

無線

アクセス技術の最新動向

KDDI研究所

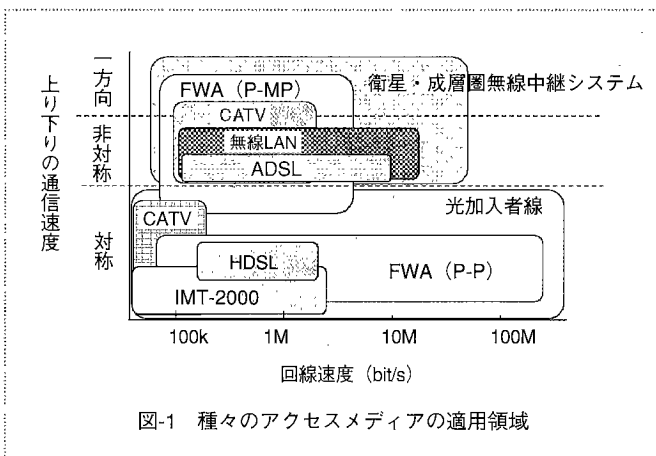
篠永 英之 shinonaga@kddilabs.jp

石川 博康 ishikawa@kddilabs.jp

多様なアクセス技術

通信網のアクセス部分はLast one mileあるいはFirst one mileと呼ばれ、最近、種々のメディアが登場している。図-1にアクセス部分に実用化されている、あるいは、検討されているメディアの適用領域を示す。高速デジタルサービスに使用可能なメディアとして最初に実用化されたのは、ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line) やCATV (Cable TV) を用いたシステムであった。ADSLは、xDSLと総称される技術の中で、下り6Mbit/s、上り640kbit/sと上り下りで非対称な通信サービスが提供でき、Web閲覧など、インターネットに適している。xDSLの中にはHDSL (High-bit-rate DSL) と呼ばれ、上り下りが1.5ないし2Mbit/sで伝送速度が上下対称なシステムもある。これらのメディアは将来的に普及するであろう光加入者線を用いるFTTH (Fiber To The Home) を補完するメディアと位置付けられる。

上述のメディアは有線を用いたものであったが、無線を用いるアクセスにも種々のメディアがある。いわゆる、携帯電話 (PDC: Personal Digital Cellular, cdmaOne), PHS (Personal Handy Phone) を用いたデータ、パケット通信は、現在、広くアクセス用途に使用されている。また、現在の携帯電話の後継システムとなるIMT-2000の提供がここ2年のうちに本格的に開始される。IMT-2000を用いれば、サービスカバレッジ内において静止状態で最大2Mbit/sのサービスを受けることができる。さらに周波数の高い電波を用いて、高速デジタルサービスを提供するメディアとしてFWA (Fixed Wireless Access: 加入者系無線システム) がある。FWAには、比較的大東な回線を特定の2地点間で提供するP-P (Point-to-Point) の形態と、基地局からみえる複数の子局に中低速のサービスを提供するP-MP (Point-to-MultiPoint) の形態がある。現在、FWAは企業通信などに多用されているが、今後、一般家庭への無線アクセスとしての展開が期待されている。そのほか、2.4GHz帯の電波を使用する無線LANを応用し無線アクセスとして使用する形態も、最近増えている。自営網の形態をとるケースが多いが、無線インターネットとして事業運営を開始する例もみられるようになってきた。また、5GHz帯の周波数を用いてMMAC (Multimedia Mobile Access Communication) システムと呼ばれる歩行速度程度で移動する端末に高速デジタルサービスを提供するメディアの研究開発も進められている。さらに、衛星通信システムを用いたインターネット提供サービスや、レーザービームを用いて数km離れた2地点を高速接続する光空間ビーム伝送システムが実用化されている。将来システムとしては、地上高20km程度の高度に飛行船を浮かべて通信タワーの



300 GHz	60 GHz帯	無線アクセス、無線LAN
	47 GHz帯	成層圏無線中継システム
	38 GHz帯	加入者系無線アクセス (FWA)
30 GHz	26 GHz帯	
	22 GHz帯	無線LAN
	19 GHz帯	衛星インターネット
10 GHz	14/12 GHz帯	無線LAN
	5 GHz帯	無線LAN
3 GHz	2.4 GHz帯	小電力データ通信システム (無線LAN)
	2 GHz帯	IMT-2000, 衛星携帯電話
	1.9 GHz帯	PHS
	1.5/1.6 GHz帯	移動衛星通信システム
	1.5 GHz帯	携帯電話 (PDC)
1 GHz	900 MHz帯	
	800 MHz帯	
300 MHz		

図-2 日本における無線アクセスの周波数割り当て状況

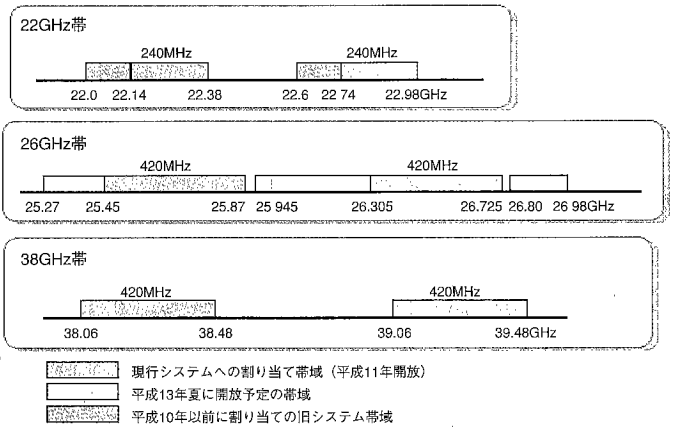


図-4 22, 26, 38 GHz帯におけるFWA割り当て周波数

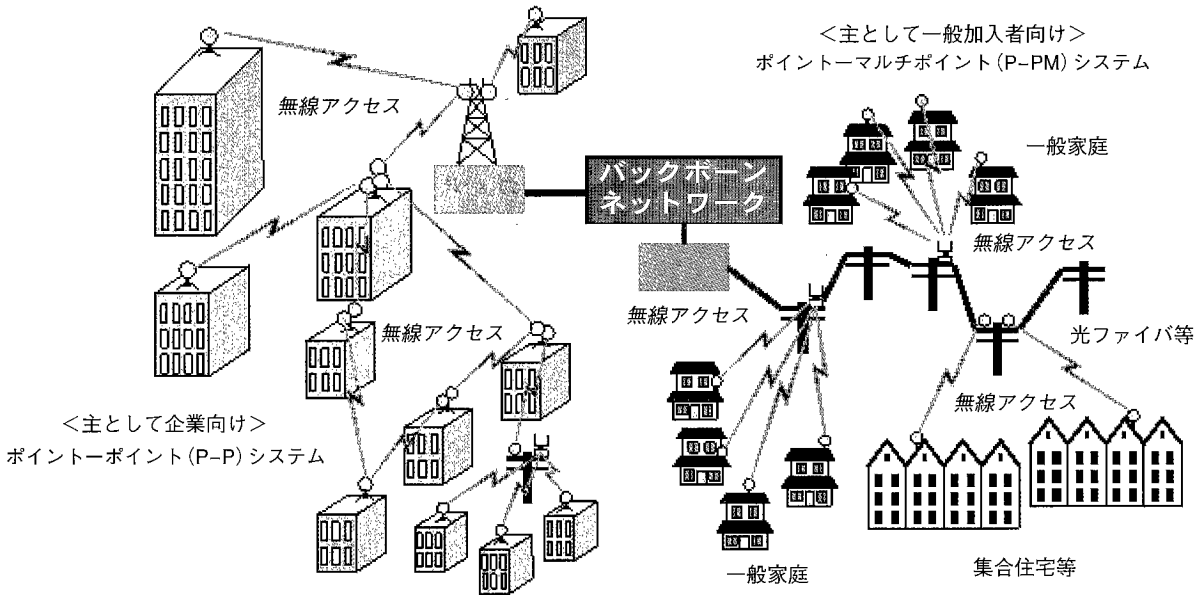


図-3 準ミリ波、ミリ波帯を用いるFWAの概念図

代わりに使用するHAPS (High Altitude Platform System: 成層圏無線中継システム)の研究開発が進められている。図-2にアクセス部分に使用可能な無線システムへの日本における周波数割り当て状況を示す。

本稿では、無線アクセス技術のうち、FWA、2.4GHz帯無線LAN、5GHz帯MMACに焦点を絞り、最新技術動向について解説する。また、2.4GHz帯無線LANを用いた事例として多数の学校を長距離・屋外無線LANで結び、インターネット接続環境を提供するとともに、2.4GHz帯システムで課題とされる干渉を回避する運用技術についての研究動向についても紹介する。

FWA (加入者系無線システム)

20GHz以上の準ミリ波、ミリ波と呼ばれる高い周波数の電波を用いて、企業ビルやマンション、一般家庭

を直接結ぶシステムはFWAと呼ばれる。図-3にFWAの概念図を示す。前述のように、P-P、P-MPの2つの形態がある。FWAはアクセス部分での競争を促進し、高速デジタル回線提供によるマルチメディアサービスの早期普及を目的として、平成10年に新しい規格が策定された。FWAは上り、下り方向で異なる周波数をペアとして用いる(全二重)システムで、当初、22, 26, 38 GHz帯の周波数が割り当てられた。図-4にFWAへの割り当て周波数を示す。P-MPシステムは26, 38GHz帯に限定されている。本周波数は事業運用者に電波免許が与えられ、事業規模に応じて60MHzを1ブロック単位として割り当てが行われている。現状、22GHz帯で4ブロック、26GHz帯で7ブロック、38GHz帯で7ブロックすべての割り当てが終了しており、FWAサービスは順調に展開している。事業展開を行っている会社にはKDDI Winstar、日本テレコム、NTTコミュニケーションズ、ソニー、Worldcomなどがあり、通信事業者に加

えてメーカー系会社も参画している。本年夏には26GHz帯で6ブロックの追加割り当てが行われる予定で、これまでFWAへの参入が制限されていたNTT地域会社も一定条件のもと周波数が割り当てられる可能性が浮上している。

次にFWAの技術的事項について説明する。P-Pシステムは、6～45Mbit/sの低速系システムと52、156Mbit/sの高速系システムがある。アンテナは直径30、60、120cmが準備されており、BS受信アンテナと同程度の簡便さで取り付けられる。図-5にP-Pシステムの外観を示す。屋外にはアンテナと送受信機能を受け持つODU (Out-Door Unit) が設置され、屋内に設置されるIDU (In-Door Unit) とケーブル接続される。IDUにはモデム、制御機能、インタフェースが実装されており、通信機器と接続される。

FWAは高周波を使用するため、雨による電波強度の劣化(減衰)を引き起こしやすい。そのため、降雨減衰を考慮したシステム設計がなされている。図-6に22GHz帯P-Pシステムにおける通信距離と降雨マージン

ン、降雨減衰量の関係を示す。ここでは年間で不稼働時間(通信が断となる時間)が2.1分間(0.0004%)のシステムを例に説明する。FWAではあらかじめ降雨減衰を想定して、高い電力の電波を送受信している。図-6には代表的なP-Pシステムで30、60cmアンテナを使用する場合の降雨マージンを示す。降雨マージンとは、ある通信距離のもと、許容できる雨による最大の電波減衰量のことをいう。図-6から通信距離が長くなるに従って電波は広がり弱くなるため、その分、降雨マージンが小さくなる様子が分かる。図-6には東京地方で観測される通信距離と降雨減衰量の関係も合わせて示した。年間降雨確率ごとに示した降雨減衰量は、その時間確率で図-6に示す降雨減衰が統計的に起こることを示している。たとえば、通信距離3kmにおいて年間時間確率0.0004%で降雨減衰は55dBにも達することが分かる。60cmアンテナを用いて年間不稼働時間率0.0004%のシステムを実現しようとする、その時間率に相当する降雨減衰量のカーブと、60cmアンテナを用いたP-Pシステムの降雨マージンのカーブが交差する点を示す距離2.9kmが最大通信距離となる。このようにP-Pシステムは通常数kmをサービス距離として設営されている。

P-MPシステムは、今から普及の段階に入る。P-MPシステムでは、後述の無線LANと同様に、上り下りで同一周波数を時分割で使用するTDD (Time Division Duplex) という方式が前述のFDD (Frequency Division Duplex) と呼ばれる全二重方式に加えて用いられる。TDDは通信が上り下りで非対称なインターネットサービスに適合性がよい方式で、限られた周波数を有効利用することができる。子局は直径30、60cmのアンテナを使用し、伝送速度10Mbit/s前後のシステムが開発されている。

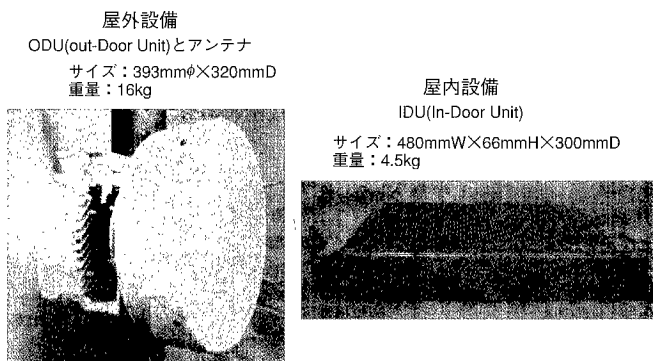


図-5 P-Pシステムの外観例

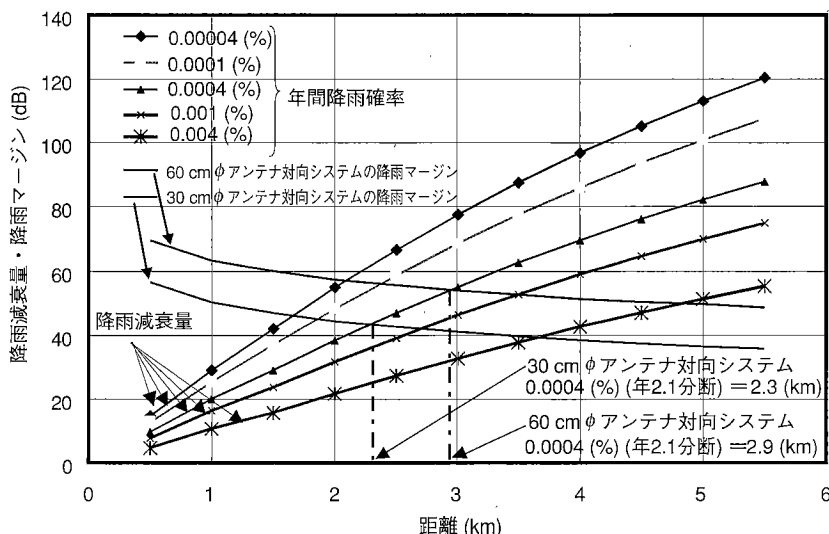


図-6 22 GHz帯における通信距離と降雨マージン、降雨減衰量の関係

2.4GHz帯無線LAN

2.4GHz帯ISM (Industrial, Scientific and Medical) バンドでは図-7に示すように産業科学医療機器をはじめとして種々の無線システムが運用されている。平成4年12月、2.4GHz帯の一部、2,471～2,497MHzの26MHz幅が日本において無線LAN(小電力データ通信)に開放された。既存機器からの干渉を許容するため、無線LANはスペクトル拡散(SS: Spread Spectrum)技術を用いることが必須条件とされた。また、小電力データ通信規格として電波強度を10mW/MHz以下に制限することを条件に、電波免許なしでどこでも使用すること

ができる新しい無線メディアとして登場した。しかし、当時、米国IEEE802.11委員会が標準化し、日本でも使用された無線LANの速度は2Mbit/sとEthernetと比較して低速であった。そのうえ、1つの通信チャンネルを複数の無線LAN端末が時分割使用するため、トラフィック量が増加すると1ユーザあたりの通信速度が遅くなるという欠点があり、大きな普及には至らなかった。このような欠点を改善するため、新しい無線LAN(新小電力データ通信)が検討され、平成11年12月、新規格が策定された。図-7に示すように、新無線LANの割り当て周波数は、2,400~2,483.5MHzの83.5MHzと広く、3つの通信チャンネルが同時使用できることとなった。また、スペクトル拡散の度合いも緩和され11Mbit/sの伝送が可能となった。その結果、11Mbit/sのIEEE802.11標準の無線LANがそのまま国内で利用できるようになり、無線LANの低廉化、普及が促進され、現在に至っている。また、機器の低廉化に伴い、2.4GHz帯無線LANを利用した無線インターネットの実運用が埼玉県さいたま市等で開始された。図-8は、無線インターネットの構成例を示している。電柱などに設置されたアクセスポイント(AP)とユーザ宅間の接続に無線LANが使用される。この際、隣接したAPは異なる無線チャンネルを使用して、干渉を回避する。大口ユーザに対しては光、同軸ケーブルでの接続を行うことも想定しており、図-8のような無線、有線の両方のシステムを併用したハイブリッドなシステム形態が、今後、出現すると考えられる。

一方、CFO-SS(Carrier Frequency Offset-Spread Spectrum:搬送波周波数オフセットスペクトル拡散)と呼ばれる日本独自方式を適用した無線LANが、長距離・屋外無線LANとしてKDD(当時)により実用化された。CFO-SSは、IEEE802.11委員会で標準化された2Mbit/sのスペクトル拡散信号を複数波、互いに干渉しないように同期多重する方式である。2.4GHz帯の26MHz内において最大9波(18Mbit/s)多重できる。水平あるいは垂直偏波の電波を利用した10Mbit/sシステム(CFO-SS10A)、水平、垂直偏波の両方の電波を利用した18Mbit/sシステム(CFO-SS18A)が

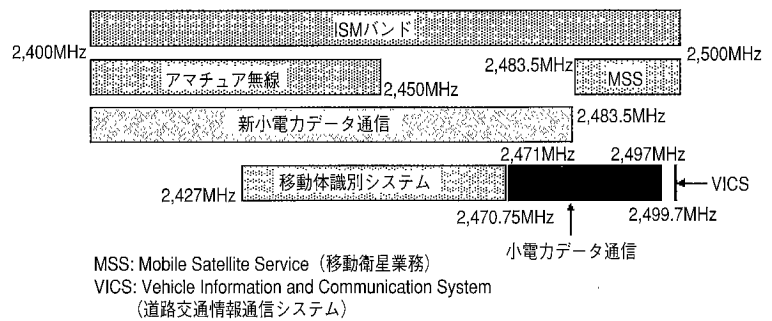


図-7 2.4 GHz帯ISMバンドでの周波数割り当て状況

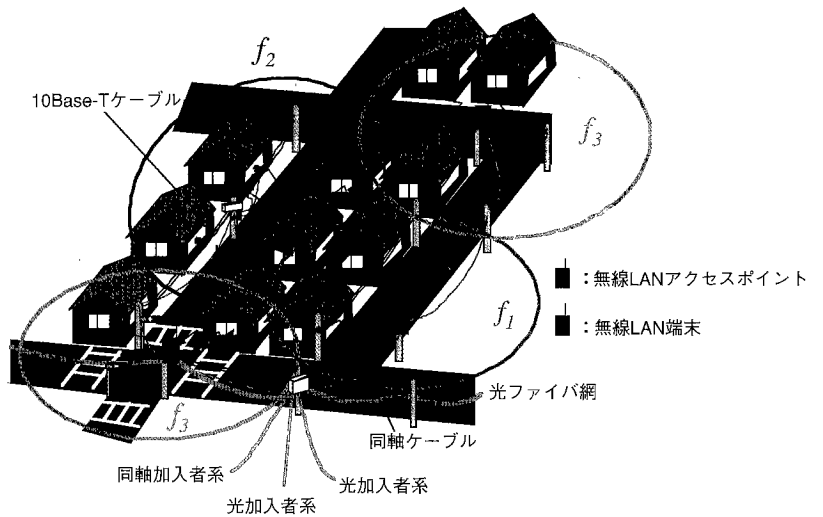


図-8 無線インターネットの構成例

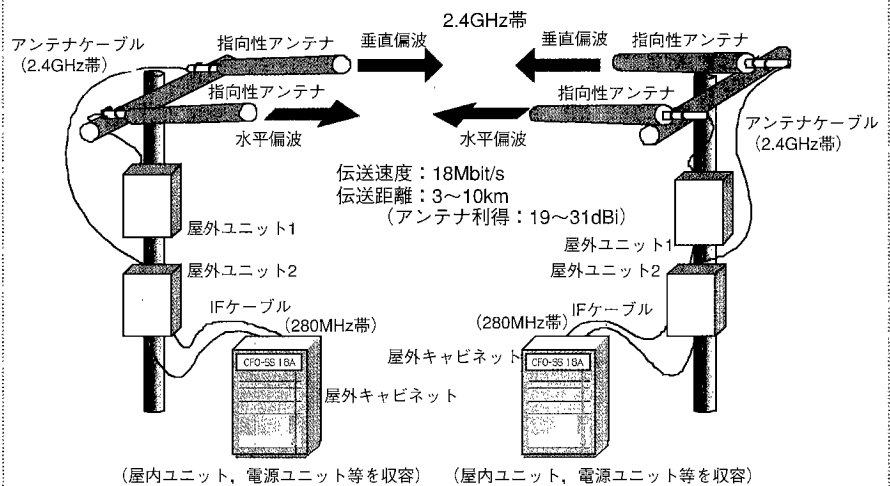


図-9 CFO-SS18Aの構成

実用化されている。平成13年5月現在、18Mbit/sは2.4GHz帯無線LANで世界最高速である。図-9にCFO-SS18Aの構成を示す。屋外キャビネットなどに収納されたIDUは2つの屋外ユニットODUとケーブル接続される。各ODUは水平偏波アンテナ、垂直偏波アンテナに各々接続される。図-9では通常のテレビアンテナと同様の構造をした多素子八木アンテナを使用する例を示し

ているが、パラボラアンテナも使用される。CFO-SSの特徴は高速性に加えて、電波の多重反射(マルチパス)に強いことから起因する長距離性にあり、使用アンテナとの組合せで10km超の通信も可能となっている。

5GHz帯MMAC

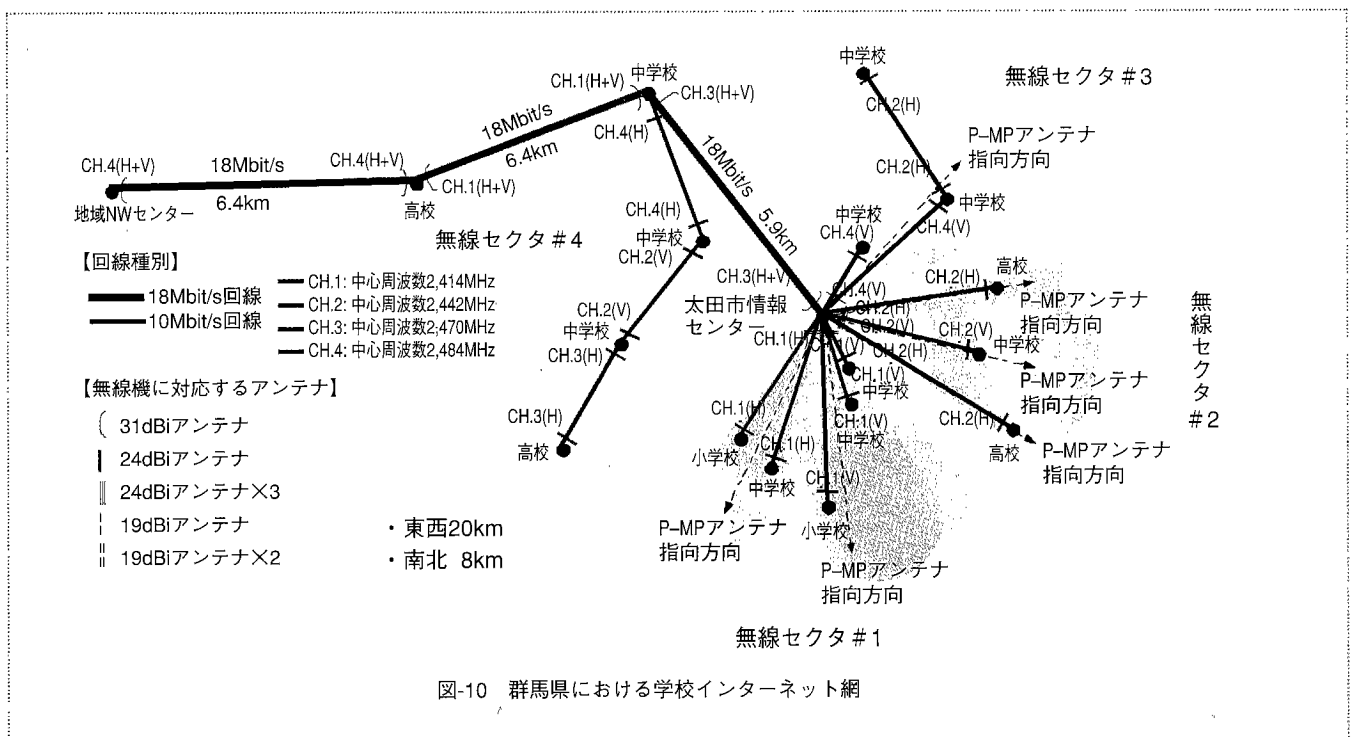
2.4GHz帯の無線LANへの開放、普及を受けて、さらに高速な無線LAN、無線アクセスを実現すべく、5GHz帯の周波数(5.15~5.25GHz)が最近、日本において開放された。5GHz帯では、1997年、米国FCCが300MHz幅を無線アクセスに開放した。本バンド向けの無線LAN規格として、IEEE802.11委員会ではOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex:直交周波数分割多重)方式を用いた無線LAN規格を標準化した。OFDMは地上波デジタル放送でも採用された方式で、電波の多重反射(マルチパス)に強い特徴を有しており、かつ、周波数利用効率に優れた方式である。一方、ヨーロッパにおいては5GHz帯無線LANとしてHiperLANが標準化されており、1993年、5.15~5.25GHzを各国共通周波数、5.25~5.35GHzを各国ごとの拡張バンドとした。日本においては、当時、MMAC推進協議会が発足し、40、60GHz帯といった高い周波数を用いてマルチメディアサービスを提供するシステムの標準化作業が行われていた。しかし、上述の欧米における5GHz帯の動きを受け、MMACにおいても電波環境に応じて通信速度を適応的に6~54Mbit/sの範囲(通常、20Mbit/s以上)で切り換える5GHz帯システムの標準化、

開発がここ2年積極的に推進された。また、IEEE802.11、ETSI(European Telecommunications Standards Institute)、MMACは密な連携をとっており、OFDMの基本パラメータなどの共通化に最大限の努力が払われている。現状、各規格は細かな点で異なる部分が残るが、今後も標準の共通化、あるいは、製品レベルでの相互通信を可能とすべく話し合いが継続されている。

また、MMACの5GHz帯無線アクセスは最近、2つのARIB標準となった。1つは、IEEE802.11a標準と同様にCSMAを適用した無線LAN規格「小電力データ通信システム/広帯域移動アクセスシステム(CSMA)」,もう1つはETSI規格に親和性のある集中制御システム「HiSWANa(High Speed Wireless Access Network type a)」で、機器の技術適合検査を行うための環境整備も進められている。さらに、実証実験システムも複数のメーカー、通信事業者により開発され、2~3年程度で実用システムが登場することが予想される。5.15~5.25GHz帯は2.4GHz帯と同様に免許不要であるが、同じ周波数を低軌道衛星システムが使用しているため、屋内使用に限定されている。したがって、一般的な無線アクセスとしての環境は整っておらず、新たな周波数の開放についての検討が行われている。

2.4GHz帯無線LANを用いた学校インターネット

2.4GHz帯の長距離・屋外無線LANを用いた事例として、群馬県伊勢崎市、太田市において、東西20km、南



北8km, 東京山手線のおよそ2倍の面積内の2公共機関, 16の学校をCFO-SSで結んだ学校インターネット網がある.

図-10にCFO-SS18A6台, CFO-SS10A21台を設営して平成12年9月に完成した大規模な無線学校インターネット網の構成を示す. 太い実線, 細い実線は各々18Mbit/s, 10Mbit/sのCFO-SSリンクを示している. 各CFO-SSリンクの色は当初使用する無線チャネルを示しており, CFO-SSリンク間の干渉, 周辺部から漏れてくる干渉が最小となるように選定されている. アンテナは利得19, 24,

31dBiの3種類が準備され, 通信距離に応じて, 適宜, 使用されている. 図-11では, 左から順にCFO-SSシステムの屋内ユニット, 利得19dBiのメッシュパラボラアンテナとODU, 利得31dBiのパラボラアンテナの設置状況を示している.

さらに具体的に説明すると, 図-10左部分の地域ネットワークセンターから高校, 中学校を經由, 図中央部の太田市情報センターまでの3リンクには18Mbit/sのCFO-SS18Aが用いられている. このリンクでは, 図-11に示す利得31dBiのパラボラアンテナが使用された. 太田市情報センターから無線セクタ#1で示した方向には2系統のP-MPシステムが投入され, 5つの小中学校を収容している. また, 無線セクタ#2のP-MPシステムでは, 中学校, 高校がアンテナのビーム幅に比較して分散しているため, 1つの親機に3個のアンテナを接続し, それぞれのアンテナを各学校に向けている. また, 3つのアンテナのビーム間での干渉を最低限に抑えるため, 両端の高校向けのアンテナは水平偏波 (Horizontal Plane: H), 中央の中学校向けアンテナは垂直偏波 (Vertical Plane: V) を使用している. 無線セクタ#3では, 1つの中学校からP-MPシステムのサービスエリア外の中学校をCFO-SS10Aで無線中継し, 接続している. さらに, 地域ネットワークセンターから太田市情報センターへCFO-SS18Aで無線中継する1つの中学校からCFO-SS10Aを用いて途中の中学校, 高校を分岐接続している.

学校インターネットは地域の学校をインターネット接続することが主目的であるが, 本地域では2.4GHz帯無線LAN網で課題とされる干渉を回避する運用手法に関する研究が継続されている. そのため, 太田市情報センターにはPCが設置されており, SNMP (Simple Network Management Protocol) を利用して各CFO-SSリンクのパケット誤り率等を監視し, 干渉による影響が規定値よりも大きくなると, あらかじめ定められたアルゴリズムに従って自動的にCFO-SSリンクの通信チ



屋内ユニット



メッシュパラボラアンテナ (19dBi, 長径60cm) と屋外ユニット

パラボラアンテナ (31dBi, 直径2.4m)

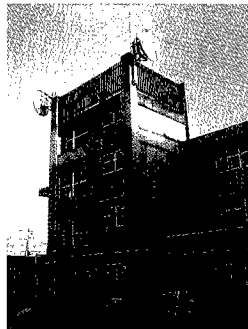


図-11 学校インターネット網におけるCFO-SSの設置例

ャネルを順次変更し, 干渉を回避している.

今後の展開

本稿では無線アクセスの技術動向として, 準ミリ波, ミリ波を用いたFWA, 2.4GHz帯無線LAN, 5GHz帯MMAC, および, 2.4GHz帯無線LANを用いた学校インターネットについて解説した. これら無線アクセスは, 最初に概説した有線系のアクセス, 携帯電話系のアクセス, 衛星, HAPS, 光ビーム空間伝送システムなど, 種々のアクセスシステムと経済性, 伝送速度, 機器設置の容易性, サービスエリア (広域, 狭域) などの条件を加味して適用領域が決定されている.

また, 無線アクセスで使用できる周波数は, 通信ニーズとともに常に変化している. 本稿で解説せず, すでに周波数が割り当てられているバンドとして19, 60GHz帯がある. 19GHz帯は免許が必要で構内限定のため, 一般的な無線アクセスには適さないが, 60GHz帯の一部バンドは短距離ではあるが, FWA以上に高速な無線アクセスとして期待されている. さらに, 25GHz帯ではMMACの一環としての標準化も検討されており, 無線アクセスとして使用可能な周波数は拡大傾向にある. また, 無線アクセス, 無線LANの垣根, さらには, 固定無線, 移動無線の区分も, 無線システムのシームレス化, 高速移動環境に適合した無線方式の共通使用からボーダが曖昧となる可能性も考えられ, 将来, 同一端末をオフィスでは無線LAN, 家庭では無線アクセス, ホーム無線ネットワーク, 外出先, 車内では公衆無線ネットワークに接続してシームレスな通信を行うことができる時代が実現することも夢ではないと考えられる.

(平成13年6月27日受付)