

# モバイルインフラ - IMT-2000とその後の展開

## IMT-2000 Infrastructure for Mobile Communications and its Future Evolution

### あらまし

インターネットの進展に伴い、i-modeなどを利用したモバイルアクセスのユーザが急速に増加している。また、モバイルインフラとして大きな期待が集まっているIMT-2000のサービスが世界に先駆け日本で開始されようとしている。IP接続サービスの普及により、データ伝送系のサービスが充実し、利用形態にも大きな変化が現れており、これらを支えるモバイルアクセスインフラの重要性も増し、高速伝送への期待も大きくなっている。

本稿では、はじめに、21世紀に入りますます重要性を増しているモバイルインフラの発展の経緯を振り返り、IMT-2000の技術および標準化を中心に解説する。つぎに、富士通で開発したIMT-2000用の高機能化技術などを紹介する。また、これから進もうとしているBeyond IMT-2000あるいは第4世代移動通信についてのシステムイメージおよびその実現に向けた課題についても述べる。

### Abstract

Mobile access to the Internet via i-mode and other services is growing rapidly. Also, the number of IP connection services continues to increase and data transmission services have been enhanced and put to a wide range of uses. Because of these developments, the infrastructure for mobile communications has become very important and there is an increasing demand for high-speed mobile data transmission. To meet this demand, a new high-speed data/packet transmission service has been started in Japan. The new service, IMT-2000, is the first of its kind in the world and is expected to form a dependable infrastructure for mobile communications. This paper first reviews the past growth of the mobile-communication infrastructure, focusing on the technology and standardization of IMT-2000. This paper then describes the advanced technologies Fujitsu has developed for IMT-2000. Lastly, this paper outlines the 4th-generation mobile communication systems that will come after IMT-2000 and the problems that must be solved for their realization.



武田幸雄（たけだ ゆきお）  
モバイルコミュニケーション開発  
研究所モバイルアクセス研究部  
所属  
現在、移動無線通信の研究開発に  
従事。

## まえがき

モバイルインフラとして大きな期待が集まっているIMT-2000のサービスが、世界に先駆け日本で開始されようとしている。近年になって、携帯電話は広く使われるようになったが、第1世代移動通信であるアナログ方式の時代には、ビジネス用途の利用が大半であった。しかし、第2世代のデジタル方式に移行すると、その利便性により、家庭での利用や若年層への浸透が進み、プライベートな利用にも使われ始めた。この第2世代の導入時には、デジタル系事業者の参入や端末機の売切り制が導入され、端末機の小型軽量化の競争にも弾みがつき、加入者数は予測を上回るスピードで増加した。2000年のはじめには携帯電話とPHSの加入者数が固定電話の加入者数を上回っている。また最近では、i-modeやEzweb、J-SkyなどのようなIP接続サービスの普及によりデータ伝送系のサービスが充実し、利用形態にも大きな変化が現れている。富士通では、“Everything on the Internet”をスローガンに掲げ、新たなビジネスの展開を開始しており、モバイルインターネットインフラの提供は、富士通の全事業部門が関係する21世紀初頭の最も重要な事業の一つである。

本稿では、初めにモバイルインフラの発展の経緯を述べ、2001年5月にサービスが開始されたIMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000)の技術概要および標準化の状況を説明する。IMT-2000については、高機能化技術として、富士通研究所が開発した干渉キャンセラおよびアダプティブアレーアンテナを紹介する。また、モバイルインフラとしての重要な基盤となるBeyond IMT-2000あるいは第4世代移動通信についてのシステムイメージおよびその実現の課題を述べる。

## モバイルインフラ

インターネットの進展に伴い、i-modeなどを利用したモバイルインターネットに代表されるモバイルコンピューティングの利用が急速に増加している。「いつでも、どこでも、どのような情報通信サービスも利用できる状態を実現する」ためには、三つのポイントがある。その一つはどこにでも持ち運べる携帯情報端末、二つ目は無線などの通信網インフラ (Infrastructure)、そして三つ目は情報サービス等のモバイルアプリケーションである。これらの3要素の実現により大きな利用価値が生まれてくる。無数のコンピュータが至る所に存在する

ユビキタスコンピューティングやパーベイシブコンピューティングなども同じ概念のものでその発展形である<sup>①</sup>。

ここでは、携帯電話に代表されるセルラー方式を採り上げ、モバイルインフラの発展の経緯を振り返る。日本では、1979年に初めて、公衆網の移動通信手段として、自動車電話システムのサービスが開始された。このシステムは第1世代の移動通信であり、音声の変調信号をアナログ的に伝送することからアナログ方式とも呼ばれている。第1世代の代表的な方式としては、NTT方式や、米国のAMPS、欧州のTACS、北欧のNMT (Nordic Mobile System) などがある。

第2世代方式は、伝送信号をデジタルデータとして伝送する方式で、音声信号は高能率な音声符号化技術によりデジタル化し伝送する。日本でサービスされているPDC方式、欧州のGSM方式、米国のDigital AMPS (IS-136) やIS-95などの方式がある。これらのアクセス方式としては、TDMA方式やCDMA方式が採用されている。一方、この時期には、コードレス電話の発展形としてとらえられるPHSやDECTなどのシステムがあり、これらは同様にTDMA方式を使い、とくに上りと下りに同じ周波数を用いるTDD方式を採用している。このようにアナログからはじまった移動通信システムは、おおよそ10年周期で新しい世代へと引き継がれている。

## IMT-2000

前章で述べた携帯電話や自動車電話をサービスする移動通信システムは、第1世代のアナログ方式から第2世代のデジタル方式へと進んだが、日本、米国、欧州とそれぞれ方式が異なるため、国を越えての利用ができない不便さが存在している。中でも、欧州のGSM方式は欧州内ではあるが統一を実現している。

このような反省にたつて、第3世代移動通信システムであるFPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems) は、国際統一標準にするとの合意のもとに標準化がITU (国際電気通信連合、当時のCCIR) で進められた。いつまでもFutureを冠したFPLMTSの名称は、現実にそぐわないとの意見で、ITUでは、西暦2000年からの導入、周波数帯として2,000 MHzを使用すること、データ伝送速度として2,000 kbps以上が可能なシステムとの理由からIMT-2000と命名し、広く知られることとなった。

標準化にあたってのシステム要求条件としては、

表-1 IMT-2000の地上系無線インタフェース

多元接続方式	方式分類	通 称	提 案(国)
CDMA方式	DS-CDMA	W-CDMA, UTRA FDD	日欧
	MC-CDMA	cdma2000	米国
	TDD	UTRA TDD	欧州, 日本, 中国など
TDMA方式	シングルキャリアTDMA	UWC-136	米国
	FDMA/TDMA	DECT	欧州

(1) グローバルローミングの実現, (2) 世界的に共通性の高い設計, (3) IMT-2000と固定網とのサービスの互換性, (4) 高い品質のサービスの提供, (5) 高速データ通信サービスによるマルチメディアサービスの実現が挙げられる。伝送速度としては, 高速移動環境, 歩行速度環境, 室内環境に分類し2 Mbpsまでの高速データ通信を可能とする通信方式であることなどの基本的要求条件が示された。

周波数に関しては, 1992年に開催された世界無線通信主管庁会議WARC-92 (現WRC) において, 2 GHz帯の230 MHz (1,885 ~ 2,025 MHzおよび2,110 ~ 2,200 MHz) がこのFPLMTS (IMT-2000) 用として特定された。さらに, 2010年で160 MHzの帯域が不足するとのITU-Rによる報告を受けて, 2000年5月に開催されたWRC-2000では, IMT-2000用追加バンドとして, 806~960 MHz, 1,710~1,885 MHz, 2,500~2,690 MHzの三つの帯域が指定された。

IMT-2000の研究開発は, 大きな伸びが予想されるマルチメディア移動通信への需要に対応するために, 各国で進められている。日本では, 世界に先がけNTT DoCoMoが, 2001年の5月より首都圏を中心にサービスを開始した。

● 標準化

IMT-2000は, 1985年よりITU-RにおいてFPLMTSとして, 標準化が開始された。そして, WARC-92において前述のように全世界共通に2 GHz帯の周波数を割り当てた時点から本格化した。勧告制定の手順は, 各国の標準化団体から, ITUが要求する機能性能 (2 Mbpsの伝送などを含む) に合致する無線方式提案を受け付け, その評価判定を作成し, 勧告の発行を1999年末までに行うことが示された。結局, 無線伝送方式は地上系で10方式, 衛星系で6方式がITU-Rへ提案された。衛星系は提案された方式すべてがITU勧告となったが, 地上系は多数の方式が併存する状況は, 世界統一標準を作成するというITUの当初の趣旨から外れるため, ハーモナイ

表-2 W-CDMA方式の主要諸元

項 目	仕 様
アクセス方式	DS-CDMA/FDD
帯域幅	5 MHz
チップレート	3.84 Mcps
情報レート	最大2,048 kbps
フレーム長	5 ms, 10 ms, 20 ms
変調方式(上り/下り)	BPSK/QPSK (データ)
	HPSK/QPSK (拡散)
誤り訂正	畳込み符号, ターボ符号
拡散符号	短周期符号と長周期符号を用いた2重拡散
検波方式	パイロットシンボルを用いた同期検波
送信電力制御	SIR推定閉ループ+開ループ制御
基地局間同期	非同期/同期

ゼーション活動により提案された方式のマージ作業が精力的に行われた。この結果, 表-1に示すようにCDMA方式の3方式とTDMA方式の2方式が勧告された。一方, 日本国内でも, 電気通信技術審議会の審議を経て, W-CDMAとcdma2000の2方式がIMT-2000の技術仕様として, ARIB (電波産業会) により作成されている<sup>9)</sup>。

● W-CDMAの概要

W-CDMA方式は, 第2世代の方式に比較して数々の優れた特長を持つ。スペクトル拡散と符号分割多重アクセス技術により, 移動環境下で安定した高速データ伝送を実現し, トラヒックの統計多重効果を最大限に利用することで高い周波数利用効率を達成している。また, データ通信においては, 多様な伝送レートを柔軟に収容することが可能で, IPベースの通信にも適したパケット伝送が可能である。インターネットアプリケーションなどの上りと下りでトラヒックが非対称となる通信もサポートする。

このW-CDMA方式の主要諸元を表-2に示す。アクセス方式は, DS (Direct Spread) モードの符号分割多重アクセスで, 最大2 Mbpsまでの通信が可能である。基地局の同期方式については, 非同期および同期の両モー

ドをサポートしている。非同期システムは、GPS (Global Positioning System) などを用いて基地局間で同期をとる必要がないため、地下街や屋内などのGPSの電波が届かない場所でのサービスが容易となるなど、柔軟に容易にネットワーク構成が行える大きな利点がある。また、可変拡散率伝送とマルチコード伝送により、提供するサービスに応じて様々な伝送レートを柔軟にかつ効率良く収容することができる。

### IMT-2000の高機能化技術

本章では高機能化技術の一例として、富士通研究所で開発した干渉キャンセラとアダプティブアレーアンテナを紹介する。

#### 干渉キャンセラ

前述の仕様にあるように、W-CDMA方式は、各ユーザが異なる拡散符号を用いて通信を行うことでチャンネル分離を行う。基地局から端末機への下り方向では、それぞれの端末機に割り当てるコードは直交しているためマルチパスなどの影響を除くと原理的には干渉は生じない。しかし、上り方向ではそれぞれの端末機は同期していないので、あるユーザから見ると他ユーザの信号はすべて干渉となり、通信可能なトラヒックが制限される。この干渉を低減できれば、さらに容量を増大させることができるため、干渉キャンセラなどの干渉除去技術が注目されている。干渉キャンセラの構成を図-1に示す。CDMA方式では、あるユーザの信号を復調する際に、受信信号に含まれるほかのユーザの信号は干渉信号となる。基地局では、受信すべきすべてのユーザの拡散符号を知っているため、いったん各ユーザの信号を復調する

ことにより干渉信号のレプリカを生成する。この干渉レプリカを受信信号から差し引くことにより干渉を抑圧できる。このようにして干渉を抑圧した受信信号を用いて、再度復調を行うことにより、各ユーザの信号を再生する。これらの処理を繰り返し行うことで、干渉抑圧特性を向上させることが可能であるが、回路規模は増大する。富士通研究所が開発した干渉キャンセラは、軟判定技術を用いて、干渉レプリカ生成精度を高める工夫をほどこしているため、1回の処理で十分な干渉抑圧が得られる特長がある。また、高速レートで通信しているユーザからの干渉に着目し、優先的にこれらを削減することで、回路規模を大きく削減し、大きな改善効果が得られるパースナル干渉キャンセラを開発した。シミュレーションにより求めた、上りリンクのチャンネル容量特性を図-2に示す。条件として、音声チャンネル(8 kbps)と高速データ

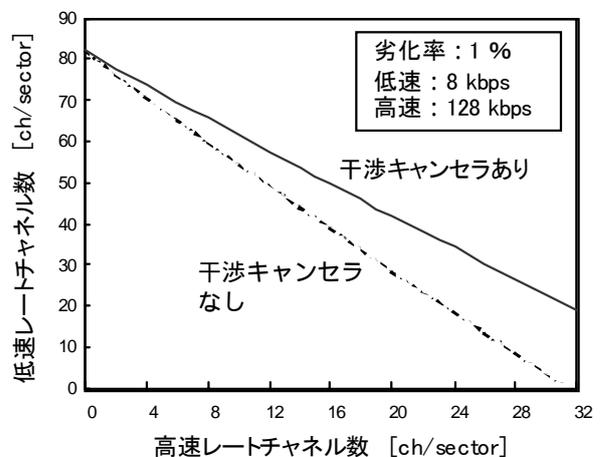


図-2 干渉キャンセラのチャンネル容量特性  
Fig.2-Channel capacity with interference canceller.

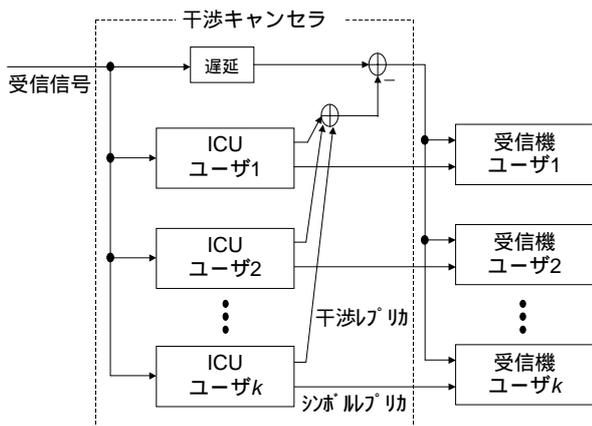


図-1 干渉キャンセラの構成  
Fig.1-Structure of interference canceller.



図-3 干渉キャンセラ試作装置  
Fig.3-Testbed of interference canceller.

チャンネル (128 kbps) が混在する環境において、高速データチャンネルの干渉のみをパシカル干渉キャンセラにより抑圧した場合の特性結果を示す。また、実験装置の外観を図-3に示す<sup>(3)-(6)</sup>

アダプティブアレーアンテナ

アダプティブアレーアンテナは、複数の素子アンテナを並べたアレーアンテナの指向性を適応的に形成することにより、希望局の方向に狭ビームを向けて送受信を行う技術である。アダプティブアレーアンテナを用いた基地局の構成を図-4に示す。上りリンクにおいては、各素子アンテナにおける受信信号をそれぞれ重み付けし、合成した信号を用いて復調する。このとき、重み係数は、適応アルゴリズムを用いて合成後の信号のSIR (信号対干渉電力比) が最小となるように逐次制御される。これにより、希望信号の到来方向にアンテナの感度が高くなるように、また、干渉信号の方向には、アンテナの感度が低くなるようにビームの指向性パターンを形成するこ

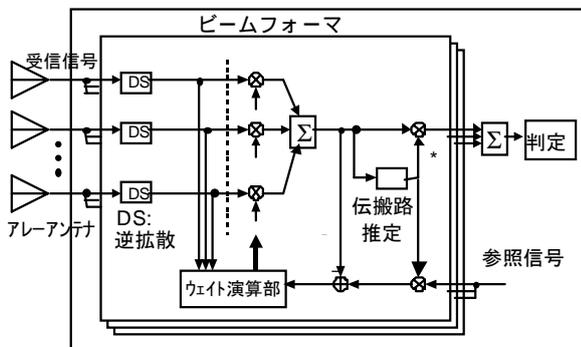


図-4 アダプティブアレーアンテナを用いた基地局の構成  
Fig.4-Base station with adaptive array antenna.

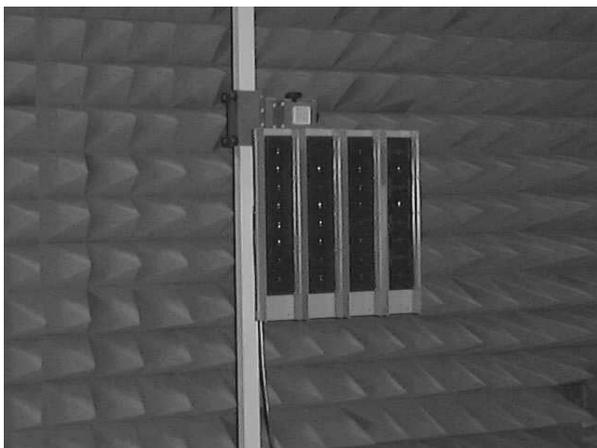


図-5 4素子アレーアンテナ  
Fig.5-4-element array antenna.

とができる。

一方、下りリンクに用いる送信ビームパターンは、上り信号から求めた端末機からの信号の到来方向にビームの指向性が最大となるように制御を行う。4素子アレーアンテナを用いることにより、通常の2ブランチダイバーシチ受信の容量と比べ、約2倍のチャンネル容量が得られる。一方、下りリンクについては、通常1アンテナで送信を行うため、4素子アレーアンテナを用いると、約4倍の容量が得られる。試作装置で用いている4素子アレーアンテナの外観を図-5に示す<sup>(6)</sup>

Beyond IMT-2000, 第4世代移動通信システム

IMT-2000の開発・実用化が進展しているなかで、その次のシステムである第4世代移動通信システム (以下、4Gシステム) に関する研究・開発が進んでいる<sup>(7)</sup>。ITU-Rでは、IMT-2000の無線部分を担当していたTG8/1が、1999年11月の会合で終了したのに伴い、4Gシステムに関する検討を行うため、2000年3月にWP8Fを設置した。Future Development of IMT-2000, およびSystems beyond IMT-2000に関する目標・ビジョンを検討し2001年6月に勧告草案を作成することが合意されている。なお、日本でも、新世代移動通信システムの将来展望に関し、システムの基本コンセプトや実現に向けた技術開発課題、標準化課題およびその推進方策について、総務省 (旧郵政省) が電気情報通信技術審議会に諮問した。これをうけて、2001年6月末に答申された。従来のシステムが10年周期で新しい世代へと引き継がれていることやオペレータの設備投資事情を考慮すると、4Gシステムが導入されるのは、2007年~2010年と想定される。そのモバイル通信システムの技術トレンドを図-6に示す。

以下に、富士通および富士通研究所における検討状況を述べる。

4Gシステムに要求されるサービス

- (1) インターネットの進展により、移動通信環境でも固定と同様に、常時接続通信 (Always on) が高まる。
- (2) 従来の通信では、人と人との通信が主であったが、これからは、人とコンピュータ、コンピュータや装置相互間などの通信が主になる。
- (3) ユーザの視点からは、さらに高速で使い易さの追求が望まれる。伝送速度は、最低でも下り20 Mbps以上のサポートが望まれるであろう。また、サービスはいつでもどこでも受けられるが、伝送速度は、

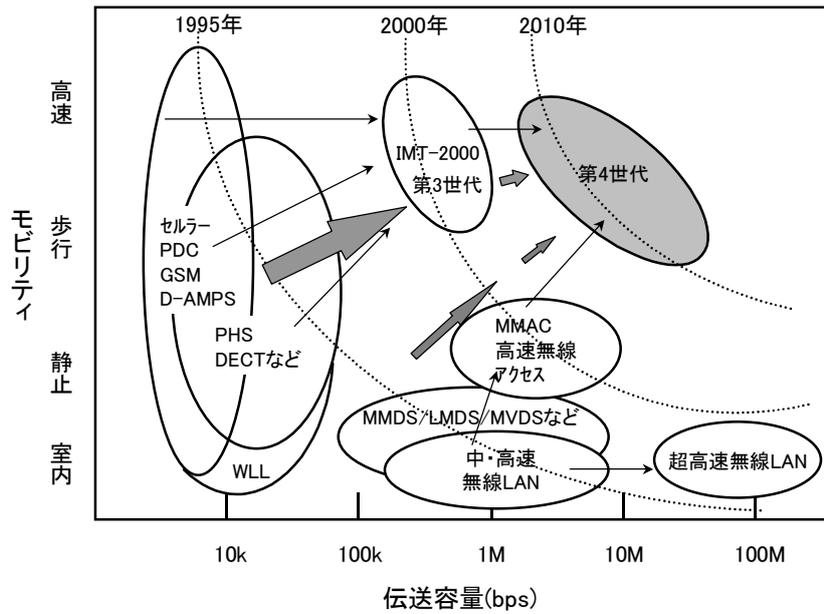


図-6 移动通信・無線アクセスの技術トレンド  
Fig.6-Technology trend of mobile and wireless communications.

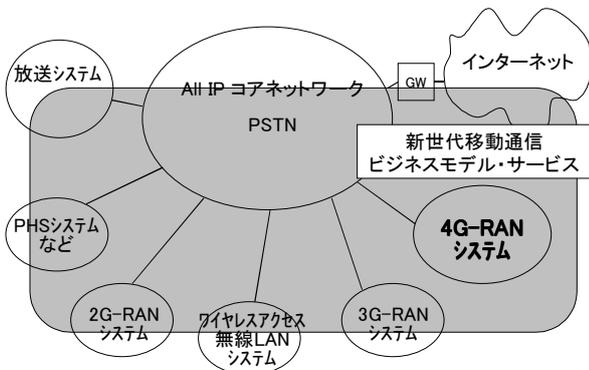


図-7 新世代移动通信システムのサービス・ビジネスモデル  
Fig.7-Service and business model of new generation mobile communication systems.

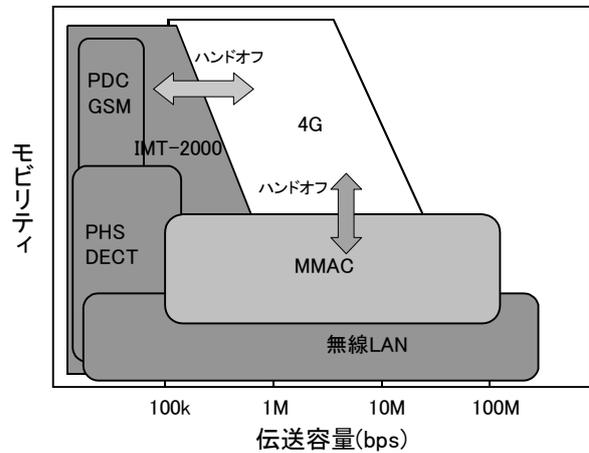


図-8 第4世代移动通信システムの位置付け  
Fig.8-4G mobile communication system.

時には均一であったり平等であったりする必要性はないものと考えられる。

#### 4Gシステムの位置付け

第2世代や第3世代（以下、3G）などのシステムは、図-7に示すように無線アクセスのサブシステムとして、All-IP化されたコアネットワークや公衆網でつながり、4Gシステムも高機能化された一つのサブシステムである。新世代移动通信とは、4Gシステムおよびこれらのサブシステムを包含したビジネスモデルおよびサービスを示すものと著者らは、考えている。4Gシステムの位置付けを図-8に示す。このようなサービスやシステムコンセプトを明確にし、実現に必要なとなる課題を抽出する

ことが重要である。

その課題としては、

- (1) サービスイメージやシステムコンセプトの明確化
  - ・第4世代方式の位置付けや3Gからのマイグレーション
  - ・固定網や既存網とのサービスのシームレス化
  - ・放送と通信の融合
  - ・ビットコストの低減化法など
- (2) 無線アクセス方式・無線アクセス網の構成法
  - ・周波数の確保
  - ・移動環境下における高速パケット伝送，上下非対称伝送

- ・アダプティブアレーアンテナなどの感度向上技術
  - ・ソフトウェア無線によるマルチモードシステムなど
- (3) コアネットワークの構成法
- ・IPネットワーク
  - ・マルチキャスト通信(1:n通信)など
- (4) モバイルミドルウェア
- ・VHE (Terminal Mobility, Personal Mobility) の実現
  - ・モバイルプロトコル
  - ・New Mobile IP (効率的なVoIP) など
- (5) アプリケーションやコンテンツ
- ・キラーアプリケーションの創出
  - ・人対人の通信からコンピュータ, 機械対人の通信へなどが挙げられる。

伝送スピードが速くなっても, 利用料金が高くなるとはユーザにとってのメリットは少なくなってしまう。したがって, 現状と同じくらいの利用料金で利用できるような移動通信システムを構築することが重要なポイントとなる。

### む す び

本稿では, 21世紀に入りますます重要性を増しているモバイルインフラの発展の経緯, IMT-2000の研究開発や標準化状況, およびこれから進もうとしている第4世代移動通信システムとその課題を概観した。IMT-2000では, W-CDMA方式を採り上げその技術を説明し, 高機能化技術として富士通研究所で開発した干渉キャンセラおよびアダプティブアレーアンテナを紹介した。第4世代移動通信システムについては, 現在の電気情報通信技術審議会に新世代移動通信システムのあり方とその

実現に向けての方策が諮問されており, その答申がITUへ反映されることが期待されている。このように, さらに続く高速マルチメディアデータ伝送への需要に対応するために, モバイルインフラの発展と充実に期待が集まっている。モバイルインターネットサービスは, 移動通信インフラに支えられ市場規模も拡大の方向をたどっており, 今後も, 様々な移動通信システムとの融合により飛躍的に発展するであろう。

### 参 考 文 献

- (1) 藤野信次ほか: 移動遍在計算機環境の実現. 信学技報, RCS-95-41, p.91-96 (1995).
- (2) 佐々木秋穂: IMT-2000の標準化の現状とその発展. ITUジャーナル, Vol.31, No.2, p.24-27 (2001).
- (3) H. Seki et al.: Low Delay Multistage Parallel Interference Canceller for Asynchronous Coherent DS/CDMA Systems and Its Performance with Closed-Loop TPC. Proceeding of APCC '97, p.832-836, Dec. 1997.
- (4) T. Futami et al.: Performance Evaluation of DS-CDMA Multistage Interference Canceller in Multi-Cell Environments. Proceeding of Globecom '98, 71-4, Nov. 1998.
- (5) 二見哲宏ほか: マルチセル環境におけるDS-CDMA干渉キャンセラの特性評価. 電子情報通信学会無線システム研究会, RCS98-17, p.43-50 (1998).
- (6) Y. J. Guoほか: Adaptive Antenna Array for IMT-2000. FUJITSU, Vol.51, No.1, p.66-72 (2000).
- (7) 山尾泰ほか: 第4世代移動通信の展望. 電子情報通信学会論文誌B, Vol.J83-B, No.10, p.1364-1373 (2000).