

■ 要旨

本報告書は今日の「ケータイ」の基礎を作り出した約100年の歴史、技術の発展過程、サービス事業者の変遷、技術発達と社会・文化・経済・行政・海外の関わり、国際標準化活動、技術の系統化、日本のオリジナル技術の強みと弱み、課題と考察等の調査成果である。

日本の初期の無線通信は、自主技術開発中心で発展してきた。「志田林三郎」はマルコーニの無線通信に10年先駆けて1885年、隅田川での導電式無線実験に成功、電気学会を設立し、「無線通信の実用化、更に光通信・録音・録画等のシステムの実現」を予想した。1896年、無線通信の研究が、逓信省の研究機関で開始された。1897年、「松代松之助」は、文献だけを頼りに東京湾1海里的無線電信実験に成功した。1925年、八木秀次・宇田新太郎の「八木・宇田アンテナ」の発見は世界的な発明であった。

国産の「36式無線電信機」が、日露戦争で大活躍した。1912年、携帯電話の祖先の「TYK式無線電話」が、発明された。1940年代、中波・短波帯の無線電話が、国産技術で実用化された。移動通信が一般に普及したのは、第二次世界大戦後で、超短波帯での「警察無線」、「船舶電話」、「列車電話」、1967年、「自動交換接続による都市災害対策用可搬型無線電話システム」が開発された。1968年、「ポケットベル」の開始、1970年、大阪万国博覧会で電電公社から「日本初の携帯電話」が、出展された。これらの技術が、携帯電話やコードレス電話へ応用されている。1979年、世界初の800MHz帯を利用する「自動車電話」（体積7,000cc、重量約7kg）が、サービスされた。

1985年に施行された通信自由化により、NTT以外の新規参入会社による自動車電話サービスが、開始された。1987年、日本初の「携帯電話」（体積500cc、重量750g）サービスが開始された。1991年、第一世代の「世界最小最軽量のアナログ携帯電話」の導入、1993年、第二世代の「デジタル携帯電話」の導入、1994年、端末の自由化で自由競争時代に入った。1999年、携帯電話のインターネット接続サービスが導入され、2000年、「カメラ付携帯電話」が登場した。2001年、第三世代の「次世代携帯電話」が世界で初めて導入された。

これまでの移動通信の技術開発テーマは、伝送品質向上、大容量化、広域化、個人装備化、サービスの多様化などである。具体的には、周波数有効利用技術、無線機器技術、小型・軽量・経済化技術、実装技術の開発が推進されてきた。伝送方式の変遷は、モールス信号、アナログ方式、デジタル方式そしてインターネット、マルチメディア化へ、伝送メディアは音、データ、画像、映像へと進展している。

移動通信発展の特徴は、社会や経済活動の複雑化、効率化、高度情報化にともなって多様な移動通信が発展してきた。携帯電話とインターネットの融合が、世界に誇る「携帯文化」を生み出した。携帯文化は、時代ともに、第一世代で「ビジネスの利便性の確立」、第二世代で「人間本質の友文化の確立」、第三世代で「多様化とパーソナル文化の確立」へと進展している。

誰でも使用できる制約のない、人間性重視の、使いやすく、安全で、安心な「わがままなユビキタス通信端末」の開発推進が重要である。

■ Abstract

This report is the result of an investigation of the development process of approximately 100-year history of communication technology, which provides a basis for today's "KEITAI (portable telephone)", the changes undergone by service providers, the interaction of technological developments with society, culture, economy, radio wave administration and other countries, international standardization activities, technological systematization, strength and weakness of Japan's unique technologies and the pertinent issues and considerations among others.

Initially, Japan's wireless communication evolved around independent technological developments: Dr. Rinsaburo Shida successfully conducted an experiment on electromagnetic guidance at the Sumida River in 1885, ten years before Marconi's communication test, and established the Institute of Electrical Engineers of Japan and predicted the practical use of wireless communication and the realization of systems for optical communication, audio recording, picture recording and others. In 1896, research on wireless communication began in the research laboratories of the Communication Department of Japan. In 1897, Dr. Matsunosuke Matsushiro succeeded in a radiotelegraphy experiment over one nautical mile in Tokyo Bay with the help of technical literature only. In 1925, Dr. Hidetsugu Yagi and Dr. Shintaro Uda invented the "Yagi-Uda antenna", a world-class invention.

The domestically-produced Type 36 radiotelegraph played an important role in the Russo-Japanese War. In 1912, the "TYK wireless telephone", a predecessor of the portable telephone, was invented. Subsequently, domestically-developed and -produced medium-wave and short-wave wireless telephones were put into practical use in the 1940s. Yet it was after World War II that mobile communications became accessible to the public. VHF-wave police radio, maritime telephones and train telephones were introduced. A portable telephone system using an automatic exchange connection was developed in 1967 for urban disasters. The "pager" service was introduced in 1968. In 1970, Japan's first portable telephone was exhibited at Expo '70 by Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation (NTT). These technologies were applied to portable and cordless telephones. In 1985, a car telephone (about 7 kg in weight and 7,000 cc in volume) using the 800-MHz band was introduced for the first time in the world. It was only after the deregulation of the telecommunications sectors enforced in 1985 that car telephone services by companies other than NTT began. In 1987, Japan's first service for "portable telephone" (500 cc in volume and 750 g in weight) began. In 1991, an analog telephone, the world's smallest and lightest first-generation portable phone, was introduced. In 1993, "a digital portable telephone" of the second generation was introduced. With the deregulation of telephone terminals in 1994, an age of free competition started. In 1999, Internet connection services for portable telephones were introduced. In 2000, "portable telephones with a built-in camera" were introduced in the market. In 2001, a third-generation advanced portable telephone was introduced for the first time in the world.

The technological development themes in mobile communication have been for transmission quality improvement, larger capacity, wider coverage, personalized equipment development, diversification of services, etc. In particular, technologies for effective use of frequency resource; wireless equipment, size/weight/cost reduction and packaging/mounting have been promoted. Over the years, the signal transmission system evolved from Morse code to analog, to digital, and finally to Internet multimedia. The transmission media have advanced from sound only to data, to pictures and to video. Various mobile communication features have been developed along with complexity, efficiency improvement and high-networked information in socioeconomic activities. A marriage of the portable telephone and the Internet led to the birth of the "KEITAI culture" now highly revered around the world. The "KEITAI culture" progressed from the "establishment of the convenience in business activities" in the first generation, to the "establishment of the companionship culture inherent to the nature of humankind" in the second generation and to the "establishment of a diversified and individualized culture" in the third generation.

What really matters is the technology development for a "self-willed ubiquitous communication terminal" which is usable by anyone without any restrictions, oriented for human nature, easy to use, safe and untroubled.

■ Profile

森島 光紀 *Mitsunori Morishima*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和38年3月 日本大学理工学部電気工学部卒業
昭和38年4月 NEC 移動無線事業部開発部入社
移動通信機器（自動車電話）の開発、
NEC Australiaで自動車電話技術総括、
次世代携帯電話の標準化、主席技師長
平成5年2月 フォード自動車（日本）（株）技術開発研究所入社、
欧州デジタルラジオ・ITSの研究開発
平成13年1月 森島技術士事務所を設立（移動通信・ITS）
平成17年4月 国立科学博物館産業技術史資料情報センター
主任調査員
技術士（電気・電子部門）、
科学技術鑑定センター委員（日本技術士会）、
著書：「動く電話」NEC文化センター、1990
「ISDN時代の移動体通信」、1992、オーム社ほか

■ Contents

1.はじめに.....	239
2.公衆移動通信の発展経緯概要.....	240
3.無線の黎明期.....	249
4.第一世代のアナログ化の揺籃期から実用期.....	256
5.第二世代のデジタル化の成長期.....	271
6.第三世代のパーソナル化の拡張期.....	277
7.携帯電話の技術発展の系統化分析.....	283
8.今後の課題と考察.....	296
9.あとがき.....	299

1 | はじめに

通信の究極の目的は「いつでも、どこでも、だれとでも通信できる」ことである。これを実現できるのは移動通信しかない。今まで、色々な移動通信が発展してきたのはそのためである。一方社会、経済活動の複雑化、効率化、高度情報化にともなって、移動通信は益々重要になってきた。

対象移動体も船舶、列車、自動車、航空にとどまらず、携帯電話のパーソナル化へ、サービスエリアは室内、構内、地下、都市内、全国、全世界へ、さらに多様化、大容量化、高速化へ、伝送メディアは音、データ、画像、映像へ推進している。携帯電話のインターネット接続、カメラ実装、放送との連携へ推進されて「ユビキタス移動通信時代」を迎えている。

今日の携帯電話の基礎を作り出した、これまでの移動通信端末、携帯電話技術の発展を系統的に調査した。

1.1 具体的な調査項目

- (1) 1) 無線の黎明期、2) 第一世代アナログ化、3) 第二世代デジタル化、4) 第三世代パーソナル化に分類してその開発過程を調査した。
- (2) 陸上公衆通信の自動車電話、携帯電話の端末機の技術変遷を日本中心に調査した（基地局、ネットワーク関連及びコードレス電話、移動データ通信等は除く）。
- (3) サービス事業者の新規参入、競争、統合などの活動の変遷も調査した。
- (4) 技術開発が社会・経済・行政・海外等とどう関係していたか、他の技術（インターネット技術等）との関連はどうであったか等の技術系譜を調査した。
- (5) 国のかかわり、国際標準化活動等の変遷も調査した。

1.2 主要関連技術の変遷の系統化

移動通信技術の発展過程を系統的に系譜化するために主要関連技術を調査した。製品の歴史、技術の歴史、文化の歴史を指標に分析を試みた。

移動通信の技術開発テーマは、

(1) 周波数有効利用技術

- *高周波数帯の開発
- *無線チャネル間隔の狭帯域化
- *チャネル数
- *マルチチャネル技術
- *無線ゾーン
- *変復調方式
- *音声符号化

(2) システム技術・無線機器技術

交換、無線、電話機、デバイス等のあらゆる通信の総合技術、人間とのインターフェース技術、

- *送受信機
- *アンテナ
- *ディスプレイ
- *デバイス・部品
- *シンセサイザ部
- *電力増幅器
- *電話機
- *制御部
- *制御ソフトウェア
- *信号処理技術
- *符号誤り訂正技術
- *人間性重視（操作性、快適性）の多様化のインターフェース

(3) 小型・軽量・実装技術・経済化

- *低消費電力化
- *回路動作電圧
- *プリント基板
- *LSI・VLSI・マイクロプロセッサ
- *リードレス部品、チップ部品
- *デジタル処理化（マイクロプロセッサ応用）
- *表面実装技術、接続技術
- *高エネルギー電池
- *実装技術
- *システム及び機器価格の低減など

1.3 実体、資料の所在調査の進め方

日本の産業技術の発展を支えた資料や歩みを示す実物資料を、「産業技術史資料」と位置づけ、関連する博物館、展示館、会社、大学、官庁などと協力して、どこにどのような形で残されているかを調査した。多数の方々からデータの提供を頂いた。

1.4 目次の説明

第2章を読めば「携帯電話の歴史と技術の発展経緯」の全貌を把握出来るようにした。

第7章には、移動通信の技術の発展の経緯を基に、製品の歴史、技術の歴史、文化の歴史を指標に携帯電話の技術発展の系統化分析を試みた。

さらに世界に誇れる「携帯文化」、携帯電話の日本オリジナル技術の強みと弱みなども記述した。

第8章には、携帯電話は国民の1人に約1台まで普及したが、普及につれて、さまざまな社会問題も引き起こしている。世界のリーディング国として、「ユビキタス移動通信時代」を推進するための将来の課題と考察を示した。

今日の「デジタル時代」に、先人の残した「アナログ及びデジタル技術」の発展過程で得られた知識、経験、そして確立された技術の系統化を調査した本報告書が、今後の「ケータイ」の技術開発の方向になにがしかの示唆が見出されれば幸いである。

2 | 公衆移動通信の発展経緯概要^{1,2}

携帯電話の歴史と技術の発展経緯の全貌を示す。公衆移動通信の歴史、自動車・携帯電話事業者の歴史、移動通信技術の特徴の概要を述べる。

2.1 歴史と発展経緯

国内、海外、電気通信情勢、出来事/世相の関連の歴史を調査した(表2.1:章最後)。

実験段階の「無線の黎明期」、音声中心の自動車電話の「第一世代のアナログ化」、携帯電話・低速データ通信の「第二世代のデジタル化」、マルチメディア・高速データ通信の「第三世代パーソナル化」の発展に分類した。

無線の黎明期には「無線電信」が日露戦争で大活躍した。その後中波・短波帯の「無線電話」が国産技術で実用化された。移動通信が一般に普及してきたのは、第二次世界大戦後で、戦後の復興につれてどこからでも情報を伝達できる移動通信が警察、海運界などから要望され、超短波帯の警察無線の実用化後、人命の安全確保と運転効率の向上に貢献する船舶電話、列車電話、情報伝達に便利なポケットベル、自動車の普及により自動車電話が開始された。そして1985年に施行された通信自由化により、NTT以外の新規参入会社による自動車電話が開始され、1994年の端末の自由化で自由競争時代に入った。移動通信が経済的な社会活動の効率化に不可欠な手段として認識される時代になり、アナログ携帯電話、コードレス電話、航空機電話、衛星移動電話、デジタル携帯電話、PHS(Personal Handy-phone system)電話、第三世代パーソナル携帯電話と発展して、ユビキタス時代を迎えている(図2.1、図2.2:章最後)。

2.2 自動車・携帯電話の発展

(1) 自動車・携帯電話の推移と加入者数推移

1) 第一世代「アナログ自動車電話と世界最小最軽量携帯電話の導入」:1979年小ゾーン方式のアナログ自動車電話が導入され、1985年通信自由化で新規参入会社が参入して以来順調な発展を遂げた。1990年世界最小最軽量携帯電話(ムーバ)が導入された。

2) 第二世代「デジタル携帯とインターネット接続サービスの導入」:1993年デジタル携帯の導入、保証金廃止、1994年端末自由化により自由競争時代になった。1999年「iモード」、「EZウェブ」、「Jスカイ」のインターネット接続サービスが導入され、2000年カメラ付携帯が登場した。

3) 第三世代「高速通信の携帯電話機の世界で初めて導入」:IMT2000(International Mobile Telecommunication 2000)という第三世代の無線通信技術の開発が世界で競われてきた。日本は一歩リードしている。実用化に向け標準化や制度整備等を早くから推進され、2001年10月には、NTTドコモグループがW-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)方式の第三世代携帯電話を世界で初めて開始し、2002年4月にKDDIグループがCDMA2000(Code Division Multiple Access 2000)方式で、同年12月にはJ-フォン(現ボーダフォン)がW-CDMA方式でそれぞれサービスを開始した。2005年10月末において、第三世代携帯電話の契約数は3,933万加入となり、順調に増加している。

2005年3月末における携帯電話の契約数は8,700万契約である。そのうち携帯インターネット(携帯電話を使ったインターネット接続サービス)は7,515万契約(86.4%)、うちカメラ付6,637万加入(76.3%)に達している(図2.3)。

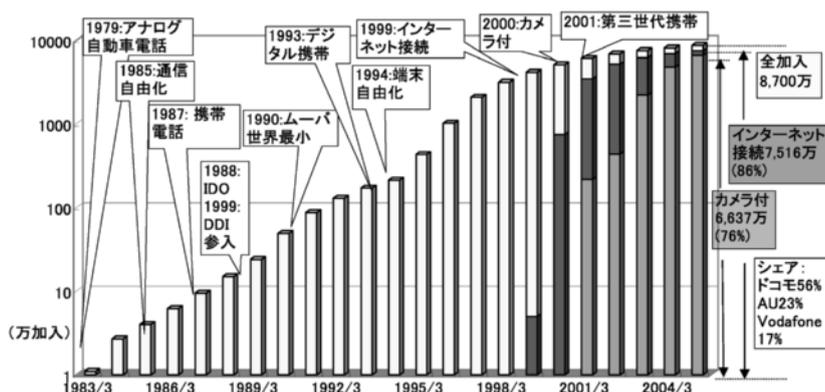


図2.3 自動車・携帯電話の加入者推移³

(2) 携帯インターネット普及状況の国際比較²

我が国の情報通信の伸びはすさまじい。中でも携帯電話関連での実績は顕著だ。圧倒的にほかの国をリードしている。2004年9月末現在を示す(図2.4)。

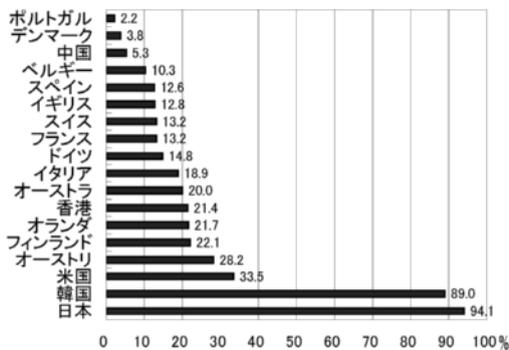
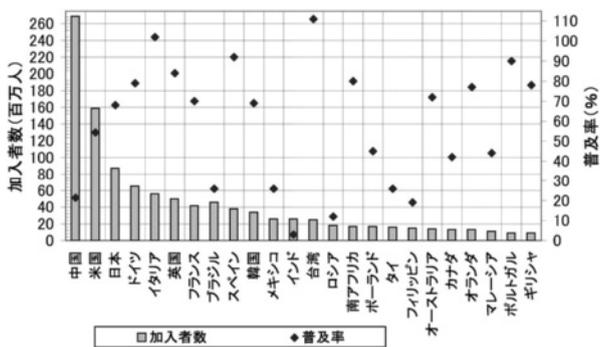


図2.4 携帯電話のインターネット対応比率

諸外国・地域の携帯インターネットの普及状況の各国・地域の主要な事業者における携帯電話契約数に占める携帯インターネットの契約数の比率をみると、我が国が94%と最も高く、次いで韓国、中国が続いており、アジア諸国が携帯インターネットの普及を牽引している。

(3) 携帯電話の加入者数と普及率の国際比較³

2003年末のITU (International Telecommunication Union) 資料によれば、中国が2.7億人(普及率21%)で世界一である。米国が1.6億人(普及率54%)で2位、日本が0.87億人(普及率68%)で3位である。普及率が高い国は香港(普及率106%)、イタリア(普及率102%)、スペイン(普及率92%)、ポルトガル(普及率90%)である。普及率が低い国はインド、ロシア、フィリピン、ブラジルである(図2.5)。



てKDDIが設立されたのに先駆けてIDOとセルラーはau事業を開始した。さらにKDDIに吸収された。

2003年にはJ-フォン (J-Phone) は、イギリスの携帯電話事業者Vodafone社に買収されボーダフォンになった。

2005年現在は四つのグループがサービスを提供している。2005年10月ツーカーセルラーはKDDIに吸収合併され三つのグループになった(表2.2、図2.7:章最後)。

表2.2 自動車・携帯電話事業者の概要

サービス当初の会社	方式名	現在のサービス会社
日本電信電話公社(全国)	NTT方式、大容量、PDC(800MHz)(1.5GHz)、W-CDMA	NTTドコモ系列
日本移動通信IDO(首都圏・中部圏)	NTT方式、大容量、N-TACS、PDC(800MHz)	au系列
セルラー(関西、九州、中国)	N-TACS、cdmaOne、cdma2000	
ツーカーセルラー(東京・関西・東海)	PDC(1.5GHz)	ツーカー系列
デジタルツーカー(中国・東北・北海道・北陸・四国)	PDC(1.5GHz)	ボーダフォン系列
デジタルホーン(東京・関西・東海)	PDC(1.5GHz)、W-CDMA	

(2) 事業者のサービスの変遷

各携帯電話事業者は、当初は音声通話機能のみを提供していたが、1999年からパケット通信や回線接続によるインターネットサービスを開始した。これによって電子メールやウェブの閲覧が可能となった。それとともに表示用液晶も拡大し、カラーや精細化が進んだ。

また、別個に着信音としてメロディを鳴らす着信メロディが人気を呼び、さらには着信時にボイス音も含めた音楽をダウンロードできるサービスも開始された。

J-Phoneが2000年に開始した「写メール」サービスは、携帯電話にカメラを搭載して非常に人気となり、その後各事業者が追随し、カメラ機能は標準的なものと位置付けられ、デジタルカメラの普及機なみの性能のものも出てきた。この写真を電子メールで送受信することなどから、メールの容量や液晶の進化も進み、さらに動画を撮ったり再生したりといったサービスも行なわれている。さらにゲームや実用的なアプリケーションなどが提供され、市場も拡大している。その他、地上波テレビ、GPS、FMラジオ、テレビ電話機能などが普及してきた。

第三代携帯電話への進化によって、通信速度や音質が向上し、多機能化され、さらにパケット通信の定額化も行なわれている。

携帯電話端末は当初はレンタル制で、売り切り制が導入され、保証金が不要になり普及が進んだ。さらに1円端末といった超低価格端末を提供し、街頭で配るなどしたために、端末価格は大きく下落した。本来は数万円以上するはずの端末が、契約を取ることに対して代理店に対して事業者からインセンティブと俗に呼ばれる奨励金が出るために、代理店は安売りが可能となり競争が激化している。

2.4 移動通信技術の特徴¹⁾

移動通信の特徴は、1) 通信の究極の姿、2) 無線でしかできない、3) あらゆる通信技術の集積、4) ユーザーによる直線の機器操作、5) 使用できる無線周波数帯がかぎられる、6) 過酷な電波伝搬条件と使用環境、7) 大きい受信レベルの差、8) 端末機の経済性等であり、また社会情勢やニーズから、9) 通信量情報の増加、10) 移動範囲の拡大、11) 利用形態の拡大等が求められ、これらの技術開発が推進されてきた。

(1) 移動通信技術の代表的な製品

日本の移動通信技術を支えてきた代表的な製品を次に上げる(図2.8:章最後)。

「無線の黎明期」:

*1903年日本初の“36式無線電信機” *1912年日本初のTYK式無線電話 *1967年都市災害無線電話 *1970年日本初の大阪万博の携帯

「第一世代のアナログ化」:

*1979年日本初の第一世代(NTT)自動車電話(TZ801) *1985年/1989年可搬型(100,203) *1989年携帯型(TZ803B) *1989年マイクロタック(モトローラ) *1991年ムーバ(TZ804)

「第二世代のデジタル化」:

*1992年デジタルムーバ *1999年第二世代携帯:iモード(ドコモ)

「第三世代パーソナル化」:

*2001年世界初の第三世代携帯(FOMA)等である。

参考資料

- 1 森島光紀:「動く電話」、C&C文庫、日本電気文化センター、1991年5月27日第2版
- 2 情報通信白書 平成12~17年版
- 3 TOPページ、「第4章 電気通信をめぐる海外の動向」社団法人電気通信事業者協会
- 4 「携帯電話の不思議」、パナソニックモバイルコミュニケーションズ(株)、(株)SCC

表2.1 公衆移動通信の歴史

分類	国内		海外		電気通信情勢・出来事/世相	
	年	出来事	年	出来事	年	出来事
無線の黎明期 (実験段階)	1835	志田林三郎の水面を利用した導電式無線実験成功	1835	モールス電信機発明、モールス符号を考案	1868	電信事業の国営化・明治維新
	1864	松代松之助の東京湾1海里の無線電信実験に成功	1864	マックスウェルの電磁波理論	1869	東京一横浜に電信開通
	1876	通信省で36式無線電信機完成	1876	電話機の発明(ベル)	1885	通信省創設
	1888	信濃丸モールス信号「敵艦見ゆ」	1888	ヘルツの電磁波の実験	1889	有線電話事業の開始
	1895	船舶無線電報(銚子無線局～船船)	1895	マルコーニの無線実験	1900	無線通信を政府専掌,1901:電気試験所(通信省)
	1901	鳥潟石一の鉱石検波器・タンタム検波器発明	1901	太平洋横断断通(マルコーニ)	1914	第一次世界大戦勃発
	1906	TYK式無線電話(通信省)	1906	二極真空管の発明(フレミング)	1922	アマチャ無線を許可
	1916	受信真空管の国産化(東芝)	1906	三極真空管の発明(de Forest)	1923	関東大震災
	1919	安藤博の「多極真空管の特許」	1916	四極真空管の発明(Schottky)	1925	NHKの設立・中波放送の開始
	1926	八木アンテナの発明	1922	水晶振動子の発明(Cady)	1929	航空無線の開始(通信省)
	1930	Rカット水晶振動子の発見(古賀)	1935	周波数変調方式発明(アームストロング)	1938	国際電気通信株式会社設立
	1946	前田「周波数変調」出版	1946	150MHz米国で自動車電話	1939	第二次世界大戦勃発,1945終戦
	1948	30MHz警察無線通信(ナトカー)	1947	VHF電界強度計算図表		
	1953	150MHz船舶電話	1948	トランジスタの発明(ベル研究所)	1949	警察無線に関する覚書(GHQ)
	1960	400MHz列車無線(JR特急)	1958	集積回路を発明(キルビー特許)	1950	放送法・電波法・電波管理委員会法の公布
	1961	400MHz自動車電話(手動交換)試作	1958	米国で無線呼出	1952	日本電信電話公社設立、郵政省電波研究所発足
	1964	400MHz列車無線(JR新幹線)	1961	モノリシックICを発明(ロバート・ノイス)	1953	NHKテレビ放送開始、国際電信電話株設立
	1967	都市災害対策用可搬型無線電話(大ゾーン)	1964	米国で全自動化IMTS(大ゾーン)	1960	カラーテレビ放送開始、FM放送開始
	1968	150MHz無線呼出(ポケットベル)	1968	英国で無線呼出	1964	新幹線開業、東京オリンピック
	1970	大阪万博携帯電話の実験	1969	アポロ月面着陸	1970	日本の総人口1億人を突破
1979	250MHz自動化内航船舶電話	1971	マイクロプロセッサ(4ビット)発売		缶コーヒー、電子ジャー登場	
1979	800MHz第一世代アナログ自動車電話(小ゾーン)				大阪万国博覧会開催	
1980	コードレス電話(1チャネル)	1981	スウェーデンでNMT-450(小ゾーン)方式	1979	ウォークマン、パソコン「PC-8001」登場	
1982	インマルサット衛星通信	1983	米国でAMPS(小ゾーン)方式		「インベーダーゲーム」ブーム	
1984	コードレス電話(多チャネル)			1980	漫オブーム	
1984	公衆利用型自動車電話			1982	東北・上越新幹線開通,CDプレーヤー登場	
1985	通信の自由化(NCCの参入)					
1985	シヨルダールホン(100型)	1985	英国でTACS(小ゾーン)方式	1983	東京デイズニderland開園	
1986	航空機公衆電話	1985	ドイツでC-450(小ゾーン)方式		「ファミコン」発売	
1987	ハンドヘルド型携帯電話(TZ-802B)	1986	スウェーデンでNMT-900(小ゾーン)方式	1985	電波開発センター・規格策定委員会設立	
1988	日本移動通信自動車電話参入(NTT方式)	1986	フランスでRC2000(小ゾーン)方式	1987	財テクブーム	
1988	マリネット電話(IDO)					
1988	大容量自動車電話(5倍の有効利用)			1988	バブル景気全盛期	
1989	第二電電自動車電話参入(N-TACS)	1989	英国でテレポイント(GT2)	1989	カラオケボックスブーム,消費税導入	
1989	テレターミナル(データ)通信	1989	薄型・軽量端末「マイクロタック」		BS・ハイビジョン放送開始	
1991	小型携帯機(ムーバ)	1992	ドイツでデジタルGSM方式(欧州)	1990	電波利用の人体への防護指針制定	
1992	NTT移動通信網(NTTドコモ)設立			1992	NTTから移動体通信業務を分離	

表2.1 公衆移動通信の歴史

分類	国内		海外		電気通信情勢・出来事/世相		
	年	内容	年	内容	年	内容	
第2世代（デジタル・携帯・データ）	1993	保証金制度廃止（NTTドコモ）	1993	デジタルIS-54方式（米国）	1993	皇太子さま、雅子さまご成婚	
	1993	第2世代デジタル方式携帯電話（PDC）				女子高生にポケベル人気（ベル友）	
	1994	携帯電話機の売り切り制導入					
	1994	1.5GHzデジタル方式携帯・自動車電話					
	1994	デジタルホングループがサービス開始					
	1995	N-STAR衛星通信（ドコモ）			1994	関西新空港オープン	
	1995	PHSサービス（DDI、NTT、アステル）	1995	香港・韓国でcdmaOne携帯電話	1995	パソコンブーム「Windows95」発売	
	1998	cdmaOne携帯電話（DDI）	1997	米国でcdmaOne携帯電話		デジタル・スチルカメラ	
	1998	パケット通信（DoPa）				通信カラオケ、ワイドテレビ登場	
						阪神淡路大震災で携帯活躍	
	1999	オーブコム衛星通信			1996	インターネットブーム	
	1999	インターネット接続「iモード」「EZweb」				「プリント倶楽部」女子高生に人気	
		世界初にカラー液晶携帯電話「F502i」発表			1997	「たまごっち」「ポケモン」ブーム	
		デジタルホングループがJフォンへ				秋田新幹線、長野新幹線開業	
		アナログサービス終了（ドコモ）				DVDカーナビゲーション発売	
	2000	Jフォン「写メール」サービス開始			1997	国際インターネット電話自由化	
	2000	3社（IDO、DDI、KDD）合併によりKDDI発足			1999	ADSLサービス開始	
	第3世代（高速化）「パーソナル化」	2001	第3携帯電話（384kbps、W-CDMA、ドコモ）	2001	米国で第3携帯電話（CDMA2000）	2001	WindowsXP日本語版発売
		2001	第3携帯電話（144kbps、cdmaOne、KDDI）	2001	欧州でGPRS（パケット通信）		
		2002	第3携帯電話（384kbps、W-CDMA、J-Phone）	2002	欧州で第3携帯電話（W-CDMA）	2002	ノーベル賞授賞（小柴昌俊氏と田中耕一氏）
		第3携帯電話（2.4Mbps、CDMA2000、KDDI）			2002	NTTドコモ「シヨット」サービス開始	
2003		100万画素携帯電話「505iシリーズ」			2003	イラク戦争	
		J-ホンからポータブルフォン株式会社へ			2003	地上デジタル放送開始（東京・大阪・名古屋）	
2004		携帯とテレビの連携					
		インターネット接続携帯電話（83%）			2004	新潟県中越地震	
2005		ユビキタスマバイル（U-Japan政策スタート）				携帯電話の車での使用を禁止規則策定	
						携帯電話の周波数割当ての見直し	
				2005	携帯事業者が放送会社と提携		

注：太字は携帯電話関連
 参考資料：森島：「動く電話」、NTTドコモ10年史、中山：「移動通信の歴史」、電気学会「電気工学100年の歩み」

図2.1 公衆移動通信の発展経緯

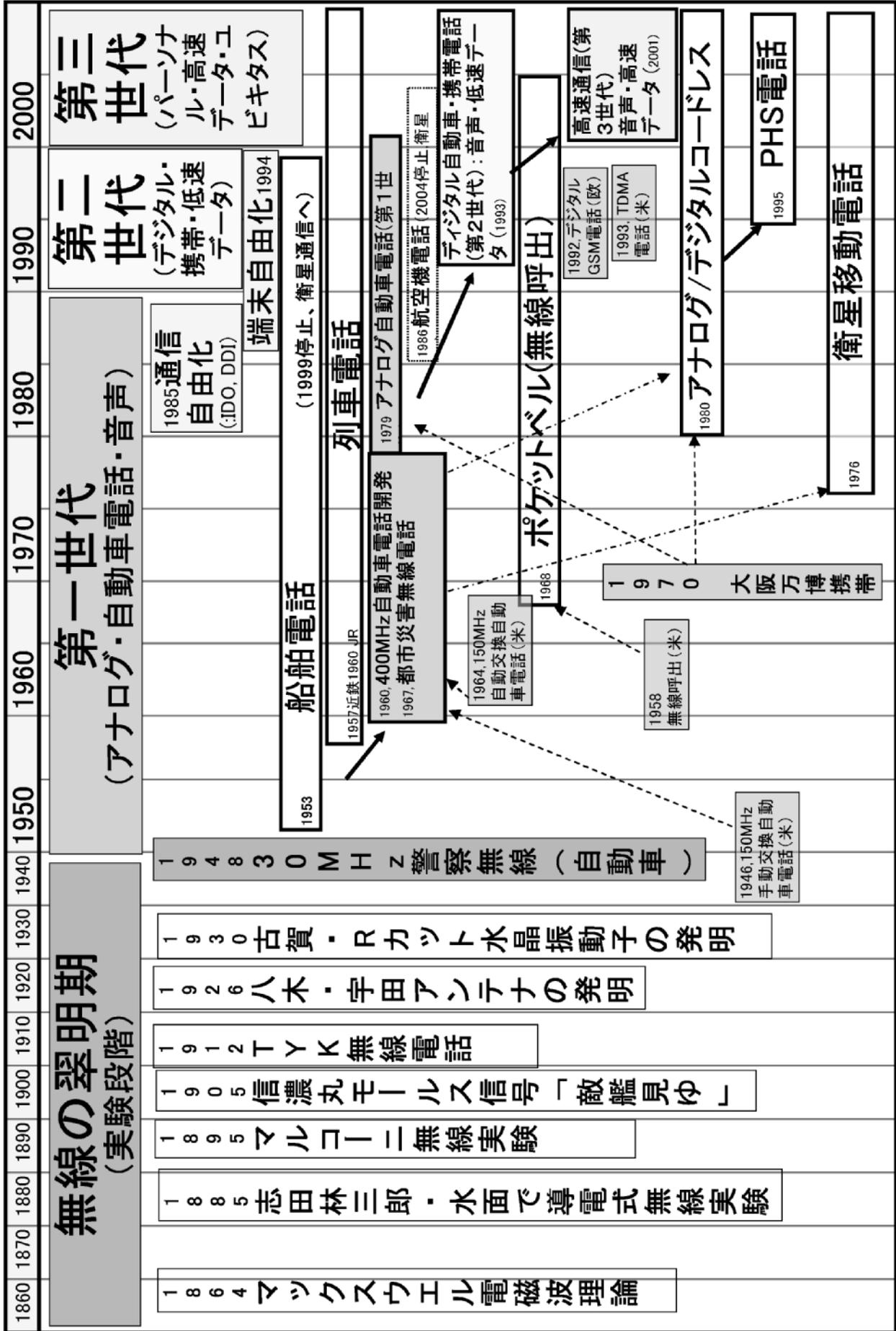


図2.2 公衆移動通信（自動車・携帯電話）の方式経緯

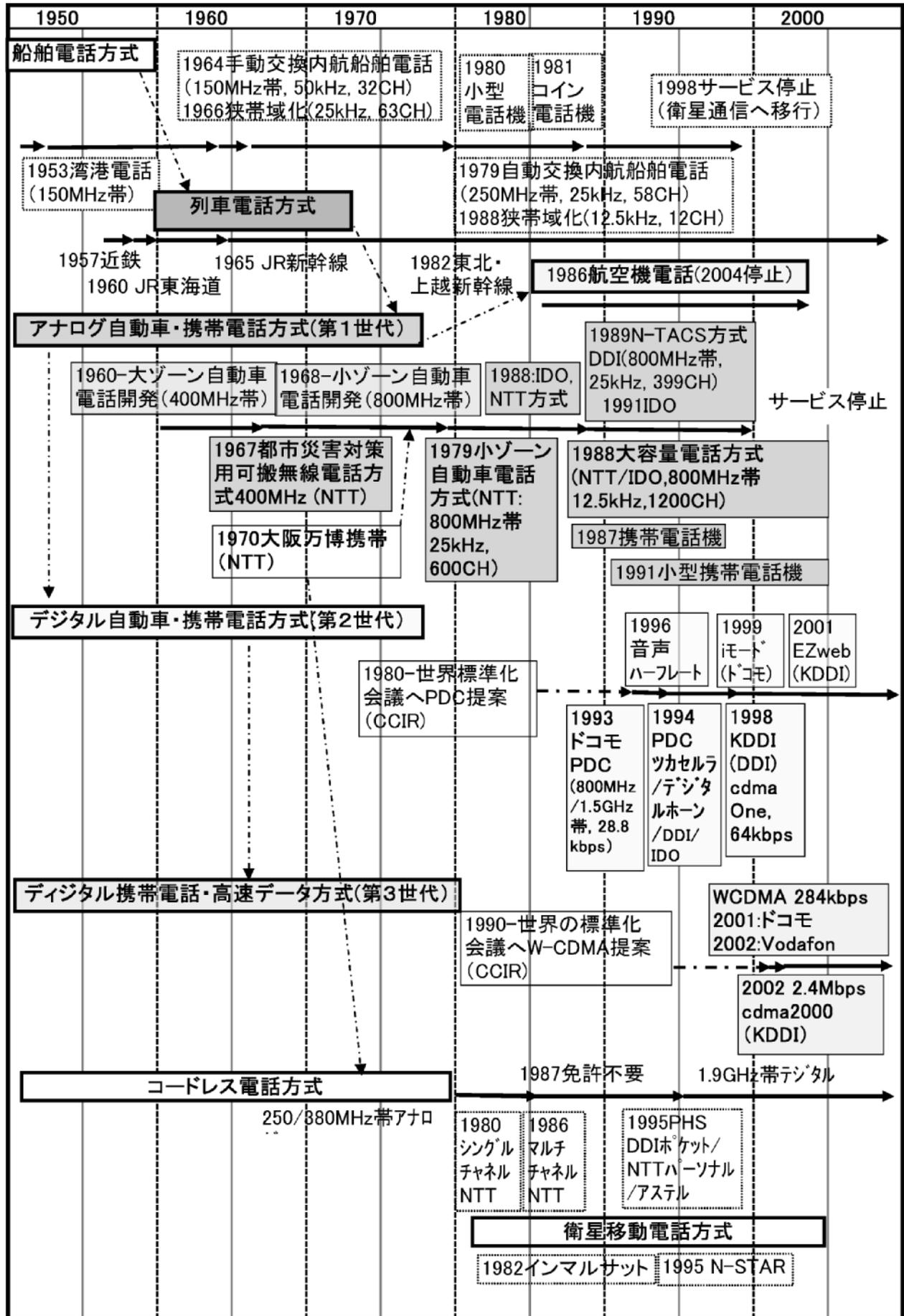
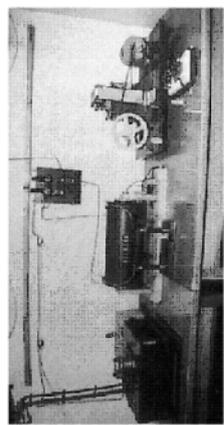


図2.7 自動車・携帯電話事業者の変遷

事業者名	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005								
日本電信電話公社 「NTT」[1988] (全国)	第1世代アナログ自動車・携帯電話方式		第2世代デジタル携帯電話方式		第3世代パーソナル方式																														
	79アナログ方式自動車電話開始		85/4:通信の自由化		87携帯電話発売		85/4:日本電信電話(株)(NTT)		87携帯電話発売		90/3:NTTドコモ分離 92/7:営業		93デジタル方式開始		94/4端末売切り制導入		99インターネット接続, カラー液晶		00Jフォン「写メール」カメラ付		01GPS付携帯		03コード認識		01TV電話		03TV-FM付		02赤外線通信		04お財布携帯				
日本移動通信 IDO「TWJ, トヨタ」[1987] (首都圏・中部圏)	NTT方式(アナログ, 800MHz)		NTT大容量方式(アナログ, 800MHz)		NTT大容量方式(アナログ, 800MHz)		日本方式、チャンネル間隔: 25kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		NTT大容量方式(アナログ, 800MHz)		PDC方式(デジタル, 800MHz)		PDC方式(デジタル, 1.5GHz)		W-CDMA方式(2GHz, デジタル)		KDDI AU		KDDI AU		KDDI AU		KDDI AU		KDDI AU		KDDI AU		KDDI AU				
	日本方式、チャンネル間隔: 25kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz		日本方式、チャンネル間隔: 12.5kHz				
セルラー 「DDI, モトローラ」[1987] (東京・関西・東海)	トピックス		*79/12アナログ方式自動車電話サービス		*85/4通信自由化		*88-89新規会社IDO/セルラーが日本・米国内方式でサービス		*93/3デジタル方式サービス(NTTドコモ), 94/6サービス(IDO)		*94/4端末売切り制(自由競争)		*94/4デジタル方式1.5GHzサービス(デジタルツーカー、デジタルホン)		*98/7cdmaOneデジタル方式サービス(セルラー)		*99インターネット接続		*00カメラ付		*01TV付, GPS付		*01/11第三世代携帯サービス(NTTドコモ), 02/4サービス(KDDI), 02/12サービス(Vodafone)		*03事業者: 6社から4社										
	セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー		セルラー				
ツーカーセルラー [日産, DDI][1994] (東京・関西・東海)	ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー				
	ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー		ツーカーセルラー				
デジタルツーカー [日産, 日本テレコム][1994] (中国・東北・北海道・北陸・四国)	デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー						
	デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー		デジタルツーカー				
デジタルホン [日本テレコム, PACTEL][1991] (東京・関西・東海)	デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン						
	デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン		デジタルホン				

図2.8 自動車・携帯電話端末機の技術変遷

項目	無線の黎明期	第一世代(1948-)	第一世代(1979-)	第一世代(1985-)	第二世代(1993-)	第三世代(2001-)
伝送方式	モールス信号	アナログ方式	アナログ方式	アナログ方式	デジタル方式	マルチメディア化インターネット方式
無線ゾーン	数km~3000km	大ゾーン(半径20km以上)	中ゾーン(半径3~20km)	小ゾーン(半径1~3km)	小ゾーン(半径1~3km)	マイクロゾーン(半径1km以下)
周波数帯	1MHz以下	30/60/150/400 MHz	250/800 MHz	800MHz	800MHz, 1.5GHz	2GHz, 800MHz, 1.5GHz
端末機の形状	ラック型	車載型	車載型	可搬型・携帯型	携帯型(カメラ)	パーソナル化(カメラ、TV)
実装技術	金属シャーシ	リード部品	表面・リード部品混載	表面実装、チップ部品	超小型チップ部品	モジュール化
空中線電力	数kW~数100W	25~5W	5~1W	1W	0.6W以下	0.25W以下
容積・重量	40kg以上	21kcc, 11kg (TZ41)	6600cc, 7kg (TZ801)	1500cc, 3kg (100型)	150cc, 230g (ムーバ)	約100cc, 約100g

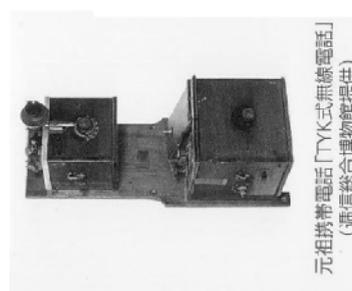


1903 36式無線電信機



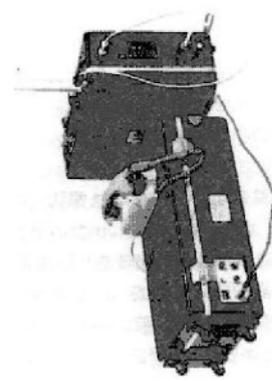
大阪万国博覧会に登場した携帯電話

1970 大阪万博の携帯



元相携帯電話「TYK式無線電話」
(通信総合博物館提供)

1912 TYK式無線電話



TZ-41型都市災害対策用可搬無線電話

1967 都市災害無線電話



自動車電話

可搬型(100, 203)

携帯型

1989 マイクロタック(モトローラ)
211CC, 303g

初の1モード対応ケータイ

1999 第二世代携帯:
iモード(ドコモ)

ムーバ

2001 第三世代携帯(FOMA)

3 | 無線の黎明期（1947年以前）

3.1 無線技術の初期（1929年以前）

(1) 電波は誰がいつ発見したか¹

次の四人の物理学者が電波の発見に貢献した。フランスのアンдре・マリー・アンペア（Andre Marie Ampere）が電気の流れる電線の回りに磁場ができることを1820年に関係づけた。イギリスのマイケル・ファラデイ（Michael Faraday）は銅線を丸く巻いたコイル中に磁石を出し入れすると、コイルに電流が流れる現象を1831年に発見し電波発見のきっかけとなった。イギリスのジェームズ・クラーク・マクスウェル（James Clerk Maxwell）がファラデイの考えを発展させ、1864年に電気と磁気が一体で伝わる波動の存在を理論的に証明し（電磁方程式）、光は電磁波の一種類であることを予言した。この理論を「火花放電発生器」による実験で確かめたのがドイツのハインリッヒ・ルドルフ・ヘルツ（Heinrich Rudolf Hertz）で1888年に電波の存在が発表された。

(2) マルコーニの実験に10年先駆けて実験^{5,6}

わが国の電気通信創始者として知られる志田林三郎も隅田川で実験を行ったとの記録がある。

1885年（明治18年）、志田林三郎らによる水面を利用した導電式無線通信の国家的実験プロジェクトである。1895年のマルコーニの電波による実験成功に10年先駆けて、電線を使用せずに、通信を行う方法はないかと発想し、これを隅田川や品川沖で実験して、時の通信大臣榎本武揚の立会いの下に成功させた実行力には驚きである。英国グラスゴー大学のケルビン卿の下へ留学した志田の活躍は目覚ましく、わずか1年の滞在であったにもかかわらず、最近のグラスゴー大学の学長あいさつにも志田の名が引用されるほどであったという。日本初の工学博士号を授与された志田は電気学会設立の主導者であり、1888年（明治21年）第一回設立通常会において、「電線を用ひず数里の河海を隔てて、自在に通信又は通話し得るの節も来るべし」と無線通信の実用化を予言し、更に、光通信・録音・録画等、十指にのぼるシステムの実現を予想した。彼の先見性に驚かされる（写真3.1）。



写真3.1 志田林三郎⁶

我が国でもマルコーニの電波による通信の1年後の1896年には無線通信の研究が通信省の研究機関（電気試験所）の松代松之助技師により開始された⁷。

これには志田らによる先駆的試みの影響があったものと推察される。

(3) ヘルツが電磁波を発見（1888年）^{7,8}

ヘルツは、1888年、火花をとばして電磁波を送る装置を作り、数m離れたところで電波を捕まえることに成功した。ヘルツは1894年に37歳の若さで亡くなったが、ユダヤ人の血を引いていたのでナチスドイツが日陰者扱いにしていたが、その業績をたたえて、周波数（1秒間に電気の流れる方向が変わる回数）の単位には「ヘルツ」（Hz）が世界中で使われている。

(4) 長岡半太郎がヘルツの実験を行った（1889年）

1889年に長岡半太郎がヘルツの実験の詳細な講演を行い会場で電波の存在を証明した。

(5) マルコーニが無線実験に成功（1895年）^{2,3,4,7,8}

1) 実験は自宅の屋根裏部屋で行われ、特許取得

グリエルモ・マルコーニ（Guglielmo Marconi）は北イタリアの豊かな裕福な地主の次男に生まれた。リボルノの工業学校で物理学を学んだ。個人教授がつけられたようで、一般的な学校へ行くことなく育ったようだ。母のおかげでボローニア大学の物理学のリギ教授の指導を受け、ヘルツの電磁波の発見を知り、電波の研究に打ち込み、これを通信装置に応用することを試みて成功し、1895年ついに無線電信を発明した。

実験は自宅の屋根裏部屋で行われ、自宅の窓からモールス信号で、2.4kmの通信に成功した。これが無線通信の最初である。このとき彼は21歳の若さであるが、イタリア政府が彼の発明に関心を示さなかったので、

その翌年英国生まれの母とともにロンドンに渡り、イギリス電話局の技師長であったW プレースの知己を得て、イギリスでの無線電信の特許を取るとともに、1897年ロンドンの資本家と協力して、世界で初めての無線電信会社（マルコーニ無線会社）を作った。

1900年、マルコーニは同調方式を完成させた有名なフォーセブン特許（英国特許第7777号：効果的な同調方式であり、これによって異なる波長を使う無線局は相互に混信しない）を獲得した。無線通信では非常に有効な特許であった（写真3.2）。



図3.2 マルコーニの初の火花式送信機と特許の複製¹³

その後、1898年イギリス海峡を隔てての無線通信に成功し1901年には、イギリスーカナダ間大西洋（3,200km）を隔てての無線通信にも成功した。イギリスからの送信電力は12kW、周波数は約375m（800kHz）の中波で、カナダの受信は凧から吊り下げたアンテナで受信した。彼の成功は本格的なアンテナとアースの採用と、アンテナの大きさと高さが到達距離を伸ばす鍵であることを発見したことによる。

1909年ノーベル物理学賞を受賞したほか、1919年にはパリ講和会議のイタリア全権大使、1929年に侯爵に叙せられるとともに上院議員に任命され、また1933年（昭和8年）には日本を訪れている。マルコーニが発明者とされるのは、実用にまで結びつけたこと、および特許の取得によるものである。

2) タイタニック号の遭難

1900年代はじめには、多くの商船、定期船、軍艦が無線を装備するようになった。1909年、アメリカのリパブリック号とイタリアのフロリダ号が濃霧のためアメリカ東海岸沖で衝突。リパブリック号からの信号を受けた救出船が30分以内に現場に到着、1700名もの乗客の救助が成功したといわれている。

1912年の約1500人が亡くなったタイタニック号の遭難では、無線機が故障し、その修理に7時間かかったが、氷山に衝突する数時間前には修理は終わっていたという。その後は、故障の間に溜まっていた電報をレース岬（ニューファウンドランド島南端）に届けるために、

通信士は必死になって電鍵にしがみついていた。23時頃、近くにいたカリフォルニアン号から「氷山がある。氷に囲まれて動けない。注意しろ。」という電報が入ったが、「うるさい！黙っていてくれ、今レース岬との交信で忙しいのだ。」とこの警告を無視した。そのため最も近くにいたその船の通信士は電源を切り睡眠したので救助に向かえなかった。無線通信により連絡を受けた遠方の船が、沈没から2時間後に到着し、約700人が救われた。この反省のため1914年、海上保全条約（別名タイタニック条約）が制定され、50人乗り以上の船舶は必ず無線機を装備し、遭難信号を聞き漏らさないよう受信機のスイッチを24時間入れておき、誰かがそれを聞いていることなどが定められた。タイタニック号の処女航海にはマルコーニ夫妻も招待されていた。しかし、マルコーニは米国での用事のため1便早く出発しており、妻は子供が病気になったので乗船を取りやめていたため無事であった。マルコーニ夫妻が乗船していたら遭難は防げたか話題にもなったという。

(6) 国産無線電信機の導入、36式無線電信機

(1903年)^{9,10,11,7,8}

1896年当時の電気試験所長浅野応輔は管船局長石橋綱彦から、雑誌「ロンドンエレクトリアン」にマルコーニが無線通信を発見したことの記事が載っていることを知らされ、所員の松代技師に調査研究を命じ、コヒーラ検波器を研究し、1897年、東京の月島海岸と、約1マイル離れた品川沖の第五台場で実験に成功した（写真3.3、3.4）。

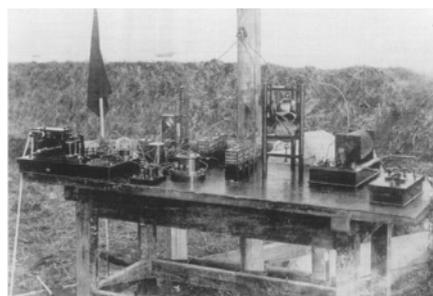


写真3.3 月島と第五台場間の無線実験装置¹



写真3.5 火花放電間隙
(逓信総合博物館所蔵)



写真3.4 松代技師¹

この無線機の送信機は誘導コイルによって相対する2個の金属球間の火花間隙に放電させて電波を発射する火花式（写真3.5）で受信はコヒーラ検波器を使用したものであった。

研究の対象はいかにして通信距離を伸ばすかであり、主力は検波器に注がれた。その結果、鳥潟右一は「タンタラム検波器」「鉱石検波器」を開発した。

日本海軍も無線電信の重要性に着目し、1900年に研究を開始した。通信省から松代技師を、仙台第二高校から木村駿吉教授を招聘して、34式無線電信機を開発、到達距離80海里の目標を達成した。さらに1903年にはコヒーラ受信機のニッケル粉に水銀を混ぜて細かく練りつぶして性能を改良し到達距離200海里まで伸ばした36式無線電信機を完成させ17艦へ設置された。

1) 日露戦争で移動体通信が活躍、世界初の無線電信を実用化、日本の無線は欧米諸国に劣らず

海軍は1904年、全艦船に36式無線電信機を装備させた。これが日本海海戦を勝利に導く原動力となった。1905年5月27日早晩4時45分、ロシアのバルチック艦隊が対馬海峡を通過して日本海に入るところを日本海軍の哨戒艇「信濃丸」が発見、モールス通信で「タタタモ 456 YR セ」という暗号つまり「敵艦隊見ゆ、456地点、信濃丸」と打電（日本の無線通信第1号）し、同日6時5分には旗艦「三笠」が鎮海港を出港した。日本海軍は日本海戦でバルチック艦隊を打ち破り、日露戦争に勝利した。正に無線通信の威力である。世界で一番初めに無線電信を実用化したのは日本海軍であった。

ロシア海軍も最新式の無線電信機を装備していた艦があったが、ほとんど使用されなかった。バルチック艦隊の旗艦「スワロフ」には何故か使えない旧式の無線電信機しか装備されていなかった。この無線電信機の活躍は日露戦争後に国民の多くが知ることになった。

その後送信距離を1200kmに伸ばして、1908年、通信省は日本初の銚子無線電信局を開設して船舶との公衆無線電報の取り扱いを開始した。日本で最初にこの公衆無線電信機を装備した東洋汽船の豪華客船天洋丸が処女航海に出航した際に、完成したばかりの銚子局と、また日本郵船の丹後丸との間で公衆電信サービスが行われた。陸上の無線局として大瀬崎、潮岬、角島、落石の各無線局が完成し、一方欧米航路の客船、貨物船の約70隻に設置されて船舶の安全航行にも大きな役割を果たした。

無線電信の重要性が認識されたので、最初から欧米の技術を輸入した有線電信電話とは技術の展開が異なり日本の無線技術は欧米諸国に劣らず、時にはしのぐものさえあった。しかし当時の無線通信機器は大きく

高価で、操作も難しかったため、船舶用や緊急用・軍事用に限られていた。

2) 横須賀の三笠記念艦「三笠」に保存^{10,11,21}

日露戦争で使用された36式無線電信機が横須賀の三笠記念艦「三笠」に保存されている（写真3.6、図3.1）。



写真3.6 36式無線電信機（記念艦三笠に保存）¹¹

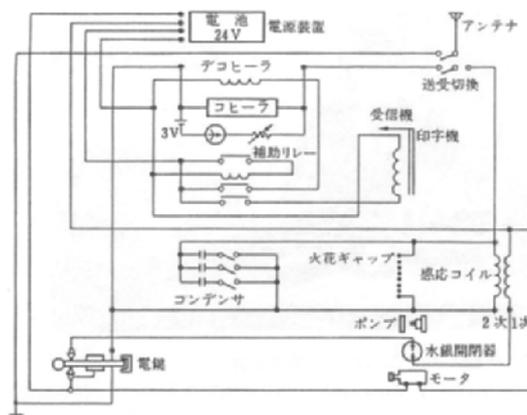


図3.1 36式無線電信機の配線図^{9,17}

レプリカであるが復元は実験に従事していた木村駿吉教授の下の横須賀海工廠造兵部の元工手の山田寿二氏が記憶をもとに図面を作成し、それぞれの部品を特別に作らせるなど、非常な苦勞と私費を投じて完成し、「三笠」保存会に寄付した。

1961年に艦全体の復元記念が行われ、「三笠」は新しい姿に蘇って現在に至っている（写真3.7）。



写真3.7 記念艦三笠の外観

直流を電源とする火花式で、インダクションコイルから、アンテナ波長変更線（送受切替）、送信蓄電器に放電させる方式である。受信はコヒーラ・デコヒーラを用いた印字式、使用波長は、アンテナを架設するマスト長から約600m（500KHz）、送信電力は約600Wであった。「コヒーラ受信機」はガラス管の中にアルミやニッケルの小片を入れておく。このガラス管の両端は通常は直流に対して高抵抗を示しているが、近くで電気火花を放電させると管の中の粉末は互いに密着して導電性となるので、これによって電波が到来したことを知ることが出来る。

1907年頃、軽く叩いて粒子をバラバラにしてやらないと、次の電波が受信出来ないで機械的に叩く「デコヒーラ受信機」が開発された（写真3.8）。



写真3.8 デコヒーラ受信機（通信総合博物館所蔵）

(7) 自主技術の確立、携帯電話の祖先：TYK式無線電話の発明（1912年）^{9,10,12,13,14,15,16,17,18,19}

無線技術を世界中で競っていた時代、我が国でも国際的な成果が生まれた。

1906年、ベルリンで開催された第一回国際無線電信会議に出席した逓信省電気試験所の所長浅野応輔は、プールゼン（Poulsen）の電弧発信機を見学し、持続電波が無線電話の実用化に有力であることを知った。帰国後、所員へ「プールゼンの電弧発信機」のような持続電波の研究を促した（写真3.9）。



写真3.9 国際無線電信会議の出席者（所長、前左）。

1911年鳥潟右一は、レベル式無線電信機が従来の火花式の送信機に比較して持続電波に近いと考え研究を開始した。

1912年、北村政治郎はレベルギャップの電気容量を研究中に、特殊な結線方法を用いると無線電話に適した振動電流が発生することを発見したが、放電間隔が微小なため、放電で両電極がショートしてしまった。そこで、鉱石のような検波作用、すなわち整流作用をする導体を電極に使用することを思いつき実験すると、両電極間のアークが出なくなり、電極間のショートがなくなった。性能と製作の簡便さから電極の材料は陰極をアルミ、陽極を真鍮とする組み合わせが用いられた。長時間規則正しい火花を発生させるため、電磁式自動調整装置で解決した。電磁石によって作動する金属棒に電極の一方を取り付け、火花が断たれた場合は電極の間隔を狭め、反対に過大な電流が流れると適度な距離に離すシステムを考案した（写真3.10）。

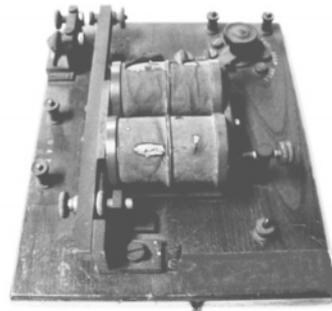


写真3.10 TYK式無線機放電ギャップの自動調整装置（安中電機製作所、通信総合博物館所蔵）

その後鳥潟右一、横山英太郎、北村政治郎は協力して無線電話の研究開発を推進、ついに1912年（明治45年）に発明者の3人の頭文字をとって「TYK式」と名づけた無線電話装置を完成し特許出願した。1.5km離れた芝の逓信官吏練習所で通話試験を行い良い結果を得、ついで海底線布設船「沖縄丸」（高さ24mアンテナ）と通話試験を行い約45kmの実用化に目途をつけた。送信電力は約100Wであった（写真3.11）。

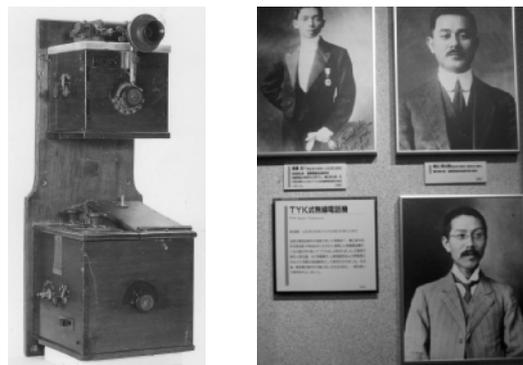


写真3.11 TYK式無線電話と鳥潟右一・横山英太郎・北村政治郎の発明（通信総合博物館所蔵）

当時、大阪、神戸、門司、長崎などの港では、沖合に停泊している大型船と船会社の事務所との間で利用された。しかし有線電話と異なり双方から同時に話せない、呼出装置（ベル）がない、受話音は十分でなく、船中の巻上機の騒音に妨害されると通話困難等で船舶ではあまり使用されなかった。

一方1914年（大正3年）には、離島間及び離島本土間の通信として三重県・鳥羽―答志島、神島間での電話業務に利用され、世界初の公衆無線電話の実用化として脚光をあびた。名古屋から四日市に入港する船は、伊勢湾の入口にある神島灯台を通過するので、神島灯台のTYK無線電話で通過時刻を鳥羽灯台へ通報し、鳥羽ではこれを普通電報として名古屋あるいは四日市の荷主や船主へ通知した。答志島は鳥羽と神島の間位置していたので相互連絡用としても使用された（写真3.12、図3.2）。



写真3.12 志摩無線局内のTYK式無線電話（通信総合博物館所蔵）

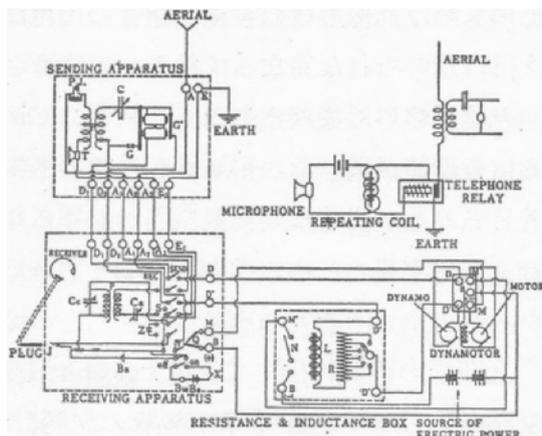


図3.2 TYK式無線電話回路図^{17,9}

放電ギャップを電磁式自動調整装置と鉱石受信を組み合わせた無線電話で、安中電機製作所（アンリツの前身）で製造され1台300円（当時の白米10kgで2円）、電源のダイナモは明電舎製で1台200円だった。「TYK式」無線電話装置の現物は、通信総合博物館に保存されている。

海外からも独創的な製品としてその名が知られた。マルコーニ社からはデモンストレーションの申し込みもあった。サンフランシスコの展示会へ出展、ニューヨーク市立大学での公開実験を行っている。その後1917年から真空管式に改良され20カイリから30カイリの長距離通話に成功したが、逓信省は予算面での制約があるため実用化を見送った。

(8) 瞬減式火花無線電信機

1913（大正2）年逓信省の「左伯美津留」技師は瞬減火花無線電信機を製作し長距離通信の実用化を進めた（写真3.13）。

*瞬減火花放電間隙：電極間にアーク放電を生じさせることにより、電波を発生させる。火花間隙として近くに相対する平行面放電間隙を数個直列に結び、面と面の間に雲母板をはさみ、電力を調整できるようにした方式である（写真3.14）。1897（明治30）年頃から同調式と呼ばれる結合回路を使用する方式がとられるようになってきた。蓄電器とコイルと一緒に組み合わせて使用された（写真3.15）。



写真3.13 パネル型瞬減火花送信機（通信総合博物館所蔵）¹⁵

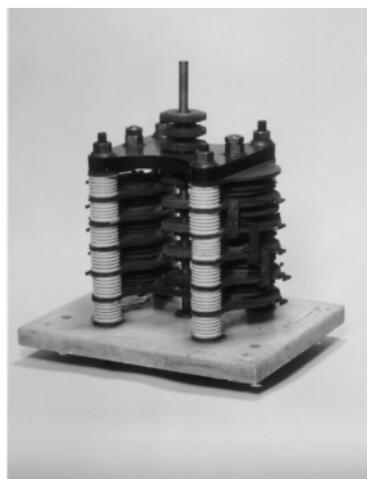


写真3.14 瞬減火花放電間隙（通信総合博物館所蔵）



写真3.15 蓄電器（電気通信大学所蔵）

(9) 同時送受話無線電話の開発^{9,13}

電気試験所が本格的に真空管の研究を開始したのは1915（大正5）年で、TYK式無線機で解決できなかった同時送受話の問題が解決された。空中線回路に二個の固有周波数を有する送信と受信の同調回路を設けた方式であった。1917（大正7）年鳥羽、神島間の無線電話を同時送受話方式に改修するとともに、灯台監視船羅洲丸の神戸から横浜への帰路を利用して通話試験が行われ、最大50kmで非常に好成績であった。我が国で世界に先がけて同時送受話が発明されたのは素晴らしいことである。

(10) 真空管の国産化⁹

日本の真空管の研究に関しては、1919年安藤博の「多極真空管の特許」が、ドイツのショットキー（W. Schottky）より早く出され業界で有名になった。東芝は1917年、受信真空管の国産化に成功した。その性能検査結果が八木秀次（東北大）から電気学会誌に発表され、大物教授が関与した画期的な出来事であった。

(11) 八木・宇田アンテナの発見（1925年）²⁰

八木秀次・宇田新太郎（東北大）による「指向性アンテナ」がある。素子の配列によって指向性の変化することを発見した。

八木・宇田アンテナが発明されたのは1925（大正14）年、東北大学工学部長の八木秀次が40歳の時のことである。ある日、八木研究室では、発信や受信のアンテナの前に波長の半分より少し短い長さの導体を置くと、その方向に指向性を増す、いわゆる「導波現象」を確認した。この現象に着目した八木は、さまざまな条件下で実験を重ね、超短波の送受信方法を理論的に解明した。その理論に基づく「指向性アンテナ」の特許を申請し、これを『電気学会雑誌』に発表した。その3年後、八木は、ニューヨークで開かれたIRE（アメリカ

無線技術者協会）の総会で指向性アンテナの研究を発表した。日本の学界では信じられないような高い評価を受けた。そのときの八木の講演録は同（1928）年6月号の「IRE会誌」に掲載され、世界の電気通信学者に、やがて夢の超短波の時代がやって来ることを強く印象づけたのだった。

第二次世界大戦へと突き進むこの頃、先進各国では八木の指向性アンテナの原理を応用し、着々とレーダーの開発を急いでいた。ところが、日本政府はその重要性をまったく理解できず、太平洋戦争に突入した後も、「敵を前にして電波を出すなど、闇夜に提灯を灯して自分の位置を敵に教えるようなものだ。真珠湾攻撃以来、奇襲戦を本領とする我が日本軍には必要ない」とまるで相手にしようとしなかった。さらに1941（昭和16）年、八木は指向性アンテナの特許期限の延長を申請したが、「重要な発明とは認め難いので、特許を無効とする」との通知が届く。

シンガポールでニューマン・ノートが発見されたのはその翌年のことである。遅ればせながらレーダーの重要性を痛感した軍の幹部は、すぐさまノートをもとにレーダーの開発に着手、しかし時すでに遅かった。ノート発見の4カ月後、ミッドウェー海戦で山本五十六率いる日本連合艦隊が敗北を遂げ、戦局不利は決定的となったのだ。その時、日本の空母4隻を沈めた米軍爆撃機ドーントレスに、八木アンテナが搭載されていたことが分かるのは、終戦後のことであった。

3.2 移動通信の離陸（1930-1947年）⁹

1930年代は移動通信の基盤である周波数変調の技術に飛躍的な発展が見られ、以降の開発の原動力となった。1936年、アームストロングがFM波の広帯域利得を実証する論文を発表し、1940年、米国で最初にFM無線を警察無線で実用化した。日本でもFM技術の開発に着手した頃に第二次世界大戦となり、直ちに戦時研究のテーマとなったが、成果の上からぬうちに終戦となった。

(1) Rカット振動子の発見

1930年代は移動通信の基盤である周波数変調の技術に飛躍的な発展をした。1933年古賀逸策（東工大）は水晶の呈する電歪現象が極めて安定であることに着目し、ある角度で裁断した水晶片の温度係数が零の「Rカット振動子（古賀カット）」を発見し、高安定の発信回路を形成することを示し、全世界を驚かせた。

氏の名はIsakuであり、物理学の祖であるIsac

Newtonと酷似していたので英国では第二のNewtonが現れたと評された。

(2) 大著「周波数変調」が発行される(1946年)

戦時下にFM技術の集大成を意図した八木秀次監修の前田・林の「周波数変調」の本は質・量ともに世界に誇る大著であって、多くの開発者の努力の集積であり、高度成長期の電子技術に貢献した。

(3) 日本のFM事はじめ

米国では1946年に150MHz帯の手動交換の自動車電話サービスが開始された。英国では1947年にタクシー無線が実用化された。

日本では警察がパトカー用無線の実用化が進められた。

参考資料

- 1 斎藤正男監修：「身近な電波の科学」、(社)電波産業会、
- 2 「マルコーニ」、電気通信大学HP, 序章・第1節
- 3 「イタリアの科学者とテクノロジーの世界」、国立科学博物館HP
- 4 「無線通信の基礎を築いたマルコーニ」、ダイヤモンド社 技術情報編集部HP
- 5 辻井重男：「科学技術の研究開発と歴史の役割」、電子情報通信学会誌 Vol.82 No.11 pp.1092-1097、1999年11月
- 6 信太克規：「先見の人・志田林三郎の生涯」、ニューメディア、1993
- 7 若井登, 高橋雄造(編)：「てれこむ, 夜明ヶー黎明期の本邦電気通信史」、電気通信振興会、1994
- 8 若井登監修：「無線百話」、(株)クリエイト・クルーズ
- 9 中山元泰：「移動通信の歴史」、(株)近代文芸社 1997.2.20第1版
- 10 福島雄一：「にっぽん無線信史」、2002年、朱鳥社
- 11 記念艦みかさ(財団法人三笠保存会)
<http://www.kinenkan-mikasa.or.jp/>
- 12 「日本の技術100年」、5通信 放送 筑摩書房 1987.9.25 第1版
- 13 「日本無線史」、第3巻第5節(P28-33) TKY式無線電話,6節(P33-34) 同時送受話無線電話
- 14 「安立100年のあゆみ」、社史編集委員会 昭13.6
- 15 「創立30年史」：安立電気株式会社・社史編集委員会編、1964
- 16 前田・林：「移動体通信のはなし」、日刊工業新聞社、昭和63.5.30第1版
- 17 徳丸 仁：「電波技術への招待」、(株)講談社 昭和53.3.20第1版
- 18 「TYK式無線電話回路図」、電気試験所研究報告、第二部第十一号、1913
- 19 松代：「日本最初の無線装置」、電気学会雑誌 第120号、1998
- 20 「八木アンテナ」、毎日コミュニケーションズHP
- 21 中村治彦：「日本海海戦」、太平洋学会誌、p87-110,May 2005, No.94, Vol28.No.1

4 | 第一世代のアナログ化の揺籃期から実用期(1948~1992年)

移動通信が本格化したのは第二次世界大戦後のことであり、我が国の復興期に際して、戦時研究の成果は徐々に経済・社会に浸透して行った。1949年の警察無線、その後船舶無線、列車無線、タクシー無線、ポケットベル、自動車電話・携帯電話、コードレス電話、航空機電話等のサービスが実現した。

4.1 揺籃期

(1) トランジスタの発明(1948年)

1948年、米国ベル研究所のブラッテン(Brattain)およびバーディン(Bardenn)が点接合トランジスタをショックレイ(Shockley)が接合型トランジスタを発表し、後年ノーベル賞を受けた。真空管の発明以来の画期的な出来事であった。1958年ジャック・キルビー(Jack St. Clair Kilby)はテキサス・インスツルメンツ社勤務時代に、半導体回路を一つのチップ上に形成するというアイデアの集積回路(キルビー特許)を発明した。

(2) 警察無線通信(1949年)^{1,2}

戦前、戦後も警察の無線設備は微々たるものであったが、1946年超短波移動無線協議会(委員長: 抜山平一)が設立され、内務省、通信省、学識経験者、製造会社をメンバーとして検討を重ねFM移動無線を導入する方針が決まった。同協議会は日本電気の試作品を用いて実験を開始した。次いで日本無線、東洋通信機の試作品にて通信試験をした。

官民合同の研究会が何度も開かれ、米軍より貸与された1台のサンプルとマニュアルを前に技術格差を痛感させられたが、このことは後の移動通信技術の飛躍の原動力になった。また各社がライバルの立場を一時忘れてレベルの向上に努めた先導役でもあった。

その結果に基づき警察は「FM無線機基本要案」を作成し、製造会社に提示、競争試作を行うことになった。合格したのは日立、日本電気、日本無線、松下電器、東芝、国際電気、三菱電機、早川電機、沖電気、東京無線、神戸工業(現富士通)、八欧無線(現富士通ゼネラル)、安立電気であった。各社とも1回目は不合格となり、追試においてやっと合格したという状況であった。この試作の試験は厳しく、数十項目の規格の1項目でも満足しなければ不合格とした。技術者は今まで経験のなかった苦勞と機器の開発に挑戦をした。警察は常に高い目標をかけた最初のPR-1からコン

クールをし、日本の移動通信技術の先導役となってきた。メーカーはこの開発コンクールが近づくと職場に泊り込み昼夜を問わず設計に打ち込んだ。

1949年、パトカー用に開発された、PR-1超短波無線機は国産初めての30MHz帯、FM方式を警察だけに許可されたもので陸上移動通信の本格的な幕開けとなった。

当時警察の設計基本要要求は、周波数範囲: 29~44MHz、水晶制御FM方式、送信出力移動機が25W、基地局50Wの両用で移動局用の場合は1個の電子管を取る、2重スーパーヘテロダイン式、周波数安定度: -20~50°Cで0.01%以内、電源は移動用が6Vの蓄電池で動く発電機を自蔵、基地局用は商用AC、プレストーク操作、自動中継・遠隔制御で使用できることと盛り沢山の規格であった。

1950(昭和25)年には東京、大阪、福岡、山口などに導入され、合計局数は基地局50、移動局50が実用された(写真4.1)。



写真4.1 警察無線機(PR-1)(警察庁所蔵)

この警察移動無線システムは素材、機器、測定器に至る全てを国産化することに成功した。ここで確立したFM移動無線機の技術は、その後各方面に普及して行った。

米国に遅れること約10年でFM技術は開花した。その後周波数も150MHz帯、400MHz帯採用の車載機、携帯機へ、使用部品も真空管のGT管からMT管、さらにトランジスタへと発展した。1958(昭和33)年、胸ポケットへ入れられる指示・命令・その他の情報を警察官へ伝える受令機が登場し、有用性が大きく警察活動のあらゆる部署において使われている(写真4.2)。



写真4.2 受令機と携帯無線機³

警察の使用要領には、「秘密の通信は有線電話を使用すること」と書いてあった。1980年代には秘話に優れたデジタル無線が他に先駆けて導入された。

4.2 移動通信の離陸

日本の移動通信の商用サービス第1号は、1953年横浜港から出港した船からだった。イギリスのエリザベス女王の戴冠式にご出席になる皇太子殿下（現在の天皇）のニュースが我が国最初の「湾港船舶電話サービス」を使って伝えられ、翌日の新聞の第1面を飾った。日本の移動通信の初期は船舶通信とともにあったと言える。

(1) 船舶電話サービス^{4,6}

1) 湾港電話（1953年）

150MHz帯を使用した湾港船舶電話は、1951年11月、当時の電気通信省が実験通話を神戸で行なった。このときは、神戸港に停泊中の日本郵船「舞子丸」に船舶用無線電話機を設置し、神戸・湊川電話局の臨時基地用無線装置を通じて、神戸・大阪の固定電話との間でテスト通話を行ない成功した。その後、実用実験を繰り返し、1952年に日本船舶通信株式会社（現在のドコモ・センツウ株式会社）が設立され、1953年3月末に京浜地区および阪神地区の港湾内で、商用サービスが開始された（写真4.3）。



写真4.3 1960年頃の船舶電話機（HT-4.5号送受信機）⁴

2) 内航船舶電話（1964年、湾岸約50kmのサービス）

1964年、150MHz帯を使用した手動交換内航船舶電話が横浜、神戸で開始された。電話の接続は交換手が行う。陸上の電話加入者が船舶電話を呼び出す場合、その船舶が在圏しているような海域を担当する交換台に申し込む。混信を防ぐため電波をA、Bの2群に分け、隣接する基地局ごとにA、B、A、Bと繰り返し利用する2ゾーン方式を採用していたが、電波の伝わり具合によっては1つ先のエリアから同じ周波数の電波が飛んでくる混信があり、通話品質が劣化する場合があった。また、通話している途中で船舶が隣のゾーンに移ったときの追跡切り替えは行っていないので、そのときには再度、電話をかけ直さなければならなかった。

当初150MHz帯の50kHz間隔、32チャンネルで発足したが、移動機はそのうちの8波から波を選べるように作られ、自船がいるエリアで利用可能な周波数に切り替えて通信を行った（写真4.4）。



写真4.4 内航船舶無線電話機NS-1（1964年）（NTT所蔵）

その後、電話の設置を希望する船が増えたため、25kHz間隔でチャンネル数を2倍にした。同時に移動機側も16波切り替えに改善された。

その後1979年には日本沿岸全域に拡大するため250MHz帯を用いた自動交換内航船舶電話がサービスされた。初めて盗聴防止のため反転秘話が導入された。基地局も約112局に増やされ、また電波を3群に分けて繰り返し利用する3ゾーン方式を採用したことにより、2ゾーン方式の頃にあった電波干渉がなくなって品質が大きく改善された。

1980年に小型電話機、1981年にコイン電話機、1988年にカード型電話機（写真4.5）がサービスされた。

移動無線機特性：
周波数：250MHz帯（送信と受信別）
無線チャンネル：24
送信出力：10W
周波数安定度： $\pm 6 \times 10^{-6}$
最大周波数偏移： ± 5 kHz
受信入力感度：6dB μ V（20dBQSLレベル）
制御信号：音声帯域内トーン
電源：DC22V/12V，AC100V
重量：無線機部15.5kg、大きさ465×295×153mm
温度：-10～50℃



写真4.5 船舶カード型電話機（NTTドコモ提供）

1988年、利用者の増大のため自動車電話の技術を導入して、小型・軽量化・経済化や周波数効率の向上を図った。この新内航船舶電話は自動車・航空電話と共用化された。自動車電話の無線基地局（MBS）、無線回線制御（MCS）、交換局（AMS）が共用された。移動機は可搬型の新船舶電話機がサービスされた（図4.1、写真4.6）。



写真4.6 可搬型の新船舶電話機（JRC所蔵）

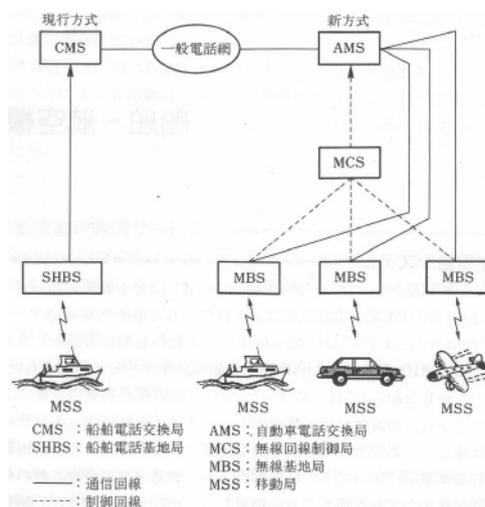


図4.1 船舶・自動車・航空の共用化の構成⁵

システムコストの低減、移動機コストの低減・小型化、システム容量の増大（約1.4倍）等の向上を実現した。携帯電話の普及で湾岸でも利用できるようになったのと、衛星通信のデジタル方式の「ワイドスターのサービス」が1995年に開始され、日本沿岸約200海里（約370km）にいる船と陸上、また船どうしが連絡できるようになったので、このアナログ方式船舶電話サービスは終了（1998年）した。

(2) 列車電話サービス⁷

列車での電話サービスは1957年、近畿日本鉄道が大坂一名古屋間を走る特急「ビスタカー」で始めたのが最初であった。全長173kmに基地局数は5と少なかったが、200kHz帯の誘導無線方式で、チャンネル数は1であった。列車の高速化と携帯電話の普及で現在廃止されている。

日本国有鉄道（現在のJR）も1960年から東海道本線の特急「こだま」「つばめ」に400MHz帯の列車電話サービスを導入、1965年に東海道新幹線が開通すると新幹線で電話サービス（400MHz無線式）を開始した。東京—大阪間516kmは、27のサービスエリアを小ゾーン化（1基地局20km程度）し、延べ65kmのトンネルに36のブースタ局を設置している。

1982年に東北・上越新幹線の電話サービス（漏洩同軸式）を開始した。1989年に東海道新幹線も漏洩同軸式に変更された。沿線の都市化に伴う伝搬路障害などの理由から漏洩同軸ケーブルのスリットからの一定値の漏洩波による通信で安定な品質が得られるようになった。

1986年の電波法の改正で自動車以外でも自動車電話が使えるようになり、在来線や私鉄は高速バスと同様に自動車電話が利用されている。

2002年にデータ通信を利用した用途に対応するため、デジタル方式に更新された。アナログ通信に比較して高速データ回線を活用して格段に機能アップが図られた。高速走行する列車と地上局間で安定した回線品質を実現するため、適応等価器と最大比合成ダイバーシチが導入された。5.6kHzの音声コーデック（CELP方式）にて周波数の利用効率の向上で音声とデータ伝送の増加が図られた。

(3) 都市災害対策用可搬型無線電話⁸

自動車電話システムの研究は、1955年頃から始まり、1961年に400MHz帯を利用する手動交換接続が開発され、1967年には自動交換接続方式の自動車電話システムが開発された。この400MHz帯システムは、無線チャンネルの確保が難しいなどの理由で商用化には至らなかった（写真4.7、図4.2）。



写真4.7 都市災害対策用可搬型無線電話端末機（左：無線部、右：整流電源部）（NTT所蔵）

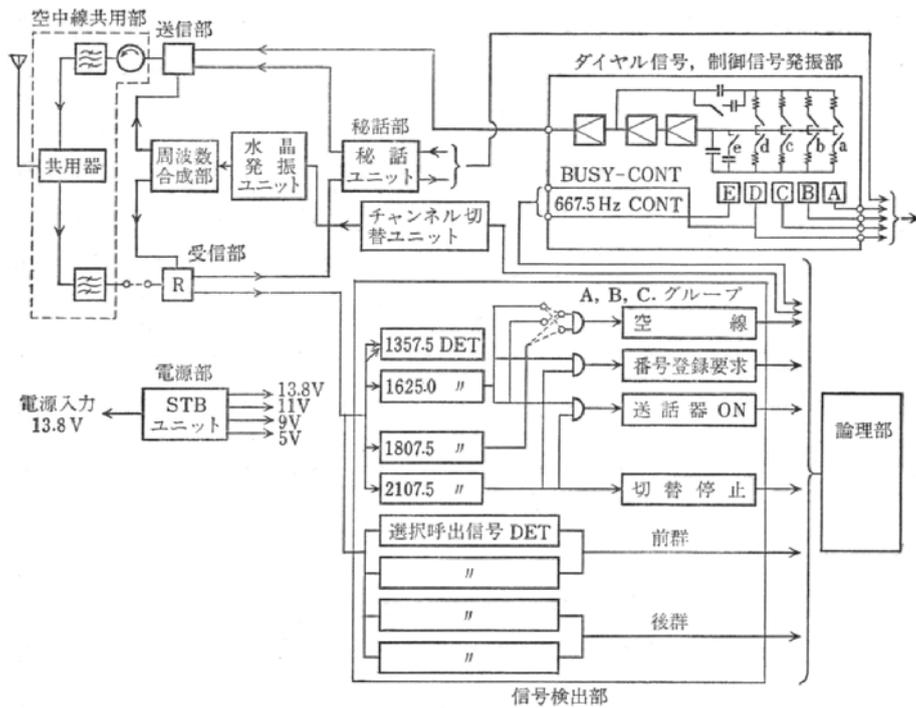


図4.2 災害応急復旧用無線電話無線機部系統図*

1968（昭和43）年に起きた十勝沖地震の経験から、地上の公衆電気通信網が全滅に近い状態に陥った事態における最終の通信手段として同方式が全国主要都市に導入された。

主要特性：
 周波数：400MHz帯（送信と受信別）
 無線チャンネル：32
 送信出力：5W
 周波数安定度：±5×10⁻⁶
 最大周波数偏移：±5kHz
 受信入力感度：6dBμV
 制御信号：音声帯域内トーン（6波）
 電源：DC13.8V, AC100V
 重量：無線機部11kg, 電源部19kg

1974（昭和49）年から各省庁、地方自治体などに配備され（半径約20kmの中ゾーン構成）、一時は2,300台の電話機が災害に備えて待機したが、幸い、これが大活躍するような災害に遭遇することはなかった。

(4) 無線呼出（ポケットベル）サービス^{4,9,10,11,12}

1958年、米国のベルシステム社がオハイオ州コロンバスで、「ベルボーイ」という名称（一般名の「ページャ」）で35MHz帯のサービスを世界で最初に開始した。信号方式はトーン方式でスタートした。

電話を使って相手のページャの番号をかけることで、相手のページャで着信音を鳴らしたり、振動させたり、簡単な文字メッセージを送ることができるサービスである。

1963年、大井電気が国内で初めて誘導無線方式の構内用個別呼出装置を開発した。搬送波周波数は100kHzまたは200kHzの1周波数で、最大呼出者数90加入を実現した。

日本最初の公衆サービスは1968年に150MHz帯のトーン方式で、電電公社が東京23区で開始した。「ポケットベル」は電電公社の商標だが、ページャを意味する一般名詞として定着した。受信機の体積は140cc、重量が160g、電池は充電式であった（写真4.8）。



写真4.8 我が国初のポケットベルB型（1968年）
 （写真右はポケットベル充電機）⁴

サービス開始とともに契約数は予想を上回る勢いで伸びていった。150MHz帯の周波数帯が満杯になったため、1974年から新しい周波数帯（280MHz帯）を併用、1978年には世界に先駆けてデジタル方式が導入された。

通信自由化により1987年、九州ネットワーク・システムズ等が開始し、1990年の宮崎テレメッセージまで36社が参入し1地域2社による競争時代に入った。

三つの表示方式が開発された。1987年の連絡先電話

番号を数字で表示できる方式、1994年のカナ文字を表示できる方式、1996年の漢字表示の多機能化方式が実現した。

1995年3月の端末買い取り制度の導入とともに、急速な普及が始まり低価格化が進んだ。特に女子高生のコミュニケーションツールとして爆発的に普及し、注目を集めた。日本で広く一般に普及した初めての携帯通信機器である。今日の携帯電話でメールを入力するのと同様に、公衆電話ボックスの中で猛烈なスピードでメッセージを送る女子学生の姿が見られた。

その後、Motorola社によって提唱された高速伝送(6,400bps)するシステムFLEX方式を用いて、NTTドコモが提案した時間ダイバシティを融合させた国内向け「FLEX-TD (Time Diversity)」方式が1995年に策定された。1996年に東京テレメッセージ系列が「FX-TD」、NTTドコモ系列が「インフォネクスト」の名称でサービスを開始した。それまでは東京テレメッセージ系のPOCSAG (英国のPost Office Code Standardization Advisory Group) 方式とNTTドコモ系のNTT方式 (ともに伝送速度は1,200bps) がサービスされていたが、以降はFLEX-TD方式 (1,600~6,400bps) が主に提供された。情報の一斉配信サービスとして一般ニュース、スポーツニュース、株価情報、星占いなどのサービスが行われた。

技術的には、トーン方式で始まり、デジタル化にて伝送速度の高速化 (200/400bps、512bpsから1,200bps、1,600bps、3,200bps、6,400bps)、ページャ端末の小型・軽量化、低消費電力化、低電圧化 (DC1V乾電池1個) で動作するLSI、表面実装、バッテリーセービング (間欠受信)、高感度化 (アンテナ実装方法)、直接変換受信回路 (IF回路なしで信号を直接取り出す)、液晶表示方法等が実用化され、これらの技術が自動車・携帯電話へ応用されている。

デジタル符号の採用により間欠受信が実現し、受信機の消費電力が画期的に削減された。すなわち受信機を15のグループに分け、自分のグループに割り当てられた1/15の時間だけ受信機能を働かせる。これで、立ち上がり、立ち下りのための時間を含めて、約1/10の時間だけ動作させることになった。またデジタル化によってリードフィルタが不要になり、さらにLSI (大規模集積回路) が使用できるので受信機が小型化された。1978年に開始されたデジタルポケベルの受信機は65cc、75gであった (図4.3、4.4)。

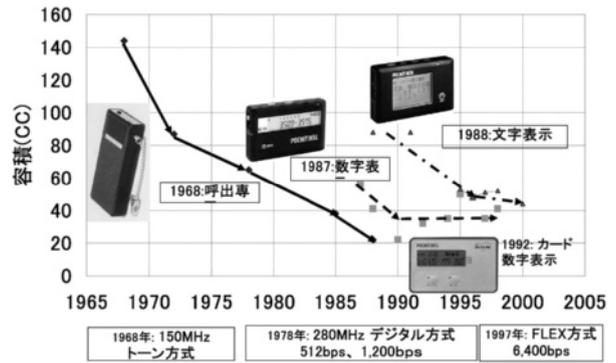


図4.3 ポケットベルの小型化と技術推移

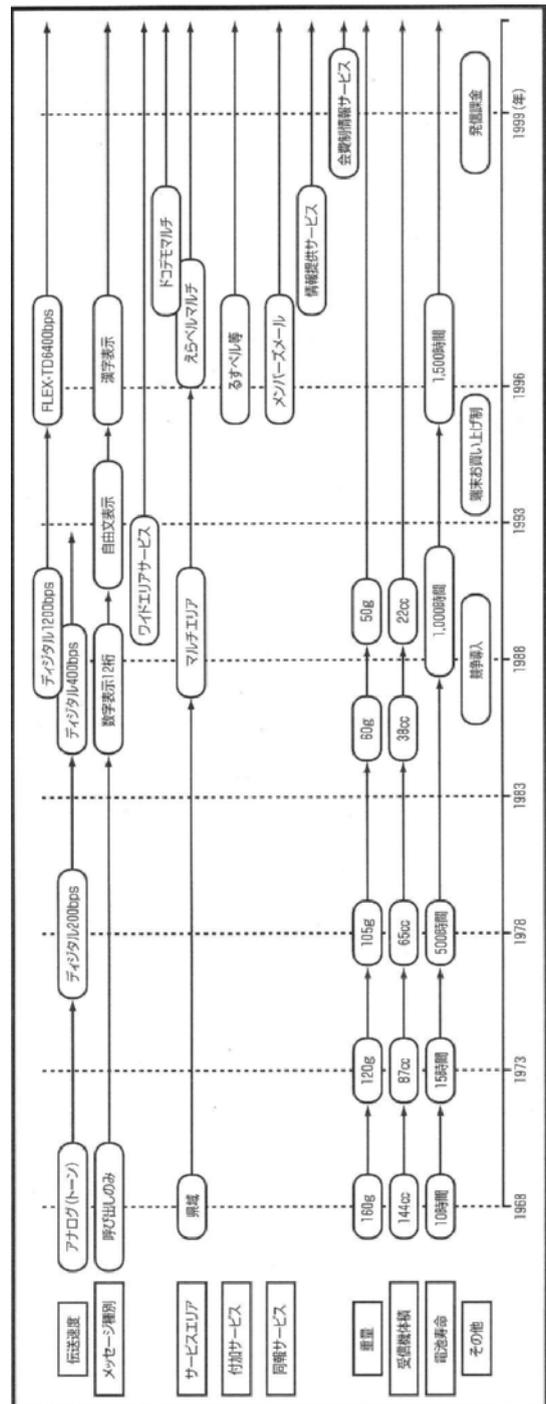


図4.4 無線呼出サービス・受信機性能の推移。

当初はトーン方式では充電式で電池寿命が15時間程度であったが、デジタル方式では充電式電池の代わりに単3型乾電池が使用された。電池1個で3ヶ月使用できる。この電池はどこでも一般に購入でき、充電する手間もなくなって便利だと利用者に好評であった。板状の高感度ループアンテナが開発され、カード・ペンシル型、ペンダント型（パルフィーム）、腕時計型（プレシヤス）等の超小型端末が誕生した（写真4.9）。



写真4.9 超小型ページャ（ペンダント型・腕時計型）
（NTTドコモ提供）

腕時計型は直接変換受信回路や制御回路の高集積化技術と高密度実装技術の導入にて実現された。超小型薄型のためチップ部品やICペアチップを直接基板へ実装するCOB（Chip On Board）工法を採用、さらに湾曲した空間への部品実装に対応するためにFPC（Flexible Printed Circuit board）が随所に使用された。最盛期の1996年6月末には、約1,077万件の加入者があった。しかし、1996～97年から携帯電話やPHSの急速な普及・低価格化が始まり、わずか数年で携帯通信機器に主役の座を追われることとなった。

1999年5月、東京テレメッセージは会社更生法の適用を申請した。以後、各地に設立された新規参入事業者がドミノ倒しのように、2001年までに首都圏1都3県および沖縄本島を除き事業を停止した。

※「東京テレメッセージ」は、日本テレコム主体で「東京ウェブリンク」に改称して再建した後、2001年に株式会社鷺山が買収して「マジックメール」に再改称した。

NTTドコモは2004年6月30日で新規受付を終了、「ポケットベル」サービスが始まって約30年にしてその歴史に幕を閉じることとなった⁹⁾。

しかしながら、無線呼出は、強力な電波到達力、高速伝送、特定多数への同報性、低廉性などの特徴を有しており、災害時の一斉同報や職員への一斉通知などでの用途が残されている。

(5) 大阪万博携帯電話の実験^{4,8)}

1970年（昭和45年）に大阪・千里丘陵で開かれた日本万国博覧会（EXPO'70）へ電電公社から10年前から研究を進めてきた携帯電話が出展された。小型軽量化を図るため、20数個のハイブリットICを使用し、ダイヤルも小型の押しボタンダイヤルを用い、受話器は呼び出しのサウンドと併用した。電池は6.25V、容量225mAのニッカドを使用し、連続待受時間は約10時間の低消費電力化を実現した。これらの技術が携帯電話やコードレス電話へ応用されている。赤と白の2台で、重量は550g。現在の携帯電話のおよそ8倍もあったが、実際に会場内で試験的に使用され、画期的な電話機として大勢の入館者が透明のガラスのブースから全国の知人に電話をして大好評であった（写真4.10）。



写真4.10 大阪万国博覧会の携帯電話（NTT所蔵）

方式構成は、携帯電話機は無線1チャンネルだけ持ち、1台ずつ異なる送受2波の無線周波数が割り当てられ、これに対応して基地局の送受信機が同数設置されている。全体の回線構成は携帯電話機、基地局無線装置、クロスバー交換機で構成された、初期段階のシステムであった（図4.5）。

システム概要：
 基地局送信：150MHz帯及び400MHz帯（微弱電波）
 携帯局送信：250MHz帯（微弱電波）
 無線チャンネル数：120
 チャンネル周波数間隔：25kHz
 変調方式：PM（最大5kHz）
 交換方式：自動接続（クロスバー交換機）
 ダイヤル信号：押しボタンダイヤルの多周波方式
 アンテナ：基地局：ブラウン、移動局：ホイップ

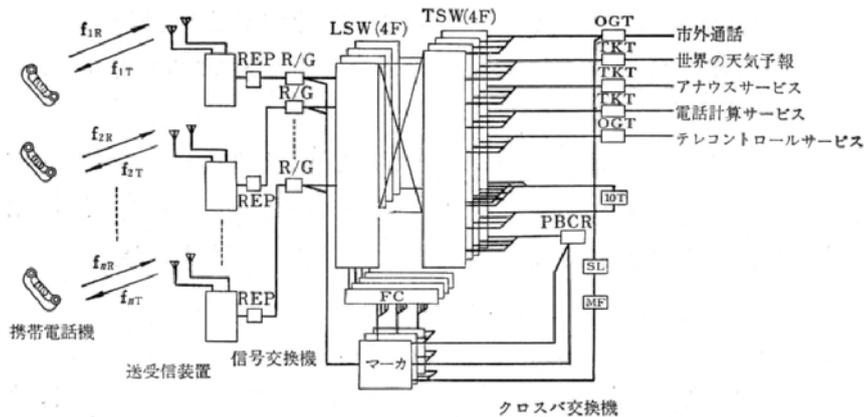


図4.5 大阪万国博携帯電話構成図⁸

4.3 自動車電話サービス^{4,12,13,14}

自動車電話サービスは、「自動車大国」の米国が先行していた。1946年、セントルイス市内で150MHz帯の6チャンネルを用いて、「MTS」という手動交換接続のプレトーク方式による簡易システムが導入された。これが世界最初の自動車電話サービスだった。その後1964年にダイヤル自動交換機の自動チャンネル切替えを採用したサービスエリアの半径30~40kmの「大ゾーン方式」のIMTS (Improved Mobile Telephone Service) が導入された。米国の900MHz帯の「小ゾーン方式」のセルラー電話は、AT&TのAMPS (Advanced Mobile Phone Service) 方式が1977 (昭和52) 年にシカゴで、モトローラのDinaTAC方式が1978 (昭和53) 年にワシントンで、それぞれ市場テストを開始した。しかし移動機に関する仕様の統一に時間がかかり、商用サービスの開始が1983 (昭和58) 年になったため、日本が世界で最初にセルラー電話サービスを1979 (昭和54年) 年に開始するという栄誉を得た。

ヨーロッパでは、北欧4か国 (スウェーデン、デンマーク、ノルウェー、フィンランド) で、1981年から450MHz帯のNMT-450、1986年から900MHz帯のNMT-900のサービスがそれぞれ開始され、イギリスでは1985

年からセル方式のサービスがスタートした (図4.6)。

1970年に電電公社電気通信研究所は、全国規模の自動車電話サービスを提供するために、800MHz帯を利用するセル方式システムの開発に着手した。セル方式とは、サービスエリアを「セル」と呼ばれる多数の小さなエリアに分割し、同じ周波数の電波が互いに干渉しない程度の距離をとって、複数のセルで繰り返し利用する「小ゾーン方式」であり、限られた周波数帯を有効に活用できる。

(1) 自動車電話 (TZ801)

商用化が実現したのが、1979年12月である。このときの1ヶ月の基本料金が3万円、通話料金は3分280円 (320km以上の遠方からかけると720円) であった。公衆電話から電話すると6.5秒ごとに10円玉が落ちていく (当時は100円硬貨が使える公衆電話は数が少なく、テレホンカードも存在しなかった) から、手にいっぱい硬貨を用意しないと自動車への電話はかけられなかった。容積約7,000cc (約320×230×90mm)、重量は無線機本体7kgで筐体の上部に無線部 (電磁妨害対策のため金属シャーシでカバーしたモジュール、フィルタ、挿入部品等で構成)、下部に制御部 (多数のチップ IC) が実装されていた。

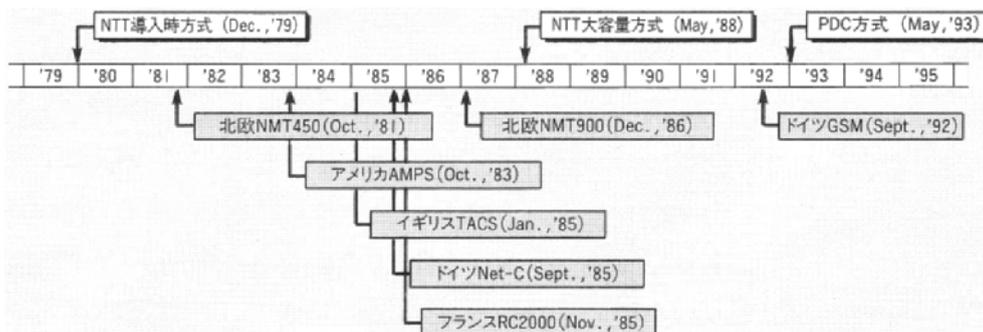


図4.6 世界のセルラ自動車・携帯電話の導入時期¹⁵

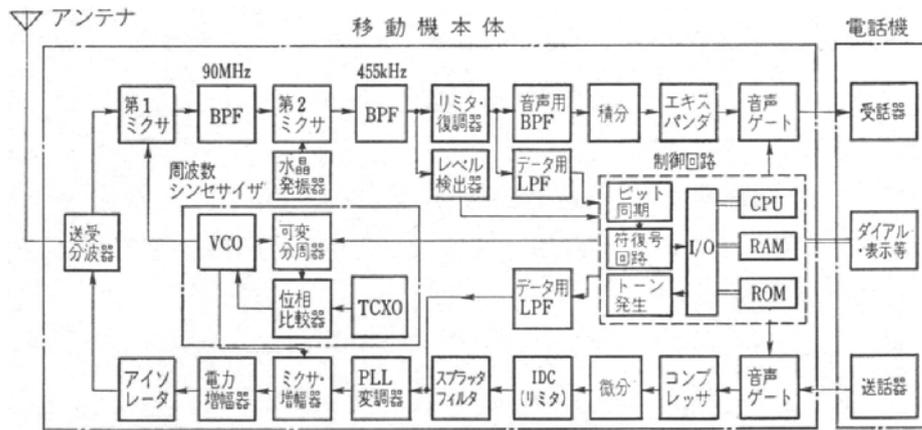


図4.7 移動無線機の基本構成¹³

主要規格

周波数：800MHz帯（送信と受信別）
 無線チャンネル：600チャンネル切り替え
 チャンネル間隔：25kHz
 送信出力：5W、送信時電流：3.6A
 周波数安定度： $\pm 2.5 \times 10^{-6}$
 最大周波数偏移： $\pm 4.5\text{kHz}$
 受信入力感度：0dB μV 、待受け時電流：0.9A
 VCO:通倍方式、周波数150MHz \times 6通倍
 電源・温度：DC13.8V、 $-20\sim 60^\circ\text{C}$
 重量：7kg（電話機、アンテナを含め約10kg）
 大きさ：7,000cc（約320 \times 230 \times 90mm）
 温度範囲： $-10\sim 50^\circ\text{C}$ （規格満足、 $-20\sim 60^\circ\text{C}$ （動作）
 湿度範囲：95%
 振動条件：加振周波数10～100Hz、0.5Gの振動で特性の変化
 ないこと、2Gの振動後で特性の劣化がないこと
 接続方式：発着信自動接続

中のチャンネル切り替え、位置登録等がマイクロプロセッサで自動的に制御できる。ブロック図に示すように局部発振回路は周波数シンセサイザで構成され、マルチチャンネルアクセスが可能になっている（図4.7）。

2) 主要部の概要

*電力増幅部：シリコンバイポーラのトランジスタ3段で構成され、アルミナセラミック基板に分布定数回路で構成された。

*制御部：600チャンネル移動機は過激な移動伝播でも安定・確実に誤り制御、フェージング対応、干渉妨害対応等の高度な制御技術が要求される。その基本機能は1) 各制御フローの実行、2) 無線基地局との信号の授受、3) 無線部本体の制御、4) 電話機の制御である。

8ビットCPU（Central Processing Unit）、多数のRAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）、IC、LSIそしてトランジスタで構成されている。

*周波数シンセサイザ部：振動で周波数が変調されFM性雑音が発生するため何度も実験が行われ耐振に強いシンセサイザを実現した。その結果、回路構成が簡単で、不要な周波数（スプリアス）の発生が少ない150MHz帯で発振するVCO（Voltage-Controlled Oscillators:電圧制御発振器）を通倍して800MHz帯にする方式を採用した。VCOは、2Gの振動に耐えるように、セラミック基板に蒸着した薄膜スパイラルコイルを使用した（図4.8）。

1) 移動機の基本構成

自動車電話移動機は、移動機本体、電話機、アンテナ（ルーフトップ型）で構成されている（写真4.11）。



写真4.11 自動車無線機本体・電話機・アンテナ（NTTドコモ歴史展示館所蔵）

移動機の構成は送信部、電力増幅部、受信部、シンセサイザ部、送受分配器および制御部にブロック化して振動および衝撃を考慮したアルミダイキャストの筐体へプラグイン構造となっている。

音声はアナログ変調（PM変調）、制御信号はデジタル変調（PSK変調）で伝送する双方向通信で、800MHz帯を用い600チャンネルにアクセスでき、通話

コイルインダクタンス値：
 $L = 0.12 \mu\text{H}$
 高周波損失：
 $Q \geq 300$
 中心周波数：
 140MHz

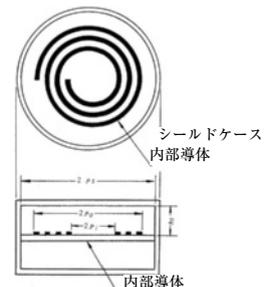


図4.8 VCO セラミック基板に蒸着した薄膜スパイラルコイル¹⁴

*水晶発振器：広い温度範囲、厳しい振動・衝撃に強い温度補償形水晶発振器（TCXO、周波数安定度1ppm）が開発された（写真4.12）。

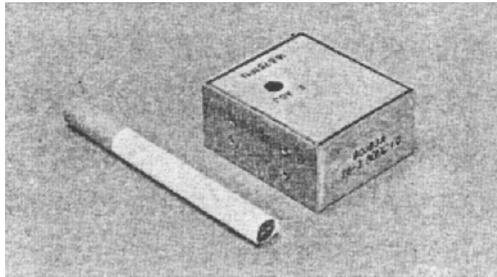


写真4.12 TCXOの外観図¹⁴

1982年に体積1,500cc（従来比1/4）、重量2.4kg（従来比1/3）、消費電力（待受け時）従来比1/2、部品点数従来比1/4に低減された車載機（TZ-802）が実現した（図4.9、表4.1）¹⁵。

表4.1 移動機回路構成の変遷¹⁶

名称	試作1	試作2	試作3	TZ-801	TZ-802
試作年度	1971	1973	1975	1978	1980
体積(リットル)	130(パネル形)	26(2筐体)	7.4	6.6	1.5
チャンネル数	320	320	600	600	1,000
電子部品数	1.7	1.3	1.25	1	0.25
新技術	*12MHz帯シンセサイザ *シンセサイザ用分周器のみIC、他は個別部品	*800MHz帯電力増幅器	*150MHz帯シンセサイザ *IFヘースバンド段ハイブリッドIC *マイクロプロセッサ使用で制御部3パネル構成	*800MHzハイブリッドIC電力増幅器 *20MHzVCO-PLL変調器 *LSI使用で制御部1パネル構成	*800MHz帯シンセサイザ *145MHzSAW-PLL変調器 *シンセサイザLSI化 *800MHz帯回路のハイブリッド化

主要開発技術は

- *800MHz直接発振シンセサイザ（1,000チャンネル）
- *145MHz SAW-PLL（Phase Locked Loop）変調器
- *小型送受信分波器：高誘電率材料を用いた
- *制御信号のデジタル化によるソフトウェア処理化
- *IC化 LSI化

1988年には体積1,000cc、重量1.3kg、消費電力（待受け時、0.7W）に低減された車載・シオルダ型兼用機（TZ-803A）が実現した。

3) 自動車電話機の実装例

1979年、日本初の電電公社のTZ801¹⁴（写真4.13、4.14）

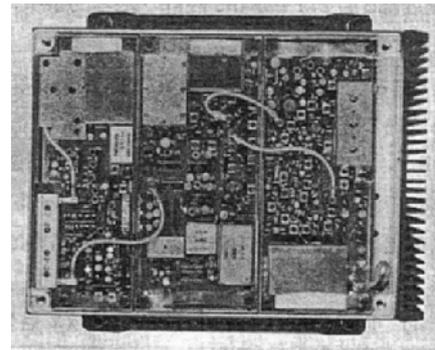


写真4.13 無線部外観
（左より受信部、シンセサイザ部、送信部）¹⁴

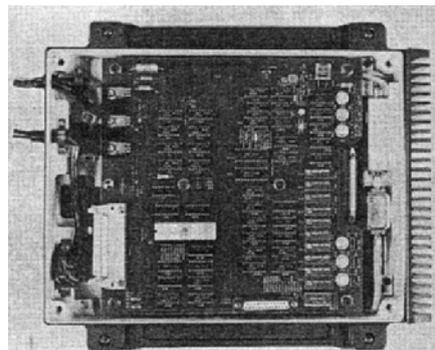


写真4.14 制御部外観¹⁴

(2) 移動機に自社製の通信工業用半導体を使用¹²

当時は半導体を通信機器に導入し始めたばかりの段階であり、その信頼性についての評価を、「認定品」、「通信工業用」、「民生用」の3種類に分類し、電気通信機器には信頼度も高いが価格も高い「認定品」を使用することと定められていた。ところが新参メーカーは「認定品」を持っていなかったため、自社の「通信工業用」が「認定品」と同等以上の信頼性を有すると申し出た。電電公社研究所で評価を行った結果、移動機に限り自社製の「通信工業用」半導体を使用しても良いこととなり、実用化が推進された。

(3) 自動車電話サービス会社の設立¹²

自動車電話サービスが開始されるのに先立ち、自動車電話の端末機に関するサービスを一元的に扱う会社

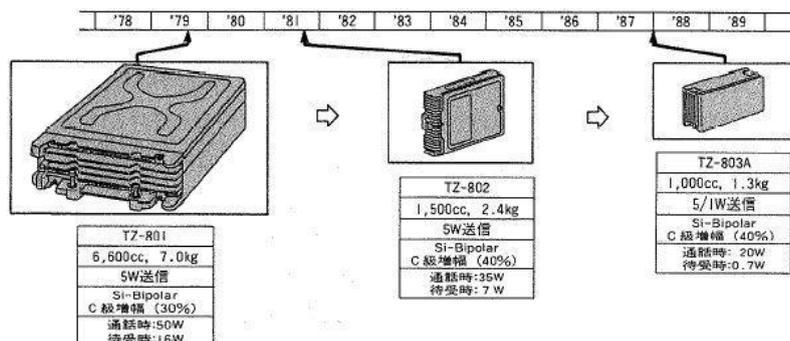


図4.9 車載機の実装例¹⁵

として「日本自動車電話サービス（株）（JMPS）」が1979年9月に設立された。また同様に、大阪には「新自動車電話サービス（株）（SMPS）」が1980年に設立された。

シートをはずし、マットをはがして車に穴をあけ、電源線、通信線などを配線し、そして外見上の変化がないように元へ戻すというのはかなり厄介な仕事である。国産乗用車だけでも50以上の車種があり、これに外車があり、貨物車、バス、特殊車を加えれば、その種類はもっと増える。同車種でも型式が違えばボディに差があり、グレードが違えばシート、装備品も変わってくる。穴をあける場所によっては車の強度にもかかり、保証期間に影響する場合もあり得る。

日本人は車を特に大事にする国民である。作業にかかる前にボディを念入りに点検した。外国では電話を付けに行くと、「いきなり屋根の上からゴリゴリと穴をあけ」アンテナを取り付けるとのことであるが、わが国ではとても真似ができなかったとのことである。その後携帯電話の誕生により、車のなかでも携帯電話をそのまま使うようになり、自動車電話は姿を消した。

(4) ショルダーホン型の携帯電話⁴

自動車電話の主要ユーザーはVIPであることが多かったが、こうした客から「車から離れたところでも使える電話が欲しい」という声が多数寄せられた。この要望に応えるために、ショルダーホンが開発された（1985年9月発売）。車から取外しができ、車外でも通話が可能なので、携帯電話の一種の源流であった。体積が2,300cc、重量は3kgもあり、さらに自動車電話の基地局設置の特性から利用できるエリアは主要道路沿いなどに限定されていた。充電式の電池を使用し、1回の充電で送信時間40分、待受時間約8時間であった（写真4.15）。



主要規格
周波数：800MHz帯
無線チャンネル：600
チャンネル間隔：25kHz
送信出力：5W、送信時間：40分、待受時間：8時間、
VCO：周波数150MHz×6通倍、
電源：NiCd単2×6=7.2V、
体積：2,300cc、重量：3kg

写真4.15 ショルダーホン（100型）⁴

(5) 携帯電話

わが国初の携帯電話サービスは日本電信電話（以下、NTT）が1987年4月に開始した。このときは、体積

500cc、重量750gの端末が発売された（写真4.16）。



主要規格
周波数：800MHz帯
無線チャンネル：600
チャンネル間隔：25kHz
送信出力：1W、送信時間：60分、待受時間：6時間
VCO：800MHz直接発振
電源：NiCd単3×6=7.2V、
700mA

写真4.16 日本初の携帯機（1987年TZ802）⁴

(6) 大容量方式の導入（1988年）¹⁷

加入者数の増大に対応するため1988年大容量システムが導入された。無線チャンネルの狭帯域化のため周波数間隔が従来の1/4の6.25kHzの採用である。

車載機・携帯電話に導入された新技術は
*ダイバーシチ受信回路：携帯機に2本のアンテナと2系統の受信回路が必要である。

*6.25kHz間隔の周波数シンセサイザー（2,000CH）

*2,400bits高速制御信号伝送

*間欠受信動作、*音声スクランブル秘話

などであり、世界一周波数有効利用の優れたシステムである。端末の小型・軽量化が進められ、1989年2月に体積400cc、重量640gの「携帯電話（TZ-803B）」が開発された（写真4.17）。



写真4.17 「携帯電話（TZ-803B）」（上）
「マイクロタック」（モトローラ）（下）¹⁴

4.4 超小型携帯電話機の開発⁴

(1) モトローラ社の超薄型・軽量の端末の出現

1989年4月、米国のモトローラ社がNTTを上回る体積211cc、重量303gの超薄型・軽量の端末「マイクロタック」を開発した。ポケットにも入るサイズであり、これは当時としては画期的な大きさであった（写真4.17）。

NTTは「携帯電話がつながらない」というトラブルがないように、大容量方式のネットワークインフラ系を十分に整備したうえで、超小型のものを世にだす予定だった。1989年7月、研究開発陣を挙げての超小

型端末の開発プロジェクトがスタートした。目標は、「1991年9月頃を目途に、体積100~150ccの新機種を商用化する」というものであった。それは従来機種の約4分の1のサイズであり、ハードルは高かった。

NTTは超小型機の開発を、日本電気、松下通信工業、三菱電機、富士通の4社に依頼した。従来は同一機種を複数のメーカーが製造していたが、そのやり方を変え、機能・性能などの基本設計はNTTで進めるが、外観デザインや回路などの詳細設計については、可能な限り各メーカーに自由にまかされることになった。

また、それまではプロジェクトに参加したメーカーから製品を均等に買う方式をとっていたが、各社の製品の売行き次第で発注量を決めることになった。メーカーも売れなければ死活に係わる問題であるから、必死に開発・製造に取り組んだ。4社それぞれデザインに工夫を凝らしたが、このとき日本電気一社のみが「折り畳みタイプ」を採用した。現在世界中の携帯電話の多くが折り畳みタイプであるが、このデザインを世界で最初に考案した先見性は素晴らしい。

(2) 超小型機の開発の設計コンセプト

次のような設計コンセプトと実現結果である(表4.2)。

表4.2 超小型機の開発の設計コンセプトと実現結果

設計コンセプト
1) 多彩な外観デザインで機種を選べる
2) 世界最小・最軽量である
3) 実用的な使用時間である
4) 機能・サービス性を充実させる
次のことが実現
1) 高級感を損なわない4機種 (通話しやすい折りたたみ型と持ち運びしやすい一体型)
2) 体積150cc、重量230g
3) 連続通話45分、待受時間8時間
4) 着信音選択、電子電話帳機能など

(3) 小型化技術の開発

1) 150cc化の製造技術

この超小型機の開発は、製造技術の総結集であり、短期間に量産体制にまでもっていったという点が画期的であった。回路、部品、電池、アンテナなど、すべての構成要素が徹底的に見直された(表4.3)。

表4.3 150cc化の製造技術¹⁵

機種	400cc携帯機 (TZ-2機用)	150cc携帯機 (TZ-4機用)
部品点数	約900 (実装部品: 約70%)	約450 (実装部品: 約88%)
最大部品径	8.5mm	4.5mm
抵抗・コンデンサ	1608チップ部品 (搭載技術: 87年半)	1005チップ部品 (搭載技術: 90年次)
LSIリードピッチ	最小0.6mm (搭載技術: 87年半)	最小0.5mm (搭載技術: 90年次)
自動組込率	約70%	約90%
実装不良チェック	目視による	拡大鏡による
無線部	回路実装形式: マザーボード型モノリシック回路方式 基板枚数: 片面実装 マザーボード2層基板 1枚	平面展開方式 片面実装 4層基板 1枚
制御部	回路実装形式: 平面展開方式 基板枚数: 片面実装 4層基板 1枚	平面展開方式 片面実装 4層基板 1枚
表示操作部	2層フレキシブル基板: 2枚、片面実装	2層フレキシブル基板: 1枚、片面実装
生産規模	2,000台/月	10,000台/月

2) 小型化技術

*部品点数の削減：全部品の高さを4mm以下にする、部品を基板の表面にのみつける (TZ-803Bは両面) などといった血のにじむような努力を重ね、部品数を約400にまで減らす (TZ-803Bは約900) ことに成功した(図4.10)。

*0.5mmピッチLSIと小形チップ部品の適用：ピン間隔0.5mmのSSOP (Super Small Outline Package) パッケージを利用したLSIと1005チップ部品 (サイズ1mm×0.5mmの抵抗、コンデンサ) を多用して配線スペースを大幅に低減した。

*RFフィルター一体形内蔵アンテナ：ダイバーシチ受信用の受信専用アンテナとして従来の板状逆Fアンテナ・エレメントと地板間の空間に受信用RFフィルタを埋め込む一体形構成で従来に比して1/5と小型化した。

*MMIC化電力増幅器：GaAs基板を用いて高効率なマイクロ波モノリシックIC (MMIC) 化電力増幅器を

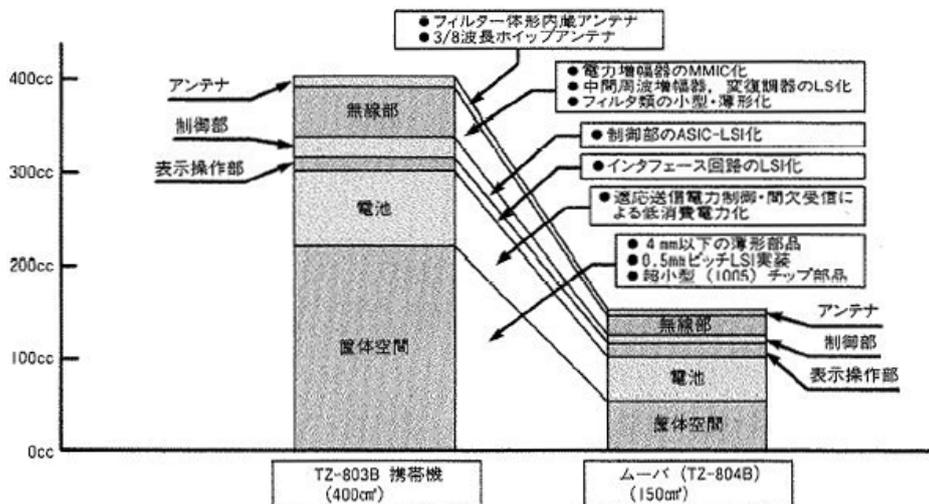


図4.10 150ccにするための主要技術¹⁵

実現し、従来比約1/3を実現した。

*中間周波回路・変復調回路のLSI化：低消費電力LSIを適用し各部のLSI化、無線部回路の大きさを従来比約1/2を実現した。

*フィルタ類の小型化：高誘電率セラミックの適用した送受分波共用器、積層セラミックLCチップフィルタ、SAWフィルタの小型化により従来比でそれぞれ約1/3、1/10、1/20を実現した。

*制御部のLSI化：Z80-CPU,A/D変換器、シリアル・パラレル変換回路、ビット同期回路、メモリ回路の一部をASIC (Application Specific Integrated Circuit) 化で従来比約1/3を実現した。

*800MHz帯直接発振周波数シンセサイザ：1,000波の電波を送受信しなければならない。これだけの数の水晶発振子を実装するのでは大変である。そこで、周波数シンセサイザという技術が実用化された。これは分周、混合、逡倍、および位相ロックループ (PLL) という技術を組み合わせ、1個の水晶発振子を基準にして25~6.25kHz間隔の周波数のうちの1つを自由に作り出すものである。この技術を用いることにより、最小2個の水晶発振子から送受信の電波が作れるようになり、移動機のコストと容積の削減が図れた (図4.11)。

図4.11 周波数シンセサイザ

第1世代 1979	第2世代 1981	第3世代 1988	第4世代 1991
周波数変換 逡倍方式	直接可変 分周方式	直接可変 分周方式	直接可変 分周方式
*150MHz帯 VCO	*800MHz帯 VCO	*800MHz帯 VCO	*800MHz帯 VCO
*6逡倍	*2モジュラス プリスケラ	*2モジュラス プリスケラ	2モジュラス プリスケラ
*TTL可変分周	*CMOS可変 分周	*CMOS可変 分周	*高速立ち 上げ(10msec)
*2ppm TXCO	*2ppm TXCO	*1.5ppm VC-TCXO	*CMOSリセット 付可変分周
*25kHz間隔 600CH	*25kHz間隔 1000CH	*REFRESH- AFC(0.4ppm) *6.25kHz間隔 4,000CH	*1.5ppm VC-TCXO *REFRESH- AFC(0.4ppm) *6.25kHz間隔 4,000CH

3) MOVA-Nの例¹⁹

*多層配線基板技術：MOVA-Nの例を紹介する。制御部と無線部に大別され、無線部はさらに送受信部と表示部に分割される。折畳み構造のため制御部と無線部は2枚のフレキシブル基板で接続されている。

制御部は厚さ0.8mm、6層基板から成り、配線を効率良く配置するためブラインドバイアホールを採用し、0.5mmピッチのIC、チップ抵抗・コンデンサの高密度実装を実現した (写真4.18)。

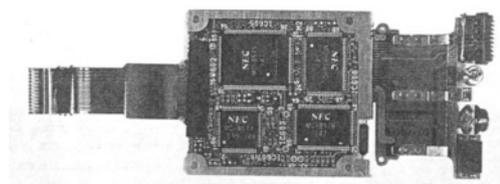


写真4.18 MOVA-Nの制御部¹⁹

無線部は厚さ0.8mm、5層基板から成り、貫通バイアホール、スルーホール上に部品ランドを設けるランド内ブラインドバイアホールを採用して実装効率を向上させた (図4.12、写真4.19)。

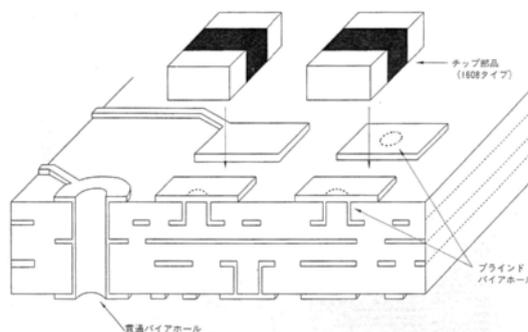


図4.12 多層基板のブラインドバイアホール構造¹⁹

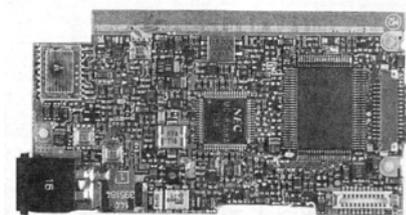


写真4.19 MOVA-Nの無線部¹⁹

(4) 位置検出と通話中チャンネル切り替えで苦勞¹²

開発で苦勞した1つは位置検出と通話中チャンネル切り替えであるという。自動車移動するに従って、今まで電波を送受信していた基地局から遠くなり、電波も弱くなる。それとともに、新しい基地局に近付き、そちらの電波が強くなる。そこで、適当な時点で、送受信電波を今までの基地局から新しい基地局に切り替えなければいけない。これを通話中チャンネル切り替え (ハンドオーバー) という。基地局からの電波の強さを移動機側で比較した方がシステム構成は簡単になるが、移動機のコストが高くなるので、基地局側でその機能を果たすようにした。具体的な手順は次のようである。

- 1) 基地局において移動機からの電波の入力レベルを常に監視し、ある値以下になると周辺の基地局に対し、その電波の受信レベルを測定するよう依頼する。
- 2) 今までの基地局における受信レベルと周辺基地局における受信レベルとを比較し、ある数値以上に高いレベルで受信できる周辺基地局が存在することが分か

ると、その局に割り当てられている無線チャンネルに切り替えるよう制御チャンネルで移動機に指示をする。

3) 移動機が指示された無線チャンネルに送受信電波の周波数を切り替えると、そのことを交換機に伝え、新しい無線チャンネルで通話ができるよう回線を設定する。

(5) 超小型携帯機 (MOVA) の完成^{18,12}

1990年11月末、試作機が完成した。体積150cc、重量230gという世界最小・最軽量の携帯電話「TZ-804」である。NTTは新製品を発表し、「世界最小、大きさの点では限界ではないかと思う」と自信をのぞかせた。新型機は「ムーバ」と名づけられ、1991年4月1日から発売された(写真4.20、表4.4)。



写真4.20 「ムーバ (mova)」 外観 (F,D,N,P)⁴

表4.4 超小形携帯機 (MOVA) の緒元¹⁸

項目	超小型携帯機 (Mova)	従来の携帯機 (TZ-803B)
体積	150cc	400cc
重量	230g	640g
連続送信時間	45分	75分
連続待受時間	8~12時間	25時間
周波数帯	800MHz帯	
チャンネル間隔	6.25kHz	
周波数安定度	0.4ppm	
最大送信電力	0.6W	1W
送信電力制御	4dBステップ5段階	
ダイバーシチ	検波後選択合成方式	
干渉検出	包絡線ビート検出	
アンテナ	送受信: 収納形ホイップアンテナ 受信専用: 板状逆F内臓アンテナ	

「ムーバ (mova)」とは「movable」(移動できる)から名づけられた名称である。パンフレットには待ち受け時間が「8時間」と書いてあるのに、それより早く電池が無くなるという苦情が利用者から寄せられた。実は、この時間はNTT研究所において静止状態で測定した値であった。使用者が携帯電話を持ち歩いたとき、エリアが変わるごとに携帯電話から基地局に位置登録をする。その電波を送信する分が電池の持ち時間の勘定に入っていなかった。「使用状態によりこの値は異なります」と断りの一言が書かれていなかった。しかし待ち受け時間が数100時間になった今では信じられないような話である。

4.5 陸上移動通信における電波伝搬特性の研究¹²

移動通信の分野においては奥村善久博士や森田和夫博士の名前が有名である。陸上移動通信における電波伝搬特性は、移動局のアンテナ高が低いので地形(山や丘などの地表の起伏)や地物(地表にある家屋、ビル、樹木などの遮蔽物)の影響を受け、伝搬状況が複雑に変化する。そのため、単純・理想化した条件での理論的解析とあわせ、実際の状況下における実験的解析を積み上げて行く必要がある。

1962(昭和37)年から3年間にわたり伝搬実験が行なわれた。周波数(MHz)は450、900、1400、1900の四波とし、数100mの近距離から100kmの遠距離まで受信レベルのデータを積み重ねた。当時の測定器はもちろん真空管式であり、安定度が悪いので、30分おきにレベル校正を行うなどして精度の確保に苦労したとのことである。当時の道路状況は現在と比較にならないほど悪く、狭い測定車に閉じこもって半径100kmの範囲を走り回る苦労は並大抵ではなかったとのことである。得られたデータを、各種地形・地物条件の伝搬路における電界強度、サービスエリアの推定法などの関連図表にまとめ、研究所の「研究実用化報告」などに発表されたが、米国、北欧などの研究者から資料送付の依頼があったとのことである。

1969(昭和44)年にはCCIR(現在のITU-R)SG(研究委員会)Vの議長から報告の要請があり、グリーンブック(CCIRの公式文書集)に450MHz帯と900MHz帯の基準伝搬曲線が掲載された。この推定法は電電公社ならびにベル研究所で始めた900MHz帯自動車電話方式の設計にも使用され、また世界的にも「奥村カーブ」と称されて引用され、回線設計者には必須の曲線として使用されている。後に、秦正治博士が奥村カーブをさらに発展させ、方式設計者が実際に利用しやすい伝搬損失推定式を導出した。この式もCCIRの勧告として採択され、「奥村・秦式」と呼ばれて世界で広く用いられている。

4.6 NTTドコモとNCCの誕生⁴

日本電信電話公社は1985年(昭和60年)4月1日に民営化され、日本電信電話株式会社(NTT)が誕生した。国内通信は電電公社、国際通信は国際電信電話(KDD)の各1社体制だった我が国の電気通信事業が自由化され、新電電(NCC)各社が新たに電気通信事業に参入してきた。翌年には自動車電話、ポケットベ

ルなどの移動通信の分野でも、NCCが誕生した。

トヨタ自動車系の日本移動通信（IDO）が1988年12月から首都圏で、翌1989年12月から中部圏で「NTTの大容量自動車電話サービス」を開始した。また1989年7月から第二電電（DDI）系の関西セルラーが近畿圏で米国モトローラの開発した英国のTACS方式の自動車電話サービスをスタートさせ、セルラー系はその後サービスエリアを九州、中国、東北、北海道、北陸、四国へと拡大していった。こうして全国的に、IDOまたはセルラー系とNTTとの1地域2社の競争体制ができあがり、料金・サービスの競争が始まった（表4.5）。

表4.5 各事業者のセルラー電話システムの技術比較

方式	NTT方式		日本移動通信(IDO)			セルラ(DDI)	
	導入時	大容量	大容量	N-TACS	J-TACS	N-TACS	
周波数帯	800MHz	800MHz	800MHz	800MHz	800MHz	800MHz	
チャンネル間隔(インターリーブ)	25KHz	12.5KHz (6.25KHz)	12.5KHz (6.25KHz)	25KHz (12.5KHz)	50KHz (25KHz)	25KHz (12.5KHz)	
無線チャンネル数	600	1,200	800	800	400	800	
移動機送信出力	5W	1~5W	1~5W	1~5W	5W	1~5W	
ダイナミック受信	なし	あり	あり	なし	なし	なし	
最大周波数偏移	±5kHz	±2.5kHz	±2.5kHz	±5kHz	±9.5kHz	±5kHz	
サービス地域	全国		首都圏、中部圏		関西、九州、中国、東北、北海道、沖縄		
サービス時期	Dec-79	May-88	Dec-88	Oct-91	Jul-89	1991	

日本移動通信（IDO）の事業地域である関東・東海・甲信地区と、DDIセルラーの事業地域である関西などの地区で、システムの互換性がないため相互利用ができない事態となり、さらに、米国との貿易摩擦で米国包括通商法の電気通信MOSS協議の結果、1991年10月に、IDOも東京23区でTACS方式の導入を始め、1992年12月によりやく両グループのTACS方式のローミングが開始され、相互利用が可能になった。

NCCは、NTTより通話料は約10%、基本料は約20%安い料金設定を行ない、また代理店を活用する積極的な販売戦略を展開して、シェアを拡大していった。一方、ポケットベルサービスの分野でも、1987年以降NCCが続々誕生し、出資者である地元有力企業の強力な支援を得て、急速にシェアを拡大していった。

政府は、市場のさらなる活性化を促すために、NTTの移動通信事業部門を別会社として分離・独立させることを決定した。そして、「NTTドコモ」が1992年7月営業を開始した。日本での携帯電話の普及は主要国より遅れていた。NTTドコモはこの普及の遅れの原因を詳細に分析し、調査の結果、普及の遅れは3つの原因があることが判明した。それは、ドコモを含めた我が国の携帯電話は、

- (a) つながらないエリアが多く利便性が悪い、
- (b) 料金が高い、
- (c) 端末が重く電池も長持ちしない、ことであった。

ドコモは1992年（平成4年）夏から1993年にかけて、多額の設備投資を行ない、ネットワークの整備と拡大

に力を入れた。この積極投資による品質の改善、サービスの向上が、携帯電話の爆発的な普及につながった。

携帯電話の契約に必要な各種料金の高さも、大きなネックとなっていた。1992年（平成4年）当時、携帯電話を契約するためには、保証金10万円と新規加入料4万5,800円が必要であり、このほかに回線使用料（端末レンタル料を含んで、毎月1万6,000円）と通話料がかかった。保証金は2年後に返還されるとはいえ、初期費用だけで15万円以上もかかる。これは欧米の2~3倍という高さであった。

欧米の実情を調査してみると、通話料は日本とあまり変わらなかったが、「保証金なし」の国が多く、新規加入料もきわめて安く設定されていた。つまり、料金面での入口を低くし、入りやすい（契約しやすい）設定にして、まずユーザーに使ってもらう。NTTドコモは、入口のハードルを低くするため、その第一弾として、1993年10月1日に保証金（10万円）の廃止を実施した。

保証金廃止の効果は絶大なものであった。毎月の平均純増数は、それまでの1.3万から約5万へと急増した。それまでの携帯・自動車電話は、主として企業経営者、個人事業主、資産家などが利用し、「ステータスシンボル」的な面もあったが、ネットワークの充実によって使いやすくなったことや保証金の廃止などにより、この頃からユーザー層が拡大し、「ビジネスツール」として位置づけられるようになった。

4.7 新規事業者の携帯電話機

1988年12月、IDOは東京23区でNTTの大容量方式（アナログ）でスタートした。1988年の初期携帯電話機は670グラム（送信出力1W）（写真4.21）であった。



IDO ハンディフォン

写真4.21 1998年「ミニモ」携帯電話機（670グラム）（KDDI提供）

1990年、更に「マイクロタック」より小型の世界最小の「ミニモ」携帯電話機（298グラム、203cc、1W）（写真4.22）が発売された。



写真4.22 1990年「ミニモ」携帯電話機 (298グラム)
(KDDI提供)

1989年7月から第二電電 (DDI) 系の関西セルラーが近畿圏で英国方式のTACS方式の自動車電話サービスをスタートさせた。1989年「HP101」(Kyocera, 380g) 携帯電話機、世界で一番超薄型・軽量の「マイクロタック」[HP501] (Motorola, 305g、221cc、連続通話時間：30分、連続受信時間：8時間) 携帯電話機が発売された。

1991年10月、IDOは東京23区で英国方式のTACS方式 (トヨーキョーフォンとして) を開始した。「マイクロタックII」携帯電話機 (0.6W) (写真4.23) が発売された。



写真4.23 1992年マイクロタックII (IDO) (KDDI提供)

DDI系セルラー電話会社のラインアップを示す (写真4.24)。



写真4.24 DDI系セルラー電話会社のラインアップ²⁰

参考資料

- 1 中山元秦：「移动通信の歴史」、(株)近代文芸社 1997.2.20第1版
- 2 田村正勝：「移动通信半代記」、東京文献センター 2006.11.1発行
- 3 「警察の情報通信 (平成17年度版)」、警察庁情報通信局
- 4 「NTTドコモの10年史 (1992-2002)」、NTTドコモ10年史編集事務局
- 5 斎藤・立川：「移动通信ハンドブック」、オーム社、平成7.11.15
- 6 「日本電信電話公社25年史 (上)」、NTT社歴 (1977-1985) 年史編集事務局
- 7 藤岡・他：「東北・上越新幹線デジタル列車無線システム」、三菱電機技報、Vol78, No.2, 2004
- 8 山内・渡辺・高村：「移动通信方式」、科学新聞社、1981.3.1改訂版
- 9 「ポケットベル・サービス30年の歩み」、NTTドコモ、研究開発企画部、2001.3
- 10 工藤他：「腕時計形ポケットベル」、NEC技報、Vol.46, No.3, 1993
- 11 山尾：「高度無線呼出システムの標準化状況と技術展望」、電子情報通信学会誌、Vol79, No.3, 1996.3
- 12 桑原守二：電波新聞「移动通信100年」2005.1-3
- 13 奥村・進士：「移动通信の基礎」、電子情報通信学会、昭和61.10.1
- 14 木下他：「自動車電話方式用移動機」、佐々木・柳沢：「自動車電話用移動機の部品」、研究実用化報告、第26巻7号、1977
- 15 卜部・他：「移動機・携帯機の研究開発」、NTT DoCoMoテクニカル・ジャーナル、Vol.2, No.3 Oct.1994
- 16 関・他：「新形移動機」、研究実用化報告、第31巻1号、1982
- 17 結城・他：「大容量移动通信方式用移動機構成技術」研究実用化報告第35巻10号、1986
- 18 「超小形携帯機Mova」、NTT R & D Vol.40, No.7, 1991
- 19 古賀・田村：「超小型携帯電話機 (mova-N)」、表面実装技術、1992-6、日刊工業新聞社
- 20 「普及加速への切り札、端末売り切り制の課題」、NIKKEI COMMUNICATIONS, 92.7.20

5 | 第二世代のデジタル化の成長期（1993～2000年）

アナログ方式の加入者の収容能力が限界に達するため、デジタル化の標準化が進められデジタル携帯とインターネット接続サービスが導入された。1994年端末自由化により成長期時代になった。各国動向、技術の変遷、モバイルインターネットのサービス推移等を示す。

5.1 デジタル方式の標準化と各国動向^{1,4}

1987年デジタル自動車電話の欧州統一システム（GSM）の研究が始った。また米国でも1988年米国電気通信工業会（TIA）が検討を始めた。我が国でも1989年郵政省が調査研究会で、検討を始めた。

(1) 日本のデジタル方式の標準化

電波産業会（RCR、現ARIB）が1991年（平成3年）に制定した標準規格「PDC（Personal Digital Cellular）」は3チャンネルTDMA（Time Division Multiple Access: 時分割多元接続）である。日本・欧州・米国間との標準化を国際電気通信連合（ITU）の国際会議で審議されたが1本化はできなかった。結果として日・米・欧の3方式になった。

現在実用化されている日・米・欧のデジタル方式はTDMA方式とCDMA（Code Division Multiple Access: 符号分割多重接続）方式を採用している。日・米・欧のデジタル方式の比較を示す（表5.1）。

表5.1 日・米・欧のデジタル自動車・携帯電話方式の比較

項目	日本(PDC)	欧州(GSM)	北米(TDMA)	北米・日本(CDMA)
周波数帯	940-956MHz	890-915MHz	824-849MHz	824-849MHz
移動機送信	1,429-1,453MHz			
基地局送信	810-826MHz 1,477-1,501MHz	935-960MHz	869-894MHz	869-894MHz
送受信間隔	130/48MHz	45MHz	45MHz	45MHz
キャリア周波数	50kHz	400kHz	60kHz	1.25MHz
間隔	(25kHzインターリーブ)	(200kHzインターリーブ)	(30kHzインターリーブ)	
アクセス方式	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD	DS-SSMA/FDD
チャンネル数/キャリア	3(6)	8(16)	3(6)	
伝送速度	42kbps	270.833kbps	48.6kbps	1.2288Mbps
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	GMSK	$\pi/4$ シフトQPSK	チャフレート 下りQPSK 上りOQPSK
データ通信	2.4-9.6kbps	9.6kbps	8kbps	14.4kbps
パケット通信	28.8kbps	115.2kbps(GPRS)		64kbps
音声符号化	VSELP(11.2kbps) PSI-CELP(5.6kbps)	PRE-LTP(22.8kbps) VSELP(11.4kbps)	VSELP(13kbps)	EVRC 1.2-9.6kbps4段階
サービス時期	1993	1992	1993	1998日本 1997北米

世界初のデジタル携帯電話は欧州のGSMがドイツで1992年にサービスされ、現在140以上の国で導入されており、事実上の標準となっている。

米国はTDMA方式をTIA（Telecommunication Industry Association）が標準化し、1993年に導入された。その後cdmaOne方式も標準化され1997年に導入された。

(2) 800MHz帯のPDCデジタル方式のサービス

日本はNTTドコモが1993年3月25日から、我が国初のPDCデジタル方式の携帯・自動車電話サービス（800MHz）を首都圏で開始し世界に先駆けてデジタル携帯電話を使ったデータ通信サービス（2,400bps）を開始した。携帯電話による非音声通信サービスの始まりである。

その後、関東・甲信越でデジタル方式のサービスエリアが拡大され、東海・関西（1994年4月）、北海道・東北・中国・九州（同年10月）、北陸・四国（1995年1月）の主要都市でデジタル方式のサービスが開始された。これによりNTTドコモの地域会社すべてでデジタル方式のサービスが提供された（写真5.1）。



写真5.1 デジタルムーバライナップ（NTTドコモ）⁵

デジタル800MHzの基地局数も、サービス開始時（1993年3月）には250局であったが、1996年3月末には4,500局と急ピッチで増設された。この結果、デジタル800MHzサービスの全人口に対するカバー率は、1993年3月末には18%であったものが、2000年3月末100%を達成した。

日本移動通信（IDO）は、1994年6月にPDCデジタル方式の携帯・自動車電話サービス（800MHz）を首都圏で開始した。デジタル初の携帯機D301は約235g、52mm×156mm×30mm（電池パックS装着時）（写真5.2左）、1997年4月に高速データ通信対応の小型・軽量の502G携帯機は約97g、幅41mm×高さ130mm×奥行き24mm（電池パックS装着時）の9,600kbpsの高速データ通信を実現した（写真5.2右）。



写真5.2 左：IDO初のデジタル携帯機（D301：KDDI提供）
右：9.6kbps高速データ携帯機（502G）

(3) 新規事業者の参入 (1.5GHzデジタル方式)

首都圏での携帯電話加入者の増加に対応するため、NTTドコモが1994年4月から首都圏30kmエリアで1.5GHzのPDCデジタル方式のサービスを開始した。通話料や基本使用料が安いのが特徴だが、通信使用エリアが限定されている。シティホンという機種でサービスを行ったが、1.5GHz帯にはiモードで利用するパケット通信網が用意されていないため、料金の安さにも関わらず、800MHzに比べて契約件数が伸びなかった。

デジタルホン（現ボーダホン）が1994年4月に、ツーカーグループが1994年6月に1.5GHzのPDCデジタル方式で参入し、NTTドコモと新規参入事業者との競争時代を迎えた。

(4) cdmaOne方式のサービス

CDMA（符号分割多重接続）方式を利用した、第2.5世代の携帯電話規格のcdmaOne方式を関西・九州・沖縄セルラー（現au）は1998年7月に導入した。その後セルラー・日本移動通信（IDO）は1999年4月にcdmaOne全国シームレスネットワークを完成した。

その原型は、米クアルコム（QUALCOMM）が開発したデジタル携帯電話（規格「IS-95」）であり、米国のほか、カナダ、オーストラリア、韓国、メキシコ、イスラエル、ベネズエラなど、すでに多くの国で導入されている。

PDCと比べ、帯域幅が広いいため音質が良い、3つの基地局から電波を同時受信できるため輻輳に強く切れにくいなどの特徴をもつ。

1) インターネット対応（EZweb：イージーウェブ）携帯電話

C201H型携帯電話でインターネットにアクセスできるEZwebに対応した初のモデル。セルラーグループとIDOによる全国統一ブランドcdmaOneは、クリアで途切れにくい音質と、最大14.4kbpsの高速データ通信を実現した（約82g、幅42mm×高さ130mm×奥行き18mm）（写真5.3）。



写真5.3 セルラー・IDOのcdmaOne携帯機
EZweb 14.4kbpsデータ携帯機 (C201H) (KDDI提供)

2) パケット通信サービスPacketOne

2001年、14.4Kbps（上り）/64Kbps（下り）のパケット通信サービスの「PacketOne」が提供された。

5.2 PDCデジタル携帯機の開発^{5,7,8}

(1) デジタル携帯機開発のポイント

アナログ方式と大きく異なる開発点を示す（図5.1）。

- 1) 音声符号化コーデック
- 2) 高速チャネル切替シンセサイザ
- 3) 直交変調器
- 4) 線形化電力増幅部

特にデジタルシステムに固有の高エネルギー音声符号化の技術開発の進展がある（図5.2）。

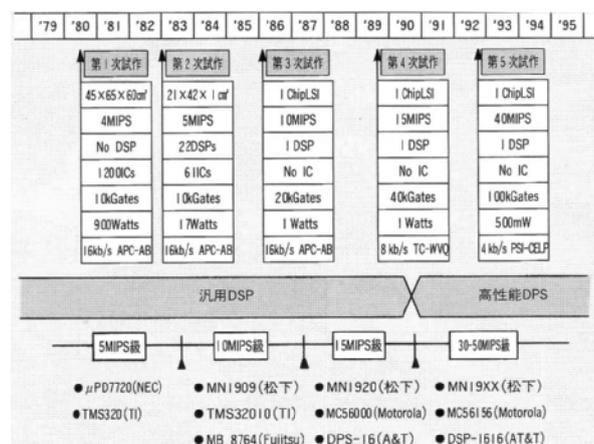


図5.2 高エネルギー音声符号化の技術開発の進展⁷

1980（昭和55）年に高エネルギー音声符号化の大きさは250cc、消費電力900Wで実用に適さなかったが、1993年には1チップで0.5W以下になりデジタル携帯機で使用された。デジタル携帯機でもアナログ携帯機の小型・軽量化・高密度実装・高機能化等の技術が応用され、100cc、150gの小型・軽量化が実現された。

(2) ハーフレート方式の開発

デジタル方式はフルレート方式と呼ばれる音声符号化の技術を用いている。大幅な需要増に対応できなくなるのが懸念された。そこで、(財)電波システム開発センター（RCR、現ARIB）では、周波数の利用効率を高め、契約者の収容量を倍増させるハーフレート方式の標準規格化作業を行なった。RCRが国内外の13事業者から候補提案を募り、選定を行なった結果、ドコモが提案したPSI-CELP（Pitch Synchronous Innovation Code Excited Linear Prediction）のハーフレート方式が最も優秀と認められ、1994年（平成6年）に標準方式として採用された。この方式は当時、

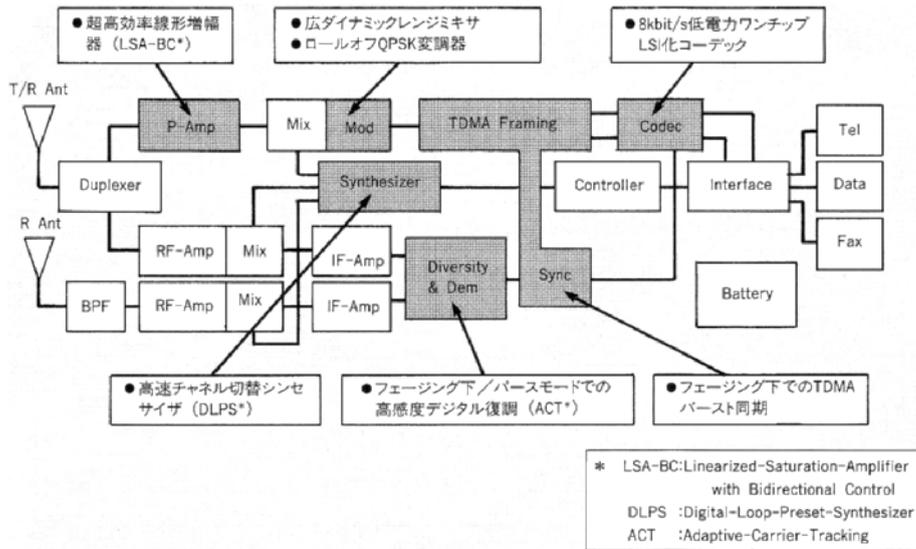


図5.1 デジタル携帯機開発のポイント⁷

世界各地で標準化が進められている方式のなかで、最も周波数の利用効率が高いものであった。

ドコモは1995年12月、世界に先駆けてこのハーフレート方式を導入し、端末もハーフレート方式対応のものを開発・発売した。

ハーフレート方式には次のような4つのメリットがあり、デジタルネットワークの充実と需要増に対応する通信環境を構築するうえで、大きく貢献した。

1) 周波数の利用効率の向上

フルレート方式では音声情報を11.2kbpsに情報圧縮して伝送していたが、ハーフレート方式では半分の5.6kbpsまで圧縮することができ、周波数の利用効率が2倍となる。

2) システムの経済化

音声をデジタル信号に変換して伝送するときの情報量が半分になるので、基地局と交換局の間の送路コストを削減できる。また、チャンネル当たりの装置コストの低下および基地局変復調装置の小型化による基地局スペースの削減などにより、設備コストを削減できる。

3) サービス性の維持・向上

音声の送信時間が半分になり電池の負荷が減るので、従来機比較して連続通話時間が最大50%長くなる。

4) 従来のフルレート方式とのコンパチビリティ

ハーフレート方式対応の端末は、フルレート方式への接続機能を備えているため、ハーフレート方式が採用されていない地域でも使用でき、従来のフルレート方式の端末は、ハーフレート方式の導入地域でも利用できる。

(3) 1.5GHz帯のサービス (シティフォンサービス)

「ハーフレート方式」を導入しても需要の急増に対応できず、周波数の不足が想定された。そこで、ドコ

モは1996年10月から、それまでアナログ方式で使用していた周波数帯域に周波数利用効率のよいデジタル方式を順次導入した。アナログ方式の全帯域をただちにデジタル方式に変えるのではなく、数MHz単位で逐次変更していった。また、端末については、アナログ方式周波数帯域にも対応可能な端末「デジタル・ムーバ201・202HYPERシリーズ」を新たに開発・販売した。

2001年からは800MHz帯と1.5GHz帯の両帯域に対応可能なデュアルバンド対応端末「デジタル・ムーバ211iシリーズ」を開発・販売し、それまで異なるサービスとしていた2つの周波数帯域を自動的に切り替えることで、ネットワークの効率化と一層の周波数有効利用を実現した。

5.3 新たな移動通信サービス「PHS」^{5,6,9}

日本が開発したPHS (Personal Handy-phone System) が、1995年 (平成7年) 7月から関東と北海道で、その他の地域では同年10月からそれぞれ開始された。サービスを提供したのは、NTTパーソナル通信網9社 (現NTTドコモ) である。なお、DDIポケットグループ (現ウィルコム) も同年7月から、アステルグループは同年10月からサービスを開始した。

携帯電話とPHSが基本的に異なる点は、基地局までのアクセスに独自の回線を設備するか、固定電話の加入者線を用いるかにある。すなわち、PHSは電話加入者線の先端に簡易な基地局用無線装置を設置する。基地局から電波が到達する範囲は約100mと極めて短いのでPHS移動機の送信出力も10mWと小さくできる。これが、医療器具への影響が少ないという判断から病院での利用は携帯電話よりもPHSが使用されている。

歩行速度程度の移動を前提とするが、32kbpsデジタル方式によるクリアな音声品質や高い秘話性能を有する。端末価格、基本使用料、通話料とも携帯・自動車電話に比べて低廉な料金で提供され、端末も小型・軽量で電池が長持ちする等の特色がある。

PHSのゾーン半径は自動車・携帯電話のゾーン半径に比べ約10分の1であり、面積で100分の1であるから、電波の繰返し使用による有効利用は約100倍である。このような特徴をもつ一方、導入当初のPHSサービスには、高速移動中の通信には向かず、サービスエリアの拡大には多くの基地局を設置する必要があるといった短所もあった。

携帯電話の普及により、NTTドコモは2005年4月30日に新規加入申し込みを終了し、アステルグループは事業停止した。一方PHSの利用はアジアを中心に20数カ国におよび、端末機の数も2000万台をはるかに突破したとのことである。

5.4 モバイルコンピューティング(NTTドコモの例)⁵

(1) デジタル9,600bps高速データ通信サービス

NTTドコモは、1995年4月から、他事業者に先駆けて「デジタル9,600bps高速データ通信サービス」を開始し、同時にノートパソコン用「デジタルデータ/FAXカード9600」などを発売した。

この高速データ通信では、それまで2,400bpsであった通信速度が9,600bpsへと一気に4倍に引き上げられた。これにより、通信料金が平均的な使い方での3分の1程度となった。また、データ圧縮機能が付加されたため、文字を中心とした伝送ではデータ量が約2分の1に圧縮され、効率的な情報伝送が可能になった。これらは、当時としては画期的なことであった。

(2) パケット通信サービス「DoPa」

NTTドコモは1997年(平成9年)3月、モバイルコンピューティング市場の普及・拡大を目指して、東京・山手線圏内でPDC方式のネットワークを利用してパケット通信サービス「DoPa」(ドゥーパ: DoCoMo Packet)の提供を開始した。この「DoPa」は、無線環境において、適当な長さに分割した伝送情報に宛先や伝送順番など必要な制御情報を付加した「パケット」という単位で通信するシステムであり、最大28.8kbpsの通信速度を実現した(写真5.4)。

パケット通信方式の「DoPa」は、パケット単位にデータを分割して通信するので、複数の通信を相乗りさせること(回線の共有)ができ、効率が良い。さらに、



写真5.4 パケット通信の利用シーン⁶

接続時間によらず情報量(パケット単位)によって課金する料金体系となっているので低料金で利用できる。

トラックなどの運送車両や自動販売機のリモート管理システムを、画期的なコストパフォーマンスで実現するパケット通信「DoPa」の小型・軽量BOX型端末も開発された(写真5.5)。



写真5.5 DoPa Mobile Ark 9601D (三菱電機所蔵)

(3) 10円メール

NTTドコモとマスターネット(株)(現在のゼロ(株))が共同で開発し、1997年(平成9年)5月からサービスを開始した。「10円メール」は、ドコモのデジタル携帯・自動車電話とアダプタを利用したインターネットメールであり、全国どこのエリアからでもドコモのデジタル携帯・自動車電話(9,600bps)を使って、マスターネットの「10円メール」サーバにアクセスし、メールを送受信することができた(写真5.6)。



写真5.6 Dialo (NTT所蔵)

続いてドコモは1997年12月から、モバイルツールを初めて使用する人でも簡単に電子メールなどが楽しめる端末として、「ポケットボード (Pocket Board)」を発売した。女性のユーザーを中心に大ヒット商品となり、1999年3月末には、累計販売台数が約30万台に達した (写真5.7)。



写真5.7 ポケットボード (Pocket Board)
(NTTドコモ所蔵)

5.5 モバイルインターネット(NTTドコモの例)⁵

(1) 「情報サービス」「インターネット接続サービス」

NTTドコモは携帯・自動車電話から利用できるモバイルインターネットサービス「mopera (モペラ)」を1998年 (平成10年) 10月から開始した。

このサービスは、「moperaセンター」へアクセスし、オリジナルコンテンツやインターネットを利用することができるモバイル専用のサービスである。

「モバイル情報サービス」にはニュース、天気予報、株価情報、終電情報などがあり、ドコモが提供するモバイル用の多様なアプリケーションを「mopera」に接続することで利用できる。

(2) 新サービス「iモード」

NTTドコモは、携帯電話からインターネットなどのオンラインサービスを直接利用できる新サービス「iモード」を1999年 (平成11年) 2月22日から開始した。

「iモード」の特徴は、携帯電話機「単体」でインターネットにアクセスできることと、Eメール (電子メール) ができることである。それまで主にパソコンを使ったビジネスユーザーが中心だったこれらのサービスを、一般個人ユーザーにも利用しやすくしたものであった。そのため、「iモード」は爆発的に普及していった。

(3) 「iモード」の特徴

1) 「iモード」対応端末の画面操作で、モバイルバンキング (残高照会、振込など)、航空機やコンサートの

チケット予約などのオンラインサービスが利用可能。

2) メールアドレスが割り当てられ、「iモード」契約者同士はもちろん、世界中のメールアドレスをもつパソコン、PDAとの間でEメールの送受信が可能。

3) 欲しい情報が自動的に「iモード」対応端末に配信される「メッセージサービス」の利用や「iモード」対応端末から直接インターネットに接続が可能。

4) 通信方式には、パケット通信 (9,600bps) を採用 (課金は、時間ではなく送受信したデータ量による)。

なお、「iモード」の対応端末として、ドコモは「デジタル・ムーバ501i HYPERシリーズ」を発売した。

1999年 (平成11年) 12月には、契約数は全国で300万を突破し、サービス開始から約1年半後の2000年8月には1,000万を突破した。

その後も契約数は増え続け、2001年3月には2,000万を突破、2001年12月には3,000万を突破、2005年10月には4,500万を突破した。近年、我が国で登場以来このようなスピードでユーザーを獲得していったサービス・商品はないだろう。

(4) 「iモード」が大ヒットしたのはなぜなのか

1) 第1の理由は、Eメールサービスを実現し、「文字コミュニケーション」環境のなかで育った若者たちのニーズに応えたことである。高価なパソコンを買って面倒な設定や操作をしなくても、簡単にEメールが利用できる携帯電話の「iモード」は、若者たちの心をとらえた。

かつてポケットベルを使いこなしていた世代が、1997年 (平成9年) 頃から携帯電話やPHSを使ってメッセージを交換するようになった。ただし、この頃のメールのやりとりは、同じ通信事業者の携帯電話同士だけで可能というクローズドなものであった。「iモード」はそれをオープンなものにした。インターネットを通じて、別の通信事業者の携帯電話や、インターネットに接続したパソコンとの間であっても、メールの送受信を可能にした。しかも簡単に、かつ低料金でできることが大ヒットにつながった。

2) 第2の理由は、多様で豊富なコンテンツを用意して、ユーザーのニーズに応えたことである。「iモード」では、モバイルバンキングやチケット予約などの「取引系」、レストランガイドや乗換案内などの「データベース系」、ニュースや天気予報などの「生活情報系」、番組情報やオンラインゲームなどの「エンターテインメント系」など多種多様なサービスメニューが用意された。

IP (インフォメーションプロバイダ) 事業者と

NTTドコモが共同で用意したこうした「iメニュー」は、当初は67社のサイトでスタートしたが、2000年10月には665社、約1,200サイトにまで増加した。なお、2002年3月末現在では2,020社、2,994サイトにのぼっているという。さらに「iメニューサイト」以外にも、インターネット上に「iモード」向けに一般ユーザーが用意した「一般サイト」と呼ばれるサイトが5万以上あるとみられるという。

3) 第3の理由は、このように多くの「iメニューサイト」「一般サイト」が参加しやすいような仕組みにしたことである。例えば、「iモード」では、インターネット上のコンテンツを記述するための言語として、標準的に使われているHTML (Hyper Text Markup Language) をモバイル用に一部改良したものを採用したので、インターネット上でコンテンツを提供している多くのIP事業者は、コンテンツを若干手直しするだけで、「iモード」上で情報を送ることができ、「iモード」参加に際しての投資負担はほとんどない。これによって、「iモード」のコンテンツが爆発的に増えていった。

また「iモード」では、IP事業者に代わって、NTTドコモがサービス料金を回収するシステムを構築した。その結果、事業者は容易に料金を回収できるようになった。

つまり、「iモード」に参加することにIP事業者たちはメリットを感じ始めたため、続々と参加し、魅力あるメニューをつくるようになった。

(5) 「Java」技術をベースにした「iアプリ」

「iモード」を開始してから約2年後の2001年（平成13年）1月、NTTドコモは「iモード」の新サービスとして、「Java」技術をベースにした「iアプリ」の提供を開始し、同時に「iアプリ」に対応した端末「デジタル・ムーバ503i HYPERシリーズ」を発売した。

この「Java」技術の搭載は、ネットワークからアプリケーションをダウンロードして、携帯電話機本体のメモリに蓄積し、情報端末としてあるいはゲーム機として使うことが可能になった。これにより、それまでの「iモード」に比べて、動きのある面白いコンテンツを提供できるようになった。

ドコモは「iアプリ」に続き、2001年7月から全国で、エリア関連コンテンツを簡単に検索できる「iエリア」の提供を開始した。このサービスは、「iモード」ユーザーが「iメニュー」内の「iエリア」サービスに接続すると、ユーザーの所在地、近隣地域のタウン情報・地図・天気情報などの関連コンテンツを自動的に絞り

込み、表示するサービスである。「iモード」はこのほか、コンテンツの充実、端末のバージョンアップ（iモード画面のカラー化は1999年12月）など、常に進化し続けてきた。

5.6 auグループのPacketOne

セルラー・日本移动通信（IDO）は2000年1月、最大64kbpsパケット通信サービスを開始した。利用するためにはPacketOneに対応した携帯電話が必要である。送受信したデータの量に応じて課金されるため、使用時に通話時間を気にしなくてよいというメリットがある。

オプションの「PacketOne64」サービスを利用すれば、最大で下り64kbps（上りは14.4kbps）の速度で通信できる（写真5.8）。



写真5.8 PacketOne携帯電話機（KDDI提供）

参考資料：

- 1 桑原監修：「デジタル移动通信」、科学新聞社、1993.3
- 2 木下・他：「デジタル移动通信方式」、電子情報通信学会、vol.77, No.2, 1994年2月
- 3 立川監修：「W-CDMA移动通信方式」、丸善、平成13年6月
- 4 飛田・平本：「IMT-2000のすべて」、(株) ぱる出版、2001年3月
- 5 「NTTドコモの10年史（1992-2002）」、NTTドコモ10年史編集事務局
- 6 桑原守二：電波新聞「移动通信100年」2005.1-3
- 7 卜部・他：「移動機・携帯機の研究開発」、NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナルVol2.No.3
- 8 尾上・他：「ハーフレートデジタル移动通信」、NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナルVol3.No.3
- 9 羽鳥：「移动通信の変遷」、電子情報通信学会誌、Vol.82 No.2, pp.102-107

6 | 第三世代のパーソナル化の拡張期 (2001年～)

通信は本質的にボーダレスなものであり、グローバルな技術でなければならない。つまり、研究の段階からオープンにし、できるだけ多くの国と提携しながら開発することが重要である。第三世代のパーソナル化の概要・技術動向等を示す。

6.1 第三世代移動通信システム^{1,2,3,4}

(1) 標準化の推進と特許問題

日本は、ITU (International Telecommunication Union: 国際電気通信連合) で進められた第三世代移動通信システムの世界標準化の実施にあたって、日本で開発したW-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 方式の普及促進に向け国際的な取組みを推進した。

第三世代システムの標準化作業のはじまりは1985 (昭和60) 年だった。その年の11月、ITUの無線諮問委員会 (CCIR、現ITU-R) で移動通信を扱う第8研究委員会の会合がジュネーブで開催された。当時800 MHz帯セルラー電話については世界に9つの異なる方式が存在していた。会議ではこれらの9方式を列挙した勧告を作る意見が出たが、各方式の共通事項を勧告としてまとめる案を日本から提出し、それが将来の標準化に向けて意義があるとの合意が得られて、多数方式が並存する実状を反省する空気が生まれた。会議の最終日、新しい研究題目が採択された。目指すところの統一方式は「FPLMTS (将来の公衆陸上移動通信

システム)」と名付けられ、この課題を専門に研究する作業班が設置された。この時から日本の移動通信関係者の規格統一の挑戦と苦勞が始まった。

1992 (平成4) 年にマラガトレモリノスで開かれた世界無線主管庁会議では、FPLMTSに用いる無線周波数 (2000MHz帯) が決められ呼び名がIMT-2000になった。日本の提案と欧州の提案のW-CDMAは異なっていたが、欧州のGSMと日本のW-CDMAは親和性が高いので、「無線部分はW-CDMA、ネットワーク部分は欧州のGSMをベースとした方式」を掲げ、1997年から精力的な活動を展開して両者を統一した。この統一を行う組織「3GPP」が作られた。これに対して米国を中心とするcdma2000方式 (規格IS-95) 陣営は「3GPP2」を発足させた。どちらも基本的にCDMAの技術を使用しているが、この基本のCDMAの特許に関してヨーロッパのERICSSON社とアメリカのQualcom社はお互いに特許侵害の提訴合戦を行っていたため、規格を統一するのはおろか基本的なCDMA技術の使用に関しても困難ではないかという状態が続いた。

しかし、1999年の春のERICSSON社とQualcom社との間で、双方の標準化を妨げないという妥協が成立し、2つの規格の統合の検討が進められた。これにより3GPPでは3GPP2の規格も取り込んで、 possibleの限り共通化した新しい3GPP規格を策定した。日本の多くの人々が心血を注いだ貢献の結果、2000 (平成12) 年にイスタンブールで開かれたITU-R総会で第三世代携帯電話方式の標準が勧告された。

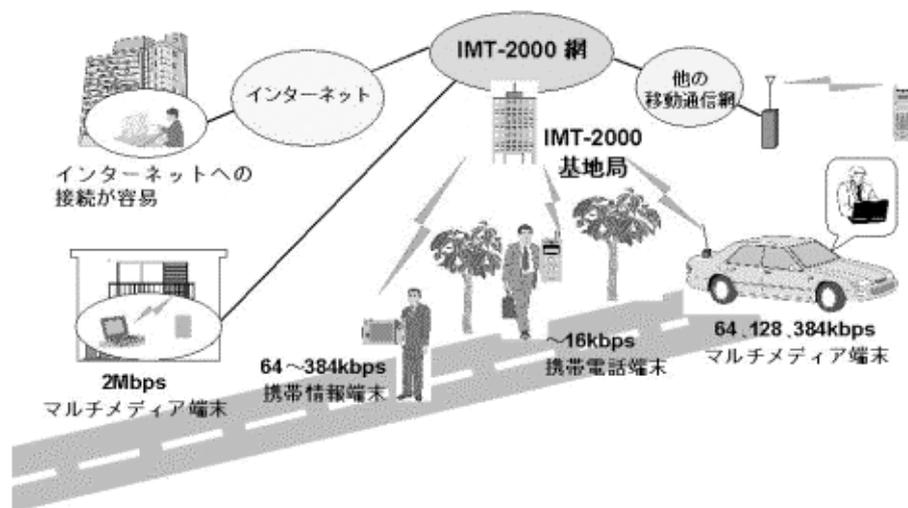


図6.1 第三世代移動通信システムサービスのイメージ¹

(2) サービス概要

平成11年9月総務省、電気通信技術審議会の次世代移動通信方式委員会報告のシステムの特徴は

- 1) グローバルサービスの実現
- 2) マルチメディア通信サービスの提供（インターネットとの高い親和性）
- 3) 固定網と同等な高品質なサービスの提供
- 4) 高い周波数利用効率の実現（既存システムと同等以上の周波数利用効率）なお、第三代移動通信システムの導入当初のデータ伝送速度は、少なくとも、

*高速移動：回線64kbps、パケット144kbps

*低速移動：回線64kbps、パケット384kbps

*室内：回線64kbps、パケットモード384kbps程度までのサービスが期待されており、将来的には、2Mbps程度までのデータ通信のサービスを提供するイメージを示す（図6.1）。

(2) 試験用移動機

NTTドコモは、W-CDMA方式の伝送実験に成功すると、1997年に、これをオープン化し、世界に向けてシステム実験への参加を呼びかけた。シンガポール、マレーシアをはじめとする各地で実験を開催しては、共同実験に関する覚書を締結し、アジア、ヨーロッパの端末機メーカを訪ねた。目的は、自ら開発したW-CDMA方式を世界標準規格とすることである。国内外の通信事業者、メーカとの実証実験を1998-1999年に屋内外で実施した。世界最初の機能試験用移動機（37ℓ、20kg、写真6.1）、小型端末機として音声端末、カード端末、ビジュアル端末（265cc、279g、写真6.2）を開発した。ビジュアル端末はMPEG-4 映像符号化方式による通信速度64kbpsの双方向TV電話機能を実現した。

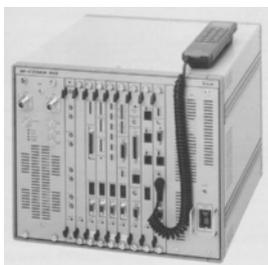


写真6.1 機能試験用移動機³ 写真6.2 ビジュアル端末（NTT所蔵）

(3) 各社のサービス導入時期

2001年（平成13年）5月30日、NTTドコモは世界に先駆けて、W-CDMA方式で「FOMA（フォーマ）」の試験サービスを、東京23区、横浜市および川崎市の一部地域で開始した。2001年11月19日にFOMAにお

ける「iモード」の新サービスとして、動画クリッピングサービス「iモーション」を開始し、モバイルマルチメディアに相応しいサービス拡充をした。

Vodafone（旧J-Phone）は2002年6月試験、12月にW-CDMA方式で東京圏・関西圏でサービスした。

KDDIは2002年4月からcdmaOne方式を拡張したCDMA2000 1x方式で144kbpsのサービスを東京圏・関西圏でサービスした。

携帯各社のIMT-2000の導入時期一覧と各世代の比較を示す（表6.1、表6.2）。

表6.1 携帯各社IMT-2000 導入時期一覧

グループ	開始時期	開始地域
NTTドコモグループ	2001年 5月試験	中央（東京23区、横浜市、川崎市）
	2001年 12月	東海、関西
	2002年 4月	北海道、東北、北陸、中国、四国、九州
Vodafoneグループ	2002年 6月試験	東京、東海、関西（東京23区、横浜市、川崎市、千葉市、浦和市、大宮市、など）
	12月サービス	
	2004年 10月	北海道、東北、北陸、中国、四国、九州
KDDIグループ	2002年 4月	東京、関西
	2004年 3月	九州、中国、東北、北海道、北陸、四国、沖縄

表6.2 携帯電話の各世代の比較⁸

項目	第一世代	第二世代	第三世代		
方式	NTT大容量	PDC	GSM	W-CDMA	CDMA20001x
サービス開始年	1985(1979)	1993	1991	2001	2002
無線方式	アナログ	デジタル	デジタル	デジタル	デジタル
使用周波数(MHz)	800	800/1500	900/1500/1900	2000	800/2000
回線アクセス方式	周波数分割多元接続(FDMA)	時分割多元接続(TDMA)	時分割多元接続(TDMA)	符号分割多元接続(CDMA)	符号分割多元接続(CDMA)
通信速度(回線交換)		9.6kbps	9.6kbps	64kbps	64kbps
通信速度(パケット交換)		28.8kbps	115.2kbps (GPRS)	下り384kbps 上り64kbps	下り144kbps 上り64kbps
文字メッセージ		○	○	○	○
ブラウザ		○	○	○	○
UMカード			○	○	○
動画再生				○	○
テレビ電話				○	○

(4) NTTドコモのサービス「FOMA（フォーマ）」

「FOMA」とは、「Freedom of Mobile Multimedia Access」（自由なモバイルマルチメディアへのアクセス）の頭文字4字で構成した造語である。

FOMAは文字や静止画だけでなく、動画や音楽など、多岐にわたる情報をモバイル環境で提供でき、新たなモバイルの活用スタイルをつくり出した。

「遠隔地にいる家族・友人とテレビ電話でフェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションを」「ニュース映像やスポーツのハイライトシーン、映画の予告編などをiモーションで楽しむ」「恋人や親しい仲間との待合わせスポット、レストラン選びにマルチアクセス機能を利用する」「外出先でもリアルタイムで株価のチャートを確認し、株売買の指示を出す」などが挙げられる。FOMAはビジネスツールとしても、きわめて有効である。

サービス開始時の導入端末のN2001は、重さ約105g、大きさ107cc、連続通話時間：約90分、連続待受時間約55時間、P2101Vは、重さ約150g、大きさ204cc、連

続通話時間（音声時）：約100分、連続待受時間約55時間と短かった（写真6.3）。

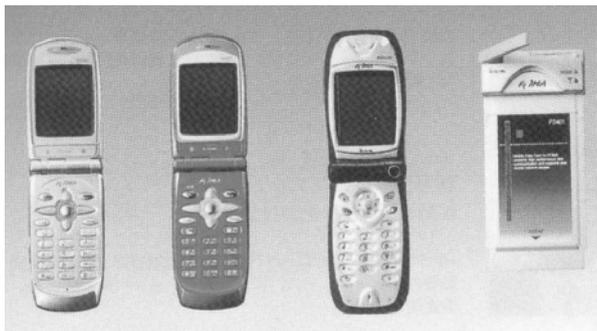


写真6.3 「左からFOMA N2001（シルバー）、FOMA N2001（レッド）、FOMA P2101V（ブルー/ゴールド）、FOMA P2401」[カタログ]

UIMカード：（User Identity Moduleカード）
携帯電話等に差し込んで使うICカード（カードからチップのみ取り外して携帯電話へ実装）。



内部に電話番号等加入者情報が書き込まれている。

写真6.4 切り取り前のUIMカード

端末の取り替えがカードの抜き差しにより可能となる。

2004年のFOMA 900iはカメラ（100～200万画素）、TV電話機能、連続通話時間約140分～160分、連続待受時間約430時間～500時間が実現した。

サービスエリアは2004年3月末で関東甲信越で人口カバー率で99.9%に達している。屋内エリア、地下鉄でのサービスの充実も進められている。

(5) au (KDDI) のサービス⁵

第三代携帯電話（CDMA2000 1x）による最大144kbpsの高速データ通信サービスを、2002年4月1日より全国主要都市で一斉に開始した。また、総画素数35万画素の高性能カメラを内蔵したGPSケータイ「A3012CA」をはじめ、CDMA2000 1xに対応した携帯電話機のニューモデル5タイプを発売した。

1) au初のカメラ付きGPSケータイ

業界トップクラスの総画素数35万画素（有効画素数31万画素）の高性能CMOSカメラ搭載により、カラオケボックスの中など比較的暗い場所でもその場の雰囲気リアルに撮影できる。撮影した画像は2.0インチ、最大26万色相当のカラー表示を実現した「Crystal Fine」液晶により美しく再現した。重さ約106g、大きさ113cc、連続通話時間：約140分、連続待受時間：約230時間、GPSを用いた高精度位置情報にも対応。au ICカード（UIM）を携帯電話へ実装して使用する（写真6.5）。



切り取り前のau ICカード

写真6.5 カメラ付GPS携帯電話機（A3012CA）
（KDDI提供）

「EZナビウォーク」対応機種を中心に業界初となるFMラジオチューナーを搭載したA5503SA（製造：三洋電機株式会社）の他、業界トップクラスの200万画素CCDカメラを搭載したA5403CA（製造：カシオ計算機株式会社）、録画したTV番組を再生可能としたA5404S（製造：ソニー・エリクソン・モバイルコミュニケーションズ株式会社）等様々な機能を搭載した第三代携帯電話の新ラインナップ5機種を2003年10月下旬以降発売した。

2) CDMA2000 1x EV-DO方式

最大2.4Mbpsの高速データ通信を可能とするCDMA2000 1x EV-DO方式を利用し、従来の第三代携帯電話をさらに進化させた「CDMA 1x WIN」を、2003年11月から全国一斉に開始した（CDMA2000 1x EV-DO方式のインフラは関東・中部・関西の3大都市圏で提供を開始し、2004年3月末までに全国主要都市に拡大した）。「CDMA 1x WIN」では、「EZムービー」やEZ「着うた™」など第三代サービスで好評なEZwebが、よりスピーディで快適に利用できるようになった。また、様々なジャンルの番組を定期的に自動配信する画期的な新サービス「EZチャンネル」や、見たい映像をリアルタイムで配信する「ライブカメラ」など、リッチで楽しい「CDMA 1x WIN」専用コンテンツも用意された。

さらに、高速データ通信の実現に伴い大容量化するコンテンツを安心して楽しむため、携帯電話で初めて、Eメールを含むEZwebの通信料が月額4,200円で使い放題となるパケット通信料定額サービス「EZフラット」を導入した。

「CDMA 1x WIN」の対応機種として、W11H（製造：株式会社日立製作所）、同じくau design projectの第二弾にあたるW11K（製造：京セラ株式会社）及びデータ通信専用カード型のW01K（製造：京セラ株式会社）の3タイプが発売された。W11Kは重さ約128g、大きさ149cc、連続通話時間：約180分、連続待受時

間：約180時間、質感を追求した多面体フォルムが際立つ新感覚のブロードバンドケータイである（写真6.6）。



写真6.6 ブロードバンドケータイ（W11K）（KDDI提供）

(6) ボーダフォン⁶

2002年6月30日より、首都圏（国道16号線内エリア）において「試験サービス」を展開し、その後、同年12月から、首都圏および全国主要都市においてW-CDMA方式で「本格サービス」を開始した。

音声通話や高速データ通信、テレビ電話機能といった第三代サービスの3G（W-CDMA方式）/GSMデュアルモード携帯電話機「V-N701」、重さ約145g、大きさ187cc、連続通話時間：約100分/連続待受時間：約50時間（3G）、約150分/100時間（GSM）をはじめ、携帯電話機3タイプを発売した（写真6.7）。



写真6.7 3G（W-CDMA方式）/GSMデュアルモード携帯電話機「V-N701」（左）、Nokia 6650（右）[ボーダフォン]

国際ローミングサービスをより広い地域で利用できるよう、ボーダフォングループであることを生かして海外の多くの携帯電話事業者と協議を進めてきた結果、約130の国および地域で音声通話の国際ローミングサービスを提供開始し、それにより日本人渡航先の約89%をカバーする。メール、動画伝送できる「ムービー写るメール」をサービスしている。2003年12月上旬から、日本初、アナログテレビ放送を受信できる携帯「V601N」を発売した。

6.2 第三世代の携帯機の開発

CDMAの技術により、固定網並みの通信品質、加入者容量の増大、高速データ通信サービスを実現している。

(1) 主要技術

1) スペクトル拡散

IMT-2000では、スペクトル拡散（Spread Spectrum）と呼ばれる通信方式が採用している。送信データ速度よりも速度の速い、拡散符号と呼ばれる符号系列を、送信データに掛け合わせる（拡散）により、周波数帯域幅を広げて送信する方式である。送信データ速度に対する拡散符号速度の比が拡散率と呼ばれている。受信側では、送信側で使用した拡散符号を受信信号に掛け合わせ（逆拡散）、データを復元する。スペクトル拡散にて、ユーザ毎に異なる拡散符号を使用することで、同一の周波数帯域に複数のユーザ信号を重ね合わせること（CDMA）が可能となる。拡散符号が合致したユーザ信号のみが復元される。

2) 送信電力制御

品質が悪い場合は送信電力を上げ、過剰品質の場合は送信電力を下げるという制御を高速に行うこと（送信電力制御）により、遠近問題を回避する。

3) 可変レート音声符号化

可変レート音声符号化では、音量・音質・無音・周りの雑音などの状況により自動的にビットレートが多段階で変更され、送信する情報量が少ない場合ほど送信データ速度が低下する。送信データ速度がより低いほど拡散率は高くなり、拡散率が高いほど同じ通信品質を維持するための送信電力は小さくて済むため、結果的に、加入者容量を増やす事が可能となる。

4) レイク受信

送信側から受信側に直接届く電波のほかに、地上の構造物等で反射した電波が遅れて届くという現象（マルチパス現象）が発生し、遅延波の干渉が通信品質を低下させる要因となっていた。スペクトル拡散では、マルチパス現象による複数の受信信号それぞれを逆拡散することが可能となるため、マルチパス波それぞれの逆拡散信号を合成する受信方式（レイク受信）を採用することにより、通信品質を改善することができる。レイク受信では、ある遅延波の受信強度がフェージングのため低下した場合にも、受信強度が大きな他の遅延波で復調できるため、フェージングの影響を軽減できる。

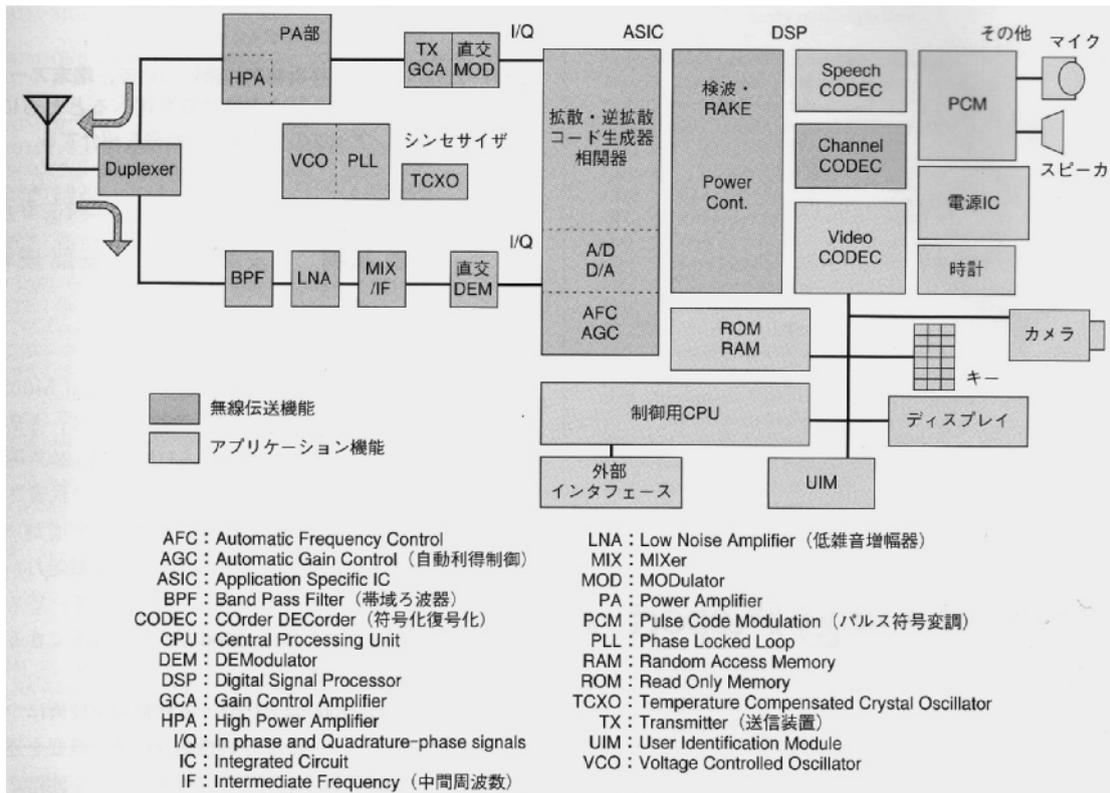


図6.2 W-CDMA 移動端末のハードウェア構成例⁷

5) ソフトハンドオーバー

周辺基地局からの複数の信号を受信し、通話が瞬断することなくスムーズなハンドオーバーができる。

W-CDMA 移動端末機の構成を示す (図6.2)。

(2) 携帯電話のハードウェアとソフトウェアの構成

携帯電話は、LSI、IC、モジュール、チップ部品からなり、ソフトウェアにて機能動作しており、携帯コンピュータといえる (図6.3)。

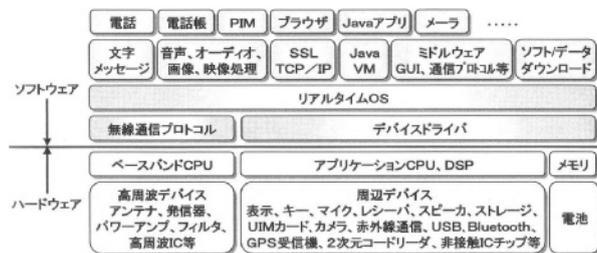


図6.3 ハードウェアとソフトウェアの構成⁸

携帯電話のソフトウェア開発量は多機能化や性能向上に比例して不揮発性メモリ (ROM) と揮発性メモリ (RAM) の使用量が増えてきた。主要な要因としては、カラーLCDの採用やカメラ搭載、インターネットアプリケーション、TV電話機能追加による。最近では「ソフトウェア更新」機能を搭載し、不具合発生したら無線でソフトウェアを書き換えて修復することができるようになった (図6.4)。

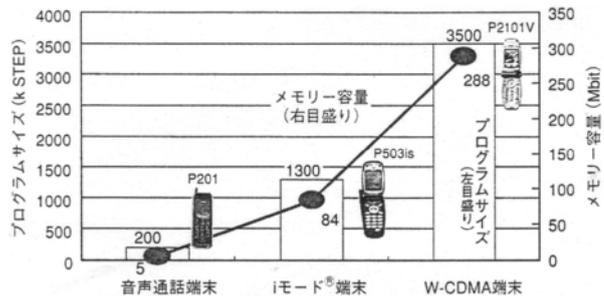


図6.4 携帯電話のソフトウェア開発量 (プログラム・メモリ使用量) の変遷⁹

(3) 携帯電話のOS (Operating System)

日本の携帯電話に多く使用されているOSは、日本で開発されたリアルタイム処理と消費電力が少ない「ITRON」である。第三代携帯電話には、ソフトウェア開発の短縮化のため、ソースコード (ソフトウェア設計図) が公開されている「Linux」と携帯電話に特化した「Symbian」が使用されている。マイクロソフト社は、「Windows Mobile」のOSを開発し、モトローラ社がこのOSを搭載した携帯電話を発売している (図6.5)。

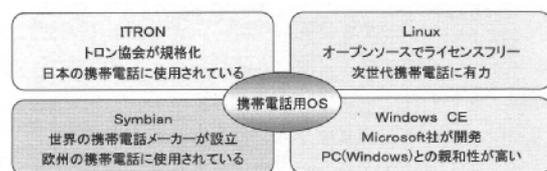


図6.5 携帯電話に使用されているOS⁸

(4) 通信の法則の歴史

今後のユビキタスの法則はどうなるだろうか？

*1980'ムーアの法則「ICチップの集積できるトランジスタ数は18-24カ月毎に倍になる」。

*1990'メトカルフェの法則「ネットワークの価値は接続ユーザの数の二乗に比例する」、次を見守りたい。

参考資料

- 1 第三世代移動通信システムの早期導入にむけて
(総務省) 電波監理審議会答申
- 2 桑原守二：電波新聞「移動通信100年」2005.1-3
- 3 東・他：「W-CDMAシステム実験特集(1)」、
NTT DoCoMoテクニカルジャーナル、Oct.1998
Vol.6 No.3
- 4 鈴木・瀧：「第3世代移動体通信システム」、
Matsushita Technical Journal, Dec.1998
- 5 KDDI ホームページ
<http://www.kddi.com/index.html>
- 6 Vodafone ホームページ
<http://www.vodafone.jp/top.htm>
- 7 高木・他：「移動端末技術」、DoCoMoテクニカル
ジャーナル、Oct.2001 Vol.9 No.3, pp42
- 8 「携帯電話の不思議」、(株) SCC
- 9 脇：「ユビキタスネットワーク社会の実現に向け
た移動体通信の技術開発」、Matsushita technical
Journal Vol.50 No.2 Apr.2004

7 | 携帯電話の技術発展の系統化分析

移動通信の技術の発展の経緯を基に、携帯電話の技術発展の系統化分析を試みた。

7.1 携帯電話の技術発展の系統化¹⁾

製品の歴史、技術の歴史、文化の歴史を指標に分析を試みた。携帯電話の技術発展は高周波数化（中波→2GHz）、小型・軽量化、空間繰り返し利用（大ゾーン→小ゾーン・マイクロゾーン）、変復調（アナログ→デジタル）、低電力化、高効率増幅器、高周波部品の小型化、部品の薄型化、音声符号化、高速シンセサイザ、高出力電池、周波数有効利用、高速信号化（トーン→デジタル）、実装・基板技術、デバイス・部品技術、行政・社会情勢、表示機能、多機能化（インターネット接続）などの相互融合で発展してきた（表7.1、図7.1：章最後）。以下に詳細を記す。

(1) 移動通信の技術開発テーマ

技術開発テーマとして、伝送品質向上、大容量化、広域化、個人装備化、サービスの多様化が推進されてきた。次のような具体的テーマが技術開発の目標として開発推進されてきた（図7.2）。



図7.2 移動通信の技術開発テーマ

1) 周波数有効利用技術

限られた周波数帯で多数の移動局を収容する必要があるため、a) 周波数の確保、b) 狭帯域伝送、c) 空間的繰り返し利用、d) 時間的多重利用を図ってきた。

a) 周波数の確保

- *より高い周波数帯への開発（長波、中波、短波、30MHz帯、60MHz帯、150MHz帯、250MHz帯、400MHz帯、800MHz帯、1.5GHz帯、2GHz帯）

b) 狭帯域伝送

- *無線チャンネル間隔の狭帯域化（25kHz化、12.5kHz化、6.25kHzインタリーブ化）
- *変調速度の低減：ハーフレート化、高能率音声符号化多値変調の採用
- *隣接チャンネル干渉低減：周波数安定度向上

c) 空間的繰り返し利用

- *周波数の再利用を可能にする小ゾーン化（セル・セクタ化）、マイクロセル化、ピコセル化で少し離れた場所で同じ周波数を再利用
- *セル・セクタ繰り返し率の向上：干渉キャンセラ

d) 時間的多重利用

- *複数の無線チャンネルを移動機で共有するマルチチャンネルアクセス方式化
- *パケット通信 *デュアルモードで複数周波数利用
- *ダイナミックチャンネル割当

2) システム技術：経済システムの実現

- *交換、無線、電話機、デバイス等のあらゆる通信の総合技術 *メディアの多様化 *ソフト化

3) 小型軽量・低消費電力化技術

- *LSI、VLSI、マイクロプロセッサ
- *リードレス部品、チップ部品、
- *デジタル処理化（マイクロプロセッサ応用）
- *表面実装技術、接続技術
- *動作電圧の低電圧化（12V化、5V化、3V化、2V化）
- *高エネルギー電池

4) 人間とのインターフェース技術

- *人間性重視（操作性、快適性）の多様化のインターフェース

5) 経済化

- 上記技術の集積にて、システム及び機器価格の低減

(2) 自動車・携帯電話の技術変遷の概要

1) 伝送方式はモールス信号、アナログ方式、デジタル方式そしてマルチメディア化・インターネット方式へ発展した。無線ゾーンは大ゾーン、中ゾーン、小ゾーン、マイクロゾーンへ推移し、その結果送信電力も小さくなり小型化が推進された。

2) 周波数帯は長波、中波、超短波、マイクロ波の高周波数の開発が進められた。

3) 端末の形状は可搬固定型、車載型、可搬型、携帯型、多様型・小型化・パーソナル化へ進んだ。

- 4) 実装技術はリード部品、表面実装部品、チップ部品、超小型チップ部品、モジュール化へと変遷してきた。
- 5) デバイスは真空管、トランジスタ、IC、LSI、VLSIへと発展してきた（表7.2：章最後）。

(3) 自動車・携帯電話の小型・軽量化の諸要因

移動通信の小型・軽量化は、多くの技術の組み合わせの集積である。部品点数の削減、低消費電力化、回路方式、高周波素子の小型化、実装技術、電池の小型・高容量化、集積回路化、そして機構・音響部品の小型化等が推進されてきた。各技術の仕様分配・電磁干渉対策、熱、配置、製造技術、品質管理、検査、環境等の総合技術の結果である（図7.3）。

設計で何時も苦勞するのは、自分の送信電波が自分の受信電波へ妨害を与えないようにすることであり、一つのアンテナで送受信しているの、如何に送信波が受信へ入らないようにするかが大変である。また携帯電話を手を持った場合、アンテナの性能が変わらないようにするなどの設計が重要である。

(3) 装置容積と部品点数の削減

1980年の最初の自動車電話機の部品点数は約1,500、1989年の携帯電話は約900、1991年のアナログムーバは約400に削減され、1980年の部品点数を100とすると最近の部品点数は約20以下に削減されてきた（図7.4）。

これはデバイスのIC化、LSI化、VLSI化及び表面実装部品、超小型パッケージやマルチチップパッケージ等の開発によるところが大きい。部品のモジュール化

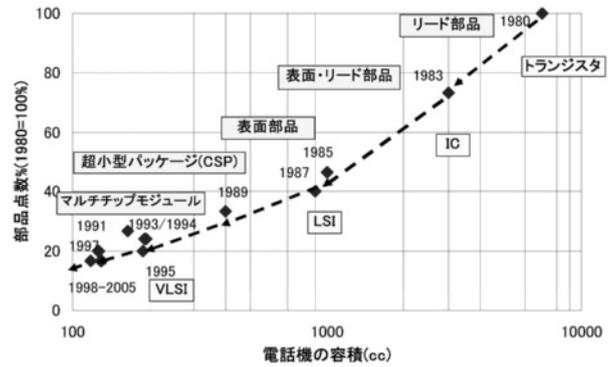


図7.4 自動車・携帯電話機の装置容積と部品

により、カメラ、インターネット及びTV等の機能が增大したにもかかわらず、更なる部品点数の削減が図られてきた。

(4) 小型軽量化・低消費電力化技術の変遷

現在の第三世代の重量・容積は第一世代と比較すると、約70倍減少、消費電力は送信時間で約2倍、待受時間で約40～60倍増大の大進歩を示す（図7.5：章最後）。

1) 第一世代：1979年日本初のNTTの第一世代自動車電話（TZ801）は、重量約7kg（電話器除き）、容積7,000cc、電源は車のバッテリー使用、1985年ショルダーホン（100型）は重量約2.3kg、容積2,300cc、送信時間40分、受信時間8時間、1987年日本初の携帯電話（TZ802B）は、重量約900g、容積900cc、送信時間60分、受信時間6時間だった。1989年2月には重量570g、体積566ccの「携帯電話（TZ-803B）」が開発された。ところがその直後の4月、米国のモトローラ社はNTTを上

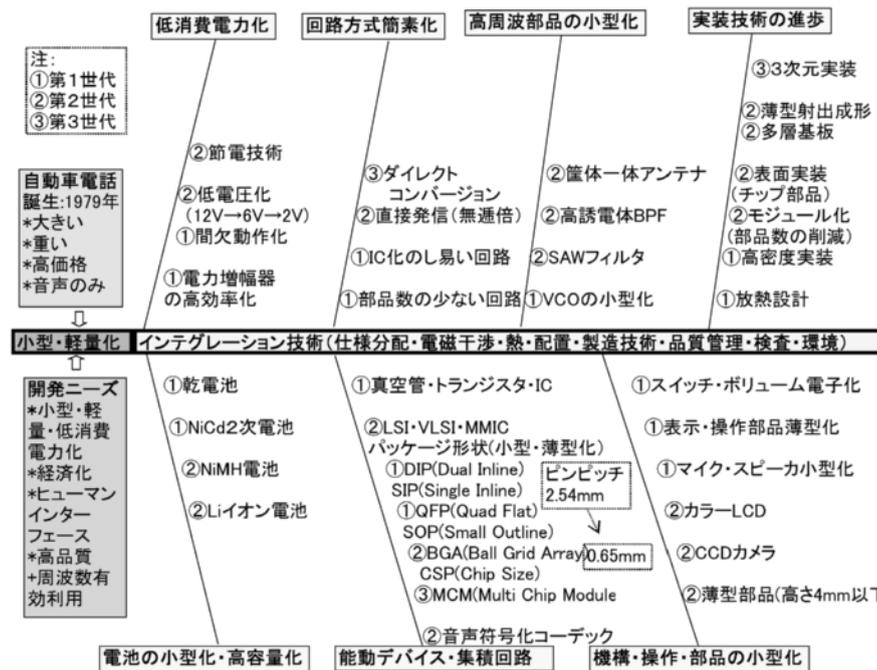


図7.3 移動端末機の小型・軽量化の諸要因

回る体積211cc、重量303gのポケットにも入るサイズの超薄型・軽量の端末「マイクロタック」を開発した。

1989年7月、NTT研究開発陣の超小型端末の開発プロジェクトがスタートし、体積150cc、重量230gという世界最小・最軽量の「TZ-804」を開発した。新型機は「ムーバ」と名づけられ、1991年4月から発売された。

2) 第二世代：1993年3月から、我が国初のNTTドコモのデジタル方式の携帯・自動車電話サービス(800MHz)が首都圏(都心30km以内)で開始された。NTTドコモは1995年12月、世界に先駆けてこのハーフレート方式(加入者2倍)を導入した。

1994年1.5GHz帯でのサービス(シティフォンサービス)を開始し、大都市圏での800MHz帯の需要の急増に対応した。なお、2001年からは、800MHz帯と1.5GHz帯の両帯域に対応可能なデュアルバンド対応端末を開発・販売し、それまで異なるサービスとしていた2つの周波数帯域を自動的に切り替えることで、ユーザー側に何も意識させることなく、ネットワークの効率化と一層の周波数有効利用を実現した。

1997年12月から、モバイルツールを初めて使用する人でも簡単に電子メールなどが楽しめる端末として、「ポケットボード(Pocket Board)」が発売された。

携帯電話からインターネットなどのオンラインサービスを直接利用できる新サービス「iモード」を1999年(平成11年)2月から開始された。

3) 第三世代：2001年(平成13年)5月、NTTドコモは世界に先駆けて、第三世代移動通信サービス「FOMA(フォーマ)」の高速データ通信の多機能携帯電話の試験サービスを開始した。

(5) 実装技術と主要部品の進歩^{2,3)}

実装技術の「高密度実装化」「熱設計」「電磁妨害設計」「製造・検査」等の進歩により、小型・軽量化が実現されてきた。実装はICからプリント配線基板、筐体、構造設計、製造、検査、CAD(Computer Aided Design)の製造装置、検査装置、物理・化学・光学・器械工学・電子工学等非常に多くの分野の集結結果である(図7.6:章最後)。

1) 実装の発展経緯

プリント基板への部品搭載が、点、線、面、立体(空間)への合理化へ展開してきた。表面実装による機能モジュール化により、立体的な生産の合理化ははかられ、高密度で、多機能な商品を可能にした。表面実装をさらに発展させたモジュール化、回路基板に部品機能を持たせたモジュールなどのCOB(Chip On Board)技術等が進展している。

2) 実装の形態

ワイヤを用い端子盤と半田付から、手挿入でリード部品をスルーホール基板に挿入し半田付、そして、自動挿入で表面部品を基板に装着後半田フローやリフローする方法へ推移してきた。

半田フローは半田槽で溶けた半田に基板を浸して半田付けする装置、半田リフローはあらかじめ部品またはランド部にクリーム半田を供給しておいて、予熱、加熱、冷却の温度コントロールする装置である。酸化防止のためフロー装置内に不活性ガスを付加したり、レーザーによる半田付け装置等も使用されており、使用ハンダの組成、加熱時間、品質試験等は各社で重要なノウハウになっている。

3) 能動部品の推移

能動部品としては、1912年の「TYK式無線電話(通信省)」火花放電・コヒセラ・鉱石検波受信から、第一世代では真空管、400MHz大ゾーン方式自動車電話ではトランジスタ、自動車電話の初期にはIC、携帯電話の初期からLSI、そして第二世代のデジタル方式携帯電話から現在までVLSIが使用されている。

4) 能動部品のパッケージの推移

a) リード付トランジスタ

b) ICの出現

* DIP(Dual In-line Package)：国際標準のピンピッチ間隔2.54mm(1インチ)、ムカデのような形をした、最も基本的で、歴史の古いパッケージ。パッケージの両側の長辺からリードがまっすぐ下に出ている。

* SIP(Single Inline Package)：パッケージの1長辺からリードがまっすぐ伸びており、プリント基板に垂直に実装する。

* PGA(Pin Grid array)：華道で使う「剣山」のように、パッケージの裏側から多数のリードが出ているタイプが使用された。

c) LSIの出現

* SOP(Small Outline Package)：パッケージの両側の長辺からリードが出ており、リードの先端はかもめの翼(ガルウィング)のように外側に広がっている。表面実装の中でも代表的なタイプで用途は非常に幅広く、比較的ピン数の少ないマイコン、メモリ、アナログICなどで多用されている。

* QFP(Quad Flat Package)：SOPを進化させたもので、パッケージの4辺からリードが出ている。リードの先端は、SOP同様、外側に広がっている。現在では、表面実装タイプの中

で最もポピュラーなパッケージ。安価に多ピン化できるため、マイコンや専用ICをはじめ、様々な用途で用いられている。

d) VLSIの出現

*CSP (Chip Size Package) : チップ (ベア・チップ) 単体と同じ大きさを目指した最先端の半導体パッケージの総称である (定義は半導体メーカーによってまちまちである)。他のパッケージに比べ、超小型化、超薄型化が図れる。

*BGA (Ball Grid Array) : パッケージ裏面に、格子状に配列した外部端子 (はんだボール) を形成し、多ピン化と高密度化を図ったタイプ。QFP等と比べると、プリント基板への実装不良が起りにくく、実装作業も効率的に行えるという構造上の特長がある。

*TCP (Tape Carrier Package) : テープ状のフィルムの上にシリコンチップをパッケージしたタイプ。パッケージの薄型化、小型化に対応できる上、パッケージ自体の折り曲げも可能。主にLCDドライバに使われている。

*MCM (Multi Chip Module) : 複数のICチップを1つのパッケージに組み込んだ、SiP (System in Package) が進んでいる。スタックドCSPや多層積層3次元SiPとも呼ばれている。

5) チップ部品の小型化の推移

1979年の自動車電話で3216 (3.2mm×1.6mm)、1985年の携帯電話で2021 (2.0mm×2.1mm)、1993年のデジタル携帯電話で1005 (1.0mm×0.5mm)、最近の携帯電話で0603 (0.6mm×0.3mm) のチップ部品が使用されあくなき小型化が推進されてきた。

6) 配線基板の推移

金属シャーシの端子間をからげ配線、片面プリント基板、両面プリント基板・フレキシブル基板、多層プリント基板、ビルトアップ多層基板と推移してきた。ビルトアップ多層基板は銅箔を張っていない樹脂製の薄板にメッキ等の方法を使って直接パターンを作ってしまう方法で、パターンを追加するという意味で「アディティブ法」と呼ばれている。パターン作成とスルホールビアのメッキ処理ができるので効率的で、銅箔をエッチングする方法に比べて配線パターンを薄く、高精度で形成できる。

フレキシブル基板は、薄く柔らかく、自由に折り曲げることができるため基板と基板や表示部の間を接続するハーネスケーブルの代わり等に使われている。

(6) 携帯電話の二次電池の容量アップの推移⁴

携帯電話の電池は、アナログ携帯の第一世代ではニッカド (ニッケルとカドミウムを用いた) 電池、第二世代のデジタル携帯では、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、リチウムイオン型ポリマー電池が、第三世代の携帯では、リチウムイオン電池、リチウムイオン型ポリマー電池が使用されてきた。

ニッカド電池は体積エネルギー密度が1980~1990年の10年間で約2倍の200Wh/lに達した。

ニッケル水素電池は、ニッカド電池で培われた正極の容量向上技術と、負極の水素吸蔵合金の組成改良技術で1997年には350Wh/lに達した。

リチウムイオン電池は、1998年に300Wh/lに達した。その後も負極の短素材の高出力化、正極のコバルト酸化物の交換などにより、体積エネルギー密度が2002年400Wh/lを超えた (図7.7)。

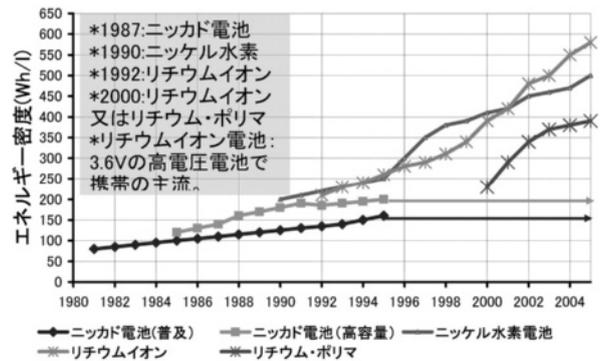


図7.7 二次電池の体積エネルギー密度の容量アップ (携帯電話の商品) の推移⁶

7.2 自動車・携帯電話の節電技術^{4,5}

有限な電池容量で最大の使用時間を実現するため、省電力化が必須である。

(1) 節電技術要素

携帯電話の節電技術要素は、システム、装置、デバイスに分類され、さらに技術要素に小分類される (表7.3)。

表7.3 自動車・携帯電話の節電技術要素

技術大分類	技術要素	全般
システム	システム制御	*機器の動作電圧
装置	機能ブロック制御	の低電圧化
	動作モード制御	*送信パワー
	通信方式制御	コントロール技術
	待ち受け制御	の採用
	スリープ・サスペンド制御	
デバイス	インバンドモード制御	
	アナログ半導体	*デバイスの低
	デジタル半導体	消費電力化
	表示	(LSI微細化技術)
	モータ・アクチュエータ	

(2) システム、装置の節電技術

システムの節電技術はシステムの制御により、電話端末装置の節電の開発を推進してきた。電話端末装置の節電技術は機能ブロック制御、動作モード制御、通信方式制御、待ち受け制御、スリープ/サスペンス制御、イベントモード制御からなる。デバイスの節電技術はアナログ半導体、デジタル半導体、表示、モータ/アクチュエータからなる。

1) システム制御

電話端末装置は基地局との間で常時アクセスしている。基地局との通信を安定に行える最小の電力を選択したり、通信していない時でも、モバイル性の確保のため自端末装置の位置登録を基地局へ送っている。基地局は自局の利用状態、無線信号の伝播状態、ゾーン切り替え等を総合的に判断して、端末装置へ最適な送信電力値、位置登録を指示して効率的な節電を図っている。

2) 機能ブロック制御

端末装置は複数の機能ブロックで構成されており、それぞれの機能ブロックが連携して、ユーザーの要求を実現する。しかし全ての機能ブロックを常時使用しているだけでなく使用していないものもある。

会話を行うには送信部、受信部、音声部を使用するが、表示部は使用していない。またメールの受信時は表示部は使用するが音声部は使用していない。このように使用していない機能ブロックの消費電力を最小にして効率的な節電を図っている。

3) 動作モード制御

マイクロプロセッサの処理負荷を監視し、重負荷の場合にはクロック速度を上げ、軽負荷の場合にはクロック速度を下げて節電する。液晶表示部はメールを読む時に明度や解像度を上げる。端末装置の動作状態を監視し、負荷に応じて最適状態で節電を図っている。

4) 通信方式制御

電話端末装置は基地局との間で常時アクセスしているが、位置登録回数の削減、信号フォーマットの改善にて不要な送信、受信などの処理を削減して節電を図っている。

5) 待ち受け制御

必要な信号を受信する時のみ電源を入れる間欠受信を行っており、間欠受信回数を減らして節電を図っている。着信信号の検出時端末の位置、圏外の検知などの情報の入手も行い、利用時に延滞なく確実な通信を確保する必要があるため、ユーザビリティを保った節電の実現が重要である。

6) スリープ/サスペンド（一時停止する）制御

機器を利用していない時は、スリープ状態、更にサスペンド状態にして節電を図っている。携帯電話では独自の仕様でスリープ/サスペンド制御を行う。スリープ制御はスリープ状態からの迅速な復帰が要求され、サスペンド制御はサスペンド状態からの迅速な復帰と正常な元の状態の復元の両方が要求される。

7) イベントモード制御

機器の利用環境、周囲環境を監視し、監視項目に変化（イベント）が起きた時に節電を開始する制御方法である。光センサ、タッチセンサ、騒音センサ等を機器に搭載し、利用環境、周囲環境を監視する。光センサは周囲の明るさを監視し、表示が見にくい時は表示のライトを点灯する。騒音センサは周囲の騒音を検出し、騒音が大きい時は音量をあげる。タッチセンサは利用者が手にしているかを検出し、表示のライト点灯をする。また電池の使用残量を監視し、必要な部分のみへ電源を供給制御し、圏外移動時は利用不可と判断し、間欠処理を一定時間中止する制御等が含まれる。

(3) デバイスの低消費電力化

低消費電力化に向けたLSI微細化技術の開発が進められてきた結果、低消費電力化が急進してきた。送信アンプの小型・高出力・省エネルギー化、MEMS (micro electro mechanical systems) は、現行の延長上にはない非連続のデバイス技術であり、携帯電話機の機能に劇的な変化をもたらした。

(4) 機器の動作電圧の低電圧化

アナログ自動車電話は12V動作、アナログ携帯電話は5V動作、デジタル携帯電話からは3から2V動作電圧で低消費電力化が約1/4（12V動作時と比較）への低減が図られてきた。

(5) パワーコントロール技術の採用

第三代携帯電話では各端末機から基地局にはほぼ同じ送信電力で到達するため超精密パワーコントロール技術が採用され、平均電力がアナログの約1/100に低減が可能になった。

7.3 世界に誇れる「携帯文化」が生まれた⁶

携帯電話のインターネット対応比率は94%で日本が最も高い。20～30歳代の占める割合と伸びが目立つ。この携帯電話とインターネットの融合が、世界に誇れる「携帯文化」を生み出した。性別、学歴、趣味を問

わず今日の若者は、携帯電話機で、電子メール、乗換案内、音楽のダウンロード、ゲーム、チケット予約、オンライン・バンキング、案内地図のなど多彩なサービスにアクセスしている。しかも、携帯電話はいつでもどこでもこれらサービスを楽しむことができる。パソコンと違い故障や不具合は少ない。インターネットアクセスは米国が圧倒しているが、パソコンを介してである。そのパソコンの携帯化を米国のメーカーはPDA(Personal Digital Assistance)に求めた。しかし、期待したほど大きな市場を得られなかった。今日の携帯文化は、その延長線上に開花したものではない。文字メールのやり取りでは欧州が早い。文字メッセージを送受信するSMS(ショートメッセージサービス)が移動体通信システムの標準機能としてあり、スポーツ情報などの情報配信サービスもiモードの始まる以前から行われていた。しかし、その利用は、1か月数件程度であったという。毎日友人とメールを交換しネットから情報を得ている日本の若者と大きな差だ。欧州がインターネットとの接続にWAP(ワイヤレス・アプリケーション・プロトコル)という技術標準を定め、各携帯電話事業者はその導入を終えているが、その普及は日本にはるか及ばない。

(1) 日本だけが成功した訳

日本でも当初疑問視する者が少なくなかった。「小さなディスプレイしか持たない携帯電話では、インターネットのメールすら読めまい」と踏んでいた。しかし、日本の携帯電話事業者は、プロバイダとしての様々なサービスを開始するとともに、開発したコンパクトHTML(Hyper Text Markup Language)技術を情報サービスサイトに提供し、情報コンテンツの配信を積極的に働きかけた。この結果、インターネットという巨大な情報ネットワークを生かした様々なサービスやビジネスモデルが登場することになった。今や、携帯電話事業者は最大のプロバイダにもなっている。

(2) 移動通信発展の特徴と「携帯文化」

移動通信発展の特徴は社会、経済活動の複雑化、効率化、高度情報化にともなって、社会活動や要求により多様な移動通信が発展し、携帯電話とインターネットの融合が世界に誇る「携帯文化」を生み出した。携帯文化は時代ともに「移動通信文化確立のスタート」「ビジネスの利便性の確立」「人間本質の友文化の確立」「多様化と安全で、安心な通信文化の確立」へと進展している。人間本質の要求の「一人1台のパーソナル化」、「モビリティ(移動性)の拡大」、「多様化」、「ユビキタ

ス」の要望により携帯文化が進化してきた(表7.4)。

表7.4 移動通信発展の特徴と携帯文化

時期	発展段階	利用者・特徴	普及の原因	携帯文化
1948~	特殊用	*海上、警察、通話	*安全・生命支援・自動車普及	「移動通信文化確立のスタート」
1979~	業務用、	*会社幹部、	*ステータスシンボル・移動中通信	*移動通信の利便性認知
1995		*通話	*新規参入許可、端末自由化	*観指文化(ポケットベル)
「第1世代」			*利便性・効率化、コードレス化	「ビジネスの利便性文化の確立」
1996~	パーソナル用	*個人(若者)、	*若者が利用を促進(自分専用)	*ビジネス・生活・遊びが変わる
1999		*通話、データ	*いつも誰かといっしょにいたい	*携帯文字・シンボルが生まれる
「第2世代」			*携帯がより小さく、より軽く、安く	「人間本質の“友文化”の確立」
2000~	高度利用	*誰でも、	*パーソナル化・多様化	*携帯エンターテインメント
第3世代		*マルチメディア化	*IT革命・インターネット全盛	*位置情報(安全・安心・迷惑)
		*高齢化・少子化	*充実する非音声サービス	*モバイルオフィス:銀行・コンビニ
		*グローバル化	*災害・遠隔医療・在宅介護支援	「安全・安心なパーソナル文化の確立」

ユビキタ

要望: *パーソナル化(一人1台) *多様化 *モビリティの拡大 *ユビキタス

(3) 携帯電話の多機能化^{7.8}

携帯電話は多機能化され、電話、時計、手帳(アドレス帖、カレンダー、メモ帳)、辞書(国語、英和、和英)、インターネット接続、ボイスレコーダ、音楽プレーヤ、カメラ、ゲーム、GPS受信機、電子マネー、クレジットカード、鍵、定期券、赤外線リモコン、ラジオ、テレビ等の多くの機能が小さな箱の中に入っている。具体的には

- 1) 折りたたみ型が一般的となる。メモリーカードが使える。
- 2) デジタルカメラの高性能化(300万画素以上、又は200万画素2倍光学ズーム)
- 3) 通信料割引率の競争:パケット通信料金の定額制機種種の出現
- 4) ヒンジを2つの可動部を持った「回転2軸ヒンジ」のデジタルカメラに光学ズーム機能が付く
- 5) 多機能化
 - *地上波テレビが見られる
 - *AM、FMラジオが聞ける
 - *テレビ電話が出来る
 - *ドラゴンクエスト・ファイナルファンタジーなどの有名コンピュータゲームなどが組み込まれている
 - *自動的に着信履歴等をデータベース化する
 - *動画(ムービー)が撮影できる
 - *高機能化に対して高齢者・学童向けにシンプル機能
 - *ビジネス向けモデル等の出現・個人情報等の対策で記憶データの漏洩防止に指紋認証
 - *GPSによるナビゲーション
 - *歩数計機能の搭載
 - *電子マネー機能の搭載 Felica
 - *SamsungによるHDD搭載携帯電話
 - *骨伝導スピーカ
 - *赤外線送受信・ブルートゥース等

(4) 携帯の多機能化が進化した理由と系統化

*携帯文化の確立につれ種々な携帯の技術開発が推進されてきた。

*1999年のデジタル化された携帯電話とインターネットの融合で、「モバイルコンピューティング」の実現で、いつでもどこでもサービスを楽しむようになった。

*市場ニーズと携帯電話事業者・メーカーの企画で、多機能が導入された。インターネット接続後の応用機能が急速に増大した(表7.5)。

最後に多機能の発展系統化を考察した(図7.8)。

表7.5 携帯電話の多機能の導入年

機能	導入年	機能	導入年
電子電話帳	1991	GPS受信機	2003
時計	1992	ラジオ	2003
着メロ(着信音)	1996	アナログテレビ	2003
ボイスレコーダ	1997	歩数計機能	2003
ショートメール	1997	バーコードリーダ	2003
電卓	1998	高齢者(簡単機能)	2004
音声認識	1998	鍵	2004
スケジュール	1999	辞書	2004
インターネット接続	1999	電子マネー-Felica	2004
カラーLCD	1999	ブルートゥース	2004
TV電話	1999	電子ブック	2004
着信音ダウンロード	2000	音楽プレーヤ	2005
カメラ	2000	PDF対応	2005
着信履歴	2000	プッシュトーク	2005
バイプレータ	2001	音声認識(携帯)	2006
着うた	2002	HDD	2006
クレジットカード	2002	定期券	2006
赤外線リモコン	2002	地上デジタルテレビ	2006
動画(ムービー)	2003	番号ポータビリティ	2006

7.4 携帯電話の日本オリジナル技術の強みと弱み

携帯電話の日本オリジナル技術の強みは、特にインターネット接続携帯やカメラ付携帯のほかに、高密度実装技術、ポリマー電池、リチウムイオン電池、積層チップセラミックコンデンサ、極うす基板、カラー液晶のバックライト用白色発光ダイオード、デジタルカメラ等である(図7.9)。

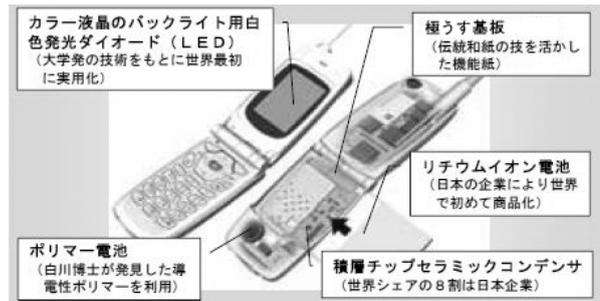


図7.9 携帯電話の日本オリジナル技術の強み⁹⁾

1) 高密度実装技術

小型・軽量・低消費電力化の高密度実装の携帯電話機が多数製品化されている。

2) ポリマー電池¹⁰⁾

ポリマー(プラスチック)に電気が通るといふ白川博士の発見は、情報機器の材料を一新し、このように大きなブレイクスルーを生みはじめている。

3) リチウムイオン電池¹¹⁾

旭化成の吉野彰氏が世界で初めて平成2年に商品化。1991年に日本企業であるソニー・エナジー・テックが世界で初めて量産化に成功した。リチウム電池の携帯用は、日本企業が世界のシェア100%である。

4) 積層チップセラミックコンデンサ⁹⁾

電子回路を構成するために必須な積層チップセラミックコンデンサ市場では日本のメーカーが世界市場の80%を占め、そのうちの一家である京セラは日本の伝統工芸品京都清水焼をルーツとしている。

5) 極うす基板(伝統和紙の技を活かした機能紙)

折りたたみ携帯電話の2つのパーツはフレキシブルな基板でつながれている。この極うすな基板の製造には日本の伝統的な和紙の紙漉の技術が応用され、基板上に巡らされた銅の配線は江戸時代から伝わる金箔を作る日本の伝統技術が使われ、1700年創業の福田金属箔粉工業株式会社が1956年に世界ではじめて銅箔の生

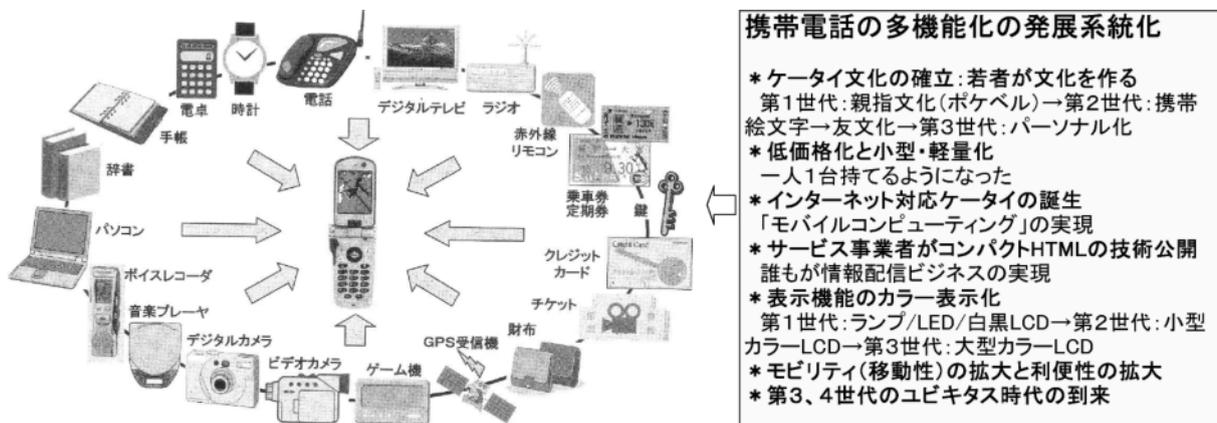


図7.8 携帯電話の多機能化の発展系統化⁹⁾

産を実用化した。日本のメーカー5社で世界市場の50%のシェアを持っており、特に、携帯電話やノートパソコンなどの極うす高規格品はほとんど日本メーカーの独占市場となっている。

6) カラー液晶のバックライト用白色発光ダイオード(LED) (大学発の技術をもとに世界最初に実用化)

1985年にシャープによってカラー液晶が初めて商品化され現在の携帯電話のほとんどに搭載されている。また、自分で光を発することのできない液晶画面を見やすくするためにバックライトとして発光ダイオードが多く利用されている。この発光ダイオードも日本が世界をリードする技術で、現在においても発光ダイオード生産の世界占有率は日本企業が上位を占めている。

7) デジタルカメラデバイス¹²

デジカメの性能を決定するのはレンズ、電荷結合素子(CCD)、絵作り用アルゴリズム(プログラムの構造)の三要素だ。これらの水準を高めてバランスよく配置すれば美しい写真が撮れる。この際に多様な経験を持つ技術者の感性が必要になるが、日本は人材が豊富だ。従来型のカメラの技術も世界最高水準だったためだ。日本の消費者の画質に対する要求水準は高く、これがイノベーション(技術革新)を促した。最近の携帯電話のカメラでは低消費電力のCMOSが多く使われている。ワンチップに集積するには高度なノウハウが必要となる。世界シェアの100%が日本製である。

一方弱みは、

1) 日本だけの携帯電話

NTTが開発した第二世代のデジタル携帯電話は周波数有効利用では世界一の技術であったが、日本独自のため世界の標準にならなかった。現在、欧州標準化のデジタル携帯電話のGSM方式が世界の70%以上の人々に使用されている。その反省の結果、第3世代の標準規格策定では世界の国々と一緒に推進して、多数の提案をしてリーディング国として貢献している。

2) CDMA技術開発の遅れ

日本は技術開発で遅れた。一方1980年代後半に、米国のクアルコム社や欧州のエリクソン社は、CDMAを使った携帯電話システムと、それを支える半導体・端末機・基地局・テストシステム等の総合的な開発に着手し、多数の特許を出し現在、半導体や方式で大きな収益を得ている。

3) 高機能・多機能化や円高・人件費アップで高価端末

日本の端末機は高機能・多機能化に特化したため円高・人件費アップで高価となった。人件費はアメリカと比較して技術者の平均賃金は約2倍になった。世界中で簡単に廉価を望んでいるユーザが多数いる。世界

シェアの高いノキア、モトローラ、現代などは多機種、大量生産にて価格低減策でシェア拡大を狙っている。

4) 日本の強みが弱みへ転化¹³

日本の携帯電話業界の生産方式は「クローズド戦略のもとで、フルライン化、部品の擦り合わせ化」をして成長してきた。近年、この強みが、弱みに転化している。

一方欧米企業は「製品オープン戦略のもとでモジュール化」した。モジュール化により、部品の組み合わせで製品が出来る。複雑な各部品の擦り合わせがいらない。

日本はサービス事業者主導の仕様による開発と販売のため、海外の商品・販売戦略が中途半端で世界シェアが取れず、量産効果がでないなどの弱みになっているが、第三世代の携帯で「擦り合わせ化技術」で貢献できることを期待したい(図7.10)。

	R&D	部品	組み立て	販売
クローズド戦略(日本)	*サービス事業者の仕様 *中途半端な商品戦略 *フルライン化/高品質	*部品メーカーと共同開発 *擦り合わせ化	*高コスト *設備投資 *海外移転	*サービス事業者
日本の強みが弱みへ転化				
オープン戦略(米・欧)	*先行開発(例:CDMA) *大量・廉価商品戦略 *特許防衛	*部品メーカーに依存 *電子商取引で調達 *モジュール化	*受託生産 *専門会社 *外部発注	*電子小売 *販売会社制
機動的な商品開発/低コストで効率的な生産/資本の節約				

図7.10 日本企業の携帯電話の強みが弱みに転化

参考資料

- 1 森島光紀：「動く電話」、C&C文庫、日本電気文化センター、1991年5月27日第2版
- 2 伊藤謙司：「表面実装技術読本」、日刊工業新聞、1993.6.10第1版
- 3 NEC EL ELECTRONICS パッケージ基礎
- 4 総務省、情報通信技術に関する研究開発、各種技術の動向、二次電池、小型化技術、平成14年 諮問6号
- 5 モバイル機器の節電技術、独立行政法人 工業所有権情報HP、特許流通促進事業
- 6 中村：「快適な暮らし」、電子情報通信学会 会誌 2003年1月 Vol.86 No.1 pp.12-16
- 7 携帯電話、フリー百科事典(Wikipedia)
- 8 「携帯電話の不思議」、パナソニックモバイルコミュニケーションズ(株)、(株)SCC
- 9 科学技術白書、文部科学省、平成17年版
- 10 ポリマー電池：社団法人日本化学工業協会
- 11 吉野彰：「リチウムイオン電池物語」、シーエムシー出版
- 12 デジタルカメラ、日本経済新聞「経済教室」基礎コース、経済産業研究所
- 13 松田：「情報家電産業の再生とリバイバル戦略」、JMR生活総合研究所

表7.2 自動車・携帯電話端末機の技術変遷

項目	無線の黎明期	第一世代(1948-)	第一世代(1979-)	第一世代(1985-)	第二世代(1993-)	第三世代(2001-)
方式名		大ゾーン方式	自動車電話方式	大容量化方式	PDC/cdmaOne	W-CDMA/cdma2000
伝送方式		アナログ方式	アナログ方式	アナログ方式	デジタル方式	マルチメディア化インターネット方式
無線ゾーン	モールス・アナログ数km~数100km	大ゾーン(半径20km以上)	中ゾーン(半径3~20km)	小ゾーン(半径1~3km)	小ゾーン(半径1~3km)	マイクロゾーン(半径1km以下)
周波数帯	<1MHz,長中短波	30/60/150/400 MHz	250/800 MHz	800MHz	800MHz, 1.5GHz	2GHz, 800MHz, 1.5GHz
狭帯域化	x	50/25kHz	25kHz	12.5kHz(6.25インタリーブ)	25kHzインタリーブ3ch/1.25MHz	5MHz/1.25MHz
チャネル数	1	1/16/16/32	600	1200	4000/(スベクトラム拡散)	(スベクトラム拡散)
変復調方式	AM	FM	FM	FM	$\pi/4$ シフトQPSK/QPSK	上りBPSK, 下りQPSK
アクセス方式	x	シングル/マルチチャネル	マルチチャネル	マルチチャネル	TDMA/DS-CDMA	DS-CDMA/MC-CDMA
変調器	火花発信	FM/PM変調、通倍	FM(共振器VCO)	FM(共振器VCO)	デジタル直交変調器	デジタル直交変調器
電力増幅	x	x	Si-Bipolar	GaAs-FET	GaAs-FET線形増幅	GaAs-FET線形増幅
受信機	鉱石検波	2重/1重スーパーヘテロダイン	1重スーパーヘテロダイン	1重スーパーヘテロダイン	ACT-LSI復調器/直交復調	直交復調、低雑音増幅
発信機	火花発信	水晶発信器	150MHz通倍形PLL	800MHz直交形PLL	小型低消費電力直交形PLL	高速切替シンセサイザ
音声符号化	x	x	x	x	VSELP(11.2kbps)/EVRC(9.6kbps)	AMR(1.95~12.2kbps)/EVRC(9.6kbps)
デバイス	鉱石・コイル	真空管・トランジスタ・IC	トランジスタ・IC	LSI・IC・トランジスタ	MMIC・VLSI,小型フィルタ	MMIC・VLSI,小型フィルタ
回路動作電圧	AC/DC	AC200V, 12~6V	12V	5V	3V	2~3V
プリント基盤	端子へからげ配線	1層	2層	6層	多層	多層
ハンドオフ	x	x	周波数切り替え	周波数切り替え	周波数切り替え/ソフトハンドオフ	ソフトハンドオフ
調整方法	手動調整	手動調整	手動調整	自動調整・一部手動	自動調整	自動調整
表示器	ランプ	ランプ	ランプ/LED	LCD白黒(STN)	1.6インチLCDカラー化(TFT, STN)	2.2LCDカラー化(TFT, STN) 有機EL
電話機	電話機分離	電話機分離	電話機分離	電話機分離・本体と一体	本体と一体	本体と一体
制御CPU	x	4bit	4/8bit	8bit	16bit	32bit
制御ソフトウエア			ストアードプログラム	C言語, C++言語	Java, C言語, C++言語	Java, Linux, Symbian, Micro-ITRON
アンテナ	電線	スループ型	トランクグリット	板状逆F+1/2λホイツ	モジュール化	モジュール化
通話/待受電流	x	x	50W/16W	4.2W/0.3W	60分/30時間	140分/350時間
電池	発電機	DC-DCコンバータ/車の電池	車の電池	NiCd	NiMH/Li-ion/Polymer	Li-ion/Polymer
端末機の形状	可搬搬固定型	車載型	車載型	可搬型・携帯型	携帯型(カメラ)	パーソナル化(カメラ, TV)
実装技術	金属シャーシ	リード部品	表面・リード部品混載	表面実装、チップ部品(2125)	超小型チップ部品(1608/1005)	モジュール化、超小型チップ(0603)
端末空中線電力	数100W~数kW	25/10/5W	5~1W	1W	0.8W以下	0.25W以下
容積・重量	40kg以上	21kcc, 11kg(TZ41)	6,600cc, 7kg(TZ801)	1,500cc, 3kg(100型)	150cc, 230g(ムーバ)	約100cc, 約100g
データ速度	x	x	300bps	2,400bps	9.6x3/64kbps	384kbps/2.4Mbps
交換機・基地局	x	手動/自動交換	自動交換	自動交換	自動交換	自動交換
統合化	x	x	x	x	インターネット接続・カメラ・位置情報	テレビ・LAN・IP電話

注: AM:Amplitude Modulation(振幅変調), FM:Frequency Modulation(周波数変調), QPSK:Quadrature Phase Shift Keying(4位相偏移変調), BPSK:Binary Phase-Shift Keying(2位相偏移変調)
 TDMA:Time Division Multiple Access (時分割多重アクセス), DS-CDMA:Direct Spread CDMA, MC-CDMA:Multi-carrier CDMA, CDMA:Code Division Multiple Access(符号分割多重アクセス)
 VCO:Voltage-Controlled Oscillator (電圧制御発振器), Si-Bipolar:シリコンバイポーラ, GaAs-FET:Gallium Arsenide Field-Effect Transistor (ガリウムヒ素電界効果トランジスタ)
 ACT-LSI:Adaptive Carrier Tracking LSI, PLL:Phase-Locked Loop (位相ロックループ), MMIC: Monolithic Microwave IC
 VSELP: Vector Sum Excited Linear Predictive(ベクトル和励起線形予測), EVRC:Enhanced Variable Rate Codec, AMR:Adaptive Multi Rate,EVRC:Enhanced Variable Rate Codec

図7.5 自動車・携帯電話機の小型化・軽量化の経緯 (NTTドコモ・モトローラ)

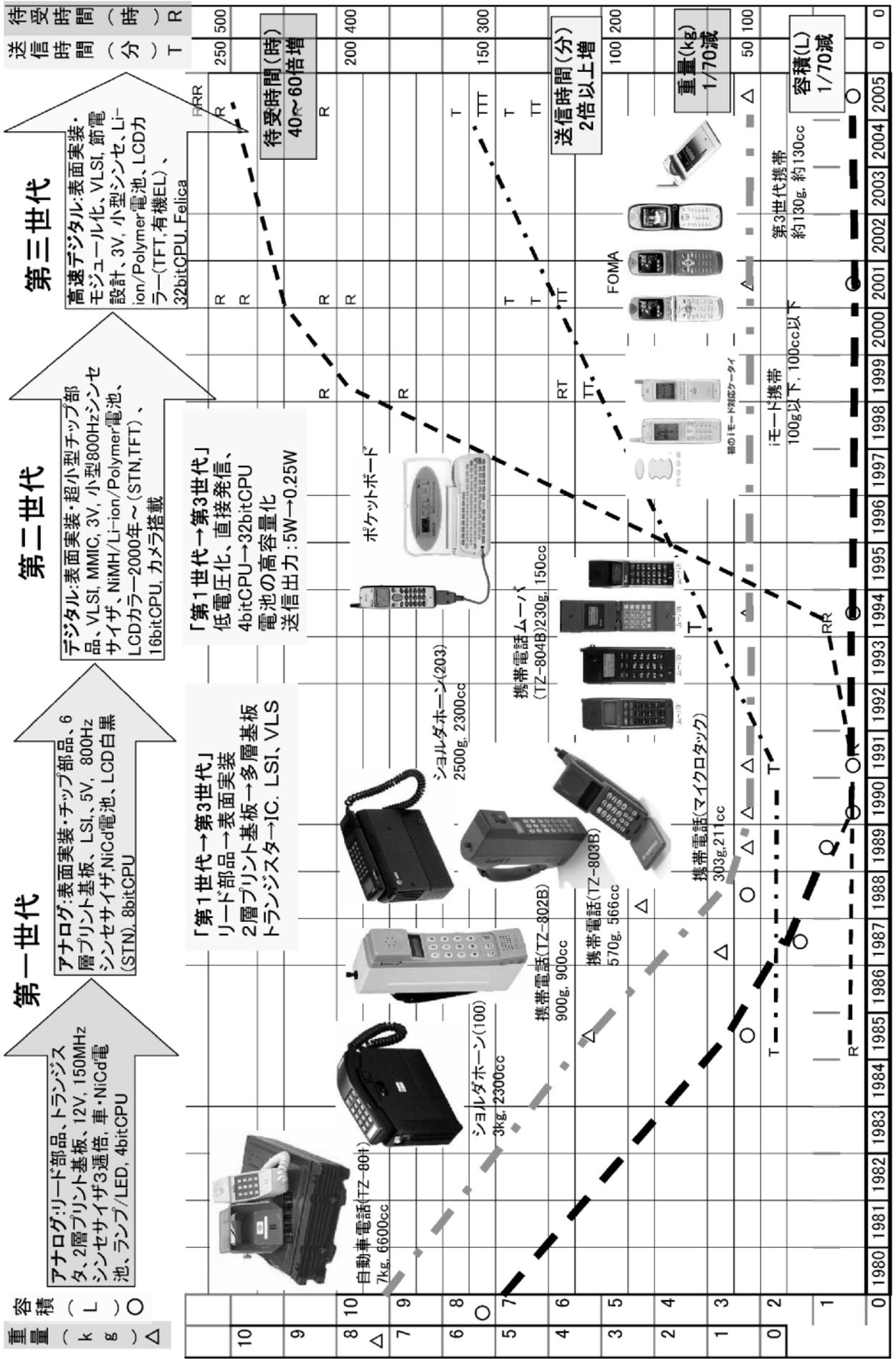


図7.6 移動通信機器の実装技術と主要部品の推移

項目 (方式名)→	第一世代(1948-) (大ゾーン方式)	第一世代(1979-) (自動車電話方式)	第一世代(1985-) (大容量化方式)	第二世代(1993-) (PDC/cdmaOne方式)	第三世代(2001-) (W-CDMA/cdma2000)
社会的背景	無線の黎明期 (モース信号)	第一世代(1979-) (自動車電話方式)	第一世代(1985-) (大容量化方式)	第二世代(1993-) (PDC/cdmaOne方式)	第三世代(2001-) (W-CDMA/cdma2000)
実装の合理化	第二次世界大戦 手作業・単品生産	パソコン、CD/軽薄短小 点の合理化	バブル景気/通信の自由化 線の合理化	インターネット/多機能 面の合理化	IT化/デジタル化 立体的の合理化
実装の形態	ワイヤを用い端子 盤と半田付	自動挿入、表面部品を基板に装着後、半田フロー・リフロー→	自動挿入、表面部品を基板に装着後、半田フロー・リフロー→	自動挿入、表面部品を基板に装着後、半田フロー・リフロー→	自動挿入、表面部品を基板に装着後、半田フロー・リフロー→
実装機	コンペヤライン	アキシャル部品挿入機 チップ部品挿入機	ラジアル部品挿入機 異型部品挿入機	ロボット CAD/CAE	VLSI
能動部品 (IC, LSI, VLSI)	真空管、トランジスタ	IC	LSI	VLSI	VLSI
能動部品の構造 (IC, LSI, VLSI)	真空管ソケット (GT, MT)→ TO型(トランジスタ)	DIP(Dual Inline Package) SIP(Singl Inline Package)	SOP(Small Outline Package) QFP(Quad Flat Package)	CSP(Chip Size Package) TSOP(Thin SOP) TCP(Tape Carrier CSP)	MCM(Multi Chip Module) (スタックドCSP) (多層積層3次元SIP) μ BGA
ピンピッチ間隔 (IC, LSI, VLSI)	3mm程度	DIP:2.54~1.78mm SIP:2.54~1.27mm PGA:2.54mm	SOP:1.27~0.5mm QFP:1~0.4mm	CSP:1.0~0.4mm TSOP:1.27~0.5mm BGA:1.5~1.0mm	スタッドCSP:1.0~0.4mm μ BGA:1.5~0.65mm
受動部品	大型部品 リード付部品	ラジアル部品	チップ部品	モジュール化 チップ部品	モジュール化 チップ部品
チップ部品の小型化	x	3216 3.2±0.2 1.6±0.2	2125/2012/1608 1.6±0.1 0.8±0.2	1608/1005 1.0±0.05 0.5±0.05	1005/0603 0.6±0.03 0.3±0.03
搭載間隔の縮小 配線基板	1mm	0.8mm	0.5mm	0.3mm	0.2mm
	端子間からげ	片面プリント基板 端子間からげ	多層プリント基板 フレキシブル基板	ビルトアップ多層基板 フレキシブル基板	ビルトアップ多層基板 フレキシブル基板

8 今後の課題と考察

携帯電話は国民の1人に約1台まで普及したが、普及につれて、さまざまな社会問題も引き起こしている。世界のリーディング国として、「ユビキタス移動通信時代」を推進するための将来の課題と考察を示す。

8.1 携帯電話の課題

(1) 携帯中毒：いつでも、どこでも、誰かと繋がる事が出来る。そんな便利さの反面、寂しい時に手軽に心の隙間を埋めてくれる携帯に依存する人が増えている。「携帯がないとイライラする」「電波が圏外のところに行くと、体の調子が悪くなる」「バッテリーが減ってくると、ドキドキする」という症状。

(2) 迷惑メール・電話：架空請求メールやチェーンメールなど、いわゆる迷惑メール（スパム）の問題、出会い系サイトがらみの犯罪など、いわゆる振り込め詐欺や090金融など犯罪行為へのプリペイド携帯電話の悪用の増加。

*携帯サービス会社各社は迷惑メール対策はメール送信数を1日あたり何通までと制限したり、「Cメール安心ブロック機能」対策を実施している。

*NTTドコモは2005年3月にプリペイド携帯電話の新規販売を中止した。他事業者も本人確認書類の原本の提出などで悪用を防止している。

(3) 運転中の事故：自動車の運転中に通話（特に着信への応答操作）することで注意力が低下し、事故の原因の一つと指摘されている。

1999年11月改正の道路交通法で運転中に携帯電話を使用し事故を起こした場合の罰則事項が追加されたが、それでも改善の目処が立たなかったため、2004年6月成立・同11月施行の改正法により、無条件で罰則対象となり、運転者は停車中だけしか使ってはならなくなった。どうしても通話が必要時はハンズフリー使用等が出来るが、注意力が低減されるとの論文も発表されているので極力運転に集中するのが望ましい。

(4) 電磁波：基地局・携帯端末双方のアンテナから発せられる電磁波の人体への悪影響が心配されている。特に頭部に接して使用するために、脳腫瘍の発生を警告する意見もあり、世界中で研究されている。日本でも1990（平成2）年に「電波防護指針」が作成され、人体に影響を与えない電波の強さの基準値を携帯電話では局所比吸収率「SAR」が2W/kgの許容値を超えないことと定められている。この許容値は国際的な

イドラインと同じ値である。

2000（平成12）年に携帯電話端末のSAR測定法も制定されて安全な利用が推進されている。

(5) 対電子機器：心臓ペースメーカなどの医療用電子機器に近接させた場合、それらの動作に影響を与える可能性が指摘されている。

総務省では、2000（平成12）年度から電波の医用機器への影響に関する調査を実施している。平成16年度に実施した結果、「携帯電話端末を埋込み型心臓ペースメーカ装着部位から22cm程度以上離すこと」などとした現行指針「医用電気機器への電波の影響を防止するための携帯電話端末等の使用に関する指針」（平成9年3月、不要電波問題対策協議会（現電波環境協議会）は妥当であると発表した。携帯電話を首にかけたリ、胸のポケットに入れ持ち運ぶことは避けるべきだとしている。

上記の電磁波に関しては、今後とも官・学・産業界の研究・開発の推進と正確な情報発信が重要である。

(6) マナー：本来静粛が求められる場所での、着信音や通話による問題。関東の17の鉄道事業者は、2003年9月から車両内での携帯電話の使用方法を統一した。電車内で（お年寄りや身体障害者、妊婦、乳児連れの母親等の）優先席付近では電源を切り、それ以外はマナーモードに設定して通話は禁止としている。携帯電話のマナー対策として、電機・通信関連企業でつくる「情報通信ネットワーク産業協会（CIAJ）」は、電車や病院内で自動的に携帯電話の電源が切れるシステムなどの検討を2005年10月に始めると発表した。

(7) 盗んだ携帯電話の暗証番号を解読：キャッシュカードやクレジットカードで現金の引き出しを行った事件。携帯にある個人電話番号をサービス会社のサーバに残し個人情報を保護する方式を検討している。

(8) デジタルカメラによる盗み取り万引きの問題：等などがある。

8.2 携帯電話の将来の開発課題

(1) 新規業者のサービス提供で利便性の拡大

総務省は、携帯電話事業向けに、新たに1.7GHz帯、および2GHz帯を既存キャリアと新規参入希望者に割り当ててを示した。早ければ2007年にも新規業者のサービス提供が始まる。1.7GHz帯ではソフトバンクの「BBモバイル」、非対称デジタル加入者線（ADSL）

大手のイー・アクセスの「イーモバイル」の新規2社とNTTドコモ、ボーダフォンの既存2社が、2GHz帯の第三代携帯では通信ベンチャーの「アイピーモバイル」が名乗りを上げている。

(2) 携帯電話の番号ポータビリティの導入¹

番号ポータビリティは、A社のユーザがB社へ移行した場合、それまで使用していた携帯電話番号をB社移行後も継続して利用できるようにするもので、海外では同制度を提供している国が増えつつあり、今回公開された総務省の報告書は、海外での利用動向や、導入による社会便益の予想などが盛り込まれ、「番号ポータビリティは、2006年度にもスタートさせるべき」という結論でまとめられている。

*諸外国の導入状況：欧州各国は、EU指令に基づき1999年頃から導入が進んでいる。米国でも、事業者が必要を疑問視して訴訟を起こすなどのトラブルもあったが、2003年11月に導入されている。アジアでは、シンガポール、香港などが導入している。

今後変更時の手数料金、技術的課題の検討が必要であるが、ユーザが選択する時代になる。

(3) 第四世代移動通信システム

第四世代移動通信システムとは、アナログ方式の自動車・携帯電話（第一世代）、デジタル方式の携帯電話（第二世代）、IMT-2000（第三世代）に続く移動通信システムで、2010年の実現を目指している移動通信システムである。このシステムでは、光ファイバー並みの100Mbit/sの高速データ伝送が可能（第二世代の1万倍、第三世代の50倍）で、また、高速移動中でも高画質の動画を送受信することが可能となる。さらに、高速移動無線アクセスシステムなど、他の移動通信システムと相互に連携することで、どのような利用環境でも個々のシステムを意識することなく、自在に端末を利用することが可能となる（図8.1）。

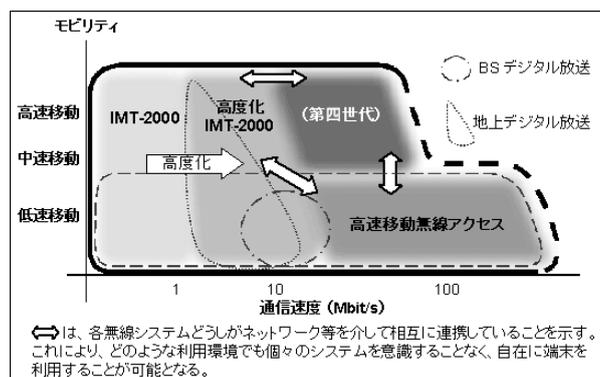


図8.1 第四世代の位置づけ²

(4) 800MHz帯携帯電話の周波数移行で需要拡大

*総務省方針：2012年から800MHz帯は上下（基地局⇔端末、国際基準に合わせる）逆転し、送受信間隔45MHzへ変更、既存のPDC方式（DoPa含む）からIMT-2000（FOMA及びCDMA2000）へ変更する。

*既存のPDC方式（DoPa含む）は使用出来なくなるので将来変更が必要。

*PDCからFOMAへの移行はユーザの選択によるので、膨大な作業が発生するので時期は不確定。サービス事業者の方針による。

(5) モバイル技術の波及効果

ユビキタス、マルチユース、ユーザオリエンテッドをキーワードに、種々な関連商品が考えられ、サービスコンテンツも高度化、多様化して関連波及市場が広がるだろう（図8.2）。

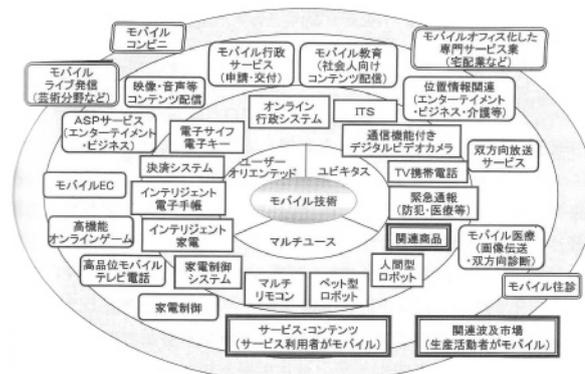


図8.2 モバイル技術の波及効果³

(6) 緊急通報

総務省は2007年4月から発売される全ての3G携帯電話にGPS受信などの位置情報機能を搭載することを義務付けると発表した。119番に電話すれば住所を言わなくても救急車が駆けつけるようになるだろう。

(7) 歩行者支援

国土交通省では、RFタグと携帯電話との連携にて歩行者支援の実験を進めている。歩道、交差点、交通機関、住所表示板などへRFタグを設置し、携帯でRFタグを読み取り歩行者へ関連情報を音声、振動、画像などに変換して歩行者に伝える。

(8) 車が情報ステーションに

カーナビと携帯が連携した情報サービス、ITSの利用、デジタルテレビ放送の利用など、車が情報ステーションになるだろう。

(9) 形状も多様化、ウェアラブル化

携帯の機能にあわせて形状も多様化するであろう。またネックレス型、時計型、身につけるウェアラブルケータイも実現するだろう。

(10) ユニバーサル携帯電話⁴

固定通信に先駆け携帯を普及させている国が急増している。携帯が開発途上国で受け入れやすくなった背景には、建設の容易さとコストの低減がある。

(11) 翻訳携帯電話⁴

自分が日本語で話すとネットワークで翻訳し、相手はその国の言語で聞くことができる。相手からの言語は携帯で日本語で聞くことができる日も近いだろう。

また、人間の五感を補助する安全・安心なシームレス携帯電話が実現するだろう。

(2) 新たなアプリケーションやコンテンツビジネスで更なる付加価値を高め、ユーザの要求にこたえる。

1) 陸上公衆通信通だけでなく、ITS（高度道路交通システム）利用の道路交通、鉄道、海上、航空や放送を含めた全システムの融合化を図る。

2) 災害、防犯、過疎地、少子高齢化社会、環境保全を支援する通信の確立。

(3) 世界基準を定め、国際電気通信連合（ITU）、3GPP（3rd Generation Partnership Project）、3GPP2（3rd Generation Partnership Project2）、国際標準化機構（ISO）、モバイル通信のサービスやアプリケーションの標準化のOMA（Open Mobile Alliance）へ提案し、世界の標準規格の推進に更に貢献する（世界共通の第四世代移動通信システム等）⁵。

(4) 官（国と地方公共団体の連携）・民間（国民・利用者）・産業界・学会大学の協調と競争を推進する。

8.3 考察

1979年に自動車電話としてスタートし、1999年までの20年間は小型・軽量の携帯電話、現在までインターネット接続の多機能携帯電話として進化してきた。

今後のユビキタス社会におけるケータイを実現するための課題を考察する。

前項課題の解決の他、次の推進が必要である。

(1) 誰でも使用できる制約のない人間性重視、使いやすく、安全・安心な「わがままなユビキタス通信端末」の開発推進。部品さえ集めれば同じような製品が作れるデジタル時代に「歴史のあるアナログとデジタル技術」（人間と端末機器のインターフェースは全てアナログである）をも融合した製品の開発が重要である。

人と人から、人とモノ、モノとモノの通信と情報の共有の推進が期待される。

参考資料

- 1 情報通信ジャーナル、Vol22. No.4, 2004/4
- 2 第四世代移動通信システム、電波利用ホームページ
- 3 総務省情報通信審議会：「新世代モバイル委員会報告書」
- 4 小檜山：「ケータイ進化論」、NTT出版、2005.6.28
- 5 広瀬・他：「加速する携帯電話の進化」、三菱電機技報、pp2-6, Vol.79, No.2, 2005

9 | あとがき

1985年の通信自由化の前半の10年は新規事業者の参入などで、料金の低廉化や端末の多様化は「想定内」であった。後半の10年は、携帯電話とインターネットの爆発的な普及があり、「予想外」であった。

人間の予測能力には限界があり、長期的な創造的予測は優れた直感や暗黙知に属するのであるが、歴史に学ぶことは、未来技術の予測や評価を行う上で不可欠であろう。先人達の技術開発への情熱と意気込みを感じ取る意味でも、今回の「技術の系統化調査」は意義深いものであった。特に感銘したことを記す。

*日本の初期の無線通信は、自主技術開発中心で発展してきた。最初から欧米の技術を輸入した有線電信電話とは技術の展開が異なり、日本の無線技術は欧米諸国に劣らず、時にはしのぐもさえあった。日露戦争で活躍した国産の「36式無線電信機」、携帯電話の祖先の「TYK式無線電話の発明」等である。

*志田林三郎はマルコーニの無線通信に10年先駆けて1885年、隅田川での導電式無線実験や電気学会設立時、「無線通信の実用化、更に光通信・録音・録画等、十指にのぼるシステムの実現」を予想した。実験から3年ほどしてヘルツが電波の発生に成功し、マルコーニの無線電信機の発明の1年後の1896年には無線通信の研究が通信省の研究機関（電気試験所）で開始された。このように志田の先見性と行動力について驚嘆させられる。

*マルコーニが無線通信の発明者と呼ばれるのは、実用にまで結びつけたことと特許の取得である。

*八木・宇田アンテナの発明：日本で発表したが反響なく、米国の発表で、日本の学界では信じられないような高い評価を受けた。1926年の発明後15年して太平洋戦争時、捕獲した英軍の無線機に使用されており、押収した技術兵士のノートにYagi-Arrayを発見して、初めてその有用性に気付いたという逸話がある。

*Rカット振動子の発見：1933年、古賀逸策は水晶片が温度係数零のRカット振動子を用いた高安定の発信回路を形成することを示し、全世界を驚かせた。

*世界に先駆けて自動車電話の実用化：1969（昭和44）年、電電公社電気通信研究所（当時）は、自動車電話の開発に着手した。当初、開発の指導者らは次のような市場予測を行ったという。

- 1) 東京で10万加入、全国で100万加入を見込む。
- 2) 自動車電話機の価格は1台100万円程度となるだろう。したがって市場規模は100万円×100万台=1兆円と予測される。これだけの市場があるなら、人材と研究費を注入するに値するとして、開発に着手し10年の歳月をかけて、1979（昭和54）年、世界に先駆けて実用化したのである。現在、携帯端末の価格は約1~2万円、普及台数は約9千万台であるから1~2兆円という市場規模だけはほぼ一致している。

*携帯電話は国民の1人に約1台まで普及したが、普及につれて、さまざまな社会問題も引き起こしている。「ユビキタス移動通信時代」を推進するための将来の課題の解決の推進が重要である。

*日本は第一世代自動車電話及び第三世代携帯電話でも世界に先駆けてサービスを開始し、世界のリード国となっており、今後の世界の携帯電話の標準規格の推進に官民学の協調で更に貢献する（世界共通の第四世代移動通信システム等）ことが望まれる。

*歴史は人々の心のよりどころであり、励みでも反省材料でもあり、可能な限り詳細かつ正確に残しておくことは有意義である。技術開発の変遷の調査で、いずれにしても継続は力なりと信じ、失敗にめげず、息長く研究を続けることが大きな成果につながることや、部品さえ集めれば同じような製品が作れるデジタル時代に歴史のある「アナログ技術」（人間と端末機器のインターフェースは全てアナログである）をも融合した「わがままなユビキタス通信端末」の開発が重要である。

■ 謝辞

今回の調査では多くの方々にご協力頂いた。深く感謝する。特に次の方々からデータの提供を頂いた。

- *財団法人 三笠保存会：和田高明氏
- *財団法人 通信協会 通信総合博物館：兼子隆氏、内田康之氏、柳沢明安氏
- *NTTドコモ歴史展示スクエア：白倉富雄氏
- *（株）NTTドコモ 広報部：手塚真紀氏
- *日本電気（株）広報部、モバイルターミナル事業部：赤堀政明氏、日下部伸宗氏、日高恵美氏
- *パナソニックモバイルコミュニケーションズ（株）広報：小林順美氏
- *KDDI（株）広報部：柏原陽氏、国際通信史料館：渡部弘志氏
- *大井電気（株）総務部：鈴木康治氏
- *電気通信大学 歴史資料館：中田良平氏、田中正智氏、富澤一郎氏、宮坂武芳氏
- *警察庁 情報通信局情報通信企画課、警察大学校附属警察情報通信学校
- *日本無線（株）総務部人事部社史編集室：塚田光昭氏、PHSビジネスユニット：亀井恭正氏
- *アンリツ（株）グローバルビジネス本部 宣伝部：外島真理氏
- *NTT情報流通基盤総合研究所：渡辺孝氏、塩沼浩二氏
- *三菱電機（株）広報室：平野治政氏
- *JR東海（株）広報部
- *久里浜駐屯地 通信学校

尚参考資料として、特に「NTTドコモの10年史」および桑原守二殿の「移动通信100年」（電波新聞、2005年1～3月）を参考にしたので感謝する。

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	製作年	事業者	コメント
1	36式無線電信機	複製	記念艦みかさ	山田寿二	1903	海軍	国産初の無線電信機、日露戦争で活躍
2	TKY式無線電話	実物	通信総合博物館	安中電機製作所	1912	総務省	世界初実用化無線電話機、携帯電話の祖先
3	九二式特受信機改四	実物	陸上自衛隊久里浜駐屯地 歴史資料館	日本無線電信電話 株式会社	1947	海軍	長波・短波兼用の海軍で艦船用に広く使われた 受信機、海軍における零式戦闘機とともに名機 の一つ
4	超短波無線電話装置(PR-1)	実物	警察庁情報通信	松下通信	1950	警察庁	パトカー用に開発した国産初の30MHz帯無線電 話装置
5	送信用真空管試験機	実物	KDDI小山、国際通信史料館	国際電気通信株式会社	1950	KDD	大型送信用真空管の寿命を測定するため、小山 送信所のスタッフが自力で製作した
6	内航船舶電話(MF手動方式):S-55B形 NS-1号無線装置、Z-293B電話機、 NS-1号保安通信装置	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	安立電気株式会社	1964	NTT	手動方式で提供するもので、昭和39年11月か らサービス開始された
7	内航船舶無線電話装置 NS-1号	実物	NTT	日本無線株	1965	NTT	150MHz帯、手動交換方式、小型化の一代目
8	ポケットベルB型(RC11)	実物	通信総合博物館	松下通信、東芝	1968	NTT	150MHz帯日本初のポケットベルサービス
9	大阪万博の携帯電話	実物	NTT	NEC、東芝	1970	NTT	日本初携帯電話の出現
10	TZ41都市災害無線電話	実物	NTT	NEC	1974	NTT	400MHz帯日本初の自動車電話サービス
11	TZ801 自動車電話:本体、電話機	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	本体:松下通信、電 話機:NEC 松下通信	1980	NTT	800MHz帯日本初自動車電話機 6,600cc、7kg、 日本初シヨルダホーン 1,500cc、3kg、送信5W
12	シヨルダホーン(100型)	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC	1987	NTT	日本初携帯電話機 907cc、900g、送信1W
13	TZ802B 携帯電話	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC	1987	NTT	日本初数字や記号を最大12ケタのディスプレイ に表示
14	数字表示型ポケットベル(RC-101型)	実物	NEC	NEC	1987	NTT	世界最小・軽量アナログ携帯電話機 150cc、 230g
15	TZ804B 携帯電話(アナログ・ムーバ)	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC、松下通信、三菱 電機、富士通	1991	NTTドコモ	日本初腕時計とポケットベルを一体化
16	ポケットベル(プレシヤス:RC-381型)	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC	1992	NTTドコモ	世界最小デジタル携帯電話機(一体型、折りたた み型)
17	デジタル・ムーバ携帯電話(TZ-820型 B)	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC、松下通信、三菱 電機、富士通	1993	NTTドコモ	デジタル 約82g、インターネットEZweb
18	cdmaOne 携帯電話(C201H)「EZweb」	実物	KDDI	Hitachi	1999	KDDI	世界初のIMT2000端末機
19	第3世代携帯電話(FOMA)	実物	NTTドコモ歴史展示スクエア	NEC、松下通信	2001	NTTドコモ	約128g、149cc、最大2.4Mbps高速データ通信、質 感を追求した多面体フォルムが特徴
20	第3世代携帯電話(GDMA2000 1x) (W11K型)	実物	KDDI	京セラ	2003	KDDI	

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第6集

平成18(2006)年3月31日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト 永田 宇征、エディット 久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク

正誤表(第6集5編 移動通信端末・携帯電話技術発展の系統化調査)

年月日	箇所	誤	正
2006年3月31日	p244 表2. 1の下	「電気工学100年の歩み	「電気工学100年の歩み」
	p246 図2. 2記述部	250/380MHz帯アナロ	250/380MHz帯アナログ
	p265 写真4. 17	[マイクロタック](モトローラ)(下) ¹⁴	[マイクロタック](モトローラ)(下) ⁴
	p286 図7. 7	(携帯電話の商品)の推移 ⁶	(携帯電話の商品)の推移 ⁴