

デジタル移動通信技術の動向

Digital Mobile Communication Systems and Related Technologies

近年、自動車電話や携帯電話で知られる移動通信の市場が急成長している。需要増に伴い、現行のアナログ方式よりも電波を有効に利用できるデジタル方式の実用化の研究、開発が世界各国で進んでいる。自動車電話、携帯電話では欧州GSM(Groupe Speciale Mobile)、米国・日本の方式、ともに1991年の商用化を目指している。コードレス電話のデジタル化も進行しており、これを契機に屋内、私設の利用から屋外、公衆利用へと急激に発展していくと予測される。これらデジタル方式の実用化、発展のためには音声符号化、狭帯域デジタル変調など方式技術の進歩が重要である。また、移動機の小型・軽量化を進めパーソナル通信時代を迎えるには、DSP(Digital Signal Processor)、高周波集積化技術の進展が必要である。

塚本 信夫* *Nobuo Tsukamoto*
 藤原 行成** *Yukinari Fujiwara*
 中川 准一*** *Jun'ichi Nakagawa*
 岡本 貞二**** *Sadaji Okamoto*
 山木戸一夫***** *Kazuo Yamakido*

1 緒 言

自動車電話や携帯電話などの移動通信サービスは、いつでも、どこでも使える電話として、その利便性のために市場が急成長している。急増するニーズに備え、より多くの加入者容量を持つ新システムの構築が世界各国の共通の課題となっている。こうした情勢のもと、これまでのアナログ方式に代わるデジタル移動通信方式(以下、デジタル方式と略す。)が量的(加入者容量)および質的(通信サービス機能)な変革をもたらすものとして注目され、世界各国で同方式実用化に向けての急ピッチな研究、開発が展開されている。

本稿では、デジタル方式の特質と実用化に向けての要素技術課題、およびその研究現状について述べる。また、各国での提案方式の概要について述べ、移動通信システムの変革および近未来像を展望する。

2 デジタル方式の利点と技術課題

移動通信では割り当てられた電波の帯域を使ってどれだけ多くの加入者を収容できるか、換言すれば電波の有効利用ということがきわめて重要となる。これまでアナログ音声信号で直接電波をFM(Frequency Modulation)変調するアナログ方式が電波の有効利用の面で優れており、移動通信の主流となっていた。デジタル方式では音声を1,0のデジタル符号に変換(音声符号化)し電波をデジタル変調する。ディジ

タル化に伴って、従来は電波の帯域が広がるためにこの方式は電波の有効利用の面で不利とされていた。

最近になって音声符号化、デジタル変調の技術が進歩し、この問題の解決の見通しが得られるようになり、デジタル方式の実用化の検討が本格化した。

デジタル方式実用化のねらい、すなわち同方式の持つ利点とそれを引き出すための鍵(かぎ)となる主要技術課題を表1にまとめた。

表1に掲げたデジタル方式の利点は、システムのデジタル化によって即座に約束されるものではなく、対応する主要技術の進展の度合いがその鍵を握っている。次章では、これら主要技術のいくつか(同表にアンダーラインで表示)の研究、開発の現状について述べる。

3 主要技術の研究開発動向

デジタル移動通信での主要技術の位置づけを明らかにするために、デジタル方式の概念と移動機基本構成を図1に示す。

3.1 低ビットレート音声符号化^{2),3)}

低ビットレートで高い音声品質を得ることが、音声符号化の共通した課題である。デジタル方式で現行アナログ方式と同等の電波の有効利用を図るには、音声符号化のビットレ

* 日立製作所 無線事業推進本部 工学博士 ** 日立製作所 無線事業推進本部 *** 日立製作所 中央研究所
 **** 日立製作所 家電研究所 工学博士 ***** 日立製作所 デバイス開発センタ

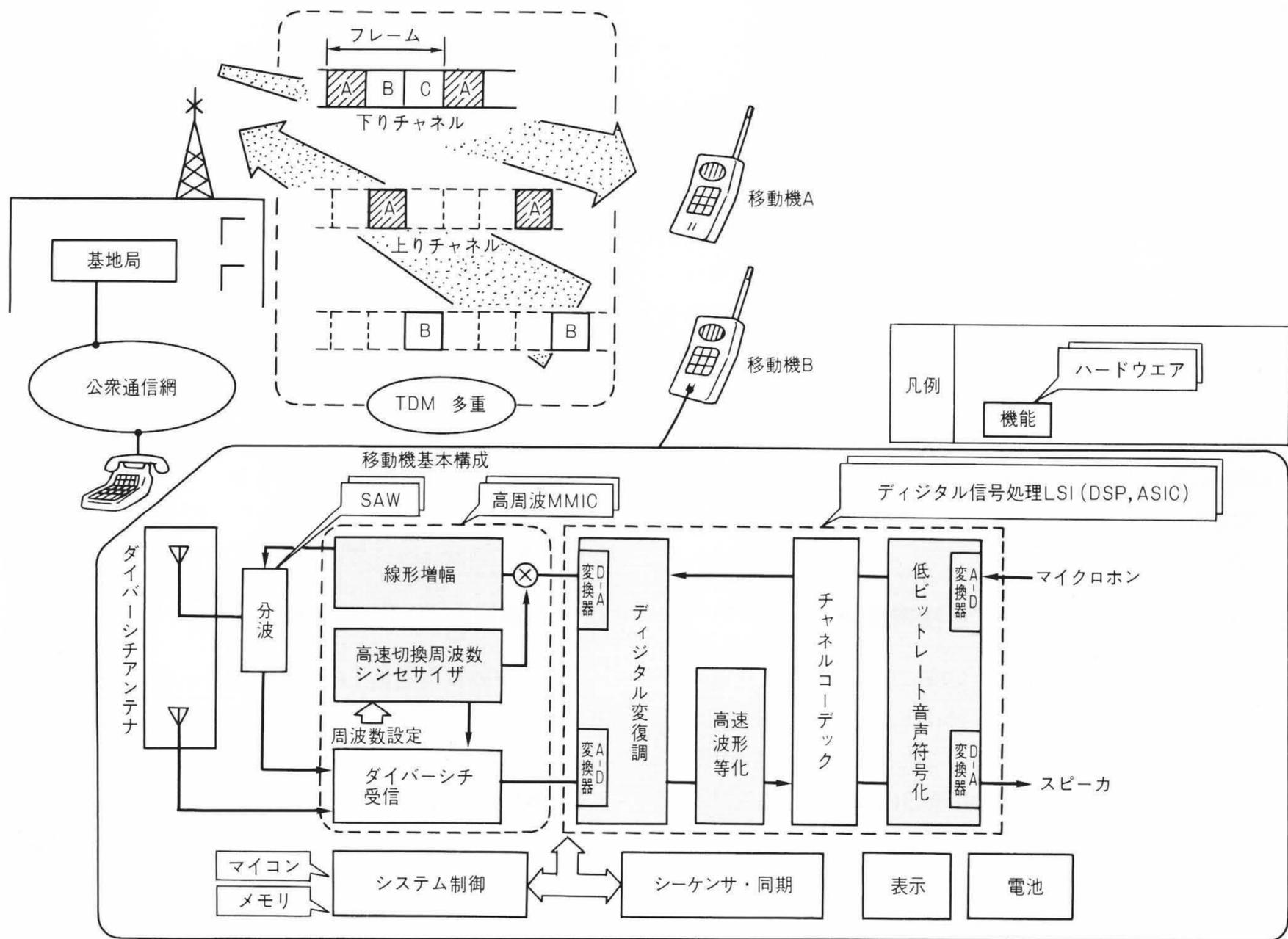
表1 デジタル方式の利点と主要技術課題 数々の利点を持つデジタル方式の実現のためには、対応する技術課題を解決していかなければならない。

項目	目	デジタル方式の利点(ねらい)	主要技術課題**
電波の有効利用	狭帯域性	現状アナログFM方式と同水準、今後の進歩に期待大	●低ビットレート音声符号化 ●狭帯域デジタル変調
	耐干渉性*	アナログFMに比べ10 dB以上期待可	●高速波形等化 ●ダイバーシチ
サービス拡充	データ通信 ISDN接続	高速ビットレート(～8kビット/s)伝送可 ISDN接続容易	●移動体ISDN網
	秘話性	データのスクランブルによって、音声品質劣化のない暗号化が可能	●高信頼暗号化
装置小形・経済化	端末小形化	デジタル回路の比率が向上、高集積LSI化に適合	●低消費電力LSI
	基地局経済化	ベースバンド帯TDM多重によって送受信機の台数削減可	●高速切換周波数シンセサイザ

* 電波の空間的な再使用を図るセルラ方式で、耐干渉性が高い性質は空間的な再使用の効率向上に役立ち、電話の有効利用につながる。

** アンダーライン個所は本稿3章で概説する。

注：略語説明 ISDN(Integrated Services Digital Network)
TDM(Time Division Multiplexing)



注：略語説明など

うすい網目の部分はデジタル方式固有の開発課題を示す。

SAW (Surface Acoustic Wave Device), MMIC (Microwave Monolithic IC), A-D, D-A (Analog to Digital Converter, Digital to Analog Converter)
DSP (Digital Signal Processor), ASIC (Application Specific IC)

図1 デジタル移動通信の概念と移動機基本構成(国内仕様の例) デジタル方式ではフレーム内を時間分割して多重化する。移動機構成要素として高周波MMIC、デジタル信号処理LSIが主要な位置を占める。

ートとして約10 kビット/s前後が要求される。移動通信ではフェージング(電波が強くなったり、弱くなったりする現象)時の符号誤りによる音声品質の劣化が少なくなるよう誤り訂正符号を付加するので、ビットレートはいくぶん高くなる。また、移動機小形化の面で複雑なアルゴリズムの採用は適さない。これらの条件を加味して、数年前まではビットレート32~16 kビット/s前後が開発ターゲットとなっていた。最近では符号化アルゴリズム、デジタル信号処理LSI(DSP: Digital Signal Processor)の進歩によって6~8 kビット/sをターゲットに開発が進んでいる。移動通信への適用が検討されている各種方式を以下に述べる(小カッコ内はアルゴリズムの代表例)。

(1) 波形符号化方式(ADPCM: Adaptive Differential Pulse Code Modulation)

音声波形をできるだけ忠実に符号化する方式で、ハードウェアが簡単な利点があるが、低ビットレート化に限界がある(16~32 kビット/s)。

(2) ハイブリッド符号化方式(RPE-LTP: Regular Pulse Exciting-Long Term Prediction)

音声帯域を低域と高域に分割し、低域だけを符号化、伝送する。受信側では音声の特質を利用して低減成分から高域成分を再生する。低ビットレート化に適し13 kビット/sで良好な音声品質が得られている。

(3) 分析・合成符号化方式(CELP: Code Exciting Linear Prediction)

音声の特徴を表すパラメータを設定し、その値を符号化して送信する。受信側では、パラメータの数値からもとの音声を再生する。さらに、低ビットレート化に適し、8 kビット/s 将来は6 kビット/s以下も期待できる。処理遅延時間の短縮、アルゴリズムの簡素化が開発課題である。

3.2 狭帯域デジタル変調

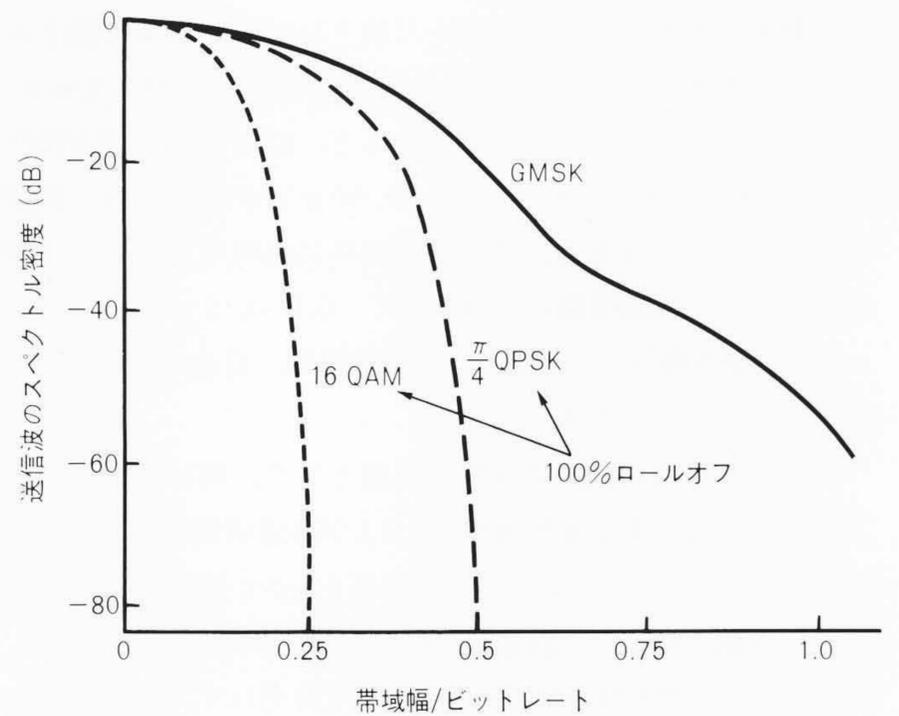
移動通信では移動機の低消費電力の面から、高周波電力増幅器の電力効率が重視される。これまで、電力効率の点で有利な飽和形の増幅器が使える定振幅な変調方式が主流であり、この範囲で狭帯域性に優れたGMSK(Gaussian filtered Minimum Shift Keying)が有望視されていた⁴⁾。最近、さらに狭帯域化(GMSKの $\frac{1}{2}$)を目指して、定振幅の枠を越えた $\frac{\pi}{4}$ シフトQPSK(Quadrature Phase Shift Keying)が提案されている。飽和形の増幅器が使えないので、線形性と高電力効率を両立させる高周波増幅器の開発が技術課題となる。

この課題の解決を前提に、さらに狭帯域な16 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)の検討が進んでいる。

これら、移動通信への適用が検討されている各種変調方式の狭帯域性の比較を図2に示す。

3.3 高速波形等化^{7),8)}

屋外の移動通信では、基地局からの直接波に加えて山岳、



注: 略語説明
 GMSK (Gaussian filtered Minimum Shift Keying)
 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)
 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

図2 各種変調方式狭帯域性の比較 電波の有効利用の面では16 QAMが最も優れている。

建造物などに反射し、時間的に遅れた電波が到来する。このため、受信波形にひずみが発生し符号誤り率の劣化を招く^{*)}。この問題を解決する技術として波形等化の技術が有効である。波形等化の技術は空間の伝搬路を伝送路に見立てて、受信側でその逆の伝送路特性を作り出し、発生したひずみ成分を除去するものである。機能の実現にあたっては、受信波形のひずみ成分を観測し伝送路特性を予測、その結果によって逆の伝送路特性を設定するというきわめて複雑な信号処理が伴う。

移動通信での固有の課題は、移動機が高速走行時に空間伝送路の特性がきわめて高速(約50 Hz)に変化するために、波形等化の追従性をいかに高めるかが研究、開発課題となっている。

3.4 集積化技術

デジタル方式では、デジタル回路の比率が高くなるので微細化プロセスを適用した高集積化が図りやすく、装置の小形化に有利と言われている。しかし、音声符号化、波形等化など、アナログ方式にはない複雑な信号処理機能が伴うので、よりいっそう集積回路技術に負うところが大きくなる。その鍵となるのはデジタル信号処理に必須(す)のDSPおよびA-D変換器である。DSPを例に技術動向を図3に示す。単

*) アナログ方式では、信号の変化が遅いのでさほど問題とならない。デジタル方式では、時間領域の多重(TDMA)を行うので信号の変化が速く、遅延差(約5 μs)と信号の繰り返し時間が同程度となり影響が無視できない。

位消費電力当たりの処理速度を尺度として、過去4年間をみると実に年率2.5倍というきわめて高水準な革新が続いている。携帯電話向け音声符号化を例にとると、DSPとして20 MIPS (Mega Instructions Per Second)/50 mWが要求され、同図に示す傾向からすると、これは1992年には実現可能との予測が成り立つ。技術手段の一例として、0.8~0.5 μm CMOSプロセス、電源電圧3.3 V動作の低消費電力、高速のDSPが一つの開発目標となるであろう。

さらに、高周波回路の集積化技術として、特にデジタル方式固有の高効率な線形増幅器⁹⁾および高速切換周波数シンセサイザ¹⁰⁾を、いかにコンパクトに実現するかが携帯端末開発の重要な課題となる。どれもまだ回路方式の研究段階であるが、特殊な帰還回路を含むため回路の複雑化は免れず、0.8~0.5 μm GaAsデバイスまたはバイポーラプロセスを用いたMMIC (Monolithic Microwave IC)の導入によって、小形、低消費電力化を図る必要がある¹¹⁾。

高周波受動回路についてはICと同様のプロセスが使える、かつ調整の不要なSAW (Surface Acoustic Wave: 弾性表面波) デバイスの適用が有効である¹²⁾。

4 各国提案システムの概要^{13)~15)}

デジタル方式の利点を生かした次世代移動通信システムの構築を目指し、世界各国でデジタル方式実用化への研究、開発が急ピッチで進められている。ここ数年内に、商用化が

計画されている各国提案システムの概要を表2にまとめて示す。

4.1 デジタル自動車電話・携帯電話¹⁶⁾

(1) GSM (Groupe Speciale Mobile)

欧州各国は1982年にGSMを結成し、欧州統一デジタル方式の検討を進めてきた。1987年、その標準システムが固まり、1991年6月の商用化に向けて現在その準備が進められている。現行のアナログ方式との互換性はなく、システムをすべてデジタル方式で置き換えていく考えである。GSMの特徴はTDMA (Time Division Multiple Access) 多重度が8 (将来16) と高く、デジタル方式の利点を最大限に求める本格方式ということである。高多重に伴い伝送速度が271 kビット/sと高速になり、基地局、移動機の双方に波形等化の機能が必須となる。商用の当初は自動車電話としてスタートするとみられるが、将来、携帯電話サービスへの移行にあたっては、低消費電力、小形な波形等化器の実現が大きな課題となる。音声符号化ビットレートとして23 kビット/s (音声符号化13 kビット/s, RPE-LTP誤り訂正符号10 kビット/s)、変調方式としてGMSKを適用しており、狭帯域性の観点では従来のアナログ方式と同水準である。ただし、将来に向けては音声符号化技術の進歩に合わせて、ビットレートを半減しTDM多重度を8から16に高める狭帯域化の計画が折り込まれている。

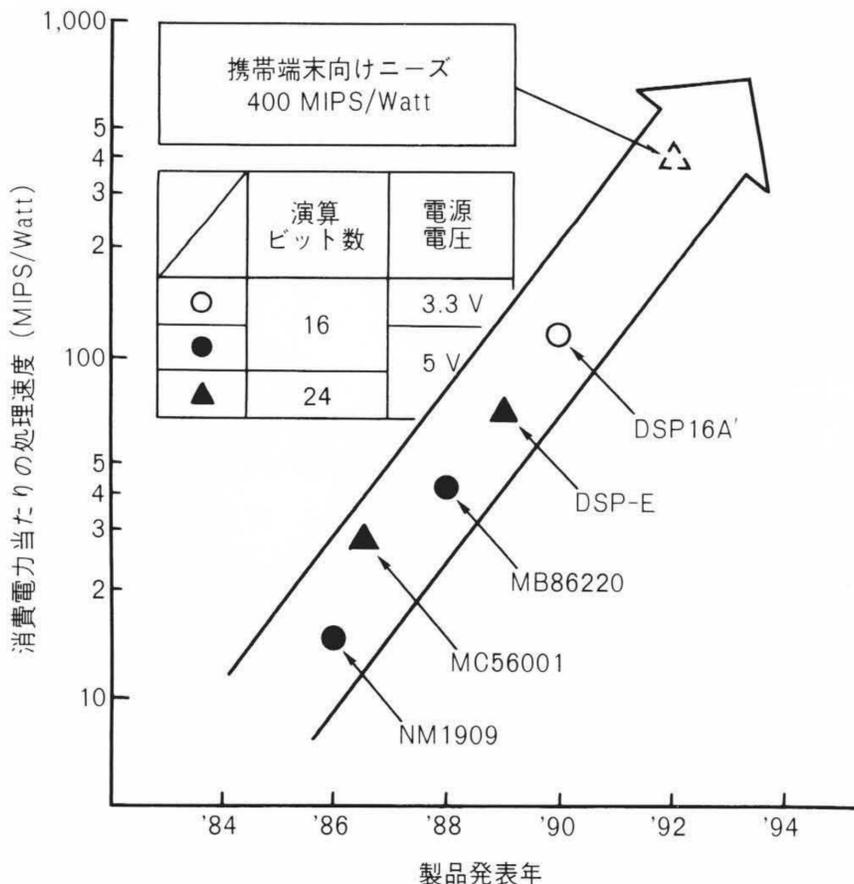
(2) 米 国

欧州とは異なりアナログ方式との共存を原則としており、周波数帯、基地局設備の共用を図りながらシステムの互換性、設備投資の最小化をねらいとしている。アナログ方式と同一のキャリア間隔、30 kHzインタリーブを採用する関係上、TDMA多重度は3 (将来6) と比較的低い値となっている。

特徴技術として電波の有効利用を強く打ち出しており、GSMで採用のGMSKに比べ狭帯域性に優れたπ/4シフトQPSK変調を取り上げている。この効果によって、狭帯域性の観点ではアナログ方式と同一のチャンネル間隔で3多重となるので、アナログ方式に比べて3倍の改善が図られる。電波の波形が振幅変化を伴うので、線形出力増幅器の電力効率向上が移動機小形化の大きな課題となる。なお、多重度が低く伝送速度が48 kビット/sと遅いので、波形等化の機能は必ずしも必要ないものと考えられている。

(3) 日 本

わが国デジタル方式規格化の検討は、郵政省電気通信技術審議会にて検討が進められ、1990年6月、郵政省への答申が行われた。米国方式との規格共通化が原則となっており、当面はアナログ方式と共存する。米国方式との相違はキャリア間隔の違いに付随し、伝送速度、音声符号化ビットレートが異なる。また、わが国では将来の加入者容量増大に備えて新しい電波帯—準マイクロ波帯(1.5 GHz)—の利用が検討されており、システム仕様は将来準マイクロ波帯への移行を加味し



出典：製品カタログ (米国AT&T社, 日立製作所, 富士通株式会社, 米国モトローラ社, 松下電器産業株式会社)

注：略語説明 MIPS (Mega Instructions Per Second)

図3 低消費電力DSPの進歩 DSP (Digital Signal Processor)の消費電力あたりの演算能力は年率2.5倍と高水準の進歩が続く。

表2 各国提案のデジタル移動通信システムの主要仕様 デジタル方式実用化は各国の国情の相違によって各種方式が提案され、それぞれ開発が進行中である。

システム名 (国名)	デジタル自動車電話・携帯電話			デジタルコードレス電話		
	GSM (欧州)	— (米国)	— (日本)	CT-2 (英国)	DECT (欧州)	簡易形携帯電話 (日本)
商用開始	1991年6月	1991~1992年	1991~1992年	1989年8月	1992~1993年	1991~1992年
割り当て周波数	900 MHz帯	800 MHz帯	800 MHz帯 将来1.5 GHz帯	800 MHz帯	1.9 GHz帯	2.6 GHz帯
多重方式 多重度(将来拡張)	TDMA 8(16)	TDMA 3(6)	TDMA 3(6)	FDMA/TDD —	TDMA/TDD 12	TDMA/TDD 3~8
キャリア間隔	200 kHz	30 kHz インタリーブ	25 kHz インタリーブ	100 kHz	1,700 kHz	検討中
変調方式 伝送速度	GMSK 271 kビット/s	$\frac{\pi}{4}$ QPSK 48 kビット/s	$\frac{\pi}{4}$ QPSK 42 kビット/s	GMSK 72 kビット/s	GMSK 1,152 kビット/s	
音声符号化方式 ビットレート	RPE-LTP 23 kビット/s	CELP 13 kビット/s	CELP 11.2 kビット/s	ADPCM 32 kビット/s	ADPCM 32 kビット/s	
波形等化	基地局	あり	あり	なし	あり	
	移動機	あり	オプション	なし	なし	
ダイバーシチ	基地局	なし	あり	あり	あり	
	移動機	なし	あり	あり	なし	

注：略語説明 GSM(Groupe Speciale Mobile), DECT(European Digital Cordless Telephone), TDMA/TDD(Time Division Multiple Access/Time Division Duplex), RPE-LTP(Regular Pulse Excitation Long Term Prediction), CELP(Code Excited Linear Prediction), ADPCM(Adaptive Differential Pulse Code Modulation)

て検討されている。

4.2 コードレス電話¹⁷⁾

自動車電話・携帯電話とコードレス電話の違いは、前者が広域、高速(車速)移動、後者は狭域、低速(人の歩く速さ)移動を条件に設計されていることであり、用途の違いによって両立していくものと思われる。

コードレス電話のデジタル化は欧州が先行しており、英国CT-2はすでに1989年8月からテレポイントとしてサービスが開始されている。これは空港、駅、百貨店など、人の集まるところに親機(基地局)を設置し、ユーザーの持ち歩く移動機と接続する公衆移動サービスである。現状は移動機からの発信専用である。

DECTは第2世代のCT-2として位置づけられ、移動機発信、着信の双方が可能である。このシステムの特徴は、移動機の小型化を重視して下記の技術が導入されている点にある。

(1) 32 kビット/s ADPCMの採用

音声符号化に、信号の狭帯域化に優先して、ハードウェアの簡単なADPCMを採用している。電波の有効利用は高密度(100 mオーダ間隔)基地局配置で補うものとしている。

(2) TDD(Time Division Duplex)の採用

上り回線、下り回線を、同一周波数の電波の時分割使用でまかなう。基地局アンテナダイバーシチによって、上り、下り双方のダイバーシチ機能が実現できるので、移動機にダイバーシチ機能が不要となる。

開発課題として、高いTDMA多重度とTDD多重が重なり、結果として1 MHzを超える伝送速度が要求される点である。特に屋外使用時の波形等化機能の要否は、小形端末の実現性の重要なポイントであり、準マイクロ波帯の電波の伝搬特性の解明と併せて今後重要な課題である。

わが国では簡易形携帯電話として2.6 GHz帯デジタル方式の検討を進めるため、郵政省に簡易型携帯電話システム委員会が発足し、1991~1992年の実用化に向けて、急ピッチの作業が進んでいる。

さらに、将来のシステムとして欧州ではUMTS(Universal Mobile Telecommunication Service)、米国ではUDPCS(Universal Digital Portable Communication System)が検討されている。

どれも、もはや現行のコードレス電話の範ちゅうには属せず自動車電話、携帯電話の機能をも含む21世紀のパーソナル移動通信網の構築を目指している。

5 結 言

世界各国で実用化の検討が急ピッチで進んでいるデジタル移動通信技術の動向について述べた。デジタル方式が電波の有効利用を図りながら、さらに高度なシステムへと発展していくには、関連する方式およびハード技術の進歩が重要な役割を担っている。

各国デジタル方式の計画では、関連技術の進歩に合わせ

て導入後も漸次システムの拡張, 改良を図っていく柔軟な姿勢がうかがえる。「いつでも」、「どこでも」、「だれとでも」、国際ローミングが可能な真のパーソナル通信時代を迎えるには、システムの国際標準化を進めることも重要である。

日立製作所は、デジタル移動通信技術および集積化技術の研究開発に積極的に取り組み、きたるべきパーソナル通信網の完成に寄与したいと考えている。

参考文献

- 1) デジタル方式自動車電話システムに関する調査研究会：デジタル方式自動車電話システムに関する調査報告書, p.58~75(平2-3)
- 2) 日本工業技術センタ出版：デジタル移動通信技術, 第5章
- 3) 秦, 外：デジタル移動通信の研究動向, 電子情報通信学会誌, Vol.70, No.7, 721~727(昭62-7)
- 4) K. Murota : GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony, IEEE Trans. Commun. (Vol.COM-29, July 1981)
- 5) 安達：デジタル移動通信方式・無線伝送技術の動向, IT89-70 p.17~24(1989-12)
- 6) 三瓶：陸上移動通信用16 QAMのフェージングひずみ補償方式, 電子情報通信学会論文誌B, J72-B-II, p.7~15(1989-1)
- 7) G. Ungerboeck : Adaptive Maximum - Likelihood Receiver for Carrier-Modulated Data-Transmission System, IEEE Trans. Commun., Vol.COM -22, 624~636(1974)
- 8) A. Lender : Decision Directed Digital Adaptive Equalization Techniques for High Speed Data Transmission, IEEE Trans. Commun., Vol.COM-18 625-632(1970)
- 9) 千葉, 外：双方向フィード型ドレイン電圧制御増幅器(BDF-DVCA), 電子情報通信学会無線システム研究会資料, RCS89-33(1989-10)
- 10) 梶原, 外：高速周波数ホッピングが可能なPLLシンセサイザ, 電子情報通信学会論文誌B-II, Vol.J73-BII, No.2, p.95~102(平2-2)
- 11) D. Selleerts, et al. : A 270 kbit/s 35 mW Modulator IC for GSM Cellular Radio Hand-held Terminals, IEEE 1990 Custom Integrated Circuits Conference (Feb.14, 1990)
- 12) M. Hikita, et al. : Miniature SAW Antenna Duplexer for 800-MHz Portable Telephone Used in Cellular Radio Systems, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-36, p.1047(1988)
- 13) 移動通信長期ビジョン懇談会報告書資料編：欧州における移動通信の現状と動向, 120~154(平2-4)
- 14) 日経エレクトロニクス：欧州の移動通信最前線, 69~89(昭64年11月6日号)
- 15) 海外電気通信：EC市場統合と情報通信サービス その2, 23~39(平2年1月号)
- 16) デジタル自動車電話システムに関する調査研究会：デジタル自動車電話システムに関する報告書, 2~18(平2-3)
- 17) 次世代携帯電話システムに関する調査研究会：次世代携帯電話システムに関する調査報告書, 2~16(平2-4)