

# 進化する通信技術の現状と展望



下笠 清\*



本島邦明\*\*

Evolution of Communication Technology : Today and Tomorrow

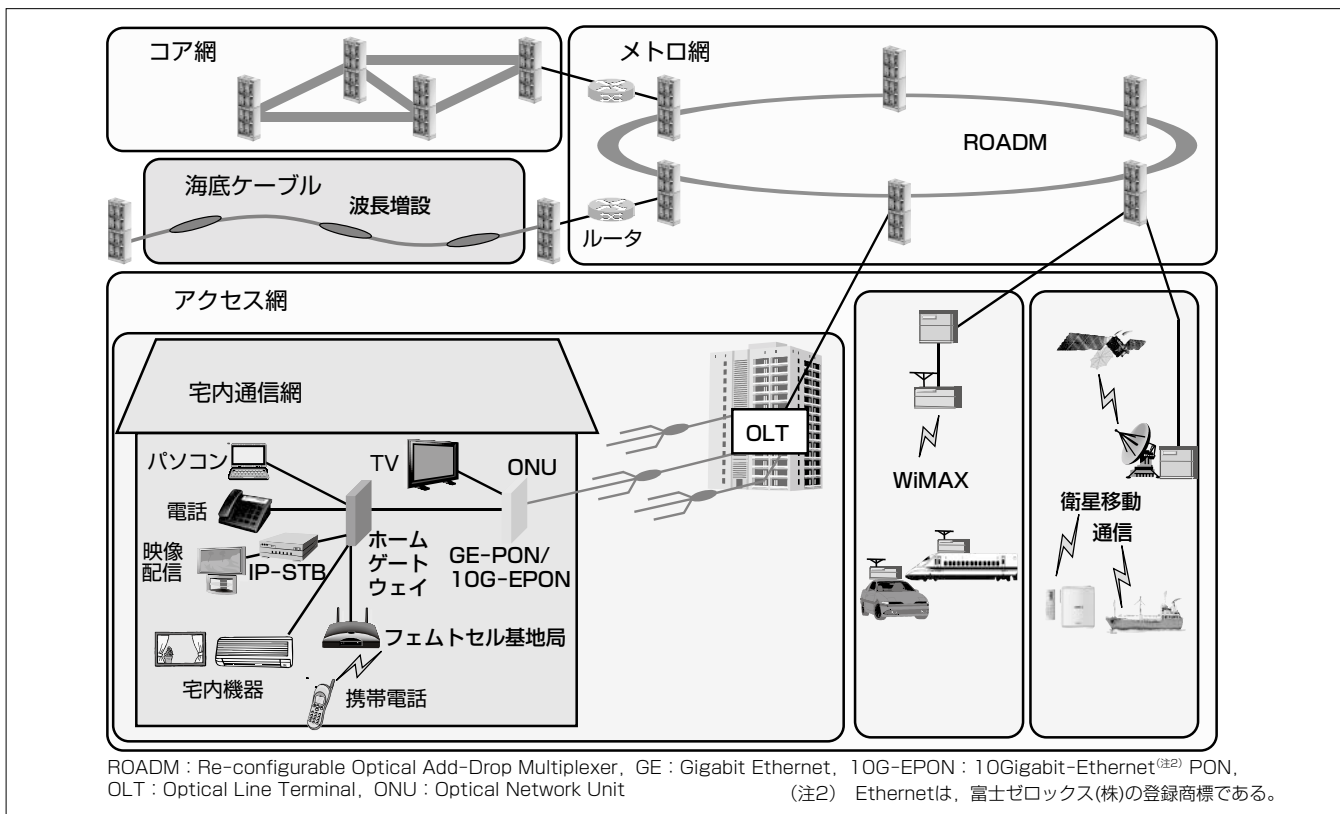
Kiyoshi Shimokasa, Kuniaki Motoshima

## 要 旨

インターネットの普及と端末の高性能化・低価格によって通信ネットワークは生活基盤に強く根付いたと言える。この結果、利用者の増加、アプリケーションの高度化によって大幅なトラフィック増加となった。このような背景の下、通信ネットワークの広帯域化が進む。光アクセス網は、近い将来 1 Gbps伝送から10Gbps伝送に移行する可能性が高い。それに伴い、ホームゲートウェイ (HGW)、フェムト基地局、IP-STB(Internet Protocol-Set Top Box)等の宅内通信機器の高性能化も進むと考えられる。また、アクセス網を束ねるメトロ網、コア網及び国際間を接続する海底ケーブルについても大容量化が進むと言える。通信ネットワークにおけるもう一つの動向は、接続性向上・通信不能領域の解消である。この場合、高速の移動体や災害地等への通信サービスの提供が考えられるが、いずれも無線通信技術の高度化が不可欠と考えられる。

三菱電機では、光通信・無線通信の両分野でこれらの要求に合致する通信装置の開発を進めてきた。本稿では、これらの開発成果を述べるとともに、近年、世界規模で議論されている環境負荷低減の観点に立ち、装置の消費電力低減に対する取組みについて焦点を当てる。具体的には、広帯域化の観点では、先に述べたトラフィックの増大が進むコア網、メトロ網に適用する光伝送システム、アクセス網の中核をなしFTTH(Fiber To The Home)を支えるPON (Passive Optical Network)システム、今後需要が高まると考えられる宅内通信機器について述べる。また、接続性向上・通信不能領域の解消の観点では、船舶、自動車への通信を提供する衛星移動通信関連装置、鉄道車両向け通信を提供する車上WiMAX<sup>(注1)</sup> (Worldwide Interoperability for Microwave Access)装置について述べる。

(注1) WiMAX, WiMAX Forumは、WiMAX Forumの登録商標である。



ROADM : Re-configurable Optical Add-Drop Multiplexer, GE : Gigabit Ethernet, 10G-EPON : 10Gigabit-Ethernet<sup>(注2)</sup> PON, OLT : Optical Line Terminal, ONU : Optical Network Unit

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

## 三菱電機の描く通信ネットワーク構成と主要構成装置

通信ネットワークは、有線通信ネットワークと無線通信ネットワークに大別できる。前者の特長は光伝送技術による大容量化と宅内通信機器の普及による高機能化と言える。後者の特長は、無線通信技術を用いて従来通信が困難とされてきた領域へのサービスの提供と言える。上図は、これらの傾向を踏まえたネットワーク構成と主要構成装置について示す。

### 1. ま え が き

インターネットの普及によって、ブロードバンドサービス加入者数は2009年6月時点で約3,200万加入になった。特に、FTTHは過半数を超え1,600万加入に達した。この傾向は、今後も継続すると考えられ、通信装置には、トラフィック増による大容量化、安心・安全な通信を保証する品質制御・高信頼化制御など新たな要求条件が課されることになる。加えて、世界規模で議論され今や国家的な課題となった装置の低消費電力化が要求される。

本稿では、当社における、これらの新たな要求条件を満たす通信装置の開発成果について述べる。特に、低消費電力化に向けた取組みの紹介に力点を置く。通信機器はCO<sub>2</sub>排出量の上では日本全体での排出量の0.6%と割合は少ないが近年著しい増加傾向にあり、装置ベンダーにとっては機器の低消費電力化は重要課題の一つと言える。

### 2. トラフィックの増大とFTTHの普及について

図1は、インターネットトラフィックの推移について示している。2004年には200Gbps程度のトラフィックが5年間で7倍に増大している。また、映像コンテンツの配信などによってDownloadトラフィックの増加が著しい。図2は、ブロードバンドサービスの加入者の推移を示している。2008年初頭にDSL(Digital Subscriber Line)とFTTHの加入者数が逆転し、以後、FTTHがブロードバンドサービスの主たる方式となった。トラフィック量とFTTH加入者数

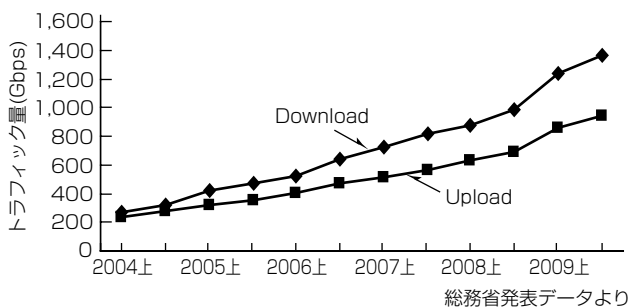


図1. トラフィック量の推移

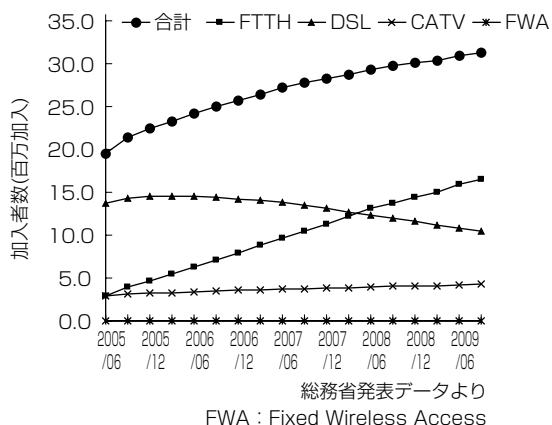


図2. ブロードバンドサービス加入者数推移

が急伸した時期は重なっており、トラフィック量の増加とFTTHの普及が強く関連していると言える。

### 3. 光伝送システム

先に述べたトラフィックの著しい増加に対応するための波長多重伝送技術について述べる。波長多重伝送技術は、大容量光通信を低消費電力で実現する技術として1995年頃から急速に進展した。図3は光海底ケーブルで1Gbpsの信号を1km伝送するのに必要な消費電力を示したグラフである。1980年代後半の再生中継器が1990年代に光増幅中継に変革し1けたワットの低消費電力化が実現した。1995年に波長多重伝送方式が消費電力を一気に0.01W台に押し下げた。2000年に強力な誤り訂正が導入され、さらに光の位相を使う新しい変復調が導入されたことで、2010年には1988年比で2200分の1の0.002W/Gbps/kmまで低消費電力化が進展した。

図4は、先に述べた技術を結集した当社の波長多重伝送装置の一例である。10Gbpsの信号を19インチ架あたり最大60チャンネル収容可能であり、30nm以上の帯域にわたり平坦な増幅特性を示す光増幅中継器をはじめ、1%に近い頻度でビット誤りが発生してもそれを訂正できる接続符号誤り訂正、強度変調だけでなく差動位相変復調や40Gbpsの4値差動位相変調の光トランシーバなどを実装することができる。これだけの技術を高密度実装するためには、装置の消費電力そのものを低減する必要がある。図4の右に下部から上部への空冷時の装置内熱分布を示す。周囲温度が50℃であっても最上部

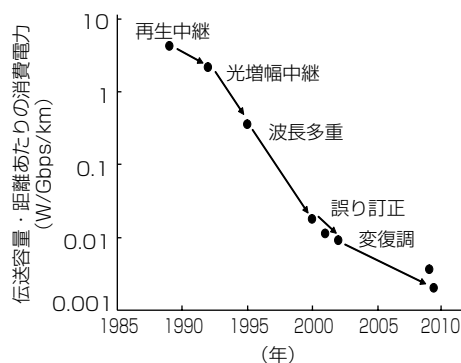


図3. 光海底ケーブルの消費電力低減

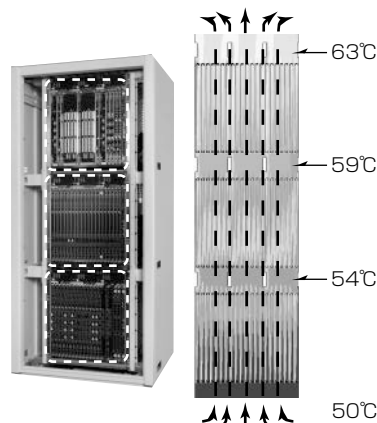


図4. 波長多重伝送装置と熱分布

の温度は63℃までしか上昇しない。主な発熱体である高速光デバイスの低消費電力化と、システム機能の大部分の大規模LSIへの高集積化によって、これを実現した<sup>(1)</sup>。

#### 4. PONシステム

PONシステムは、光スプリッタを用いてOLTのインタフェースに複数のONUが収容されるため、経済的なシステム構築が可能であり、FTTHの普及を牽引してきた。すでに、IEEE802.3やITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication standardization sector)において1GbpsクラスのPONの標準化が完了し、大量導入されている。今後のアプリケーションの高度化や、多分岐による低コスト化実現に向けて10Gbpsクラスの伝送容量を持ったPONシステム(次世代PON)が期待されており、FSAN(Full Service Access Networks)／ITU-Tでは、標準化が進められている。特に、IEEEでは、2006年9月に発足した802.3avで、10G-EPONの物理レイヤに焦点を当てた標準化活動が進められてきたが、2009年9月に最終ドラフトの標準化が承認され、規格化が完了した。また、この物理レイヤ仕様では、光関連の主要規格である波長及びロスバジェットでITU-TとIEEEとの共通化が図られた。

次世代PONのアーキテクチャとしては、既設PONシステムのインフラと共用しながら徐々に次世代PONシステムに移行することが望ましく、1G ONUと10G ONUの混在収容がITU-TとIEEEの双方で要求条件として規定されている。例えば、IEEEの10G-EPONでは、下り方向は別波長を割り当て、上り方向では異なる伝送レートでの時分割多重を採用した。すでにこれらの規格に準拠した1G／10G混在に対応した試作レベルの実機動作が報告されている<sup>(2)</sup>。

一方、低消費電力の観点では、先に述べたようにPONシステムでは、OLTのインタフェースあたり多数(最大32又は64程度)のONUが接続されるために、システム全体の消費電力の90%がONUであるという試算もある。したがって、ONUの低消費電力化が急務と言える。図5に、ONU低消費電力化の変遷を示す。ASICプロセスの最適化、集積化による部品点数の削減、低消費電力部品の適用、電源変換効率の改善などによって、第一世代から第4世代ま

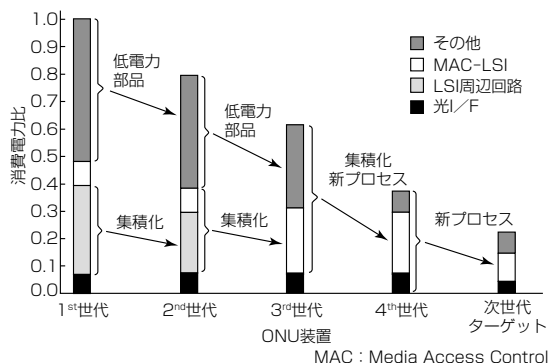


図5. ONUの低消費電力化の推移

でにONU装置レベルで50%以上の低消費電力化を達成した<sup>(3)</sup>。

#### 5. 宅内通信機器

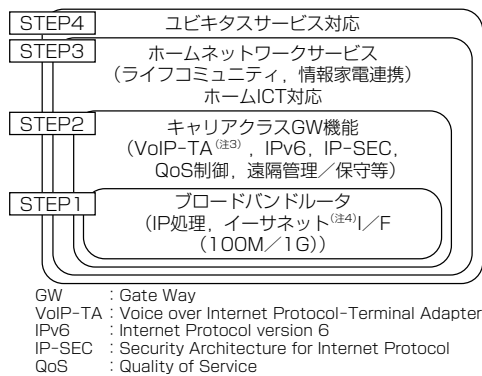
PONシステムによって局舎から宅内までの高速通信が実現できた。次の課題としてユーザーに対しての高度なサービス提供がある。具体的には、①高度な映像配信サービス、②安心・安全を提供するライフコミュニティサービス、③携帯電話との連携を含めたクラウドプレイサービスの提供がある。このための通信機器として、それぞれ、IP-STB、ホームゲートウェイ(HGW)、フェムトセル基地局がある。ここでは、これらの宅内通信機器への取組みについて低消費電力化を中心に述べる。

##### 5.1 IP-STB

IPTV(Internet Protocol TeleVision)の普及によってIP-STBの普及の加速が予想される。低消費電力化は普及の鍵(かぎ)を握る大きな課題と言える。IP-STBでは休止状態とするスタンバイモードを設け、その間の消費電力低減とスタンバイモードからの高速起動が鍵となる。当社では、機能統合した高集積SoC(System on Chip)を用いることによってスタンバイモード時に92%の消費電力削減を達成した。また、5秒以内の高速起動を可能とした高速起動スタンバイモード(20%の消費電力削減)を規定し、ユーザーの利用シーンに合わせて選択する。

##### 5.2 ホームゲートウェイ

ホームゲートウェイは今後宅内サービスの基点として、その重要性がますます高まると考えられる。図6にホームゲートウェイの開発ロードマップを示す。ブロードバンドルータ(STEP1)が起源であるが、NGN(Next Generation Network)の導入によって通信事業者が運用主体となり機能・信頼性を強化(STEP2)した。また、OSGi(Open Service Gateway initiative)フレームワークを導入しユーザーの要求に応じた様々なサービスを提供するホームICT(Information and Communication Technology)への対応(STEP3)と進化した。今後は、フェムトセル基地局、センサネットワークと連携し更に高度化することが考えられ



(注3) VoIP-TAは、沖電気工業(株)の登録商標である。  
(注4) イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

図6. ホームゲートウェイ開発ロードマップ

る。ホームゲートウェイはONUと同様に常時通電機器であり低消費電力化への対応は不可欠と考えられる。そのための施策として次の3つが考えられる。

- (1) EEE(Energy Efficient Ethernet)の対応
- (2) リーク電流軽減のためマルチコアCPUの適用
- (3) 負荷状態に応じた動作クロックレートの最適化

なお、ホームゲートウェイでは、HEMS(Home Energy Management System)、宅内消費エネルギーの可視化、環境情報収集・転送、テレワーク・遠隔監視サービスへの対応等Green by ICTでの貢献も期待できる。

### 5.3 フェムトセル基地局

FTTHを利用したサービスとして今後携帯電話との連携が考えられる。そのために、家庭用フェムトセル基地局が必要となる。フェムトセル基地局は、従来は電波環境の悪い屋内向けの適用(不感地対策)であったが、宅内での携帯電話による高精細な映像視聴の要求や料金施策への期待が高まり今後FTTHと密に連携したサービスの高度化・高性能化・経済化が実現する可能性が高い。当社では、2007年度に開発したフェムトセル無線基地局装置をベースにした高性能フェムトセル無線基地局装置を(株)NTTドコモと共同開発した。この装置では、HPSA(High Speed Packet Access)による下り14Mbps、上り5.7Mbpsの処理を実現するLSIを開発したほか、CPU及び周辺回路の最適化を行い低消費電力化に取り組んだ。

## 6. 衛星移動通信装置

電話・インターネットサービスの接続性を向上させるために衛星移動通信システムがある。当社では、(株)NTTドコモが2010年4月にサービスを開始した衛星電話サービス“ワイドスターII<sup>(注5)</sup>(4)”のシステムを構成する、衛星移動局装置、衛星基地局装置を開発した。これらの装置は次の特長を持つ。

### (1) 伝送速度の向上

伝送速度を低C/N下で高速の伝送路変動に追従可能で良好な受信特性を持つPSP-AVDD(PerSurvivor Processing-Adaptive Viterbi Decoding and Demodulation)方式、SSP-MOLFE(Scattered Successive Pilot-Multiple Open-Loop Frequency Estimation)を適用することによって4.8kbps→144kbps(上り)、64kbps→384kbps(下り)と大幅に向上させた。

### (2) IMS基盤への接続時間短縮

All IPを目指したIMS(IP Multimedia Subsystem)基盤に接続する商用衛星無線システム向けプロトコルを開発し、SIP(Session Initiation Protocol)を用いた呼接続を実現した。

### (3) 衛星移動局装置・衛星基地局装置の小型化

衛星基地局装置は、デジタル・マルチレートフィルタの  
(注5) 「WideStar\ワイドスター」は、(株)NTTドコモの登録商標である。

採用によって、高密度1架構成で実現した。また、衛星移動局装置は、送信系スライディングIF(Intermediate Frequency)方式、受信系低IF方式を採用し、高密度LSI化によって可搬端末はハンドキャリアを容易にするため小型、軽量化を徹底した。

### (4) 衛星移動局装置(可搬端末)の低消費電力化

小型リチウムイオン電池、高効率ヘテロ接合GaAs FET(H-FET)を実装したドハティ増幅器方式送信機の採用によって連続待ち受け時間を約1.3倍(26時間)に向上した。特にドハティ2段アンプで高効率化(44%)を実現した。

## 7. 車上WiMAX装置

生活様式の変化によってネットワークを介した情報配信が一般的になっている。特に、移動中の車内での情報配信サービスは利用価値が高いと考えられている。このような背景の下、鉄道車両用のWiMAX装置を開発した。この装置は、IEEE802.16eに準拠し、走行速度120km/時までの通信を実現した。また、鉄道車両への搭載を配慮した耐環境仕様とし、振動、ノイズ、温度に対して仕様強化した。この装置を介して広告コンテンツ、ニュース、到着地情報などの様々な情報配信サービスを一括した提供を可能とした。実際の鉄道車両での検証など詳細はこの特集号の個別論文で述べるが、今後、海外を含めた鉄道車両内の情報配信サービスは大きな市場を形成する可能性があり、そのための通信インフラ機器の充実化が急がれる。

## 8. む す び

当社の通信機器開発への取組みについて述べた。その中で、装置の差別化につながる低消費電力化に対する取組みに焦点をあてた。今後、ICTが生活基盤に浸透するにつれて通信機器の重要性が増すが、その際に機能、性能、コスト、信頼性に加えた5番目の柱として環境負荷軽減が問われる。当社は、今後も、環境に配慮した製品の研究・開発・製造を行う所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 本島邦明：高信頼なGreen ICTを支える通信技術，ITUジャーナル，**40**，No.4，9～11 (2010)
- (2) Hotta, Y., et al. : The demonstration of symmetric 10G-EPON system for coexistence with 1G-EPON, OFC2009 No.OWH4 (2009)
- (3) 中川潤一，ほか：GE-PON低消費電力化技術，OPTRONICS，**29**，No.337，154～158 (2010)
- (4) 山本員市，ほか：ワイドスターII衛星移動通信システム・サービスの概要，NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，**18**，No.2，37～42 (2010)