。また、受信信号クロック周波数監視部では、RTPヘッダのタイムスタンプを監視することによって、装置内サンプリングクロックと受信信号のサンプリングクロックの周波数誤差を算出する。クロック誤差の吸収はハードウェアを制御する方式も考えられるが、実装コストを勘案し、ソフトウェア制御で実現可能な音声サンプル挿抜方式<sup>(1)</sup>の採用を検討することとした。クロック誤差吸収部は、受信信号クロック周波数監視部が算出した誤差に基づいて、自装置のクロック周波数が速い場合は音声信号サンプルを挿入し、逆に遅い場合は音声信

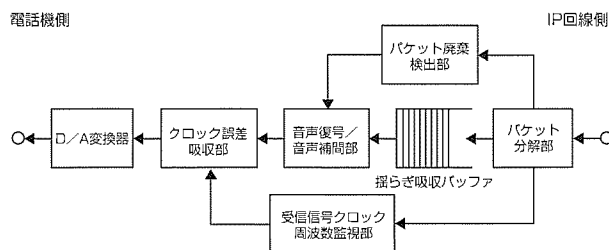


図5. 受信処理の構成

号サンプルを間引きして、クロック周波数の差を吸収する。

(2) 音声データの補間方式

音声データの補間は、ITU-T勧告G.711 Appendix Iに記載されている音声符号データ補間方式によって実現することができる。図6にこの方式の原理を示す。音声符号データが欠落した場合、まず、欠落直前の音声符号のピッチ周期を算出する。そして、欠落前の音声符号データを算出した1ピッチ周期分取り出し、これを繰り返し挿入することによって、音声符号データを補間する。この方式は、受信側のみの実装で実現が可能であること、アルゴリズム遅延が3.75msと非常に小さいこと、さらに、0.5MIPS (Million Instructions Per Second)程度 of 演算量で実現可能なことから、VoIPの音声データ補間方式として広く用いられている。また、パケット廃棄発生時の通話品質について評価した結果、パケット廃棄率が1%程度あった場合でも、MOS (Mean Opinion Score)の低下は約0.2以内に収まり、実用上十分な音声品質が得られることが確認できた。

(3) クロック誤差吸収方式

上述のとおり、サンプリングクロック誤差の吸収のためには、音声信号サンプルの挿抜を行う。この挿抜により生じる音声波形のギャップに伴うクリック音を緩和することが重要となる。アルゴリズムが簡便でかつ音声品質劣化の少ない音声サンプル挿抜方式として、オーバーラップ加算法を用いたサンプル挿抜方式を開発した。この方式によるサンプル挿入の場合の原理を図7に示す。ここで、オーバーラップ加算信号 $Q_o(m)$ は、

$$Q_o(m) = a(m)Q(m) + (1 - a(m))Q(m-1),$$

$$m=0, 1, \dots, M$$

により算出する。すなわち、原信号 $Q(m)$ に対して、1サンプル分の遅延信号 $Q(m-1)$ を用意し、加算区間前( $m < 0$ )においては原信号を、加算区間後( $m > M$ )においては遅延信号を用いることで、1サンプル挿入と同じ効果を得る。 $a(m)$ は $0 \leq a(m) \leq 1$ の値を持つ重み付け係数であり、オーバーラップ加算区間で両信号がスムーズに接続できるよう係数 $a(m)$ を調節することで、音声品質の劣化を抑える。この係数 $a(m)$ にはハニング窓を用い、オーバーラップ加算長 $M$ を20とした場合のMOSによる主観評価結果を図8に示す。このクロック誤差吸収方式を用いた場合の音声品質は、対策をしない場合に比べて大幅に改善され、クロックスリップが発生しない固定電話とほぼ同等の品質を維持できることが確認できた。

4. む す び

以上、HGWにおいて実現されるVoIP部の主要技術につ

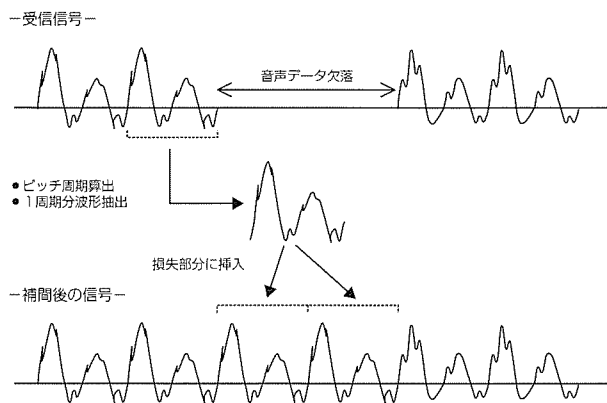


図6. 音声データ補間方式の原理

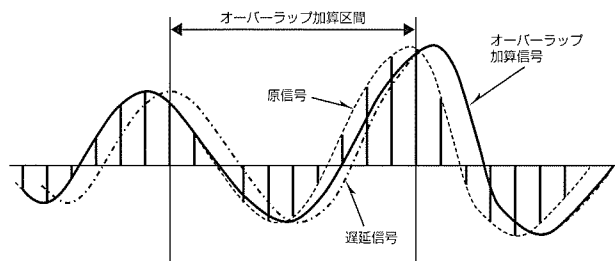


図7. オーバーラップ加算を用いたサンプル挿入

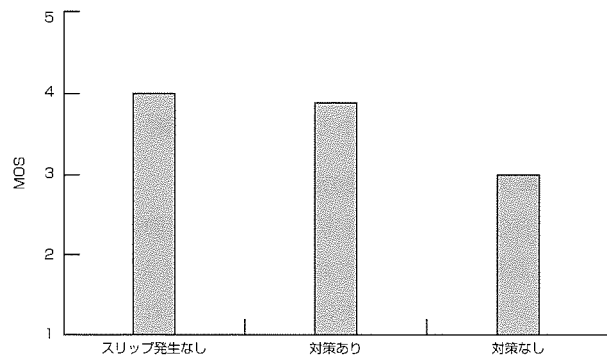


図8. クロック誤差吸収方式と音声品質の関係

いて述べた。これまでにやってきた検討結果として、HGWにおけるVoIP機能の実現の見通しが立った。今後は、商用展開を図るため更なる検討を重ねるとともに、サービス事業者との連携を密として、サービス事業者特有の機能も取り込むなど、HGWとしての機能拡充を図っていく予定である。

参考文献

- (1) 矢島 久, ほか: VoIPにおけるクロックスリップ対策方式の検討, 電子情報通信学会総合大会, B-6-146 (2003)

# 光アクセスシステム用 オペレーションシステム

大田 聡\*  
木田等理\*

Operation System for Optical Access System

Satoshi Ota, Toshimichi Kida

## 要 旨

光アクセスシステムでは、昨今のインターネット大容量化に伴い、その運用監視オペレーションシステムの高度化が求められている。三菱電機では、汎用ネットワーク管理マネージャに自社開発の管理アプリケーションを組み合わせることで、高度な運用監視を提供する光アクセスシステム用オペレーションシステムを開発した。

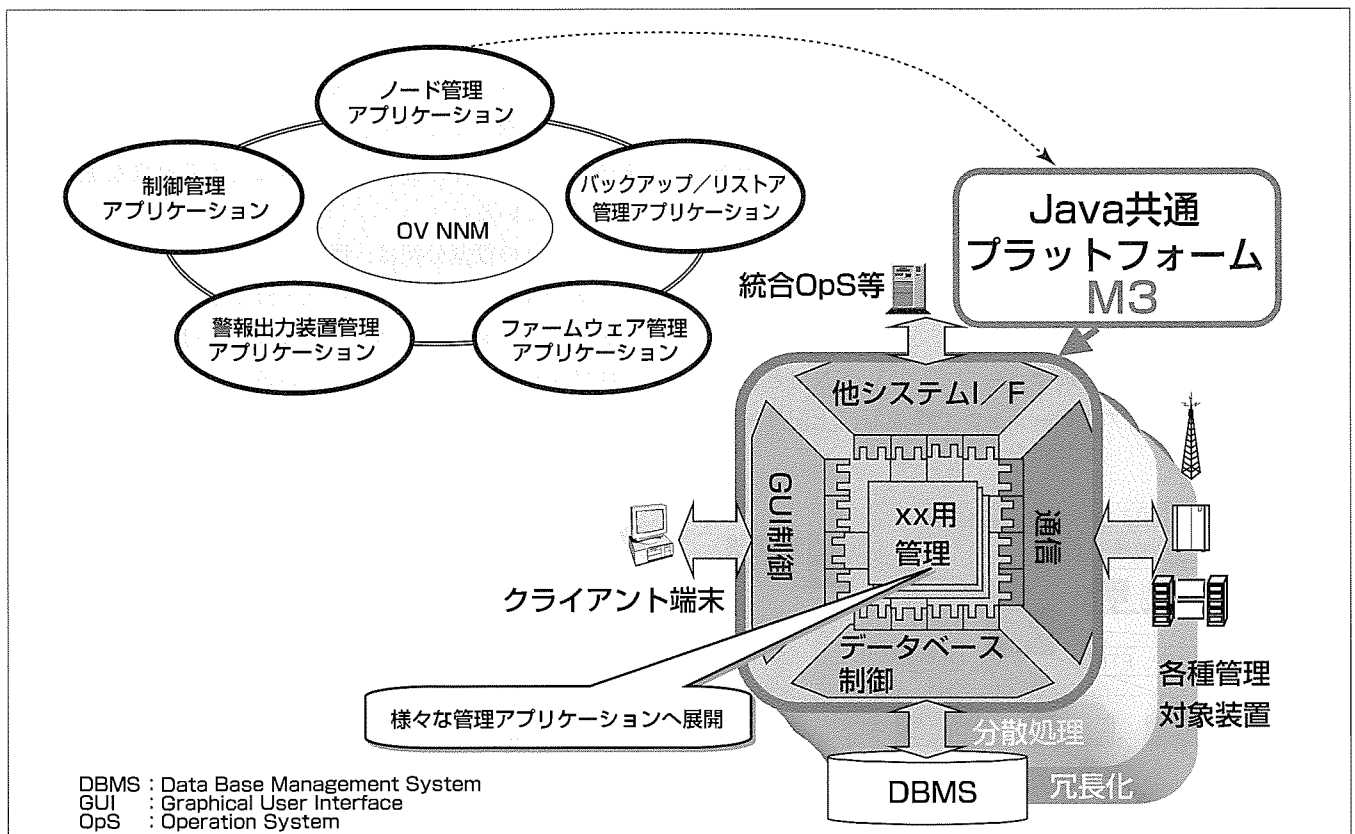
汎用ネットワーク管理マネージャとしては、HP社製 OpenView Network Node Manager<sup>(注1)</sup> (OV NNM)を採用した。これに自社のオペレーションシステムJava<sup>(注2)</sup>共通

プラットフォームM3(Mitsubishi Management Module)上で開発した各種管理アプリケーションをアドオンすることで、汎用性を損なうことなく、専用の高度な運用監視も提供する。

本稿では、このオペレーションシステムの構成と特長について述べるとともに、Java共通プラットフォームM3での専用アプリケーション開発技術についても述べる。

(注1) OpenView Network Node Managerは、Hewlett-Packard Co.の登録商標である。

(注2) Javaは、Sun Microsystems Inc.の登録商標である。



## 光アクセスシステム用オペレーションシステム

光アクセスシステム用オペレーションシステムは、汎用ネットワーク管理マネージャ OV NNMに自社開発の管理アプリケーションを組み合わせることで、高度な運用監視を提供している。

## 1. ま え が き

従来、光アクセスシステムのオペレーションシステムは、汎用ネットワーク管理マネージャーによる集約監視や、CIT(Craft Interface Terminal)による個体監視で運用監視を行うことが多かった。しかしながら、昨今の光アクセスシステムの大容量化に伴い、オペレーションシステムにも大規模かつ高度な運用監視が求められている。これにこたえるためには専用化が必要となるが、当社ではHP社製汎用ネットワーク管理マネージャーOpenView Network Node Manager(以下“OV NNM”という。)に自社開発の専用管理アプリケーションを組み込むことでこれを実現した。

本稿では、このオペレーションシステムの構成と特長について述べるとともに、専用管理アプリケーション開発に使用したJava共通プラットフォームM3での開発技術についても述べる。

## 2. オペレーションシステムの構成

この光アクセスシステム用オペレーションシステムは、図1に示すとおり、監視サーバ、監視クライアント、警報出力装置(パトライト)より構成する。それぞれについて以下に述べる。

### 2.1 監視サーバ

監視サーバについて以下に記す。

- (1) 監視対象ノードである光アクセス装置と実際に通信し監視制御を行う。
- (2) 監視クライアントや上位の統合監視システムからの要求を受け、監視対象ノードへの監視制御を行う。
- (3) 監視対象ノードからの通知を受け、監視クライアントや統合監視システムへの転送、警報出力装置のランプ点灯/ブザー鳴動を制御する。
- (4) 汎用ネットワーク管理マネージャーOV NNMと自社開発の専用管理アプリケーションで構成し、上記サーバ

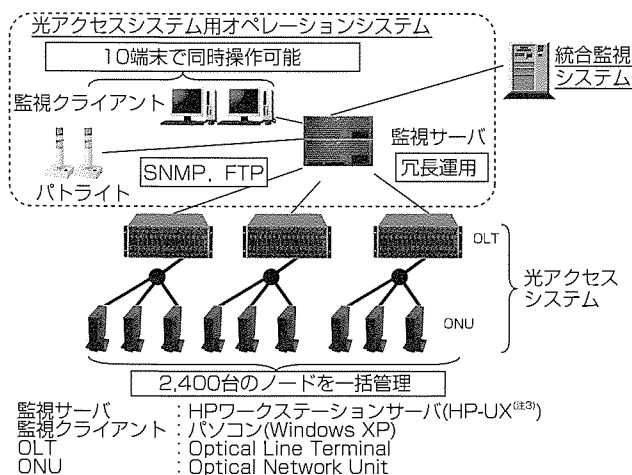


図1. 光アクセスシステム用オペレーションシステムの構成

機能を提供する。

- (5) ワークステーションサーバ2式で構成され、HP社製クラスタリングミドルウェアMC/ServiceGuard<sup>(注3)</sup>により冗長化されている。

### 2.2 監視クライアント

監視クライアントについて以下に記す。

- (1) 監視制御のためのGUI(Graphical User Interface)を提供する。
- (2) 監視サーバを介し、監視対象ノードを監視制御する。
- (3) 警報出力装置のランプ消灯/ブザー停止を制御する。
- (4) 汎用ネットワーク管理マネージャーOV NNMと自社開発の専用管理アプリケーションで構成し、上記クライアント機能を提供する。
- (5) Windows<sup>(注4)</sup>パソコンで構成する。

### 2.3 警報出力装置

警報出力装置について以下に記す。

- (1) 監視サーバからの制御で監視対象ノードでの警報発生をランプ点灯、ブザー鳴動で表す。
- (2) 監視クライアントからの制御でランプ消灯、ブザー停止が行われる。

## 3. オペレーションシステムの特長と実現技術

### 3.1 運用監視の高度化

このオペレーションシステムは、図2に示すように、汎用ネットワーク管理マネージャーOV NNMに自社開発の専用各種管理アプリケーションを組み込むことで、汎用性を損なうことなく、専用用途にもこたえる高度な運用監視を実現している。

それぞれの役割分担は、図3に示すように、汎用ネットワーク管理マネージャーOV NNMで集約監視を行い、監視対象ノード個々の詳細かつ高度な監視は専用の自社開発管理アプリケーションで行っている。

(注3) HP-UX, MC/ServiceGuard, Mirror Diskは、Hewlett-Packard Co.の登録商標である。

(注4) Windowsは、Microsoft Corp.の登録商標である。

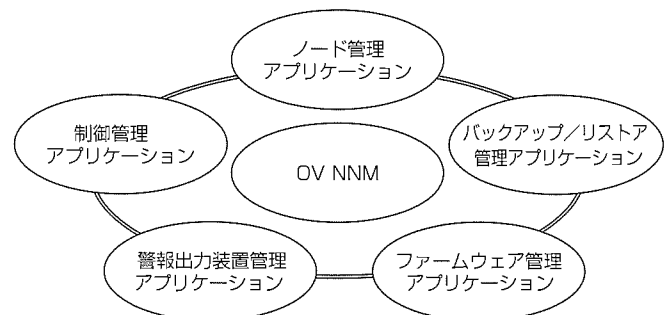


図2. アプリケーション構成

### 3.2 Java共通プラットフォームM3

このオペレーションシステムのうち専用管理アプリケーションは、オールJavaの共通プラットフォームM3上で開発した。

M3は、図4に示すように、①GUI制御、②データベース制御、③通信、④他システムI/F、⑤分散制御、⑥冗長化にそれぞれモジュール化されているオペレーションシステム共通プラットフォームである。管理アプリケーション開発時には、対象の管理モジュールのみを作成しこれらと組み合わせることで様々な管理アプリケーションに展開可能である。

また、すべてJavaで構成しているため、用途や負荷に応じた分散化、OS非依存なため、ハードウェア老朽化などの際の乗せ変えが容易に行えるという利点がある。

### 3.3 大規模監視

この光アクセスシステム用オペレーションシステムは、監視対象2,400ノードの大規模一括監視が可能である。また、監視サーバには10台まで監視クライアントが接続可能であり、多地点での同時操作が可能である。

### 3.4 監視制御インターフェース

この光アクセスシステム用オペレーションシステムは、汎用プロトコルであるSNMP(Simple Network Manage-

ment Protocol), FTP(File Transfer Protocol)により、監視対象ノードを監視制御している。

また、上位の統合監視システムのために、SNMP, CORBA(Common Object Request Broker Architecture), FTP(ファイルI/F)による監視制御インターフェースを提供することが可能である。これらは、汎用ネットワーク管理マネージャーOV NNM又は自社開発の管理アプリケーションにアドオンすることで実現する。

### 3.5 高信頼性

監視サーバは、クラスタリング、ディスクミラーリング、自動バックアップ、LAN(Local Area Network)スイッチ技術を適用することで、高信頼な運用監視サービスを提供する。この構成例を図5に示す。

クラスタリングは、HPクラスタリングミドルウェアMC/ServiceGuardを使用して2台のワークステーションサーバでクラスタを構成することで実現している。これにより、サーバに故障が発生した場合でも自律切換えを行い、運用監視を継続することができる。

ディスクミラーリングは、各種データベースを格納する

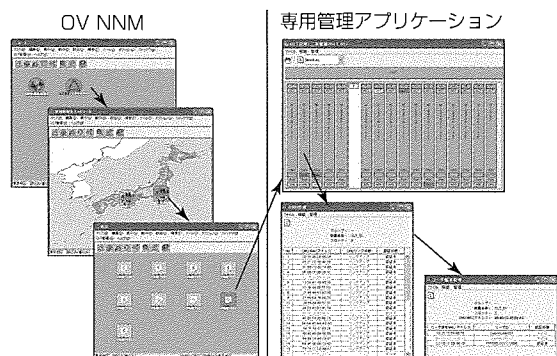


図3. アプリケーションの分担

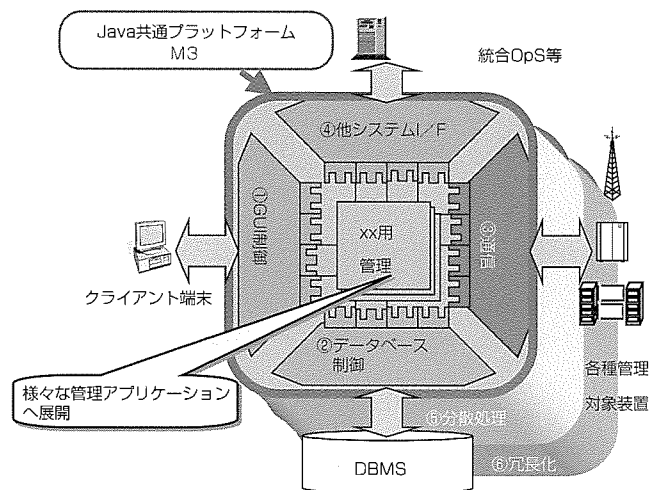


図4. Java共通プラットフォームM3の構成

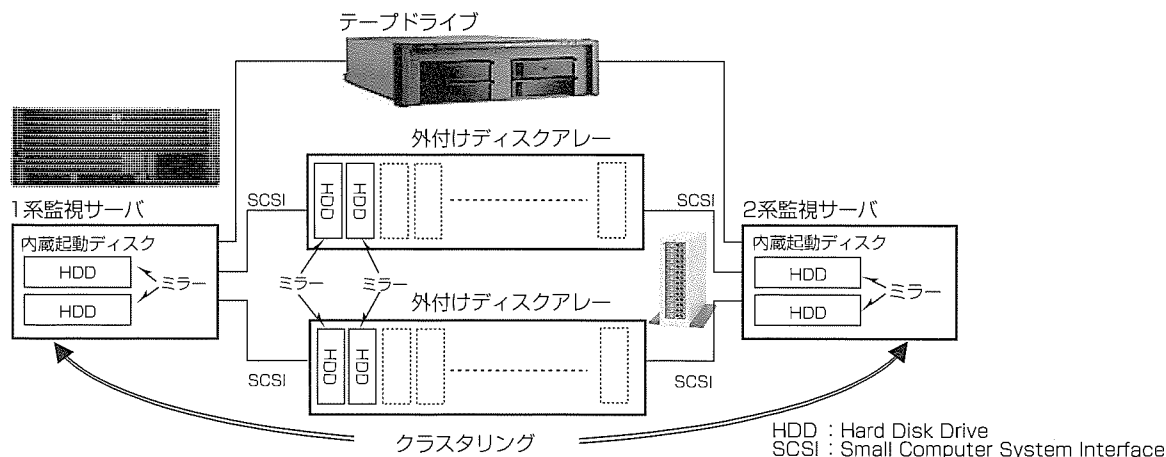


図5. 監視サーバの冗長構成

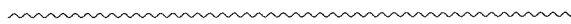
ハードディスクをミラー化し冗長化するものであり、HP社製Mirror Disk<sup>(注3)</sup>により実現している。一方のハードディスクが故障した場合でも、ミラー化されたもう一方のハードディスクで運用監視を継続することができる。

また、このオペレーションシステムは、テープドライブへの自動バックアップ機能を具備している。定期的にハードディスク内データベースをバックアップすることで、仮にデータが壊れてもバックアップテープからリストアすることで迅速に復旧可能である。LANスイッチは、LANカードを冗長化しローカルスイッチにより切り換えるものである。これにより、LANカードやLAN自体が故障した場合でも、もう一方のLANカード及びLANを使用することで監視制御通信を継続することが可能である。

#### 4. む す び

本稿では、光アクセスシステム用オペレーションシステムについて、汎用ネットワーク管理マネージャーと自社開発の専用管理アプリケーションとを組み合わせた当社の取り組みについて述べた。

光アクセスシステムの急速な技術進歩に追随して、そのオペレーションシステムの高度化、短納期はますます進むことと思われる。今後もこのようなハイブリッドの構成は不可欠となることであろう。そのためにも、汎用技術の探求及び専用開発の最小化に向け取り組んでいく所存である。





# 光ホームゲートウェイ

羽根稔尚\*  
 名取英男\*  
 横谷哲也\*\*

## Residential Gateway for Optical Network

Toshihisa Hane, Hideo Natori, Tetsuya Yokotani

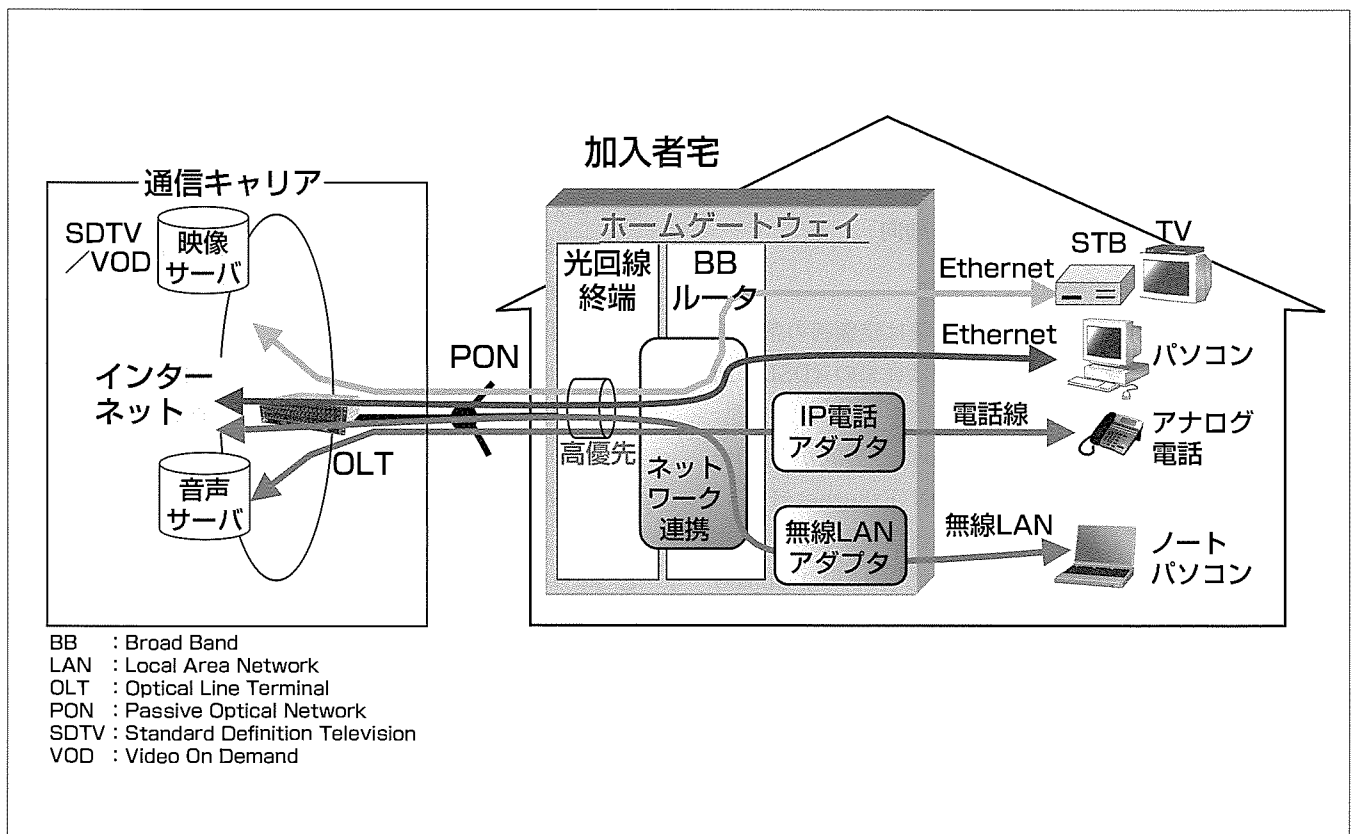
### 要旨

近年、FTTH(Fiber To The Home)を始めとしたブロードバンドサービスの一般家庭への普及が進んでおり、各キャリアはIP(Internet Protocol)電話、映像配信、インターネット接続のいわゆるトリプルプレーサービスの展開を始めている。

一方、宅内では、パソコン以外にも、デジタルTV、DVD(Digital Versatile Disk)レコーダ、STB(Set Top Box)などのAV機器、さらにはエアコン、電子レンジなどの家電でもネットワーク接続の標準化が多数試みられ、ユビキタスネットワークが実現されつつある。

このような状況の中、宅内ネットワークに接続された様々な機器を容易かつセキュアにキャリアネットワークに接続し、さらにコンテンツ著作権保護、規格の差異吸収等を確認しつつ宅内機器間を接続するホームゲートウェイ実現の重要性が高まっている。

本稿では、これらの技術動向を述べるとともに、三菱電機のホームゲートウェイへの取り組みと、キャリアのFTTHサービス向けONU(Optical Network Unit)内蔵の光ホームゲートウェイについて述べる。



### FTTHによるトリプルサービス構成

キャリア拠点に設置されている映像サーバ、SIP(Session Initiation Protocol)等の音声サーバ、及びISPに設定されるPPPoE(Point to Point Protocol over Ethernet)サーバに、ホームゲートウェイを介してSTB+TV、アナログ電話、パソコン等を接続し、FTTH上で映像、音声、データの3つのサービスを同時に提供する。映像や音声データはホームゲートウェイ、FTTH上では優先転送される。

## 1. ま え が き

近年、FTTHやADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), CATV(Cable Television)による家庭のプロードバンド環境が急速に整備されてきており、キャリアも従来のインターネット接続にIP電話、映像配信を加えた、いわゆるトリプルプレーサービスを展開し、加入者獲得を目指している。宅内ではパソコン以外にもデジタルTV, DVDレコーダ, STBなどのAV機器, さらにはエアコン, 電子レンジなどの家電もネットワークに接続されつつあり, 多くの団体により標準化も進められている。

一方, これらインフラのプロードバンド化と, 音楽・映像等のデジタルコンテンツのコピー容易性, 品質保持等の特性を利用した著作権を侵害する違法コピー, 配信が社会問題化しており, デジタルコンテンツ配信サービスの普及を阻害している。こうした状況の中で, 宅内ネットワークに接続された様々な機器を容易かつセキュアにキャリアネットワークに接続し, さらにネットワークから配信されたコンテンツの著作権保護, 標準化プロトコル変換等を行い宅内機器間を接続するホームゲートウェイの実現が重要視されている。

本稿では, これらの技術動向を述べるとともに, 当社のホームゲートウェイへの取り組みと合わせてキャリアのFTTHサービス用光ホームゲートウェイ試作機について述べる。

## 2. キャリアサービス動向

### 2.1 インターネット接続サービス動向

現在, 我が国でのインターネット接続は定額制の常時接続が主流となっており, アクセス回線は従来のADSLに加えより高速なFTTHの加入者増が著しい。

FTTHも当初のMC(Media Converter)方式から, B-PON(Broadband-PON)方式, E-PON(Ethernet-PON)方式といった技術によりサービスの低価格化が進み, 現在はGE-PON(Gigabit Ethernet-PON)方式により1 Gbpsの帯域を最大64ユーザーで共有する低価格サービスが主流となっており, 今後も更なる高速化が予想される。

### 2.2 IP電話サービス動向

IP電話はISP(Internet Service Provider)等がADSLの付加価値サービスとしてユーザーに新たな番号を付与してサービスを行う050番号サービスが主流であったが, FTTHの普及により, 高品質, かつ従来の固定電話サービスからの番号をそのまま使用可能な0AB~J番号サービスが各キャリアによりトリプルプレーの1つとして提供されており需要が拡大しつつある。

0AB~J番号サービスは通話品質や110, 119番等の緊急通報への対応など従来の固定電話と比較して遜色(そんし

よく)ないサービスを実現しており, さらに, 安価な通話料金であることから, 固定電話の置き換えサービスとして, 今後, 本格的に立ち上がると予想される。

機器の構成としては, 050番号サービス, 0AB~J番号サービスともホームゲートウェイに従来固定電話として使用されていたアナログ電話を接続し, IPパケット化してキャリアネットワークに接続する形態が一般的である。

### 2.3 映像配信サービス動向

映像配信サービスは, 現在, 大きく以下の2つの方式により提供されている。

- (1) IPマルチキャストによるIP方式
- (2) 従来のCATVと同方式である64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)方式

機器の構成としては, IP方式の場合はホームゲートウェイとSTB間をFast Ethernetで接続する形態, 64QAM方式の場合は映像系光加入者線終端装置V-ONU(Video Optical Network Unit)とSTB間を同軸ケーブルで接続する形態が一般的である。

IP方式の場合は番組の著作権や地上波放送の再送信について制限されていたのに対し, 64QAM方式では従来のCATVと同様の扱いを受けていたため, IP方式ではVOD番組の提供によりサービスの充実化を図っていた。

このような状況で, 2005年度7月に総務省から発表された「地上デジタル放送の利活用の在り方と普及に向けて行政の果たすべき役割 第2次中間答申」<sup>(2)</sup>において, 地上波デジタル放送のIP方式による再送信の規制を緩和する方針が提示された。SD(Standard Definition)品質放送は2006年度, HD(High Definition)品質放送は2008年度から再送信可能となる見込みである。

VODに加え地上波デジタル放送の再送信が可能になることより, 今後IP方式でのサービスの拡大が見込まれ, FTTHの更なる高速化を促すと予想される。

### 2.4 FMCサービス動向

無線LANの家庭への普及とキャリアネットワークから宅内ネットワークへのアクセス方式の標準化が進んでいることから, 1990年代から検討されていた有線通信と移動体通信の融合サービス(FMC(Fixed Mobile Convergence)サービス)が実現されつつある。

FMCサービスとしては大きく以下の2つのサービスが検討されている。

- (1) 無線LAN搭載デュアル携帯端末により, 宅内では無線LANによりホームゲートウェイ経由でIP固定電話網に接続するサービス
- (2) 宅外から携帯端末によりホームゲートウェイ経由で宅内ネットワークに接続されたHDD(Hard Disk Drive)レコーダー, エアコン等の家電機器にアクセスし遠隔操作するサービス

両サービスともユーザーニーズは強く、トリプルプレーサービスに続くサービスとして期待されている。

### 3. 宅内ネットワーク技術動向

#### 3.1 宅内ネットワーク構成標準化動向

宅内ネットワークの基本構成及び機能配置は、当社を含む通信・家電メーカー、キャリア、各種産業団体からなる宅内情報通信・放送高度化フォーラム(宅内フォーラム)により検討され、その活動結果がITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)でJ.190として勧告化されている(図1)。

J.190の概略は以下のとおりとなっている。

デファクト標準が適用される固有プロトコルドメインを

- (1) デジタルAVプレーン(デジタルTV, DVD, STB等)
- (2) パソコンプレーン(パソコン, プリンター等)
- (3) 電話・FAXプレーン(TV電話, FAX等)
- (4) 暮らし環境プレーン(エアコン, 冷蔵庫等)

に分類し、これらをIPで共通化されるIPドメインに集約する。また、IPドメインと固有プロトコルドメイン間の接続はHC(Home Client)が行い、IPドメインとキャリアネットワークとの接続はHA(Home Access)が行う。

各プレーンごとに様々なデファクト標準が検討されているが、今後もJ.190の構成を基本に進められていくと予想される。

#### 3.2 宅内ネットワークインタフェース動向

現在、J.190で規定されるHAとHB(Home Bridge)の各機能はホームゲートウェイに搭載される形態が一般的であるが、HBとHC間を接続するインタフェースとしては、無線LAN(IEEE802.11a/b/g), Fast Ethernet(100Base-TX)が主流である。

今後は、無線LANはIEEE802.11n, EthernetはGigabit Ethernet(1000Base-T)が実用化・低価格化され、高速化が進むと予想される。また、規制緩和が実現すれば、宅内用電力線伝送(Power Line Communications: PLC)も部屋間接続や家電制御で有力視されている。

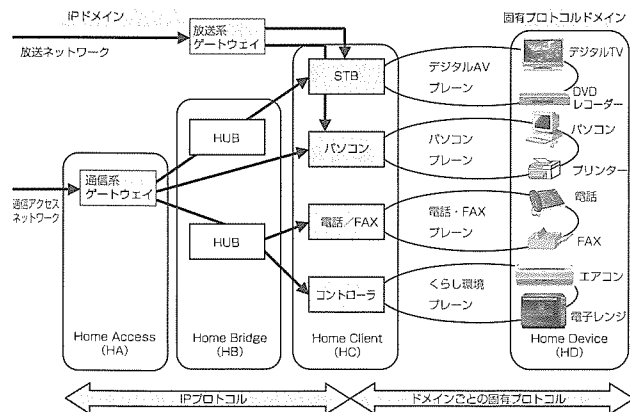


図1. ITU-T J.190宅内ネットワークの基本構成

#### 3.3 デファクト標準化動向

現在、J.190で規定される各プレーンごとにデファクト標準化が進んでいる。主な標準化団体を以下に挙げる。

- (1) DLNA(Digital Living Network Alliance)
- (2) UOPF(Ubiquitous Open Platform Forum)
- (3) ECHONET(Energy Conservation and Homecare Network)

暗号化や電子透かしによるコンテンツの著作権保護を目的としたDRM(Digital Rights Management)技術や相互接続方式において標準化団体が乱立している状態のため、一本化にはしばらく時間を要すると考えられている。また、各プレーンとホームゲートウェイを介したキャリアネットワークとの接続における暗号化方式など各デファクト標準ごとに異なっており、一本化には時間を要すると考えられている。

### 4. ホームゲートウェイ技術動向

以上のような市場動向の中でホームゲートウェイに要求される機能は以下ようになる。

#### 4.1 回線終端機能

現在、キャリアが提供するアクセス回線の終端装置としてADSLの場合はADSLモデム, FTTHの場合はONUを使用し、ホームゲートウェイと10/100Base-TXで接続するのが一般的であるが、機器コスト低減, セキュリティ確保の観点から今後はこれらの機能がホームゲートウェイに統合されていくと予想される。

#### 4.2 ISP接続機能

宅内ネットワークからインターネットへ接続するには、キャリアネットワークへ接続されている各ISPネットワークへ接続する必要があり、PPPoEやRADIUS(Remote Authentication Dial In User Service)認証が使用されている。最近では複数のISPへ接続するケースもあり、マルチセッションが必要となっている。

#### 4.3 パケット転送機能

現在IPv4からIPv6の移行期であり、いずれにも対応するため以下の機能が必要となる。

- (1) IPv4からIPv6への変換(カプセリング)
- (2) IPv6からIPv4への変換(カプセリング)
- (3) IPv4/v6同時ルーティング

また、音声パケットや映像パケットをクラス分けして優先送出するQoS(Quality of Service)機能が必要となっている。クラス分けにはVLAN(Virtual LAN)タグ内のプライオリティビットやIPヘッダ内のTOS(Type of Service)フィールド, TOSフィールドを再定義したDSCP(DiffServ Code Point)が使用される。

また、キャリアネットワークへ送出する際にこれらのプライオリティビットやTOSフィールド等に優先情報を付

表1. 光ホームゲートウェイ試作機の主要諸元

機能項目	仕様	備考	
インタフェース	WAN側 Ethernet	PON光インタフェース(SC)×1ポート (GE-PON IEEE802.3ah)	
	加入者電話線	RJ11×1ポート	既存アナログ回線
	宅内側 Ethernet	LAN: 10/100Base T(X) (RJ45) ×4ポート	STB用ポートを含む、宅内側ポート間L2スイッチ
	電話	RJ11×1ポート	アナログ電話接続用
	拡張ポート	宅内インタフェース拡張用miniPCIスロット×1	WLAN (IEEE802.11b/g) miniPCIカード装着によりアクセスポイントとして機能
ルータ機能	IPルーティング	静的・動的(RIP)・NAPT	宅内⇄WAN間L3ルーティング
	セキュリティ	パケットフィルタリング, SPI Firewall, アクセス制御	
	その他	DHCPサーバクライアント, DNSフォワーディング, UPnP, IGMP snooping, IPマルチキャスト転送	
VoIP機能	VoIP	呼制御(RFC3261) CODEC (ITU-T G.711 μ-Low 準拠)	

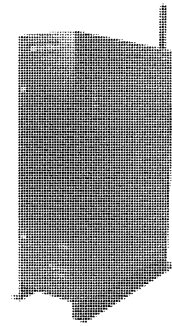


図2. 光ホームゲートウェイ試作機の外観

CODEC : Coder DECoder  
 DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol  
 DNS : Domain Name System  
 NAPT : Network Address Port Translation  
 PCI : Peripheral Component Interconnect  
 RIP : Routing Information Protocol  
 SPI : Stateful Packet Inspection  
 UPnP : Universal Plug and Play  
 WAN : Wide Area Network

与することによりキャリアネットワーク内でのQoSも実現する。

また、映像配信のためIPv4/v6のマルチキャスト転送機能が必要となる。その際には、IGMP(Internet Group Management Protocol) SnoopingやProxy機能(IPv4), MLD(Multicast Listener Discovery) Snooping やProxy機能(IPv6)により宅内ネットワークのマルチキャストグループ情報の処理も必要となる。

4.4 セキュリティ機能

インターネット上の悪意のあるユーザーからの宅内ネットワークへの不正アクセス、ウイルス感染を防ぐため、Firewall, SPI(Stateful Packet Inspection)機能が必要となっている。

最近では、DDoS(Distributed Denial of Service)攻撃等に対応するため、IDS(Intrusion Detection System)／IPS(Intrusion Prevention System)機能も実装が検討されている。

4.5 各種宅内装置接続

J.190で規定される各プレーンごとにプラグアンドプレー方式や暗号化方式等、様々なデファクト標準化が進められているが、ホームゲートウェイにおいてこれらの標準化規定を集約、統合し、相互接続又はキャリアネットワーク接続を実現していくと予想される。

4.6 遠隔アクセス制御

家電へのキャリアネットワークからの遠隔制御実現のため、今後、各デファクト標準で規定されたアプリケーションサーバとの認証機能やNAT(Network Address Translation)越え方式等を実装していく必要がある。

4.7 VPN接続

宅内ネットワークから企業のIP-VPN(Virtual Private Network)網へのアクセスにはIPSec(IP Security)／L2TP(Layer 2 Tunneling Protocol), PPTP(Point-to-Point Tunneling Protocol)といったプロトコルにより暗号化を

行い、IKE(Internet Key Exchange)プロトコルにより鍵(かぎ)交換や認証を行う。端末側の機器設定軽減のため今後はホームゲートウェイでこれらの処理を実装していくと予想される。

5. 当社のホームゲートウェイへの取り組み

当社も、キャリア向けのホームゲートウェイ市場向け装置の研究・開発を積極的に進めている。

その一つとしてFTTHでのトリプルプレーサービス用としてGE-PON ONU機能, VoIP-TA(Voice over IP-Terminal Adapter)機能, 無線LANアクセスポイント機能を搭載した光ホームゲートウェイの試作機を開発した。主要諸元を表1に、外観を図2に示す。

6. むすび

以上、ホームゲートウェイに関する技術動向及び当社の取り組みについて述べた。

今後の方向として、IP放送の普及に向けた高速化や、新たな宅内インタフェースの取用, DLNA, UOPF, ECHONET等各デファクト標準による宅内機器の取用や著作権保護等のDRM技術の実装, FMCサービス等新規サービス用アプリケーションの実装が重要だと考えている。

ホームゲートウェイ市場はブロードバンドサービスの拡大に伴って今後も重要視されると予想され、また、家電との連携など総合電機メーカーとしてシナジー効果を発揮できる分野でもあり、引き続き積極的に研究、開発、製品化を進めていく。

参考文献

- (1) 宅内フォーラムホワイトペーパー:「宅内ネットワークの概要と活動ビジョン」(2004-7)
- (2) 総務省:「地上波デジタル放送の利活用の在り方と普及に向けて行政の果たすべき役割」第2次中間答申(2005)

# 通信・放送融合端末技術

横山幸雄\*  
牧野豊司\*

*Integrated Communication and Broadcasting Terminal*

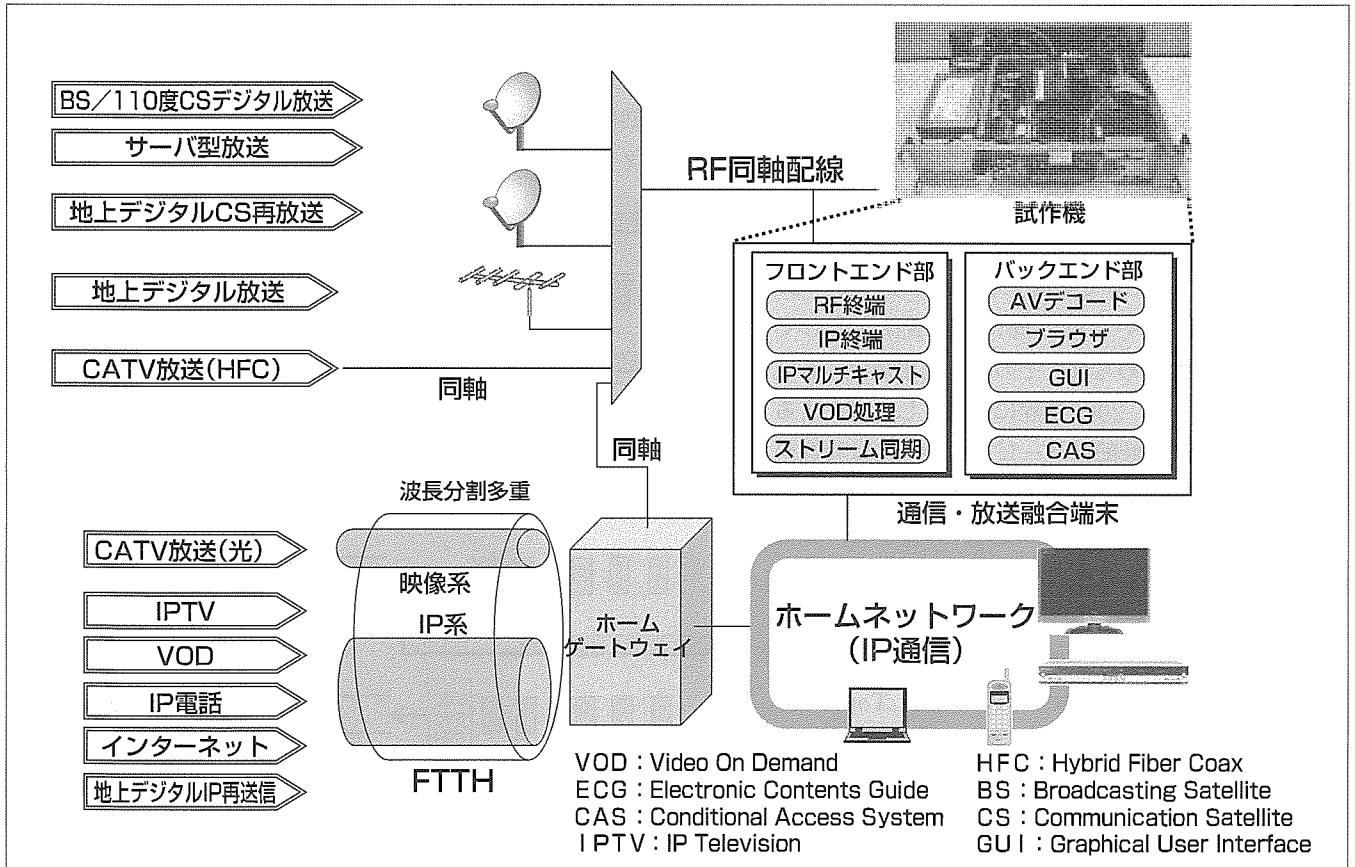
*Yukio Yokoyama, Toyoshi Makino*

## 要旨

光ファイバの本格普及期に入り、加入者の利用する平均的なバンド幅も数10Mbpsに増加している。Webなどのインターネットサービス、IP(Internet Protocol)電話に続き、映像配信サービスもトリプルプレーの一環として大手ISP(Internet Service Provider)の間で既に商用サービスが開始されている。一方、地上デジタル放送の普及を加速するため、IP伝送による再送信も本格的に検討されつつある。また、受信機に蓄積機能を搭載し常時ブロードバンド接続機能を前提とした新しいデジタル放送形態であるサーバ型放送の運用規格も固まりつつある。このような状況で通信と放送の融合ということが各分野で現実味を帯びてきている。しかしながら、放送においては、公共性・普及性の観

点から、コンテンツの符号化・運用から伝送方法に至るまで標準規格による規定を前提としていた。一方、通信での映像配信では個々のビジネスごとに様々な方式を採用してきているのが現実である。今後は、お互いが歩み寄る形で通信のインタラクティブ性と放送の同報性を併せ持つ端末の登場が期待されている。

本稿では、IP伝送による放送型映像配信について、従来のRF(Radio Frequency)伝送とは大きく異なるクロック同期の扱いやパケットロス対策、IPマルチキャストストリームに対する選局概念などの端末における技術要素について述べる。また、融合端末の実装アーキテクチャ検証を目的とした試作機についても述べる。



## 通信・放送融合端末の位置付け

これまではアンテナによる直接放送受信や同軸ケーブルによるCATV(Cable Television)放送が一般的であったが、FTTH(Fiber To The Home)の普及による家庭までの光ファイバ敷設の広がりにより、波長分割多重によるRF伝送での放送やIP伝送での放送/VODといったものが確実に普及しつつある。今後は、多くの放送サービスを有機的に結び付けると同時に、ブロードバンド接続による双方向性を生かした高度な視聴形態を提供する端末の登場が望まれる。

1. まえがき

放送のアナログからデジタルの移行が進みつつある。地上デジタル放送が2003年12月から三大都市圏で開始され、2006年には全国展開が行われる予定である。その一方で、2011年7月には地上アナログ放送が停波されることも広く宣伝されるようになった。全国に約6,000万台あると言われるテレビをすべてデジタル化し現状と同じような視聴環境を構築するためには、残された時間は少ない。総務省の情報通信審議会では2005年7月に地上デジタル放送の普及促進のための第2次中間答申を出している<sup>(1)</sup>。この答申では、これまでの中継局の整備やCATVの活用のほかに、新たに通信衛星(CS)を利用した再配信とIP通信網を利用した再送信の推進についても言及している。

本稿では、こうした状況の中で、通信と放送を融合したシステムにおける端末側の技術要素について述べる。

2. 通信・放送融合サービスの動向

ここでは、放送やIP映像配信サービスについての現状と動向について概観する。地上デジタル放送の再送信については大手CATV事業者が当初から積極的にサポートしてきた。これまではケーブル伝送に適した64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)変調によるトランスモジュレーション方式での配信が多かったが、徐々に一般テレビに直接接続できるOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)変調でのパススルー方式が広まってきた。CATV以外の再送信については、上記答申に従い、2007年に通信衛星を用いたシステムで、2008年にIP通信を用いたシステムで実施する予定となっている。サーバ型放送については、既にARIB標準としてSTD-B38<sup>(2)</sup>がまとめられ、その後、運用規定の策定が進められている。2006年春に規格としてまとまる予定である。IP映像配信サービスについては複数の大手ISPにより既に商用サービスが開始されている。主なサービス形態としては、映画、ニュース、音楽、アニメといった多くの専門チャンネルを流すIPTVサービスとユーザーが任意の時間に視聴が開始できるVODサービスの2つがある。現状は各サービス事業者独自の方式を用いており、STB(Set Top Box)型の専用端末を用いてサービスを行っている。また、映像の解像度としてはSD(Standard Definition)解像度が一般的となっている。この分野では、統一規格の策定とそれによるテレビへの組み込みを推進していこうという機運がある。また、CATVでの同軸によるRF伝送での配信と同様なことを宅内までの光ファイバで実施する商用サービスも開始されている。

3. 端末構成技術

これまでの放送受信機は、アンテナからの受信であれ、CATV経由であれ、RF伝送を対象としていた。これがIPパケットを用いたものに変更される場合に幾つかの技術課題が発生する、以下にそれらについて述べる。

3.1 クロック同期

IP伝送による映像配信で問題になるのがクロック同期である。RF伝送では、クロック成分の伝送が行われることから同期網として扱うことができる。一方、IP網では、クロック成分を重畳することは困難で非同同期網として扱うことになる。クロック同期の構成方式例を図1に示す。方式①はRTP(Real-time Transfer Protocol)のタイムスタンプを利用する方式である。方式②はARIB STD-B38で規定されているタイムスタンプドTS(トランスポートストリーム)と呼ばれるTSパケット(188バイト)の前段に4バイトのタイムスタンプ領域を付加したもので、このタイムスタンプをクロック情報に利用するものである。方式③は送出側からのダイナミックな情報は使わずに自身のバッファの残量に依存して、読み出しクロックを制御する方法であり、方式④は読み出しクロック自体は自走させておき、徐々にバッファの位置がずれていったときに、無関係なデータ(例えばヌルTSパケット)の追加/削除を行うことでバッファの中心に戻そうとする方式である。方式⑤は何も制御を行わず自走にまかせ、バッファリセットが許されるタイミング(例えば放送休止中)にリセットを実行するとい

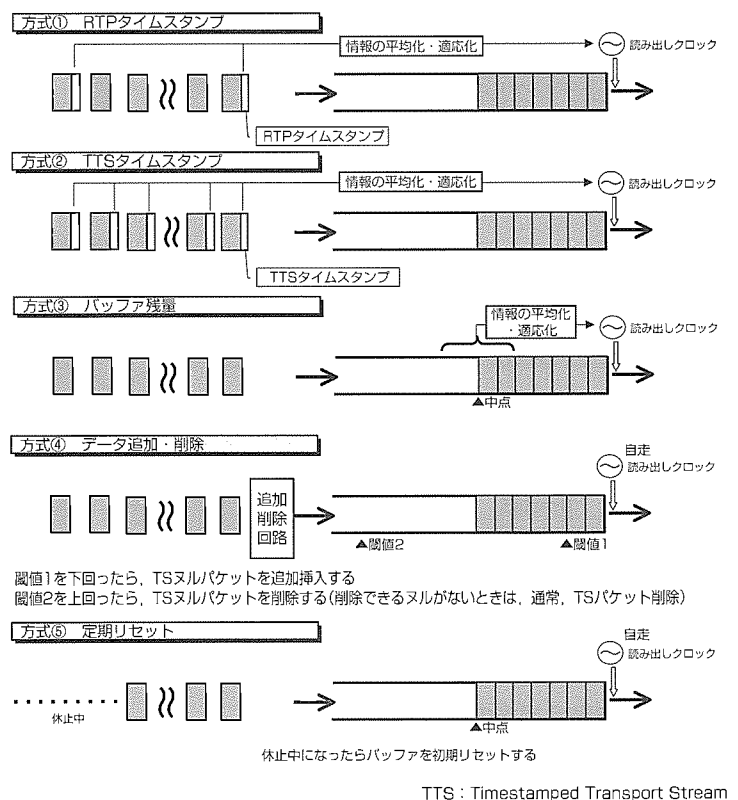


図1. クロック同期の構成例

表 1. クロック同期方式の比較

	タイムスタンプ伝達型		自律制御型		自走耐久型
	方式① RTPタイムスタンプ	方式② タイムスタンプ付きTS (TTS)	方式③ バッファ残量反映周波数 調整	方式④ バッファ残量反映データ 追加・削除方式	方式⑤ 定期リセット方式
精度	△	○	△	× 荒い制御	× 能動的制御なし 破綻する確率大
コスト	× VCXO周辺高価	× VCXO周辺高価 帯域オーバーヘッド大	× VCXO周辺高価	△	△ バッファメモリ大
視聴品質	○	○	○	△	× バッファリセットが許さ れるなら○
実装容易性	× 送出側、受信側ともに 専用回路要	× 送出側、受信側ともに 専用回路要	○	○	○
処理遅延 バッファ遅延	○	○	○	△ 追加・削除部分の オーバーヘッド	× 破綻しないための 十分なバッファ必要

VCXO : Voltage Controlled Crystal Oscillator

うものである。これらの方式の比較を表1に示す。総合的にはオーバーヘッドや実装面から方式③が優位であり、実際の適用実績もある。

### 3.2 パケットロス対策

通信におけるパケットロス対策について考える際には、配信の同報性と実時間性といったものの考慮が大きな要素となる。再送によりロスを補うためには、再送していても間に合うものなのか、送出側が負荷的にすべての再送要求に対応しきれぬのかといったことが評価ポイントとなる。一方、再送を前提としない場合には、ある程度の冗長情報を付加することでパケットロス分を復元するためのFEC (Forward Error Correction : 前方誤り訂正) 技術による訂正が鍵(かぎ)となる。最近では、映像配信用途として、LDPC(Low Density Parity Check Code)系や業務用規格でのPro-MPEG(Moving Picture Experts Group)での方式が目ざされている。図2に、サービス種別に応じた再送とFECの適用領域を示す。CDN (Contents Delivery Network)のようなQoS(Quality of Service)を管理した専用ネ

ットワークではFECの必然性も低くなるが、家庭内のネットワークまで想定して考えると、現時点では無線LAN (Local Area Network)の存在が極めて大きいことから、FECとしてもエンド端末までのリンクを想定した方式がふさわしい。前節のクロック同期を含めた端末での受信フローを図3に示す。FECやクロック同期ではパケットロスやジッタの補償やバースト耐性向上のためにはバッファサイズを大きくすることが効果があるが、逆にチャンネル変更時に次の映像・音声が出るまでに時間がかかったり、メモリコストが増大する面もあり、適切なバランスをとることが重要となる。

### 3.3 ストリーミング選局

RF伝送の場合の選局(チューニング)とは、所望するチャンネルの周波数に同調させることにより、複数候補からの選択を行っていた。IPTVサービスでの選局はIPマルチキャストによるストリームを自分の経路に分配してもらう操作ということになる。具体的にはIPv4の場合は、IGMP (Internet Group Management Protocol) プロトコルにおけるJoinコマンドの発行となる。

テレビの視聴形態として他のチャンネルでは何を放送しているかといったことを短時間で次々に行うことをザッピングと呼んでいる。RF伝送では、もともと自端末まで到来している電波の中から選ぶだけであったので、送出・伝送側に何も影響がなかったが、IPTVサービスの場合は、局舎に置かれるエッジルータと呼ばれる装置に前述のJoinコマンドが飛ぶことになり、中継システムにも負荷をかけることになる。そのため、過度のJoin発行はサービス提供

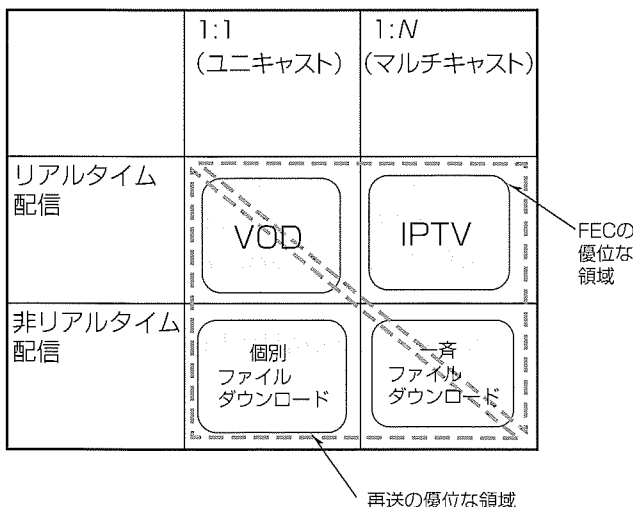


図 2. 再送とFECの適用領域

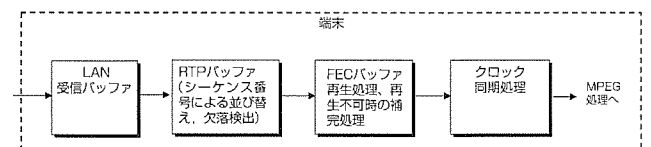


図 3. 受信系処理フロー

表 2. 試作機の仕様

RFインタフェース	64QAM(Fコネクタ)
IPインタフェース	10/100BASE-TX(RJ45コネクタ)
映像	MPEG2 SD, HD
音声	MPEG2-AAC
データ放送	独自拡張BML
蓄積	IDE-HDD(フルTS記録)
クロック同期	自律型バッファ残量適応クロック
EPG/ECG	SI及びメタデータ(TV Anytime形式)
IPTV	IPマルチキャスト(IGMPv2) RTP/UDP/IP
VOD	RTSP RTP/UDP/IP

AAC : Advanced Audio Coding  
 BML : Broadcasting Markup Language  
 HD : High Definition  
 HDD : Hard Disk Drive  
 IDE : Integrated Device Electronics  
 RTSP : Real Time Streaming Protocol  
 UDP : User Datagram Protocol

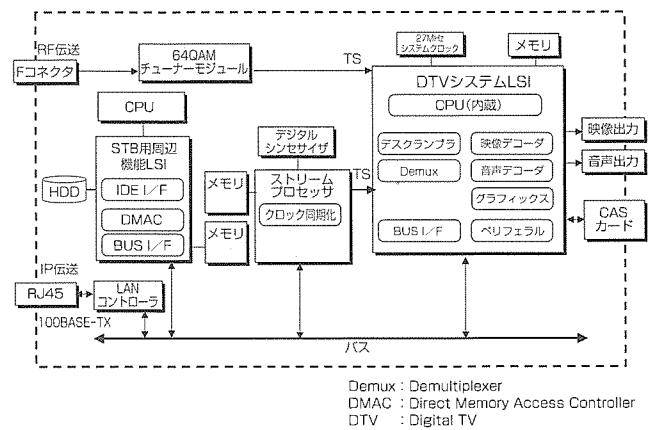


図 4. 試作機ブロック構成

側からは望ましくない。

別の側面として、RF伝送では、同時に複数のチャンネルを選択しようとする場合には物理的に複数のチューナーモジュールを搭載する必要があるが、IP伝送では、ネットワーク帯域が足りる場合には、1つのLANインタフェースで複数のIPストリームを受信することが可能である。この特長を生かし、なるべくザッピングしなくて済むような補助情報を別のストリーム手段で提供するようなことも有益と考えられる。

### 3.4 コンテンツナビゲーション

多くの経路からコンテンツ(番組)が配信されたり、コンテンツのタイプもリアルタイムであったり事前蓄積であったり、オンデマンド型であったりと多様化しつつある。

従来の放送では電子番組ガイドを表示するためにSI情報(Service Information: 番組配列情報)といったものを用いてきた。一方、サーバー型放送などでは新たにメタデータも導入している。このような背景から、ユーザーに対してより良い選択手段となるためのコンテンツナビゲーションが重要になるが、GUI的な見せ方や操作法と同様、SI情報とメタデータといった異なるスキームを持つデータをどのように統合管理するかといった技術も大切になる。

## 4. 通信・放送融合端末試作機

三菱電機では、IP伝送によりHDTV(High Definition TV)コンテンツを受信する端末のアーキテクチャを検証するため試作機を開発した。概略仕様を表2に、ブロック構成を図4に示す。この試作機では、デジタル放送の特長であるデータ放送や電子番組ガイド(Electronic Program Guide: EPG)といった比較的処理負荷の重い処理と、20Mbps超のHDTVレートでのIPマルチキャスト受信を安

定的に実行するため、ネットワーク系処理とMPEG系処理を分割するアーキテクチャを採用した。それぞれが200MIPS(Million Instructions Per Second)性能相当のCPU(Central Processing Unit)によって処理されている。MPEG系の処理は既存の受信機を流用する形で実現した。また、ネットワーク系は各種の通信プロトコルを扱うことからLinux<sup>(注1)</sup> OSを採用し、その上で通信系ミドルウェアを構築した。メタデータについては、XML(eXtensible Markup Language)形式で来たものをネットワーク系処理でバイナリ化を行い、MPEG系でのSI情報管理と類似の方法で扱えるように実装した。また、クロック同期としてはバッファ残量方式(図1の方式③)を採用している。

## 5. むすび

FTTHの進展とともに重要になってくる通信と放送を融合して扱うための端末技術について述べた。これまで家電製品は基本的にスタンドアロンのな使われ方が主体であったが、将来的にはパソコンと同様にネットワークにつながる事が当たり前になっていくと考えられる。そういった時代において、これらの技術を有機的に融合させ、快適な視聴環境を提供する製品開発を行っていく予定である。

(注1) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

## 参考文献

- (1) 情報通信審議会 平成16年 諮問第8号 第2次中間答申：地上デジタル放送の利活用の在り方と普及に向けて行政の果たすべき役割 (2005-7)
- (2) 電波産業会(ARIB) STD-B38：サーバー型放送における符号化、伝送及び蓄積制御方式標準規格 (2004-12)



# 次世代ネットワーク(NGN)に向けた ネットワーク制御技術

土田 充\*  
横谷哲也\*\*  
佐藤浩司\*\*\*

Network Control Technology for Next Generation Network

Mitsuru Tsuchida, Tetsuya Yokotani, Koji Sato

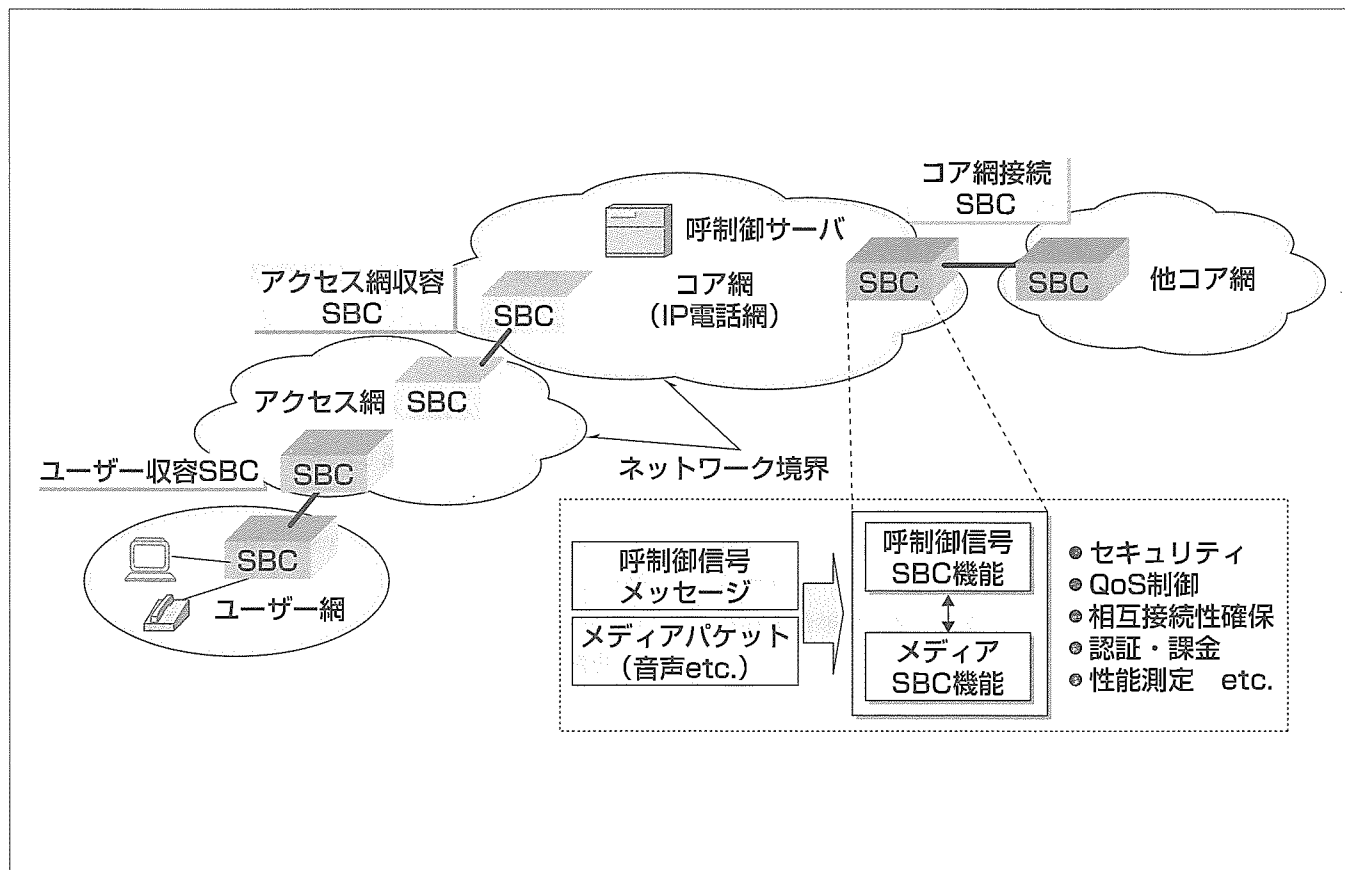
## 要 旨

ITU-T(International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector)やMSF(MultiService Forum)等により, 次世代ネットワーク(Next Generation Network: NGN)の標準化が進行中である。NGNでは, 電話網のIP(Internet Protocol)化, サービスのマルチメディア化, さらに, 携帯電話・固定電話の融合(Fixed-Mobile Convergence: FMC), ユビキタスネットワークの実現を目指す。

上述の次世代ネットワークでは, 従来の電話網と同等以上の通話品質・安全性を確保するため, 各ネットワークで網内リソースを管理し, 要求に応じて適切な割当て制御を行うとともに, ネットワーク境界のゲートウェイ機能によ

り, 流入トラフィックの制限・ネットワーク構成情報の隠蔽(いんべい)等のQoS(Quality of Service)・セキュリティ保護を行う。また, 必要に応じ, アドレス変換やプロトコル/メディア変換(インタワーキング)等を実施し, ネットワーク間の相互接続性確保を行う。セッションボーダーコントローラ(Session Border Controller: SBC)は, 上記を実現する機能であり, 今後, 重要性が高まると考えられる。

本稿では, NGNの標準化動向につき述べるとともに, その実現に必要なセッションボーダーコントローラへの取り組みとして, 開発したネットワーク接続ゲートウェイ装置及びホームゲートウェイ装置につき述べる。



## 次世代ネットワークにおけるセッションボーダーコントローラ配置

次世代ネットワークでは, 各ネットワーク間の相互接続を確保しつつ各ネットワーク内のセキュリティ・品質を保証するため, ネットワーク境界におけるゲートウェイ機能が重要である。セッションボーダーコントローラは, この機能を担い, セッションに応じたトラフィックの遮断/通過制御, 網内情報の隠蔽・アドレス変換, QoS制御等を実施する。

## 1. ま え が き

グラハム・ベルが電話を発明してから約130年、今、電話網は大きな変革期を迎えている。伝統的な回線交換公衆電話網は、コンピュータネットワークに端を発したIP通信技術による次世代ネットワークに置き換えられようとしている。本稿では、電話網のIP化、サービスのマルチメディア化、携帯電話・固定電話の融合、ユビキタスネットワークの実現等をにらんだ次世代ネットワークの標準化動向と三菱電機の取り組みについて述べる。

## 2. 次世代ネットワークの標準化動向

### (1) ITU-Tでの標準化動向

ITU-Tでは、2003年から次世代ネットワーク構築に向けた技術標準策定作業を開始し、2004年末までにNGNの基本コンセプトをまとめたY.2001“NGN概要”とY.2011“NGNの一般原則と参照モデル”を勧告化するとともに、2004年6月から、FGNGN(Focus Group on NGN)を設置して、IP網による固定電話のエミュレーション/シミュレーションサービスや会話型画像通信・インスタントメッセージなどのマルチメディアサービスの提供等をターゲットとするNGNリリース1仕様<sup>(1)</sup>の検討を実施した。

この検討は、先行する欧州の標準化機関ETSI(European Telecommunications Standards Institute)によるTISPAN(Telecommunications and Internet converged Services and Protocols For Advanced Networking)プロジェクト成果を取り込みつつ、ITU-T独自の検討を加える形で実施されている。基本アーキテクチャとして、3GPP(3rd Generation Partnership Project)のIMS(IP Multimedia Subsystem)をベースとし、転送機能とサービス提供機能の分離、エンド・エンドQoS制御、汎用モビリティの実現等を目指している。

ITU-T FGNGNの検討は2005年末をもって終了し、今後は、NGN標準化の主管SGであるSG13(Study Group 13)を中心に関連SG(SG11, SG19等)が連携するNGN-GSI(The NGN Global Standards Initiative)体制で、リリース1仕様の正式勧告化、リリース2以降の検討が継続される予定である。

### (2) MSFでの標準化動向

MSFでは、次世代ネットワークの相互接続性確立を目指し、その物理アーキテクチャ検討、実装規約の策定や、相互接続試験計画の策定等を行っている。現在、審議中のMSFリリース3アーキテクチャ<sup>(2)</sup>では、3GPP IMS仕様やITU-T NGN仕様の最新動向を取り込み、そのネットワーク構成に変更が加えられた。今後、2006年の相互接続試験実施に向けて、実装規約の詳細検討が進められる予定である。

## 3. 次世代ネットワークのアーキテクチャと制御技術

図1に、FGNGNで作成されたリリース1機能要求仕様FGNGN-FRA<sup>(3)</sup>中で規定されているNGN機能アーキテクチャを示す。このアーキテクチャでは、従来のIPネットワークと異なり、IPネットワーク間接続点のゲートウェイ機能(IGW-FE, ABG-FE, NSIW-FE等)が定義されていること、また、転送ネットワーク内のリソースを管理し、呼受付制御を行うRACF(Resource and Admission Control Function)機能が定義されていることに特徴がある。

すなわち、NGNでは、従来の電話網と同等以上の通話品質・安全性を確保するため、各ネットワーク運営者は、自網内におけるQoS及びセキュリティ保証を行う必要がある。このため、各ネットワークでは、網内のリソースを管理し、要求に応じて適切な割当て制御を行うとともに、ネットワーク境界のゲートウェイ機能により、外部からの流入トラフィックの制限・ネットワーク構成情報の隠蔽等のQoS・セキュリティ保護を行う。また、必要に応じ、アドレス変換やプロトコル/メディア変換(インタワーキング)等を実施し、ネットワーク間の相互接続性確保を行う。

セッションボーダーコントローラは、上記機能の実現構成例として、FGNGN-FRAの付録で、その機能仕様・構成が記載されている。この記述中に挙げられているSBC機能項目を表1に示す。また、MSFでも、そのネットワーク構成要素としてSBG(Session Border Gateway, SBCの装置イメージ)が規定されており、機能実装条件等が検討されている<sup>(4)</sup>。

## 4. 次世代ネットワーク制御技術への取り組み

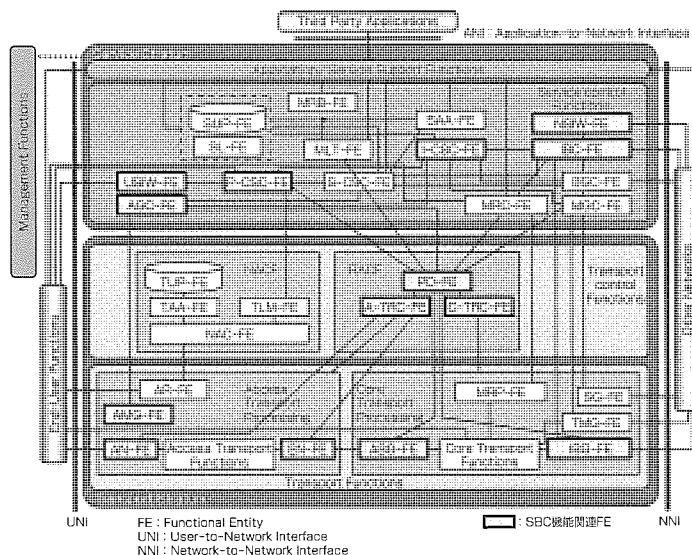
以下に、上記次世代ネットワーク制御技術への当社取り組みにつき述べる。

### (1) ネットワーク接続ゲートウェイ装置

図2及び表2に、開発したネットワーク接続ゲートウェイ装置を示す。この装置は、ネットワーク境界でIPパケットのNAT(Network Address Translation)アドレス変換/フィルタリング処理等を行うゲートウェイ装置であり、呼制御信号(SIP(Session Initiation Protocol)メッセージ)を解釈するALG(Application Level Gateway)装置からの制御に応じてNATピンホール開閉制御を行うことにより、セッションボーダーコントローラとして機能する。

この装置では、NPU(Network Processor Unit)を用いたプラットフォームにより8Gbpsの装置スループットを実現、128Kエントリのアドレス変換テーブルを持ち、最大1,024のCUG(Closed User Group)にNAT/NAPT(Network Address Port Translation)機能を提供する。

今後、さらに、IPv6への対応、セキュリティ機能の拡充等、セッションボーダーコントローラとしての機能拡充



略称	機能名称
NACF	Network Attachment Control Functions
RACF	Resource and Admission Control Functions
AMG-FE	Access Media Gateway FE
AN-FE	Access Node FE
EN-FE	Edge Node FE
AR-FE	Access Relay FE
ABG-FE	Access Border Gateway FE
IBG-FE	Interconnection Border Gateway FE
TMG-FE	Trunk Media Gateway FE
MRP-FE	Media Resource Processing FE
SG-FE	Signalling Gateway FE
NAC-FE	Network Access Control
TAA-FE	Transport Authentication and Authorization FE
TUP-FE	Transport User Profile FE
TLM-FE	Transport Location Management FE
PD-FE	Policy Decision FE
A-TRC-FE	Access Transport Resource Control FE
C-TRC-FE	Core Transport Resource Control FE
S-CSC-FE	Serving Call Session Control FE
P-CSC-FE	Proxy Call Session FE
I-CSC-FE	Interrogating Call Session Control FE
SL-FE	Subscription Locator FE
SUP-FE	Service User Profile FE
SAA-FE	Service Authentication and Authorization FE
IBC-FE	Interconnection Border Gateway Control FE
AGC-FE	Access Gateway Control FE
MGC-FE	Media Gateway Control FE
BGC-FE	Breakout Gateway Control FE
USIW-FE	User Signalling Interworking FE
NSIW-FE	Network Signalling Interworking FE
MRC-FE	Media Resource Control FE
MRB-FE	Media Resource Broker FE
MLT-FE	Multimedia Services FE

図 1. NGN機能アーキテクチャ (ITU-T FGNGN Document FGNGN-FRA<sup>(3)</sup> から)

表 1. セッションボーダーコントローラ機能項目 (ITU-T FGNGN Document FGNGN-FRA<sup>(3)</sup> から)

対象	機能	(和訳)
media path (メディアパス)	VPN bridging or mediation	VPN間接続・仲介
	Opening and closing of a pinhole (Firewall)	ピンホール開閉(ファイアウォール)
	Policing and marking	ポリシング&マーキング
	Detection of inactivity	非通信の検出
	NAT and NAPT	NAT及びNAPT
	Assisting remote NAT/NAPT traversal	遠隔NAT/NAPT越え支援
	Resource and admission control	リソース・呼受付制御
	IP payload processing	IPペイロード処理(符号化変換)
	Performance measurement	性能測定
	Denial of service (DoS) detection and protection	DoS検知・防御
	Media encryption	メディア暗号化
	Support for lawful interception	合法的傍聴
call control signalling path (呼制御信号パス)	Traffic control for signalling messages	制御信号トラフィック制御
	Authentication, Authorization, and Accounting	認証・許可・課金(AAA)
	Session-based routing	セッションベースルーティング
	DSP service control	DSPサービス制御
	End-user information hiding	エンドユーザー情報隠蔽
	Topology and infrastructure hiding	トポロジー及び基盤設備隠蔽
	DoS protection	制御信号DoS攻撃防御
	Signalling protocol translation	制御信号プロトコル変換
	Signalling protocol interworking	制御信号プロトコルインターワーク
	Signalling encryption	制御信号暗号化
	Support for lawful intercept	制御信号傍聴

DSP : Digital Signal Processor DoS : Denial of Service



図2. ネットワーク接続ゲートウェイ装置

表2. ネットワーク接続ゲートウェイ装置主要諸元

項目	仕様	
回線IF	インタフェース種別・数	1,000BASE-SX/LX/T×8 port
収容能力	サポートCUG数	1,024
	アドレス変換テーブルエントリー数	128Kエントリー(1,024/CUG)
	パケット転送能力	ワイヤレート条件：入力IPパケット長が230バイト以上
	パケットフィルタリング機能	最大1,024ルール/CUG
機能	アドレス変換(NAT)機能	Bi-Directional NAT, BASIC NAT, NAPT
	SIP-ALG連携機能	NATピンホール開閉, SIPメッセージ転送
	高信頼化機能	装置二重化対応
	保守運用機能	管理・監視I/F(SNMP, CLI) 運用ログ, イベントログ
その他	形状	19インチラック搭載型(3U高), (W)430×(D)450×(H)133.5(mm)

SNMP : Simple Network Management Protocol    CLI : Command Line Interface

を行っていく。

(2) ホームゲートウェイ装置

図3に開発したホームゲートウェイ装置を示す。この装置は、ユーザー宅内に設置され、ユーザー網とアクセス網の境界におけるセッションボーダーコントローラとして機能する。この装置は、ピンホール制御可能なファイアウォール機能を提供するとともに、宅内端末からの既存TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信等を次世代ネットワークのセッション制御機構で取り扱うためのSIPアダプテーション機能を提供する<sup>(5)</sup>。

この装置が提供するSIPアダプテーション機能では、必要に応じてTCPやUDP(User Datagram Protocol)通信の初期パケットを認識し、各通信に対して次世代ネットワークにおけるSIPベースのセッション制御機構を起動することにより、次世代ネットワークのセッション制御機構に対応しないユーザーアプリケーションも含めて、次世代ネットワークの制御下に置くことを可能とする。

今後、SIPアダプテーション方式の改良、各通信が要求するネットワークQoSパラメータの自動抽出等に関して研究開発を進めていく。

5. む す び

次世代ネットワークの実現に向け、様々な組織で必要技術の検討・標準化や研究・開発が活発化している。ITU-Tのリリース1仕様では電話網のIP化、サービスのマルチ



図3. ホームゲートウェイ装置

メディア化に注力しており、FMC等の実現仕様等については、リリース2以降とされている。本稿では、リリース1仕様実現時に必要となるゲートウェイ機能を中心に必要機能の紹介、当社取り組みについて述べた。引き続き、モビリティ制御やFMC対応制御機能等についても、必要技術の検討を行っていく。

参 考 文 献

- (1) ITU-T FGNGN Document TR-Release 1 scope. (2005)
- (2) MSF2005.179.00 : MSF Release 3 Architecture. (2005)
- (3) ITU-T FGNGN Document FGNGN-FRA : Functional Requirements and Architecture of the NGN Ver.7.1. (2005)
- (4) MSF2005.085.01 : MSF Sesssion Border Gateway Requirement. (2005)
- (5) 佐藤浩司, ほか : SIPアダプテーションを適用したNGNにおけるQoS制御の実現, 電子情報通信学会技術研究報告, CS2005-46 (2005-11)

# 次世代PONシステムにおける基盤技術

中川潤一\* 鈴木巨生\*\*  
清水克宏\*\* 安部淳一\*

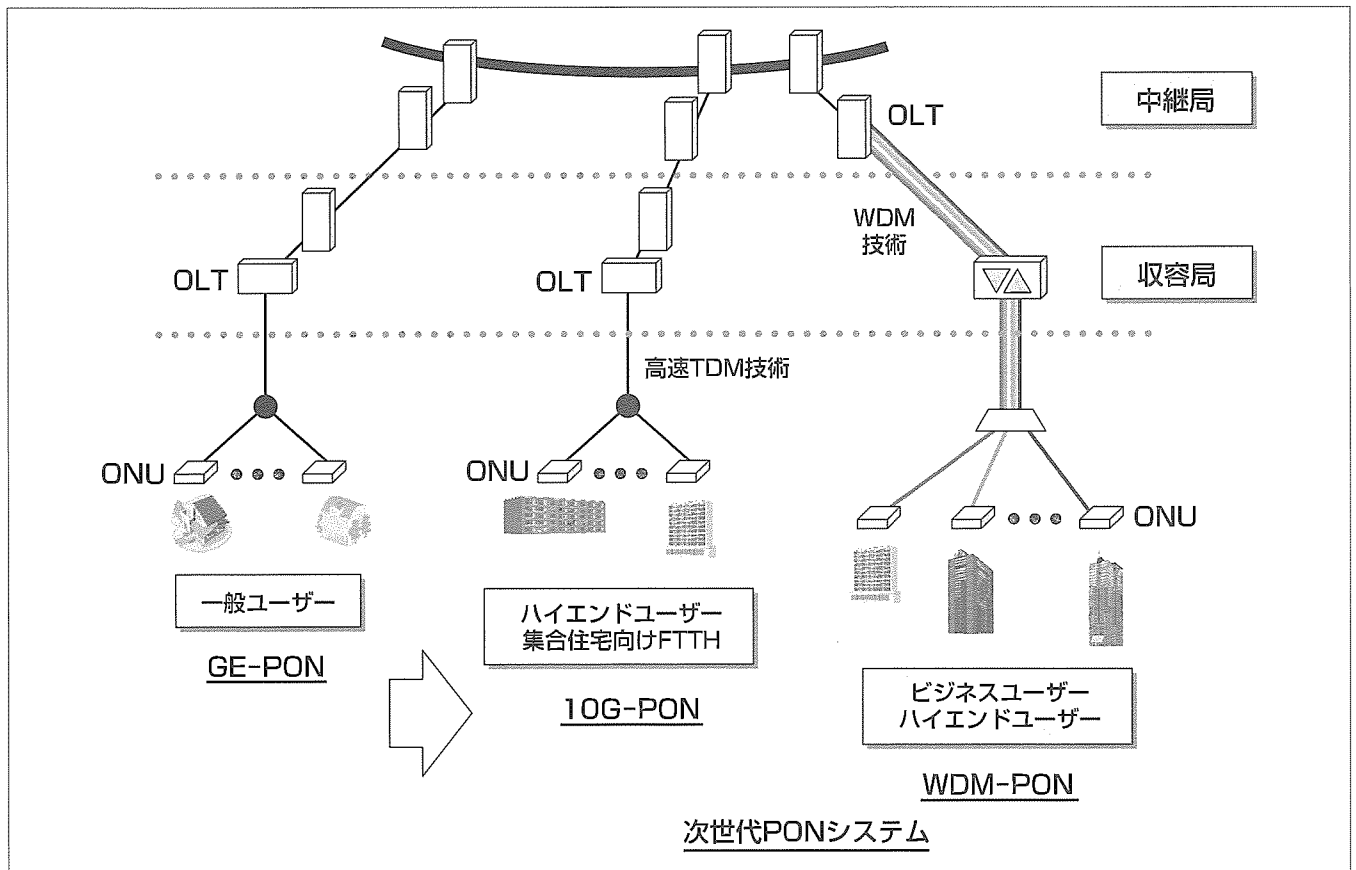
Technologies for Next Generation Optical Access Systems

Junichi Nakagawa, Katsuhiko Shimizu, Naoki Suzuki, Junichi Abe

## 要旨

インターネット需要の爆発的増加に伴い、経済的かつ高速な光加入者網を実現できる手段として、伝送速度が1.25GbpsのGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムの商用導入が進んでいる。一方、更なる高速化・大容量化を目指して、WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PONシステムや10G-PONシステムなどの次世代PONシステムの研究開発が注目されている。次世代PONシステムでは、ハイエンドユーザー、ビジネスユーザー、集合住宅向けFTTH(Fiber To The Home)の取り込み、また、アプリケーションとして、帯

域保証サービス、高精細映像サービスの提供などがターゲットとされている。このようなユーザーの収容、サービス提供の実現には、1ユーザーが1波の帯域を占有できるWDM技術を適用したWDM-PONシステム、伝送速度を現状の1Gbpsから10Gbpsに上げる高速TDM(Time Division Multiplexing)技術を適用した10G-PONシステムが有望である。本稿では、次世代PONシステムの基盤技術として、WDM-PON光インタフェース基盤技術と10G-PON光インタフェース基盤技術について述べる。



## 次世代PONシステム

PONシステムの高速度化・大容量化を目指して次世代PONシステムの研究開発が進められている。ハイエンドユーザー、ビジネスユーザー、集合住宅向けFTTHを収容するために、WDM-PONシステム、10G-PONシステムが適用される。

### 1. ま え が き

インターネット需要の爆発的増加に伴い、経済的かつ高速な光加入者網を実現できる手段として、伝送速度が1.25GbpsのGE-PONシステムの開発<sup>(1),(2)</sup>、商用導入が進んでいる。GE-PONを含むFTTHの加入者数は2005年3月で290万加入に達し、2006年3月には500万加入に達すると予想されている。一方、更なる高速化・大容量化を目指して、WDM-PON<sup>(3)</sup>や10Gbps E-PON<sup>(4)</sup>などの次世代PONの研究開発が注目を集めている。本稿では、次世代PONシステムにおける基盤技術について述べる。

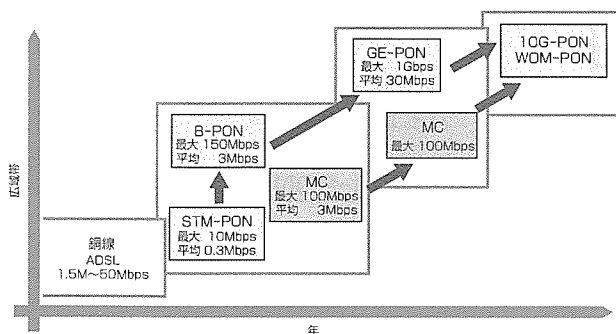
### 2. 次世代PONシステムの動向

図1に、アクセス網の現状と将来として、FTTH技術の進展を示す。FTTHサービスは、最大速度10MbpsのSTM-PONを適用して2000年にサービスが開始された。現在では、メディアコンバータ(Media Converter: MC)、B-PON、GE-PONの3種類の技術を使ってサービスされている。GE-PONでは最大スピードは1Gbpsとなり、STM-PONと比較すると100倍の高速化が達成された。今後、高精度映像サービスの普及、ビジネスユーザーの取り込みを考えると、一層の高速化・大容量化に対応した次世代PONシステムの導入が必要になると予測される。ここでは、次世代PONシステムとして、WDM光インタフェース基盤技術と10G-PON光インタフェース基盤技術について述べる。

### 3. WDM-PON光インタフェース基盤技術

図2に、WDM-PONのシステム構成の概略図を示す。WDM-PONは、①中継ファイバ(~50km)の共用化で低コスト化が可能になり、ファイバ不足問題が解決できる、②収容局の装置簡略化による低コスト化が可能になる、③各加入者が下り1波、上り1波の専用波長を占有するため帯域保証サービスが可能となる、などの利点を持っている。

WDM-PONの技術課題は、①装置の低コスト化、②ONU



ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line, B-PON: Broadband PON, GE-PON: Gigabit Ethernet PON, MC: Media Converter, PON: Passive Optical Network, STM-PON: Synchronous Transfer Module PON, WDM-PON: Wavelength Division Multiplexing PON

図1. FTTH技術の進展

(Optical Network Unit)の波長無依存化であり、この双方を実現する方式の一つとしてOLT(Optical Line Terminal)側から上り方向用のキャリア光を分配し、ONUでキャリア光に信号を重畳する方式が研究されている<sup>(3)</sup>。このようなONUを実現するためのキーデバイスとして、半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier: SOA)と変調器(Electro-Absorption: EA)を集積化したハイブリッドデバイスの開発を行った。

図3に、開発したSOA-EA-SOA集積化デバイスの模式図を示す。SOA-EA-SOA集積化デバイスは半導体光増幅器2個とEA変調器で構成されている。SOA部の活性層、EA部の吸収層は共に偏波依存性を低減するように設計されている。また、EA変調器に加える高速変調信号のSOA部へのリークを防ぐため、SOAとEA変調器の間にアイソレーション領域を設けている。

図4(a), (b)には、SOA-EA-SOA集積化デバイスの光出力波形(1,530nm, 1,563nm)を示す。変調速度は軟判定ターボFEC(Forward Error Correction)<sup>(5)</sup>の適用を考慮し12.5Gbpsとした。C帯すべてをカバーする1,530~

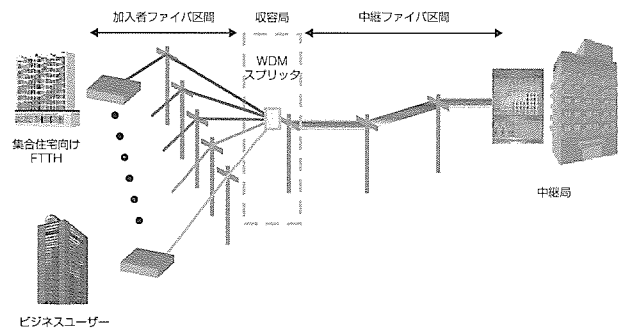


図2. WDM-PONシステム構成概略図

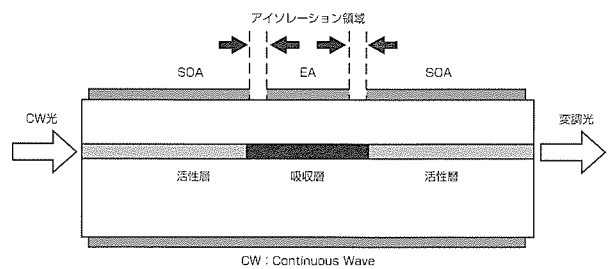
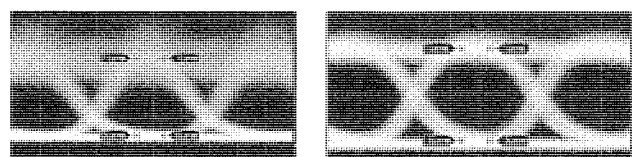


図3. SOA-EA-SOA集積化デバイスの模式図



(a) 1,530nm (b) 1,563nm

図4. SOA-EA-SOA集積化デバイスによる12.5Gbps光変調波形

1,563nmで波形ひずみのない良好なアイパターンが得られた。入射側SOAへの入射光パワー-20.0dBm時に、消光比8.3~9.4dB, 光出力-1.8~+1.1dBmが得られた。また, 図5には, SOA-EA-SOA集積化デバイスを適用した場合の伝送特性を示す。中継用の光ファイバ増幅器を使用した場合を考え, 光SNR(Signal-to-Noise Ratio)を10dBに設定し, SMF(Single Mode Fiber) 0 km, 20km, 40kmを伝送した場合の符号誤り率を測定した。図から, SMF 40km伝送後においても, 入力レベル-30dBm以上で符号誤り率 $10^{-4}$ 以下が得られていることが分かる。これはG.709標準FECによって符号誤り率 $10^{-13}$ 以下が, 軟判定ターボFEC技術によって4dB以上のマージンを持って符号誤り率 $10^{-13}$ 以下が得られる良好な伝送特性である。

#### 4. 10G-PON光インタフェース基盤技術

図6に10G-PONのシステム構成の概略図を示す。10G-PONは, B-PON, GE-PONと同様に, ①OLT側装置と光ファイバの共有化による低コスト化が可能となる, ②ビジネスユーザー, ハイエンドユーザーへの低価格サービスの提供が可能となる, などの利点を持っている。このよう

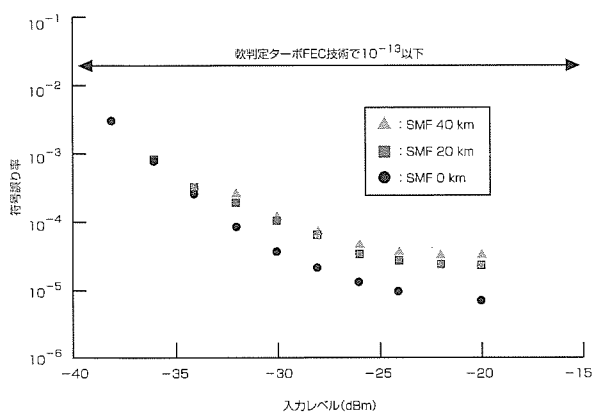


図5. SOA-EA-SOA集積化デバイスを用いたWDM-PON伝送特性(上り)

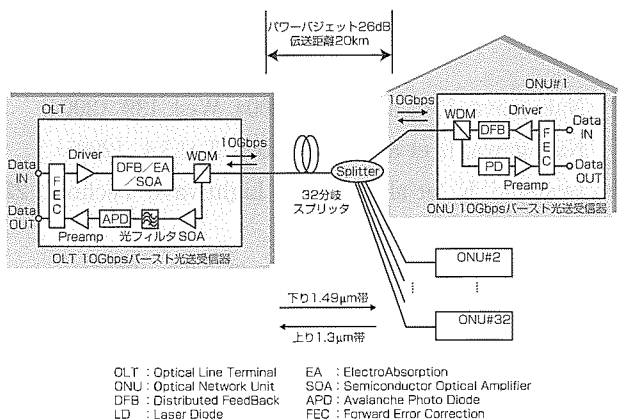


図6. 10G-PONシステム構成概略図

な観点から, 10G-PONでも, GE-PONと同様に, 複数のONUによる共有効果の期待できるOLT側光インタフェースに機能を集中し, ONU側光インタフェースを簡素化することによって各ユーザー当たりの低価格化を実現する。OLT側送信側光インタフェースは, 高出力化, 低分散ペナルティ化を実現するために半導体光増幅器(SOA), 電界吸収型外部変調器(EA)付きDFB(Distributed Feedback)レーザ<sup>(6)</sup>, EAドライバから構成され, OLT側受信光インタフェースは, バースト受信高感度APDプリアンプ, バースト受信リミッティングアンプから構成される。要求されるパワーバジェット, 伝送距離によっては, OLT側受信側光インタフェースにSOAを光プリアンプとして適用することも可能と考えられる。また, ONU側光インタフェースは, 低価格化を考慮して送信側は直接変調のDFBレーザとレーザドライバから, 受信側は高感度PD(Photo Diode)プリアンプとリミッティングアンプから構成されたとした。また, FEC技術を適用している。

表1に10G-PONの目標仕様を示す。10G-PON要求されるパワーバジェット, 伝送ペナルティはITU-T G.984.2クラスB, 又はIEEE 802.3ah 1000BASE-PX20相当とすることを目標とした。

図7に10G-PON用光インタフェースとして開発を行った光受信器の光出力波形を示す。図の(a)は4次のベッセル・トムソン・フィルタ透過後のOLT光出力波形, 図の(b)はONU光出力波形である。OLT側光送信器には, SMF80km伝送後の分散ペナルティを2dB以下とした長距離用EA/LDモジュール<sup>(6)</sup>を新規開発し適用している。OLT側, ONU側共に良好なアイ開口が得られており, OLT光出力+7.8dBm, 消光比11.0dB, ONU光出力+2.0dBm, 消光比6.3dBが得られた。

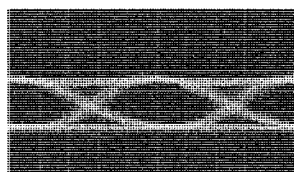
図8には, バーストモード動作時のONU側光インタフェースの光出力波形を示す。2台のONU#A, ONU#Bか

表1. 10G-PON目標スペック

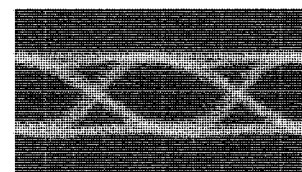
項目	目標スペック	備考
パワーバジェット	26.0dB	●ITU-T G.984.2クラスB相当 ●IEEE 802.3ah 1,000BASE-PX20相当
伝送距離	SMF 20km	
分散ペナルティ	1.0dB	

ITU-T : International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers



(a) OLT光出力波形



(b) ONU光出力波形

図7. 光出力波形

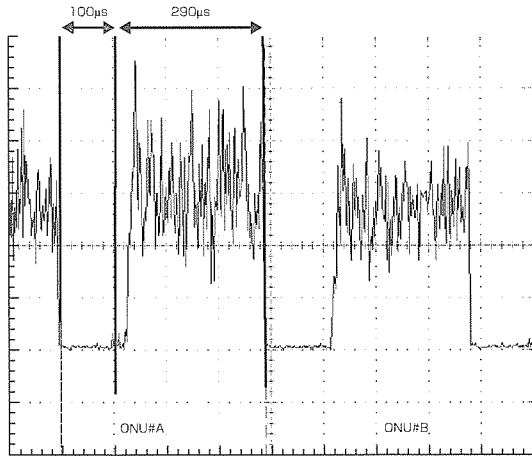


図 8. バーストモード光出力波形

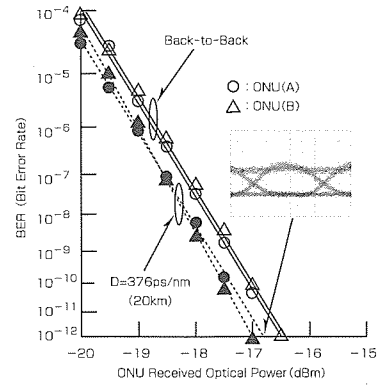
ら290µs長のランダム信号とガードタイム100µsで光バースト信号が発出されていることが分かる。

図 9 (a)には下り方向のBack-to-backとSMF20km伝送後の符号誤り率測定結果を、図の(b)には上り方向のBack-to-backとSMF20km伝送後の符号誤り率測定結果を示す。符号誤り率測定結果は、1台のOLTと2台のONU (ONU#A, ONU#B)を用いてOLT:ONU = 1:2の構成で行っている。また、SMF20km伝送後の光波形を図の(a), (b)中に併せて示している。図の(a)から、下り方向の最小受信感度-16.5dBm (@符号誤り率=10<sup>-12</sup>, FEC OFF時), -19.7dBm(FEC ON時), 伝送ペナルティ-0.5dBが得られた。また、図の(b)から、上り方向の最小受信感度-22.7dBm (@符号誤り率=10<sup>-12</sup>, FEC OFF時), -27.3dBm(FEC ON時), 伝送ペナルティ0.6dBが得られた。

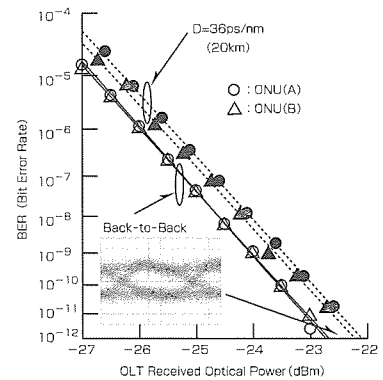
表 2 に、10G-PONのパワーバジェット、分散ペナルティの結果を示す。FECを適用した場合には、パワーバジェットとして下り27.6dB, 上り28.8dBが得られる。今回、主として10G-PONを実現する光デバイスの基盤技術について検証を行い、ITU-T G.984.3クラスB相当、IEEE 802.3a 100BASE-PX20相当のパワーバジェット、分散ペナルティが実現可能であることが分かった。

### 5. むすび

次世代PONシステムの基盤技術として、WDM-PON光インタフェース基盤技術、10G-PON光インタフェース基盤技術について述べた。WDM-PONシステムでは、ONU用SOA-EA-SOA集積化デバイスを開発し良好な光出力波形、伝送特性が得られた。10G-PONシステムでは、光インタフェースの開発を行い、ITU-T G.984.3クラスB相当、IEEE 802.3ah 100BASE-PX20相当のパワーバジェット、分散ペナルティが実現可能であることを示した。



(a) 下り方向符号誤り率測定結果



(b) 上り方向符号誤り率測定結果

図 9. 符号誤り率測定結果

表 2. 10G-PON評価結果

項目	目標仕様	10G-PON試作結果	
		下り	上り
波長	—	1,546.4nm	1,305.2nm
パワーバジェット (FEC ON)	26.0dB	27.5dB	29.3dB
伝送距離	SMF 20km	SMF 20km	
分散ペナルティ	1.0dB	-0.5dB	0.6dB
光出力パワー	—	+7.8dBm	+2.0dBm
最小受信感度 (FEC ON)	—	-19.7dBm	-27.3dBm
消光比	—	11.0dB	6.3dB

### 参考文献

- (1) Nakagawa, J., et al.: ECOC2004, We4, 139 (2004)
- (2) Nakagawa, J., et al.: ECOC2005, Tu1.3.4. (2005)
- (3) Iwatsuki, K., et al.: IEEE J. Lightwave Technol., **22**, No.11, 2623-2360 (2004)
- (4) Tanaka, K., et al.: ECOC2005, Tu1.3.2. (2005)
- (5) Mizuochi, T., et al.: OFC2003, PD21. (2003)
- (6) Miyazaki, Y., et al.: ECOC2005, Th2.6.6. (2005)





# 特許と新案\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## ネットワークによるデジタルコンテンツ配信システム 特許第3734661号(特開2001-217840)

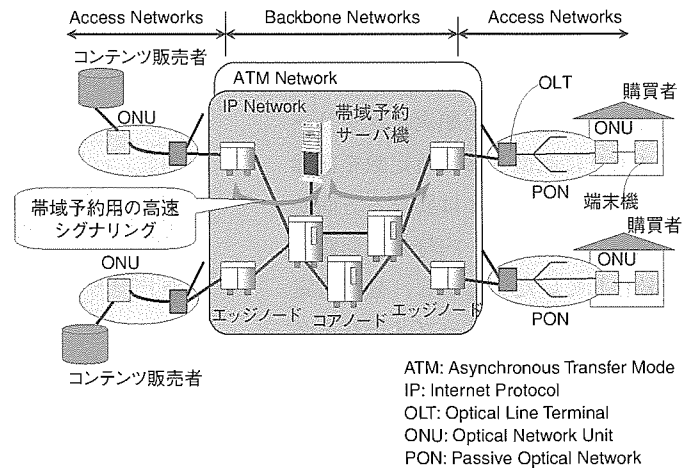
発明者 山中秀昭, 森山光彦, 菊地克昭

この発明は、ネットワークを介して販売者が所有する音楽や映像、ゲームソフト等のデジタルコンテンツを購買者に配信するネットワークにおけるデジタルコンテンツ配信システムに関するものである。

従来は、複数の購買者が同時に大きなデジタルコンテンツをダウンロードするときには、アクセス網の伝送速度が遅いと感ずるだけでなく、帯域が確保できないことによるデータ損失が発生し、その結果、データ再送が必要になり、ますますトラフィックが増大して、ダウンロードが失敗してしまうという課題があった。

この発明では、販売者からデジタルコンテンツをダウンロードする際に、購買者からの要求に基づき、通信路の帯域を予約する帯域予約サーバ機と、帯域予約サーバ機の指示に基づきFTTH通信路におけるデジタルコンテンツの送信を制御する下り帯域管理

手段とを備えることにより、デジタルコンテンツのダウンロードが失敗する確率を減少させ、ダウンロードの効率を向上させることができる。



## 光バースト送受信制御システム、これに用いる親局装置、子局装置および光バースト送受信制御方法 特許第3643016号(特開2002-9804)

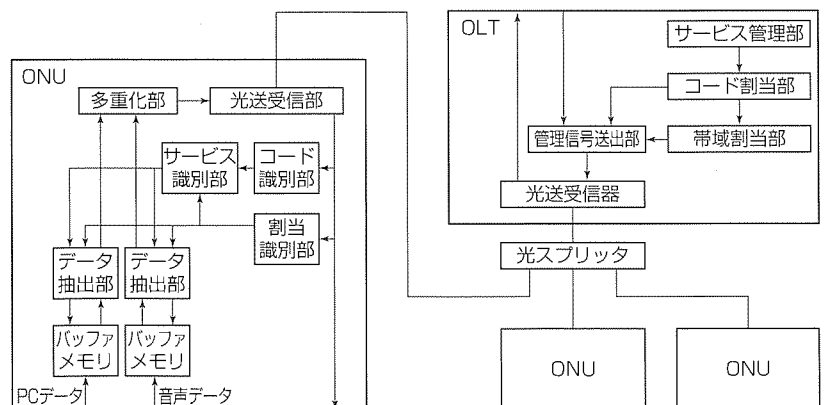
発明者 小崎成治, 一番ヶ瀬 広

この発明は、光アクセスシステムに用いられ、光伝送の媒体を共用するPON(Passive Optical Network)方式にかかわり、複数の子局(ONU)に対して親局(OLT)が実施する帯域割当ての制御方法に関するものである。

従来は、OLTからの帯域割当て情報は複数のONUから1つのONUを識別するだけの情報であった。この場合、ONUは音声等の周期的かつ遅延に厳しいデータと、コンピュータ通信等のバースト的かつ遅延には厳しくないデータをOLTへの上り伝送路に多重化して送信する場合、バースト的データの影響によって周期的データの周期性を保持できない、又は遅延が大きくなるという課題があった。

この発明では、OLTからONUへの帯域

割当て情報にデータ又はサービスの種別を識別する情報を含ませるようにし、周期的データ用とバースト的データに対して個別に割当てを行うようにしたので、周期的データの周期性を保つことが可能となる。





# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 多段符号化方法, 多段復号方法, 多段符号化装置, 多段復号装置および これらを用いた情報伝送システム 特許第3549788号(特開2001-136079)

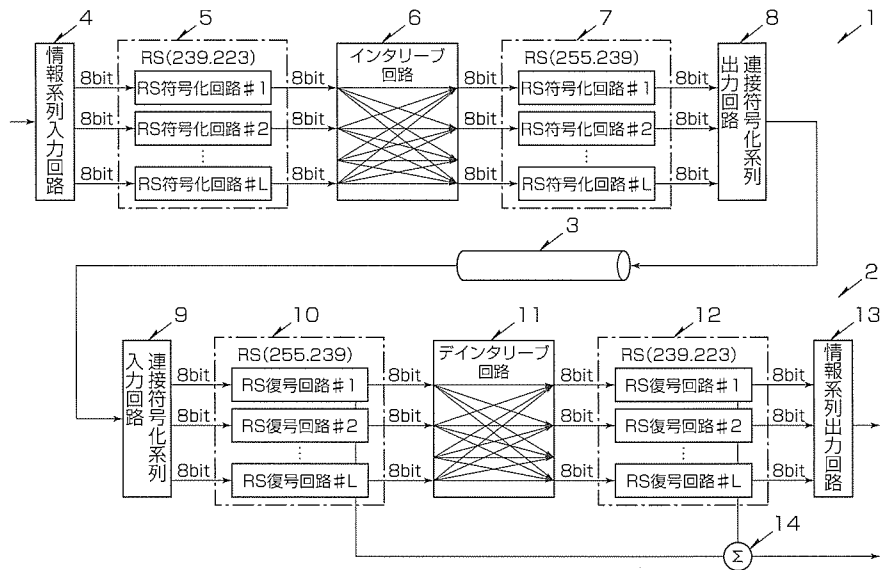
発明者 吉田英夫, 中村隆彦, 藤田八郎, 宮田好邦, 久保和夫

この発明は、光ケーブルなどを用いた各種の情報伝送システムなどにおいて、光ケーブルなどの伝送媒体などにおいて生じる情報系列の誤りを検出/訂正(検査)するために、連接符号などに代表される複数回にわたって符号化処理を実施する多段符号化方法及びその復号方法に関するものである。

従来は、外符号化回路で符号化された外符号化系列を順次インタリーブメモリに記憶させ、所定数を記憶したらこの記憶順とは異なる方向から順番に読み出し、内符号化回路で符号化していた。しかし、必ず所定数の容量のインタリーブメモリを必要とすること、かつ、必ずインタリーブメモリへの蓄積が完了してからでないこと次の読み出しができないことから遅延時間が長くなってしまふといった問題があった。

この発明では、外符号化回路5で符号化されたL個の並列外符号化系列をインタリーブ回路6へ入力し、

インタリーブ回路6では、L個の並列外符号化系列を蓄積せずに、L個の入力部とL個の出力部との接続を切り換えることでインタリーブを行い、そのL個の出力系列を内符号化回路7へ入力することにより、従来に比べてインタリーブメモリを削減し、遅延時間を削減することができる。



### <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

### <次号予定> 三菱電機技報 Vol.80 No.3 特集「新たな時代の電力ビジネスに対応したシステムソリューション」

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 80巻2号	2006年2月22日 印刷
委員長 三嶋吉一	(無断転載・複製を禁ず)	2006年2月25日 発行
委員 小林智里 増田正幸 山木比呂志	編集人 三嶋吉一	
佐野康之 長谷川裕 世木逸雄	発行人 園田克己	
岡本尚郎 村松洋 松本修	発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部	
木槻純一 逸見和久 光永一正	〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号	
黒畑幸雄 部谷文伸	日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847	
事務局 園田克己	印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス	
本号取りまとめ委員 一番ヶ瀬広	発売元 株式会社 オーム社	
横谷哲也	〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地	
	電話 (03)3233局0641	
	定価 1部945円(本体900円) 送料別	
URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a>	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.m-giho@ml.hq.melco.co.jp	
英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます	URL <a href="http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/advance.html">http://global.mitsubishielectric.com/company/r_and_d/advance/advance.html</a>	

# スポットライト GE-PON型光アクセスシステム

光ファイバを用いた高速ブロードバンドサービスを提供する通信キャリア及びCATV事業者等向けに最適なGE-PON型光アクセスシステムを製品化しました。

国際標準IEEE802.3ahに準拠し、局装置及び加入者宅装置からオペレーションシステムを含む統合システムを提供しています。論理リンクは、加入者当たり最大8個の設定が可能であり、各リンクに対する優先制御機能及び帯域制御機能により、高音質な光IP電話、ハイビジョン等の映像配信、高速インターネット等の通信と放送の融合を高信頼で実現しています。

## ■この製品の主な特長及び仕様

- (1) パワーバジェット29dB化(標準規格より3dB拡大)により最大64分岐、最大伝送距離20kmを実現し、加入者当たりの局設備及び光ファイバ敷設コスト削減による経済化を実現します。
- (2) 拡張VLAN、8キューによる優先制御、IEEE802.1X準拠の端末認証機能、暗号化による秘匿性を実現し、あらゆるサービスへの適応を可能にしました。
- (3) 局装置は最大16枚のPONインタフェースの収容を可能とし、高密度実装による省スペース化を実現しています。
- (4) ブロッキングフィルタを内蔵し、1心3波長多重による放送信号の伝送が可能です。

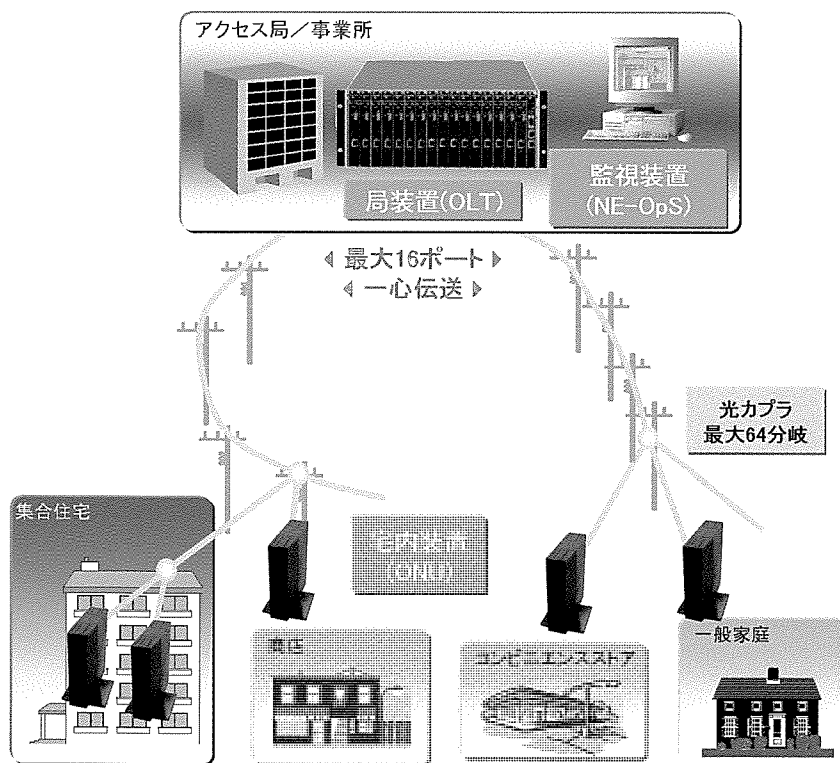
- (5) オペレーションシステムはSNMPによる監視制御機能サポート。また、冗長構成を実現し、故障時はバックアップへ切換え、運用の継続が可能です。

## ■システム主要諸元

システムの主要諸元を下表に示します。

システム主要諸元

項目	内容	
収容加入者数	OLT当たり最大1,024加入	
PONインタフェース	伝送速度	1Gbpsの双方向伝送
	分岐数	最大64分岐
伝送距離	最大20km/32分岐、12.5km/64分岐	
優先制御機能	8クラスの優先度設定。 音声等の遅延抑制機能搭載	
帯域制御機能	最低/最大/固定帯域設定が可能。 余剰帯域分配機能搭載	
マルチキャスト転送機能	RFC1112/2236準拠IGMPv1/2 Proxy 及びSnooping機能	
セキュリティ	AES128ビット暗号機能及びIEEE802.1x 準拠端末認証機能搭載	
ユーザーインタフェース	10/100Base-T又は10/100/1000Base-T	
装置外形	OLT	19インチラック搭載。高さ4U
	ONU	150×135×35(mm)
OPSシステム構成	サーバ・クライアント方式。 ホットスタンバイによる冗長構成	
OPS収容加入者数	最大760万加入	



PON : Passive Optical Network  
 GE-PON : Gigabit Ethernet PON  
 OLT : Optical Line Terminal  
 ONU : Optical Network Unit  
 NE-OpS : Network Element Operation System  
 VLAN : Virtual LAN  
 SNMP : Simple Network Management Protocol

システム構成

住所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3 (東京ビル)

会社名：三菱電機株式会社 お問い合わせ先：通信事業部 TEL：03-3218-6221 FAX：03-3218-6455