

次世代携帯電話方式 (2.5G / 3G / 4G) の動向

Mobile Communication System Evolution in Digital Mobile Radio

ト 部 周 二 *¹ 長谷川 祥 典 *² 宮 崎 正 夫 *³
Shuuji Urabe Yoshisuke Hasegawa Masao Miyazaki

要 旨

アナログ方式で開始された携帯電話方式は音質の向上と加入者容量の拡大やシステムコストの低減を目指してデジタル化された。アナログ方式の世代を第一世代、デジタル化世代を第二世代(2G)と呼ばれている。本稿では、この2Gの世界的な代表例として、PDC、GSM、CdmaOneを取り上げ、その発展を2.5Gとして、その動向について述べる。さらに、世界的な標準方式を目指した第三世代方式(3G)とその発展の動向について、さらに、2010年を目指して検討が開始された新世代方式(第四世代(4G)を含む)のコンセプトを概説する。携帯電話方式は、音声の品質向上、データ通信への適用から始まり、2.5Gにおいて、テキストを主体とするインターネット接続への展開がはかられ、国際標準方式となった3Gにおいて、動画像を含むマルチメディアデータへの対応が進められている。さらに、2010年に実用化を目指した次世代方式の検討が開始され、ここでは、個人の会話から娯楽のみならず、経済社会の取引をも可能とする方式へと変貌しようとしている。

Digital techniques were applied in the second generation (2G) portable telephone system for better voice quality, larger system capacity, and reduction of system cost. This article describes the evolution of the digital portable telephone system. In the following generation (2.5G), the packet transmission techniques are applied and text-based Internet connections are realized. For more pleasant mobile communication, the third generation system (3G) has been standardized in International Telecommunication Union and is developing. In 3G, more advanced data and multimedia services are becoming available. The studies of the future generation mobile system, which includes the

fourth generation (4G), have started, and the system is scheduled to be in practical use in 2010 for making the mobile IT world real.

まえがき

携帯電話方式は、アナログ方式でサービスが開始され、無線回線容量を拡大するため狭帯域化が進められ、800MHz帯において、無線チャンネル間隔は6.25kHzまでに狭められた。音声品質の向上とデータとの親和性、高容量化、装置の経済化を目指して、音声のデジタル化と時間分割多重化を行ったデジタル方式の携帯電話方式が開発された。日本においては、PDC (Personal Digital Cellular) 方式、米国では D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service: IS-54, IS-136) 方式、欧州では GSM (Global System for Mobile Communications) 方式が実用化された。その後、画像などの大容量マルチメディアデータを扱うため、デジタルの新方式が世界的に議論されるようになり、それを第三世代(3G)方式、上記のアナログ方式を第一世代、初期のデジタル方式を第二世代(2G)と呼ぶようになった。第二世代の改良型は、2.5Gと呼ばれる。また、上記の3Gの次のものとして、さらに高速化し、本格的なモバイルITを目指すもとして最近議論が始まった第4世代(4G)がある。

このように進展を続ける携帯電話は、21世紀においては、空気のような存在となり、いつでもどこでも通話できるだけでなく、リッチコンテンツを含むデジタル情報を不自由なく利用でき電子決済までも可能とする、ひとりひとりの日常の必需品化されたパーソナルツールとなると期待されている。本稿では、現在発展を続ける携帯電話として、2.5Gから4Gへの技術概要・動向を紹介する。

1. 第二世代携帯電話方式とその発展

第二世代携帯電話方式(2G)とその発展形(2.5G)の世界的な代表例として、PDC、GSM、CdmaOneを

*1 通信システム事業本部 通信商品開発センター

*2 通信システム事業本部 パーソナル通信事業部

*3 通信システム事業本部 パーソナル通信事業部
NB4 プロジェクトチーム

取り上げ、その動向について述べる。表1に、それぞれのシステムの主要諸元を示す。

1・1 PDC

PDCは1991年4月にARIB((社)電波産業会:当時(財)電波システム開発センター)により標準化され、900MHz帯と1.5GHz帯の2つの周波数帯が割り当てられ、サービス開始された。

当初音声通話及び2.4kbpsのデータ通信のみであったが、その後テキスト・音楽・画像といったサービス内容の高度化/マルチメディア化が行なわれている。

(1) 周波数帯の拡大及び音声コーデックのハーフレート化

加入者増加に合わせ周波数帯の拡大が図られ、900MHz帯にアナログ方式で用いられていた帯域とテレターミナルシステム用の帯域が追加された。また符号化効率の高いハーフレート音声コーデック(PSI-CELP)を採用し周波数利用効率向上を行って来た。

(2) データ通信の高速化及びパケット化

データ通信は、前述のごとく2.4kbps(FAXは4.8kbps)で始められたが、1995年の4月から9.6kbpsと高速化した。このデータ通信は回線交換方式で且つ1スロットのみの使用であったが、高速化と電波資源の有効利用をはかるため、3スロットを使用する28.8kbpsのパケット通信方式が1997年3月から可能となった。

(3) サービスの発展

音声通話を中心とする通信形態から、テキストベースのメッセージサービスを経て、インターネット接続も通信速度の向上及び端末の性能向上により実現した。音楽、画像も含んだマルチメディア通信がEメールあるいはブラウジングといった形で可能となった。またJavaに代表されるプログラム実行環境の発達により、プログラムのダウンロード及び実行も実現できている。

1・2 GSM

GSM(Global System for Mobile Communications)は1982年から欧州各国で共通に使用できるシステムを目指してCEPT(Conference of European Postal and Telecommunications Administration)において標準化の作業が始まり、1989年にはETSI(European Telecommunications Standards Institute)に規格化作業が移管され、1991年から欧州各国でサービスが始まった。2001年6月時点で、151カ国、413のネットワーク、554百万人のユーザ数を有する世界で最も普及しているデジタル携帯電話サービスである。

(1) 周波数帯の拡大

900MHz帯を使ったGSM900では多くのシステムがバンド幅を10MHz広げたEGSM(Extended GSM)を採用している。また欧州などでは1800MHz帯のDCS1800に、1900MHz帯のPCS1900(北米、南米)に

表1 代表的な第二世代携帯電話方式(2G/2.5G)の主要諸元

Table 1 System parameters for major second generation mobile radio systems.

項目	PDC	GSM	CDMA
周波数帯(上り) (下り)	940~958MHz 893~895MHz 925~940MHz 1429~1453MHz 810~828MHz 838~840MHz 870~885MHz 1477~1501MHz	[GSM900の場合] 890~915MHz (EGSMでは880MHz~) 935~960MHz (EGSMでは925MHz~)	824~849MHz 1850~1910MHz 869~894MHz 1930~1990MHz
キャリア周波数間隔	50kHz 25kHz インターリーブ	400kHz 200kHz インターリーブ	1.25MHz
変調方式	/4 シフトQPSK	GMSK	上り:OQPSK 下り:QPSK
伝送速度	42kbps	270.833kbps	1.2288Mcps
アクセス方式	TDMA	TDMA	CDMA
1キャリアあたりのチャンネル数	3/6	8/16	64(ウォールシュコードで制限トラフィックチャンネルは55) 128(1Xの時)
音声符号化方式	VSELP 11.2kbps PSI-CELP 5.6kbps CS-ACELP 11.2kbps ACELP 11.2kbps	RPE-LTP 13kbps VSELP 5.6kbps	8k QCELP 8kbps 可変レート 13k QCELP 13kbps 可変レート EVRC 8kbps 可変レート
非音声通信	9.6kbps(回線交換) 28.8kbps(パケット交換)	9.6kbps(回線交換) 171.2kbps(GPRSの理論上の最大スループット)	9.6kbps(回線交換) 14.4kbps(回線交換) 64kbps(パケット交換下り) 153.6kbps(1Xの時)
端末送信出力	0.3/0.8/2.0/3.0W	0.8/2.0/5.0/8.0W	< -50 ~ (> 23 ~ < +30) dBm 1dBステップ制御

GSM方式が採用されている。端末としてはこの3つの規格に対応したトリプルバンドのものも実用化されている。

(2) データ通信の高速化及びパケット化

GSMのデータ通信速度は9.6kbpsであるが、回線交換方式で最大57.6kbpsまで高速化する規格HSCSD(High Speed Circuit Switch Data)や、パケット通信方式で理論上は171.2kbpsまでの通信速度が得られるGPRS(General Packet Radio Service)などのサービスが始まっている。特にGPRSは2001年から2002年にかけて急速な普及が予測される。

(3) サービスの発展

GSM方式においてもショートメッセージの活用が進んでおり、インターネットアクセスも、GPRSの普及とともに広がると見られている。GSMでは加入番号は、端末から取り外せるSIM(Subscriber Identification Module)に登録される。ネットワークの終端が端末ではなくSIMであることから、SIM内のCPUから端末を制御してサービスにアクセスする、という用途も可能であり、各通信事業者が独自のサービスを展開している。

1.3 CDMA

CdmaOne方式は米国のQualcomm社で開発され、1995年の標準化を経て、北米、韓国、香港、等でサービスを開始し、各国の導入が進んでいる。日本でも1997年に規格化され、1998年7月から順次サービスが開始され、1999年4月から全国サービスとなった。1999年末からは韓国、香港、米国、オーストラリアとの国際ローミングが可能となった。

(1) 周波数帯の拡大及び音声加入容量の増加

米国では1995年800MHz帯で開始し、1997年に1.9GHzPCS帯で周波数の拡大が図られた。2001年末から米国や日本でサービス予定の1Xシステムでは、音声加入者容量が約2倍に増え周波数の有効利用が図られる。

(2) データ通信の高速化・パケット化

サービス開始時のIS-95Aシステムでは9.6kbps/14.4kbpsのデータ通信速度であったが、日本ではその高速化を図ったIS-95Bシステムを採用し1999年末からトラフィックチャネルを同時に5本束ねた64kbpsパケット(下りのみ)へと高速化した。更に上述の1Xシステムでは153.6kbps(上り下り)へと高速化され、また、今後の展開としては2002年にサービス予定されている1xEV(旧HDR:High Data Rate)では同じ1.23MHzの帯域で約2.4Mbps(可変レート)の高速データ通信が可能になる予定である。

(3) サービスの発展

キャリア主体のサービスからWAPブラウザを使ったコンテンツプロバイダによるWebサービスへ発展し、更に端末へのアプリケーション配信によるサービスの拡大が図られている。このサービスの高機能化・高付加価値化の中で、アプリケーションの実行環境を統一するために新プラットフォームBREW(Binary Runtime Environment for Wireless: Qualcomm社開発)が提案された。メーカーのハード・ソフトに依存しない共通の実行環境下でのダウンロードアプリケーションの共有化が図れるものである。このBREWの採用が決定され、2001年10月からサービス開始が予定されている。

2. 第三世代携帯電話方式とその発展

2.1 第三世代携帯電話方式の規格化の流れ

2000年頃の国際統一標準化方式として実用化を目指して1985年、ITU-R(国際電気通信連合-無線通信セクタ)にて標準化が開始され、最終的には複数方式が2000年5月のITU会合にて正式に承認された。正式名称はIMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)である。実質的な統一規格とするため、推進団体3GPP(3rd Generation Partnership Project)が1998年12月に編成され、1999年12月に、リリース99と呼ばれる詳細仕様が決定されている。2001年10月現在でもその仕様追加作業が継続されているとともに、次のリリース2000に向けた検討作業も並行して進められている。

日本は、いち早くARIBの中にIMT-2000研究委員会を発足させ、1997年1月にW-CDMA方式をまとめ、各国の類似方式とのハーモナイズ(融合)を推進し、初めて国際標準規格にする事に成功した。日本での省令化は、これら国際標準化と並行して進められ、1999年9月、電気通信技術審議会より次世代移動通信方式の技術的条件が一部答申された。電波管理審議会の諮問後、2000年4月から省令が施行された。

ITU勧告に含まれているIMT-2000無線インタフェース方式は、CDMA系と、TDMA系の流れに分類される。図1にその概要を示す。

この図の中のCDMA Direct Spread方式(DS-SS-SS-SS)が、所謂W-CDMA方式で、日本/欧州中心に積極的に商用化を進めている方式である。最近では、米国でも将来同方式を採用する動きがある(2003年以降)。なお、欧州では、普及しているGSMと組み合わせたデュアルモード機でのサービスが主力となる見込みである。W-CDMAのエリアを一挙に拡大する

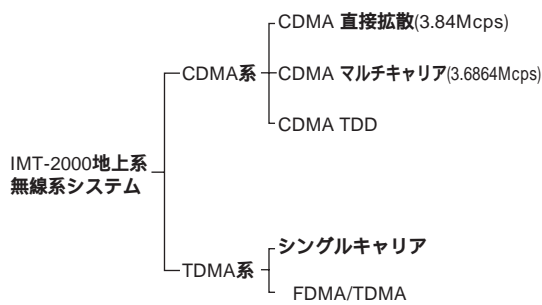


図1 IMT-2000 無線システム
Fig. 1 Radio systems for IMT-2000.

よりも、既存のサービスとの融合により徐々にW-CDMAサービスを普及させて行く考えが根底にある。欧州のサービス開始は、2002年中頃からと予想されている。

CDMA Multi-Carrier方式(MC-CDMA)は、現在のCdma-One方式を拡張発展させた方式でありCdma-2000とも呼ばれる。W-CDMAは、シングルキャリアであるが、この方式は、複数キャリアを採用している。

国内では、DS、MC-CDMAの2方式が予定され、DS-SS-CDMA方式が先に、引き続きMC-CDMA方式が異なる通信業者によりサービス開始の予定である。運用周波数帯域は、国により異なる場合があるが、国内では、1,920 ~ 1,980MHz(移動機 基地局)、2,110 ~ 2,170MHz(基地局 移動機)が認可されている。送受信周波数間隔は、190MHzとなる。

2・2 第三世代携帯電話方式の特長と今後の動向
IMT-2000の主な特長は、下記のとおりである。

- (1) 世界各国で共通して使用できる国際ローミング
- (2) 高速データ通信 高速移動環境：最低144kbps、歩行程度の環境：384kbps、室内環境：2Mbps
- (3) 非対称通信 基地局 携帯電話：高速 携帯電話 基地局：低速
- (4) スペクトラム拡散技術の採用により、大容量且つ、有線回線並みの高品質音声、データ通信の実現。
- (5) 回線交換、パケット通信の両機能をもつ。さらにこれらを組み合わせながらインターネットアクセスを可能とするマルチコール(通信)を可能とする。
- (6) 高速性を生かし、多様なマルチメディアサービスを実現する。携帯TV電話、高速インターネット

表2 W-CDMAの主要諸元
Table 2 Major parameters for the W-CDMA.

アクセス方式	直接拡散 CDMA
デュプレックス方式	FDD (Frequency Division Duplex)
帯域幅	5MHz
チップレート	3.84Mchip/s
キャリア間隔	200kHz
データ速度	~2Mbit/s
フレーム長	10, 20, 40, 80ms
誤り訂正符号	ターボ符号, 畳み込み符号
データ変調	下り QPSK, 上り BPSK
拡散変調	下り QPSK, 上り HPSK
拡散率	4 ~ 512
基地局間同期	非同期 (同期運用も可)
音声符号化	AMR (1.95 ~ 12.2kbit/s)

トアクセス、映像 / 音楽配信、ビデオメールなど、真のモバイルマルチメディアサービスを可能とする。

主な特長を記載したが、これらは一挙に実現するのではなく、環境整備を含めて徐々に実現されていくと思われる。

3Gの代表例としてW-CDMAの主要諸元を表2に示す。5MHz帯域幅で2Mbpsの伝送を技術的には可能としている。2Mbps伝送には、20MHz帯域幅が望ましいが、規格化早期実現のため、当面5MHz帯域幅が規定された。送信、受信周波数が異なるFDD方式が採用されている。スペクトラム拡散信号の速度(チップレート)は、3.84Mcpsである。移動機の電力増幅器の直線性要求を軽減するため、上り拡散変調方式は、HPSK(Hybrid Phase Shift Keying)という特長ある方式が導入された。基地局間の同期は、CdmaOne方式と異なり非同期方式を用い、基地局運用 / 設置の自由度を高めている。非同期のため、移動機側での同期が複雑となる。

国内では、世界に先駆け試験サービスが2001年5月より開始されており、10月に商用が開始された。次のステップとして、各国のIMT-2000商用化に合わせたグローバルローミングを実現する第二世代端末が登場する。なお、屋内2Mbpsの実現は、さらに次のステップとなるであろう。いずれにしても、有線回線なみの高速高品質データ通信、高品質音声通信を機軸とし、魅力的なマルチメディアサービスの実現がユーザに認知され、その普及が加速される事は大いに期待できる。

3Gにおけるサービスが本格的に立上ると急増するトラフィックに対応できない可能性が予想され、既に改良版として3.5Gの検討が始まっている。W-CDMA

方式においては、同じ5MHzの帯域で下り8Mbps以上を実現するHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) やシステムのオールIP化(バックボーンネットワークのデータ伝送プロトコルのIP化とVoIP (Voice over IP)サービスの実現) の検討が進められ、2001年中には標準化される見通しとなっている。2005年頃には伝送速度が30Mbps程度となることが予想されている。

3. 第四世代移動通信方式

3.5Gの検討に加えて、4Gの検討がITU(International Telecommunications Union)のWP8F(Working Party 8F)において開始されており、システム概念・骨格の検討、将来の移動通信市場の検討やシステム要求条件の検討が進められている。我が国においては、「新世代移動通信システムの将来展望」について情報通信審議会が情報通信技術分科会新世代モバイル委員会を構成し報告書を平成13年6月に答申した。本章では、この新世代移動通信の位置付けと研究課題を概説する¹⁾。

新世代移動通信システムは、現状は構想・コンセプトの段階であるが、無線システムとしてとらえると、セルラーシステムと高速移動無線アクセスシステムが相互に親和性を高め、互いに補い合うシステムであり、**図2**のように示される。セルラーシステムとしては、3G、3.5Gと、2010年頃までに実現される下り(基

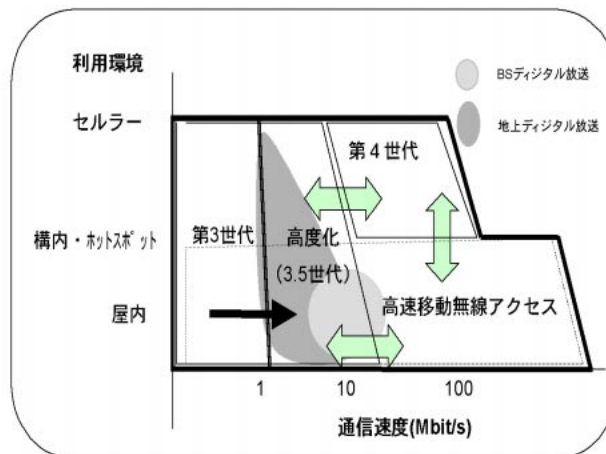


図2 新世代移動通信システムの領域 (2010年)

Fig. 2 The new mobile communications systems in 2010.

地局 端末)の伝送速度が50 ~ 100Mbps程度の4Gの3つを構成要素としている。これが構内・ホットスポットから屋外をカバーし、また、現在のMMAC (Multimedia Mobile Access Communication) を改良した高速移動無線アクセスシステムが屋内 ~ 構内・ホットスポットをカバーする。各無線システムはネットワークを介して相互に連携し、端末は個々のシステムを意識することなく利用できるものである。

システム全体として、マルチメディアに対応し、インターネット(IPv6に対応)との親和性の高い、高セキュリティ・認証性に優れ、モバイルIT環境を実現

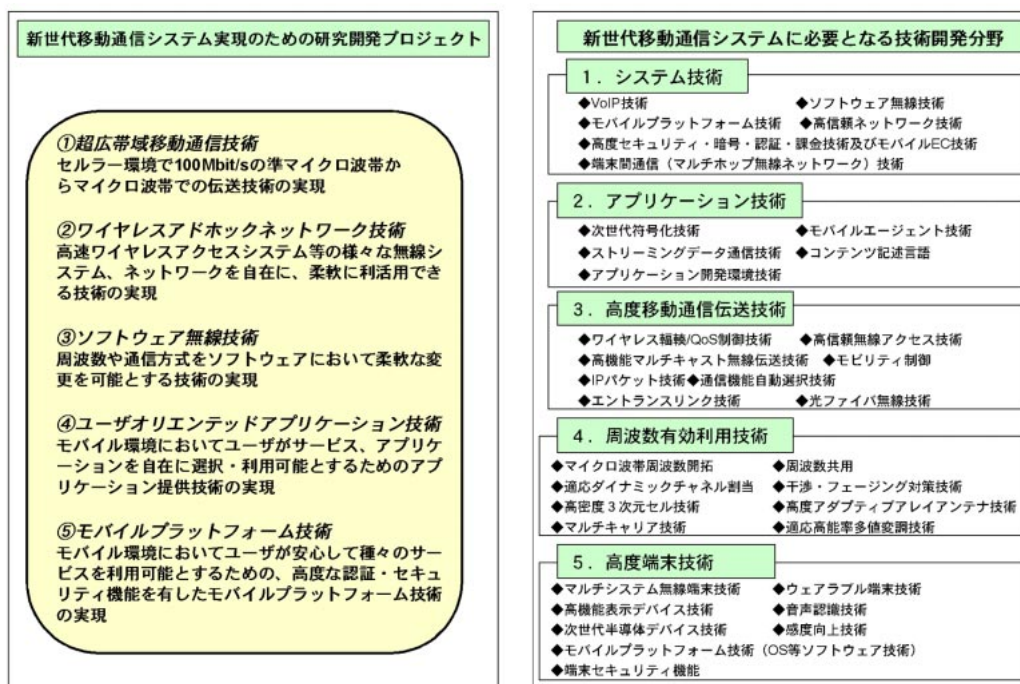


図3 新世代移動通信システム実現のための研究開発プロジェクトと必要となる技術開発分野

Fig. 3 R&D projects and technologies for the new mobile communications system.

するものとして構想されている。このため、重点研究開発プロジェクトとして、図3に示す以下の5つが考えられている。

- (1) 超広帯域移動通信技術
- (2) ワイヤレスアドホックネットワーク技術
- (3) ソフトウェア無線技術
- (4) ユーザオリエンテッドアプリケーション技術
- (5) モバイルプラットフォーム技術

ここで特徴的なことは、(1)から(3)における基本構成技術に加えて、(4)(5)のような、アプリケーション層に近い領域の技術があげられていることである。

4Gの周波数としては5～6GHzより下の周波数帯で、トラフィックが顕在化する2015年時点で帯域幅は1.2～1.7GHzが必要と考えられている。端末構成上の重要な要素としては(3)のソフトウェア無線技術が上げられる。既に述べたように新世代移動通信システム用端末機はマルチシステム対応機となる。このため、数種のハードを実装するのではなく、1つの無線装置でソフトウェアを書きかえることにより、マルチモード、マルチバンド対応を実現する技術(ソフトウェア無線技術)が重要であり、今後の研究開発動向を注意深く見ておく必要がある。

関連する市場分野としては、モバイルサービス分野、コンテンツ流通分野、モバイルEC分野、教育・行政・企業分野、他産業への活用分野があり、2005年の市場規模として、それぞれ、約6兆円、約2兆円、約2.5兆円、約5兆円、約4兆円で、合計約20兆円、2010年では合計約41兆円と試算されている。試算における各分野での推移を見ると、基本サービスである「モバイルサービス分野」の市場規模は緩やかな成長にとどまり、それ以外の周辺分野(コンテンツ流通分

野、モバイルEC分野、教育・行政・企業分野、他産業への活用分野)において急速な市場拡大が見込まれている。

むすび

いつでも、どこでも、誰とでも通話ができるのが、夢の携帯電話と言われていた。初歩的な携帯電話サービスの開始から15年に満たない現在において、人と人との通話にとどまらず、人と機械、機械と機械の通信が携帯電話によって行われ、日常生活の必需品となりつつある。携帯電話方式は通話品質の向上と加入者容量の拡大のためデジタル化されたが、データ通信との親和性から一気にモバイルインターネットの世界が開けるに至った。そのため、携帯電話機は単なる通信機から多くのアプリケーションを搭載する機器へ変貌した。

方式としても2.5G、3G、3.5G、4Gと進展し、より複雑かつ高度な処理が必要となるため、機器としてより高機能化と高性能化が要請されるが、マンマシンインタフェースとしては、より簡単容易であることが望まれる。通信に関する技術開発だけでなく、人に優しく、使って楽しい機器となるよう開発を進め、商品として提案していきたい。

最後に、編集に協力頂き、資料を提供頂いた皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル委員会報告 新世代移動通信システムの将来展望、平成13年6月25日。

(2001年9月27日受理)