

総括——アクセスネットワークはどう変わったか、 これからどう変わってゆくか？——

Overview: How Access Networks Have Evolved, and Will Evolve Farther?

三木哲也

Abstract

近年の発展が著しいアクセス系のブロードバンド化を中心に、それらの中でFTTHとワイヤレスアクセスについて、その主要な動向を述べる。また、ブロードバンド化に伴って形成される新世代ネットワークの向かうべきところについても概観する。

キーワード：アクセスネットワーク、FTTH、移動通信、Wireless-LAN、コミュニティネットワーク

1. はじめに

近年の携帯電話とインターネットの普及は、我々の仕事の仕方に大きな変化を与え、生活スタイルにも大きな影響を与えている。通信の揺るぎない主流であった固定電話が、日本では1997年に約6,300万加入のピークに達したあと減少に転じ、今年ではISDNと合わせても6,000万加入を下回るまで低下する見込みである。新たな情報通信は、携帯電話を主体とする移動通信とともに、インターネットがブロードバンド化により放送とも融合して本格的なマルチメディア通信へと展開し始めたことが、だれの目にも明らかになってきた。今後は更に、RF-IDタグ、情報家電、ITS、センサネットワークなどの機能を総合的に活用することで実現されるユビキタスネットワークをプラットフォームとして、多様な情報通信環境へ発展するものと思われる。

このような情報通信の根幹にかかわる大きな変化は、アクセス系の新技術に大きく依存しており、今正に進んでいるブロードバンド化の発展に伴って、将来の情報通信の様相は一変するはずである。

本稿では、アクセスネットワークを取り巻く環境の変化、主要なアクセス系システムの動向、更に情報通信サービスの向かう先について概観してみる。

2. 近年の情報通信とアクセス系の変化

固定電話が情報通信の主役の座を降りつつある一方、携帯電話については最新の総務省報道資料によれば、2004年9月末時点で携帯電話・PHSの合計が8,864万加入であり、人口普及率で69.4%に達している。インターネットについては、2003年末の個人普及数は6,200万人⁽¹⁾ないし7,730万人⁽²⁾と推定されており、人口のおよそ2/3が何らかの形でインターネットを利用していることになる。これら携帯電話やインターネットの普及は大半がこの10年で達成されたものであり、導入テンポがいかに速かったかが理解できる。

現在の最大の課題は、アクセス系のブロードバンド化である。ブロードバンド化はまず、CATV事業者によって提供されたケーブルモデム方式によって口火が切られた。これは、高速モデム技術の実現によって可能になった方式であり、CATVの普及率の高い米国において、ブロードバンドインターネットを提供する優位性の高い手段として、既に1996年ごろから導入事例が出始めていたものである。米国のCATV事業者などが結成したMCNS (Multimedia Cable Network System Partners) は、DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specification) という標準仕様を1998年に制定した⁽³⁾。これにより、モデムやヘッドエンド機器の相互接続性が保証されるようになり、ケーブルモデム方式によるブロードバンド化が急速に普及していった。このように1990年代終わりから広く使われ始めた方式を、日本でも先進的なCATV事業者が率先して採用し、2000年初頭には1.5

三木哲也 正員：フェロー 電気通信大学電気通信学部情報通信工学科
Tetsuya MIKI, Fellow (Faculty of Electro-Communications, University of
Electro-Communications, Choufu-shi, 182-8585 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.88 No.3 pp.142-149 2005年3月

万加入に達しブロードバンド化の端緒となった。

ケーブルモデム方式が適用できるCATVは、上り回線を有する双方向型でなければならず、500程度の限られたユーザごとに専用のデータ伝送が可能で、いわゆるHFC (Hybrid Fiber and Coaxial) 方式の施設であり、難視聴対策用などの小規模システムは対象外となる。そのため、国情によっては有効性が小さい。そこに、既存施設を利用してブロードバンド化を容易に実現できるもう一つの方式として、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) が登場した。これは、既設の電話線を用いるものであるから、電話の普及した国ならばほとんどの場合に適用できる。ADSLによるインターネットのブロードバンド化を国の方針として積極的に推進し、一挙にブロードバンド先進国となったのは韓国である。日本では当初、有線放送電話の施設においてADSLが利用され始め⁽⁴⁾、その後各通信事業者が2000年前後から本格的にサービス提供を始めたが、現在ではブロードバンド化の中心となる方式となっている。ADSL用モデムにはOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技術を駆使した高効率な伝送技術が使われており、最大伝送速度としては50Mbit/s程度までのサービスが提供されている。しかし、実際に利用できる伝送速度は、既設ケーブルの帯域や干渉条件によって大きく左右されるため、一般的にはノード局からの距離によって利用できる速度は急速に低下し、数kmの距離があると広帯域モデムによる高速化の効果はほとんどなくなってしまふ⁽⁵⁾。そのため、速度よりも遠距離化をねらった設計の“リーチ ADSL”という狭帯域モデムがあり、ノード局から遠距離のユーザに対応している。この場合、最大速度は1.5Mbit/s程度である⁽⁶⁾。

ブロードバンド化の本命は、新規に光ファイバケーブル

ルの敷設を必要とするが、FTTH (Fiber To The Home) であることは論を待たない。ユーザの負担可能なコストの実現に時間を要したが、ようやく2001年からサービスが提供されるようになり、2002年から本格的に普及が始まった。現状のFTTHは、100Mbit/sのイーサネットインタフェースで提供されているが、帯域を共用するタイプが主流であり、10~20Mbit/sの実効速度が得られる。日本のFTTHの導入数は、2004年8月末時点で160万加入であり、世界で最も進んだ状況にある。

これら、現状のブロードバンドアクセスを担っている三つの方式について、現在までの導入数と、今後の予測を図1に示す。ブロードバンド化されている世帯数は、2004年8月末時点で1,690万であり、日本の世帯数の約1/3が既にブロードバンド化されていることになる。

一方、移動通信の分野では、携帯電話が一人1台の状況まで普及が進んでいるが、近年は通話の目的に加えて、ショートメッセージや電子メール、情報検索、カメラやテレビ電話などの機能が次々付加されてきたことから、個人の総合的な情報端末として発展している。このような新たな機能の利便性を上げるには、インターネット接続が不可欠であり、図2に示すように、携帯電話 (PHSを含む) におけるインターネット接続契約数の増加は著しい。この数は、日本のインターネット利用者数の大半とも思える。

このような状況から、情報通信全体が“電話からブロードバンドインターネットへ”と大きな変遷期に入ってきた。このブロードバンド化はどこまで続くのであろうか。それを推測するには、先端的なインターネットを使いこなしている企業やキャンパスでのオフィスのネットワーク環境が参考にならう。過去及び現在のLAN及びルータの速度からトレンドを推測すると図3のようになる。

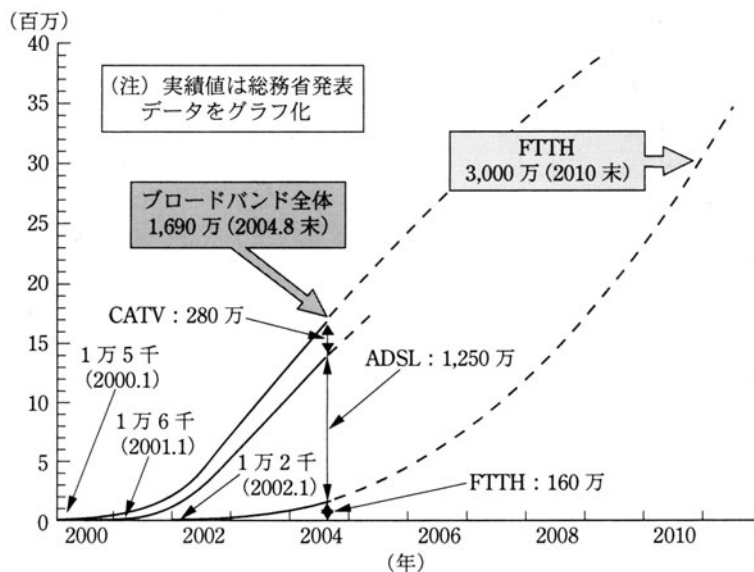


図1 CATV, ADSL, FTTHによるブロードバンドアクセスの推移

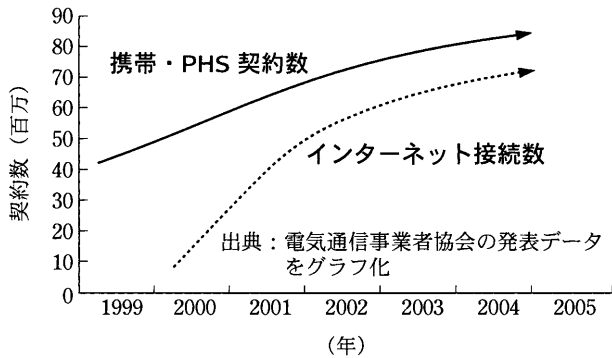


図2 日本のワイヤレス移動通信契約数の推移 (出典：電気通信事業者協会の発表データをグラフ化)

LAN に接続するパソコンの速度もこの10年で10Mbit/sからほとんどが100Mbit/sにシフトし、先端的なところでは1Gbit/sにシフトしつつある。幹線LANの速度は10Gbit/sにシフトしつつあるが、100Gbit/s オーダの次世代のLANの開発も進んでいる。家庭や移動中の環境においても、時間的な差はあってもやがてはオフィスと同様なブロードバンド環境の必要性が高くなるため、結局アクセス系とオフィスのネットワークは同等な環境になって取れんするものと思われる。そう考えると、アクセス系のブロードバンド化も10Gbit/sへ、更に100Gbit/sへと当分の間は進展し続けるものと思われる。

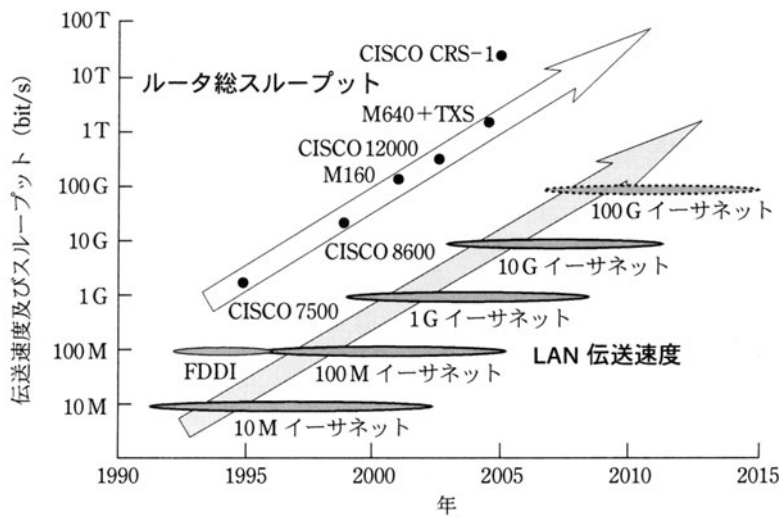
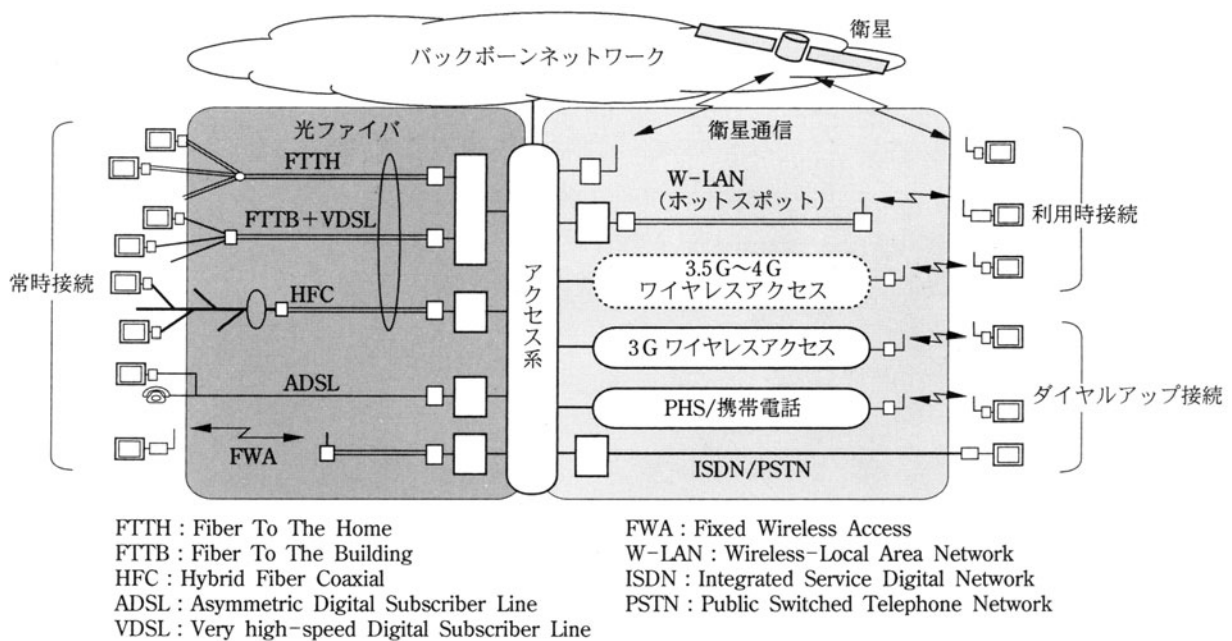


図3 LANとルータの速度上昇の傾向



FTTH : Fiber To The Home
 FTTB : Fiber To The Building
 HFC : Hybrid Fiber Coaxial
 ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line
 VDSL : Very high-speed Digital Subscriber Line
 FWA : Fixed Wireless Access
 W-LAN : Wireless-Local Area Network
 ISDN : Integrated Service Digital Network
 PSTN : Public Switched Telephone Network

図4 各種のアクセス系システム

3. 新世代を築くアクセスネットワーク

現状及び近未来のアクセス系システムすべてを一つの図に示すと図4のようなになる。その他ここでは省略されているが、ITS分野ではDSRC (Dedicated Short Range Communication)⁽⁷⁾による狭域アクセス、宅内ではPLC (Power Line Communication) アクセス (本小特集第5章⁽⁸⁾参照)もある。これらはそれぞれの適用領域を持ち、事業として厳しい競争にさらされているため、簡単には整理することはできないであろう。そのため、このように多くの手段を統合的かつシームレスに使いこなすことのできるネットワーク化を進めることが重要である。発展の著しい主要なアクセスシステムについて以下に述べる。

FTTHは、ブロードバンド化の本命として本格的な導入が始まって以来3年ほどであるが、昨年11月にNTTが「グループ中期経営戦略」を発表し、その中で2010年までにFTTHを3,000万加入に導入する計画を打ち出した。更に、固定電話網をインターネットアクセスによるIP電話に切り換える方針が示された⁽⁹⁾。これによって、FTTHの導入によるブロードバンド化が加速されるとともに、歴史のある電話網から革新的な新世代ネットワークへの大変革がいよいよ始まることになる。3,000万という数は、現在の固定電話加入数のちょうど50%であり、固定電話が担ってきたユニバーサルサービスを、いつから新世代ネットワークが担うべきかについても議論が始まるであろう。

現在導入されているFTTHの世界の主流はB-PON (Broadband Passive Optical Network) と呼ばれる国際標準方式 (ITU-T G.983.1及びG.983.3)であり、その概要を図5に示す。日本が早い段階から研究開発し、

国際標準化においても力を入れてきた方式である^{(10),(11)}。光ケーブルが局を出る段階で4分岐、ユーザの近くで8分岐、合計32分岐することによって、ケーブルと局側装置のコスト負担を下げることで低コスト化を達成している。WDM (Wavelength Division Multiplexing) 技術を用いて、双方向のデータ伝送に加えて必要ならばCATVの多重映像伝送やその他の情報伝送の拡張性もある。転送モードはATM (Asynchronous Transfer Mode) であり、データ用ユーザインタフェースは通常100Base-Tである。米国では、住宅向けの基本サービスである電話、データ及びCATVの三つのサービスを、光ファイバ1本で提供する方式が標準的であり、これを「トリプル・プレー」と称している。

最近、1Gbit/sのFTTHが導入され始めた。ギガビットクラスFTTHの国際標準には、図6に示すように通信系のITU-TとLAN系のIEEEの両系統がある。当面のインターネットのブロードバンド化には、イーサネットに特化したIEEE標準がコスト的に有利であるため、GE-PONの普及が急速に進むものと思われる。このような高速の光アクセスシステム用送受信モジュールの経済化の技術については、本小特集の第4章⁽¹²⁾を参考にしてほしい。

高速インターネットのニーズは移動通信において高まっており、第3世代ワイヤレスアクセス(3G)への移行が急速に進んでいる。日本での3Gは、W-CDMAとcdma2000の2方式が導入され、各々384kbit/s、144kbit/sの速度が利用できる。3Gでは端末が静止ないし歩行速度では2Mbit/sまでの通信を可能にすることで標準化され、第4世代(4G)では100Mbit/s以上を目指して研究開発が進められている⁽¹³⁾。

しかし、最近の高速化へのニーズは大きく、4Gへ至

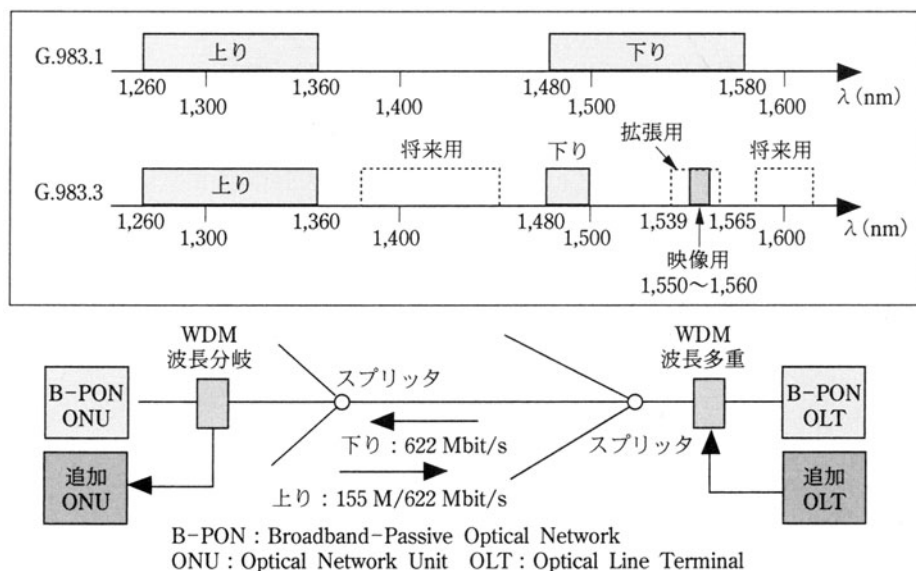


図5 FTTHの標準方式：B-PON

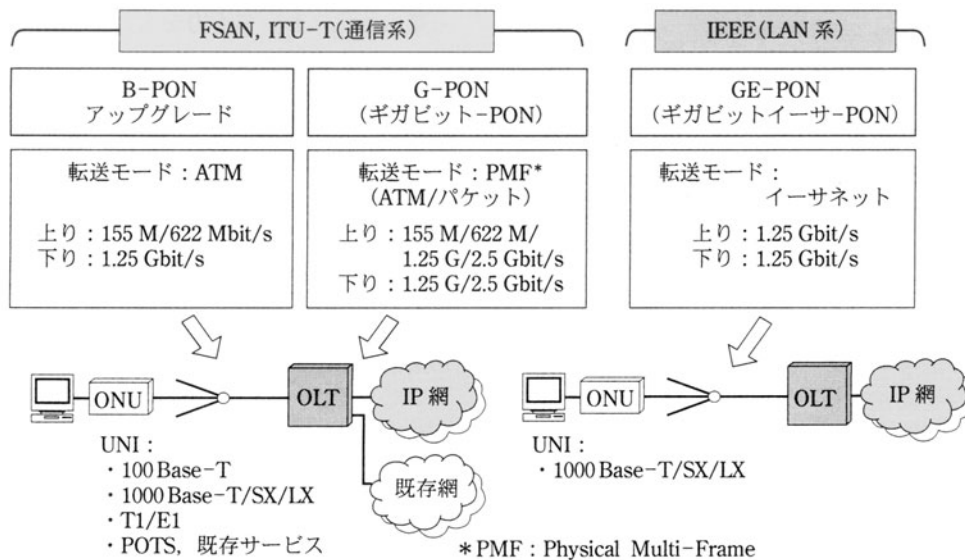


図6 ギガビットクラスのFTTH

表1 第3世代から第4世代へのワイヤレスアクセスの動向

	第3世代ワイヤレスアクセス			第4世代 ワイヤレス アクセス
	3G	3.5G	Super 3G	
無線 アクセス方式	W-CDMA (384kbit/s) cdma2000 1x (144kbit/s)	W-CDMA HSDPA (当面 3.6Mbit/s 将来 14.4Mbit/s) cdma2000 1x EV-DO (2.4Mbit/s)	W-CDMA enhanced OFCDM	VSF-OFCDM ほか
伝送速度	144/384kbit/s	3.6Mbit/s →14.4Mbit/s	<100Mbit/s	>100Mbit/s
TTI	2~10ms	2ms	<2m/0.5ms	0.5ms
交換方式	回線/ パケット	パケット(IPベース)		

TTI : Transmission Time Interval
OFCDM : Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing
VSF-OFCDM : Variable Spreading Factor -OFCDM

る中間ステップとして3.5Gなどと呼ばれる動きが出てきた。それらを、表1に示す。cdma2000では、データに特化した方式(cdma2000 1x EV-DO: Evolution-Data Only)によって2.4Mbit/sまでの通信を可能にしている。

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) はW-CDMAのデータ通信を高速化した規格である。W-CDMAでは、最大2Mbit/s (FOMAでは最大384kbit/s)の通信速度が実現されているが、W-CDMAを改良したHSDPAを使用することで、従来の5倍以上の最大約14Mbit/sの通信速度が実現可能となる。HSDPAはW-CDMAの改良版であることから“3.5G”とも呼ばれている。HSDPAが3.5Gと呼ばれるのは、2010年をめどに開発が進められている第4世代(4G)が控えてい

ることがあるが、単に4Gまでの中間というだけではなく、技術的に、W-CDMAを大幅に変更することなく、パケット通信部分を高速、かつ高効率にする点に由来している。

HSDPAの高速化は、電波の状況に応じて高速な変調方式や、符号化方式を自動的に選択することにより行われる。W-CDMAでは、基地局から発信される電波の送信電力をコントロールし、通信品質を安定させ最大384kbit/sの通信速度を実現している。これに対し、HSDPAでは、基地局から送出される電波の出力を一定に保ち、電波状況が良い場合には高速な伝送を、電波状況が悪い場合は速度を落とすように自動的に調整される。この通信速度のコントロールは0.002秒ごとに行われ、常に最適な通信品質を維持する。このための技術として「適応変調・符号化」、「Node-Bスケジューリング」、「ハイブリッドARQ」の三つの要素技術が用いられている。これまでもパケット通信を行うためには、どの端末へどこまでデータを送ったかということ、基地局側の機能として行う必要があった。HSDPAでは端末ごとに通信速度が変化するため、こうした基地局側の機能に加え、Node-Bというスケジューラ機能を高度化し、転送できるデータ量が変化しても、これに合わせて送る情報量を調整している。「ハイブリッドARQ」は、破棄された情報を一時的に保存し、再送された情報と合成する機能で、通信品質が悪い環境での効率を改善している。これらの技術を組み合わせて、現状の5MHz帯域を最大限に利用し、最大14Mbit/sの高速通信を可能としている。

更に、最近“Super 3G”と称する100Mbit/sに迫る速度を近未来に実現する動きも出てきた。これは、2004年にNTTドコモが発表した計画で、HSDPAにも使われる「ハイブリッドARQ」のほか、OF-CDM (Orthogonal

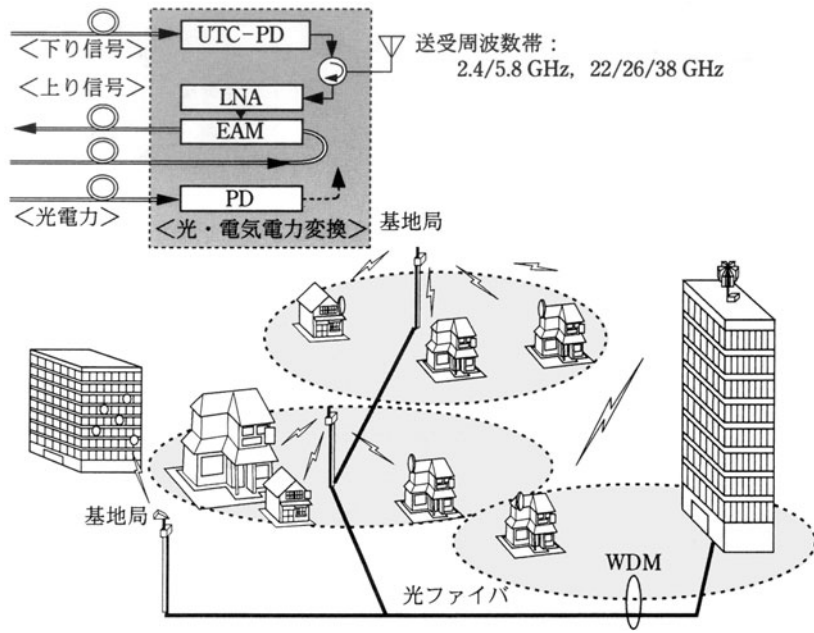


図7 ブロードバンドワイヤレスアクセス用無電源基地局の可能性

Frequency and Code Division Multiplexing) や MIMO (Multi-Input Multi-Output) アンテナなどの最先端の技術を駆使して、ほとんど4Gに近い高速化を実現しようとしていることから、3.9Gとも言われている。

このようなワイヤレスアクセスの高速化は、W-LAN (Wireless-LAN) の出現に大きく影響されている。現在の W-LAN の主流は IEEE802.11a/b/g であり、11Mbit/s ないし 54Mbit/s のイーサネットインターフェースが提供されているが、構内・宅内のみならず公衆環境に広く導入されている。一方、WiMAX と呼ばれる IEEE802.16a の標準化が進んでいるが、これは元々高速インターネットアクセス用 FWA (Fixed Wireless Access) を目指し、最大 70Mbit/s で OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) をベースとする方式である。この方式にハンドオーバー機能を持たせて、移動通信に拡張した IEEE802.16e の標準化も進んでいる。韓国では、この標準に準拠して、時速 60km/h までの高速移動時に下り 3Mbit/s、上り 1Mbit/s の高速アクセスが可能なシステムを検討している。このように、ワイヤレスの領域でも、通信系の ITU-T 標準と LAN 系の IEEE 標準が、競ってブロードバンド化を進めている。

ワイヤレスアクセスにしろ、W-LAN にしろ、ブロードバンド化に伴い一つの基地局がカバーするエリアは狭くなる。そのため、基地局の数が増加し、基地局の装置コスト及び工事費・保守費などの低減が強く求められる。これに対応する研究開発として、基地局が簡易な構成となる ROF (Radio On Fiber) 技術が期待されている。また、ROF 基地局の消費電力を極めて小さくし、その消費電力は光ファイバによって光電力として供給する試みも研究されており、その構成を図7に示す。必要な電

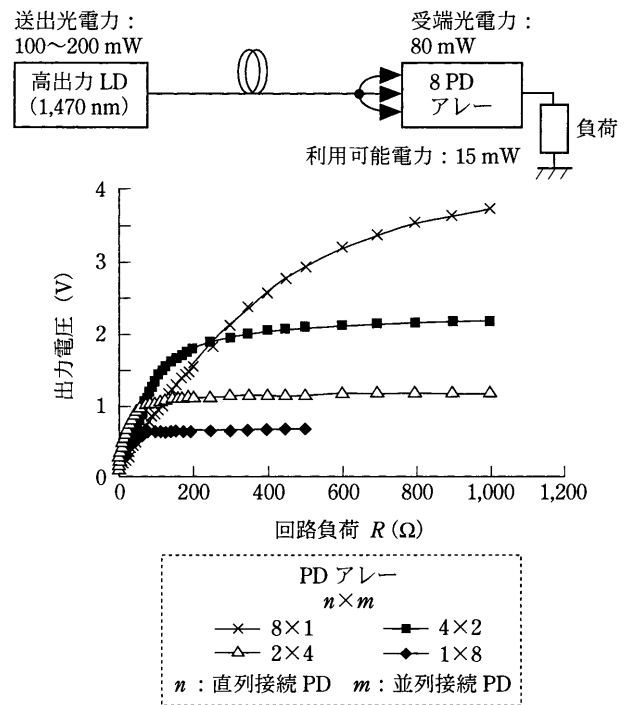


図8 高出力LDとPDアレイによる基地局への電源供給

力が光ファイバで供給されれば、基地局には電源装置や停電時のバックアップ用電池が不要となるので効果は大きい。実験例では、局側に置いたLD (レーザーダイオード) から 100 ~ 200mW の光電力を供給し、基地局側では図8に示すように 15mW 程度の電力が取り出せている。これだけの電力が利用できれば、小さいホットスポットの W-LAN 基地局などの実現性がある⁽¹⁴⁾。

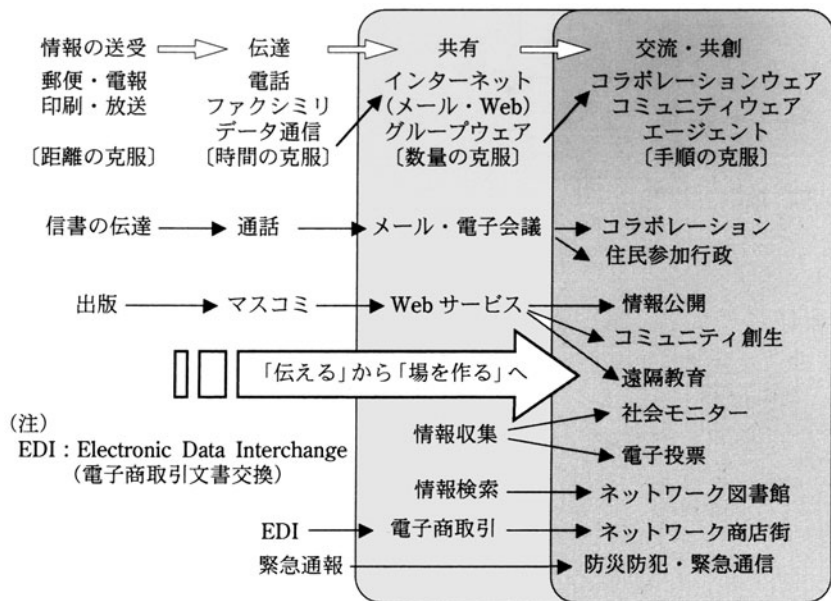


図9 情報通信メディアの発展

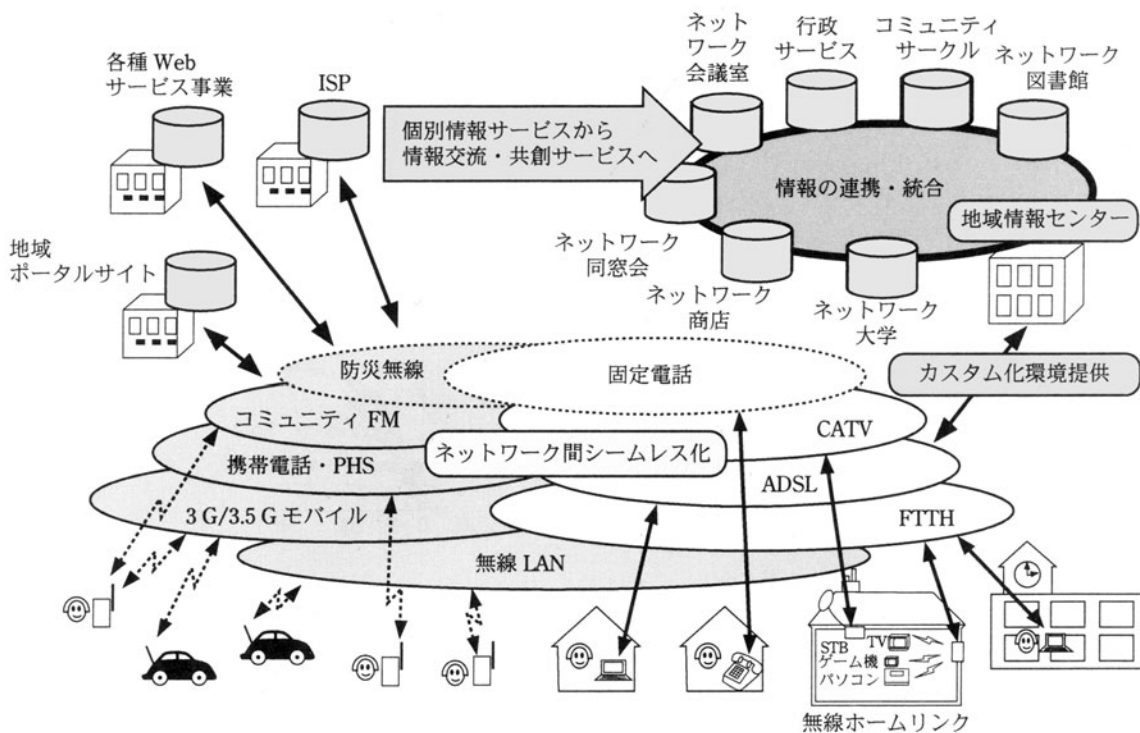


図10 情報交流・共創ネットワーク環境の構築

4. 情報通信の役割と変遷

最近のアクセスネットワークの動向を述べてきたが、種々のシステムが競って高速化へ対応しており、場所を選ばずにブロードバンド化が達成される日も近いと思われる。このようなブロードバンドアクセスが実現されると、どのような社会がもたらされるのであろうか？

情報メディアの発展により、情報通信の役割がどのように変遷してきたか、ブロードバンド化により次はどう

変わるかを俯瞰してみると図9のようになろう。郵便や電報によって「情報の送受」が世界的規模で実現したことによって、距離を克服した。次に、電話・ファクシミリが登場により双方向にリアルタイムで会話や文書による「情報の伝達」が行えるようになり、時間を克服することができた。そしてインターネットが広く利用されるようになった現在の状況は、デジタル技術によって瞬時に同一の「情報を共有」することができ、Web検索に見るように扱う情報の数量は限界がなくなったことにな

ろう。さて、次のステップであるが、ブロードバンド化により映像を含むリアルな環境の共有が可能になることで、コラボレーションや、エージェントなどの高度な情報通信により、人々が交流すること、共に新しい価値を創造する活動を支えるようなメディアへと発展してゆくものと思われる。すなわち、「情報の交流・共創」が可能な時代になることを意味している。事実、そのような兆しは随所にあり、メーリングリストやグループウェアなどを用いてグループの問題を解決したり、創造的な目的で、インターネットは大きな強みを発揮している。特に、地域のコミュニティについては、これまでアクセスネットワークの未整備が課題であったが、高度なアクセス系の実現に伴い、急速に現実的なものになるろう。

図 10 に、このような情報交流・共創ネットワーク環境を示す。移動通信、W-LAN、FTTH、CATV などの高速アクセスや、既存の固定電話・携帯電話網あるいはコミュニティ FM や防災無線など放送系のネットワークをシームレスに統合してユビキタスネットワークを実現することで、ユーザがネットワークにある地域情報やコミュニティサービスに、いつでも、どこでも確実にアクセス可能となる。更に、情報通信の付加価値を一層高めてゆくには、ユーザ集団の情報交換の目的やそこでの生産物にまで目を向けて、それに必要な機能に特化して使いやすくしたネットワーク環境を提供してゆく必要があると考える。趣味のサークル向けのネットワークならば、そのサークル集団の活動を盛り上げる機能や、かゆいところに手が届くようなネットワーク機能を用意するというきめ細かなカスタム化が必要となろう。今後の地域情報化に関連して、地域コミュニティを活性化すること、あるいは情報通信環境を高めることで地域の付加価値を増してゆくことが強く求められよう⁽¹⁵⁾。情報交流・共創ネットワークでは、このようなカスタム化機能を豊富にしてゆくことに加えて、地域情報センターが非常に重要になるものと思われる。地域情報センターの役割は、個人ユーザを対象とする情報の蓄積やバックアップも行う従来の IDC のようなところであり、アクセス系の上位レイヤ機能を担う地域情報化機能を持つ拠点である。

5. あとがき

ブロードバンド化で活性化しているアクセス系について、最近の状況と新たなシステムの動向について概観し、

今後のアクセス系の高度化による情報通信環境の向かうところを、情報通信の大局的流れの延長線上に描いてみた。地域活性化とも深く関係するアクセス系は、これからの情報通信にかかわる者の大きな関心事であり、また社会一般の生活者にも大きくかかわる。FTTH と高速ワイヤレスアクセスの導入が順調に進み、日本がブロードバンド先進国として、新世代アクセスネットワークのモデルを世界に常に発信し続けてゆけることを期待したい。

文 献

- (1) インターネット白書 2004, アクセスメディア・インプレス, July 2004.
- (2) 総務省(編), 平成 16 年版情報通信白書, 2004.
- (3) Cable Labs, "CableModem/DOCSIS," <http://www.cablemodem.com/>
- (4) ドキュメント伊那 ADSL, 伊那 XDSL 利用実験連絡会(編), 丸山芸芸図書, 1998.
- (5) 山野誠一, 堺 和則, 三好清司, 松本一也, "xDSL 技術," 信学誌, vol.84, no.2, pp.84-91, Feb. 2001.
- (6) "最新 ADSL に強くなる," 日経 NETWORK, no.36, pp.35-53, April 2003.
- (7) ITS 技術論文特集, 信学論(A), vol.J-88A, no.2, Feb. 2005.
- (8) 徳田正満, "高速パワーラインコミュニケーション," 信学誌, vol.88, no.3, pp.170-175, March 2005.
- (9) NTT が描く新世代事業ビジョン, 日経ニューメディア別冊, 日経 BP 社, Dec. 2004.
- (10) 三木哲也, 篠原弘道, "アクセスネットワークの現状と将来展望," 信学誌, vol.84, no.2, pp.77-83, Feb. 2001.
- (11) 渡辺隆市, 山口一雄, "光アクセス技術," 信学誌, vol.84, no.2, pp.92-97, Feb. 2001.
- (12) 佐藤栄裕, 多治見信朗, 岡本 学, "光アクセスネットワークを実現する光伝送モジュール最新技術," 信学誌, vol.88, no.3, pp.163-169, March 2005.
- (13) 尾上誠蔵, 山尾 泰, "モバイルアクセス技術," 信学誌, vol.84, no.2, pp.112-118, Feb. 2001.
- (14) T. Miki, K. Kawano, N. Nakajima, N. Kishi, M. Miyamoto, and T. Aoki, "Novel radio on fiber access eliminating electric power supply at base station," OECC2003, pp.611-612, 2003.
- (15) 山口治男, 藤原 洋, 宮澤正幸, 福田 豊, 坂巻資浩, 三木哲也, "コミュニティネットワークの発展に期待する," 信学誌, vol.84, no.1, pp.49-56, Jan. 2001.



三木 哲也 (正員:フェロー)

昭 40 電通大・電通・電波卒。昭 45 東北大大学院博士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT)入社。以来、デジタル伝送、光通信、情報通信ネットワーク等の研究に従事。平 7 電気通信大・情報通信工学科教授。工博。平 8 年度通信ソサイエティ会長, 平 11 ~ 12 年度監事, 平 14 年度通信ソサイエティ編集長, 平 15 ~ 16 年度副会長, 平 14 より認定企画実施委員会審査部会長。昭 52 年度業績賞受賞。IEEE フェロー。情報処理学会, 映像情報メディア学会, 日本社会情報学会各会員。