

これからのネットワークインフラストラクチャを支える新技術

Overview of Fundamental Technology Supporting Networking Infrastructure

山 浦 史 雄

要 約 政府の IT 戦略本部・IT 戦略会議が 2000 年 11 月に策定した「IT 国家戦略」の中で、通信インフラの整備を提唱したことなどから、FTTH、xDSL、などの安価な高速回線の普及が本格化し、定額料金で高速にインターネットにアクセスできる環境が整いつつある。

移動体通信では最大 2 Mbit/s の通信が可能な IMT 2000 サービスも開始されようとしている。一方 LAN の技術として IPv6 や MPLS が本格的な普及の兆しをみせており、IPv6 は IP アドレスの枯渇の劇的な対処策として期待されている。MPLS は電気通信事業者の IP VPN サービスで広く活用されている。

また、通信事業者のサービスにも LAN での使用に特化し、レイヤ 2 を切口とした安価で高速・広帯域の LAN 間接続サービスが急速に普及しだしている。

本報告は、これらのインフラ系の基礎技術について紹介する。

Abstract After statement of the communications infrastructure investment in "IT State Strategy" developed by the advisory councils of Japanese government in November, 2000, the environment, which facilitates the Internet access at high speed and on a given amount basis, has been in place as the substantial spread of cheaper and high speed circuits, such as FTTH and xDSL. In the mobile telecommunication system, IMT 2000 has launched services possible to communicate at maximum two Mbps.

On the other hand, IPv6 and MPLS, parts of LAN technology, have begun to show some signs of substantial diffusion, where IPv6 is expected as a dramatic technological measures of depletion of IP addresses, and MPLS is currently widely used in IP VPN services of common carriers. Moreover, common carriers are starting to provide focused services in connecting the cheaper high speed broadband LANs through MAC sublayer of layer 2.

This paper introduces technologies underlying networking infrastructure in order to help users understand advanced technologies.

1. はじめに

最近、xDSL や FTTH をアクセス回線として利用し、安価な定額料金で高速インターネットアクセスをする形態が日本でも普及しだし、また、第三世代の携帯電話と呼ばれる IMT 2000 もサービスが開始され、この一翼をになうことが想定される。一方、LAN 系の新技術では IPv6、MPLS などが普及期を迎えており、これらを取り入れた電気通信サービスも開始されている。

この結果、ユーザはこれらの技術をよく理解して、自分の環境にどう取り入れられるかを把握しておくことが求められる。

本稿では、これらの基礎技術を平易に解説することによりユーザの理解を助け、また最近頻繁に新聞や雑誌に出てくるこれらの関連記事が理解し易くなるようにすることを目的に、これらの技術を解説する。

2. WAN インフラの基礎技術

2.1 FTTH

FTTHとはFiber To The Homeの略で、光ファイバ・ケーブルを加入者宅内まで敷設する方式を言う。政府の経済対策閣僚会議が、1997年11月に景気浮揚策としてそれまで2007年であったFTTHの全国展開の目標を2005年に前倒し、さらに2000年11月に政府のIT戦略本部・IT戦略会議が策定した「IT国家戦略」の中でも通信インフラ整備を提唱したことなどからFTTHの普及が加速されている。実際の動きとしても、NTTが2000年12月から最大10 Mbit/sのFTTHサービスである「Bフレッツ(当時は光・IP網通信サービス)」を開始し、有線ブロードネットワークスも2001年3月から最大100 Mbit/sのFTTHサービス「BROAD GATE 01」を開始している。また、中部電力も自社が敷設した光ファイバケーブルを使用して中部地区でFTTHのフィールド実験を進めている。

FTTHの方式には、光ファイバを電話局と加入者間に1:1で敷設するSS(Single Star)方式と、電話局からの光ファイバケーブルを途中のスターカブラで複数の光ファイバケーブルに分岐して1:N接続するPDS(Passive Double Star)方式の二つがある。現在はコスト面などからSS方式よりもPDS方式に注目が集まっていることから、以下PDS方式について説明する。

2.1.1 PDS方式の基本的な原理

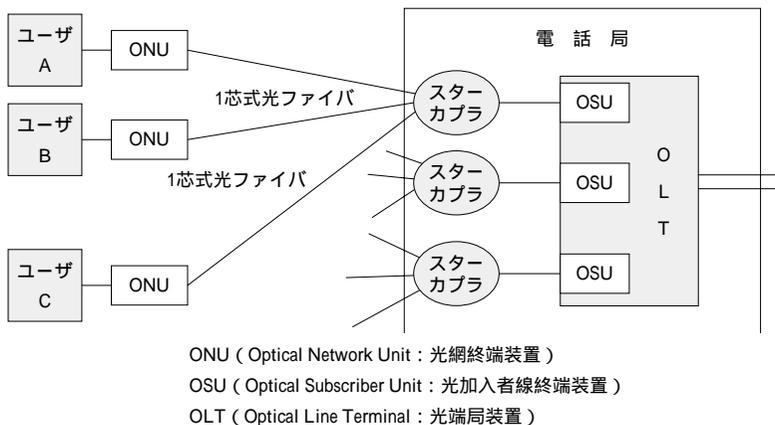


図 1 PDS方式の基本構成

PDSの基本的な構成を図1に示す。加入者宅内にはONUが設置され、これと電話局のOSU、OLTが光ファイバ、スターカブラ経由でN:1接続される。PDS方式にはさらにSTM(Synchronous Transfer Mode)PDS、ATM(Asynchronous Transfer Mode)PDS、SCM(Sub Carrier Multiplex)PDSの3種類がある。また、PDSの特徴を最大限に生かしたシェアドアクセス技術も活用されている。PDS方式では基本的に、TCM(時間軸圧縮)技術またはWDM(波長分割多重)技術により1本の光ファイバ芯線で双方向・全二重通信を行い、さらにTDMA(時分割マルチプルアクセス)技術で多数のユーザからの上り方向の信号を多重化して伝送する(ただしSCM

PDS は下り同報伝送のみで上り方向はない)。

PDS 方式 (SCM PDS を除く) の基本的な送受信動作は以下のように行われる。

- ・局からの下り方向は、全ユーザのデータが暗号化された形態で放送形式で伝送される。各ユーザはその中から自分に割り当てられたスロット内のデータのみを取り出し復号化する。これらの作業はユーザ宅内の ONU が実行する。
- ・各ユーザからの上り方向のデータは TDMA 方式により制御され、各ユーザは自分に割り当てられたタイミングが来た時にデータを送信する。この作業もユーザ宅内の ONU が局側の OSU と連動してタイミングを取りながら行う。

以下、PDS の各方式について説明する。

2.1.2 STM PDS と SCM PDS

STM PDS (Synchronous Transfer Mode Passive Double Star) は、NTT 光ネットワークシステム研究所が開発した方式であり、光ファイバを使い STM 信号 (電話、ISDN、専用線などの帯域幅が固定で割当てられ保証されている信号) を伝送する。一方、SCM PDS (Sub Carrier Multiplex) は片方向の同報型 (電話局 ユーザ宅内) のシステムで、映像信号を配信するために開発された。

STM PDS と SCM PDS は、1 本の光ファイバ芯線を WDM 方式を用いて共用することができる。STM PDS では $1.3 \mu\text{m}$ 波長の光信号を使用し、SCM PDS では $1.55 \mu\text{m}$ の波長を使用して同一の芯線を共用する。これによりデータ系と CATV の映像系などの異なる形態のサービスを 1 本の光ファイバ芯線で同時に提供できる。

この方式は、1997 年 7 月から横浜市の一部で電話や ISDN 等の通信系サービスと CATV 映像の伝送を行う CATV 映像伝送サービスとして既に提供されている。

図 2 に STM PDS と SCM PDS を同時に提供する時の構成例を示す。

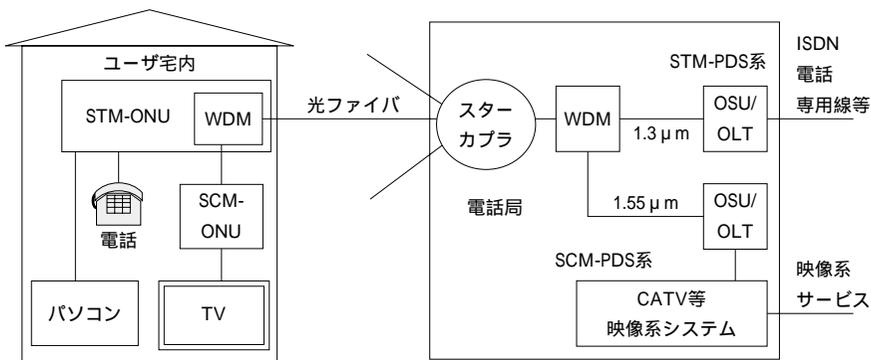


図 2 STM PDS と SCM PDS の構成

STM PDS と SCM PDS の動作原理は以下のとおりである。

1) STM PDS 方式

STM とは前述のように、一言で言えば ISDN や専用回線のように各チャンネル毎に帯域 (速度) が固定されている通信方式であり、電話、ISDN、専用回線などの既存サービスとの親和性が高い。STM PDS 方式では双方向・全二重通信を

実現する方法として NTT の INS ネットと同じ TCM (時間圧縮) 方式を採用している。TCM 方式では、 $1.3 \mu\text{m}$ 波長の光信号を利用したピンポン伝送方式を利用しており、伝送速度を 2 倍上げて同一波長の光信号による送信と受信を交互に切り替えることにより双方向・全二重通信を実現する。また、1:N 接続を実現するために、上り方向の通信には前述の TDMA 技術を利用している。

この STM PDS 方式は、電話、ISDN、64 kbit/s ~ 数 Mbit/s の専用回線、データ伝送サービスなどに対応している。

2) SCM PDS 方式

SCM PDS では、FDM (周波数分割) 多重化された多チャンネルのアナログ映像 (AM 信号) とデジタル映像 (QAM 信号) を、一括して数 GHz 帯の広帯域 FM 信号に変換して伝送する。言い換えると、CATV のケーブル中を流れている信号をそのまま FM 一括変換技術により広帯域 FM 光信号に変換して、光ファイバケーブルで伝送するような方式である。この方式により、雑音や歪みに強い映像伝送ができ、さらに柔軟なチャンネル構成、伝送距離の拡大、システムコストの削減などが可能となる。

SCM PDS 方式では 70 ~ 770 MHz の周波数範囲の信号を伝送できる。この中で 1 チャンネル 6 MHz の AM 変調されたアナログ映像と、同 6 Mbit/s 程度の QAM 変調されたデジタル映像を任意に組み合わせて伝送することができる。アナログ映像 1 チャンネルは 6 MHz の帯域を持っており、この帯域をデジタル伝送で利用すると 30 Mbit/s 程度の伝送ができることから、6 Mbit/s のデジタル映像はアナログ映像 1 チャンネル分の帯域で 4 チャンネル程度伝送できる。SCM PDS 方式で映像多チャンネル伝送をする時のチャンネル構成例を図 3 に示す。

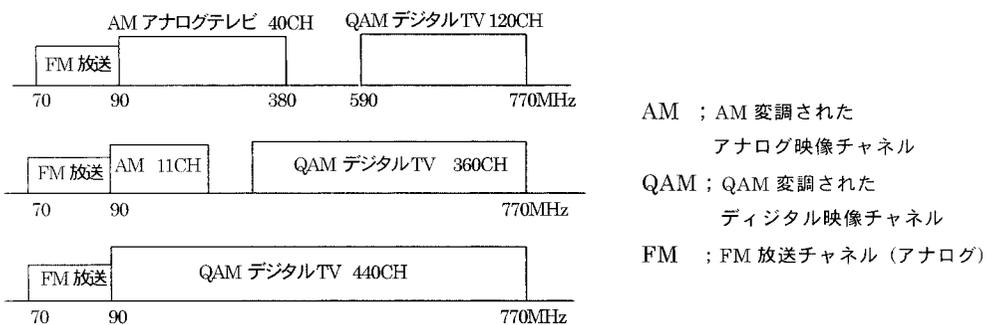


図 3 SCM PDS 方式のチャンネル構成例

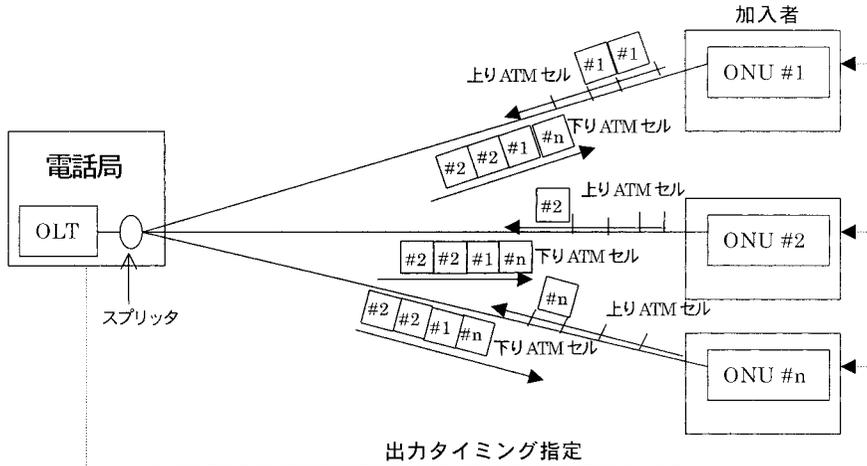
2.1.3 ATM PDS 方式

ATM PDS 方式は NTT が開発した方式であり、ITU T の高速光アクセスシステムの勧告「G 983」として標準化されている。ATM PDS は転送方式として ATM (非同期転送モード) を採用しており、最大 100 Mbit/s 程度の通信が可能である。ユーザデータは 48 バイトの情報と 5 バイトの制御情報および 7 バイトの PDS 情報の計 60 バイトのセルとして伝送される。上りと下りの信号は、波長の異なる二つの光信号で伝送され、これを WDM 方式により 1 芯の光ファイバに多重化することにより

双方向全二重通信が提供される。

さらに、下り方向の信号は暗号化された放送形式、上り方向は TDMA 技術によるアクセス制御を適用することにより複数ユーザでの共用を可能にしている。このイメージを図 4 に示す。

現在、ATM PDS 方式は ATM 専用回線の 1 芯式サービス品目などで利用されている。



(NTT プレスリリース資料より)

図 4 ATM PDS 方式の構成イメージ

2.1.4 シェアドアクセス

シェアドアクセスは、光ファイバケーブルの高速性と LAN など IP 通信のバースト性をうまく利用した伝送方式で、現在は STM PDS 方式と組み合わせて LAN/IP 系のサービスで利用されている。通常の STM PDS 方式では、電話局の OSU/OLT とユーザ宅内の ONU 間で各ユーザ毎に比較的低速の固定帯域が個別に割り当てられているが、シェアドアクセスでは帯域(伝送速度)を固定せず、バースト性の強い IP 通信の統計多重効果を期待して、各ユーザの個別のチャンネルを一つに束ねて 10 Mbit/s などの高速チャンネルとして複数ユーザで共用する。

このように、複数のユーザが一つの高速度バスを共用する方式を STM PDS 方式の環境で実現することで、他の ONU が通信していない場合には 1 台の ONU が OSU/OLT の全帯域を使うことができ、逆に、複数の ONU が同時に通信している時には、1 台あたりの帯域を通信中の ONU の台数で割った値にすることで、公平性を保つことができる。

また、シェアドアクセス方式では上り方向のアクセス制御が重要になる。アクセス制御は、データの送信を行おうとする ONU が電話局側の装置に送信許可を求め、電話局の装置側では ONU 間で公平になるようにスケジューリングを行い、送信許可を与えることにより行う。

これらの方式により、各ユーザは上り・下りとも公平に帯域を利用することができ

る。このシェアアクセス方式は現在、NTT 地域会社の「ワイド LAN サービス」と「B フレッツ (光・IP 通信網サービス)」で利用されている。

以上が FTTH の基本的な技術であるが、最近では LAN の機器を流用してさらに安価な FTTH を構築するケースが出現している。具体的には、PDS 方式などの通信機器の代わりに市販のメディアコンバータ、LAN スイッチやルータ等を使用するもので、有線ブロードネットワークスや NTT 地域会社の B フレッツの一部でも採用されている。今後の動向が注目される。

2.2 xDSL

総務省の発表によると、2000 年度末の国内の xDSL ユーザ数は 70,655 で、前年度同時期の 760 ユーザに比べ飛躍的な増加を果たした。さらに、ユーザ数は驚異的なハイペースで増加し、2001 年 6 月末には 291,333 となった、わずか 3 ヶ月間でユーザ数が 220,678 増加したことになり、xDSL は本格的な普及期を迎えた。また、2001 年 2 月からは xDSL モデムの売り切制が実施され (それまでは回線の一部として扱われており、電気通信事業者からレンタルで借りる方法しかなかった) 工事費の低減等が計られたことや、DSL モデムを内蔵したパソコンが市販される等、この面からもより一層普及に拍車がかかっている。

この xDSL とは、電話用のメタリックケーブル (一対の銅線) に専用のモデムを接続して、高速のデータ伝送を行う技術の総称で、1989 年に米国のベルコア社により開発された。

xDSL の DSL とは Digital Subscriber Line の略であり、x の部分でその種類を表す。xDSL には、ADSL、SDSL、HDSL、VDSL などの種類がある。

当初、xDSL は既存の電話加入者線を利用して安価にビデオ・オン・デマンド (VOD; Video On Demand) を提供する目的で開発されたが、現在は主にインターネットに高速でアクセスする技術として利用されている。xDSL の通信を行うには、従来と同様にモデムを使用する。このモデムを xDSL モデムと呼ぶ。従来の電話回線用モデムは電話回線の両端のユーザ宅内に設置しているが、xDSL モデムはユーザ宅内と電話局 (今は電話交換所などと呼ばれているがここでは便宜的に電話局とする) の加入者線交換機の前に設置する。

xDSL モデムを使用すると、既存の電話加入者線でも数 Mbit/s から数十 Mbit/s の速度で通信することができる。xDSL モデムと電話回線用モデムとの構成比較を図 5 に示す。

2.2.1 xDSL モデムはなぜ電話加入者線で高速通信ができるのか

従来の電話回線用モデム (ダイヤルアップ用モデムなど) に比べ、xDSL モデムの伝送速度が飛躍的に速い理由を一言で言うと、電話回線用モデムは狭い帯域幅を使用しているため低速であり、xDSL モデムは広い帯域幅を使用しているため高速となる。では、なぜ電話回線用モデムが狭い帯域幅を使用しているのに、xDSL モデムは同じ銅線 (加入者線) を使用しながら広い帯域幅を利用できるのであるのか。このあたりの理由は以下のとおりである。

従来の電話回線用のモデムは、電話網が伝送できる 300 Hz 以上 3400 Hz 以下の周波数帯の中でデータの伝送をしている。この帯域を通称 4 kHz 帯域と呼んでいる。

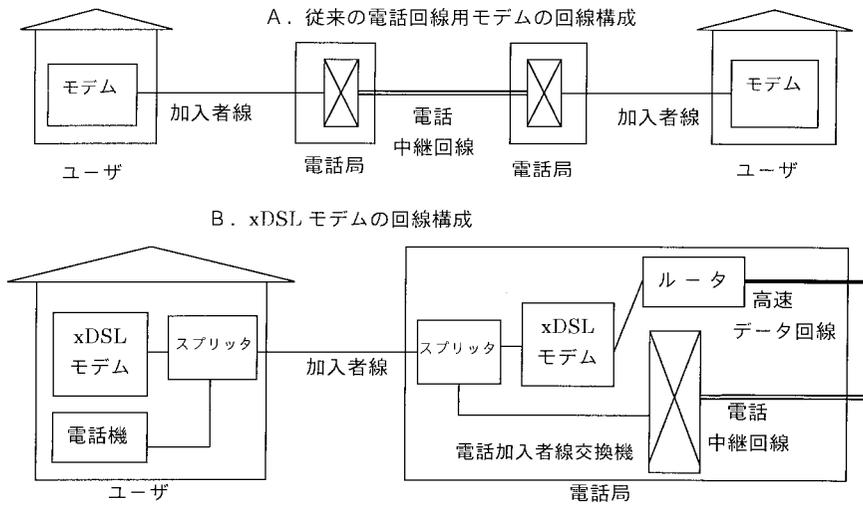


図 5 電話回線用モデムと xDSL モデムの構成の比較

言い換えれば、電話回線用モデムは、もともと音声伝送用に設計された電話網を（目的外）利用するため、4 kHz 帯域という狭い帯域幅の中でデータの伝送をしなければならない。

では、なぜ電話網の帯域幅は 4 kHz と決められているのであろうか。この理由は、人間の声を周波数成分に分解して、その強さ（エネルギー）と周波数の関係を分析するとよくわかる。これを図 6 に示す。

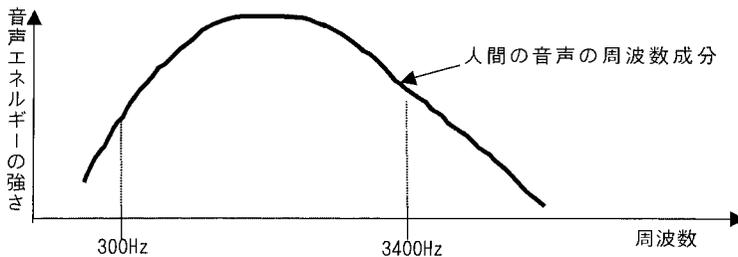


図 6 音声の解析

図 6 によると、人間の声のエネルギー成分は 1~2 kHz あたりにピークがあり、さらに大部分のエネルギーがこの近辺に集中していることが分かる。つまり、このピークを含む 300 Hz~3400 Hz の部分を伝送すれば原音の 80% 以上を伝えることができ、話の内容や誰の声かの特徴など、必要最低限の情報が得られる。このため、電話網の帯域幅は実用性と経済性を加味して、明治時代に電話サービスが開始された時から 4 kHz に決められている。

では、具体的に電話網のどの部分で帯域幅を 4 kHz に制限しているのであろうか。実は、これが電話回線用のモデムと xDSL モデムが利用できる帯域幅の差に関係している。

つい最近まで電話局間の中継回線は広帯域のアナログ伝送路で構成されており、このアナログ伝送路にたくさんの電話回線からの信号が周波数分割多重化されていた。この中継回線上で、電話1回線の信号に割り当てられていた帯域幅が4 kHzであった。つまり、ここで電話回線の帯域幅は4 kHzに制限されていた訳である。

もし、この帯域幅を越える信号が加入者線から入力されると、中継回線上で隣接する回線に妨害を与えてしまう。このため、国の強制規格である端末等設備規則（一般には技術基準と呼ばれることが多い）により、モデムなどの端末機器が4 kHzを越える信号を出すことを法制面で厳しく規制した。この結果、電話回線に接続するモデム等の機器は広帯域信号を送出することができなかった。

この規制は、電話局間の中継回線が完全にデジタル化された現在でも継続されている。最寄りの電話局の加入者線交換機が、電話機やモデムが送出するアナログ信号は4 kHz帯域に収まっているとの前提で、これを毎秒8000回サンプリングし、8ビットで量子化して64 kbit/sの信号としてデジタル化（PCM符号化）しているためである。このような方式をPCM（Plus Code Modulation）符号化と呼ぶ。PCMでは原信号の帯域の2倍、つまり8 kHzでサンプリングすればアナログの原信号を復元できる。この原理を図7に示す。ちなみに、CD（Compact Disc）は、44.1 kHz、16ビットで符号化している。

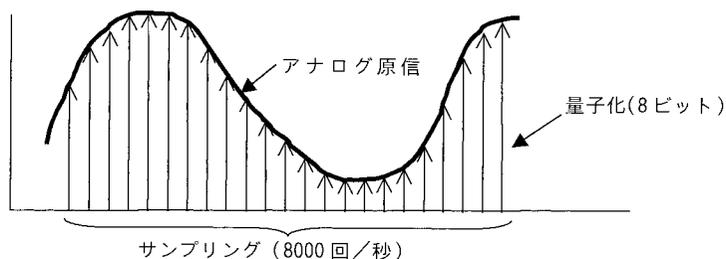


図7 電話音声のPCM符号化

以上の結果、4 kHzの帯域幅しか利用できない従来の電話回線用モデムの伝送速度は、いくら巧妙な変復調技術を駆使しても56 kbit/s程度が限界となってしまふ。

しかし、単純な1対の銅線で構成されている加入者線部分だけを取り出すと、この部分には4 kHzという帯域の制限はない。もし、加入者線部分を電話サービスから切り離すことができれば（厳密に言えば、加入者線部分を通る信号のうち4 kHzまでの信号は電話サービス用として従来どおり加入者線交換機に送り、4 kHzを越える広帯域信号の部分加入者線交換機の前で分離し電話サービスに影響しないようにすれば）、加入者線部分は数MHz以上の帯域幅を持った伝送路として利用することができる。高度な変復調方式をこの加入者線に適用すれば、数kmの距離で対称伝送（上り下りの伝送速度が等しい伝送方式）の場合1 Mbit/s～2 Mbit/s程度、非対称伝送（上り下りの伝送速度が異なる伝送方式）の場合で、8 Mbit/s程度までの速度が得られる。また、伝送距離を短くすれば50 Mbit/s以上の伝送も可能となる。

この仕組みをうまく利用したのがxDSLモデムである。法制面でも、加入者線部

分だけを電話サービス以外の目的で利用することが認められたことにより、xDSL モデムは電話の加入者線部分を借用（共用）し、ここに DMT（Discrete Multi Tone）や CAP（Carrierless Amplitude Phase Modulation）などの高度な変復調方式を適用して、数 Mbit/s から数十 Mbit/s の伝送を実現している。xDSL モデムの信号は、電話局の加入者線交換機の直前でスプリッタと呼ばれる機器で分離して復調され、ルータや他の高速回線などを經由してインターネットや企業ネットワークに接続される。同様に、加入者宅内でもスプリッタにより電話の音声と xDSL モデムの信号を分離する。なお、xDSL の中には電話と共用できない方式もあるが、このような場合は xDSL 専用加入者線を用意することとなる。

2.2.2 xDSL の種類

xDSL は使用する銅線のペア数、上り・下りの速度差の有無、伝送速度、伝送可能な距離等により ADSL、SDSL、HDSL、VDSL などの種類がある。このうち、日本を始めとする世界各国では ADSL の普及が著しい。これは、ADSL が他の方式に比べ標準化が早かったことや、特に、上りより下りの情報量が多いインターネットに適していることなどが主な理由となっている。

日本でも、xDSL の 2001 年 4 月末の総数 112,182 のうち、ADSL が大部分を占めている。xDSL の主な方式を表 1 に示す。

2.3 IMT 2000

IMT 2000（International Mobile Telecommunications 2000）は、ITU R（国際電気通信連合）が 1985 年から標準化を開始した次世代移動通信システムであり、当初は FPLMTS（Future Public Land Mobile Telecommunication Systems：将来の公衆陸上移動通信システム）と呼ばれていた。FPLMTS には、最大 2 Mbit/s のフェーズ 1 とそれ以上の速度のフェーズ 2 があり、IMT 2000 はこのフェーズ 1 に該当するシステムである。このシステムを、第三世代の携帯電話システムと呼ぶことも多い。

ITU R は、IMT 2000 として図 8 に示す五つの方式を制定している。

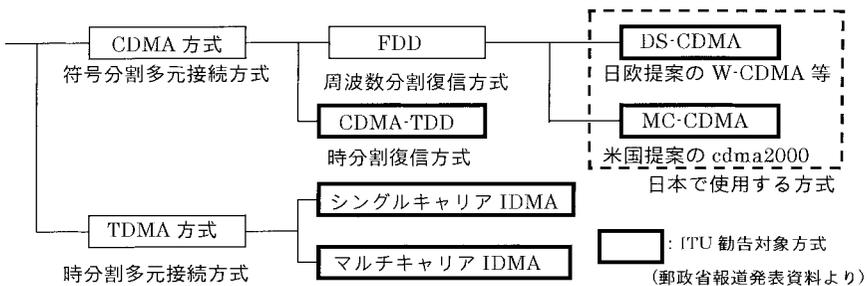


図 8 IMT 2000 の種類

このうち日本では、DS CDMA（Direct Spread Code Division Multiple Access）と MC CDMA（MultiCarrier Code Division Multiple Access）を使用する。DS CDMA 方式は欧州でも採用する予定であり、日本では W CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）、欧州では UMTS（Universal Mobile Telecommunications System）

表 1 xDSL の主な種類

方式名	通信速度		利用可能距離	説明
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	上り	～640kbit/s (フルレート) または ～512kbit/s (ハーフレート)	～5.5km	最もポピュラーなxDSL。 銅線 1 ペアで最大 8Mbit/s 程度の全二重通信を提供。インターネットアクセスなどで利用。フルレートとハーフレートの2種類があり、現在は ISDN との干渉の少ないハーフレートが主流になっている。一部にフルレートによるサービスを実施しているところもある
	下り	～ 8Mbit/s (フルレート) または ～1.5Mbit/s (ハーフレート)		
HDSL (High data rate Digital Subscriber Line)	1.5Mbit/s または 2Mbit/s		～3.6km	銅線 2 ペアで 1.5Mbit/s、3 ペアで 2Mbit/s 全二重通信を提供。NTT が高速デジタル回線の一部に利用している。 現在は銅線1ペアで 1.5Mbit/s を提供する SDSL があるため、使われるケースは少なくなりつつある
SDSL (Single line Digital Subscriber Line)	160kbit/s～2Mbit/s		3～7km	銅線1ペアで全二重通信を提供。現在、四国の STNet などがインターネットのアクセス回線の1品目として提供している
RDSL (Rate adaptive Digital Subscriber Line)	上り	16kbit/s～1Mbit/s	2.7～5.5km	ADSL の一種。回線の状況を常に監視し、最適な通信速度に設定する機能を持つ
	下り	1.5～8Mbit/s		
VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line)	上り	1.6～2.3Mbit/s	→ 1.5km → 1.0km → 0.3km	超高速の ADSL。その分到達距離は短い。最寄りの電柱まで光ケーブルを敷設して、そこから1ペアの銅線で家庭まで回線を引込む。FTTC(Fiber to the curb)の銅線部分などでの利用が想定される
	下り	12.96Mbit/s		
		25.82Mbit/s 51.84Mbit/s		

と呼ばれている。日本では、W CDMA 方式を NTT DoCoMo と J フォンが採用する。一方、MC CDMA 方式は日本と米国が採用する。この方式は cdma 2000 と呼ばれており、日本では KDDI グループが採用する。

IMT 2000 の無線アクセス方式や基幹ネットワークの詳細な技術仕様は、IMT 2000 の標準化のために結成された国際標準化協力グループである '3 GPP' (3rd Generation Partnership Project) などが中心となり、ITU R と協調して作業を進めている。例えば、W CDMA 方式は 3 GPP が担当し、cdma 2000 方式は 3 GPP 2 が担当している。

ITU R は IMT 2000 の伝送特性に対する最小要件を定めており、各方式はこれを満たす必要がある。この要件では、屋内で静止している時は 2048 kbit/s、車で移動している時は 144 kbit/s、などの具体的な基準が示されている。これを表 2 に示す。

表 2 IMT 2000 の最小要件

	屋内(静止時)	歩行程度の移動時	車で移動時	衛星系
伝送速度	2,048 kbit/s	384 kbit/s	144 kbit/s	9.6 kbit/s
誤り率	10^{-6}			

2.3.1 IMT 2000 の使用周波数帯

ITU R は IMT 2000 に 2 GHz 帯の周波数を割当てている．日本でもこの周波数帯を使用するが，既に PHS 等で使用している部分があり，これらを除いた 60 MHz×2 の帯域幅を利用することになっている．これを図 9 に示す．

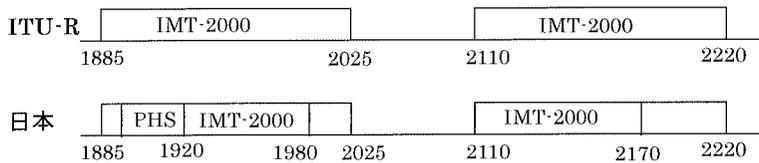


図 9 IMT 2000 の周波数割当て (単位は MHz)

日本ではこの周波数帯を NTT DoCoMo, J フォン, KDDI, の 3 グループに割当てている．単純に割算をすると 1 グループ当たり上り/下りそれぞれ最大 20 MHz ずつ(20 MHz×2)の帯域幅となるが，現状では PHS との干渉のため，1920~1925 MHz の間が利用できない．当面の措置として，割当可能な最大帯域幅は各グループが公平になるよう，1 グループ当たり 15 MHz×2 としている．しかし，この周波数帯の中にもまだ既存の無線局が残っており，使用できない部分がある等の理由から，現在使用できるのは各グループ毎 5 MHz×2 の帯域幅となっている．

2.3.2 日本の IMT 2000 サービス

日本ではまず，NTT DoCoMo が 2001 年 5 月から「FOMA」という名称で，東京 23 区と横浜市，川崎市の一部で約 4000 人にユーザを限定した試験サービスを開始した．サービスの中身は，回線交換 64 kbit/s (電話とデータ伝送)，最大 384 kbit/s のパケット交換，i モードサービスである．ただし，NTT DoCoMo の W CDMA 方式は 3 GPP の最新仕様ではなく，1999 年に制定された仕様に基づいている．3 GPP は 2000 年 12 月に仕様を大幅に改定しており，1999 年版とはかなり内容が異なる．このため，NTT DoCoMo は 2002 年 4 月予定のシステム拡充時に最新版の仕様に切替えるものと見られている．

同じ W CDMA 方式を採用する J フォンは，2002 年 6 月から首都圏の一部でサービスを開始する．これは最初から 3 GPP の最新版でサービスを提供する．サービス内容は回線交換 64 kbit/s (電話とデータ伝送)と最大 384 kbit/s のパケット交換である．

一方，KDDI グループは 2001 年 10 月から東京・名古屋・大阪で cdma 2000 の中の「1xMC」方式 (MC: Multi Carrier) のサービスを開始する．1xMC 方式では，

電話と最大 14.4 kbit/s 回線交換/最大 144 kbit/s パケット交換を提供する。ただし、これは 2 GHz 帯ではなく、現行の 800 MHz 帯で提供されることもあり、厳密には IMT 2000 とは異なる。2002 年 9 月には、同じく 800 MHz 帯にデータ専用で最大 2.4 Mbit/s までのパケット交換を可能とする「1xEV DO」方式(EV DO: Evolution Data Only)を追加する。また、この時期から 2 GHz 帯で 1xMC 方式のサービスを開始し、さらに 2004 年に 1xEV DO 方式のサービスを 2 GHz 帯に追加する。この結果、1xMC と 1xEV DO のサービスが 800 MHz 帯と 2 GHz 帯の両方で提供されることとなる。

3. LAN の新技術

3.1 IPv6

IPv6 は、現在使用されている IP プロトコル、「IPv4」の次期バージョンである。現在の IPv4 はいろいろな場面で広く使われるにつれ、種々の課題がでてきた。その最大の課題が IP アドレス枯渇の問題である。IP アドレスは世界で一意になるように付与されるが、最近のインターネットや LAN 機器の急激な増加に追いつかなくなりつつある。NAT や IP マスカレードのようなプライベートアドレスを活用する技術もあるが限界があり、枯渇の問題は避けられない。このほかにも、ルータの処理負荷軽減、帯域制御、セキュリティなどに対する課題もでており、これらを解決するために出現したのが IPv6 である。

IPv6 は IETF が 1994 年に当時の SIPP 16 をベースに制定した。当初は Simple IP とよばれていたが、翌 1995 年に IPv6 と命名された。

日本では、森前首相の国会での所信表明演説の中にも IPv6 という言葉が出ているように、官民一体になって IT 戦略の一つとして IPv6 の普及に向けた動きを開始している。具体的には、政府が 2001 年度に約 130 億円の補正予算を計上しており、民間でも 2001 年 6 月から NTT Communications が IPv6 によるインターネット接続サービスを開始し、インターネットイニシアティブ(IIJ)や、大阪メディアポート(OMP)なども適用実験を実施している。

さらに、2001 年夏には政府、NTT Communications、民間企業が協力した大規模な実証実験が開始される。

3.2 IPv6 の特徴

IPv6 の最大の特徴は、広大な IP アドレス空間にある。IPv4 では IP アドレスを 4 オクテット (32 ビット) で表現していたが、IPv6 では 16 オクテット (128 ビット) で表現する。この違いを比較すると、IPv4 では約 43 億のアドレスを割り当てられるが、IPv6 では約「34 潤」のアドレスを割り当てられることになる。これをわかり易くするために、実際の数字列で比較すると、

IPv4 : 4,300,000,000 アドレス割り当て可

IPv6 : 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,782,211,456 アドレス割り当て可

となり、IPv6 では天文学的な数、実質的には無制限にアドレスを割り当てられることがわかる。このことは、現状のようにグローバルアドレスの足りない分をローカルアドレスで補足するような必要性がないことを示している。

IP アドレスの表記方法は IPv4 と大幅に異なる。IPv4 では 32 ビットのアドレス

を 8 ビット単位の四つのブロックに区切り，例えば

128.100.200.1

などのように 10 進数で表現しているが，IPv 6 では 128 ビットのアドレスを 16 ビット単位の八つのブロックに区切り，16 進数で表現する．区切りの符号は IPv 4 の ‘.’ (ピリオド) とは異なり，‘:’ (コロン) を使用する．この表現例を下記に示す．

2 ffd : 711 : 200 e : 55 ff : 1211 : fe 68 : 1111 : 8 a 8 b

また，IPv 6 ではアドレス表記が長くなるため，一部を省略することも可能になっている．

具体的には中間の ‘0’ のブロックを省略することができる．省略した部分は ‘::’ のようにコロンを二つ重ねて表現する．例えば，

2 ffd : 711 : 200 e : 0 : 0 : 0 : 0 : 1

と言う IP アドレスは，

2 ffd : 711 : 200 e :: 1

と省略して表記することができる．

アドレス空間以外の IPv 6 の特徴としては，セキュリティ機能として IPSec (IP Security protocol) が標準で提供されることや，ヘッダの構成が大幅に変更されていることなどがある．IPv 4 のヘッダは可変長であったが，IPv 6 では固定長となっている．これによりルータ等のルーティング処理の負荷を軽減することができる．ただし，このままでは IPv 4 より機能が低下するため，固定長の拡張ヘッダが用意されており，これを必要なだけ連ねることにより各種のオプション機能が利用できる．これにより可変長と同等の機能を提供する．

これを図 10 に示す．



図 10 IPv 6 の拡張ヘッダ

また，IPv 6 では IPv 4 であまり利用されなかった，TOS (Type Of Service)，チェックサム，ヘッダ長の各フィールドが廃止された．これによってもルータ等の負担が軽減される．

IPv 6 基本ヘッダの構成を図 11 に示す．

3.3 MPLS

MPLS (Multi Protocol Level Switching) は，「ラベル」と呼ばれる固定長の短い識別 ID を持つヘッダを IP パケットに組み込み情報を転送する技術である．もともとは ATM ネットワークで，IP パケットを高速転送することを目指した技術であったが，その後のルータの性能向上により ATM での IP パケット高速化との目的は薄れ，最近はそのトラフィック制御，QoS (サービス品質) 制御，VPN (Virtual Private

バージョン (3ビット)	優先順位 (9ビット)	フローラベル(20ビット)	
ペイロード長(16ビット)		NEXTヘッダ(8ビット)	ホップ制限(8ビット)
発信元IPアドレス(128ビット)			
宛先IPアドレス(128ビット)			
拡張ヘッダ (拡張ヘッダの数は可変)			

図 11 IPv6 のヘッダ構成

Network ; 仮想閉域網) 機能などに注目し, 電気通信事業者が公衆 IP VPN サービスの基幹技術として活用している。

MPLS ネットワークでは, 情報を IP ヘッダではなくラベルにより転送(スイッチング)する。ネットワーク内のルータは, MPLS ノードまたは LSR (Label Switching Router) と呼ばれ, ラベルにより情報をレイヤ 2 でスイッチングする。IP ヘッダとラベルの対応付けは, ラベル・スイッチングの開始と終了時に行なう。複数の IP アドレスを一つのラベルにまとめることも可能である。MPLS のヘッダ構成を図 12 に示す。

Label	Exp	S	TTL	
-------	-----	---	-----	--

Label : Label , 20ビット

Exp : Experimental, 3ビット(Experimental用にリザーブ)

S : Bottom of Stack, 1ビット(ラベルを複数付けた場合の最終ラベル識別)

TTL : Time to Live, 8ビット

図 12 MPLS のヘッダ構成

LSR (MPLS ノード) は, ラベルが付いたパケットを受信すると, 自分の中にある LIB (Label Information Base) と呼ばれるオンボード・データベースと, 受信したラベルを比較する。LSR は LIB に収められている情報により, データを送信する出力インタフェースの決定, パケットへのラベルの追加, 既存のラベルの変更または削除などを行う。LSR は, この後パケットを先程決定した出力インタフェースを使用して転送する。

複数の LSR 間で, 同一ラベルの情報を転送するパスのことを LSP (Label Switching Path) と呼ぶ。LSR は通常 LSP を, LDP (Label Distribution Protocol), TDP (Tag Distribution protocol) などの MPLS 基本プロトコルを使用して決める。この時, OSPF (Open Shortest Path First), BGP (Border Gateway Protocol) などのルーティング

プロトコルの情報が参照される。

3.3.1 MPLS の通信例

図 13 に MPLS の具体的な通信例を示す。

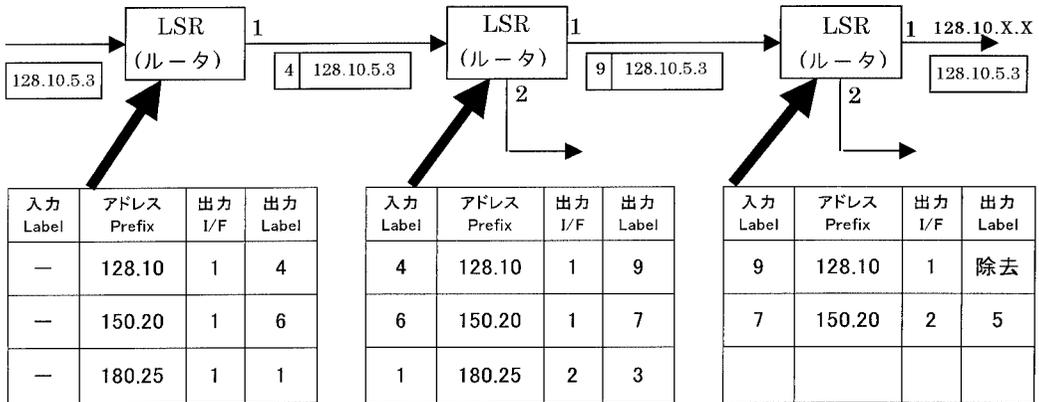


図 13 MPLS の通信

この例では、エッジの LSR (ルータ) に、宛先 IP アドレスが 128.10.5.3 のパケットが到着すると、LSR は自分の LIB の内容に従い、このパケットに '4' のラベルを付けてインタフェース 1 から隣の LSR に転送する。これを受信した LSR は同様に、自分の LIB の中から入力ラベル '4'、宛先 IP アドレス 128.10.X.X の項目を探し、LIB の記述に従ってラベル '4' をラベル '9' に付替えて、出力インタフェース 1 から隣の LSR に転送する。隣の LSR でも同様に、LIB の記述に従いラベル '9' を取り去り、通常の IP パケットとしてそのまま出力インタフェース 1 から 128.10.X.X のネットワークに転送する。

このようにして MPLS の通信が行われる。

3.3.2 MPLS の適用例

MPLS は企業ネットワークではなく、主に電気通信事業者の公衆 IP VPN サービスで利用されている。公衆 IP VPN サービスは、従来のサービスに比べると安価でパフォーマンスが高く、容易にイントラネットを構築できることから、最近ではフレームリレーサービスからの乗り換えや、自営ネットワークからの移行などで急速に増加している。具体的なサービスとしては、日本テレコム の SOLTERIA、KDDI の ANDROMEGA、NTT Communications のスーパー VPN などのサービスが提供されている。

4. 電気通信事業者の LAN 系の新たなサービス

2000 年に入ってから、NTT を始めとする電気通信事業者が LAN と IP プロトコルを前提とした高速で安価な各種の通信サービスを開始している。LAN を対象としたサービスは、ユーザ・網インタフェースが 10 Base T などの LAN インタフェースとなっており、スイッチング HUB などの LAN 機器をそのまま接続できることが特徴

である。このサービスには、エンドーエンドで LAN 間を接続する LAN 接続サービスと、超高速で電話局までのアクセス回線部分のみを提供するサービスがある。LAN 接続サービスは、CWC (クロスウェーブコミュニケーションズ) が「広域 LAN」との名称でサービスを開始して以来、NTT 地域会社や TTNNet などが参入し、サービスを開始している。また、後者の超高速のアクセス回線サービスには NTT Communications の「ブロードバンドアクセス」がある。

一方、IP プロトコルを前提としたサービスには、前章で紹介した MPLS 技術を利用した IP VPN サービスがあり、2000 年 6 月に日本テレコムが開始した。これを追うように、NTT Communications、KDDI、TTNet などがサービスを開始している。

本章では、IP VPN サービスに迫る勢いで増加しつつある、前者の LAN を対象にしたサービスについて紹介する。

4.1 LAN 接続サービス

LAN 接続サービスは、企業などの遠隔地の拠点 LAN を高速で接続するサービスである。このサービスは、レイヤ 2 の MAC 層で回線と接続することにより、ルータを不要としていることが特徴であり、従来の専用回線に比べると極めて安価な高速サービスである。

言い換えれば、地理的に離れているユーザの拠点間の LAN を局内の大きなレイヤ 2 スイッチで接続するイメージとなる。異なるユーザ間は、V LAN (Virtual LAN) で分離することによりセキュリティを確保している。また、レイヤ 2 のサービスであることから、IP VPN のようにプロトコルが IP に限定されることはなく、IPX などの任意のレイヤ 3 プロトコルで利用することができる。

LAN 接続サービスの具体例としては、CWC の「広域 LAN」、NTT 地域会社の「ワイド LAN」および「メトロイーサ」「アーバンイーサ」、TTNet の「ベネリンク」、PNJ C (PNJ コミュニケーションズ) の「Powered Ethernet」、HOTNet の「HOTCN L2L」、NTT Communications の「e VLAN」などが提供されている。これらのサービスはいずれも、ユーザ網インタフェースに LAN の「10 Base T」、「100 Base TX」、「1000 Base SX/LX」などを採用しており、スイッチングハブなどの LAN 機器を直接接続することができる。

提供される回線速度は各事業者により異なり、128 kbit/s から 1 Gbit/s までと多彩である。サービスエリアも事業者により異なる。NTT 地域会社は法的制限から同一県内に終始する回線を提供する。同様に NTT Communications は県間をまたがる回線の提供が中心となる。NTT 以外の事業者には NTT のような法的な制限はないが、全国サービスは少なく、ある地域に限定したサービスが多い。

一方、LAN 接続サービスで保証されるスループットは事業者により異なる。例えば、CWC の「広域 LAN」サービスは STM 方式を採用しており、専用回線と同様に帯域が完全に確保されているが、回線料金はその分若干高めである。逆に、NTT 地域会社のワイド LAN は、同時通信ユーザがいる時は帯域を公平に分割するシェアードアクセス技術を利用したベストエフォート型であるが、回線料金はその分若干割安である。

結局、ユーザがどの通信事業者のサービスを利用するかは、目的がスループットな

のか、回線料金なのか、サービスエリアの広さなのか等によってユーザ自身が比較し選択することとなる。現在、各電気通信事業者が提供している LAN 接続サービスをまとめて表 3 に示す。

表 3 各事業者の LAN 接続サービス

事業者名	サービス名称	提供回線速度	提供地域
CWC	広域LAN	～45Mbit/s	全国
NTT東日本	メトロイーサ	100Mbit/s, 1Gbit/s	千代田, 中央, 港, 江東区
	ワイドLAN	10Mbit/s	東京, 神奈川, 埼玉, 茨城 (各県内に限定)
NTT西日本			大阪, 京都, 兵庫, 石川, 愛媛, 熊本 (各県内に限定)
	アーバンイーサ	100Mbit/s, 1Gbit/s	大阪市内の一部
NTT Communications	e-VLAN	1Mbit/s～100Mbit/s	東京, 神奈川, 千葉, 埼玉
PNJ-C	Powered Ethernet	128kbit/s, 120Mbit/s	全国
TTNet	ベネリンク	10Mbit/s, 100Mbit/s, 1Gbit/s	関東全域, 山梨, 静岡県の一部
HOTNet	HOTCN L2L	10Mbit/s, 100Mbit/s	札幌, 旭川, 苫小牧, 恵庭, 小樽, 江別

4.2 ブロードバンドアクセス

ブロードバンドアクセスは、NTT Communications の超高速アクセス回線サービスであり、最大 2.4 Gbit/s の回線が提供される。この回線は、ユーザ間をエンドエンドで接続するのではなく、ADSL サービスのようにユーザと最寄りの局までのアクセス区間に限定したサービスである。最寄りの局からは、既存の各種サービスに接続したり、局にハウジングしたサーバやルータに接続する。つまり、複数の回線サービスで共用できる超高速の引き込み回線サービスである。提供されるユーザ網インタフェースは、LAN の 10 Base T, 100 Base TX/FX/SX, 1000 Base LX, ATM, T 1 などがある。

ブロードバンドアクセスの料金は安価であり、例えば距離が 1 km までの場合 2.4 Gbit/s 回線が月額 150 万円、100 Mbit/s が 35 万円と従来の専用回線に比べ極めて安価である。

ブロードバンドアクセスの用途としては、ASP へのアクセス回線、データセンターなどが想定されている。

5. おわりに

現在、インターネットの利用は急激に増加しており、これに伴い種々の WAN, LAN の新技術が開発、実用化されている。電気通信事業者もいろいろなサービスメニューを追加し、これらを取り入れようとしている。

本報告では、FTTH, xDSL, IMT 2000 などの WAN 系の新技術と、LAN 系の IPv

6,MPLS について解説するとともに , これらの活用例として電気通信事業者の LAN 系の新サービスについて述べた . あまり細かい技術面には深入りせず , 基礎的な部分を中心としてその技術の背景なども加えることにより , 少しでも分かり易くなるように工夫したつもりである . 本稿が WAN , LAN の新技術を理解する時のお役に立てれば幸いである .

-
- 参考文献** [1] 大高弘浩他, シェアドアクセス技術を開発, NTT 技術ジャーナル, 1998.8
[2] 篠原弘道, 新型 WAN 回線の基礎, NIKKEI COMMUNICATION, 2000.7.17/8.7/8.21/9.4
[3] 郵政省, 通信白書, 平成 12 年版
[4] 郵政省, 第三世代移動通信システム (IMT 2000) の早期普及に向けて, 報道発表資料, 1999 年 9 月 27 日
[5] NTT, 高速光アクセスシステムの国際標準化, 報道発表資料, 平成 10 年 4 月 6 日
[6] URL : <http://www.v6.sfc.wide.ad.jp:80/v6doc/html/node2.html>, IPv6 概要,

執筆者紹介 山 浦 史 雄 (Fumio Yamaura)
1946 年生れ . 1969 年東京理科大学工学部電気工学科卒業 . 同年日本ユニシス(株)入社 . ネットワークシステムの設計・構築・コンサルテーションに従事 . 現在 , ネットワークサービス部インテグレーションサービス室に所属 . 日本フレームリレーフォーラム委員 , および TTC (電信電話技術委員会) 第二部門委員会第三専門委員会委員 .