

■14 群 (歴史・年表・資料) - 1 編 (電子情報通信技術史)

2 章 通 信

■14群 - 1編 - 2章

2-1 アクセス技術

(執筆著：篠原弘道) [2011年10月 受領]

アクセスネットワークは通信ネットワークにおいてユーザネットワークとバックボーンネットワークの間に位置し、ユーザと通信事業者ビルを結ぶネットワークである。本ネットワークはユーザごとに設置されるネットワークであるため、安価な利用料で通信サービスを提供できるよう特に経済性が要求される。またその情報転送能力はネットワークのパフォーマンスを左右することから、提供サービスに対して十分な伝送容量を備える必要がある。19世紀における電話サービスの開始以来、今日に至るまで通信ネットワークはめざましい発展を遂げており、アクセスネットワークにはこれまでメタリックケーブルを伝送媒体としたアクセス技術が使用されている一方、近年の高速インターネットや映像伝送などのサービスに対応するために、伝送媒体として光ファイバを適用した光アクセス技術が主流となってきている。図2・1に主要なアクセス構成を示す。

本節では、アナログ電話サービスから次世代ネットワーク (Next Generation Network: NGN) に至るサービスを提供するアクセス技術の歴史について概説する。

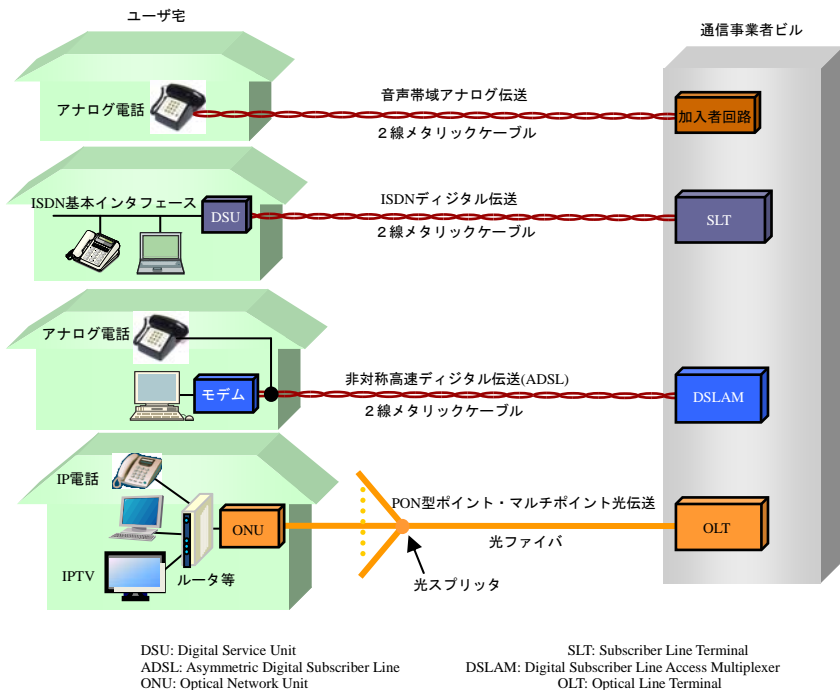


図2・1 主要なアクセス構成

2-1-1 アナログ電話アクセス技術

1876年にAlexander Graham Bellによって電話が発明され、1890年には日本においても電話交換サービスが開始された。以来、通信サービスはアナログ電話が中心であり、通信ネットワークはアナログ電話サービスを提供するために最適な構成をとっていた。アナログ電話のアクセスネットワークには伝送媒体として2本の銅線で構成される1対の平衡対ケーブル(2線メタリックケーブル)が用いられている。3.4kHz帯のアナログ音声信号をベースバンド伝送し、2線4線変換回路を用いることにより2線メタリックケーブル上での送信信号と受信信号の同時伝送を実現している。日本のアナログ電話の加入契約数はサービス開始以来、継続的に増加して1990年代の後半には6100万加入を超えるに至った。その後ISDN(Integrated Services Digital Network)、FTTH(Fiber To The Home)の加入数増加に伴って減少傾向にある。

2-1-2 アクセスネットワークのデジタル化

1980年代になると情報通信の高度化及び多様化を背景としてデジタルデータサービス、ファクシミリサービスなどの非電話系サービスの需要が高まった。非電話系サービスは当初、サービスごとに最適なネットワークを構築していたが、需要の増大に対してサービス個別に設備を増設する必要があるため、経済的なネットワーク構成の実現が困難であり、また将来の発展性に乏しいという欠点があった。特にユーザと通信事業者ビル間のアクセス伝送設備をサービスごとに設けることは極めて非効率である。一方、ユーザの立場からは、サービスごとに加入契約を行って複数回線を引き込むことは不経済であるばかりでなく、サービスごとに番号が異なり利便性に欠ける。こうした背景から電話、データ、画像などの各種通信メディアを64kbit/sの速度を基本とするデジタル信号に統合して提供するサービス総合デジタル網(Integrated Services Digital Network: ISDN)の概念が生まれ、1988年にはユーザと網の分界点における宅内機器と網終端装置との接続規定、すなわちユーザ・網インタフェースの国際標準がCCITT(現ITU-T)において勧告化された。アナログ電話に替わり一般ユーザへ2B+D(B:64kbit/sの情報、D:16kbit/sの信号)のISDN基本インタフェースを提供するアクセス伝送系においては、経済的かつ速やかにサービス提供するために伝送媒体として既設の2線メタリックケーブルを用いて双方向デジタル伝送を行うデジタルアクセス技術が開発された。ISDNデジタルアクセス技術の代表的なものとして時分割伝送方式(TCM伝送方式)とエコークャンセラ伝送方式(EC伝送方式)がある。我が国では1988年にISDN基本インタフェースのサービスが開始され、本格的なデジタル通信時代の幕開けとなった。日本におけるISDN利用はインターネットの普及に伴って伸び、2001年に加入契約数1000万を超えた。その後インターネットアクセスの主流がADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)及びFTTHに移り、減少している。

2-1-3 インターネットアクセスに対応する高速化

1990年代後半からインターネットの普及が急速に進み、新しい情報社会基盤の様相を呈するようになってきた。インターネットのアクセスネットワークとして、従来のアナログ電話回線に音声帯域を使用するモデムを接続してデジタル伝送する形態、あるいはISDN回線が用いられていたが、伝送速度が高々64kbit/sでありデータのダウンロードに時間がかかるた

め、より高速なインターネットアクセスの要求が高まった。このようなブロードバンドアクセスの期待に応じて登場したのが ADSL である。ADSL は既設のアナログ電話を収容した 2 線メタリックケーブル上で通信事業者ビルからユーザへの下り回線の方が高速で、上り回線が低速である非対称のデジタル伝送を行うものである。ADSL のデジタル信号はアナログ電話信号よりも高い周波数帯域を使用して高効率の変復調技術を用いて伝送することにより、アナログ電話との同時利用を可能とするとともに高速デジタル伝送を実現しているため、本システムはサービスへの即応性が高い。日本においては、1999 年に ADSL の商用サービスが開始された。サービス開始当初は下り伝送速度は 0.5Mbit/s であったが、その後 1.5Mbit/s、8Mbit/s、12Mbit/s と順次、伝送速度の高速化が図られ、2004 年には 50Mbit/s まで高速化が進んだ。ADSL の契約数は 2002 年以降急増し、2005 年には 1400 万を超え、ブロードバンドアクセスの普及に大きく貢献した。しかしながら ADSL における実際の伝送速度は通信事業者ビルからユーザまでの伝送距離や 2 線メタリックケーブル特有の雑音によって大きく制限を受けるという問題があった。2006 年以降は FTTH の進展に伴い ADSL の契約数は減少傾向にある。

2-1-4 FTTH による光化

当初のブロードバンドアクセスとして ADSL の普及が進んだが、ADSL のような性能限界がなく広帯域通信が可能な光ファイバを用いた FTTH による経済的な光アクセスシステムが期待されていた。従来光伝送システムはバックボーンネットワークを中心に多重化効果により経済化を図れるネットワーク部分への導入が積極的に進められてきた。アクセスネットワークにおいては 1980 年代になってから高速の専用線サービスを提供する光アクセスシステム、アナログ電話や ISDN を多重化して光伝送するビジネスエリア向けの CT/RT (Central Terminal/Remote Terminal) システムなどが導入されたが、光アクセスシステムの経済的な実現が困難であったため、一般ユーザまでの光化には至らなかった。1980 年代後半になって、光スプリッターを用いた分岐伝送路を用いて通信事業者ビルと複数のユーザの間でポイント・マルチポイント伝送を行い、通信事業者ビル側の設備を複数ユーザで共有することにより経済的な光アクセスシステムを実現できる PON (Passive Optical Network) 技術が提案され、実用化に向けての研究開発が始まった。その後、1994 年から京阪名、立川、浦安、横須賀などで PON 形式の光アクセスシステムについて FTTH 実験が実施された。最初に実用化された FTTH システムは通信サービスと CATV 映像伝送サービスが提供される形態として、1997 年に導入が開始された。また電話系サービスの光化を推進するアクセスシステムとして、ユーザ宅への引き込み線部分の 2 線メタリックケーブルを残して電柱までの光化を実現する π システムの導入が 1998 年に開始された。2001 年には電話系サービスの収容に加えて 10Mbit/s の帯域を複数ユーザが共用するインターネットアクセス機能を備えたシェアードアクセスシステムが導入された。これらのシステムに用いられたのが STM-PON (Synchronous Transfer Mode Passive Optical Network) であり、伝送容量は双方向 16Mbit/s であった。このようなアクセスネットワーク光化の潮流の中、PON に関する国際標準化の検討が進められた。ITU-T においては ATM (Asynchronous Transfer Mode) ベースの B-PON (Broadband Passive Optical Network) の標準化が進められ、G.983 シリーズ勧告として 1990 年代後半から 2000 年代初めにかけて標準仕様が定められた。我が国では高速インターネットアクセスサービスを提供する FTTH

システムとして、伝送速度が下り 622Mbit/s、上り 156Mbit/s の B-PON が 2002 年に導入開始されている。更なる高速化に向け、1Gbit/s クラスの伝送容量をもつ二つの PON の標準化が 2000 年以降開始された。一つは、IEEE802.3ah タスクフォースで標準化が進められた GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) であり、2004 年に標準化が完了した。GE-PON はアクセス区間を 1Gbit/s のイーサネットフレームで転送する方式であり、装置構成がシンプルであるとともにイーサネット系サービスとの親和性が高いため、高速インターネットアクセスや VoIP (voice over IP) などの IP 系サービスを提供するアクセスシステムとして日本、中国、韓国などで広く導入されている。ほかの一つは ITU-T において標準化が進められた G-PON (Gigabit-capable Passive Optical Network) であり、2003 年から 2004 年にかけて G.984 シリーズ勧告として標準仕様が定められた。G-PON は IP 系サービスに加えてアナログ電話や専用線などの既存サービスを提供するものであり、アクセス区間の転送フレームとして B-PON で用いた ATM セルと可変長の GEM (G-PON encapsulation method) フレームから構成される GTC (G-PON transmission convergence) フレームを採用している。伝送速度は 2.5Gbit/s を最大として複数の速度系列がある。G-PON は 2007 年頃から米欧を中心に導入され始めている。我が国においては GE-PON が 2004 年に導入開始され、飛躍的に普及が進んでいる FTTH の主流となっており、2008 年 6 月には FTTH の契約数が 1300 万を超え、ADSL の契約数を上回った。

2-1-5 光映像伝送技術

多チャンネル映像信号を伝送する CATV (Cable Television) は、従来は伝送媒体としてヘッドエンドからユーザまで同軸ケーブルが用いられていたが、伝送品質及び信頼性の向上を図るためにヘッドエンドから光ファイバで配線し、途中のノードで光-電気変換を行い同軸ケーブルでユーザへ配線する光リンクと同軸分配網を組み合わせた HFC (Hybrid Fiber Coax) が主流となっており、従来の同軸 CATV 網に替わり 1990 年頃から導入が進んでいる。CATV システムにおいては残留側帯波-振幅変調 (Vestigial sideband amplitude modulation: VSB-AM) 信号に変調されたアナログ映像信号を周波数多重して伝送している。周波数多重された映像信号を光強度変調して伝送する本方式はサブキャリア多重 (Subcarrier Multiplexing: SCM) 伝送方式と呼ばれている。周波数帯域が 770MHz の代表的な方式ではアナログ映像信号 110 チャンネルの伝送容量を有し、デジタル映像信号であれば 440 チャンネルの標準テレビ (Standard Definition Television: SDTV) を伝送可能である。その後、更なる伝送帯域の拡大を目指して、同軸分配網も光化する FTTH へ向けた検討が進められた。経済的なシステムを実現するために通信用の PON システムで使用している光スプリッタを用いた分岐伝送路を伝送媒体として共用し、波長多重技術を用いて映像信号を重畳する光映像配信システム SCM-PON (Subcarrier Multiplexing Passive Optical Network) が開発された。SCM-PON は前述した STM-PON に波長多重する FTTH システムとして 1997 年に導入が開始された。SCM-PON の伝送特性を改善する技術として FM 一括方式が考案され、1999 年以降 SCM-PON に適用されている。本方式は周波数多重された多チャンネル映像信号を一括して広帯域 FM 信号に変換して伝送することにより、従来の強度変調方式と比較して受信入力光電力が小さくて良く、長距離伝送および光信号の多分岐を可能としている。

2-1-6 将来のアクセス技術

日本においては急速に普及が進む FTTH により高品質・高信頼性のブロードバンドサービスが身近なものとなり, 2008 年には NGN の商用サービスが開始された. 今後の映像配信サービスなどの高度化に向け, 10Gbit/s クラスの高速化を目指した次世代アクセスシステムの検討が進められている. 次世代アクセスシステムの要件として, 既設の光伝送路を利用可能であること, 既存光アクセスシステムと共存できること, また既存システムからのアップグレードが容易であることが挙げられる. 次世代システムの方向性については, 共通の帯域を複数ユーザで共有する TDM (Time Division Multiplexing) タイプの PON の高速化, 及びユーザごとに波長を割り当てて通信帯域を専有する WDM (Wavelength Division Multiplexing) タイプの PON が有望である. TDM-PON の高速システムの例として, 10Gbit/s の伝送容量を有する 10G-EPON (10Gbit/s Ethernet Passive Optical Network) について IEEE P802.3av において標準化が進められ, 2009 年に標準化が完了した. 将来, NGN の進展に伴うサービスのアップグレードに応じて, 既存の光アクセスシステムと共存しつつ次世代 PON システムへのマイグレーションが進展するものと考えられる.

■14 群 - 1 編 - 2 章

2-2 中継伝送技術

(執筆者：萩本和男・守倉正博) [2012年4月 受領]

中継伝送路は通信網内のハイウェイの役割を果たしている。より高速に、より広範囲に、高品質・高信頼の通信を提供するため、伝送路技術は有線、無線の技術を用いて発展してきた。また、伝送路は通信網のコストに占める割合が高く、伝送技術の発展(高速化・大容量化)はそのまま通信コストの低減を促進し、ブロードバンド通信やインターネットなど多様な通信形態を実現する基盤となってきた。ここでは、有線伝送技術による陸と海のハイウェイ、無線伝送技術による空と宇宙のハイウェイの発展の様子を概観する。

2-2-1 有線中継伝送技術(陸のハイウェイ)

(1) アナログ伝送技術の発展

平衡対ケーブルによる無装荷搬送方式が戦前に開発され、長距離伝送に用いられるようになった。日本で開発されたこの方式では、信号電流の減衰を真空管増幅器で補うとともに、ケーブルの構造に工夫を加え漏話を最少に抑えたものである。長距離伝送ではその後同軸ケーブルへと移行していくが、短距離用としては平衡対ケーブルによる搬送方式の開発利用が続き、戦後初期の市外回線増設に大きな役割を果たしてきた。ダイヤル即時化で急増する近距離市外通話の需要に対応するため、平衡対ケーブルを用いる 12 通話路の搬送方式が開発、1956 年から実用化された。1957 年には、既設回線(側回線)を利用して新回線を追加する(重信方式)では中継局の無人化も実現され、通信網の到達エリアが拡大していった。

しかしながら、無装荷ケーブルでは、漏話の問題から電話 60 回線分の搬送が限界であった。大容量化のため信号電流の周波数を高くすると、平衡対ケーブルでは漏話量が増え、また減衰も大きく実用にならない。そこで、高周波でも漏話問題がなく、損失が比較的少ない同軸ケーブルを用いるアナログ同軸伝送方式 C-4M (960 回線) が 1956 年に開発され、1972 年に 10,800 回線を伝送する C-60M 方式まで、飛躍的に大容量化が実現され、急増する市外回線の需要に対応した。

アナログ伝送方式の進歩は、精度の高い高周波発信回路、広帯域の増幅ができる中継器、安価で高性能なフィルタ技術の実現による。周波数分割によるアナログ多重では、発振器とフィルタが要となる。高周波発振器の精度向上のために水晶発振子が改良され、LC 回路に代わるメカニカルフィルタは、小型化と経済性向上に寄与した。また、特性のよい BL コンデンサなどの開発が集約され、長くアナログ多重伝送の課題であった安定な動作が実現した。また、システムの大容量化を実現したのは、高い周波数を扱える真空管とトランジスタに支えられた広帯域回路技術の進歩である。トランジスタ化はまた、伝送装置の小型化と高信頼化を達成した。

(2) 短距離 PCM からデジタル同軸技術へ

デジタル伝送方式は、アナログ伝送方式に比べ、品質、経済性に優れ、データ・画像信号などの伝送に特長を発揮する。その原理は 1939 年に提案されていたが、戦後、半導体技術や高速パルス技術の急速な進歩により、1959 年頃からベル研究所など各国で実用化研究が進

んだ。日本でも 1965 年に近距離 PCM 方式、PCM-24 方式を実用化し、デジタル伝送時代が幕開けた。この方式は、既設の平衡対ケーブルを使用する 1.544 Mbps の伝送路クロックレートを有する方式で、近距離市外回線コストを削減、全国自動即時化に貢献した。

更に、PCM 形多重変換装置が、既設のアナログ電話網をデジタル化するための共通符号化装置として開発され、中継伝送路のデジタル化が急速に進展し、通信網の大容量化が加速することになる。

近距離用デジタル伝送方式の実用化に続いて、同軸ケーブル方式の検討が進み、1975 年世界初の 100M デジタル同軸方式が、1977 年には容量 4 倍の 400M 方式が実用化された。400M 方式は、超高速トランジスタなどの部品技術、高速デジタル回路技術を駆使し、当時としては世界最大の伝送容量を実現し、全国的な伝送網のデジタル化を大きく前進させた。

しかしながら、当時はまだ全デジタル化は達成されていない過渡期であった。そのため、新サービスで需要が伸びはじめたデータなどのデジタル信号を、アナログ伝送路を利用して効率よく経済的に伝送するためのデジタル・アナログ複合方式 DAT-1C が 1974 年に開発された。本方式で開発された変復調回路と等化器デジタル回路技術は、のちの高速モデムなどへ影響を与えている。本方式により、全国主要都市でデジタルデータ交換機 (DDX) によるサービスを展開する道を開き、世界でも早期のデジタルサービスを実現した。

このように発展してきたデジタル同軸伝送技術であるが、100~400 Mbps へと高速化するが、中継間隔が最大 1.6 km と短くなりそれ以上の高速化は困難であった。そのため、デジタル中継伝送は光ファイバケーブル伝送へと移行することになる。

(3) レーザと光ファイバによる伝送技術の革命

メタリックケーブルでの中継伝送路大容量化の限界を超えて、新段階を画したのが光通信方式である。レーザとファイバという二つの光技術が結びつき、デジタル技術の蓄積を活かして、光ファイバケーブルによる伝送方式は開花した。1981 年に登場した世界初の 32 Mbps の実用システム以来、日本はシングルモード光ファイバケーブルを用いた大容量光通信システムにおける研究開発・実用化において、常に世界をリードしてきた。1982 年には通信網デジタル化実現のため 100M デジタル伝送方式が実用化された。F-32M 方式は主に市内中継伝送、F-100M 方式は主に県内中継伝送に用いられ、波長 1.3 μ m 帯における光ファイバの低損失性により、それまでの同軸ケーブル方式に比較して、再生中継間隔の飛躍的延伸 (最大 40 km) が可能となった。長距離基幹中継伝送においては F-400M 方式が実用化され、1985 年までに旭川-鹿児島を結ぶ日本縦貫ルートが完成した。その後、1988 年から、光ファイバの最低損失波長帯である波長 1.55 μ m 帯を用いた F-1.6Gb/s 方式が実用化され、再生中継間隔 80 km でギガビット容量を超える基幹伝送システムが初めて実用化された。

ギガビット容量を超える高速光信号を長距離伝送するには、信号対雑音比 (S/N : Signal to Noise ratio) 特性改善とともに波長分散による波形歪特性改善が重要な課題であった。特に、光ファイバ伝搬過程で発生する波長分散による波形歪みは、高速化に伴って厳しい伝送距離制限を伴う。このため、光ファイバの最低損失波長帯において波長分散を低減した DSF (Dispersion Shifted fiber)、動的単一縦モード発振が可能な DFB-LD (Distributed Feedback Laser Diode)、波長 1.55 μ m 帯で高感受度受信が可能な APD (Avalanche Photo Detector) を用い、単

一モード光信号を強度変調・直接検波 (IM-DD: Intensity Modulation-Direct Detection) する。これにより、群速度分散の影響を抑えつつ、光ファイバの低損失領域 (1.55 μm 帯) を有効に活用することが可能となり、ギガビットを超える高速化と 80 km 以上の再生中継間隔の長距離化を実現した。これらのシステム・デバイス技術の発展において、光ファイバでは、研究開発の早い段階でグレーデッドインデックス形からシングルモード形へ移行し、一貫してシングルモードファイバを本命としたシステム実用化を推進した点や、発光素子である半導体レーザの長波長帯における長寿命、高信頼性を実現した点が技術革新のポイントであった。シングルモード光ファイバケーブルの低損失・広帯域性を最大限に引き出す大容量再生中継伝送システムの可能性を拡大してきた時代である。

F-1.6G 方式導入後、1989 年には、光信号を低雑音・広帯域・高出力に直接増幅可能なエルビウムドープファイバ光増幅 (EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier) による長距離伝送実験が発表され、大容量光伝送システムの大変革時代が到来する。1996 年には、マルチメディアサービスに対応する目的で、光増幅中継を初めて適用した FTM-10G 方式が実用化された。端局中継装置 (送信部・受信部) の間に配置され中継伝送を行う中間中継装置として、従来の再生中継装置に代わり光増幅中継装置を使用することにより、再生中継間隔の飛躍的な延長 (最大 320 km) を図り、経済的な超大容量化が実現された。

光増幅器を用いた長距離光増幅中継が可能となり、伝送距離の制限要因が、それまでの光ファイバ損失による S/N リミットから、光非線形効果と波長分散リミットとなった。このため、外部変調器の活用により波長分散の影響を低減するとともに、端局中継装置 (送信部・受信部) や光増幅中継装置において波長分散による波形歪を補償する分散補償ファイバを適用することで分散リミットが緩和され、10 Gb/s 以上の超高速光伝送システムの実用化に道が開かれた。

EDFA 光増幅器は複数の波長を広帯域に一括増幅できることから、波長多重 (WDM) 技術と組み合わせられて現在までテラビット級の大容量光伝送システムが実用化されている。波長合分波回路として、石英ガラスを用いた Planar Lightwave Circuit (PLC) 技術を用いたアレイ導波路型回折格子 (AWG: Arrayed Waveguide Grating) が実現され、多チャンネル、低損失かつ高信頼な波長多重信号の合分波が可能となった。また、所望の波長を一つの発光デバイスで出力可能な可変波長光源も合わせて実用化された。更には、誤り訂正技術 (FEC: Forward Error Correction) と、既存の光ファイバを半導体レーザで励起することで光ファイバを分布光増幅線路として動作させ高い S/N で伝送可能な分布ラマン光増幅技術が実用化され、EDFA 光増幅中継技術と併用することで、WDM システムの S/N が飛躍的に向上した。2003 年度には 10 Gbps の 80 チャンネル (波) の WDM 光増幅中継伝送システムの運用が開始され、既存の光ファイバにおいて、テラビット級の WDM 伝送システムが実用化された。

(4) 同期デジタルハイアラキー (SDH: Synchronous Digital Hierarchy) の時代へ

初期のデジタル多重を支えた技術としてスタック多重がある。高精度クロックを必要としない、いわゆる非同期多重網に対応した方式である。一方、同期多重はデータ、映像など多様なサービスのため不可欠で、1978 年にデジタルデータ伝送方式に初めて適用された。デジタルであるデータ信号を端末まで同期して伝送することで多重化効率が格段に向上した。1 次群 (1.544 Mbps)、2 次群 (6.312 Mbps) が同期化され、多様なビットレート回線の

混在、低次群から高次群への飛び越し多重、多様な容量の回線設定、パス切替え制御が可能となり、柔軟なデジタル網が実現した。

日本、北米、欧州の異なるデジタル多重の階層を統一するため、ユーザ網間インタフェースとともに伝送路と交換機の間にも世界統一インタフェースを協議し、1988年に新同期インタフェース(SDH: Synchronous Digital Hierarchy)が標準化された。これにより、通信網内の構造が効率化されるだけでなく、通信網間の相互接続が容易となった。1985年には日本でも通信が自由化されるなど、世界的に通信網の多様化が始まった時代であり、かつ、グローバル通信が拡大していった時代でもある。相互接続性は急速に拡大する通信網の構築には必須の条件であった。また、仕様が統一化されることにより装置の共通化が図られ、通信網のコストダウンに大きく貢献している。

(5) コヒーレントの時代へ

2000年代の後半になるとFTTHサービスをはじめとする本格的なブロードバンド化を迎え、従来以上に通信インフラの経済化及びブロードバンドサービスへの即応が重要となってきた。このため、1テラビット容量を超える大容量化を実現する40G-WDMシステムが2007年に実用化された。

40 Gb/s 光信号のWDM伝送では、S/Nリミット及び波長分散リミットに加えて、最大の課題は偏波モード分散(PMD: Polarization Mode Dispersion)による動的な波形歪の克服であった。このため、従来の強度変調直接検波(IM-DD)方式に代わり光の位相情報を利用し光遅延検波を行うDPSK(Differential Phase Shift Keying)方式の適用が検討された。DPSK方式のなかでも、特に4値の位相情報を用いるDQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)方式は、低シンボルレート化によるPMD耐力向上のみならず、高感度化、信号帯域狭窄化による波長多重システムの高密度化が可能であり、今では世界の主要な変調方式となっている。このように、40G-WDMシステムは、光のオンオフではなく光の波の特性(位相や周波数)を用いた新たなコヒーレント通信時代への幕開けとなった。

2-2-2 海底伝送技術(海のハイウェイ)

海底ケーブル通信は、島国である日本にとって、通信網の不可欠な構成要素である。ケーブルや中継器が海底に置かれるため特有の制約があり、陸上方式の進歩と歩調を合わせつつも独自の発展を遂げて、国内・国際通信両面で大きな役割を果たしてきた。基本的な伝送技術は陸上方式と同様な技術が利用されるが、小型で極めて信頼性の高い中継回路、それを海底で長期間守るきょう体、更に8,000m以上深海底に敷設できるケーブルなど、陸上方式とは異なる様々な特徴がある。

1970年代は同軸ケーブル敷設の全盛期であったが、ケーブルや中継器の開発とならんで、敷設の安全性と精度を高める研究が進められ、1971年に新開発の埋設機による海底ケーブル埋設に成功、1975年には敷設船による埋設が可能となった。ケーブルが海底に埋設されることにより、漁具での損傷が減り、通信路の安定性が保たれるようになった。

陸上方式では1960年代以降デジタル同軸方式が展開されたが、海底方式では、デジタル化と光化が一気に到来した。波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の低損失伝送も、光増幅器も、波長分割多重も早期に導入された。1986年には陸上のF-400M方式と整合をとったFS-400M大容量海底中継

光伝送方式が商用開始した。その後、FS-400M方式の4倍の容量を有するFS-1.8G光海底伝送方式が1990年に、更に1995年には光増幅器を中継器とする海底光増幅中継伝送システム(FSA)を実用開発した。このシステムは、2.5 Gbpsの信号を光増幅器により1,000 km伝送を可能とした。また、このシステムは2000年に海底中継器を変えずに10 Gbpsの波長多重システムFSA-WDMシステム(4波)へアップグレードしている。

WDMシステムの実現により、海底ケーブルの伝送容量が格段に拡大し、2000年には容量80 GbpsのChina-US CNが、2001年には容量400 GbpsのJapan-US CNが敷設された。このころから、海底ケーブルでの国際通信が主流となり通信遅延の低減、高速化、通信品質の向上が図られた。また、国内・国際双方での伝送路の大容量化と通信コストの低減によりこのころからインターネットが急速に拡大することになる。

2-2-3 地上固定無線技術(空のハイウェイ)

国内の長・中・短波による無線公衆通信は、1908年銚子無線電話局の開設によって始まった。固定通信には主に短波帯が用いられ、特に戦後荒廃した市外回線整備の一環として、主要都市間の遠距離通信、地域内通信、本土と島嶼間、島嶼相互間の通信、更に防災用通信に利用された。

超短波帯の公衆通信への本格的な利用は、1940年津軽海峡の石崎―当別間に60 MHz帯による多重無線回線(6チャンネル)に始まる。1948年には全国縦断の多重無線回線(VA-6方式)が建設され、1951年には200 MHz帯を用いた12チャンネルの多重方式(VF-12方式)が開発、導入された。しかし、その後のマイクロ波帯における多重無線方式の開発に伴い、現在では災害時における通信などに用いられている。

地上固定無線通信の中心的な周波数帯であるマイクロ波帯は、長中短波帯や超短波帯に比べて使用周波数帯域が非常に広く、その利用帯域幅は約100~1,000倍になる。1950年代は市外電話サービスの即時化に伴う回線需要の伸びやテレビ放送の全国拡大に伴うキー局から地方のテレビ局へ番組を配信するテレビ中継網構築といった背景から大容量伝送方式の開発が求められていた。国内におけるアナログマイクロ波地上固定通信は、1954年に東京~大阪間の電話通信容量360回線または白黒TV1回線伝送の方式(4 GHz帯, SF-B1方式)に始まる。その後、送理論の確立、送信電力、雑音指数、アンテナ特性、歪補償器などの新しい技術の向上により、**図 2・2**に示すように1983年には5,400回線多重(6 GHz帯, 6L-A1方式)が実現された。途中、部品技術の発展に伴い、1965年には2 GHz帯 UF-B4方式で初めて装置の全固体部品化が図られ、それ以前の真空管を用いたものと比べ、格段の小型化、消費電力の大幅な低減による経済化、高信頼化を実現している。

アナログマイクロ波地上固定通信網の広がり、新ルートの開発が困難、多重度の増大に伴う多重化装置のコスト上昇が問題となり、干渉に強く、多重化装置が経済的なデジタルマイクロ波通信方式が求められた。世界で初めて実用化されたデジタルマイクロ波通信方式は、1969年2 GHz帯を用いた7.876 Mbit/s×2を伝送するPCM変調による短距離デジタルマイクロ波通信方式(2S-P1方式)である。**図 2・3**に示すように、1970年代から1980年代にかけて、大容量化を実現するための変調方式の多値化、ダイバーシチ、等化器、誤り訂正などによるフェージング補償技術や垂直、水平偏波の共用技術の確立などの技術の進展を背景に周波数利用効率の向上と伝送路コストの低減を図る方式の開発が進み、1989年には

256QAM 変調方式を用い周波数利用率 10 bit/s/Hz を有する方式 (4/5/6G-400M 方式) が開発された。現在でもこれ以上の周波数利用率は実現されていない。

また、1976 年には、20 GHz 帯を用い 400 Mbit/s を伝送する世界初の超高速デジタル地上固定通信方式 (20L-P1 方式) が東京-横浜、大阪-神戸区間に実用化された。しかし、中継距離が数 km と短く、建設・運用コストが高く、実際の導入は一部のみであった。

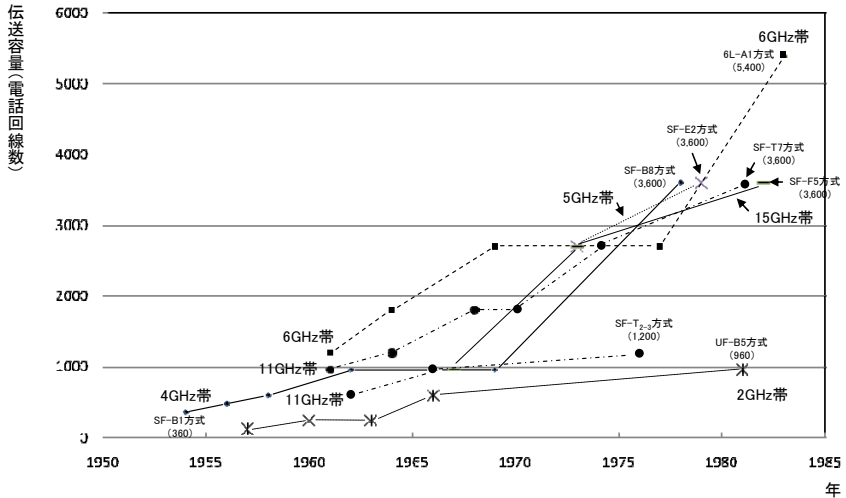


図 2-2 周波数帯別システム伝送容量の伸張状況 (アナログ)

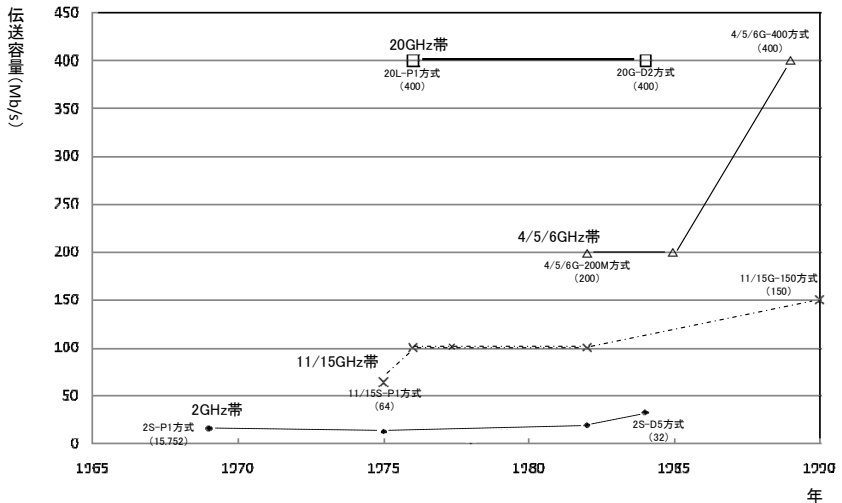


図 2-3 周波数帯別システム伝送容量の伸張状況 (デジタル)

一方、陸上伝送と同様、1990年代に入ると無線中継にもSDHが導入されるようになり、有線/無線の網アーキテクチャが統一されるようになる。1990年に16QAM変調を用いた4/5/6G-150M方式及び256QAM変調を用いた4/5/6G-300M方式が、更に中短距離用として11GHz/15GHz帯を用いた11G-150M、15G-150M方式も実用化された。

以上の特に長短波帯、2~20GHzマイクロ波帯の各方式及び技術開発の流れを図2・4に示す。

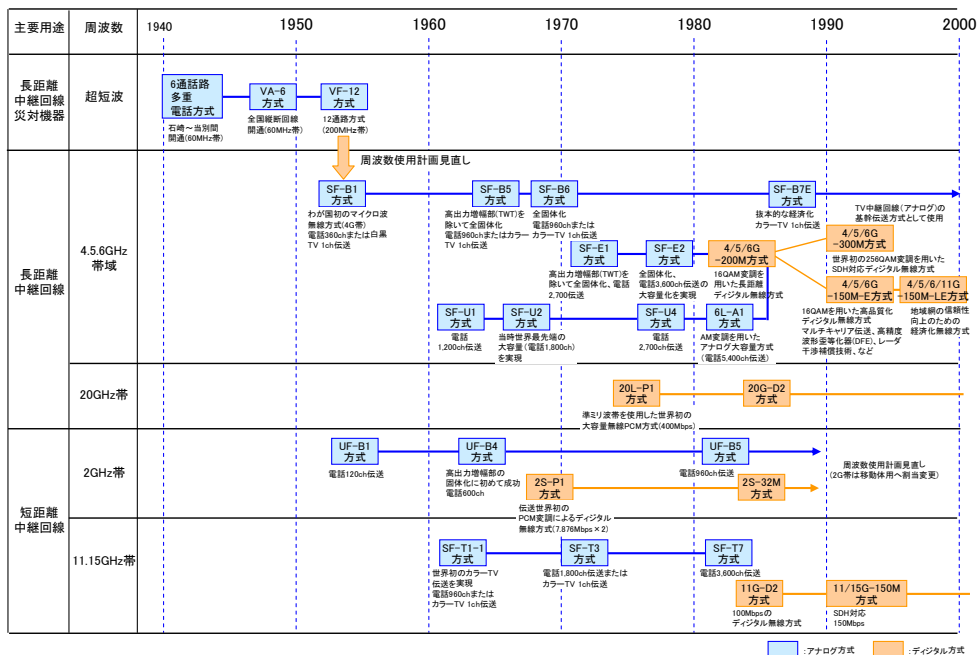


図2・4 中継系無線技術における技術開発の流れ

2-2-4 衛星通信技術 (宇宙のハイウェイ)

世界的に見て公衆通信の最初の衛星は、1960年にアメリカが打ち上げたエコー衛星であるが、衛星表面で電波を反射する受動形衛星であり、地上に大型の受信設備を必要としたため、国際間の遠距離通信には適していなかった。その後、1962年、1963年にAT&Tのベル電話研究所がNASAの協力でテルスター1号、2号を打ち上げた。また、テルスターと前後してNASAはリレー衛星を計画し、1962年から64年にかけてリレー1号、2号が打ち上げられた。リレー衛星では、63年、NASAのモハービ局〜リレー1号衛星〜日本の太平洋横断ルートで受信実験が行われたが、映像はケネディ大統領暗殺というショッキングなニュースであったことは有名な話である。なお、リレー2号では、1700MHzの送信機が設置され、これによってテレビ送信試験が可能となり、64年にはテルスター2号によってはじめてヨーロッパ向けのテレビ送信実験を行い、成功を取めた。

63年、NASAは人類初の静止衛星を目指したシンコム1号を打ち上げたが、通信機器の故

障のため失敗。1964年のシンコム3号が赤道上の静止位置に配置され同年10月に行われたオリンピック東京大会でテレビ中継用として利用された。

64年、ワシントンにて日本を含む11か国が「世界商業通信衛星組織に関する暫定制度を設立する協定」に署名し、世界商業通信衛星組織（インテルサット）が暫定制度として発足した（1973年に「国際電気通信衛星機構」として恒久化）。65年～69年にインテルサットI号（大西洋上）、II号（太平洋上）、III号（インド洋上）が相次いで打ち上げられ衛星通信のグローバルシステムが完成した（1975年インテルサットIV号A大西洋上が追加）。

初期のインテルサットはテレビ1チャンネル（または電話240回線）の容量であったが、III号系ではテレビ4チャンネル（または電話1,200回線）、IV号A系ではテレビ2チャンネル及び電話6,000回線以上といったように通信容量が順次拡大された。衛星の寿命も順次延び続け、80年代へ向けてテレビ2チャンネル及び電話12,000回線以上のV号系衛星の開発が積極的に進められた。

83年以降、インテルサットはV号、V号A、VI号衛星により、衛星の大容量化を図るとともに、デジタル衛星通信方式として、トランスポンダ当たり最大1,600チャンネル（64 kbit/s）回線を収容可能とするTDMA（Time Division Multiple Access）方式、企業顧客向けに56 kbit/s～1.5 Mbit/sクラスの高速デジタル専用回線を提供するIBS（INTELSAT Business Services）方式、FDMA（Frequency Division Multiple Access：周波数分割多元接続）により64 kbit/s～44.736 Mbit/sの種々の伝送レートを提供するIDR（Intermediate Data Rate）の各方式を導入してきた。

日本では1983年に打ち上げられた実用通信衛星CS-2を用いて商用衛星通信サービスが開始された。導入当初、衛星通信は災害時の通信確保、離島、過疎地への通信回線作成、地上回線のバックアップ、電話網総括局（RC）間中継回線、デジタル専用線サービスなどに利用された。以来、公衆通信網における中継手段としての利用拡大を経て、近年は地球局装置の小型化、低廉化によって固定運用のみならず、移動体などからのアクセス手段としての利用も増加している。

図2・5に、国内衛星通信システムの流れを示す。CS-2利用開始からの5年間は衛星通信の利用法を模索した時代で、様々な利用方法が試みられた。1983年に、1トランスポンダ当たり電話480回線などを収容するRC局間中継方式（SK-10方式）、電話672回線（最大）などを収容する離島中継方式（SC-20方式）、電話132回線とTV1チャンネルを収容する車載局用衛星通信方式（SC-01T方式、SK-01T方式）が実用化された。1985年には64 k～6.3 Mbpsのデジタル専用線サービスを提供する衛星デジタル通信サービス（SDCS）、更にスペクトラム拡散を適用し小型地球局に離島の小容量回線を収容する離島小容量衛星通信方式（SC-30方式）も開始している。また、集中局（TC）一端局（EO）間2ルート化回線（SK-40方式）や孤立防止用回線（SC-31方式）は1986年に導入された。

1980年代後半、衛星通信はISDNを構築する基幹技術の一つとして位置づけられたが、国土が狭い我が国に適した利用法は必ずしも明確ではなかった。こうした状況で、公衆通信網における衛星通信の有効な利用形態の考察から提案されたのが、衛星中継網方式（DYANET）である。DYANETは「離島、災害、臨時」以外に衛星通信の適用領域を拡大したもので、市中継局間のあふれ呼をデマンドアサインTDMA方式によって呼ごとに衛星回線に割り当

て、共通迂回中継を実現した。DYANET は 1988 年打上げの CS-3 を用いて商用化され、その後 1991 年に Ku 帯を利用して ISDN 加入者を収容する ISDN 中継系・加入者系統合衛星通信方式 (DYANET II), 1993 年には C 帯を利用する離島統合衛星通信方式 (DYANET (C)) へと拡張, 1996 年には 3 種類の DYANET を統合し, いずれの周波数帯でも中継網として利用可能とした公衆網統合衛星通信方式 (DYANET-X) へと発展した。

2000 年代に入ると, 光ファイバ中継網の発達によって衛星迂回中継の意義が薄れつつあった。このため, 制御が複雑で高い送信電力を要する TDMA 方式に代え, FDMA 方式を基本とするマルチキャリア・マルチレート伝送を採用し, 地球局の小型・経済化を図ったインフラ衛星通信システムが 2005 年に導入され, 離島, 災害対策向けとして現在に至っている。

公衆網における利用と並行し, 1990 年代には民間衛星通信事業者の発足にも伴って企業などによる自営網への適用や, コンシューマ系の新サービスも台頭した。

1989 年に規格が制定された超小型地球局 (VSAT) を用いる各種システムや, 下り回線に高速な衛星通信, 上り回線は電話網を利用して高速アクセスを実現する衛星インターネット接続サービスなどが代表的である。また, 1996 年には S 帯を用いて船舶などの移動体に電話, データ通信サービスを提供するマルチビーム移動衛星通信方式が導入されている。更に 2007 年には, Ku 帯を利用して船舶とのブロードバンド通信を可能にしたモバイルマルチキャスト衛星通信システムも運用を開始している。

一方, 世界に眼を向けると, インマルサット (INMARSAT) は, 全世界をカバーする四つの静止衛星を利用して移動衛星通信サービス (海事衛星通信サービス, 携帯移動衛星通信サービス, 航空衛星通信サービス) を提供している。衛星～移動地球局間のサービスリンクは L 帯 (1.5 / 1.6GHz) 帯, 衛星～陸上地球局間のフィーダリンクは, C 帯 (4 / 6GHz) 帯を使用している。インマルサットの各種通信システムの諸元を表 2・1 に示す。インマルサットは 82 年にアナログ通信方式 (標準 A システム: 07 年 12 月末に終了) のサービスを開始したが, その後, 後継として 93 年 9 月から標準 B システムのサービスを開始した。船舶搭載型システムとして利用されており, 電話 (音声, ファックス, データ通信), テレックス及び 64 kbit/s の高速データ通信 (HSD: High Speed Data, 00 年開始) が可能である。また同時期に, 標準 B を更に小型化し, 陸上使用も可能とした標準 M システム (電話, FAX, データ) によるサービスも開始した。

インマルサット Aero システムは航空機搭載用のデジタルシステムであり, 92 年にサービスを開始した。航空機に搭載するアンテナ利得の違いにより, Aero-L システム (パケットデータ通信のみ) と Aero-H (電話: 音声, FAX, データ通信) システムがあるが, 後者が Aero システムの主力となっている。全世界的な遭難・安全システム (GMDSS) の導入に向けて, その主要システムである標準 C システム (低速データ通信用) も 92 年から外国海岸地球局経由でサービスを開始した。また, インターネットの普及に伴って標準 C システムを用いたメール配信サービス (Sat Mail-C) も 00 年 2 月から開始した。

インマルサットは第 2 世代衛星の後継機として, グローバルビームとスポットビームを有する第 3 世代衛星を 96 年から順次打ち上げ, 陸上移動通信を主な市場とするスポットビームを用いた小型軽量の可搬型ミニ M 設備を用いるサービスを導入した。また, ミニ M を基本とし, 64kbit/s の高速データ通信を可能とする M4 サービスも 01 年 2 月から開始されたが, 遠隔地からのインターネットアクセス, テレビ電話などの画像伝送が容易であったことから

表 2・1 インマルサットの通信システム

システム		A	B	C
変調方式 (主CH)		FM (アナログ)	O-QPSK	BIT/SK
伝送ビットレート		—	24kbit/s	1.2kbit/s
伝送 メディア	音声	FM	16kbit/s/APC-MLQ	64kbit/s/IMBE
	FAX	みなし	9.6kbit/s	2.4kbit/s
	データ	みなし	9.6kbit/s	2.4kbit/s
交換方式		回線交換	回線交換	パケット交換
誤り訂正方式		—	3/4 ビタビ	1/2 ビタビ
アクセス方式		FDMA	FDMA	TDMA/TDM
サービス開始時期		1982 年	1993 年	1991 年
特徴、備考		HSD (64kbit/s) あり 2007年末にサービス終了	HSD (64kbit/s) あり	EGC (放送モード)、 データレポーティング、 ポーリング機能

システム		M	ミニ M	M4	BGAN
変調方式 (主CH)		O-QPSK	O-QPSK	O-QPSK (ミニ M) 16QAM (64kbit/s HSD)	$\pi/4$ -QPSK/16QAM (下り) QPSK/16QAM (上り)
伝送ビットレート		8kbit/s	5.6kbit/s	5.6kbit/s (ミニ M) 134.4kbit/s (64kbit/s HSD)	~ 604.8kbit/s
伝送 メディア	音声	4.8kbit/s/AMBE	4.8kbit/s/AMBE	4.8kbit/s/AMBE (ミニ M)	4kbit/s/AMBE+2
	FAX	2.4kbit/s	2.4kbit/s	2.4kbit/s (ミニ M)	みなし
	データ	2.4kbit/s	2.4kbit/s	2.4kbit/s/64kbit/s	~ 492kbit/s
交換方式		回線交換	回線交換	回線交換 / パケット交換	回線交換 / パケット交換
誤り訂正方式		3/4 ビタビ	2/3 ビタビ	3/4 ビタビ (ミニ M) 1/2 ターボコーディング (HSD)	ターボコーディング (可変)
アクセス方式		FDMA	FDMA	FDMA	TDMA/TDM
サービス開始時期		1992 年	1996 年	2000 年	2005 年
特徴、備考		フェーズドアレイ使用	スポットビーム利用、SIM カード利用、フェーズドアレイ使用	ミニ M に 64kbit/s 伝送機能を付加 パケット交換 (インターネットベース)	ミニ M 設備程度のアンテナ、音声通信と IP データ通信を同時に利用可能

HSD: High Speed Data (64kbit/s)
APC-MLQ: Adaptive Predictive Coding with Maximum Likelihood Quantization
EGC: Enhanced Group Call
M4: Multi Media Mimi M
IMBE: Improved Multi-Band Excitation
AMBE: Advanced Multi-Band Excitation

利用範囲が拡大された。02 年には、最大 64 kbit/s のデータ送受信が可能なインターネットアクセスサービスとして MPDS (Mobile Packet Data Service) を開始し、船舶に対して同機能を標準装備したインマルサット Fleet システム F77 を開始した。04 年、蓄積型双方向データ通信サービスであるインマルサット D+サービスを開始し、同年 7 月 1 日から自己警備として

船舶保安警報装置 (SSAS : Ship Security Alert System) の設置が義務化されたことから, D+ が通信手段の一つとして利用されている.

05年に打ち上げられた第4世代衛星にはナロースポットビームが搭載され, 衛星を経由した音声・ISDN・IPパケット通信(最大492 kbit/s)のサービスが利用可能となった. サービス開始時点では, 日本は名古屋以西がインド衛星のカバレッジ範囲であったが, 08年8月の第4世代衛星3号機衛星の打上げ, 及び09年2月の衛星再配置が完了し, 日本全土を含めた全世界でのサービスが可能となった.

■14 群 - 1 編 - 2 章

2-3 サービス提供技術

(執筆者：三宅 功) [2011 年 10 月 受領]

1854 年、再度来航したペリーが幕府に献上した電信機によって、日本人はエレキテルの応用である電信技術に初めて接し、その重要性を理解した明治政府は 1868 年に電信の官営を廟議決定、翌年には東京-横浜間で電信サービスを開始した。その後、1876 年にベルが電話機を発明すると、翌年には工部省が早速その技術を輸入して実験、国産化に着手し、1890 年には電話交換サービスが東京、横浜両市及び両市間で始まった。それ以降、通信サービスは幾多の大きな技術革新を経て、高速大容量化、サービスの多様化、高機能化及び経済化を果たして今日に至っている。

本節では、基本的な通信サービスである加入電話（固定電話）サービスを実現するネットワーク技術の歴史について、ノードシステムを中心に重要な技術革新をピックアップしながら述べる。加えて、企業活動を支える重要なサービスとして発展したデータ通信サービスについても触れ、電話サービスやデータ通信など複数サービスの統合を目指した ISDN 以降のサービス統合ネットワークとその実現技術について述べていく。なお、通信サービスには移動体通信（携帯電話）サービス及びインターネットサービスも当然含まれるが、それらの技術史については、それぞれ本編 2-4、2-5 節に記述されているので当該節を参照されたい。

2-3-1 アナログの時代

戦災により半数以上が失われた全国の加入電話は、1950（昭和 25）年には戦前の最高水準である 108 万を超えるまでに復旧した。このとき、経済復興に伴い加入申し込みは増加する一方で、電話の架設が追いつかない状況、すなわち「積滞」が深刻化していた。当時電電公社は、加入電話の更なる増設を行う一方で公衆電話の増設と電報サービスの充実を積極的に押し進めることで、増大する通信需要への当面の対応策とした。

また、当時はオペレータに市外通話を申し込んでから電話を切って待つ待時接続が中心であり、東京-大阪などの主要なルートにおいても二時間以上待たされることが少なくなかった。この状況を改善するために、市外回線の増設とともに市外台オペレータによる手動即時サービスを実施したが、急増する市外電話需要に対しては限界があり、全国に渡るオペレータを介さない接続、すなわち全国自動即時化が切望されていた。そのような背景のなか、自動交換を実現する国産のクロスバ交換機の研究開発が進められた。

自動交換機は二つの主要な機能からなる。一つは通話路系であり通話信号を伝達する通話路スイッチなどから構成され、もう一つは制御系でありダイヤル信号を受けて接続の選択を指示する装置である。

クロスバ交換機では、通話路系を構成するクロスバスイッチは入り線のつながる保持パーと出線のつながる選択パーで構成される。各パーの電磁石が制御装置の指令で動作すると、パーの接点が閉じて入り線と出線が接続される。複数のクロスバスイッチを何段かの群に分けて結ぶことで、多数の通話路が形成される。一方、制御系は付線論理、つまり継電器と複雑な配線からなる計数、蓄積、変換回路などを組み合わせて機能を実現している。当時、安定した論理素子としては継電器しかない時代であったため、これは新機能を追加するたびに

回路の改造が必要となる融通性のない方式であったが、交換制御の仕組みがここで明らかにされ次期交換機へ受け継がれた。クロスバ交換機の開発では、高い信頼性で大量生産を実現するために、重要な継電器、クロスバスイッチなどの自動組み立て化、無調整化などの生産技術、また試験方法の整備など品質管理技術も確立している。

1963(昭和38)年には、長距離の相手にもダイヤルを回して直接通話できる初の長距離自動即時サービスが東京-大阪間で始まり、その後の全国展開において、クロスバ交換機技術が大きく貢献した。

一方、1945(昭和20)年にノイマンによるストアードプログラム制御方式が提案されて以降、本制御方式による電子交換機の研究開発が進められていた。クロスバ交換機は付線論理による制御であるため新機能の追加が困難であるのに対して、ストアードプログラム制御方式は、電子交換機の記憶装置に書き込まれたプログラム(ソフトウェア)によって制御を実行するため、プログラムの変更でサービス追加に対応可能でありサービスの多様化に対して柔軟性が高い方式である。この電子交換を実現するためのプロセッサの研究開発が進められ、その成果として空間分割形電子交換機D10の商用システムが開発された。D10の通話路部は小型のクロスバスイッチを用いた空間分割形であり、制御系は交換機用プロセッサを搭載している。本システムは、加入者局に用いた場合で約9万の加入者に対応できるものであった。これ以降ソフトウェア制御により、多様なサービスが実現されていくことになる。

2-3-2 デジタルとサービス統合の時代

高い通信品質を経済的に実現する、将来の高速大容量の情報通信基盤として、ネットワークのデジタル化の研究開発が進められた。これは伝送のデジタル化と、クロスバスイッチを用いていた交換機D10を通話路系も含めてデジタル化することにより実現される。

1980年代初期、ネットワークのデジタル化を実現する交換機として、中継交換機D60、加入者交換機D70が相次いで商用化された。デジタル交換機の小型化、経済化を実現するためには、VLSI技術が不可欠であり、特に加入者回路のLSI化が重要な技術であった。デジタル交換機の通話路スイッチはメモリ素子などの電子回路で構成されているため、従来のアナログ交換機のように大電流、大電力を通すことが困難である。そのため、アナログ交換機では通話路の後段に配置し共用していた信号トランクや通話トランクの機能を、加入者ごとに通話路の前段に配置する必要があり新たな加入者回路が開発された。

また、制御系においても通話路系装置の接続制御、信号処理及び保守運用機能などの複雑な制御が必要となるため、マルチプロセッサ制御技術が確立された。これは、複数台のプロセッサを設置して機能や負荷を分担し、交換処理全体を実行させる方式である。D70の場合、呼制御処理、加入者線、中継線、共通線の各信号処理、保守運用のための処理などに交換処理全体を機能分割して、各プロセッサに機能分散しており、更に各機能は処理に応じて負荷分散されている。なお、呼制御処理では $n+1$ 重化、その他の処理装置では二重化の冗長構成をとっている。以降本システムの導入を中心にネットワークのデジタル化が進められ、1997年にデジタル化が完了した。

一方、当時ネットワークのデジタル化と併せて、サービス統合デジタルネットワーク(ISDN)構想が国際標準化機関CCITT(現在のITU-T)において盛んに議論されていた。ISDNは、電話のような音声通信に加えてコンピュータ間のデータ通信あるいは映像通信を同じ

デジタル情報として統一的に扱うことで高品質かつ経済的なネットワークサービスが実現可能であり、合わせて端末-端末間をエンドエンドでデジタル化するものである。我が国では、世界に先駆けNTTがINSサービスとして1988年に提供開始した。

ISDNサービスは、前述のデジタル基盤を活用し、新規開発したISDN用交換機(ISM)がサービスごとに呼を振り分けることにより実現している。INSサービスは、電話利用以外にPOS伝送システムや遠隔モニタリングシステム、その後インターネットアクセスなどにも広く用いられた。

このデジタル化に併せて、新たな信号方式の研究開発が進められ導入された。信号方式とは、通信端末どうしを接続するための各種情報を端末と交換装置、交換装置と交換装置間で送受するための条件を定めたものであり、電話網においては、前者の信号方式である加入者線信号方式と、後者の局間信号方式の二種類がある。

従来、交換装置間の信号送受は通話路に対応して信号路を必要としていたが、新たに導入した共通線信号方式では通話路とは独立に専用のチャンネルで信号の送受できるようになり、信号路の使用効率が向上し処理できる信号の種類も増加した。また、この共通線信号を運ぶ共通線信号網を構築したことにより、従来交換装置において行っていた複雑なサービスを交換装置から分離し、共通的なサービス処理装置で実行することで、フリーダイヤルなどの高度な接続サービスが実現できるようになった。

2-3-3 データ通信

電話サービスを中心とした歴史について述べてきたが、ここでデータ通信に関するサービスの変遷、技術の歴史について述べる。

現在インターネットとして広く普及しているデータ通信は、加入電信サービス(テレックス)までさかのぼる。1956年に開始されたテレックスは高度成長期の企業活動を支える重要な通信サービスであった。加入電信網は、ダイヤル自動交換と直流伝送によるデジタル通信網として、番号体系などの違いから電話網とは別の網により構築された。当初はメッセージ通信を主たる目的としたサービスであったが、1972年の公衆通信網の開放に伴い加入電信網とコンピュータとオンライン接続することが可能となり、コンピュータ間通信の一翼を担うサービスとなった。

1970年代には、コンピュータの利用拡大に伴いデータ通信サービスの拡充と高度化が求められるようになった。このため、時分割通話路技術やパケット通信技術によるデジタル通信サービスとして、1979年に回線交換サービス(DDX-C)、1980年にはパケット交換サービス(DDX-P)が開始され、その後ISDNを介したパケット交換サービス(INS-P)へと発展し、大容量化と高速化が図られた。

1980年代に入ると、デジタル化や光伝送の技術革新が進み、またデータ通信を利用するコンピュータの性能も格段に向上してきたため、更に高速なデータ通信サービスのニーズが高まってきた。DDX-Pに用いていたX.25パケット通信プロトコルは、リンクバイリンクの伝送誤り回復手順及びエンドエンドの誤り回復手順により、高い通信品質を維持することを可能としていたが、一方で通信速度(スループット)の高速化については処理負荷が大きい難点があった。そこで、1994年にはX.25パケット通信プロトコルの伝送誤り制御を簡略化したフレームリレー通信プロトコルの確立、及びそれを用いた新たなフレームリレーサービ

スが開始された。更に、ブロードバンド時代の到来に向け研究開発が行われていた高速広帯域化した ISDN、すなわちブロードバンド ISDN の基本的な通信プロトコルである ATM 技術を用いたセルリレーサービスが 1995 年に開始された。

2-3-4 マルチメディア、ブロードバンドの時代

先に述べたように、ISDN によりネットワークのデジタル化及びサービス統合化が図られ電話サービスやデータ通信に利用されていたが、コンピュータ技術の発展により映像通信や高速広帯域のデータ通信へのニーズが高まってきた。そこで、従来のアナログ電話、ISDN、そして当時研究開発が盛んに行われていた広帯域 ISDN (B-ISDN) まで共通のプラットフォーム上で提供できることを目的に、新ノードシリーズの研究開発が行われた。新ノードシステムでは、機能の階層化とモジュール化を徹底し、性能アップのための必要最小単位となる機能ブロック構成を確立することで、機能の追加変更を容易にしている。ハードウェアはプロセッサ、STM スイッチ、ATM スイッチをコアとして、それぞれのインタフェースの統一化を行い、必要な機能ブロックを規模に応じてコア部分に付加することで様々なサービスを実現するノードを実現することができる。また、ソフトウェアについては、プロセッサ置換の実現や通信プロトコル、システム管理機能の変更箇所局在化等を目的として、ソフト構造の階層化を実現している。

この技術により、電話サービスから高速広帯域のデータ通信サービスまで多種多様なサービスを、統一したプラットフォームで経済的かつタイムリーに提供することができた。

その後、インターネットの爆発的普及により、インターネットの主要な実現技術である IP ネットワーク技術の技術革新及び経済化が進み、今日の IP 技術をベースとしたサービス統合ネットワーク、次世代ネットワーク (NGN) の研究開発に向かっていったが、この NGN を実現するための重要なサービス統合を実現するソフトウェア技術、ネットワークの運用技術等、様々な技術はこの ISDN 以降の技術をベースとして用いられている。

■14 群 - 1 編 - 2 章

2-4 移動体通信／携帯電話システムの歴史

(執筆著：尾上誠蔵) [2010年1月 受領]

携帯電話は、いまや一人に一台もつ生活の必須アイテムとして、単なる「移動電話」としてだけではなく、情報アクセス、非接触 IC カード機能による決済、カメラ、ワンセグ TV などといったパーソナルな生活の必需品となっている。しかし、その歴史を振り返ると、無線技術として、いかに安定的、効率的、高品質に多数のユーザの通信を実現するかを追求し、一方ネットワーク技術として、いかに自由に動き回るユーザの位置を特定し、追跡して通信を成立させるか、ユーザニーズに従って通信を高度化するか、といった技術発展の進展であった。本節では、携帯電話以前の自動車電話、船舶電話、ページャまで歴史を振り返り、システム発展とともに、そのなかで実現されたエポックな技術の抽出とその効用を示す。

世界最初の自動車電話は、米国のセントルイス市内で 1946 年にサービスが開始された。150 MHz 帯において、空き無線チャンネルをユーザが選択し、通話はプレストーク方式(半二重通信)であった。

1964 年には IMTS (Improved Mobile Telephone Service) が実用化された。IMTS では現在の電話と同じ全二重通信が実現され、併せて、空き無線チャンネルを自動選択する無線端末が実用化され、ユーザの利便性が向上した。

また、陸上移動無線技術には欠かせない電波伝搬特性の解析が 1960 年代に進んだ。電電公社による移動伝搬実験を通して、CCIR SG-5 においてグリーンプックとして 450 MHz 帯と 900 MHz 帯における基準伝搬曲線(奥村カーブ)が掲載され、広く海外でも利用された。また、奥村カーブを基に伝搬損失を容易に推定する推定式(奥村・秦式)も同様に勧告として採択された。これらにより、陸上移動通信における電波伝搬特性が容易に推定することが可能となった。

また、自由に動き回る移動体を呼び出す方式として、1958 年に米国ベスシステム社がオハイオ州コロンバスでページャサービス(ベルボーイサービス)開始した。世界最初のページャシステムである。交換局のオペレータが固定電話からの呼び出しを受けて無線呼び出し番号をダイヤルする方式であった。当時の無線ゾーンは、まだ大ゾーン方式であり、そのゾーンに在圏する移動体との通信を行うものであった。

1968 年に日本の電電公社がページャ(ボケベル)サービスを東京 23 区で開始した。この方式では、当初は 150 MHz 帯が用いられたが、容量の逼迫により、1978 年(昭和 53 年)には 280 MHz 帯を用いたデジタル伝送方式が導入された。また、無線ゾーンを複数の小ゾーンに分割し、複数局から同期して同一の信号を送出する複局送信呼び出し技術の適用により、広いエリアを同一周波数でカバーできるようになった。あわせて、携帯端末技術として、間欠的に受信機電源をオンオフすることにより、電池の長寿命化、端末小型化を図るバッテリーセービング技術が開発され導入された。

1979 年には、日本全国の内航航路を航行する船舶へ電話サービスを提供するシステムとして自動内航船舶電話方式のサービスが開始された。本方式では、音声信号伝送には、250 MHz 帯のアナログ FM 方式が用いられた。日本全国の沿岸を約 100 ゾーンでカバーしていた。100 のゾーンのどこに船舶が在圏しているかといった位置情報をネットワークに登録する位置登

録技術が適用された。位置登録技術は、現在のセル型移動通信システム（周波数効率を上げるため、小さな無線ゾーンを稠密に敷き詰めて無線エリアを形成する方式）において、任意の位置にいるユーザに着信させるための基礎技術である。

1979年には、電電公社により自動車電話サービス開始（大都市方式）が東京23区で開始された。これは、周波数利用効率の向上により多数の加入者を収容可能であるセルラ方式（セルラ方式については公開資料で定量的評価をしたものは電電公社電気通信研究所の荒木（1968年）の提案が世界最初といわれる）による最初の携帯・自動車電話サービスであり、その後、1981年にはスウェーデン、1982年には米国で相次いでサービスが開始された。音声信号伝送には、800 MHz帯のアナログFM方式が用いられ、チャンネル間隔は25 kHzであった。制御信号伝送は、300 bpsのFSK方式により行われた。最初の東京23区から順次サービスエリアが拡大され、1984年には全国サービスとして運用された。

自動車電話サービスでは、船舶電話サービスとは異なり、「小さな無線ゾーン」と「自動車の早い移動速度」のため、通信中に無線ゾーンを跨ることが頻繁に発生する。無線ゾーンを跨っても通信が継続できるように、自動車電話の移動に伴って無線ゾーンを追跡する交換機能（追跡交換接続）が必要となる。従来の交換処理は、一つの交換機内に閉じて処理を行ってればよかったことに対し、追跡交換のためには、移動前と後の交換機間で呼制御を遠隔から行うための、共通線を用いたプロセッサ間通信技術、加入者データを遠隔からアクセスする遠隔ファイルアクセス技術などが必要であった。

その後1988年には、ユーザ数の増加に伴い、電電公社により自動車電話大容量方式のサービスが開始された。音声信号伝送には、800 MHz帯のアナログFM方式が用いられ、チャンネル間隔は12.5 kHzに狭小化された。更に、インタリーブ配置の採用により6.25 kHz間隔に狭小化された。基地局、移動局双方における受信ダイバーシチの適用、干渉検出、複局同時／順次送信、通信中下部帯域制御信号伝送などの新技術が適用されている。1985年には自動車から持ち出して使えるショルダーホン（体積1500 cc、重量3 kg）、1987年にはハンドヘルドタイプ（体積400 cc、重量750 g）の端末によるサービスが開始されている。その後も小型軽量化が図られ、1991年には「ムーバ」と名付けられた小型端末（体積150 cc、重量230 g）が登場した。

大容量方式以前の移動通信網は、固定通信網に無線基地局を接続した構成をとっていた。そのため、ダイヤル番号でユーザ位置を特定する「地域指定ダイヤル方式」であった。この方式は、発信者が着信者の位置を想定してダイヤルしなければならぬ不便な方式であった。この不便さを解消するため、着信者の位置を網が管理し、自動的に位置を特定してルーティングする「地域無指定ダイヤル方式」を導入した。「地域無指定ダイヤル方式」では、着信者が在圏するエリアをホームメモリに記憶しておき、発信側交換機がホームメモリに着信ユーザ位置を問い合わせ、その位置情報に基づく「ルーティング番号」により呼設定を行う方式を実現した。我が国における大都市方式、大容量方式、北欧4か国での国際ローミングを実現したNMT（Nordic Mobile Telephone）、米国のAMPS（Advanced Mobile Phone Service）、英国のTACS（Total Access Communication System）など、初期のシステム（第一世代システム）はいずれもアナログ方式で、各国・地域で固有のシステムとなっていた。

1993年には、更なるユーザの増加、通信品質の向上、ISDN並の通信サービスの提供を目指して、デジタル携帯電話サービス（Personal Digital Cellular）が開始された。800 MHz帯

の $\pi/4$ シフト QPSK 変調技術によりデジタルデータが伝送される。キャリア間隔は 25 kHz (インタリーブ) であり、一つのキャリアに 3 チャンネルが多重される、3 チャンネル TDMA 方式である。音声は、VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction) 方式により符号化され伝送される。音声サービスに加えて、世界に先駆けて 2400 bps のデータ通信サービスも提供された。エアインタフェース仕様は、(財)電波システム開発センター (RCR, 現在の (社)電波産業会) により標準化されたものである。

1994 年には FAX 通信が、1995 年にはデータ通信がそれぞれ 9600 bps に拡張された。1995 年には、音声のハーフレート化が適用され、一つのキャリアに 6 チャンネルが多重可能となった。音声符号化は、PSI-CELP (Pitch Synchronous Innovation CELP) 方式である。信号帯域が限られた無線回線を通して、ISDN と同等のサービスを実現するために、ISDN 信号方式を移動通信サービスに適させたユーザ・網信号方式と局間信号方式 (回線対応信号方式、回線非対応信号方式) を TTC において標準化した。

更に 1997 年には、当時利用が拡大しつつあったデータ通信を携帯電話網を通して提供するための、800 MHz デジタル方式 (PDC) のネットワークをベースとしたパケット通信方式 (PDC-P : PDC-Packet) が開発され、1997 年に「DoPa™」サービスが開始された。最大通信速度は 28.8 kbps であり、それまでのデータ通信とは異なり、複数のユーザが相乗りして回線を共有することができるようになり、課金もパケット単位に行われるパケット課金が採用された。

PDC-P におけるアプリケーションサービスとして、1999 年に「i-mode™」サービスが開始された。それまでのデータ通信は、パソコンを携帯電話端末に接続して行うスタイルであったが、i-mode は携帯電話端末のみで、インターネットアクセスや E-mail の送受信などを行える点の特徴である。これにより、モバイルバンキングやチケット予約などのオンラインサービス、ニュースや天気予報といった情報へのアクセスが携帯電話端末ひとつで可能となった。

また、この頃世界でも欧州において GSM (Global System for Mobile)、北米で IS (Interim Standard) -54、IS-95 のサービスが開始された。PDC とこれらと合わせた 4 方式は第二世代システムと呼ばれ、それぞれは CCIR (現 ITU-R) で世界標準規格として認められた。また、携帯電話を用いたデータ通信の必要性は各国・地域で同様に高まっており、我が国の PDC-P に前後して、米国では、AMPS で未使用の音声チャンネルをホッピングして最大 19.2 kbps のパケット転送を行う CDPD (Cellular Digital Packet Data)、欧州では GSM をベースとした最大 171.2 kbps (8 タイムスロット使用の場合の上り/下り合計) のパケット転送を可能とする GPRS (General Packet Radio Service) が導入された。GSM 方式では、ユーザが国間 (オペレータ間) を跨って移動しても通信が可能な、グローバルローミングが当初から実現された。グローバルローミングのためには、網間信号方式はもとより、ユーザ・網信号方式の規定とともに、異なる網と端末間の IOT (InterOperability Test) が重要であった。

1980 年代後期以降、新しい周波数帯での利用や、家庭や事業所などの屋内コードレス電話と屋外公衆電話の統合を目指した新しい移動通信システムが実用化された。欧州での DCS (Digital Cellular System) -1800、CT 2 (Cordless Telephone 2nd generation)、DECT (Digital European Cordless Telecommunication)、1995 年に日本国内で開始された PHS (Personal Handyphone System)、米国での PCS (Personal Communication System) などがあげられる。また、この頃には無線呼出しについても、高速化、周波数使用効率向上を図った第二世代シ

テムが導入された。伝送速度可変機能による効率化を実現した米国の FLEX™, 欧州で標準化され国際ローミングを可能とした ERMES (European Radio Message System), FLEX™ と互換性をもち、複数回送信, 時間ダイバーシチ受信による効率化, 信頼度向上を実現した我が国の FLEX-TD (Time Diversity) が導入された。

第 3 世代移動通信システム (IMT-2000) が 2001 年にサービス開始された。高速データ通信, テレビ電話などの各種マルチメディアサービス, 世界レベルでのローミングを実現するために, ITU にて国際標準化が進められた。複数の技術提案からシステム化を迅速に進めるために, ITU では要求条件とそれを満たす無線技術とネットワーク技術をそれぞれ選定し, それらを組み合わせたシステムの規格はパートナーシッププロジェクト (3GPP/3GPP 2 (The Third Generation Partnership Project)) にて行われた。3GPP では W-CDMA+GSM evolved Core Network 方式が, 3GPP 2 では cdma 2000+ANSI-41 evolved Core Network 方式が規定された。

3GPP システムでは音声符号化方式は, 最大 12.2 kbps の AMR (Adaptive Multi Rate) が採用され, 固定電話並の音声品質を実現した。一方, パケット伝送は, 下り (基地局→移動局) は最大 384 kbps, 上り (移動局→基地局) は最大 64 kbps が可能となった。また, 同時に複数局と通信を行ういわゆるダイバーシチハンドオーバーの適用により, 周波数効率の向上, 無瞬断のチャンネル切り替えが可能となった。

また, 伝送・交換方式として低速度トラヒック (移動通信用音声符号) から, 高速なマルチメディア通信まで, 低遅延かつ効率的に伝送する方式として, 移動通信用 ATM (ATM-AAL 2) を標準化し実用化した。AAL 2 は, 53 Byte の標準 ATM セルの中にショートセルと呼ばれる更に小さな可変長セルを多重することにより, 低速度トラヒックでも低遅延で, かつ統計多重効果を実現する伝送方式である。しかし, その後の WDM 技術による広帯域伝送路の低コスト化と IP 伝送装置・ルータの普及・発展に伴い, ATM は IP 方式に移り変わりつつある。

W-CDMA 方式は 3GPP により順次拡張されている。HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) (2006 年夏よりサービス) は, 適応変復調技術, 基地局スケジューリング, ハイブリッド ARQ (Automatic Repeat reQuest) などの適用により下り回線において仕様上最大 14 Mbps (5 MHz 帯域) の高速データ伝送を実現するものである。上り回線を最大 5.7 Mbps に高速化する HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) あるいは EUL (Enhanced UpLink) と呼ばれる方式も 2006 年に規定されている。一方, 3GPP 2 では, 下り最大 2.4 Mbps (1.25 MHz 帯域) (後に Rev. A の適用で下り最大 3.1 Mbps, 上り最大 1.8 Mbps) の伝送が可能な cdma 2000 1x EV-DO (EVolution Data Optimized) が規定されており, 2003 年よりサービスされている。

また, さらなるデータ通信高速化, 周波数利用効率向上に加え, 低遅延 (呼設定時間の短縮, 及びデータ伝送遅延の短縮) の実現を目標として, 3GPP で LTE (Long Term Evolution) と呼ばれる方式が検討されている。

無線アクセス方式としては, 下り回線には OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 方式が, 上り回線には SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) 方式が用いられる。

■14 群 - 1 編 - 2 章

2-5 端末, メディア

(執筆著: 長谷雅彦) [2010年1月 受領]

端末とはユーザが利用する通信機器の総称である。従来は黒電話に代表されるような簡単な機能を具備するものであったが、最近では携帯電話に見られるように PC と似たような機能をもつほどに、高機能化、多機能化が進んできている。また、最近ではユーザがキャリアを選択する際に、端末のデザインや使い易さを考慮する傾向が強くなりつつあり、端末の重要性がクローズアップされている。

一方、メディアとは音声、テキスト、画像、映像などを指し、コミュニケーションの媒体のことである。電話は音の振動を電気信号に変換して伝送し、端末でスピーカを電磁振動させて音に逆変換するという単純な構造で実現可能であった。しかし、画像、映像の伝達となるとデジタル化の処理が要となるため、端末にも高度な処理が要求される。つまり、メディアを多様化させて通信サービスを高度化するためには端末の進展が必要だったのである。

そこで、本節では、端末とメディアの歴史について概観する。これらの歴史を語るとき、バックにあるネットワーク技術とは無関係ではいられない。以下では、ネットワーク技術を、アナログの時代、デジタルの時代、ブロードバンドの時代に区分し、端末の発展を振り返る。なお、携帯電話端末の進展については、若干観点が異なるので別立てで説明する。

2-5-1 アナログの時代

(1) 音声通信

第二次世界大戦後、電話の需要増への対応、通信の品質向上を目指すことに加え、様々な便利な機能の付加や電話以外の機能との組合せによる多機能化の観点から、電話機の改良が続けられてきた。

1878年の国産1号電話機、戦前の2号、3号に続き、世界の水準を凌ぐ通話品質の向上と量産性の向上を果たした4号電話機に続き、1962年に開発された600型電話機では、従来のステップ・バイ・ステップ式交換機からクロスバ式交換機の導入に伴うパルスダイヤルの高速化への対応に加え、筐体材質の改良(フェノール樹脂→硬質塩化ビニール)や、プリント基板を初めて採用することなどで更なる量産性向上が図られた。

また、送話器・受話器の感度向上と、側音の低減により、通話品質の向上のみではなく、加入者線路の細線化(0.4 mm→0.32 mm)・多対化による経済化にも貢献した。

1969年導入の押しボタンダイヤル電話機(600P型)は、データ通信という新しい通信分野の誕生に伴い、コンピュータと連携できる新しい電話機「プッシュホン」として導入され、0~9、*、#の押しボタンをもち、各ボタンに可聴周波の信号(DTMF信号)を割り当て、ボタン押下時に当該信号を送出する。これにより、ダイヤル時間が短縮された。

また、この押しボタンを利用して、電話以外の新サービスとして、「短縮ダイヤル」や、「電話計算サービス」(DEMOS(科学技術計算サービス)、DRESS(販売在庫管理サービス)、DIALS(電話計算サービス))、列車予約サービスが利用できた。

以降、送受話器や通信回路の改良が進められるとともに、電電公社の民営化以降、本電話機解放や新たなネットワークサービスの提供が行われ、通信機器メーカーのみならず家電

メーカーからも、留守番電話や電話帳（短縮ダイヤル）、コードレスホン、画像通信、表示器により発信者番号を表示する、複数の電話機やドアホンとの連携、など、様々な機能や意匠を併せもつ電話機が登場することとなった。

(2) ファクシミリ通信

離れた地点の間で、文字情報、写真を交換するというサービスは、戦前より、主に報道機関や官公庁などで写真電送サービスとして利用されていたが、公衆網を利用したファクシミリは戦後になってから登場した。

1972年に回線開放が実施され、電話網を音声以外でも利用できるようになり、「電話ファックス」として6分機（1973年、G1規格）、3分機（1978年、G2規格）、1分機（1979年、G3規格）が順次提供された。

当初、6分機では、A4原稿1枚を送信するのに6分かかっていたが、変調方式の改良（AM/FMアナログ変調（G1、G2）→デジタル変調FSK、PSK（G3））による伝送速度向上や、圧縮符号化技術（G3における一次元符号化MH、2次元符号化MR）により、A4原稿1枚送信を1分で実現できるようになった。

受信側での記録方式も、放電方式、静電方式、感熱方式と進展し、更にはパーソナルコンピュータの普及・進歩により、今日では、プリンタデバイス技術が応用された、インクジェット方式や電子写真方式（PPC方式）などが一般的である。

(3) ビデオテックス通信

ニューメディア時代のサービスとして、音声だけではなく、文字や静止画情報などを交換するシステムとして、ビデオテックスが登場した。日本ではNTTが1984年に「キャプテン」としてサービス開始した。

加入者端末は、情報を表示するための入出力機能を具備しており、電話網上でビデオテックス通信網とモデム通信を行い、伝送速度は、下り4800 bps（V.27ter）・上り75 bps（V.23）の全二重であった。

また、情報交換方式としてCAPTAIN方式を採用していた。これは、画像データをすべてドットパターンで送るのではなく、文字や図形についてはコードを送受信し、端末で所定の文字や図形を表示することにより、伝送や描画の効率を上げる工夫を行っていた。更にメロディ情報も取り扱うことができ、画像だけではなく、音楽も提示することができた。

その後、普及が始まったパーソナルコンピュータを端末として利用することも可能になったが、同様のサービスはパソコン通信やインターネットに取って代わられてきて、2002年にサービスを終了した。

海外での同様のサービスは、フランステレコム社の Teletel（テレテル）サービスの Minitel（ミニテル）端末が有名である。

2-5-2 デジタル（ISDN）の時代

(1) 情報のデジタル化

電話網において、音声以外の情報を効率よく伝送するために、ISDN化によって従来のアナログ伝送からデジタル伝送によって通信が行えるインフラが確立された。そこで、3.4 kHz

帯域の音声通信以外に、デジタル伝送を利用した様々な用途のアプリケーションが、検討された。代表的なものとして、パケット通信(コンピュータ間のデータ通信)、高音質電話(音声会議装置)、テレビ会議、テレビ電話、G4 FAXなどがあげられる。

これらのアプリケーションを実現するためには、通信を行う情報のデジタル化(または符号化)ならびに限られたネットワークの帯域で伝送するために情報の圧縮の技術が重要となってきた。音声符号化では、3.4 kHz 帯域音声の標準的な符号化方式である G.711、より高音質な音声伝送を目的とした 7 kHz 帯域音声 ISDN 網で伝送可能とする G.722、3.4 kHz 帯域音声の圧縮率をより高めた G.723.1、G.726、G.728 といった符号化方式が標準化された。また、映像に関しては静止画の圧縮方式として JPEG、動画コンテンツの圧縮符号化方式として MPEG、テレビ会議やテレビ電話向けの符号化方式として H.261(1990年)ならびに H.263などが標準化された。特に H.261 が標準化された後、ISDN 回線上で手軽に映像通信を可能とするテレビ電話/会議端末が開発され、1990年代後半には、医療、教育、マスメディアといった分野で利用されるようになっていった。

(2) PC を用いたネットワーク利用

ISDN が広く普及するきっかけとなったのが、1990年代半ばに一般化していったパーソナルコンピュータ(以下、PC)のインターネット接続用途であった。PC が普及すると共に、PC をネットワークに接続して情報のやり取りを手軽に行いたいというニーズが高まってきた。なかでも、インターネットが世界中のユーザとやり取りが行えるメールと、画像とテキスト情報で構成されたマルチメディアコンテンツを手軽に閲覧できる World Wide Web(以下、WWW)ブラウザという強力なアプリケーションによって、多くのユーザに PC をインターネット接続したいと思わせた。

PC を用いたインターネットへの接続は、まずモデムと電話回線を用いたダイヤルアップ型の接続で実現された。しかしながら、WWW のコンテンツは次第にサイズの大きな画像データなどが多数用いられるようになり、一つの情報を表示するまでにかかる待ち時間が転送速度の遅さにより問題となり、高速化の手段が求められた。そこで、普及したのが ISDN 回線と PC を回線に接続するための接続装置である Terminal Adapter(以下、TA)である。ISDN 回線と TA によって、64 kbps の安定したインターネット接続が実現されることとなり、特に 1995年に低価格の TA が発売されると、コンシューマ用途として普及が進まなかった ISDN が急速に普及することとなった。

2-5-3 ブロードバンド(IP)の時代

(1) ADSL によるインターネット常時接続

WWW などのインターネットのコンテンツは、ますますメディアリッチとなり、情報ごとのサイズも肥大化していった。また、インターネット上でやり取りされるコンテンツに動画や音楽などを配信するストリーミングという技術も現れ、ISDN 回線を用いたインターネットの接続でも転送速度の遅さが目立つようになってきた。次に現れたのが、2001年頃から主要な電気通信事業者から提供されるようになった ADSL 技術を用いたインターネット接続であり、ISDN 回線での 64 kbps という上限から一気に数百 kbps から数 Mbps という転送速度を実現することとなった。

また、電話回線や ISDN 回線を用いた回線接続型のインターネット接続とは異なり、電話局から加入者線上に信号を重畳することによって転送を行うため、電話とは独立して常時インターネット接続が実現されるようになった。ADSL を用いたインターネット接続サービスを受ける場合、ユーザ宅には ADSL モデムという電話の加入者線上に重畳された信号を変換して PC とのデジタル信号をやり取りを行う装置が設置される。ADSL モデムは、扱う転送速度が高いため、PC との接続は一般的に Ethernet のインタフェースが用いられる。また、複数の PC などインターネットを行う場合には、ADSL モデムと PC の間にブロードバンドルータ (以下、BB ルータ) を接続する形態が一般的となり、ADSL モデムを内蔵した BB ルータも出現した。

(2) FTTH によるブロードバンド接続

ADSL は、手軽なインターネット接続の高速化手段として急速に普及し、電話回線や ISDN 回線によるダイヤルアップ接続の形態に置き換えていった。しかしながら、ADSL には加入者線の電話局からの距離が遠くなると急激に転送速度が落ちたり、他の加入者線を流れる信号の影響から転送速度が変動したりする場合があった。また、インターネットコンテンツのリッチ化、大容量化は留まることを知らず、数 Mbps の帯域を常時必要とする映像ストリーミングのサービスも出てきたことにより、更に高速で安定したインターネット接続が求められるようになった。そこで、光ファイバを用いたインターネット接続 (FTTH : Fiber To The Home) が普及するようになってきた。

光ファイバによる接続サービスを受ける場合、ユーザ宅まで光ファイバを引き込み、光回線終端装置を介して光信号を Ethernet インタフェースに変換する形態と、マンションなどの集合住宅の場合に建物まで光ファイバで引き込み、集合住宅内には既存の電話線の配線を用いて ADSL よりも高速な接続が実現できる VDSL 技術を用い、ユーザ宅には VDSL モデムを設置して Ethernet インタフェースに変換する形態がある。

FTTH の普及は、インターネット接続という役目だけではなく、様々なサービスを同時に提供するインフラとなってきている。現在、インターネット経由せずに FTTH 上で電話サービスや映像配信サービスが提供されてきている。2008 年には、ブロードバンドサービスの提供手段として一番の契約者数をもっていた ADSL を逆転し、FTTH が最も多くのユーザが利用するブロードバンドサービス提供手段となった。

(3) CATV によるブロードバンド接続

他のブロードバンド接続の手段として、放送サービスを提供しているケーブルテレビ提供会社 (以下、CATV 会社) が放送波の伝送路上にインターネットや電話の信号を重畳してユーザ宅まで届けるという方式が普及してきている。一般的には、放送波を伝送する同軸ケーブルからインターネットや電話の信号を分離するケーブルモデムという装置が用いられる。

(4) 宅内配線技術

ユーザ宅において、インターネットの常時接続環境が整い始めると、宅内の様々な場所でインターネットを利用したいというニーズが出てきた。インターネットの接続点は Ethernet インタフェースとして用意されることが一般的になってきたが、家中に Ethernet ケーブルの

配線が準備されているケースはまだまだ稀であり、手軽な配線延長手段が求められている。現在、広く普及しているのは無線 LAN (IEEE 802.11a/b/g/n など) と電力線を用いた PLC である。

2-5-4 携帯電話端末の発展

(1) 携帯電話

携帯電話の原型を一般の人が目にしたのは 1970 年の万国博覧会が最初であろう。ただし利用は展示館内だけであり、コードレスホンの原型ともいえる。

(a) 自動車電話からショルダーホンへ

1979 年にアナログセルラ方式の自動車電話サービスが東京で始まった。無線機やアンテナとハンドセットは別筐体であったが屋外で通話ができた。1985 年には可搬型のショルダーホンが登場した。約 3 kg で肩に掛けて使用した。

(b) アナログ携帯電話からデジタル携帯電話へ

携帯という呼称は 1987 年の NTT ドコモ社の TZ-802 型から使われ始めた。約 900 g で通信方式は TACS や HiCAP と呼ばれるアナログの規格が使われた。

より実用的になったのは 1991 年の mova の登場からであろう。携帯電話は 2G の時代を迎え、1993 年に 800 MHz PDC デジタルサービスと買上げ制度の開始と相まって普及していった。通信方式は、ほかに cdmaOne が採用された。1996 年には 1.5 GHz 対応が始まった。

(c) 3G, 3.5G 携帯の登場と機能の多様化

3G 携帯 (NTT ドコモの FOMA など) が 2001 年から提供され始め、エリア拡大と共に 2G 携帯からの置換えが行われていった。通信方式は CDMA 2000 や W-CDMA が採用された。端末にはカメラが標準で具備され画像や映像を送ることができた。2004 年にはオサイフケータイが登場し、データ処理端末としても位置づけられるようになる。通信性能を向上させた 3.5G 携帯として 2006 年に HSDPA 端末が登場した。

同年の au 音楽配信サービス (LISMO)、2007 年のクレジットカード機能端末 (iD)、ワンセグ放送端末など、携帯電話は生活の様々な場面で活用する端末となっていった。

(d) 3G, 3.5G 携帯の登場と機能の多様化

携帯電話以外では、ポケットベルが 1968 年に登場し、携帯電話が主流になる 1990 年代末まで、数字 (文字) を一齐通報できる端末として緊急通報などに用いられた。1990 年代半ばには学生の間でチャット端末としてブームになった。また、PHS (パーソナルハンディシステム) が家庭用コードレスホンの屋外使用という観点で 1995 年にサービスが開始された。基地局設置のコストが安価であるなど、携帯電話を補間する手段として主に都市部で普及した。2005 年に大手通信事業者が撤退を表明して以降は、主にデータ通信手段として利用されている。

(2) 携帯電話端末の多様化

(a) i-mode

携帯電話をデータ端末として使用することを目的として、1999年にi-modeサービスが開始された。それ以前もDoPaなどのデータ通信サービスは存在していたが、コンテンツ提供会社までも取り込んで、携帯電話をWebアクセスなどのインターネット利用やメール送受信などの電話以外の目的で利用することが主流になる時代のきっかけとなった。

(b) 無線LAN機能の融合

IP端末として利用できる無線LAN機能を備えたデュアルホンが2004年に登場した(NTTドコモ、N900iL、IEEE 802.11b準拠)。屋内でのIP電話端末用途として利用範囲を広げている。一方で、屋外で無線LANが使用できる公衆無線LANサービスが2005年頃から本格化した。デュアルホンのみならずPDAなども無線LAN機能を具備するものが増えた。

(c) モバイルマルチメディア、今後の携帯端末

携帯電話は通話端末として生まれたが、データ通信やデータ処理を行う端末として進化している。2008年にiPhoneが市場に現れたことは記憶に新しい。今や携帯電話で音楽プレーヤ付きでないものはなく、Webブラウザ付き携帯電話も登場している。

携帯端末は3.9Gに向かい通信方式もLTE(Long Term Evolution)やモバイルWiMAXに対応した高速データ通信が可能なものが主流になると予想される。利用形態としてはFMCやフェムトセルなどの環境の中で、常時端末を保持していることを利用したライフログ関連のサービスが期待される。今後も多様で便利な端末やサービスが提供されるであろう。

■14 群 - 1 編 - 2 章

2-6 インターネット技術

(執筆者：小西和憲・後藤滋樹) [2010年1月 受領]

インターネットが誕生してから 40 年が経過した。その間に数多くの技術が生み出されて今日のインターネット技術は複雑かつ多様なものになっている。本節でインターネットのすべての技術を網羅することはできないが、特に大きな影響を与えた技術を取り上げて、インターネットの変貌と進化の様子を概観する。

2-6-1 インターネット黎明期

(1) インターネットの誕生

インターネットの原型は 1969 年に米国の 4 か所の研究組織、すなわち、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA), SRI, カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB), ユタ大学を接続した ARPANET である。当時は東西冷戦の時代であった。1957 年にソ連がスプートニク打ち上げに成功して、米国へのミサイル攻撃の可能性が高まった。そこで、攻撃を受けても通信が確保できるようなシステムの研究が行われた。ARPANET はパケット交換を基本として、仮に一つの拠点が通信不能に陥っても、自動的に迂回路を選択して通信が継続できるネットワークとして設計された。

(2) 最初のインターネット技術

ARPANET では、各組織に IMP (Interface Message Processors) と呼ばれるパケット交換機を設置する。IMP が通信回線を経由して相互に接続された。各研究組織の計算機は、IMP を介して相互に通信する (RFC 33)。当時の通信プロトコルは、1970 年に定義された NCP (Network Control Protocol) である。NCP は TCP/IP とは異なる。ARPANET は、1972 年の国際会議 ICCC (International Conference on Computer Communications) においてデモを行い、広く世の中に知られるところとなった。

ネットワークのアプリケーションの研究も平行して行われた。1972 年には電子メールが登場する。電子メールは ARPANET の開発者の調整をスムーズに行う目的で作成された。遠隔地に存在する計算機を利用するためのプロトコル TELNET (RFC 318) もこの年に登場した。

当時の ARPANET は IMP が約 15 台、計算機が 25 台接続されているネットワークとなっていた。NCP は大規模なネットワークには適応が難しく、エラー訂正機能もない。そこで大規模なネットワークを構成できるように、またエンド・ツー・エンドで再送制御を行いデータの欠落・誤りを防ぐ機能をもつ TCP の研究が始まった。

TCP が IP と分離されたのは、データの信頼性よりも実時間性を要求する音声通信を実現するために、UDP を定義する必要があったためである。このようにして現在のインターネットで使用されている IP と、IP 上の TCP と UDP という基本的な体系が誕生した。

2-6-2 基本技術の確立と学術ネットワークの発展

(1) インターネット基本技術の確立

計算機の世界では小型化の流れが始まり、AT&T で 1969 年から開発されていた UNIX が多

くの計算機に移植された。TCP/IP は、1982 年に UNIX の派生 OS である 4.2BSD に標準搭載されて、研究者の間で急速に広まった。TCP/IP への展開が進むなかで、ARPANET は NCP から TCP/IP への全面移行作業を 1983 年 1 月 1 日に実行することを決定した。

1983 年にはインターネットの重要な基盤技術である DNS (Domain Name System) が設計・実装された (RFC 883)。ドメイン名は、ARPANET に接続する計算機の数が急増して、計算機の名前が衝突するという問題を解決する。すなわち、edu という名前空間 (ドメイン) の中に stanford という名前空間があり、そのなかで venus という名前をもつ計算機を venus.stanford.edu というドメイン名で表現できる。例えば、同じ名前 venus をもつ計算機でも mit.edu の配下であれば venus.mit.edu となるから、別の計算機を表すことができる。DNS はドメイン名を階層ごとに分散データベースで管理するようにして、大規模な名前空間を管理できるアーキテクチャになっている。

IP パケットを宛先まで送り届けるための経路制御機構も進歩した。接続する計算機の数の増加に対応するため、動的経路制御の範囲を階層化して、あるネットワークの内側を制御する内部経路制御プロトコルと、ネットワーク間の経路制御に分けることとなった。内部と外部に分類すると、あるネットワーク内で使用する内部経路制御は他のネットワーク内とは異なってもよい。ネットワークごとに規模や構成によって適切な経路制御プロトコルを使えるようになった。1982 年には外部経路制御プロトコルとして EGP (External Gateway Protocol) が採用された。

(2) 学術ネットワークの発展

米国防総省が運営した ARPANET は、1983 年に軍用の MILNET と一般研究用の ARPANET に分離された。ARPANET は 1990 年には役割を終えて運用を停止したが、全米科学財団 NSF (National Science Foundation) が 1987 年に開始していた NSFNET がそれを引き継いだ。NSFNET は政府機関である NSF が資金提供している関係上、研究目的以外のネットワーク使用を AUP (Acceptable Use Policy) という基準を設けて禁止していた。

(3) インターネットに関わる組織

インターネットへ参加する人々が増えてくると、いろいろな場面で調整が必要となってくる。調整の役割を負って 1983 年に創設された組織が IAB である (当時は Internet Activity Board, 現在の名称は Internet Architecture Board)。また、1985 年に IP アドレスとドメイン名の管理を行う組織 NIC (Network Information Center) を SRI が担当することとなった。更に 1986 年には IAB 配下のタスクフォースの整理を行い、インターネット技術に関する標準化の役割を担う IETF (Internet Engineering Task Force)、及び研究組織として IRTF (Internet Research Task Force) を創設した。加えて、インターネットに接続する際に必須となる IP アドレスやドメイン名を管理する最高権威として 1987 年に IANA (Internet Assigned Number Authority) を創設している。これら組織の設立により、インターネット技術の標準化体制、アドレスやドメイン名などの共通資源の管理体制が整った。

(4) 日本の状況

1980 年代前半の日本ではパソコン通信 (BBS) が黎明期を迎えていた。大学や研究機関で

は、AT&Tが開発したUUCPをベースにしたJUNETが1984年ごろから形成され始めて、研究者の間で電子メールやネットニュースによるコミュニケーションが活発になった。1985年にJUNETはKDD研究所のドネーションで国際接続されている。1980年代後半になると国内外とTCP/IPを基盤としたインターネット接続が開始されるようになった。東大やNTTが米国CSNETに接続したのが1987年、研究団体WIDEの中核メンバにより東大・東工大・慶応大を結ぶネットワーク構築が1988年、WIDEの国際接続は1989年である。

2-6-3 インターネットの商用化と爆発的普及

(1) インターネットの商用化

1980年代後半までは、学術ネットワークを中心としてインターネットの拡充が続いたが、米国では1987年に、世界初の商用ISPであるUUNETの設立を皮切りに商用化への流れが進む。商用ISPは1993年頃にはバックボーンを提供できるまで成長して、それまで米国内でインターネットの中心的なバックボーンとして機能していたNSFNETを競合相手と位置づけ始めた。商用ISPが米国各地の地域ネットの収容を引き受けて、NSFNETはバックボーンとしての使命を終えて1995年4月に停止した。ただし、全米のスーパーコンピュータセンター間を結ぶネットワークだけは、NSFが構築・運用すべきであるとして、高速ネットワークvBNSを設立している。vBNSに接続できるのはスーパーコンピュータセンターかNSFに認められた組織だけに限られ、純粋な研究用ネットワークとして維持された。押し寄せる商用化の波の中で、新たな学術ネットワークが生まれた。これが後に重要な役割を果たすことになる。

日本国内の事情に目を向けると、1992年からAT&T JENS, IIIが相次いで商用インターネットサービスを開始して注目を集めた。また翌1993年には、ダイヤルアップによる個人向けのサービスの提供がベッコアメインターネットにより開始された。

既に日本国内ではパソコン通信(BBS)が広く使われていた。ASCII-NET, PC-VAN, NiftyServなどの大手BBSでは十数万から百万人単位の会員を有しており、これらのBBSが続々とインターネットへ接続されて、日本のインターネット成長の大きな要因となった。

(2) Web 登場のインパクト

インターネットが多くのユーザに浸透するなかで、最も大きなインパクトを与えたものは、WWW (World Wide Web) の開発である。それまでインターネット上での主要なアプリケーションは電子メールを中心としたメッセージ転送やファイル転送であった。WWWの登場によりインターネット上での様々な情報をより容易に入手可能となった。特にNCSA (National Center for Supercomputing Applications) により開発されたMosaicを起源とするNetscapeと、マイクロソフト社によるInternet Explorerの2大ブラウザが広く使われた。両社の熾烈なシェア争いにより短期間で驚くような機能強化がもたらされた。WWW上での情報の表現能力は大きく高まり、インターネット上に多種多様な情報が溢れることになる。

このような背景から、ネットワークへの接続サービスに限らずコンテンツを提供する新たなビジネスが生まれた。1995年米国で、翌1996年には日本でのYahoo!による検索サービスが開始される。検索サイトを始めWWWがネットワークのポータル(玄関, 入り口)になり、インターネット上のトラフィックの大部分はWWWにより占められるようになった。その後も

検索サービスのみならず、掲示板のようなコミュニティ形成のためサイト、商取引を行う EC (Electronic Commerce) サイトなど実社会の機能が次々と WWW 上に構築されて、電子的な社会の基盤となった。日本国内でユーザに WWW を手軽なものとして、爆発的な普及の一翼を担ったのは、NTT ドコモが 1999 年に開始した i-mode サービスである。携帯電話を用いて WWW へのアクセスを可能とするもので、NTT 系及び NCC を含め 2003 年 12 月の時点で 6000 万人以上の加入者が存在している。

(3) 研究用の超高速ネットワーク

再び米国の動向を振り返る。大学や研究機関などの学術系組織にとっては、商用インターネットの成長は必ずしも歓迎すべきものではなかった。激増するトラフィックに対して商用 ISP は拡大を続けたものの、研究に必要とされる高速バックボーンの提供はビジネス・技術的に困難であった。また、安定した運用を重視する商用 ISP と、時には挑戦的な実験のためにネットワークを利用したいと考える研究機関のニーズには大きな隔たりがあった。そのため、vBNS が 1996 年には大学をはじめとする研究機関に開放され始める。これは米国政府がインターネットにかかわる研究開発の先進性維持を重視した結果である。vBNS は、当初はスーパーコンピュータセンターと NSF をスポンサとする一部の組織だけに接続が許されていたが、開放後は学術系機関の重要なバックボーンを担うことになる。

更に大学の研究者が中心となって、次世代のインターネットを確立するためのコンソーシアム Internet 2 を設立した。これは学術コミュニティに閉じたものではなく産学官が広く協力関係を築いていた。1993 年にはクリントン政権は「情報スーパーハイウェイ構想」を提唱しており、情報通信政策を重要視していた。更に 1996 年には、インターネットは政府が主導すべき重要なテーマとして NGI (Next Generation Internet) 計画が発表され、次世代インターネットが広く認知されることになる。

米国国内でのインターネット研究開発に対する追い風を受けて、Internet 2 では 1997 年ごろから基盤となるバックボーンネットワークの整備を行った。このネットワークは Abilene と呼ばれ、鉄道系電話会社 Qwest 社が光ファイバを提供し、シスコ社が高速ルータ、ノートル社が SONET 機器を提供した。設立当時から 2.4 Gbps の帯域をもつ超高速伝送技術 SONET 技術が投入されて、全米 33 都市に収容点が構築された。光ファイバの総延長は全米で 2 万キロに及ぶ巨大なネットワークである。1998 年 4 月には Abilene 計画を NGI として位置づけるとする声明がゴア副大統領によりホワイトハウスから発表された。従来からの学術ネットワーク vBNS と Abilene が相互接続されて、米国では、大学をはじめとする研究機関に対して、政府が vBNS と Abilene の二つの超高速ネットワークを提供する体制となった。

2-6-4 ブロードバンド時代へ

(1) 常時接続への期待の高まり

1990 年代は、商用 ISP の発展とともに日本国内でもインターネットが拡大を続けた。ユーザの利用形態や提供されるコンテンツも豊富になり、一般家庭にインターネットが浸透する。このときの課題がインターネットへの接続料金である。既に数社の ISP は接続料金を定額制としていたが、家庭から ISP の設置するアクセスポイントまでは加入電話線を用いているのが一般的であった。当時の電話料金は完全従量制であり、接続料の問題から一般家庭のユー

ずがインターネットに接続する時間は制限されることになる。

常時接続のニーズが高まるにつれ、NTT により通信料金が半固定制の画期的なサービス「テレホーダイ」が開始される。夜間 23 時から翌朝 8 時までの間は電話料が固定されるもので、非常に多くのユーザがこのサービスに加入した。そのため毎日、午後 23 時になると ISP のアクセスポイントへのダイヤルアップ接続は輻輳状態となり、また IX (Internet eXchange) などのバックボーンネットワークで観測されるトラフィック量も 23 時にピークを迎えるなど、尋常でない社会現象を巻き起こした。

テレホーダイの導入によって、インターネットがより身近なものとなったが、固定料金で利用可能な期間は夜間に限られていた。その頃には 24 時間いつでも、ためらうことなく利用可能な真の常時接続の提供が望まれた。

(2) 接続料競争と世界最安レベルの通信料

日本国内で 24 時間定額による常時接続サービスのさきがけの一つは、ケーブルテレビによるインターネット接続サービスである。1996 年 7 月には武蔵野三鷹ケーブルテレビが開局し、同年 10 月にはインターネット接続サービスを開始している。既にインフラを保持していたケーブルキャリアも次々と実験サービスを展開し、1998 年ごろには多くの商用サービスが開始された。24 時間いつでも利用可能なだけでなく、電話回線や ISDN に比べて高速な広帯域 (ブロードバンド) のネットワークアクセスを享受することができた。

2004 年頃には xDSL が主要な常時接続手段であった。xDSL は既設の電話加入者線を用いて音声電話と高速データ通信を多重する技術である。既存の回線を流用しているが、通信速度は下りで数 Mbps に達し、インターネットアクセスの方法として注目を浴びた。歴史的には 1997 年に長野県伊那市が中心となり、有線放送電話を利用した伊那 xDSL 利用実験が行われた。同年に NTT も ADSL フィールド実験を発表した。

このときまでに国内では ISDN によるアクセスが普及していたが、ISDN が利用する信号の周波数帯域が広いため、xDSL による ISDN への干渉が懸念された。当初 ADSL サービスは難しいと考えられていたが、干渉を緩和する方式が考案され、Annex C として規格化された。これにより ADSL の普及に弾みがつく。2000 年に NTT は ADSL による常時接続サービス「フレッツ ADSL」を開始した。既に ISDN を使った 24 時間定額の常時接続サービスが開始されていたが、エンドユーザが利用可能な帯域が 100 Kbps 近辺から、最大 1.5 Mbps まで拡大して、ブロードバンド普及に弾みがついた。

その後、xDSL 接続サービスがビジネスとしての可能性を高めるにつれて、NTT は加入者線の開放を迫られた。これを利用して NTT 以外の ADSL 事業者も参入して接続サービスを開始する。最も代表的なものは、2001 年の Yahoo! BB の商用サービス開始である。これを契機として通信料の値下げ競争とシェア争いが引き起こされた。相次ぐ値下げのため、よりいっそう手の届きやすくなった DSL 接続サービスは、2003 年末には 1000 万回線を超えるまでに普及する。2002 年度末には既に日本国内の接続料の水準は国際的にも最も低い金額にまで下がることになった。

xDSL 技術は年々改良を重ね通信速度が向上しているが、より高速なネットワークを求めるニーズは次々と沸き起こる。NTT がフレッツ ADSL を投入した 1998 年には、既に金沢市で FTTH トライアル実験が行われており、光ファイバによる接続サービスの先鞭となった。

2001 年には NTT により「B フレッツ」が正式サービスとして投入され、現在も拡大を続けている。

(3) 新しいアプリケーション (P2P) の登場

2000 年の初頭までインターネット上の最も中心的なアプリケーションは WWW であった。ユーザがブラウザ (クライアント) を用いてサーバから情報を引き出す利用モデルによって構築されており、ブラウザがインターネットへのポータル (表玄関) の地位を築いていた。サーバ・クライアントモデルではネットワーク上に配置したサーバにクライアントが集中的にアクセスを行うモデルであるが、24 時間常にネットワークが利用可能なブロードバンドアクセスが広く普及すると、サーバを介さずに端末間で直接情報交換を行う P2P (Peer to Peer) 通信モデルが出現する。1999 年に発表された音楽ファイル交換ソフト Napster の発表は後に社会問題にまで発展した。ユーザ間でのコンテンツの交換が非常に容易になったため、著作権を無視した違法な音楽コンテンツが流通し、米国では音楽業界を巻き込み訴訟問題へ発展する。その後、AOL 社によって買収された WinAMP 社の社員が Gnutella を作成した。サーバを一切必要としない、完全な P2P によるファイル共有と検索機能をもつ強力なソフトウェアである。2000 年 3 月に AOL 社の Web サイトで公開されるものの、わずか 1 日も経たないうちに公開が中止される。AOL 社が Napster の前例を恐れたため、頒布を阻止しようとした。

しかしながら公開された Gnutella はコピーが作成され、互換性のあるクローンも多く作成された。社会的に注目もさることながら、P2P 通信は従来のネットワークの利用モデルに革新をもたらす可能性も秘めており、Gnutella の一件は大きなインパクトを与えた。日本国内でも P2P によるファイル共有の普及は目覚ましいものがある。2003 年には ISP バックボーンが激増する、P2P トラフィックによって圧迫され管理者を悩ませた。最も象徴的な事件が 2003 年 11 月に発生する。P2P ファイル交換ソフト Winny を使い違法なコンテンツを配布していたユーザが逮捕される。インターネット・マルチフィードが公表する IX のトラフィックデータによると、事件発生を境に 20% 近く流量が減ったことがわかる。このデータは P2P に関するトラフィックだけではなく、すべてのトラフィックの流量を占めている。わずかひとつのソフトウェアが引き起こした事件が、インターネット全体にこれほど影響を与えたことは特筆すべきことである。

社会的には負のイメージが先行する P2P 技術であるが、元来は電話も P2P の通信の一種であると考えられる。インスタントメッセージをはじめとするメッセージ交換も P2P 通信と非常に相性がよい。また、分散コンピューティングやゲーム分野などにも応用が考えられる。P2P 技術は、今後のインターネットのキラーアプリケーションとなる可能性を秘めている。

2-6-5 おわりに

成長を続けたインターネットは、今や社会的な基盤となった。実社会で発生した事象がネットワークに影響を与え、逆にネットワーク上でも実社会と何ら変らぬ事件が発生する。インターネットは常に変革を続けてきたネットワークである。アプリケーションもトラフィックも、時代とともに変化し続けてきた。今後もインターネットは実社会を巻き込みながら進化を遂げて行くだろう。