

シリーズ

シリーズ「電子政府を支える情報通信基盤技術」第2回

ネットワークとハブシステム（前編）

KDDI株式会社 執行役員技術開発副本部長 村上 仁己

[要約]

電子政府を支えるネットワークは、霞ヶ関WANのような国のネットワークや地方自治体のネットワークが、ネットワークハブセンタ（インターネットを想定するならインターネットエクステンジセンタが対応、IXセンタ）と呼ばれるネットワーク間の通信をコントロールするセンタを中心に接続、発展していくと考えられる。日本各地に情報の流れを制御するネットワークハブセンタが設置され、このハブにそれぞれの地方自治体ネットワークやその他の関係するネットワークが接続されることになる。これらは、現在の国、都道府県・政令市庁都市、市町村といった行政の階層構造に沿った形でネットワーク及びハブセンタが整備される。このように電子政府では、官庁や地方公共団体を接続する通信ネットワーク及びそれらを結びつけるハブ（IX）が重要な役割を担っている。

通信ネットワークについては、デジタル蓄積技術の発達、パソコン等のコンピュータ機器の普及、パソコン間を結ぶインターネット通信の普及等によって、市場のニーズは、これまでの電話だけの通信から多様な情報を含むブロードバンド化の方向に向かっている。このような時代における電子政府においても、ネットワークに要求される技術としては、一つには大量の情報（別の言葉でいえば、コンテンツ）を低コストで即時に伝送できる伝送技術であり、また一つにはコンピュータ間通信を主流としたネットワークのインテリジェント化である。光通信技術、移動体通信技術、インターネット・マルチメディア等の技術が重要である。本稿では、電子政府を支えるネットワークシステムとネットワークを結びつけるハブシステムの技術的側面について説明する。前編ではアクセス系技術、基幹伝送路技術（バックボーン）を、後編ではインターネット技術、インターネットエクステンジ技術を取り上げ、具体的に説明する。

1 情報通信ネットワークが支える電子政府

電子政府を支えるネットワークは、霞ヶ関WANのような国のネットワークや地方自治体のネットワークが、ネットワークハブセンタ（インターネットを想定するならインターネットエクスチェンジセンタが対応、IXセンタ）と呼ばれるネットワーク間の通信をコントロールするセンタを中心に接続、発展していくと考えられる。航空輸送におけるハブ空港と同様な概念である。日本各地に情報の流れを制御するネットワークハブ（または、IXセンタ）が設置され、このハブにそれぞれの地方自治体ネットワークやその他の関係するネットワークが接続されることになる。これらは、現在の国、都道府県・政令市庁都市、市町村といった行政の階層構造に沿った形でネットワーク及びハブセンタが整備される。具体的なネットワークとしては、以下の2つのネットワークが現在挙げられている。

第1点目は、総合行政ネットワークである。これは、図1に示すように全国の地方自治体と国との間の情報を電子的な文書で交換するネットワークである。全都道府県、政令指定都市、および市町村ネットワークがネットワークハブを通して高速なバックボーンで接続した日本全体を網羅する行政に関する情報ネットワークである。各自治体において整備された自治体独自のLAN（WAN）がネットワークハブを介して相互に接続する形で統合されたネットワークになる。各自治体は、総合行政ネットワークを通して、他の自治体の情報や霞ヶ関WANへの接続が可能となり、行政上の文書の交換や申請等の業務が効率化される。おそらく、このネットワークは、他のネットワークとはまったく独立したネットワークとして構築されるが、情報の暗号化技術の導入や公開鍵インフラ（PKI）を用いたICカードなどにより、ネットワークアクセスへの個人認証が可能となれば、ネットワークハブを介してオープンな公衆ネット

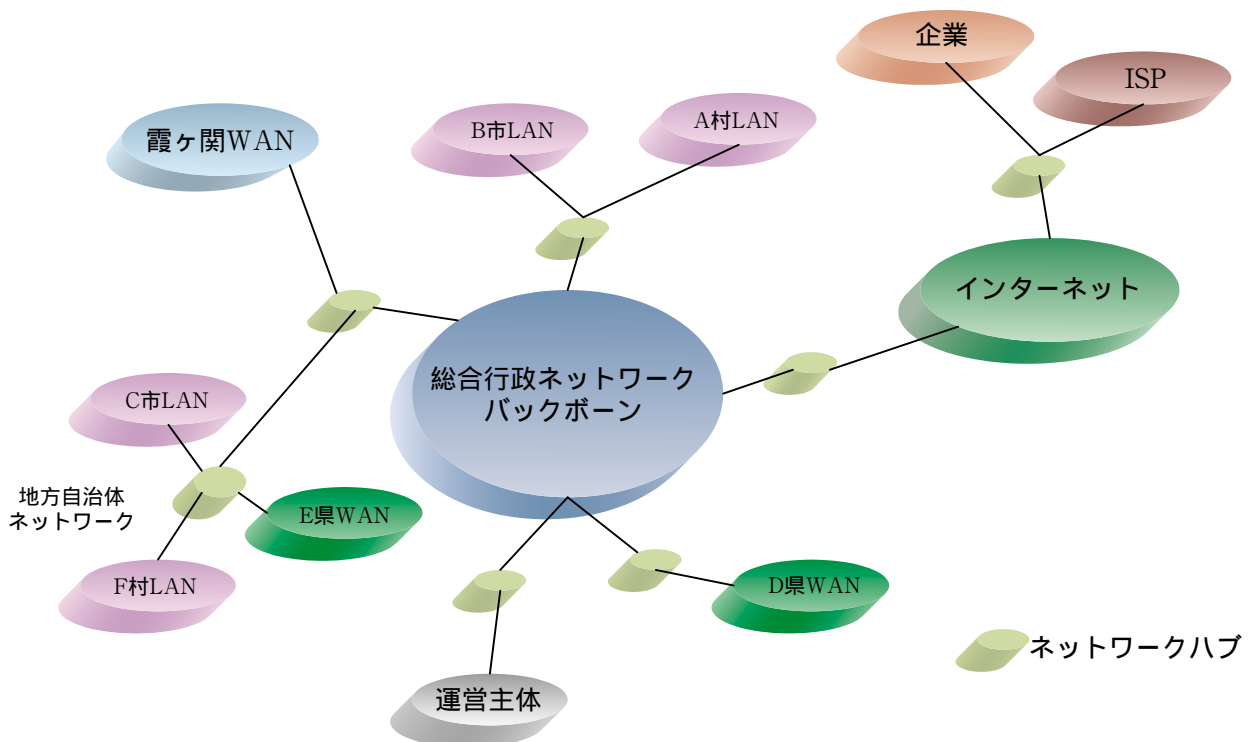


図1 総合行政ネットワーク

ワークであるインターネットに接続されることになる。そのためのハブ（IX）が必要となる。これによる、自治体と各種団体や企業等が接続される。この結果、自治体からの公共事業の発注作業や認可、企業等からの申請といった処理がネットワークを通じて出来るようになる。

第2点目は、住民基本台帳のネットワークである。住民基本台帳法が改正され、住民基本台帳を電子化された状態で運用することが認められた。移住関係を公証する住民基本台帳が電子化され、ネットワークハブを介して全国の自治体のネットワークと接続されることにより、全国共通で本人確認ができる認証の仕組みが構築される。図2に示すように、住民票コードから氏名、住所、性別、生年月日の基本4情報がネットワークを通じてアクセスすることが出来るようになる。どこの自治体からでも、住民票や各種証明書をワンストップサービスで入手出来るようになる。統合行政ネッ

トワークと同様にこのネットワークもオープンな公衆ネットワークであるインターネットに接続されることになる。このためのネットワークハブも設置される。これにより、郵便局など公益サービス部門のみならず、コンビニエンスストアや家庭などから、住民基本台帳へのアクセスができるようになる。

通信ネットワークについては、デジタル蓄積技術の発達、パソコン等のコンピュータ機器の普及、パソコン間を結ぶインターネット通信の普及等によって、市場のニーズは、これまでの電話だけの通信と異なるブロードバンド化の方向に向っている。このような時代における電子政府においても、ネットワークに要求される技術としては、一つには大量の情報（別の言葉でいえば、コンテンツ）を低コストで即時に輸送できる伝送技術であり、また一つにはコンピュータ間通信を主流としたネットワークのインテリジェント化である。

このように電子政府では、官庁や地方公共団体

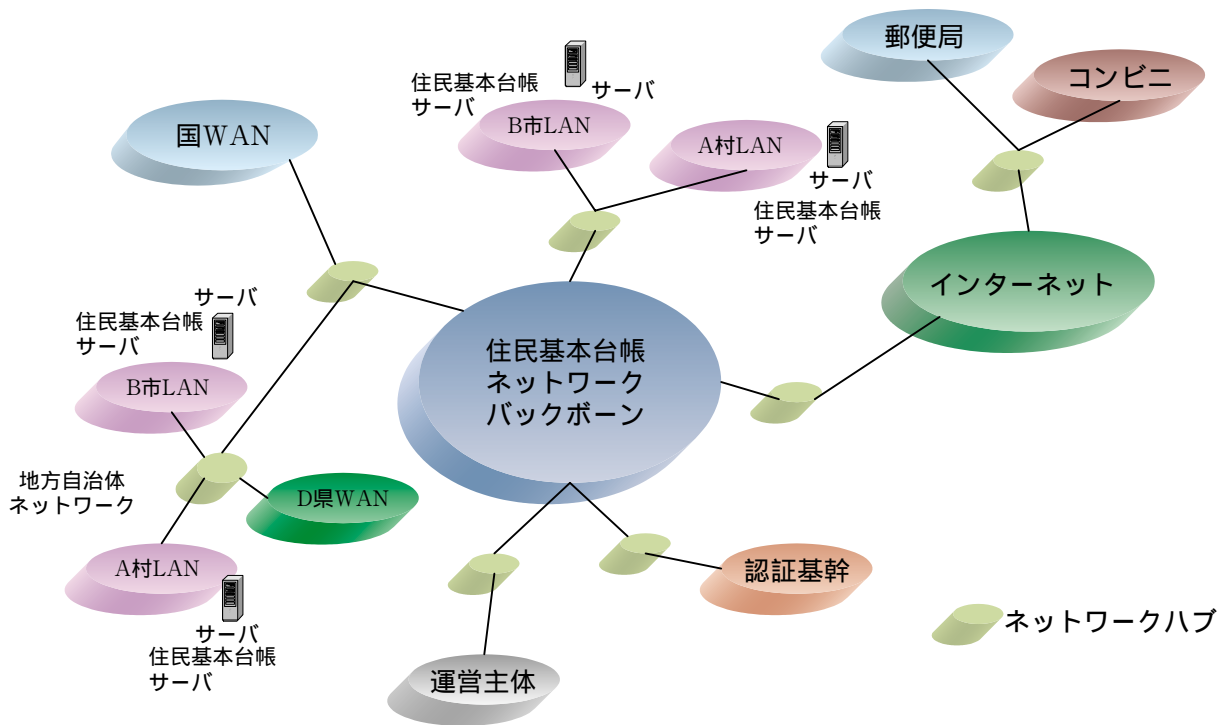


図2 住民基本台帳ネットワーク

を接続するネットワーク及びそれらを結びつけるハブ（IX）が重要な役割を担っている。次章以降では、電子政府を支えるネットワークとハブシステムについて述べる。最初にネットワークとインフラ技術の現状と課題について紹介する。それから、具体的なネットワーク要素技術として、ユーザとネットワークを結ぶアクセス系技術、ネットワークにおけるバックボーンを支える基幹伝送路技術について紹介する。

2 ネットワークインフラ技術の現状と課題

2.1 光通信技術

1900年代前半に量子物理学の多くの発見により量子論の発展が促進されて、現在の高度情報化社会の基礎となる半導体デバイス研究のもとができた。光技術は、1960年のレーザーの発明からわずかな期間で今日までの輝かしい情報通信の技術革新を生んでいる。

光半導体レーザー技術の発展は、CD-ROMやDVDなどの光メモリーの高密度化を促し、情報機器の発展を加速したばかりでなく、光ファイバーによる光通信技術の発展を促進した。現在では、WDM（Wavelength Division Multiplexing：波長分割多重）技術により数Tb/s（テラビット）オーダーの大容量化と7000Kmを超える長距離化を実現している。さらに、微細加工技術においてもその応用が期待されている。今後、期待される研究開発分野としては、次のことが挙げられる。

バックボーンとしては、ビット当り単価をさらに数百分の1に下げするために、ペタビットクラスの高速度光伝送技術の実現があり、これに関連する光デバイス・光ファイバーケーブル・光変復調・光増幅技術などが対象となる。また、アクセス系としては、IT化促進のためにFTTH（Fiber To The Home）などの低コスト化を図る必要があり、

直接光信号処理が行える光クロスコネクトノードシステムの実現などがある。特に、今後のネットワークのIP統合化が必須であることから、直接IPルーティングのできるアクセス用光ルータの実現などが必要である。この他、量子論技術においては、量子光通信や量子暗号などの新しい技術を創出しており、今後の研究開発が期待される。

2.2 移動体通信技術

電話交換機を使った移動電話の始まりは、まだ、数十年と歴史は浅いが、アナログからデジタルへの変革をもとに、その市場は急速に伸びており加入者数は既に固定電話を超えている。また、これまでの電話を中心とした利用も、今後は、メールやコンテンツ配信などのインターネット通信の利用が急速に伸びることから、回線交換からパケット交換（ルータ交換）へと早々に移行する必要がある。このため、移動体通信のバックボーンについてはIP網への転換を迫られており、特に、ネットワーク的に高機能な品質保証機能やモバイルIP機能等が標準実装されるIPv6（次世代IPネットワーク）の導入が積極的に進められている。デジタル信号処理技術の進展に伴い、劣悪な電波伝搬環境においても、干渉回避や信号補償のできるアダプティブアレイアンテナや適応変調などの適応信号処理技術が期待されており、限られた周波数帯域の中で大容量化を図る技術については今後さらに進むものと考えられる。また、セルラー携帯電話、PHS、無線LANなどこれまで多くの無線システムが市場に導入されてきたためにネットワークサービス形態が複雑化している。各システム機能をソフトウェア化することで1端末装置あるいは1基地局でマルチモードに対応できるソフトウェア無線技術が周波数有効利用上及び利便性の点から今後の課題になり始めている。

携帯電話機は、既に高機能なPDA（Personal

Digital Assistants) に匹敵する機能を保有する時代に来ていることから、インターネット網に接続することで電子政府のための端末装置として利用することが可能となってきた。このような観点から、品質やセキュリティなどの検討が今後の課題となる。

2.3 インターネット・マルチメディア技術

インターネットについては、1970年代の DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) による ARPANET に始まり、1986年の IETF (Internet Engineering Task Force) の標準化活動開始後から IPv4 の仕様化により急速に普及した自立分散ルーティングタイプのパケット網システムである。日々改良が加えられてきており、このネットワークを利用する多様なアプリケーションソフトウェアも数多く開発されている。電子政府における重要な技術として考えられる。

今後 IP アドレスの枯渇問題があるため、移動体通信技術でも述べたとおり、2005年以前までには、次世代の IPv6 の導入に切り替わることは必至と考えられる。しかしながら、インターネット網自体のコンセプトが、誰でも、いつでも、どこからでも、接続できる草の根的発想をもつことから、セキュリティ技術やマナー上の配慮などについて、インテリジェントに処理できるシステムの構築が必要である。

また、Java 言語プログラムなどを直接ネットワーク上の各ノードやサーバー間で移動させる分散オブジェクト指向のソフトウェアも利用されつつあるが、ウィルス化しないようにセキュリティ面でのネットワーク構造の再構築が必要である。今後の新しいコンテンツとして期待されている映像コンテンツの普及のためには、映像配信技術をさらに進化させていく必要があり、ヒューマンインターフェースの各種認識技術を早急に確立していく必要がある。

2.4 大容量化への対応

電子政府ネットワークにおいても、安価なインフラを効率的に利用する必要がある点では、電子コマースなどのネットワークと同様である。その意味では、あらゆるインフラにも対応可能なインターネットが最適である。特に IPv6 のインターネット時代になれば、高速・高品質・高機能のネットワークを実現できることからブロードバンド化が益々加速される。

電子政府においても、情報公開法などにより大量の情報コンテンツがネットワーク上で送信や配信されることになれば、大容量のネットワーク化は急務である。図3に各メディアにおける伝送速度の今後の予想を示す。また、図4には電子政府で必要となる印鑑証明や住民票などを含めた各種コンテンツと情報量、伝送速度の関係を示す。

区分	2000年	2010年	将来の目標
光通信 (幹線系)	数テラビット	数10テラビット以上	ペタビット
光通信 (アクセス系)	数100Mb/s	数Gb/s以上	数10Gb/s以上
移動体無線 (アクセス系)	64Kb/s~384Kb/s (静止2Mb/s)	2Mb/s~20Mb/s (静止100Mb/s)	数100Mb/s
無線LAN FWA等	数Mb/s~ 156Mb/s	数100Mb/s	数Gb/s

図3 メディアの大容量化

伝送条件	コンテンツ	源情報量	商用での情報量
リアルタイム伝送	HDTV	1.2Gbps	16Mbps ~ 40Mbps
	標準TV	216Mbps	3Mbps ~ 20Mbps
	テレビ会議・電話	37Mbps	16kbps ~ 1.5Mbps
ノンリアルタイム 伝送	印刷画像	384Mbit (A4サイズ、 400dpi)	30Mbit ~ 190Mbit
	X線フィルム画像	64Mbit	6Mbit ~ 32Mbit
	印鑑証明・住民票など(静止 画像)	384Mbit (A4サイズ、 400dpi)	30Mbit ~ 190Mbit
	モバイルコンテンツ	数Mbit ~ 数百Mbit	数十kbit ~ 数十Mbit
	音楽	1.2Mbps	128Kbps

図4 コンテンツと情報量の関係

このように大量の情報コンテンツを送信・配信時代に向けてインフラコストの低減は、電子政府を実現する上において、最も重要な課題であり、光通信のさらなる高速化と低コスト化が必要である。移動体無線技術についても、新たな周波数開

拓が必要であり、たとえば、1 GHzの周波数帯域が利用できれば、数Gb/sの伝送容量を確保できることから、メガビット当り数円のコストが数十分の1程度にまで下がると推測する。

3 アクセスネットワークの要素技術

3.1 ケーブルモデム

CATV 網は上り狭帯域 (10MHz ~ 55MHz)

下り広帯域 (90 ~ 750 MHz) の非対称メディアであるが、利用者がオンデマンドで動画や音声などのマルチメディアサービスを楽しむ上で非対称なケーブルモデムの利用は非常に適している。

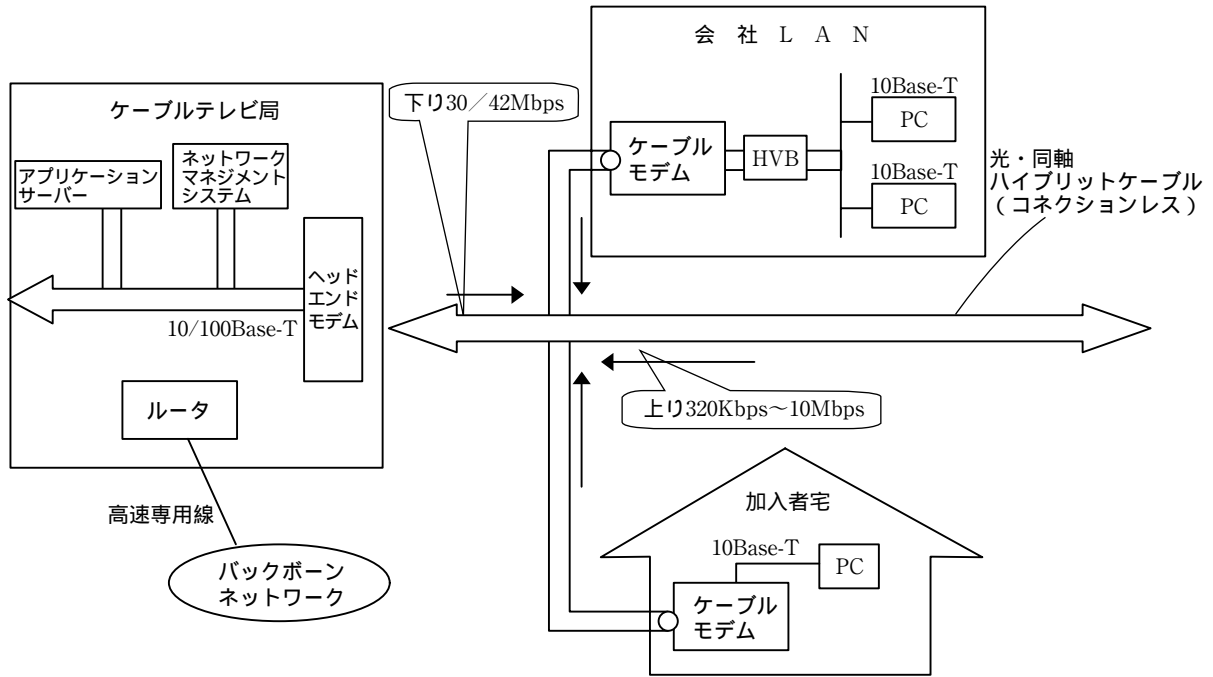


図5 ケーブルモデムシステムの構成

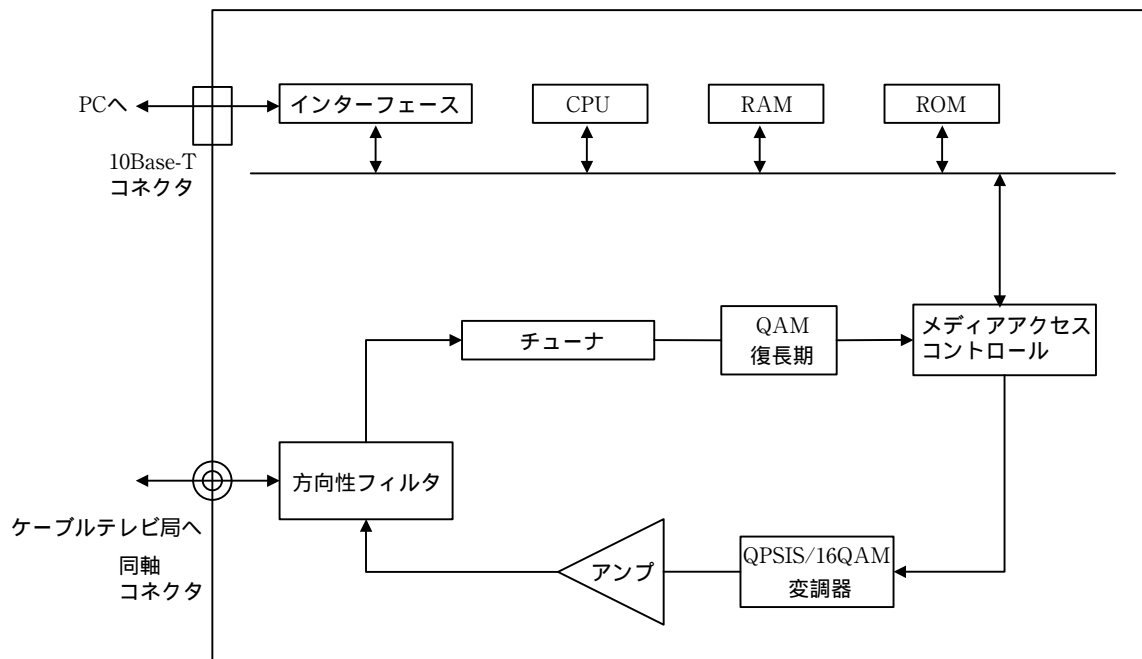


図6 ケーブルモデムの機能ブロック

基本構成を図5に示す。CATV局にはケーブルモデム(CM)を終端するヘッドエンドモデム(HM)を設置し、バックボーンネットワーク側のルータや各種サーバ、運用管理及びネットワーク管理を行なうネットワークマネジメントサーバ(NMS)と10/100BASE-Tで接続する。加入者宅内にはCMを設置し、パソコンと10/100BASE-Tで接続することにより、バックボーンネットワークと加入者宅内のパソコン間をIP(Internet Protocol)でトランスペアレントなデータ伝送を実現するいわゆるIP over Cableとなる。ケーブルモデムの機能ブロックは図6に示すとおりである。物理レイヤの変調方式は64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)および256QAMで、上り物理レイヤの変調方式はQPSK(Quadrature Phase Modulation)および256QAMが使用される。この高速デジタル変調により、下りはおよそ米国方式で30Mbpsあるいは43Mbps、日本方式で31Mbpsの高速データの受信が可能となる。一方、上りは回線品質に応じて送信が可変(320Kbps-10Mbps)にできる。複数のケーブルモデムで衝突が発生した場合には、ヘッドエンドモデムが2進バックオフ方式によって衝突を解決し、順次に送信領域を割り当てる。送信領域が割り当てられた後にまだデータが残っている場合は、次の予約情報にデータが付加し、継続したデータ送信が可能となる。また、通常のLANサービスでは帯域保証なしのベストエフォート型であるのに対して、インターネット電話など回線保証が必要な場合には、用途に応じて、最低帯域・遅延保証、固定帯域・遅延保証のサービスがサポート可能である。このほか、セキュリティ機能やIPブロードキャスト・マルチキャスト機能なども搭載している。

3.2 xDSL

xDSLはすでに全家庭にまで張り巡らされた電話用メタリックケーブルを利用して高速デジタル通信を実現する技術総称である。電話用メタリックケーブルでは400Hz~4kHz程度の周波数帯で音声信号を載せている。しかしながら、メタリックケーブル自体には、それよりはるかに高い1MHz程度までの周波数の信号を伝送する潜在能力がある。xDSLは電話で使っていないこのメタリックケーブルの空き帯域を活用する事で高速データ伝送を可能にする。

xDSLには、上り下りの両方向の速度が等しいものとしてHDSL(High bit rate Digital Subscriber Line)とSDSL(Symmetric Digital Subscriber Line)非対称なものとしてADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)、RADSL(Rate Adaptive Digital Subscriber Line)及びVDSL(Very high data rate Digital Subscriber Line)がある。非対称速度の3種は基本的に平衡メタリックケーブル1対のみで伝送を行なうのに対してHDSLは2対のケーブルを利用する。以後、xDSLの代表例としてADSLを例として説明する。ADSLでは音声信号と双方向データ信号が周波数軸上で多重化伝送される。データ信号伝送用の変調方式としては、1998年にITUの標準方式として後述するDMT方式が確定した。

DMT方式は、帯域幅を複数の搬送波に分割し、その後にそれぞれの帯域をデジタル変調するもので、雑音などの障害に対して非常に強い特徴を有している。DMT方式には最大下り6Mbps、上り640kbpsのデータ通信が可能なG.dmt方式(ITU勧告G.992.1)と最大下り1.5Mbps、上り512kbpsの通信を行なうG.lite方式(ITU勧告G.992.2)がある。G.mdt方式はメタリックケーブル上に256個の搬送波を設定し通信を行なうもので、多数の搬送波を使用するため単一搬送波に

比べて雑音が多い回線や、局との距離が遠く減衰が大きい回線など品質に問題のある回線でも利用可能となる。一方、G.lite方式は使用する周波数をG.mdt方式の半分にしたもので、特徴として電話への干渉が少ないため、ユーザ側に音声信号と分離するスプリッタを必要としない、使用する帯域がフルレートの半分であるため到達距離が長くなる、モデムのコストが安価になるなどの特徴が上げられる。さらにG.lite方式は複数の方式(Annex)に分けられており、北米では周波数多重方式(FDM)のAnnexA、欧州でがエコーキャンセラ方式(EC)のAnnexB、日本ではデュアルビットマップ方式(DBM)のAnnexCが採用されている。

3.3 FTTH

FTTHは、Fiber To The Homeの略で文字通り、家の近くの道路などまで直接光ファイバを設置し、高速なデジタル通信サービスを提供することと意味する。FTTHでは、光ファイバの敷設にコストがかかることから、その普及のスピードは緩やかであったが、インターネットのブロードバンド化の流れの中で、低価格での商用サービスが開始されつつある。FTTHは、上述のようにユーザ宅と通信事業者を光ファイバーで結ぶこ

とを意味しており、通信だけでなく映像サービスが提供可能となる。これにより、ビデオオンデマンドやホームショッピングサービスなどのマルチメディアサービスの発展に大きく拍車がかかれると考える。

FTTHの一般的構成は、次のようになる(図7)。まず、ユーザ宅側には、ONU(Optical Network Unit. 光加入者線終端装置)が配置される。これは、光信号と電気信号の変換、送受信信号の多重/分離などを行う。一方、通信会社のビルには、ONUに対抗して、SLT(Subscriber Line Terminal、光加入者線端局装置)が置かれる。これは、光信号と電気信号の変換、複数のONUの制御、送受信信号の多重/分離などを行う。そして、ユーザ宅と通信会社ビルの中に設置されるPDS(Passive Double Star)は、通信会社ビルからスター状に配線された光ファイバを、さらに光スプリッタを用いて分岐している。すなわち、局舎に設置する設備と各家庭近くまで布設する光ファイバを複数の加入者で共用し、各家庭近くにおいて、光ファイバを分岐する。局舎と各家庭とを1対1で光ファイバを布設することは高価格のため困難であるが、このPDS方式を採用することにより、低価格化が実

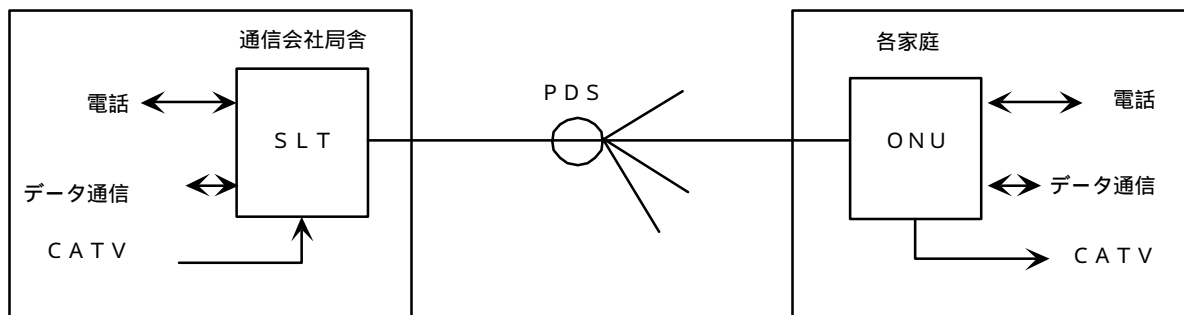


図7 FTTHの一般的構成

現する。

PDS方式では、1本のファイバで双方向伝送を可能にするためのTCM（時間圧縮技術）と、複数ユーザからの信号を多重するためのTDMA（時分割多重技術）が使用されている。情報を守るための暗号化技術も駆使されている。また、同時に波長多重技術を利用すれば、通信用信号とCATVなどの映像用信号を同時に伝送するサービスが可能である。最近になって、広帯域化のニーズが非常に強まり、PDS方式の実現例として、シェアドアクセス方式が登場した。本方式では、1本の光ファイバ上で、データ通信用と電話用の帯域を別個に確保する。16Mbpsの帯域のうち、10Mbpsをデータ通信用、6Mbpsを電話用とし、複数の家庭で共有する。すなわち、光分岐装置により、16Mbpsの容量を各家庭に配分することとなる。各家庭あたりの最低保証容量は

310 kbpsである。この方式の高速化は容易で、分岐数を減らせばよく、この場合各家庭あたりの最低保証容量は、2.5 Mbpsとなる。さらに、次世代のシェアドアクセス方式として、ATMと組み合わせたATM - PDSを利用する方式も検討されている。

3.4 FWA

FWAは、Fixed Wireless Access（固定無線アクセス）の略であり、ユーザと通信事業者を無線で結ぶシステムのことである。別名をWLL（Wireless Local Loop）と呼ぶ。ユーザと通信会社ビルの中にケーブルを引く必要が無いため、その敷設にかかるコストを削減することができる。同時に、迅速なネットワーク構築が可能となる。大きな特長として、既存の市内通信網に頼ることなく、新規通信事業者が直接ユーザに通信サービ

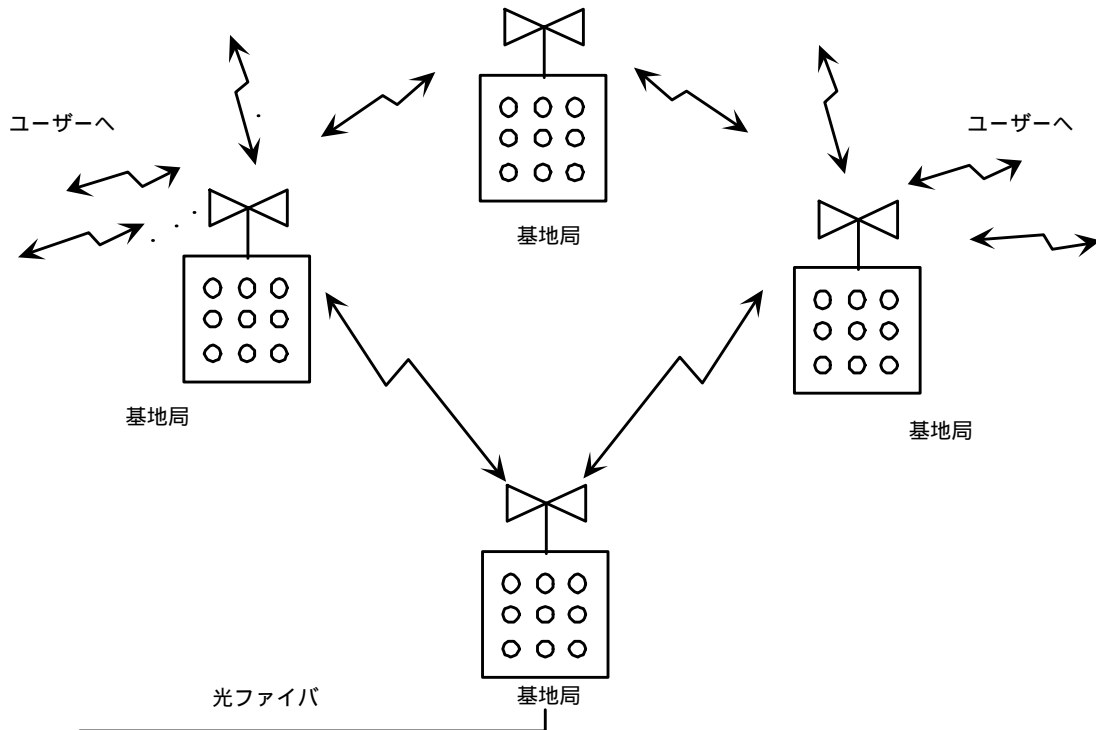


図8 FWAの一般的構成

スを提供できるようになることがあげられる。構成の一例を図8に示す。光ファイバによる基幹回線に接続された基地局から、無線により複数の中継基地局をループ状に結ぶ。各基地局ビルの屋上には、ODU (OutDoor Unit) と呼ばれるアンテナを設置し、通信に使用する。このアンテナとしては、直径約40cm、重量約10kg程度である。伝送ビットレートととしては、1.5 Mbpsから150 Mbpsである。無線を使用していることにより、電波干渉に起因する回線品質劣化が心配されるが、実際にはこれはほとんど問題とならない。その理由は、FWAにおいては、事業者ごとに専用の周波数帯が割り振られているため、他用途の電波による干渉は起こらないからである。

FWAでは、指向性の電波で基地局とユーザが1対1の通信を行うP - P (Point to Point) 方式と、1つの基地局と複数のユーザが伝送帯域の共有により同時に通信を行うP - MP (Point to Multiple Point) 方式がある。前者は伝送距離が最大約4 kmで最大ビットレート約150 Mbps、後者では半径約1 km以内の複数のユーザが約10 Mbpsの帯域を共有して通信が行う。いずれの方式でも現行の有線によるデータ通信サービスの数分の一から数十分の一の低価格を実現できる。

3.5 無線LAN

無線LANの使用周波数帯としては、マイクロ波帯の2.4 GHz、5 GHz、19GHzが利用される。2.4 GHz帯の無線LANは、IEEE 802.11のSS (Spread Spectrum、周波数拡散方式) 項で規定されている。使用可能距離は、数十メートルである。伝送速度に関しては、1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps、11 Mbpsを回線状況に応じて、適応的に自動選択している。それぞれの変調方式は、1 MbpsがBPSK (Binary Phase Shift Keying ; 2 相位相偏移変調) 方式、2 MbpsがQPSK

(Quadrature Phase Shift Keying ; 4 相位相偏移変調)、5.5 Mbpsが2相CCK方式、11 Mbpsが4相CCK方式である。ここにCCKとはComplementary Code Keyingの略であり、CDMA (Code Division Multiple Access ; 符号分割多重接続) に類似した方式である。2.4 GHz帯無線LANの課題としては、この帯域を使用する機器がLAN用途以外にも多くあり、互いに干渉しやすいことがあげられる。今後の課題として、特に屋外での使用時に、互いに遮へいされた端末同士が、互いの送信状態がわからずに、同時に基地局に向かって送信を開始してしまい輻輳を生じるといった問題がある。この問題を解決する方式として、基地局が各端末に順次、送信の有無を尋ねる、「ポーリング方式」も提案されている。

次に、5 GHz帯の無線LANは、IEEE 802.11のOFDM (Orthogonal Division Frequency Multiplex ; 直交周波数分割多重) 項で規定されている。2.4 GHz帯に比較して、より高速な通信が可能かつ同じ周波数帯を共用するシステムが少ないという利点がある。適用可能ビットレートは、6 Mbps (BPSK)、18 Mbps (QPSK)、54 Mbps (64QAM ; Quadrature Amplitude Modulationの64相直交振幅変調) などである。使用可能距離としては、2.4 GHzよりも長いのが、現状では、屋外で使用するとICOなどの衛星携帯電話システムと干渉する。そのため、駅や空港などの公共施設の屋内で利用する用途が想定されている。

さらに次の世代の無線LANとして、19GHz帯の研究開発が行なわれつつある。適用ビットレートは25 Mbpsであり、QPSKやQAMを高速化して実現する。ただし、この周波数帯域では、直進性が強過ぎて、例えば手をかざしただけでも通信不能になるなどの問題がある(図9)。今後の解

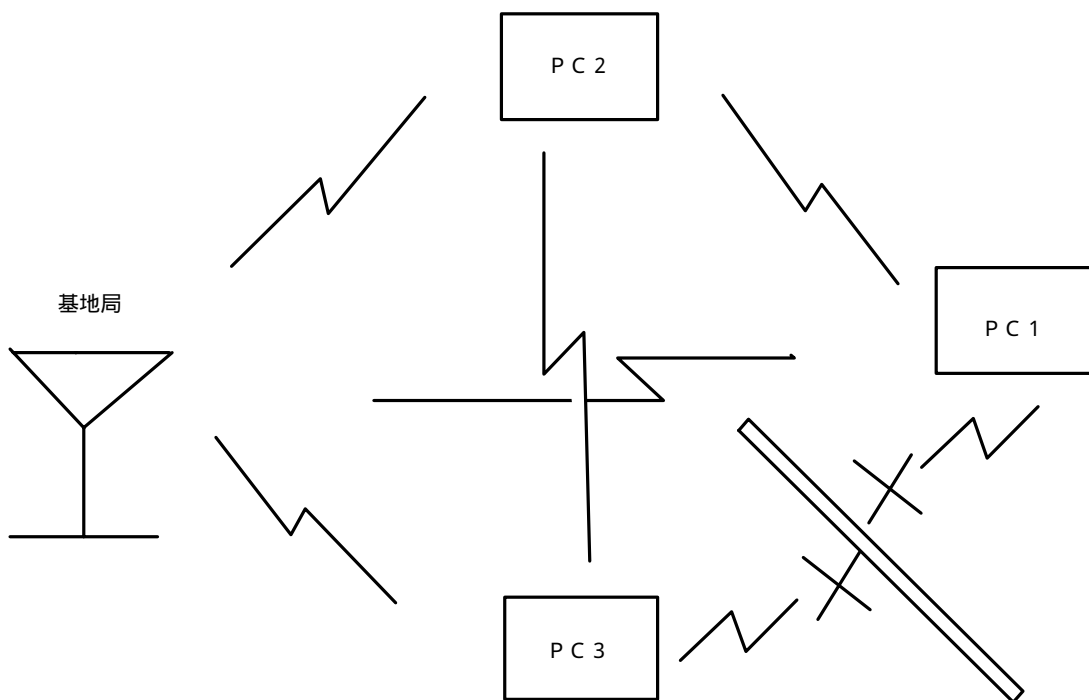


図9 遮蔽による無線LANのスループットの低下

決課題である。

この他、光無線LANとして分類されるものもある。このうち、赤外線を用いる方式は、主にデスクトップパソコンと携帯型ノートパソコンを結ぶなど、屋内での用途などに使用される。また、レーザビームによるビル間通信システムでは、500 Mbpsという高速通信も可能となる。ただし、霧など、障害物があると使用不可である。人間の目に当たると危険なため、安全上の配慮も要求される。

3.6 HDR/IMT-2000

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) は、ITUが定める次世代移動体通信システムの標準規格である。伝送速度として、(a)自動車での高速移動時：144 kbps以上(b)歩行時：384 kbps以上(c)静止時：2 Mbps以上を満足する必要がある。すなわち、現在の携帯電話に比べ、格段の高速化が実現するため携帯電話

サービスの主役は、音声通話から、インターネットなどのデータ通信へと変化していくことが考えられる。

IMT-2000には、大きく分けて次の2種類がある。(a)W-CDMA：これは商標であり、技術用語ではDS-CDMA方式という(DS = Direct Sequence)。(b)cdma2000：これも商標であり、技術用語ではMC-CDMA方式という(MS = Multi-Carrier)

DS-CDMAは、現在欧州で使用されているGSM (Global System for Mobile Communications)方式をもとにしている。GSMが最大9.6 kbpsで回線交換方式なのに対し、DS-CDMAでは最大2 Mbpsとなり回線交換・パケット交換いずれにも対応可能となる。一方、MC-CDMAは、現行の米国・日本方式cdmaOneをベースにした方式である。cdmaOneが最大14.4 kbpsの回線交換方式(高速化によりパケット交換は最大80 kbps)だったのに対し、MC-

CDMAでは1 X方式で最大153 kbpsの packets 交換、3 X方式で最大2 Mbpsの回線交換・ packets 交換が可能となる。1 X方式は、送信・受信ともに1.25 MHzの帯域幅を使用する。3 X方式は、送信に3.75 MHz、受信には1.25 MHzの帯域幅の波を3波同時に使用する。

以上説明したIMT - 2000とは別に、既存の通信設備を生かす形で携帯端末の高速化を図る方式も登場している。GSMをもとにしたものがGPRS (General Packet Radio Service) とEDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) cdmaOneをもとにしたものがHDR (High Data Rate) と1 X Plusである。GPRSは、GSM携帯電話ネットワークに追加する packets (データ) 通信システムであり、最大で115.2 kbpsの packets 交換サービスを提供可能である。また、EDGEは、その後継システムとして、GPRSとは異なる変調方式の採用により、最大384 kbpsの高速データ通信を可能とする。

一方、HDRは、cdmaOne用の高速化データ通信システムである。送信が最大307 kbps、受信が2.4 Mbpsとなる。1 X方式をベースとしており、既存の携帯電話網のアクセスポイントにHDR用の基地局装置を追加するだけでよい。しかも、バックボーンも無線アクセス区間も音声とは分けることで、インターネットアクセスに特化したシステムとなる。周波数帯は、cdmaOneと同じ800 MHz帯であるため、アンテナなども共用できる。1 X PlusもcdmaOne用のデータ通信システムであり、基地局へのモジュールの追加だけで導入可能である。伝送速度は、第1フェーズでは最大1.38 Mbps、第2フェーズでは5.184 Mbpsである。

4 基幹ネットワーク

4.1 衛星

衛星伝送の特徴としては、広域の通信が可能、地上災害を受けにくい、距離に依らず伝送品質・伝送コストが一定などが挙げられる一方で、伝送遅延、太陽雑音妨害、降雨減衰といった利用上の制約がある。衛星に搭載された中継機(トランスポンダ)では地球局からの信号を受信してこれを周波数変換および増幅した後、再び地球局へ送出する。日本を含むアジア、オセアニア地域で使用可能なアップリンク/ダウンリンク周波数は、6/4 GHz(Cバンド)、8/7 GHz、14/11 GHz(Kuバンド)、30/20 GHzである。変調方式としては、2相位相変調(BPSK)や4相位相変調(QPSK)が一般的に使用されている。衛星をベースとした基幹伝送については、特にデジタル映像伝送を中心にして、国内のSNGと国際間の素材伝送に分けて説明する。

(1) デジタルSNG

ニュース報道やスポーツイベントといった番組素材を無線伝送する手段として、JCSAT衛星(JSAT)やSUPERBIRD衛星(宇宙通信)に代表されるCS(Communication Satellite:通信衛星)を使用したデジタルSNGが広く用いられている。CSはKu帯(アップリンク周波数:14.0~14.5 GHz)の静止通信衛星であり、地形や構造物による影響がなく、地上波系のFPUに比べ多段中継を必要とせず、比較的容易に中継現場と受信放送局間の伝送路を確保できるという特徴を有し、特に災害時など緊急の報道において有効な伝送手段である。

デジタルSNGの素材伝送システムでは一般に、使用中継器の周波数帯域幅(27 MHzまたは36 MHz)、要求画質、伝送路条件(CN比な

ど)に応じて適宜複数モードから選択する構成となっている。

変調方式としては、高画質モードでは周波数利用効率の高いTC 8 PSK (Trellis Coded modulation - 8 Phase Shift Keying)を採用している。TC 8 PSKは8相PSKに畳込み符号としてトレリス符号を適用したもので、変調と誤り訂正を一体化して行うことで、符号化効率の向上を狙ったものである。これに対し、中画質モードと低CNモードでは信頼性の高いQPSKを採用し、畳込み符号との組合せにより所要CN比の低減を図っている。

(2) 国際間衛星伝送

国際間の映像伝送路としては、インテルサット衛星によるものが主流であったが、1990年代後半以後、非インテルサット系の衛星(パンナムサット、アジアサット等)による伝送サービスの提供も増えてきている。衛星経由の国際映像伝送においても、コーデック利用によるデジタル伝送が主流となりつつある。

広いカバーエリアを要求される国際衛星伝送においてはビームの照射範囲が重要であるが、従来のアナログ伝送においては地球全体をカバーするグローバルビームが中心であったのに対し、近年では地域ごとのトラヒックの偏りを考慮して、ある一定の地域を照射するヘミビーム、さらに狭い地域を対象としたゾーンビームやスポットビームが主流となっている。例としてインテルサット衛星によるビームカバレッジの様子を、太平洋衛星について図10に示す。

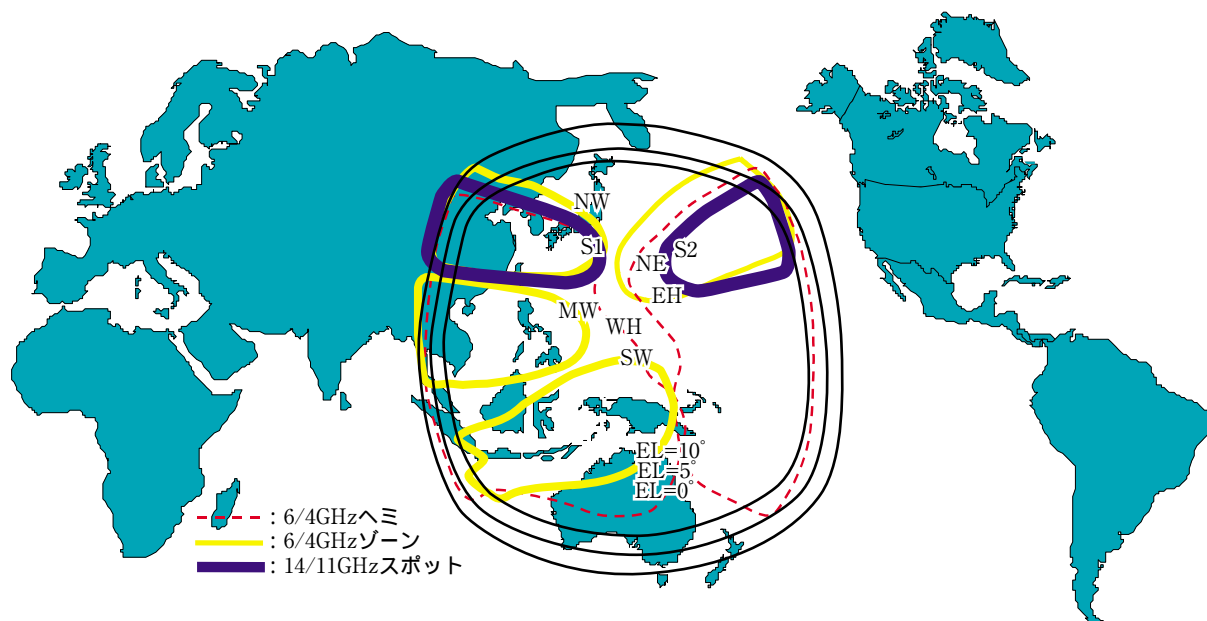


図10 インテルサット衛星によるビームカバレッジ

4.2 地上波

ニュース報道やスポーツイベントの撮影現場から放送局までを中継するデジタル伝送の手段として、地上波を利用したFPU (Field Pick - up Unit : 可搬型無線伝送装置) が数多く使用されている。FPUの伝送方式に関して従来はアナログ方式が主流であったが、周波数の有効利用および隣接周波数との干渉に対する耐性の向上といった利点を考慮してデジタル方式に移行するべく研究開発と実用化が進められている。以下にFPUで使用する代表的な周波数帯として、42 GHz帯、マイクロ波帯、800 MHz帯を挙げ、それぞれについてデジタルFPUの特徴を述べる。

(1) 42GHz帯 (ミリ波帯)

42 GHz帯を使用したデジタル素材伝送は、降雨減衰が大きく長距離伝送には適さないものの、80 MHz程度の広帯域を確保できるため、映像の高圧縮符号化や変調の多値化などを必要とせず、QPSKにより140 Mbps程度の高いビットレートでの伝送が実現可能で、HDTV圧縮信号の伝送にも十分適用可能である。

これとは別にアナログFM方式に基づく42 GHz帯伝送技術が既にワイヤレスカメラなどにおいて

導入されており、アナログ・デジタル両方式の共存を前提とし、干渉妨害の影響を考慮した42 GHz帯番組素材伝送に関する標準規格が1997年3月にARIBにより策定されている。本規格では図11に示すとおり42 GHz帯に割り当てられた500 MHz帯域に、広帯域チャンネル (周波数間隔 : 100 MHz、占有周波数帯域幅 : 80 MHz)、狭帯域チャンネル (100 MHzを3分割して各々に1チャンネルを割り当てる) の2種類のチャンネルを配列している。デジタル方式における変調方式はQPSKとし、最大伝送ビットレートは広帯域チャンネルで140 Mbps、狭帯域チャンネルで45 Mbpsとしている。

(2) マイクロ波帯

3.5 ~ 13 GHzのマイクロ波帯では100 kmを超える長距離伝送が可能であるが、1チャンネルに割り当てられる占有周波数帯域幅が17 MHz以下と狭いため、64 QAMなど周波数利用効率の高い変調方式を導入することで60 Mbps以上の伝送ビットレートを実現する。

マイクロ波帯のFPUとして多値デジタルFM方式によるデジタルFPUが既に開発されている。多値デジタルFM方式はデジタル情

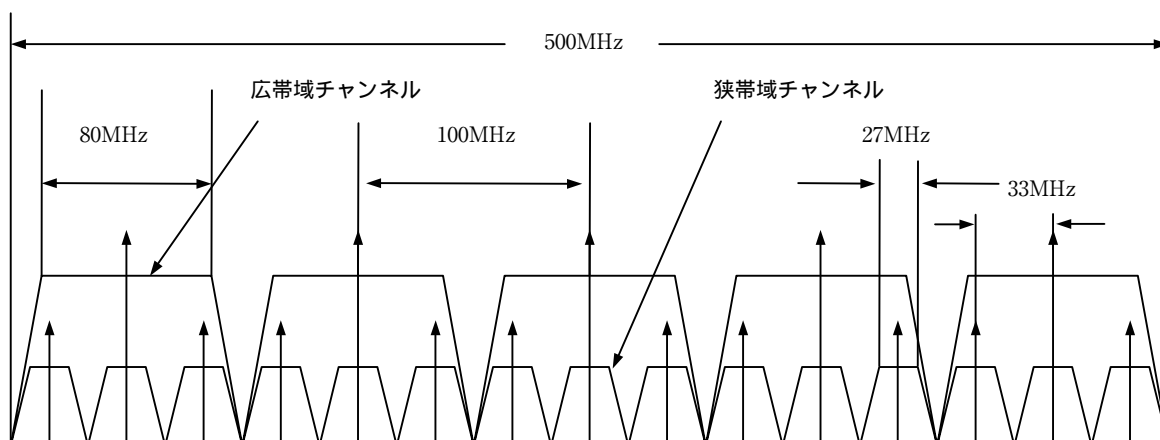


図11 42GHz帯周波数配列

報を8値や16値の多値ASK信号に変換し、これにFM変調を施して無線伝送を行うものであり、45～60Mbps程度の伝送ビットレートを実現する。同方式のデジタル伝送モデムは、現行NTSC用アナログFPUに多値ASKアダプタを付加することにより構成される。このため現行設備との共用化を可能とし、現行のアナログFM方式との混在運用が可能であり、今後予想されるアナログ方式からデジタル方式への過渡期において利便性が認められる。

(3) 800 MHz帯

800 MHz帯には放送事業社共用として計4チャンネルのFPU波(770 MHz～806 MHz、チャンネル間隔:9 MHz、占有帯域幅:85 MHz)が割り当てられている。800 MHz帯には映像伝送に適用可能な帯域が含まれ、さらに回折により障害物の影響を比較的受けにくい特性を有することから、マラソン中継、自動車レース中継、ヘリコプター経由のヘリスター中継など、イベント中継を実現する移動伝送には必須のFPUとして実用されている。800 MHz帯OFDM方式FPUは800 MHz帯という移動中継に適した周波数帯と、OFDM方式という移動伝送に起因するマルチパスフェージング耐性に優れた変調方式の組合せにより、従来のアナログFPUでは困難であった移動中継伝送を実現するものである。

4.3 光ケーブル

光伝送技術の成熟に伴い、大容量かつ長距離での伝送が要求される国内および国際の局間映像伝送サービスは光伝送によるものが大半を占めており、加えて放送局自らが手がける局内の番組素材伝送においても、敷設の容易さ、省スペースという利点を優先し、光伝送システムの導入例が見られるようになってきた。以下ではまず、光伝送の大容量化を実現する要素技術について述べた上で、光伝送システムのデジタル映像伝送への適用例について説明する。

(1) 大容量化の要素技術

光時分割多重と波長分割多重(WDM:Wavelength Division Multiplexing)という方式をベースに、光ファイバ1本あたりの伝送容量は飛躍的に高められてきている。光時分割多重方式では図12に示すように多重するチャンネルごとにタイムスロットを割り当て、各チャンネルの光信号列を該当するタイムスロットに挿入することにより高速化を図ったものである。本方式では高速な信号処理はすべて光信号領域で行われるため、時分割多重後の高速信号(例えば40Gbps)の生成においても超高速電子回路による実装を必要としない。

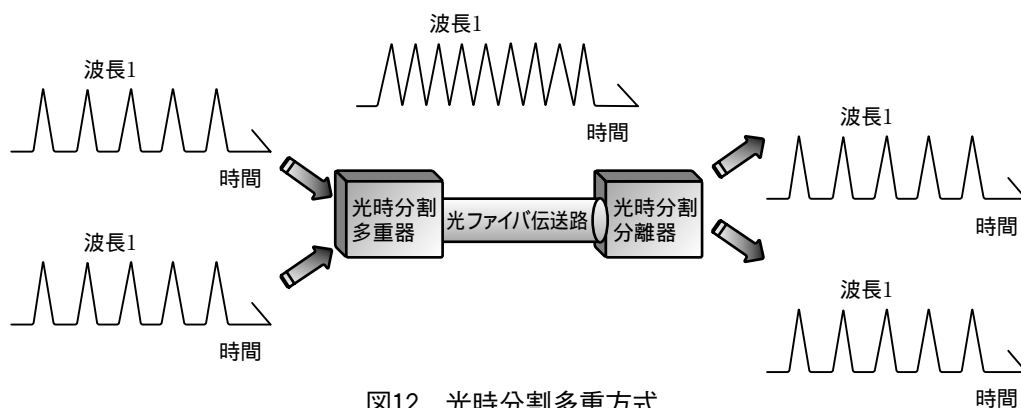


図12 光時分割多重方式

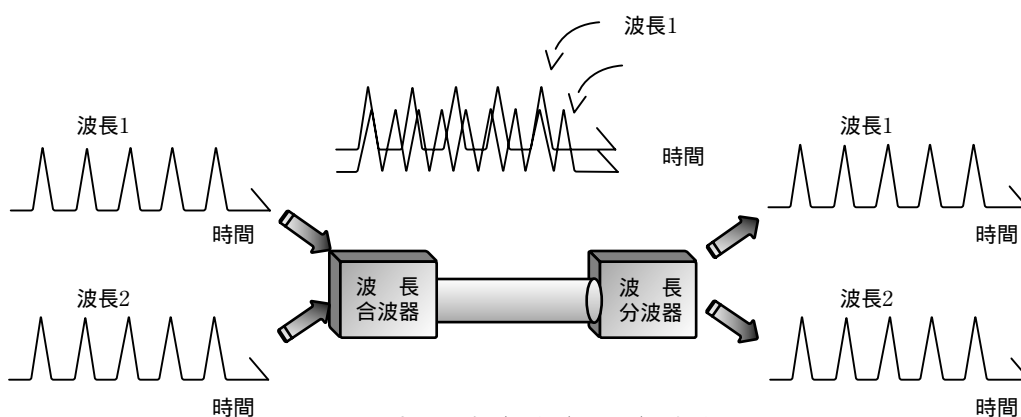


図13 波長分割多重 (WDM) 方式

また WDM 方式は無線通信や衛星通信のベースとなる周波数分割多重を光通信の分野に応用したもので、図13に示すようにチャンネルごとに異なる光波長（周波数）を有する光信号を割り当て、多重伝送することにより大容量化を図るものである。WDM方式は1980年代後半に登場したエルビウムドープ光ファイバ増幅器（EDFA：Erbium - Doped Fiber Amplifier）の導入により飛躍的に発展したもので、同増幅器は伝送速度や符号形式が異なる光信号に対しても同一の増幅利得を示す上、波長多重された光信号を高効率、低雑音、低歪みで一括増幅できるという優れた特徴を有している。

(2) 国際間光伝送システム

国際間の光伝送システムは光海底ケーブルネットワークにより構築され、図14に示すとおり日本に陸揚局をもつものだけでも現時点で相当数の光海底ケーブルが運用されている。同図で示した海底ケーブルのうち、日本を取り巻く主要なものについて抜粋し図15にまとめて示す。

光海底ケーブルが敷設され始めた1985年当時では、200～300 Mbps程度の伝送容量をもつものが主流であったが、現在ではWDMを含む光伝送技術の飛躍的な発展により、数十 Gbps という大容量なものが大半を占めており、さらに 100 Gbps 以上の伝送能力をもつ海底ケーブルの敷設も数多く計画されている。

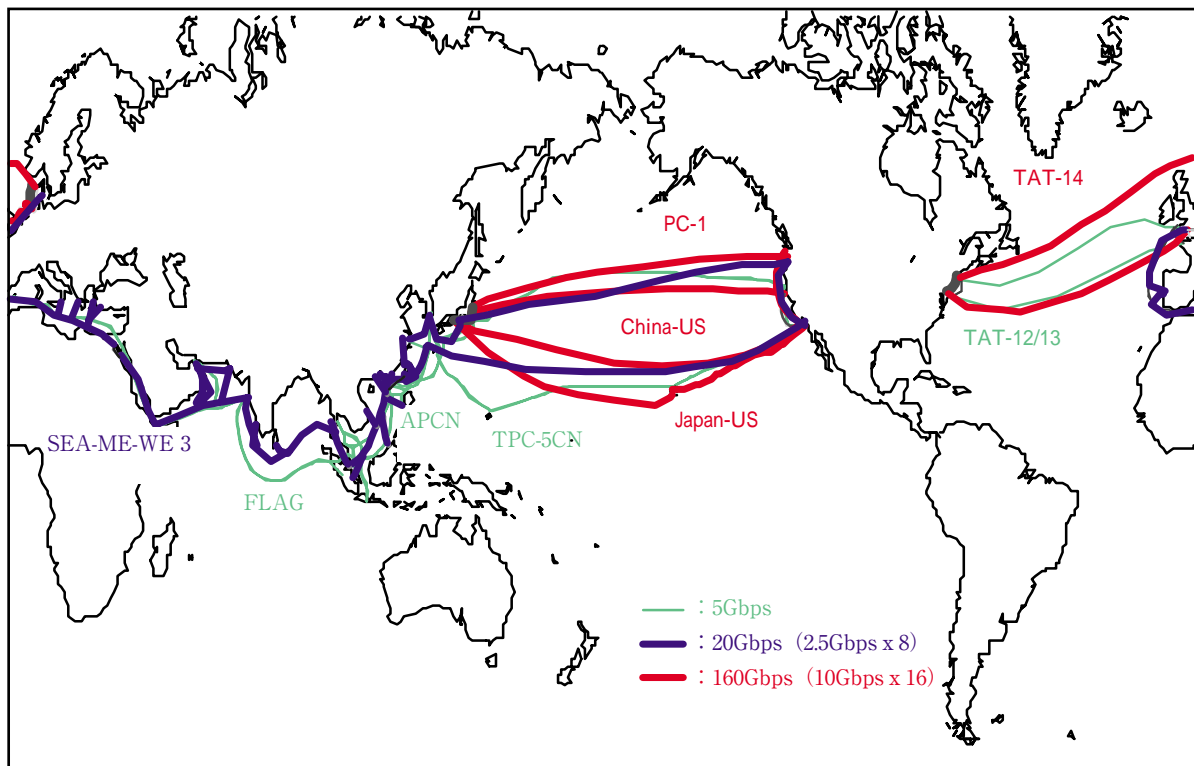


図14 光海底ケーブルネットワーク

システム名	TPC-5CN	SEA-ME-WE3	China-US	PC-1	Japan-US
総伝送レート	20Gbps	20Gbps	80Gbps	640Gbps	640Gbps
伝送レート /ファイバペア (WDMの形式)	10Gbps (5Gbps × 2)	20Gbps (2.5Gbps × 8)	20Gbps (2.5Gbps × 8)	160Gbps (10Gbps × 16)	160Gbps (10Gbps × 16)
対地	米国	西ヨーロッパ、 中東、東アジア	米国、中国	米国	米国
運用開始時期	1996 (1998に WDM化)	1999	2000	2000	2001

図15 日本を取り巻く光海底ケーブル