

New Technical Report

移動機・携帯機の研究開発

ムーバの開発に至る経緯と今後の展開

NTT DoCoMoの超小型携帯電話-mova-は移動機・携帯機の永年の研究開発の成果である。自動車電話の初期の開発から、ムーバならびにデジタル・ムーバに至る技術的変遷を示し、移動機・携帯機の研究開発と今後の展開について述べる。

うらべ しゅうじ むらた かずあき
 卜部 周二・室田 和昭

まえがき

NTT DoCoMoの超小型携帯電話「ムーバ」は、発売以来、好評を博し現在100万以上のお客様に御利用いただいている。世界最小・最軽量の150cc機（発売開始当時）の実現は永年の移動機・携帯機の研究開発の成果である。本稿では、そこに至る足跡を、自動車電話の研究開発の始めから概説するとともに、移動機・携帯機の研究開発の流れと今後の展開について述べる。

ムーバは携帯電話であるが、わが国における携帯電話の歴史は、昭和45年（1970年）の大阪の万国博における試行

実験に始まる。システムとしては現在でいうところの“事業所コードレス電話”で、限定された比較的狭いサービスエリアを対象とするものであり、日本全国で使える、いわゆる“携帯電話”ではなかった。日本全国をカバーする携帯電話の母体は800MHz帯を用いる自動車電話であり、以下ではその発展経緯から述べることにする。

NTTにおける自動車・携帯電話の発展の経緯

■自動車電話から携帯電話へ

現在のNTT (NTT DoCoMo) の前身である電電公社の電気通信研究所におい

て、昭和35年（1960年）から昭和42年（1967年）にかけて400MHz帯を用いる都市内システムが開発されたが、周波数割当てなどの問題から商用化には至らなかった。その後、図1に示すように、昭和45年（1970年）にスタートした研究開発により、800MHz帯の電波伝搬特性の解明、チャンネル間隔25kHzの狭帯域FM伝送、数百チャンネルの周波数シンセサイザ、D10型電子交換機、No.7共通線信号方式による移動通信交換など基礎技術が確立し、昭和51年（1976年）には、現在の主流である800MHz帯を用いる小ゾーン構成の自動車電話システムの実用化に至った。

そして、昭和54年（1979年）12月3日に東京23区において、800MHz帯を用いる小ゾーン構成の自動車電話システムが世界初の商用システムとして運用開始された。世界的にみると自動車・携帯電話サービスの導入経緯は、図2に示すとおりであるが、米国におけるAMPS (Advanced Mobile Phone Service) と称するシステムは、1977年にシカゴ地区でマーケットトライアルとして試験運用された後、1983年10月から商用サービスとして運用されている。前述のわが国における初の商用移動機はTZ-801という型名であるが、周波数800MHz帯で無線チャンネル間隔25kHzのマルチチャンネルアクセス機能を有する移動無線線として

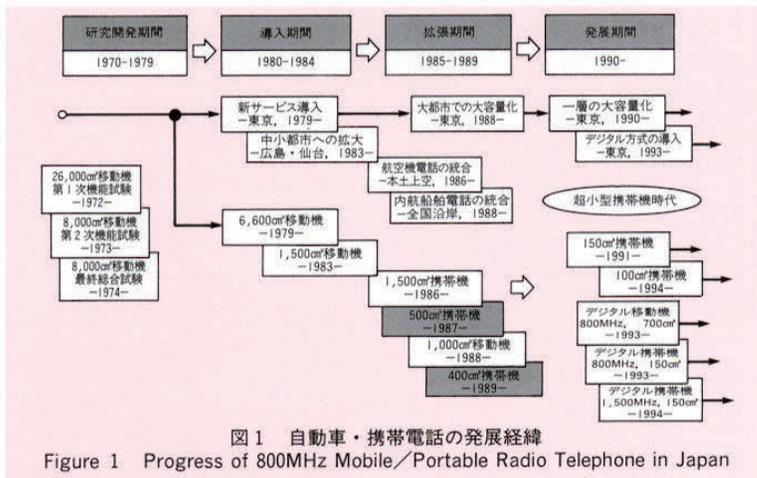


図1 自動車・携帯電話の発展経緯
 Figure 1 Progress of 800MHz Mobile/Portable Radio Telephone in Japan

New Technical Report
移動機・携帯機の研究開発

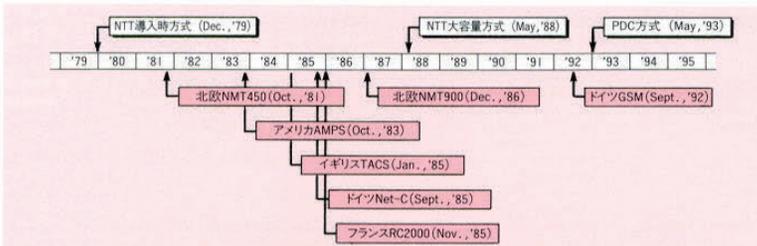


図2 自動車・携帯電話サービス導入経緯
Figure 2 Service Introduction of 800MHz Mobile/Portable Radio Telephone

当時は画期的なものであった。しかしながら、体積6,600cc、重量7kgもあるもので、車載機としても大きすぎるくらいがあった。サービスの拡充に向けて、小型・軽量化および経済化を実現すべく、改良型移動機の研究開発が進められた。その成果として、昭和57年（1982年）5月には、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に低減させたTZ-802型移動機がサービスに供された。TZ-802型移動機の研究開発は現在の超小型携帯機「ムーバ」につながる研究開発の原点と言っても過言ではない。制御部を実現するための基本技術はすでにTZ-801型移動機で確立されており、研究開発の主眼は無線部に重点を置いたものであった。そのための主要技術は以下の3点に集約される。

- ① 800MHz帯直接可変分周シンセサイザ
- ② 145MHz帯SAW-PLL-FM変調器
- ③ ハイブリッドIC化800MHz帯回路

小型・軽量化の進展により車載機ばかりでなく携帯機サービスの実現が見えてきたのがこの時期である。図3に示すように、移動機に電話機と電池とアンテナを一体化すれば、自動車電話のための基地局系インフラストラクチャをそのまま利用して全国サービスの携帯電話が実現できることとなる。一層の小型・軽量化のために、各部のIC化や回路の電力効率の改善を進め、昭和60年（1985年）9月に肩掛け式の携帯電話「ショルダーホン」（体積1,500cc、重量2.9kg：TZ-802A型）のサービスが開始された。この開発と

並行してハンドヘルド型の携帯機の開発も進められたが、電池と送信時の発熱の問題を解決する必要がある。送信出力を車載機と同じ5Wとすると電池は大型化し、送信時の発熱を逃すために無線機に放熱フィンなどが必要となる。そのため、車載時は5W、携帯時は1Wとし携帯機の利用は付加的なサービスと考えることにしたが、実際にサービス提供する段になると、携帯時に基地局側へ届く電波が弱くなるのが本質的問題として解決を図らねばならないこととなり、基地局受信系の特性改善を実施することとなった。自動車電話は、狭い路地裏やビルの壁際や家の奥で利用されることはなく、ある程度の道を基本的に基地局ゾーン構成を考えればよい。それに対して、携帯電話は人の行けるところすべてがサービスエリアの対象となるので、自動車電話サービスの提供が可能ということとは、基地局系インフラストラクチャを含めていえば同じではない。結局、基地局受信の特性改善というインフラストラ

クチャの整備を待って、昭和62年（1987年）4月に体積500cc、重量750gの携帯電話（TZ-802B型）サービスが開始された。これで、いわゆる「携帯電話」のサービスが開始されたのである。わが国における本格的な携帯電話時代の幕開けである。なお、当時の米国ではモトローラ社の「Dyna-TAC」と称する携帯機（体積600cc、重量800g程度）が代表的なものとして販売されてはいた。

■大容量システムと超小型携帯機

前述のTZ-802B型を用いた携帯電話サービスが開始された頃には、自動車電話の加入者数は全国で10万を突破し年率150%で増加していた。特に東京地区では2～3年後にはシステムの加入者容量の限界に達する勢いで伸びていたため、昭和56年（1981年）以来進めてきた大容量システムの研究開発を本格化させることとなった。その結果、昭和63年（1988年）5月の東京を皮切りに、それまで運用してきた導入時システムにオーバーレイする形で大容量システムの運用が開始された。両システムの最も大きな無線系パラメータの違いはチャンネル間隔であり、大容量システムでは導入時システムの1/4の6.25kHzとなっている。また、移動機・携帯機の中に採用された新技術には、

- (1) 検波後選択合成ダイバーシチ受信回路
- (2) 受信波基準較正形6.25kHz間隔周波数シンセサイザ（周波数安定度0.4ppm）
- (3) 音声下部帯域通話中制御信号伝送

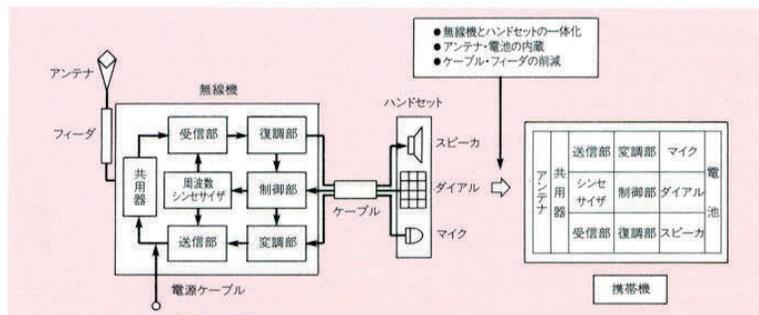


図3 移動機から携帯機へ
Figure 3 Portable Radio Telephone Unit Design from Mobile Radio Telephone Unit

- (4) 2,400bit/s高速制御信号伝送
- (5) 同一・隣接チャンネル干渉検出
- (6) 間欠受信動作
- (7) 音声スクランブル秘話（オプション）

などがある。これらに加えて、すでに全国に展開中の導入時システムの基地局にも接続動作を可能にするシステム・コンパチビリティ機能が組み込まれることとなり、結果的に携帯機の開発には多くの困難が伴った。たとえば、上記の(1)を実現するには、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り、また、上記のコンパチビリティ機能の実現には、無線機の各部の回路が両システムに適用可能なように設計するとともに接続シーケンスプログラムも共用化を図る必要があった。これらの努力を結集して開発を完了し、昭和63年（1988年）5月にショルダー形のTZ-803A型移動機が、翌年の平成元年（1989年）2月には体積400cc、重量640gのハンドヘルド形TZ-803B型携帯機が商用サービスに供されることとなった。携帯機の外形形状も無線（Radio）の象徴としての「R」をデザインしたもので、グッドデザイン賞（Gマーク）の受賞の荣誉に浴することができた。

サービスの普及とともに、より小型軽量の携帯機の出現が望まれ、後述するコンセプトと技術により、平成3年（1991年）4月に150cc超小型携帯機ムーバのサービス開始に至った。800MHz帯の自動車電話の商用サービスを開始した昭和54年（1979年）から実に約10年後のことであった。電話機・アンテナ・電池を含めて、サービス開始当初のTZ-801型車載機に比べて、大きさにして約1/40、重さにして約1/30である。図4は以上のような車載機の開発経緯を、図5はムーバを含めた携帯機の開発経緯を图示したものである。

なお、米国ではムーバ登場の約2年前の平成元年（1989年）4月に、モトローラ社により体積221cc、重量303gの携帯機「μ TAC」が開発され販売が開始されている。この携帯機はムーバに必要とされるダイバシチ受信回路や6.25kHz

間隔の高安定シンセサイザなどを搭載していないもののポケットに入る超小型携帯機としては世界最初のものであり、技術的には数多くの見習うべき点があった。

ムーバ開発の基本コンセプト

携帯機的设计条件を総合的にまとめるると図6に示すようになる。最も重要な項目は当然ながら携帯性である。携帯性を決定するのは、大きさ、重さ、形状である。大きさについては、ポケットや鞆への入れやすさ・持ちやすさ・通話時の使いやすさ・操作のしやすさなどについて考察すると、150cc以下であることが望ましい。また、送信出力を0.6~1Wとすると、送信時の発熱による温度上昇の許容値を15C以下とするには体積として150cc程度が必要となる。また、重さについては、体感重量の重要な決め手とな

る比重を極力1に近づけるようにする必要がある。使用時間は、送信30分を含めて8時間程度が基本最低条件である。これらのことを実現する技術的背景としては、効率50%以上の送信電力増幅器の適用による必要エネルギー1WH程度の送受信機の実現、間欠受信制御の適用による待受け時必要エネルギー1WH程度の受信機の実現および150Wh/lを越える高エネルギー密度2次電池の採用がある。形状は外観デザインそのものであるが、合理的な操作性の実現に関連するだけでなく人間の好みにも関係があるため、形状基本形を、図7に示すように次の3タイプとした。

- (1) Type 1：持ちやすさを追求するもの

携帯機は“手にやさしく持ちやすく”あるべきという考えを基本とするもので、手にスッポリおさまる形状（グリップ、卵など）として小ささを追求するもので

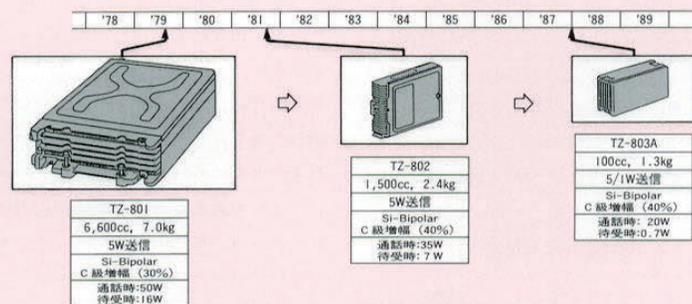


図4 車載機の開発経緯
Figure 4 Progress of 800 MHz Mobile Radio Telephone Unit

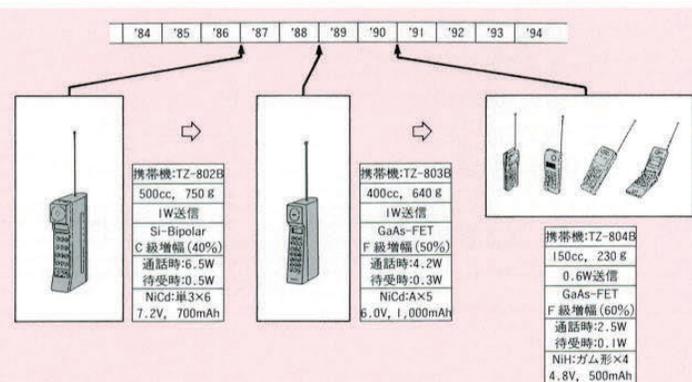


図5 携帯機の開発経緯
Figure 5 Progress of 800 MHz Portable Radio Telephone Unit

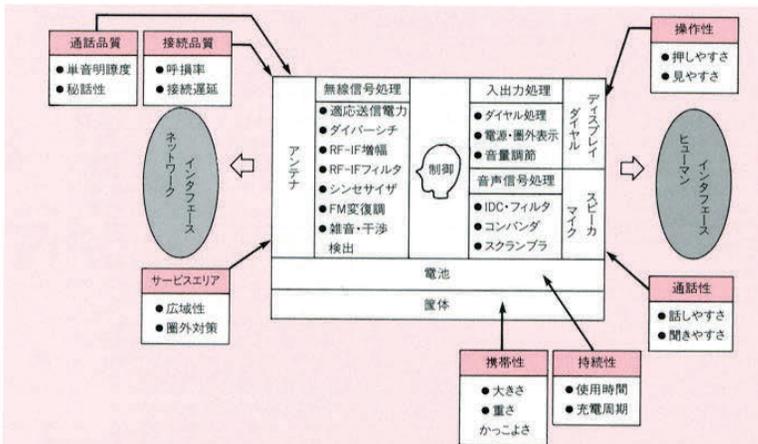


図6 携帯機的设计条件
Figure 6 Design Consideration of Portable Radio Telephone Unit

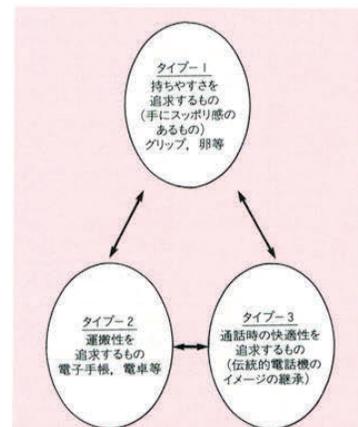


図7 超小型携帯機の外観デザイン
Figure 7 External Shape Concept of Portable Radio Telephone Unit

ある。

(2) Type 2：運搬性を追求するもの
運搬のしやすさから考えれば、鞆やポケットなどへの入れやすさは重要なポイントであり、手へのなじみよりも薄さに重点をおく形状である。体積が同じであれば断面積が増大するので操作キーや表示部を大きくできる。電子手帳や電卓の形状として薄さを追求するものである。

(3) Type 3：通話の快適性を追求するもの

通話時の安心感（伝統的電話のイメージの継承による安心感）と高通話品質を得るため、携帯電話の送話口と受話口の距離を十分にとることに重点をおく形状である。こうすると、その長さゆえに携帯性には問題が生じるため、送受話器を引き出し収納する機構とするか、部分が全体を2つ折り構造とするかが考えられる。ムーバでは2つ折り構造とすることにした。このため、厚みの点に若干の困難が生じるが、2つ折り時には従来の電話のイメージを感じさせない斬新なものとなった。

これら3つのタイプを具現化した外形デザイン例がムーバ4機種である。すなわち、ムーバP、ムーバFがType 1、ムーバDがType 2、ムーバNがType 3である。その後、Type Iに属するムーバRをはじめとして機種が多様化が進められているが、デジタルムーバおよびムーバII

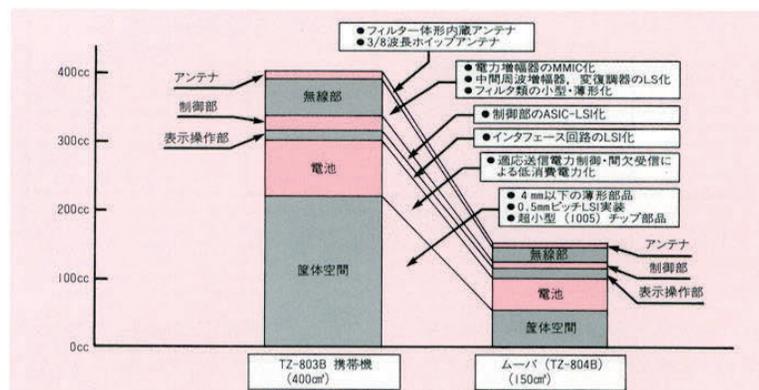


図8 150cc化のための主要技術
Figure 8 Technologies for 150cc Portable Radio Telephone Unit

のいずれの機種も上記の3タイプのいずれかが基本となっている。

ムーバを支える小型化技術

ムーバの実現にあたって適用された小型化技術は、以下のとおりである。

- ① RFフィルタ・一体形内蔵アンテナ
- ② MMIC化送信電力増幅器
- ③ 中間周波数回路、変復調回路のLSI化
- ④ 小型化フィルタ類 (SAW, チップ積層LC, 高誘電体) の適用
- ⑤ 制御部のLSI化
- ⑥ 厚さ4mm以下の薄形電子部品の適用
- ⑦ 0.5mmピッチSSOP-LSIと1005

小型チップ部品の適用

これらの技術により、各部の小型・軽量化が達成され、結果として筐体・空間も大きく減少し、図8に示すように、従来機 (TZ-803型携帯機) に比べて約1/3の大きさが実現できた。また、ムーバにおける1005超小型チップ部品の採用は携帯電子機器として全面的に採用した最初の例となった。

重さの構成内訳は図9に示すとおりである。図から明らかなように、電池部が4割にも達しており、消費電力の低減と高性能電池の適用が軽量化のキーポイントとなっている。

図10はムーバに適用された製造技術をまとめたものである。部品の小型化など製造上の困難さが増しているにもかかわらず

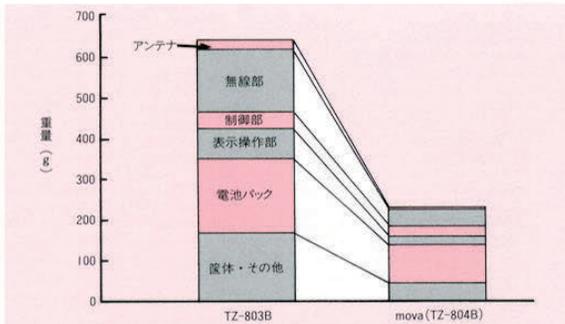


図9 超小型携帯機—mova—の重量配分
Figure 9 Weight Reduction of Portable Radio Telephone Unit

| 機種 | 400cc携帯機 (89.2商用) | 150cc携帯機 (91.4商用) | |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| 部品点数 | 約900(面実装部品:約70%) | 約400 (面実装部品:約98%) | |
| 最大部品高 | 8.0mm | 4.5mm | |
| 抵抗・コンデンサ | 1608チップ商品 (搭載技術:87年半) | 1005チップ部品 (搭載技術:90年末) | |
| LSIリードピッチ | 最小:1.0mm (搭載技術:87年半) | 最小:0.5mm (搭載技術:90年末) | |
| 自動装着率 | 約70% | 約95% | |
| 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 | マザーボード個別モジュール搭載方式 | 平面展開方式 |
| | 基板枚数 | 両面実装 マザーボード2層基板 1枚 | 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 | 平面展開方式 |
| | 基板枚数 | 両面実装 4層基板 1枚 | 片面実装 4層基板 1枚 |
| 表示操作部 | 2層フレキシ基板: 2枚, 両面実装 | 2層フレキシ基板: 1枚, 片面実装 | |
| 量産規模 | 2,000台/月 | 10,000台/月 | |

図10 150cc/230g化のための製造技術
Figure 10 Mass-production technologies for 150cc/230g



図11 送信電力増幅器の技術的進展
Figure 11 Progress of Transmitter Power Amplifier



図12 周波数シンセサイザの技術的進展
Figure 12 Progress of Frequency synthesizer

ならず、部品点数の削減、多層基板の適用、面実装部品率・自動装着率の向上などが量産効率の向上をもたらしている。

移動機・携帯機は、大きく分けると、アンテナ部、送受信部、制御部ベースバンド部、表示操作部、電池部、筐体から成る。また、これらを支える技術としては、回路設計技術、デバイス技術、実装技術、製造技術などがあるが、以下では、移動機・携帯機の世代交代を進めるうえで核となってきたデバイス技術のうちから、送信電力増幅器、周波数シンセサイザ、フィルタの3つについて、技術的進展を概観する。

送信電力増幅器の技術的進展を図11に示す。Si技術からGaAs-FETへ、さらにMMIC化され、動作電圧も車載機用の12VからNiCd 3セルあるいはLiイオン電池 1セル対応のために3Vへと低下し、効率も約60%へと改良されてきた。

局部発振器としての周波数シンセサイザの技術的進展を図12に示す。150MHz

通信型から800MHz直接発振分周へ、基地局からの高安定な受信波を基準に周波数を較正するREFRESH-AFCの採用、さらに、間欠動作作用のSPILLの導入といった進展を見ている。

フィルタ類の技術的進展を図13に示す。800MHz帯の高誘電体フィルタについては誘電率の上昇(比誘電率10から30さらには90へ)、ベースバンドフィルタについてはハイブリッドICによるCRアクティブからモノリシックIC化したスイッチトキャパシタフィルタ(SCF)へ、またIFフィルタについては通話中制御信号伝送を実現するため急峻なチャンネル選択特性を保ちつつ帯域内フィルタリング特性を振幅平坦形から遅延平坦形へ、といった技術的進展を見ている。

デジタル・ムーバの開発

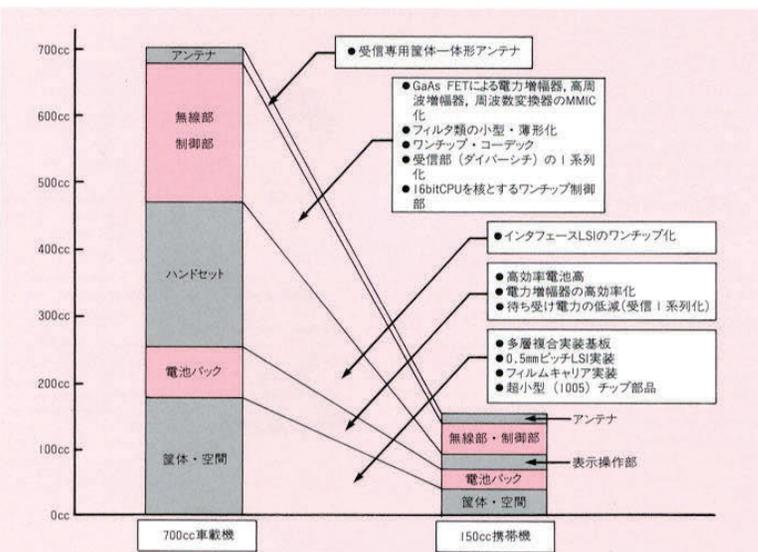
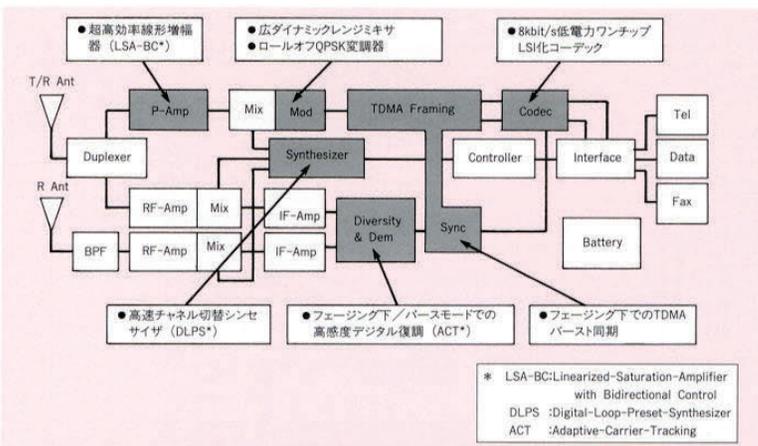
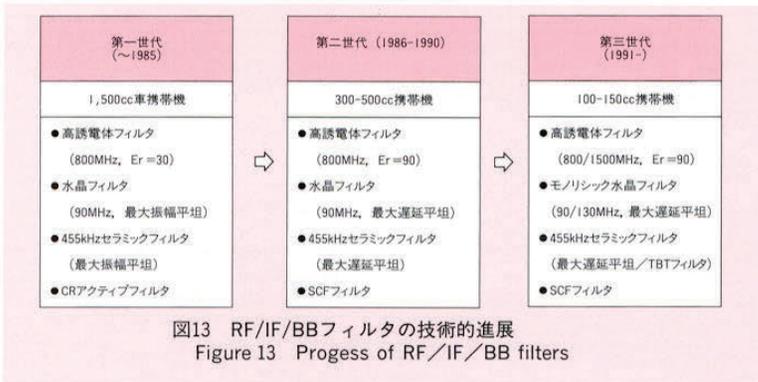
日本標準のデジタル方式自動車・携帯電話システムであるPDC(Personal Dig-

ital Cellular) システム用のデジタル・ムーバについても、前記と同様なデザイン・コンセプトにより、デジタル方式対応の携帯電話機としては、世界最小・最軽量の150cc機(サービス開始当時)の研究開発が完了し、現在サービス提供中である。研究開発のポイントを図14に、主要技術を図15に示す。

アナログ方式と大きく異なる部分は、無線回路部分のうち、

- 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 線形化電力増幅器

などである。それぞれの技術についても長期間にわたる研究開発の歴史がある。特に、デジタル移動通信システムに固有な高効率音声符号化の技術的進展を示すと図16のようになる。昭和55年(1980年)では250cc, 900Wというもので、実用的には適用不可能なものであったが、現在では、1chipで0.5W以下のレベルに達

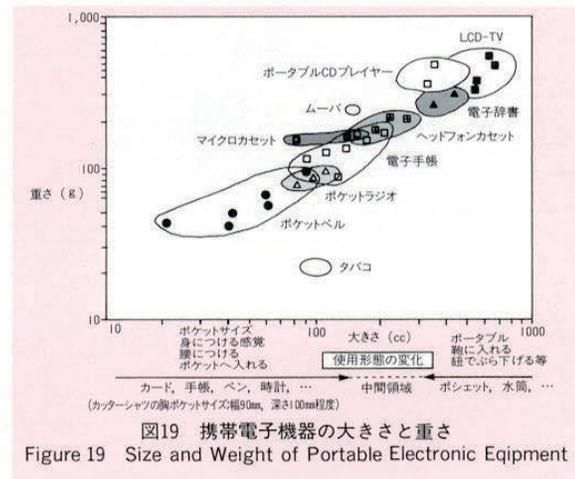
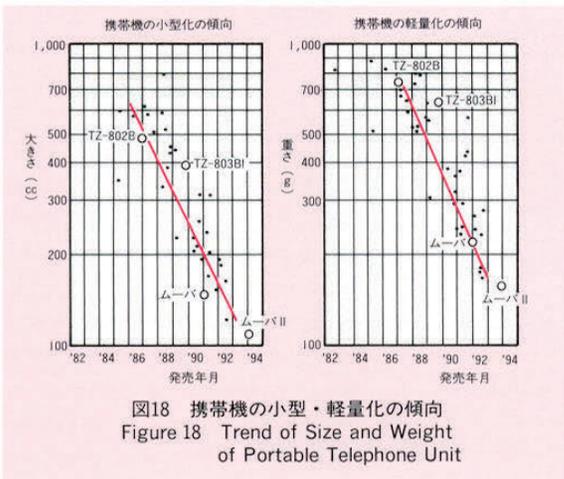
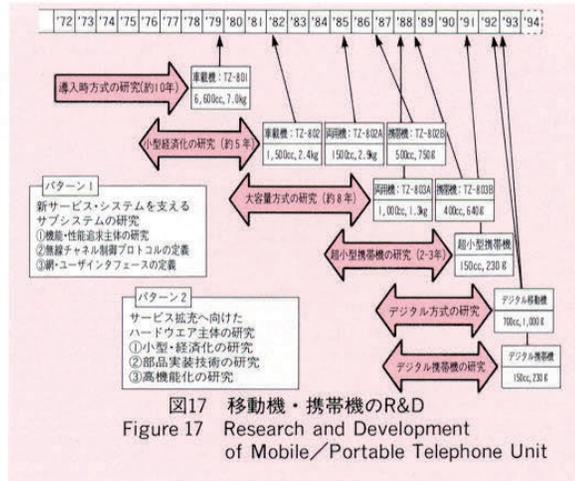
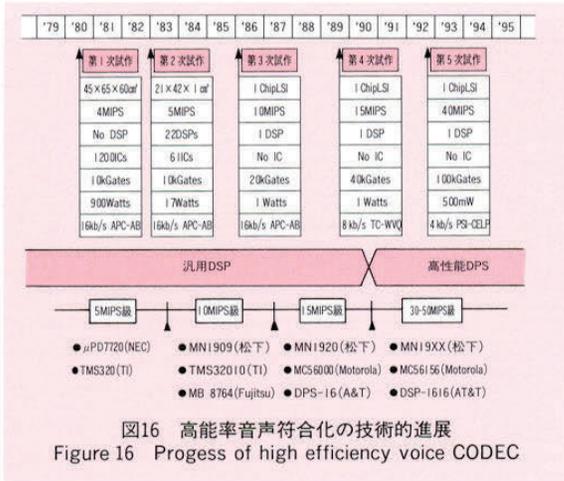


し、デジタル・ムーバの実現に大きく寄与している。

移動機・携帯機の研究開発の パターンと今後の開発方向

自動車・携帯電話システムにおける移動機・携帯機の研究開発について見てきたが、これを別の観点から眺めてみると、移動機・携帯機の研究開発は2つのパターンに大別されること、ならびにそれら2つのパターン相互の関わり合い方に特徴的傾向のみられることが分かる。パターン1は、サービス・システム全体の redesign の中で、その一翼を担うサブシステムとしての移動機・携帯機の研究開発であり、機能・性能追求、無線チャンネル制御プロトコル設計、網・ユーザインタフェース設計などが主体となる。パターン2は、サービス拡充へ向けたハードウェア改良を主体とした移動機・携帯機の研究開発であり、小型・軽量化、高密度実装、高機能化などが主体となる。各パターンの相互の関わり合い方に着目して整理してみると図17のようになる。すなわち、当初はパターン1の終了を待ってパターン2を開始するというシリアルの関係で進められてきたものが、サービスの進展につれて次第にパラレル化するとともに短期化し、ついにはほとんど同時進行での短期開発になってきている。

アナログシステムで考えてみると、世界的にも、このパターン1から2へのパトナッチが見事に行われ、携帯機の大さき・重さについてみると図18に示されるように、100cc/150g級のものも登場している。各種携帯電子機器の大さき・重さの関係を図19に示すが、100cc/150g級であれば、携帯型ヘッドフォンステレオ以上の携帯性となっている。このように考えると現時点での研究開発は、徐々にではあるが、携帯機を開発するうえでの最大の関心事であった大さき・重さの呪縛から解き放たれた状況に突入しつつあるといえる。このような意味からも、デジタルシステムの携帯機を対象に、音声以外の通信へのアプリケーション開



発に重点をおいた研究開発が今後は中心的位置を占めるものと予想される。

文献

- 1) 研究実用化報告第26巻第7号「自動車電話方式特集」, 1977
- 2) 研究実用化報告第31巻第1号「最近の自動車電話技術特集」, 1982
- 3) 研究実用化報告第35巻第8号「自動車電話用着脱式移動機小特集」, pp.807~842., 1986
- 4) 研究実用化報告第35巻第10号「大容量移

動通信方式特集」 pp.1015~1021., 1986

- 5) NTT R&D Vol.40, No.7「超小形携帯機-Mova-」 pp.997~1004., 1991
- 6) NTT R&D Vol.40, No.10「デジタル移動通信用移動機技術」 pp.1319~1326., 1991
- 7) 本誌Vol.1, No.1<デジタル移動通信システム>「7. 移動機」 pp.43~46., 1993
- 8) 本誌Vol.2, No.2<3.1.5GHzデジタル移動通信システム>「3.1.5GHzデジタル移動機」 pp.13~15., 1994