New Technology Report

IMT-2000サービス特集(2)
－モバイル新世紀の先駆け「FOMA」誕生－

移動端末技術

IMT-2000における移動端末技術について，端末アーキテクチャおよび特徴的な技術の概要を述べるとともに，FOMA端末ラインアップの主要諸元と特徴を紹介する．

高木 広文　柚木 一文　奥村 幸彦
萩原 誠嗣　安澤 和哉　安部 成司

1. まえがき

次世代移動通信（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）における移動端末には，さまざまなバリエーションが想定されている[1]．IMT-2000端末の特徴は，無線区間の伝送能力，ディスプレイに代表されるハードウェアデバイスとしてのマルチメディア能力，さまざまなマルチメディアアプリケーションの搭載能力から考えることができる．ドコモでは，IMT-2000サービスの普及・拡大を図るため，IMT-2000の特長を訴求できる端末開発に取り組んでいる．

本稿では，IMT-2000端末における移動端末技術について，端末アーキテクチャおよび特徴的な技術の概要を述べるとともに，2001年5月30日より試験サービスが開始されたドコモのIMT-2000サービス，FOMA（Freedom Of Mobile multimedia Access）における端末ラインアップの主要諸元と特徴について述べる．

2. 端末アーキテクチャ

図1にIMT-2000移動端末の構成例を示す．移動端末は大きく無線伝送機能とアプリケーション機能に分けられ，所要の無線特性，レイヤ1機能を実現するとともに，さまざまなマルチメディア機能を提供する．以下に端末ソフトウェア，ハードウェア各部の構成，機能について述べる．

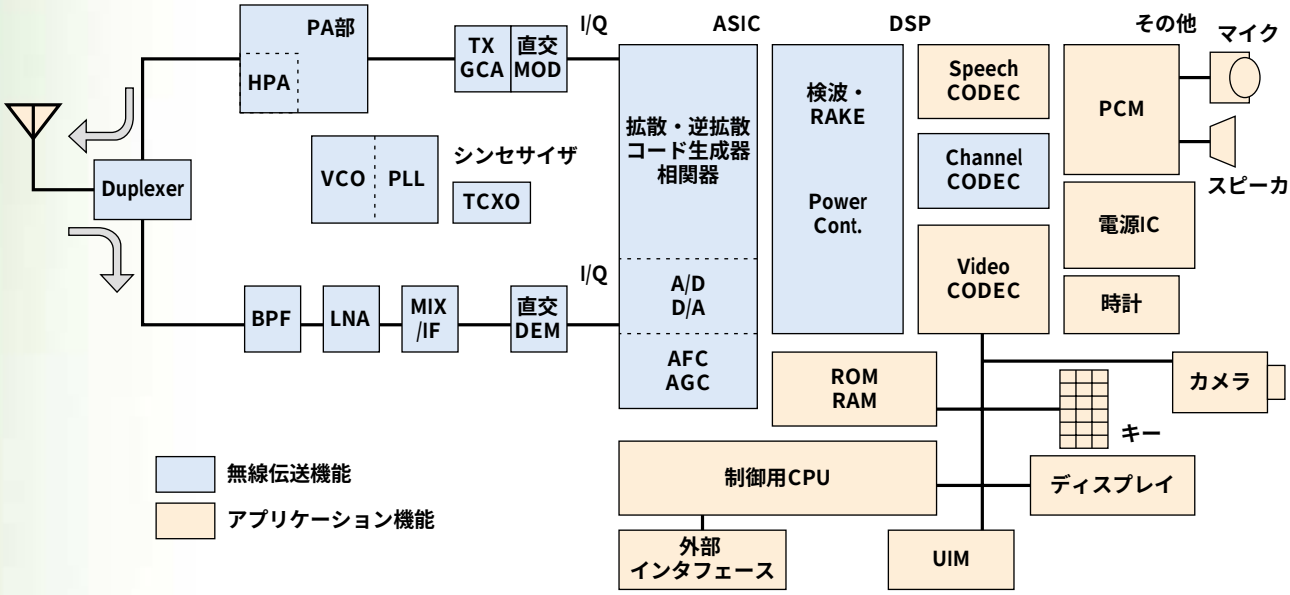
2.1 ソフトウェア構成

(1) 通信プロトコルの構成

図2に通信プロトコルの構成を示す．通信プロトコルは，ユーザあるいはパーソナルコンピュータなどの外部機器からの通信の要求を受け付ける端末アクセス部と，その要求に従ってネットワークとの通信を行うネットワーク・アク

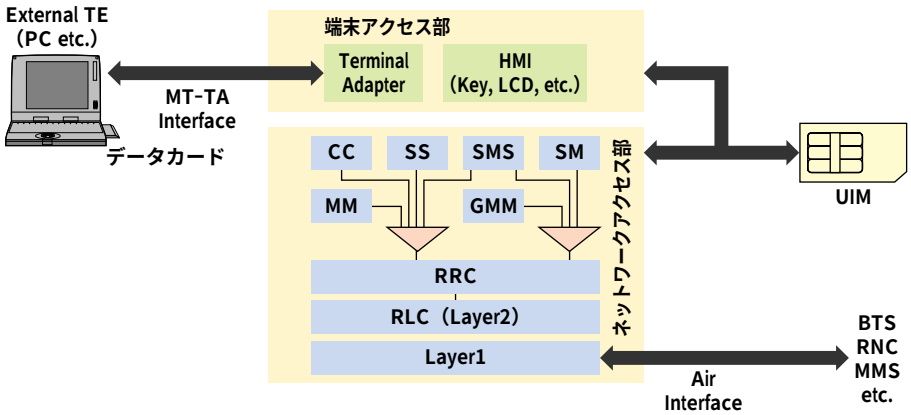
セス部に大別される．

端末アクセス部は，電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Businesses）標準規格で規定されるMT-TA（Mobile Termination-Terminal Adaptation）インタフェース[2]に準拠し，外部機器の接続に対する拡張性を持つように設計されている．また，ネットワークアクセス部は，3GPP（3rd Generation Partnership Project）仕様[3]～[6]およびARIB標準規格で規定されるRLC（Radio Link



AFC：Automatic Frequency Control
AGC：Automatic Gain Control（自動利得制御）
ASIC：Application Specific IC
BPF：Band Pass Filter（帯域ろ波器）
CODEC：COrder DECorder（符号化復号化）
CPU：Central Processing Unit
DEM：DEModulator
DSP：Digital Signal Processor
GCA：Gain Control Amplifier
HPA：High Power Amplifier
I/Q：In phase and Quadrature-phase signals
IC：Integrated Circuit
IF：Intermediate Frequency（中間周波数）
LNA：Low Noise Amplifier（低雑音増幅器）
MIX：MIXer
MOD：MODulator
PA：Power Amplifier
PCM：Pulse Code Modulation（パルス符号変調）
PLL：Phase Locked Loop
RAM：Random Access Memory
ROM：Read Only Memory
TCXO：Temperature Compensated Crystal Oscillator
TX：Transmitter（送信装置）
UIM：User Identification Module
VCO：Voltage Controlled Oscillator

図1　IMT-2000移動端末の構成例



BTS：Base Transceiver Station（無線基地局装置）
CC：Call Control（呼制御機能）
GMM：GPRS Mobility Management
HMI：Human Machine Interface
MM：Mobility Management（移動管理機能）
MMS：Mobile Multimedia switching System
MT-TA：Mobile Termination-Terminal Adaptation
RLC：Radio Link Control
RNC：Radio Network Controller（無線ネットワーク制御装置）
RRC：Radio Resource Control
SM：Session Management
SMS：Short Message Service
SS：Supplementary Service
TE：Terminal Equipment
UIM：User Identification Module

図2　通信プロトコルの構成

Control），RRC（Radio Resource Control），MM（Mobility Management），CC（Call Control），SS（Supplementary Service），GMM（GPRS Mobility Management），SM（Session Management），SMS（Short Message Service）などの通信プロトコルを実装し，汎用化を図るとともに，将来のローミング制御を可能とするように設計されている．

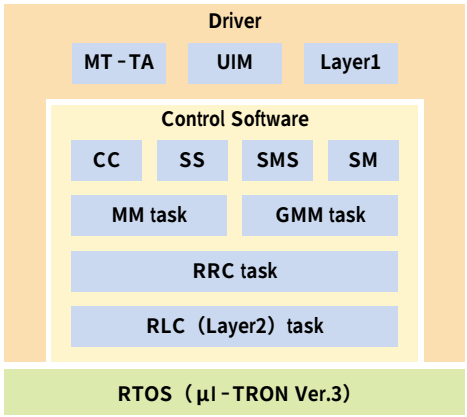
さらに，この通信プロトコルは，3GPP仕様で規定されているUIM（User Identification Module）との接続を可能としているため，ユーザの用途に応じた端末の使い分けや機種変更が容易になるという利点がある．

(2) ソフトウェアの構成

図3にソフトウェアの構成を示す．ソフトウェアは，RLC，RRC，MM，CC，SS，GMM，SM，SMSの各プロトコルの終端などハードウェアの種類に依存しない処理を行う制御ソフトウェア部（Control Software）と，レイヤ1などのハードウェアに依存するドライバ部（Driver）とに分離可能なように設計されている．これにより，1つの制御ソフトウェアが，複数ベンダのハードウェア／ドライバ部上で動作可能となるため，効率的な制御ソフトウェア部の開発が実現できる．

また，通信プロトコルごとに異なったタスクで処理を実行させることにより，通信の安定性を確保している．さらに，3GPP仕様のプリミティブに準拠したプロトコル間の通信を行うことにより，将来の3GPP仕様の機能拡張に対しても柔軟な対応を可能としている．

なお，制御ソフトウェア部およびドライバ部の一部のソフトウェアは，その高速並列処理を実現するため，マルチタスク処理が可能なイベントトリガ方式のRTOS（Real Time Operating System）上で動作している．ここで，RTOSにはμI-TRON（Micro Industrial-The Real-time Operating system Nucleus）Ver.3 [7]を使用し，汎用的なSystem Callを使用してソフトウェアを開発しているため，他のRTOSへの移植性に優れている．



CC：Call Control（呼制御機能）
GMM：GPRS Mobility Management
MM：Mobility Management（移動管理機能）
MT-TA：Mobile Termination-Terminal Adaptation
RLC：Radio Link Control
RRC：Radio Resource Control
RTOS：Real Time Operating System
SM：Session Management
SMS：Short Message Service
SS：Supplementary Service
UIM：User Identification Module

図3　ソフトウェアの構成

2.2　ハードウェア構成

端末のハードウェアは，図1に示すように，アンテナ，無線伝送機能を担う送受信無線部，ベースバンド信号処理部，HMI（Human Machine Interface）を提供するディスプレイなどから構成される．以下に各ブロックの特徴を述べる．

(1) アンテナ

IMT-2000で使用される周波数は2GHz帯であり，800MHz帯および1.5GHz帯を用いるディジタル自動車電話方式（PDC：Personal Digital Cellular）に比べ伝搬減衰量が大きいため，IMT-2000端末ではより高利得・高効率のアンテナが必要である．後述する携帯型のFOMA N2001，FOMA P2101Vは，内蔵アンテナ，カード型のFOMA P2401には折り畳み式アンテナが用いられている．

(2) 送受信無線部

IMT-2000における1キャリア当りの拡散レートは3.84Mchip/sで，周波数利用効率を高めるために，隣接チャネルとは近接して運用される．隣接チャネル干渉を低減するために，隣接チャネル漏洩電力を低減する必要がある．またキャリア当りのシステム容量を増すため，基地局から移動端末へ高速閉ループ送信電力制御が行われる．この送信電力制御は，1スロット（667μs）当り±1dBステップで，70dB以上（最大送信電力24dBmの場合）のダイナミックレンジにわたって行う必要がある．このため，送信アンプには高い線形性が要求される．さらに長時間通話を実現するために，最大電力送信時のみならず低電力送信時でも高効率，低消費電力が要求される．一方，受信部は隣接チャネル干渉低減のために高い隣接チャネル選択度が求められる．これは，中間周波フィルタ，ベースバンドフィルタなどの総合的な設計で所要特性が達成される．

図4に送信電力制御動作時の端末送信電力の測定例を示す．

(3) ベースバンド信号処理部

送信側に拡散変調部，受信側に複数の逆拡散部とマルチパス信号を受信するためのパスサーチャ，およびRAKE合成部を有する．回路規模が有限であることから，受信特性

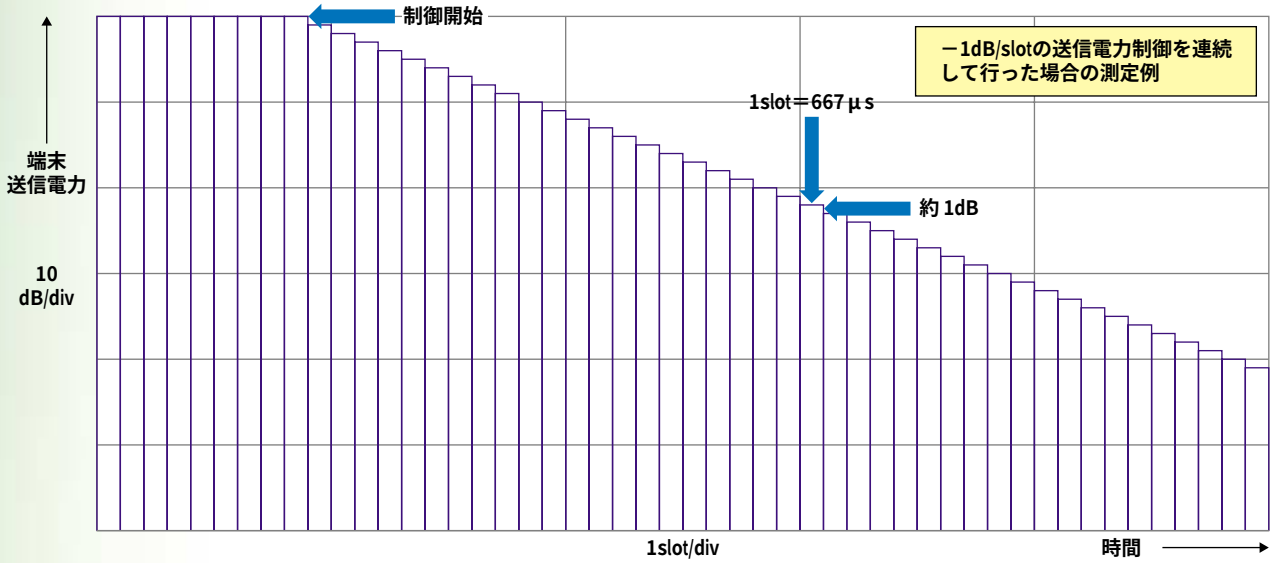


図4　送信電力制御動作時の端末送信電力の測定例

を満足しつつ，RAKE合成部のフィンガ数およびパスウィンドウ幅を最適設計する必要がある．また，端末の小型・軽量化および通話時間・待受け時間の観点から，高集積化・低消費電力化が求められる．

(4)　ディスプレイ

ディスプレイの素材としては，TFT（Thin Film Transistor）や有機EL（ELectroluminescence）素子が用いられている．TFTは薄膜状のトランジスタを利用したものである．有機EL素子は，電圧をかけると発光する物質を利用したもので，発光物質として有機物を用いており，低電力でも高い輝度が得られるという特徴がある．

3. IMT-2000端末における特徴的な技術

3.1　レイヤ1機能

IMT-2000システムの特徴的な技術の1つに，ダイバーシチハンドオーバ技術[8]がある．IMT-2000移動端末は，通信中にセル（基地局）間またはセクタ間を移行する際，セル／セクタの境界付近の一定領域において複数のセル／セクタと同時に接続して通信を行う．このダイバーシチハンドオーバの採用により，移動端末がセル／セクタをまたいで移動する場合においても通信の安定化および無瞬断化が図れるとともに，システム容量の増大が可能になる．

移動端末においてダイバーシチハンドオーバ動作の中心的役割を果たしているレイヤ1機能には，通信中レベル測定機能，ハンドオーバブランチ間RAKE合成受信，ハンドオーバ中送信電力制御などがある．

(1)　通信中レベル測定機能

ダイバーシチハンドオーバの実行を決定するために，移動端末では，検出済み周辺セルの回線品質の測定を常時行う．さらに，未検出の周辺セルについては通信中セルサーチ機能を用いて候補セル／セクタを常時サーチし，一定以上の品質を有するセル／セクタのスクランブリングコードおよびフレームタイミングを検出した後，回線品質の測定を開始する．

(2)　ハンドオーバブランチ間RAKE合成受信

移動端末では，基地局から異なる伝搬路を経て到来する複数の遅延波（マルチパス）を，RAKE合成受信技術を用いて最大比合成することにより，フェージング変動の平滑化，基地局送信電力の低減が実現できる（パスダイバーシチ効果）．一方，ダイバーシチハンドオーバ中に複数のセル／セクタから伝送される下りリンク信号についても，最大比合成することによって，同様の効果が得られる（サイトダイバーシチ効果）．これらの各ダイバーシチ技術と高速閉ループ送信電力制御の組み合わせにより，システム容量の増大を実現できる．

(3)　ハンドオーバ中送信電力制御

移動端末では，ダイバーシチハンドオーバ中に複数のセル／セクタから伝送されてくる送信電力制御用コマンドビットを軟判定合成をすることによって，上りリンク送信電力を制御する．このとき，より信頼度の高いコマンドビットの寄与が大きくなるように最終的な送信電力が制御される．

実際にFOMA端末を使用し，移動しながら通話を行った時のダイバーシチハンドオーバ状態についてデータ取得した例を図5に示す．2つの基地局（A，B）間で行われるセル間ハンドオーバと，各基地局の異なるセクタ間で行われるセクタ間ハンドオーバが繰り返し実行され，ダイバーシチハンドオーバが実際に動作している様子が分かる．

3.2 アプリケーション機能

FOMA端末では，IMT-2000サービスの高速・大容量データ通信という特長を生かし，iモードのコンテンツサイズ拡大・高機能化や，TV電話機能をはじめ動画像・音楽配信といったマルチメディア・アプリケーション提供へも拡張可能である．FOMA端末の試験サービスにおける各アプリケーション機能の主要諸元を表1に示す．

(1) iモード機能

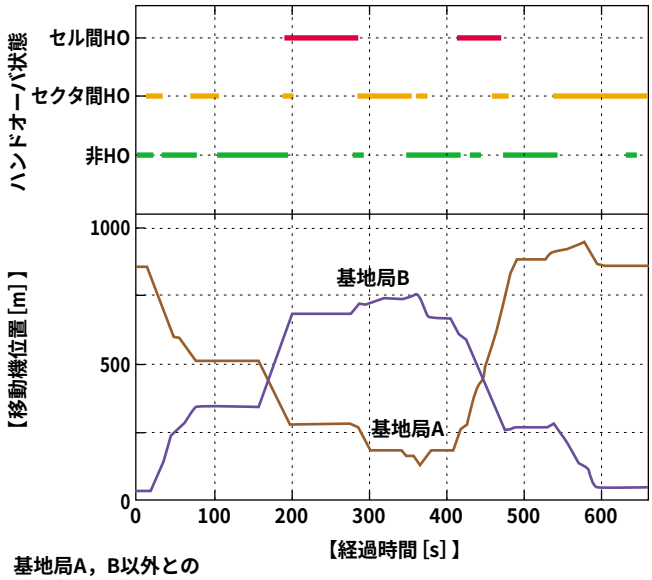
本機能は，小型基本端末および動画像端末に搭載される．iモード携帯電話機503iシリーズの機能をベースに，コンテンツ1ページの最大サイズを100kBまで拡大するとともに，静止画フォーマットとしてJPEG（Joint Photographic Experts Group）を標準対応とすることで，コンテンツ表現力を高めている．メールにおいてもデータサイズが10kBまで拡大され，ファイル添付も可能となる．またMPEG-4による動画像データコンテンツも扱うことが可能となるよう検討されている．

(2) TV電話機能

本機能は，動画像端末に搭載される．3G-324M規格に従い，動画像はMPEG（Moving Picture Experts Group）-4，音声は適応マルチレート（AMR：Adaptive Multi Rate）にて符号化を行い，ベアラ速度64kbit/sまたは32kbit/sで伝送し，TV電話通信を実現する．

(3) 映像配信機能／音楽配信機能

FOMA端末は，高速のパケットベアラや64kbit/sのUD（Unrestricted Digital（回線交換型の非制限ディジタル通信））ベアラを備えており，ドコモの動画像配信サービス（M-stage Visual）および音楽配信サービス（M-stage Music）に対応することが可能である．



基地局A，B以外との接続状態は省略

HO：HandOver

図5 ダイバーシチハンドオーバ動作例

3.3 インタフェース，データカード機能

(1) IMT-2000端末の外部インタフェースへの要求条件

端末外部インタフェースには下記の条件が要求される．

- 信号速度…無線区間の伝送速度を十分に活かす高速性
- 消費電力…信号速度の高速化と端末の低消費電力化の両立
- サイズ…携帯性，デザイン性を損なわないコネクタ，外部インタフェースモジュールの小型化
- 汎用性…パソコン，PDA（Personal Digital Assistant）を始め，多様な外部機器との高い接続性

これら要求条件を考慮し，FOMA端末では物理的インタフェースにはARIBで規定[9]されたコネクタを採用し，論理的インタフェースにはパーソナルコンピュータ（PC）との親和性の高いUSB（Universal Serial Bus）インタフェース（図6）[10]を採用した．

(2) 外部インタフェースの特徴

外部インタフェースコネクタの特徴として，USBインタフェース用端子以外にPower Supply

表1 試験サービスにおける各アプリケーション機能の主要諸元

アプリケーション	伝送速度	主要諸元
iモード	上り 64kbit/s 下り 384kbit/s	HTMLページ 最大100kB 静止画コンテンツ GIF，JPEG対応 ブラウザ機能 SSL，Java*対応 メール 最大10kBファイル添付可能
TV電話	64kbit/s, 32kbit/s	映像符号化方式：ISO MPEG-4 Simple Profile Level0，(QCIF) 音声符号化方式：AMR 12.2 kbit/s（64 kbit/s） AMR 6.72 kbit/s（32 kbit/s） 多重化方式：H.223 Annex B
映像配信	64kbit/s	映像：ISO MPEG-4 Simple Profile Level0，(QCIF) 音声：WMA 8kbit/s，8kHz 16kbit/s，16kHz フォーマット形式：ASF

AMR：Adaptive Multi Rate（適応マルチレート）
ASF：Advanced System Format
GIF：Graphic Interchange Format
HTML：HyperText Markup Language
ISO：International Organization for Standardization（国際標準化機構）
JPEG：Joint Photographic Experts Group
MPEG：Moving Picture Experts Group
QCIF：Quarter CIF
SSL：Secure Sockets Layer
WMA：Windows Media Audio

＊Java：米Sun Microsystems社が提唱している，ネットワークに特化したオブジェクト指向型開発環境である．

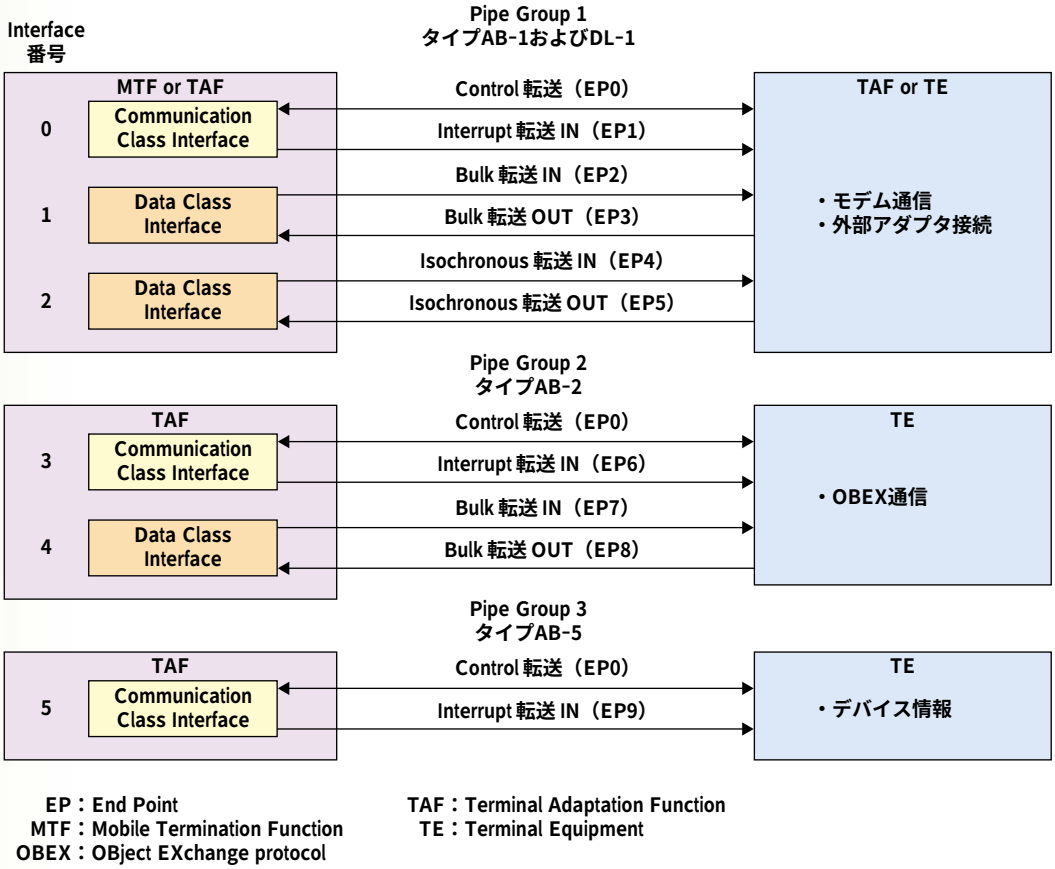


図6　USBインタフェース構成例

（電源）端子，端子機能切替などのManufacturer Specific端子などが設けられている．また外部アンテナとの接続を考慮し，無線信号送受信用のRF（Radio Frequency）端子が設けられている．

論理的インタフェースの特徴は，主に①Windows対応のPCに対して，従来のモデム同様に動作するモデム機能，②携帯電話機内の電話帳やスケジュールデータなどをPCを経由して保存，書き込みを行うOBEX（OBject EXchange protocol）機能，③通信中などでも電界強度やバッテリーレベル情報の取得が可能なデバイス情報機能，④ARIBで規定されたMT-TAインタフェース[2]に準拠したインタフェースを具備する外部アダプタとの接続機能，などを有することである．

(3) データカード

FOMA端末を用いて64kbit/sデータ通信サービスを提供するためにデータカードを開発した．主な特徴は，①USBデバイスであるIMT-2000端末を制御するためのUSBホスト機能，②64kbit/sデータ通信プロトコルを終端し，PCに対して非同期PPP（Point to Point Protocol）データを送受信するアダプタ機能などを有することである．また，本アダプタ機能は3GPP仕様準拠のATコマンドによって制御される．

4. FOMA端末の主要諸元と特徴

FOMAにおいては，その高速伝送性およびフレキシブルなシステムを活かして，多様なアプリケーションサービスが展開されようとしている．そのため，端末においても対応すべきアプリケーション，利用形態，さらにターゲットとなるユーザセグメントを考慮し，さまざまなタイプの端末が展開されていく．2001年5月30日から開始された試験サービスで，モニタユーザ用に提供された端末およびUIMカードについて，**表2**に主要諸元，**写真1**に外観を示す．以下にFOMA端末とUIMカードの特徴を述べる．

(1) FOMA N2001

FOMA N2001は，PDCにおけるiモード端末の延長線上に位置する端末であり，主に音声通話，iモードサービス，メールでの利用を想定したものである．携帯性を考慮し，既存携帯電話並みの小型・軽量化を図る一方，内蔵アンテナの採用によりこれまでにないシンプルかつ先進的なデザインを実現している．また，FOMA USBケーブルを用いることでベアラ速度384kbit/sのパケット通信サービスに，FOMAデータカードを用いることでベアラ速度64kbit/sデータ通信サービスに対応することができる．

表2　試験サービスにおけるFOMA端末の主要諸元

	N2001	P2101V	P2401
サイズ	約103×約52×約20（mm）	約104×約56×約35（mm）	約120×約56×約13（mm）
質量	約105（g）	約152（g）	約50（g）
表示能力	4096色　有機EL	26万色　反射型TFT	−
端末インタフェース	USB	−	PCMCIA Type II
音声通話	○	○	−
TV電話	−	○	−
iモード	○	○	−
M-stage Visual	−	○	−
SMS	○	−	−
64kデータ通信	○	−	○
パケット通信	上り64kbit/s　下り384kbit/s	−	上り64kbit/s　下り384kbit/s

EL：ELectroluminescence
PCMCIA：Personal Computer Memory Card International Association
SMS：Short Message Service
TFT：Thin Film Transistor
USB：Universal Serial Bus

写真1　試験サービスにおけるFOMA端末ラインアップとFOMAカード

(2)　FOMA P2401

FOMA P2401は，モバイルコンピューティングにおける利用を想定し，PCによるデータ通信に特化した端末である．PCMCIA（Personal Computer Memory Card International Association）インタフェースを実装し，端末単体でベアラ速度64kbit/sの回線交換データ通信，およびベアラ速度384kbit/sのパケット通信が実現できる．また，PCからの給電による動作を実現することで，バッテリーレスとし一層の小型化を実現している．

(3)　FOMA P2101V

FOMA P2101Vは，FOMAサービスにおけるマルチメディアサービスの1つである動画像サービスに対応した端末である．M-stage Visualへの対応に加え，本体に小型のビデオカメラを実装し，同機種間や今後発売される他のFOMA動画像端末との間でTV電話通信が可能である．さらにTV電話応答ボタンやカメラボタンを実装し，動画像サービスを考慮したユーザインタフェースを採用している．本体は内蔵アンテナにより，曲面を利用した従来にない未来的なデザインを実現している．

(4)　FOMAカード

FOMAカードはFOMAサービスにおけるUIMカードである．加入者情報を格納するとともに，カード内に電話帳情報を50件，ショートメッセージを送受信合せて20件，保存が可能である．

5. あとがき

IMT-2000における移動端末技術について，端末アーキテクチャおよび特徴的な技術の概要，試験サービスにおけるFOMA端末の主要諸元と特徴を述べた．今後も，拡大するモバイルマルチメディア・アプリケーションに対応した端末バリエーションの充実を図るとともに，よりユーザフレンドリーで魅力的な端末開発を進めていく．

文　献

[1] 森田，ほか：“IMT-2000サービス特集(1)，IMT-2000における提供サービスと端末”，本誌，Vol.9，No.2，Jul. 2001.
[2] ARIB, “TR-T12-27. A02: MT-TA Interface Description”.
[3] 3GPP, “TS 23.101: General UMTS Architecture”.
[4] 3GPP, “TS 24.008: Mobile radio interface layer3 specification”.
[5] 3GPP, “TS 25.322: RLC protocol specification”.
[6] 3GPP, “TS 25.331: RRC Protocol Specification”.
[7] TRON ASSOCIATION, “μI-TRON 3.0 Specification Ver3.02.00”.
[8] S. Ogawa, et. al.:“W-CDMA System Experiments”.VTC2000-spring, May. 2000.
[9] ARIB “TR-T12-27.A01: Report on External Interface Connectors”.
[10] USB Implementers Forum, “Universal Serial Bus Specification Revision 1.1”.

用 語 一 覧

3GPP：3rd Generation Partnership Project
AFC：Automatic Frequency Control
AGC：Automatic Gain Control（自動利得制御）
AMR：Adaptive Multi Rate（適応マルチレート）
ARIB：Association of Radio Industries and Businesses（電波産業会）
ASF：Advanced System Format
ASIC：Application Specific IC
BPF：Band Pass Filter（帯域ろ波器）
BTS：Base Transceiver Station（無線基地局装置）
CC：Call Control（呼制御機能）
CODEC：COrder DECorder（符号化復号化）
CPU：Central Processing Unit
DEM：DEModulator
DSP：Digital Signal Processor
EL：ELectroluminescence
EP：End Point
FOMA：Freedom Of Mobile multimedia Access
GCA：Gain Control Amplifier
GIF：Graphic Interchange Format
GMM：GPRS Mobility Management
HMI：Human Machine Interface
HO：HandOver
HPA：High Power Amplifier
HTML：HyperText Markup Language
I/Q：In phase and Quadrature-phase signals
IC：Integrated Circuit
IF：Intermediate Frequency（中間周波数）
IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000（次世代移動通信）
ISO：International Organization for Standardization（国際標準化機構）
JPEG：Joint Photographic Experts Group
LNA：Low Noise Amplifier（低雑音増幅器）
MIX：MIXer
MM：Mobility Management（移動管理機能）
MMS：Mobile Multimedia switching System
MOD：MODulator
MPEG：Moving Picture Experts Group
MT-TA：Mobile Termination-Terminal Adaptation
MTF：Mobile Termination Function
OBEX：OBject EXchange protocol
PA：Power Amplifier
PCM：Pulse Code Modulation（パルス符号変調）
PCMCIA：Personal Computer Memory Card International Association
PDA：Personal Digital Assistant
PDC：Personal Digital Cellular（ディジタル自動車電話方式）
PLL：Phase Locked Loop
PPP：Point to Point Protocol
QCIF：Quarter CIF
RAM：Random Access Memory
RF：Radio Frequency
RLC：Radio Link Control
RNC：Radio Network Controller（無線ネットワーク制御装置）
ROM：Read Only Memory
RRC：Radio Resource Control
RTOS：Real Time Operation System
SM：Session Management
SMS：Short Message Service
SS：Supplementary Service
SSL：Secure Sockets Layer
TAF：Terminal Adaptation Function
TCXO：Temperature Compensated Crystal Oscillator
TE：Terminal Equipment
TFT：Thin Film Transistor
TX：Transmitter（送信装置）
UD：Unrestricted Digital
UIM：User Identification Module
USB：Universal Serial Bus
VCO：Voltage Controlled Oscillator
WMA：Windows Media Audio
μI-TRON：Micro Industrial-The Real-time Operating system Nucleus