

# IP アクセス技術の最新動向

原田 英昭 磯村 毅 小平 亨 牧 浩文

NTT 西日本 研究開発センタ

【概要】ファーストワンマイルのアクセス技術は、お客様の利用形態／建物の設置条件等に対応するために各種伝送媒体を用いた多種多様な方式が実用化されている。本文では、現在の主流である、既存のメタリックケーブルを利用したメタリックアクセス技術、高速／大容量のデータ通信が可能な光アクセス技術、集合住宅及びホットスポットサービスをターゲットとした無線アクセス技術の最新技術動向及び標準化動向について述べる。

## The Latest Trend of Broadband IP Access Technologies

Hideaki HARADA Takeshi ISOMURA Touru KODAIRA Hirofumi MAKI

NTT West Corporaion Research and Development Center

【Abstract】 Corresponding to the customers requirements, first-one-mile access techonologies have been put a practical use by using various types of transmission media. In this paper, we describe the latest trend of broad-band IP access technologies and their standarizations. The scopes of this paper are metaric access technology;the main current, optical access technology; the main in the future, and radio access technology; especially for the hot-spot service and apartment buildings.

### 1. はじめに

近年のインターネットの急速な普及は、ADSL 技術に代表される収容局からお客様宅までの“ファーストワンマイル”のデータ通信を実現するアクセス技術の進歩と密接な関係がある。

ファーストワンマイルのアクセス技術は、お客様の利用形態／建物の設置条件等に対応するために各種伝送媒体を用いた多種多様な方式が実用化されている。本文では、現在の主流である、既存のメタリックケーブルを利用したメタリックアクセス技術、高速／大容量のデータ通信が可能な光アクセス技術、集合住宅及びホットスポットサービスをターゲットとした無線アクセス技術の最新技術動向及び標準化動向について述べる。

### 2. メタリックアクセス技術

NTT 西日本をはじめする多数のキャリアは、既存メタリック加入者線を用いた ADSL サービスを既に提供している。サービス開始当初の伝送速度は、最大 1.5Mbps 程度であったが、メタリック伝送技術の進歩により、現在では 8Mbps 程度に高速化されている。本章では、ADSL の高速化／長距離化を実現する新技術及び既存メタリックによりビル構内等の高速化を実現する VDSL 技術について標準化動向等を中心に述べる。

### 2. 1 加入者メタリック線路

北米で利用されているケーブルは、LAN ケーブルと同様な 2 心線を撚り合わせたツイストペアによる多対ケーブルであるが、日本では 4 心線を撚り合わせた星型カッド構成による多対ケーブルである。星型カッド構造は対形構造のケーブルに比べ線路外径が約 85%に細径化でき、経済的に利用できる。絶縁材質は線路損失の低減を目的に導入時期に応じて、紙絶縁、充実ポリエチレン (PE)、発砲ポリエチレン (PEF) を利用し、低損失化と漏話量の低減を実現している。

加入者メタリック線路は地下配線区間と架空配線区間に分けられ、各区間にて多対ケーブルを用いて構成されている。加入者線が集中する地下配線区間では細心径の多対ケーブル (1000~3600 対) を利用し、架空配線区間では地下配線ケーブルに比べ少対のケーブル (10~400 対) を利用し、加入者提供範囲に応じて様々な心線径が適用されている。その他、架空配線区間では複数のケーブルを接続するマルチ配線を適用し、加入者宅引込みの融通性を高めている。これらの配線方式は電話サービス品質 (1.5kHz) を前提に設計されたものであり、ISDN をはじめ、ADSL などの広帯域利用では損失増加、漏話雑音による伝送特性劣化などが検討事項となる。

## 2.2 xDSL 技術【文献1】

### (1) ADSL 技術

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) は隣接回線に收容された同一システムからの近端漏話雑音による伝送特性劣化を回避するために周波数分割多重方式 (FDM) を採用している。変調方式は直交振幅変調方式 (QAM) を利用しており、ITU-T 勧告 G.992.1 では複数搬送波を利用する MCM (Multi Carrier Modulation) 方式が標準化されている。具体的には上り帯域 25.875kHz~138kHz, 下り帯域 138kHz~1.104MHz のそれぞれ 26,224 のサブキャリアを用いて伝送を行う。また、ADSL と利用周波数帯域の一部が重なる TCM-ISDN 方式 (日本独自) からの漏話雑音対策として、雑音タイミングに同期した 2 種類の BitMap を交互に切り替えて伝送する仕様 (Annex C) が追加されており、伝送特性の向上が可能である。2002 年 5 月には下り伝送速度が最大 8Mbps 程度である ITU-T 勧告 G.992.3 が標準化されたが、Annex C の仕様追加については現在検討中である。さらに、加入者回線区間の更なる高速化を目指し、ADSL+と呼ばれる技術も ITU-T にて標準化作業が進められている。本方式は、利用帯域の拡大と多値変調を行うことで、近距離利用時の下り伝送速度向上 (最大 16Mbps 程度) を目指しており 2004 年の仕様決定を目指している。

### (2) VDSL 技術【文献2】

VDSL (Very-high-speed Digital Subscriber Line) は ITU-T にて PSD マスクなど基本的事項 (G.993.1) について標準化されているが、G.993.1 改版および伝送方式 (G.vdsl.1) に関して標準化作業が進められており、G.993.1 改定については 2003 年 1 月頃、G.vdsl.1 については 2004 年の標準化を目指している。ANSI, ETSI などにて勧告された VDSL 方式では下り最大伝送速度は 22Mbps, 伝送方式は MCM 方式と SCM (Single Carrier Modulation) 方式の 2 種類が標準化されている。ITU-T では伝送速度の高速化 (目標 50Mbps 程度) と伝送方式の 1 本化の必要性を含めて検討中である。

図 1 に ITU-T 勧告 G.993.1 に規定される利用周波数を示す。3 つのバンドプランの内、非対称方式に有利な Bandplan A (Plan998) を選択する国が多い。VDSL では利用周波数が ADSL に比べ高周波・広帯域となり、適用距離が 1km 以下と短くなる為、光ファイバと組合わせて光アクセス装置と VDSL 装置を

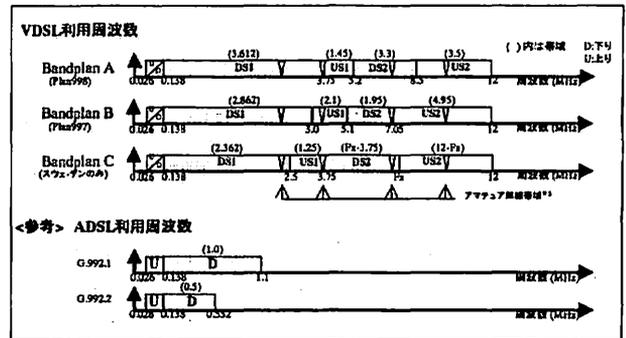


図 1 ITU-T における周波数配置 (VDSL, ADSL) 接続し、構内メタリックケーブル区間への適用する形態が主な利用シーンとして考えられている。

現在、市販されている VDSL 装置例を表 1 に記載する。数社から VDSL 装置が販売されているが、各社独自方式がリリースされている段階であり、ITU-T 準拠装置は 2003 年以降のリリースとなる見込みである。標準化装置導入により、漏話雑音による相互干渉の回避など、早急な標準化作業が望まれる。

表 1 市販 VDSL 装置例

	A 社	B 社	C 社
変調方式	SCM	SCM	MCM
伝送速度 (bps)	5/10/15M 対称	18M 対称	下り: 51M 上り: 6M
利用周波数 (Hz)	FDM DS: 約 1~4M US: 約 3~9M	FDM DS: 約 1~3M US: 約 4~12M	TDM 約 1~10M
最大適用距離	1km 程度	1.2km 程度	1km 程度

## 3 光アクセス技術

FTTH の言葉に代表される光ファイバを利用したデータ通信は、高速/高品質なサービス提供が可能であり、様々なキャリアが光ファイバを使った新サービスを提供している。FTTH には、ネットワークポロ

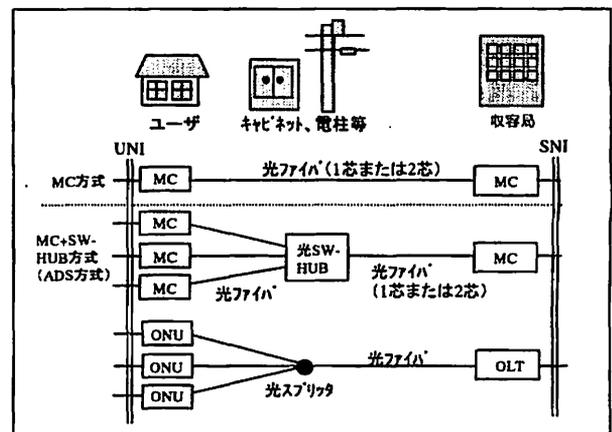


図 2 光アクセスシステムの形態

シーの点から大別して、収容局等とお客様宅を P-P で結び「SS(Single Star)方式」、光ファイバの一部を複数のお客様で共用する「DS(Double Star)方式」がある。LANの世界では Ethernet が主流であるように、光 IP アクセスシステムにも Ethernet 技術を適用する動きが活発化しており、単なる LAN 技術の延長ではなく、設置条件、保守運用性、相互接続性等のキャリアグレード化が主たる目的である【文献 3】。

### 3.1 SS方式

Ethernet で延伸装置として利用されている光トランシーバ(MC:MediaConverter)をキャリアのアクセスラインに適用する方式であり、お客様ごとに光ファイバを1芯または2芯必要とする。現在は、100Mbpsが主流であるが、1Gbps製品もあり価格が低減されつつある。MC方式は、IEEE(802.3ah EFM)とTTC(電信電話技術委員会)にて標準化活動が実施されており、TTCで、2002年5月に100Mbpsの仕様化が完了している(表2)。【文献4】

表2 MC方式標準化概要

団体	IEEE802.3ah		TTC(ITS-1000)
伝送速度	1Gbps	100Mbps	100Mbps
フレーム	Ethernet		Ethernet
許容損失	16db		16db
使用波長	上り:1480~1600nm 下り:1260~1360nm		上り:1480~1580nm 下り:1260~1360nm
時期	2003年9月予定		2002年5月

表3 PON方式標準化概要

団体	IEEE802.3ah	FSAN
伝送速度	1Gbps	1Gbps
フレーム	Ethernet	検討中
分岐数	16分岐以上	64分岐
許容損失	検討中	26db
使用波長	上り:1480~1500nm 下り:1260~1360nm	上り:1480~1580nm 下り:1260~1360nm
時期	2003年9月予定	2002年予定

### 3.2 DS(Double Star)方式

収容局とお客様宅間に受動的(または能動的)に動作する分岐素子を設置し、光ファイバの一部を複数のお客様で共用する方式である。

#### 3.2.1 PON方式

収容局側装置(OLT:Optical Line Terminal)とユーザ側装置(ONU:Optical Network Unit)間に受動素子である、光スプリッタを設置しOLTと光スプリッタ間の光ファイバを共有するものである。PON方式はSS方式と比較し、光ファイバの共用によりトータルコストの低減が可能であり、FTTHサービスの主流として期待されている。以下に、各種PON方式の技術的動向を述べる。

#### (1) STM-PON(Synchronous Transfer Mode-PON)【文献5】

10Mbpsの帯域を最大32ユーザで共有しベストエフォートタイプのデータ通信を可能とする方式である。本方式の特徴は、データ通信サービスの他に、POTS/ISDN/専用線等の複数サービスを重畳することが可能であるが、データ通信速度を大幅に向上できないことから、PONシステムとしては後述するB-PON、E-PONに置き換わるとされる。

#### (2) B-PON(Broadband-PON)

FSAN/ITU-Tで標準化されている、OLT-ONU間の伝送にATM技術を用いたPON方式である。【文献6】

ATMの特徴である帯域制御や優先制御等の様々なQoS(Quality Of Service)機能を実現することが可能であり、帯域は150M~600Mbps程度である。また、通信用波長とは異なる波長を用いて映像伝送を同時に提供することも可能であり、標準TV映像であれば、500ch程度の伝送が可能である。現在では企業ユーザを対象としたネットワークとして使用されているケースが多いが、今後は個人ユーザにも展開されていくと思われる。

#### (3) E-PON(Ethernet-PON)

PON伝送区間にEthernetフレームを用いる方式である。現在のアクセスネットワークでは、UNIそしてSNIにEthernetインターフェースもつケースがほとんどであるため、ネットワークとしての親和性が優れており、アクセスシステムとしての適用が考えられてきている。PON区間の帯域は最大100M~1Gbpsがあるが、現在の製品はベンダ独自の仕様となっている。現在、IEEE(802.3ah EFM)で2003年9月を目処に1Gbpsの帯域のEthernetのPONシステム(GE-PON)の標準化作業が進められている。【文献3】標準化完了前後には、製品が多数リリースされかつ価格低減が予想されるため将来的な光アクセスシステムの主流となる可能性がある。

### 3.2.2 ADS方式

MC方式の収容局とユーザのMC間に同じ光インターフェースを具備したSW-HUBを設置し、光ファイバの一部を複数のお客様で共用する方式である。SW-HUBはキャビネットや電柱、ユーザビル内等に設置する形態が考えられる。MC方式の仕様、技術等が適用可能といった利点があるが、SW-HUBに対して電力供給が必要という欠点があり、設置場所が限られる。

### 3.3 OAM機能

キャリアの視点から見ると、通信方式とともにサービスの運用状態や品質等を検知するためOAM(保守運用)機能の充実は必要不可欠である。Ethernetにおいて、キャリアのアクセスネットワークに十分なOAM機能がないため、現在の製品では各ベンダ独自方式の実装により、機能を実現している。そのため、前述のIEEEやTTC等の標準機関では、通信方式と共にOAM機能も標準化対象になっている。OAM信号の送受信方式は、収容局側装置とユーザ側装置間で専用の信号フレームの送受信を行い装置状態や回線試験状況などの把握を行う方式が主流であるが、プリアンブル方式のように主信号に影響を与えない方式もある。

■プリアンブル方式：通信用フレームのプリアンブルに保守フレームを付加する方式。保守行為がサービスに影響を与えない。IEEE802.3ahで候補に挙がったが、ドラフトでは不採用になった。

■フレーム方式：保守フレームとして専用Ethernetフレームを使用する方式。保守行為を行っている場合はサービスが中断される。IEEE802.3ahで採用されている。

■ショートフレーム方式：保守フレームとしてEthernetフレームより短いショートフレームを使用する方式。保守行為を行っている場合はサービスが中断される。TTCで採用されている。

■IFG(Inter Frame Gap)方式：通信用フレームの間(IFG)に、保守フレーム信号を挿入する方式。保守が通信に影響を与えない。実装された製品もあるが、現在は独自仕様。

### 3.4 光アクセス技術の高速化動向

前述のように光アクセス技術へのEthernetが採用されているため、今後の高速化はEthernetの高速化技術の進展と歩調を合わせるように伝送帯域も高速化するものと予想される。2002年中旬にも10GbEthernetが標準化され、その後も40GbE、100GbEが候補に挙がっているようであり、

5年程度毎に10倍ずつ増加していることを考えると、現在100MbpsのFTTHサービスは、2005年ごろには1Gbpsに達すると思われる。また、標準化等により、光アクセスシステムの低廉化が期待でき、FTTHが広く展開されブロードバンドアクセスラインの主流となるものと考えられる。

## 4. 無線アクセス技術

1990年代に始まった携帯電話の爆発的な普及や、今春から始まったホットスポットと呼ばれるエリアにおいて提供される無線サービスに見られるように、無線技術をアクセス回線に適用する動きが広がっている。

ITU-Rは、コアネットワークとユーザを接続する無線アクセスを移動性の観点から移動無線アクセス、半固定無線アクセス、固定無線アクセスに分類している。本項では、通信事業者が提供する各種無線アクセス方式、標準化動向および今後の動向について述べる。

### 4.1 移動無線アクセス MWA(Mobile Wireless Access)

MWAはサービスエリアの広域性とモビリティの高さが特徴であり、代表的な方式は、携帯電話方式とPHSである。携帯電話方式ではアナログ方式を第1世代、デジタル方式を第2世代、世界的な標準方式を第3世代と呼んでいる。国内では1990年代から利用され始めた第2世代(データ伝送速度:28.8kbps~64kbps)と、2001年からサービスが始まった第3世代(144kbps, 384kbps)が利用されてきている。また、2002年度中にcdma2000-1x向けの高速データ通信方式である1xEV-DO(1x Evolution-Data Only)が開始され、最大2.4Mbpsの高速通信が可能となる予定である。

ITU-Rの下部組織WP8Fにおいて、高速データ通信向け仕様として、IMT-2000を改良/発展させた技術が承認された。W-CDMAをもとに8Mbps以上を実現するHSDPA(High Speed Downlink Packet Access)とcdma2000-1xをもとに5Mbps以上を実現する1xEV-DV(1x Evolution Data and Voice)である。これらは第3.5世代と呼ばれる。また、下りの伝送速度が50~100Mbps程度の第4世代の検討も開始されている。

PHSは1.9GHzの周波数帯を使い、最大128kbpsの伝送速度を提供している。最近では定額サービスやMVNO(Mobile Virtual Network Operator)が提供

するサービスが出始めている。

表 4 代表的な携帯電話方式の主要諸元

方式名	2G		3G	
	PDC	IS-95	W-CDMA	cdma2000-1x
帯域 (Hz)	25k	1.25M	5M	1.25M
アクセス方式	TDMA	CDMA	CDMA	CDMA
周波数帯 (Hz)	800M 1.5G	800M	2G	2G
最大速度 (bps)	28.8k	64k	384k	144k

#### 4.2 半固定無線アクセス NWA (Nomadic Wireless Access)

飲食店やホテルなど人が集まるホットスポットにおいて高速にインターネットに接続できるサービスが、商用化されている。【文献7】サービスエリアが店舗内や構内に限られるが、設備コストが低く、かつ高速なサービスを提供できるという長所がある。ホットスポットで利用される無線方式にはIEEE802.11a, IEEE802.11b, Bluetoothがあるが、現在の主流はIEEE802.11bであり、IEEE802.11aも対応製品の増加とともに注目を集めつつある(表5)。さらに、ひとつのアクセスポイントでIEEE802.11a/bの両方式をサポートしたサービスが2002年5月からサービス開始されている。今後はこうしたデュアル対応AP, IEEE802.11a/b/gの方式に対応したコンボチップの搭載製品も多数リリースされることが予想される。

キャリアの多くは屋内スポットをサービスエリアとしているが、平成14年5月の情報通信審議会答申を受けて、今秋以降には、5GHz帯の周波数を用いて屋外の公共スペースでサービス提供をしていくような動きが活発化することが予想される。

キャリアがホットスポットサービスを提供する上で大きな技術的課題はセキュリティーの確保方式である。IEEE802.11にはWEP(Wired Equivalent privacy)という暗号化方式とESS-IDという認証方式が規定されているが、これらのセキュリティー機能だけではキャリアグレードのサービスを提供するには不十分であり、他のセキュリティー機能を採用している場合が多い。よく利用される方法がIEEE802.1xとVPN(Virtual Private Network)である。

IEEE802.1xはAP(Access Point)と認証サーバを連携させてユーザを認証する技術である。また付加機能を利用し、ユーザの接続毎にWEP鍵の動的配信も可能である。

VPNを利用する場合には、IPsec(IP Security Protocol)やSSL(Secure Socket Layer)に、ICカード等のユーザ認証手段を組み合わせる。

表 5 ホットスポットで利用される無線通信方式

方式名	IEEE802.11b	IEEE802.11a	Bluetooth
標準化団体	IEEE802委員会	IEEE802委員会	Bluetooth SIG
周波数帯	2.4GHz帯	5.2GHz帯 (屋内限定)	2.4GHz帯
変調方式	DSSS	OFDM	FHSS
アクセス制御	CSMA/CA	CSMA/CA	時分割多重
最大伝送速度	11Mbps	54Mbps	1Mbps

#### 4.3 固定無線アクセス FWA(Fixed Wireless Access)

FWAは固定のユーザに対して無線のアクセス設備を提供する方式である。FWAは大きく2地点を接続するP-P方式と、ひとつの基地局で複数の加入者局を収容するP-MP方式に大別できる。P-P方式は主に事業者向けに提供され、P-MP方式は家庭やSOHO向けに提供されており、集合住宅等への適用が考えられる。5GHzの周波数帯についても前述のように、屋外での利用が可能になる見とおしであるため、FWAでの利用にも期待がかかる。表6に主なFWAの方式例を示す。

22/26/38GHz帯を使う方式は、無線局免許が必要な反面、その周波数ブロックを独占的に利用できるため回線品質を確保できる。一方、2.4GHz帯を使う方式は、無線局免許が不要で導入が容易になる反面、フリーな周波数帯であるため他システムとの干渉により回線品質を保証が困難である。

また、22/26/38GHz帯を使う方式においては、周波数帯の直進性が高いことから、無線装置間の見通しが必要となる。特に、P-MP方式の基地局は場所選定が重要であり、提供サービスエリアに影響を与える。

表 6 主なFWA方式例

方式	22/26/38 GHz	26/38GHz	2.4GHz (無線LAN)	
	P-P	P-MP	P-P	P-MP
通信速度 (bps)	6/45/156M	6~10M	4M程度	4M程度
無線局免許	要	要	不要	不要

現在普及している無線LAN規格はIEEE802.11ワーキングで標準化が進められている。このタスクグループを表7に示す。a～cのタスクグループは既に標準化を完了しており、残りのタスクグループでは活発に活動を行っている。

表7 IEEE802.11ワーキンググループの構成

グループ	概要
IEEE 802.11a	5GHzに関する規格(最大伝送速度:54Mbps)
IEEE 802.11b	2.4GHz帯の高速化に関する規格 (最大伝送速度:11Mbps)
IEEE 802.11c	ブリッジに関する規格
IEEE 802.11e	QoSに関する規格
IEEE 802.11f	サブネットをまたいだローミングに関する規格
IEEE 802.11g	2.4GHz帯の更なる高速化に関する規格 最大伝送速度:54Mbpsをターゲット
IEEE 802.11h	チャンネル移動と電力制御に関する規格
IEEE 802.11i	セキュリティ改善に関する規格

また、標準化団体のWECA(Wireless Ethernet Compatibility Alliance)において、IEEE802.11bと同様にIEEE802.11aに準拠した製品の相互接続性を保証するWiFi-5(Wireless Fidelity-5)認定が計画されている。

## 5 まとめ

今後の本格的なブロードバンドを担うメタリック、光、無線アクセス技術について標準化動向を中心に述べた。上述した方式以外にもハイブリッド方式と呼ばれる複数の方式を組み合わせた形態も考えられる。例えば、集合住宅への適用を考えると、

(1) マンションまで光ファイバを敷設し、構内はVDSLでサービスを提供する形態

(2) マンション近傍の電柱まで光ファイバを敷設し、そこからはFWAによりサービスを提供する形態

等の様々なバリエーションがあり、今後の各方式の技術動向を踏まえ、各キャリアはお客様のニーズ/利用形態/設置条件等の様々な条件に最適なアクセスサービスの提供を行なっていくものと思われる。

### 【参考文献】

1. 山野, 堺, 三好, 松本 “xDSL アクセス技術”, 電子情報通信学会誌 Vol.84 No.2 pp.84-91 2001年2月.
2. ITU-T G.993.1, “Very-High-speed Digital Subscriber Line Foundation”, 2001.
3. <http://www.ieee802.org/3/efm/>

4. TTC(THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE:社団法人 電信電話技術委員会)仕様書 TS-1000「光加入者線インタフェース -100Mb/s 一心WDM方式-」
5. 三鬼,大高,玉木,渡辺 “コンピュータ通信に適したSTM-PDS光アクセスシステム” NTT R&D 1998年12月号  
Vol.47 No.12 1998.12
6. <http://www.fsanet.net/>
7. <http://www.ntt-west.co.jp/flets/spot/>