

自動車電話無線方式*

鎌田光帶**
吉川憲昭***
坂本正行****

あらまし 800 MHz 帯を用いる自動車電話方式の無線方式について述べたものである。この方式は 800 MHz 帯 50 MHz を使うことによって、東京を中心とする首都圏で約 10 万の加入者を収容することができ、ダイヤル自動接続が可能である。

この方式を実現するため、次の技術を開発した。①小無線ゾーン化による無線周波数の有効利用技術、②600 チャネル切替可能な移動機、③無線回線を安定、確実に制御する回線制御技術の確立、特に制御専用チャネルの導入と複局制御方式の採用、④移動機が任意に走行しても、接続処理及び通話の継続を可能とするための位置登録及び通話中チャネル切替技術。

この結果無線回線のフェージングを克服して安定、高品質な無線方式を実現することができた。

1 まえがき

先進諸外国で実用に供されている自動車電話方式は、たとえばアメリカでは 10 万を越える加入者を有し、その有用性ゆえに今後ますます発展していくものと思われる。しかしながら我が国では、ポケットベルが非常な好評を博しており、移動通信への認識が高まってきていたにもかかわらず自動車電話方式は未だ商用されていない。

我が国におけるこの分野での遅れは技術レベルによるものではなく、周波数事情等によるものである。事実昭和 42 年に電電公社で開発した都市内自動車電話方式は当時としては、世界的レベルの技術を採用したものであったが、400 MHz 帯が周波数的に非常にひっ迫していたため実用されるに至らなかった⁽¹⁾。

研究所では、その後自動車電話への要望がますます高

まるこことを予想して新たに 800 MHz 帯を使う自動車電話方式の開発を進めてきた⁽²⁾。

この方式は加入者収容力、サービスの広域性等の面で世界のトップレベルの技術を駆使したものであり、商用化が実現すれば一挙にアメリカとならぶ自動車電話が実現するものと期待される。

本論文は自動車電話方式のうち無線方式に関する概要を述べたものである。

自動車電話の無線技術は、マイクロ波通信等に代表される一般的な意味での無線技術とは多くの異なった特徴を持っている。その第 1 は無線回線に常にフェージングが存在することである。このためマイクロ波通信方式においてはフェージングは伝ばん路の障害として扱われるが、自動車電話におけるフェージングは常に存在する雑音という意味で回線雑音と類似の扱いとする。

第 2 の特徴は、固定した 2 地点間を無線で結ぶマイクロ波通信方式に対して、自動車電話方式では固定した基地局と任意に移動する移動機との間に無線回線を設定することである。このため移動機の所在位置を検出する技術や、移動機の走行に伴って、基地局との間の無線回線を切替える技術などが必要となる。

また他の移動通信と比較すると自動車電話方式は加

* Land Mobile Telephone System Radio Plan.
By Terumochi KAMATA, Noriaki YOSHIKAWA and Masayuki SAKAMOTO.

この研究は移動通信研究室で行われたものである。

** 横須賀電気通信研究所研究専門調査役

*** 横須賀電気通信研究所研究専門調査員

**** 基幹伝送研究部無線伝送研究室室長補佐

入者容量が大きいことと、サービスエリアが広域であることが最大の特徴となっている。このため基地局及び移動機は多数の無線チャネルを扱うし、またこれらの無線チャネルを制御するための無線回線制御技術が方式を構成するうえで非常に重要な部分を占める。

以下に自動車電話方式の無線方式の概要について述べる。

2 無線方式の概要

自動車電話の無線方式は、広く商用に供されている無線技術の代表ともいべきマイクロ波通信方式等とは異なる面が多い。次章以下で詳述する各論の理解を容易にするため、この章では無線方式の概要を述べて、そのイメージを明らかにしておく。

2.1 無線方式の特徴と設計上の問題点

自動車電話の無線方式は他の通信には見られない多くの特徴を持っている⁽²⁾。以下では主な特徴とそれが設計に及ぼす問題点について述べる。

(1) 無線を使う以外に代替手段がないうえ、使用可能周波数帯が限られていること。

自動車電話方式は移動機との間に無線を使わざるを得ないが、無線周波数は絶対量が限られており、いわば人類共有の財産ともいべきものである。無線周波数をいかに有効に使うかは移動通信に限らず無線システムの設計において常に最大の努力が払われている。たとえば固定無線通信では使用可能周波数帯の拡大をはかるため、より高い周波数の開拓がなされ最近では20GHz帯が実用されるに至っている⁽³⁾。しかしながら、移動通信として利用できる周波数帯は伝搬特性、機器の問題等から現状では2GHz程度までが限度であり、非常に限られている。したがって、移動通信における周波数の有効利用は設計上の最大の課題である⁽⁴⁾。

(2) 受信電圧が大幅に変動すること。

移動機と無線基地局との間の伝搬路は移動機のアンテナ位置が低いため、移動機周辺の地形及び建築物、樹木等の地物の影響を受け複雑な様相を呈する。移動機周辺には無線基地局からの直接波のほか、移動機近

傍の建物等からの反射波も存在する。また多くの場合無線基地局との見通しがないため直接波は存在せず複数の反射波のみが存在することもある。このような複数の電波が相互に干渉し、移動機周辺の電界は定在波が立っている。このような場所を移動機が走行すると、移動機受信電圧は電界の定在波と同じ変動を受けることになる。フェージングは移動機が走行する限りほとんど常に存在するものであり、伝搬路にダクトが生じたときにのみフェージングが起る見通し内マイクロ波通信と大きく異なっている。したがって、フェージングを克服する技術が設計上の大問題となる。

一方移動機が無線基地局の近傍にいるときには受信電圧は非常に高く、また無線基地局から離れて無線ゾーンの周辺にいるときには受信電圧は非常に低くなる。この差は通常数十dB以上にも達する⁽⁵⁾。希望信号の受信電圧が低く、妨害信号の受信電圧が高い場合には、相互変調、感度抑圧等の干渉妨害が生じる⁽⁶⁾。このためこれらの干渉妨害に対して十分強い機器を設計する必要がある。

(3) 移動機が広範囲に移動すること。

移動機が交換局の特定の固定端子に収容されていないことは自動車電話の交換方式の設計上最も重要な問題であるが、無線方式にとっても無線回線の設定制御の面で解決を要する問題である。たとえば移動機が自分の位置を登録する技術、通話チャネル設定時に移動機の現存無線ゾーンを検出する技術、通話中に移動機が無線ゾーンを移行したときに移行先の無線ゾーンの周波数に切替える通話中チャネル切替技術は自動車電話方式の回線制御の大きな特徴となっている⁽⁷⁾。

(4) 移動機は直接顧客が操作するものであり、かつ温度、振動などの劣悪な環境条件にさらされること。

直接顧客によって操作される移動機は無線機等の知識がなくても、「電話機」として使えるものでなければならない。このため動作の確実性はもちろんのこと、美観、操作のし易さ等人間工学的考慮も払わねばならない。

一方移動機は車内に設置されるため温度、振動等の劣悪な環境条件にさらされる⁽⁸⁾。これらの要因は端末機としての性格上経済化が要求される移動機を複雑にする要素であり、経済性とのかねあいで最適設計条件を求める

る必要がある。

2.2 無線方式と無線系装置の概要

自動車電話方式の概要は表1に示すとおりであって、小無線ゾーン方式であること、800 MHz帯を使うこと、制御信号にデジタル信号を使いつつ制御専用のチャネルを持つこと、移動機のチャネル切替数が600であることを等が特徴である。無線チャネルは通話用のチャネルと、少數の制御専用のチャネルに分けられており、通話チャネルの設定制御は制御チャネルを介してなされる。制御チャネルは複数の無線基地局で同一変調内容を同一周波数の無線チャネルで同時に伝送する複局制御方式を採用し、回線制御の信頼性を向上させる⁽⁹⁾。

無線系装置は端末としての移動機と、これと対向する送受信機能を持つ無線基地局とが移動通信として最低限必要であるが、自動車電話方式では、この他に無線回線制御局を設けて複数の無線基地局を含む無線回線の制御を担当させる。図1に自動車電話無線回線の構成を示す。通話チャネルは無線区間と有線区間が1対1に対応して自動車電話交換局に収容されてい

る。一方制御チャネルとしては自動車電話交換局—無線回線制御局間にには交換制御に必要な信号中継制御チャネルを、また無線回線制御局—無線基地局間に無線回線の設定制御に必要な着信制御チャネル、発信制御チャネル及び切替制御チャネルをそれぞれ設定する⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。移動機に対する着信の制御は着信制御チャネルで、移動機からの発信の制御は発信制御チャネルで、また通話中チャネル切替のための制御は切替制御チャネルでそれぞれ信号を授受する。

3 ゾーン構成

自動車電話方式のサービスエリアは平面的に広がったものであり、移動機がサービスエリア内のどこにいても無線基地局と無線回線が設定できなければならない。これを実現するため無線基地局をサービスエリア内に分散して設置し、各基地局のカバーする無線ゾーンがサービスエリアをすき間なく覆うようとする。サービスエリアを無線ゾーンで覆う方法をゾーン構成といい、自動車電話方式設計上の重要な課題である^{(4),(11),(12)}。

表1 無線方式の概要

項目	規格、機能等	
無線周波数	800 MHz 帯	
チャネル数（帯域幅）	1000 チャネル (50 MHz)	
チャネル間隔	25 kHz	
変調方式	狭帯域 PM (ピーク 5 ラジアン)	
無線ゾーンの大きさ	小ゾーン構成 (市街地約 5 km, 郊外地約 10 km)	
送信出力	基地局 25W, 移動機 5W	
送信方法	基地局 着信制御及び発信制御チャネル用送信機：常時電波送出 通話チャネル用送信機：通話時電波送出 移動機 通話時及び信号送出時電波送出	
信号形式	無線回線制御信号	デジタル信号形式 (300 bit/s), 一部トーン信号を併用
	ダイヤル信号	トーン信号形式 (2周波直列/桁)
移動機チャネル切替数	600 (シンセサイザ方式で実現)	
移動機チャネル選択	着信制御チャネル待ち受け 通話チャネルは基地側より指定	
移動機消費電力	待受け中 約 10W, 送信中約 50W (13.8V)	
移動機の容積と重さ	約 7000 cc, 約 10 kg	

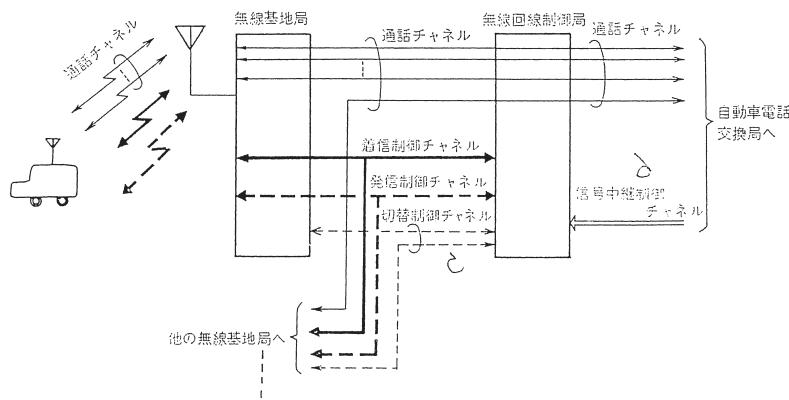


図 1 自動車電話無線回線の構成

3.1 電波伝ばん特性

無線ゾーンの大きさは送信機の送信出力、アンテナ利得等とともに電波伝搬特性に直接依存する。受信する電波の強さは常にフェージングを受けていることは前述のとおりであるが、このフェージングは短区間(数十m以下)でみるとレーベル分布に従う。またこれらの区間における中央値の集合は標準偏差 5~7 dB の対数正規分布に従うことが明らかになっている⁽¹³⁾。基地局から等距離にある多数の短区間走行データの各中央値を集計して、さらにこの中央値をとれば基地局からの距離とその地点での平均的な電界強度の特性が得られる。これを伝搬距離特性といふ。

図2は実測値をもとに基準化した伝ばん距離特性である⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。自由空間値に比較して著しくレベルが低いのは移動機のアンテナ高が低いために、周辺の建物等によって電波がしゃへいされるためである。これを無線ゾーンの設計を利用する場合には移動機及び基地局アンテナ高による補正⁽¹³⁾、建築物密集率による補正⁽¹⁵⁾等を行う。

電界強度が E (dB μ V/m) であるとき、利得 G_R dB (ダイポール比) のアンテナで受信した受信電圧 V (dB μ , 50 Ω 開放端電圧) は、

$$V(\text{dB}\mu) = E + G_R + 20 \log \left(\sqrt{\frac{50}{73.1}} \cdot \frac{\lambda}{\pi} \right) \quad (1)$$

で表わされる。

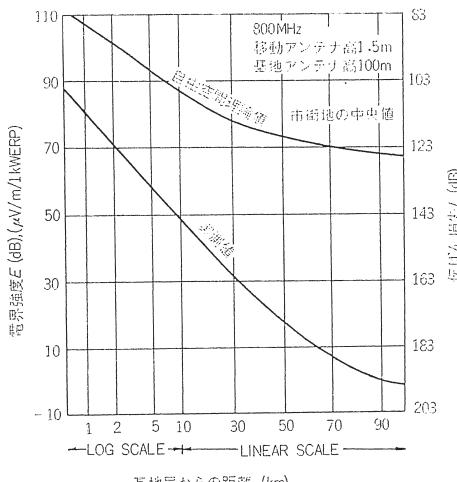


図 2 伝ばん距離特性

また図2の右側に示した伝搬損失の目盛は800MHz帯を使う場合で送信アンテナ、受信アンテナの利得がともにダイポール比で0dBであるときの伝搬損失であって、送信及び受信アンテナの利得を G_T dB、 G_R dB、伝搬損失を L dBとすると受信電力 P_R (dBm)は送信電力 P_T (dBm)を用いて次のように表わすことができる

$$10 \log P_R = 10 \log P_T + G_T + G_R - L \\ (\text{dBm}) \quad (2)$$

ただし、移動機に到来する電波の到来角は水平方向か、それよりやや上向きであるため⁽¹⁶⁾、ここでいう移動機のアンテナ利得とは電波到来角方向における利得とする必要が

ある。したがって、利得の大きいアンテナでもそのビームが水平方向よりも相当上を向いている場合には受信レベルが利得分だけ向上するとはいえない。

伝搬特性は伝搬損失の形で表現する方が直観的で理解しやすいが、周波数に依存しないで一意的な表現ができる電界強度もしばしば用いられる。

3.2 小ゾーン構成と周波数の繰返し使用

無線ゾーンを小ゾーン構成として周波数の利用率を高めている。これは小ゾーン構成とすることによってより近くの無線基地局で同じ無線周波数が使用できるためであるが、小ゾーン構成はこのほかに次のような利点もある。

(1) 既存の移動通信よりも周波数の高い800MHz帯を使うため、高周波出力が大きくとれない欠点があるが小ゾーン方式はこれをカバーできる。

(2) 大容量であるため大ゾーン方式では、1無線基地局あたりのチャネル数すなわち送受信機数が膨大となり、数基以上のアンテナも必要とするので機器設置上の問題が生じるほか、相互変調等の干渉妨害が問題となるが小ゾーン方式ではこれを軽減することができる。

図3において無線ゾーン半径を r (km), 同一周波数を使用する局間の距離を d (km) とすると繰返しゾーン数 N は、

$$N = \frac{1}{3} \left(\frac{d}{r} \right)^2 \quad (3)$$

で表わされる⁽¹²⁾。同一周波数を使用する局間の距離 d は、無線ゾーンの周辺である図3のA点における希望波対妨害波比が規定値になるように決められる。

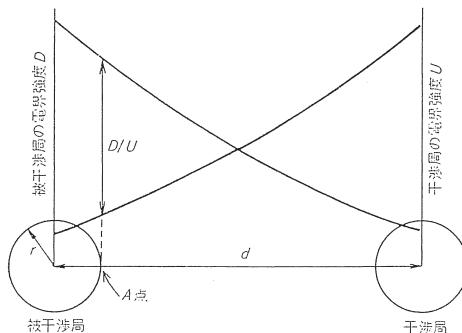


図3 周波数繰返し距離の決定

図4は小無線ゾーン化による周波数利用率向上を示したものである。ゾーン半径を小さくするほど周波数利用率は向上するが、(1) 基地局設備として既設の公社局舎及び鉄塔を最大限利用する、(2) 極小ゾーンとすることによる制御の過度の複雑化を避ける、(3) 800 MHz帯を使用することによる移動機送信電力の経済的限界及び伝搬特性、等の諸条件を考慮するとゾーン半径は都心部で約5kmとするのが妥当と考えられる。

図4はトラヒックが一様に分布していると仮定した場合についてのものであるが、実際のトラヒックは都心から遠ざかるにつれて減少する特性を持っている。図5は昭和64年におけるトラヒック分布の推定値である⁽⁵⁾。このようにトラヒックにテーブがある場合は、都心部で使う大量のチャネルのうちの一部分しか周辺ゾーンで使用できないため、周波数繰返しの効果が減少する。トラヒック分布が図5の一点鎖線A, B, Cの形で同心円的に拡がっているとした場合について、50km圏内で10万の加入者を収容するために必要な無線チャネル数を表2に示す。トラヒックテーブが大きいほど周波数利用率が劣化する。首都圏で実際にゾーン構成をする場合には局地的な飛び越し伝搬等のため周波数利用率がさらに劣化するほか、東京湾があるため、トラヒック分布が同心円的でなく偏在するので単位面積あたりのトラヒック密度が表2のモデルよりも高くなる。これらのことを考慮すると首都圏で10万

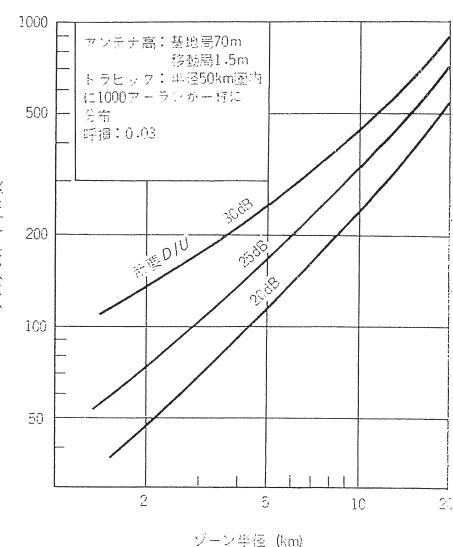


図4 小無線ゾーン化による周波数利用率向上

の加入者を収容するためには約 1000 チャネルが必要であると推定される。

4 無線チャネルの使用方法

4.1 無線周波数条件

自動車電話方式に必要な周波数帯は数十 MHz の帯域幅で、しかも陸上移動通信用として使用できることが必要である。従来移動通信用として既に割当てられている 400 MHz 帯以下の帯域にはこのような広帯域幅の

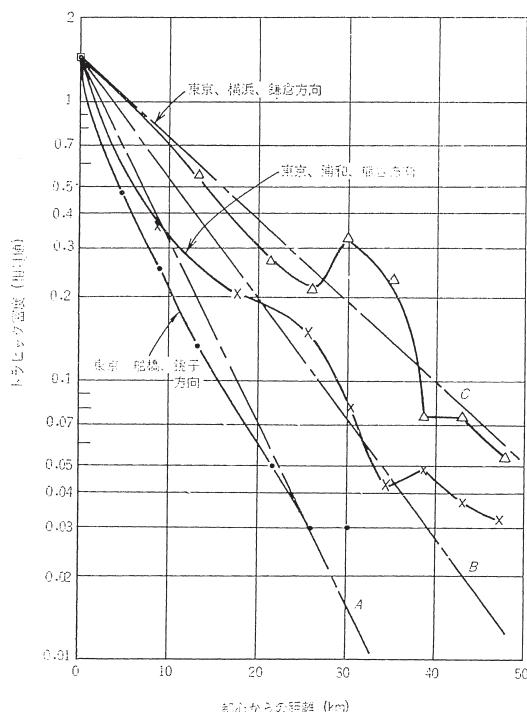


図 5 昭和 64 年におけるトラヒック分布の推定

表 2 トランシーバーがある場合の所要無線チャネル数

トランシーバー*	A	B	C
無線チャネル数	992	640	391

* 図 5 の A, B, C に対応

ただしゾーン半径 5 km

所要 D/U 25 dB

50 km 圏で 10 万加入 (0.01 アーラン/加入)

使用は望むべくもない。

図 6 は我が国において移動業務に割り当てられている周波数帯のうち 400~2000 MHz について示したものである。これらの周波数帯のうち、要求する帯域幅が公衆通信用としてされる可能性のあるもので、かつ当面の機器の実現性のあるものとしては 800 MHz 帯と 1300 MHz 帯が考えられる。両周波数帯のうち、1300 MHz 帯は伝搬及び機器特性の面から、800 MHz 帯に比較して約 1.3 倍のシステムコストとなる等の理由で 800 MHz 帯にしづって方式を開発した。郵政大臣の諮問機関である電波技術審議会においても 800 MHz 帯が陸上移動業務に適用可能であるとの結論を昭和 50 年度に答申している⁽¹⁷⁾。

将来の需要予測による所要チャネル数の推定は方式設計上重要な値であるが、この方式が最終容量を考える 10~15 年後のトラヒック量を精度よく推定することは事实上不可能である。したがって、ここでいうチャネル数は将来の需要をまかなく十分な帯域というよりむしろ、大略の加入者数と実現可能な帯域幅から算出したものである。

図 7 は自動車登録台数の推定値であって、昭和 60 年度における東京及び 3 近県の登録台数はほぼ 840 万台と推定される。これらのうち自動車電話加入率を 1% と見込むと首都圏で約 10 万台となる。10 万台を収容するためには章 3.2 で述べたように 1000 チャネルを必要とし、送信及び受信帯域各 25 MHz、合計 50 MHz となる。なお対象とする 800 MHz 帯は 830 MHz から 890 MHz までの 60 MHz である。

以上の条件に基づき周波数使用計画を以下のように想定して本方式を開発した。

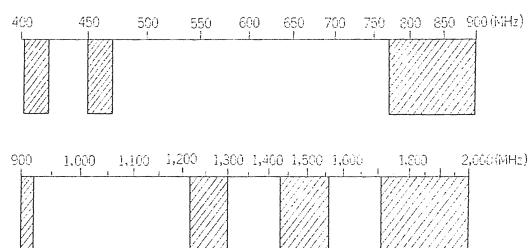


図 6 我が国において移動業務用に割り当てられている周波数帯

(1) 送信周波数帯と受信周波数帯を分離する。

無線基地局送信系と移動機送信系の使用周波数帯を分離して干渉妨害を軽減させるとともにアンテナを送受共用し、鉄塔、アンテナ系の経済化をはかる。

(2) 移動機を2群化する。

移動機はシンセサイザによる多チャネル切替機能を持たせるが、1000チャネルすべてを切替えることは技術的、経済的に困難である。このため移動機を下部帯域用及び上部帯域用のA、B2群に分割し、それぞれの切替チャネル数を600とする。この場合に両群に共通の200チャネルは2群化によるチャネル分割損を軽減させるとともに、大都市で2群目(B群)が導入される時点では、同時期に全国的にB群の設備を手当てる必要をなくするために必要となるものである。

以上の周波数使用計画を図示すると図8になる。

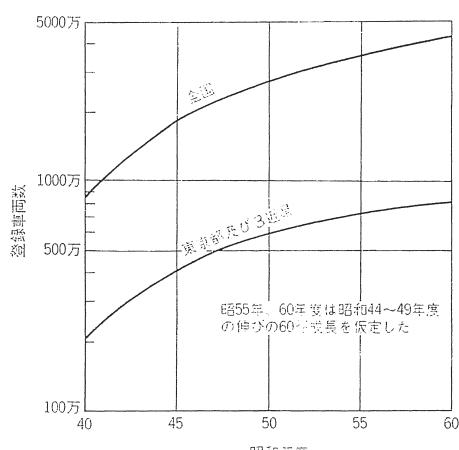


図7 自動車登録台数の推定

4.2 制御専用チャネルの設置

無線チャネル数が少なく比較的小容量の内航船舶電話方式等では無定位循環方式を採用している。この方式は空き無線チャネルに空線信号を送出しておき、移動機は常時無線チャネルを切替えている。移動機から発呼する場合は空線信号のある無線チャネルで移動機からの発呼信号等の制御信号を受取したのち、このチャネルを通話用として使用する。一方移動機に着信があった場合には空き無線チャネルの1つにロック信号を送り出し、切替中のすべての移動機をこのチャネルに停止させてから着信信号を送り出し、このチャネルで通話路を形成する。呼ばれなかった移動機は再び切替を開始する。

無定位循環方式はチャネル数が少ない場合には移動機構成が簡単で、安定確実な制御が可能である。しかしながらチャネル数が多い場合には、切替るべきチャネル数が多いため、移動機が空線信号のあるチャネルを補そくするまで及びロック信号のあるチャネルで停止するまでの時間が大きくなり、接続遅延の規定を満足しなくなる。そのうえ移動機がロック信号のあるチャネルを見つけて、そこで停止するまでは他の移動機への着信があってもそれを処理することができない。すなわちチャネル数が多くなると処理可能な呼数が逆に小さくなる。図9はこの関係を示したもので、チャネル数が数十を越えると無定位循環方式は適用できないことが判る⁽¹⁸⁾。

そこで自動車電話方式では通話チャネルとは別に制御専用のチャネルを設けることとする。通話チャネル数に応じて必要な数の制御チャネルを設ければよいので無定位循環のような意味での制約はなくなる。

一方制御チャネルの使用能率の面では下り(基地→移動)信号はすべて無線回線制御局の一元的制御のも

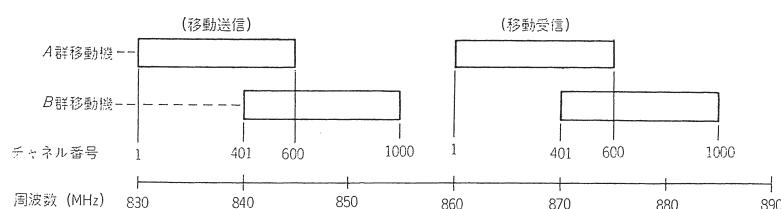


図8 周波数使用計画

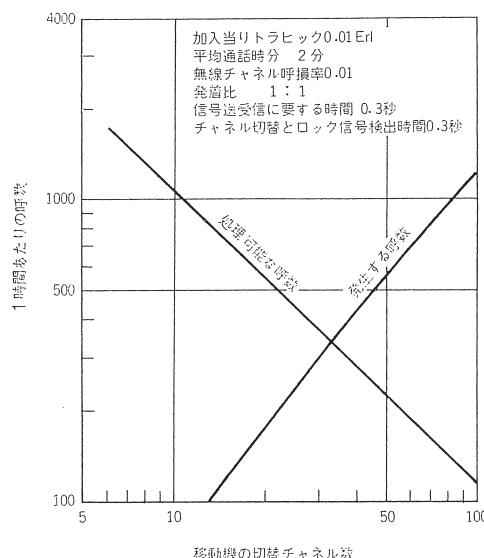


図 9 無定位循環方式における呼処理能力

とあるので、信号の待合せが可能であり 70% 程度の高い能率で使用可能である。しかしながら移動機から送信する信号は移動機相互の連絡がないため、複数の移動機が同時に信号を送出する場合があり、無線区間の干渉によって信号誤りとなる。この確率を低く押えることが必要となり 5% 程度の低い能率でしか使用できない。

上り制御チャネルの使用能率を向上させるため、移動機からの信号送出を可能な限り基地局の制御下に置くことと以下のような対策をとる。

(1) 制御チャネルを着信制御用と発信制御用に分離する。

移動機から送信する信号のうち、着呼に対する応答信号は着呼信号受信後一定のタイミングで送出することにより基地局の完全な制御下に置くことが可能となる。そこで移動機に対する着呼のみを処理する着信制御チャネルを設け、このチャネルに限って上り、下りとも高い能率で使用することとする。

(2) 発信制御チャネルに空線信号を導入する。

発信制御チャネルの上りチャネルが空いていることを表示するため、下りチャネルに空線信号を導入して、空線信号が受信されたときのみ移動機から信号送出ができることがある。これによって複数の移動機がほとんど同時に信号を送出しようとする場合を除いて、移動機の信号送

出が基地局の制御により待合せ可能となり、20% 程度まで能率を上げることができる⁽¹⁰⁾。

以上のように制御チャネルを設けた場合、移動機 1 群に対して 1 つの制御ゾーンあたり着信制御チャネル 2、発信制御チャネル 5 が必要となる⁽¹⁰⁾。

4.3 無線チャネルの配置

各無線基地局への無線チャネルの配置は、施設設計及びチャネル割当て等の作業上からすると複雑なルールは極力避け、できるだけ単純化し、かつトラヒック変化に対応できる柔軟性を持たせることが望ましい。一方技術的にも以下に述べるようにチャネル配置上考慮すべき要因が多い。

4.3.1 相互変調に対する考察

大容量システムであることから 1 無線基地局あたりの無線チャネル数は多くなり、たとえば東京ではサービス開始後 10~15 年で数十~100 チャネルに達する局も予想される。このため相互変調による干渉妨害が問題となるので相互変調の発生確率が低いチャネル配置が望ましい。

このような観点から相互変調のない、または少ないチャネル配置法が検討されている⁽²⁰⁾⁽²¹⁾が、チャネル割当てが非常に複雑で柔軟性に乏しく、また使用できないチャネルができる等の欠点があった。

このため自動車電話方式では、高電界域にいる移動機の送信電力を低下させる等の対策をとることにより、相互変調による妨害効果を事実上なくして相互変調の要因を考慮しないでチャネル配置ができるようにする。

4.3.2 無線基地局送受信アンテナ共用装置からの制約条件

無線基地局の送受信アンテナ共用装置は、その構造上 16 チャネルの送信機を単位として最大 64 チャネルまでをアンテナ 1 基に共用することができる。また共用単位である 16 チャネル相互の周波数間隔は 600 kHz 以上離れていることが要求される⁽²³⁾。

4.3.3 ゾーン構成上からの制約条件

無線ゾーンは繰返しゾーン数 15 程度で繰返し使用することを考えている⁽²⁴⁾。したがって最低 15 の群分けが可能かつ、各無線ゾーンのトラヒック分布が一様でないた

め、チャネル数も同一数でないことを前提としたチャネル配置を実現する必要がある。特に送受信アンテナ共用装置の共用単位である 16 チャネルに満たない無線ゾーンもあると予想されるため、8 チャネル程度のチャネルでも割当可能なようにする必要がある。

4.3.4 制御チャネルからの制約条件

前述のように、移動機 1 群に対して 1 制御ゾーンあたり着信制御チャネル 2、発信制御チャネル 5 の計 7 チャネルが必要である。制御ゾーンの繰返し数は節 6.1 で述べるように 4 と考えればよいから、制御チャネルとして 1 群あたり 28 チャネルを用意する必要がある。

一方 B 群（第 2 群）移動機の導入を円滑にするため、A 群用の制御チャネルは AB 両群の共通チャネル部分に設ける必要がある。これは通話チャネルと同様に制御チャネルについても、大都市で B 群が導入される時点で同時期に全国的に B 群用制御チャネルの手当てをするのではなく、地方では A 群用制御チャネルを使用するためである。

4.3.5 チャネルの群分けと無線ゾーンへの割当

以上の条件より全チャネルを図 10 のように分割し、チャネル群をつくり、この群単位で無線ゾーンへ割当てる方法が望ましい。チャネル群分けと割当の要点は次のとおりである。

(1) 16 チャネルの群を基本単位とし、同一群内のチャネルは互いに 600 kHz 以上離れている。これを通話大群と呼び 52 群を準備する。

(2) トラヒックの少ない無線ゾーン用として 8 チャネル

の群を 14 群準備する。これを通話小群と呼ぶ。

(3) 各無線ゾーンには、そのトラヒックに応じて通話大群または通話小群を 1 群または複数群割当てる。

5 無線系の各局装置

5.1 無線回線制御局⁽²⁵⁾

無線回線制御局は移動機との間の無線回線設定制御及び自動車電話交換局とのインターフェースを担当する局であって、制御ゾーンに対応して設置される。構成は図 11 に示すように機能ごとにブロック化されており、通話路装置及び保守監視装置を除いた各部は装置を 2 重化構成として信頼性の向上をはかる。各部の機能は表 3 に示すとおりであって、通話路装置以外はマイクロプロセッサを用いたプログラム論理方式で構成されている。

発信制御及び着信制御チャネルは複局制御方式を

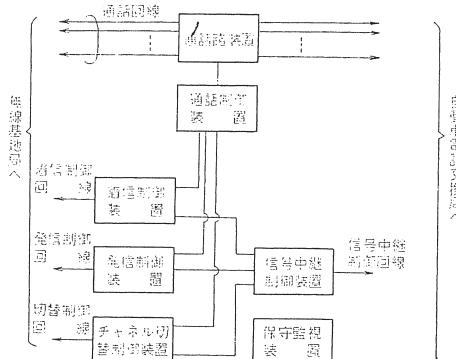


図 11 無線回線制御局の構成

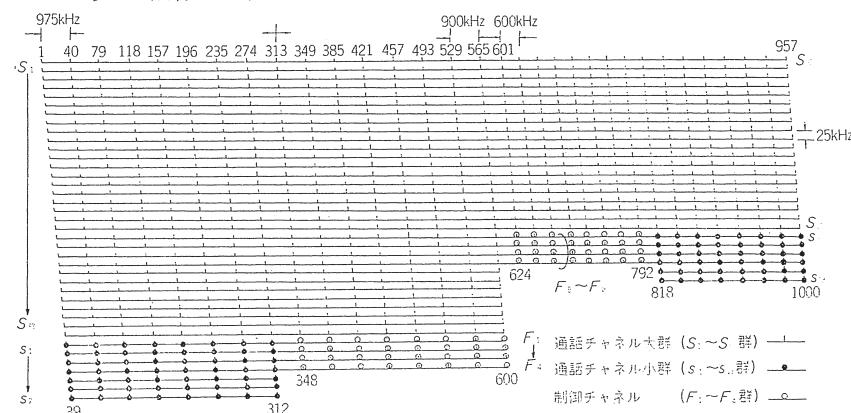


図 10 無線チャネルの無線ゾーンへの割当のための群分け

表 3 無線回線制御局装置

装置名	機能
通話路装置	通話チャネルで使用するダイヤル信号等の受信器を収容する。
通話制御装置	通話チャネルの使用状態を一括管理し、通話接続制御を行う。
着信制御装置	移動機に対する着時制御を行う。
発信制御装置	移動機からの位置登録及び発呼制御を行う。
チャネル切替制御装置	通話中チャネル切替のための制御を行う。
信号中継制御装置	自動車電話交換局と各装置の間の信号中継を行う。
保守監視装置	無線基地局及び無線回線制御局の機器障害情報の表示等、無線系の保守監視を行う。

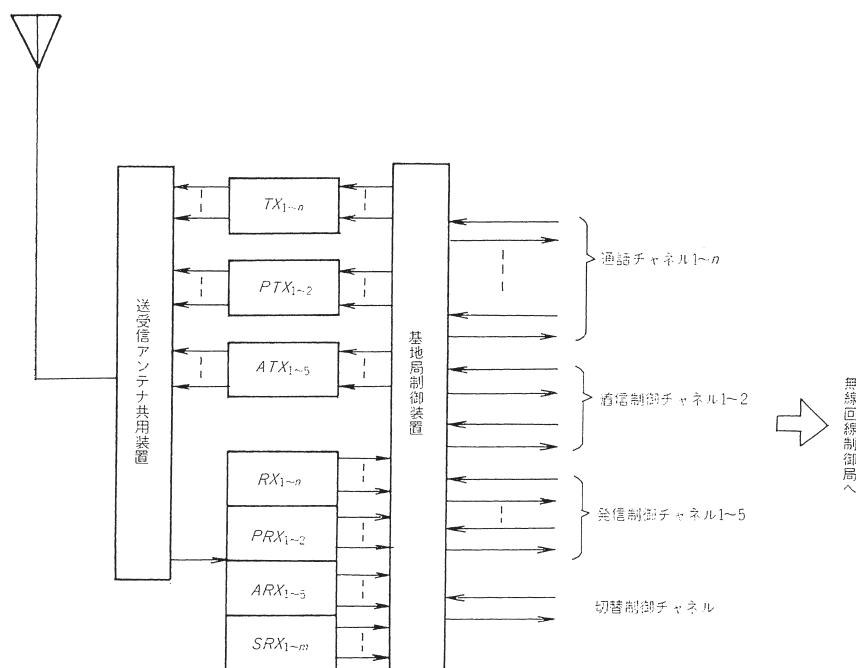


図 12 無線基地局の構成

採用しているため、同一の情報が無線回線制御局の制御下にあるすべての無線基地局に送出される。通話路装置、発信制御装置及び着信制御装置は無線回線制御装置の扱うトラヒックに応じて1つまたは複数台設置される。通話路装置は無線標準架（高さ2100mm、幅520mm、奥行き225mm）に20チャネル実装可能であり、保守監視装置は3架と監子卓及びタイブライタ、他の制御装置は2架構成となっている。最もトラヒックの大きい東京に設置する無線回線制御局には

発信制御装置が5台、着信制御装置が2台、通話路装置は600チャネル分30台が必要であると予想される。

5.2 無線基地局

移動機との無線通信のための送受信機を設置する無人局で図12に示すように、アンテナ、送受信アンテナ共用装置、通話チャネル用送受信機、発信制御及び着信制御用送受信機、電界監視用受信機、無線基地局制御部及び保守監視子装置から構成されている。

アンテナ⁽²³⁾の標準タイプは垂直面内利得 11 dB, 水平面内無指向性の塔頂形であり、その構成は NSEW に 4 組の 16 段ダイポールスタックから成るもので、4 本のフィーダによってターンスタイル給電及びペアスタイル給電される⁽²³⁾。

送受信アンテナ共用装置⁽²³⁾は、空洞共振器とジャンクションボックスにより合成された 16 波の送信共用装置と送受分波器から構成される。図 13 にアンテナ及び共用系の接続を示す。

通話用及び制御用送信機は無線標準架に 4 チャネル分の実装が可能であって、周波数安定度はそれぞれ $\pm 5 \times 10^{-7}$ 及び $\pm 1.5 \times 10^{-7}$ 、送信出力は架上出力端子で 25W である⁽²⁶⁾。

通話用及び制御用受信機は無線標準架に 32 チャネル分の実装が可能である。図 13 に示した送受信アンテナ共用装置の送受分波器で送受信波が分波され、さらに受信架内で受信波が各受信機へ分配される。通話中チャネル切替の制御において、移動機送信波の電界を監視する電界監視用受信機は移動機と同様に 600 チャネルの切替機能を有しており、通話用受信機の 2 倍の実装スペースを要する⁽²⁶⁾。

無線基地局制御装置は制御信号の中継、無線機等の制御を担当する装置である。移動機からの制御信号の中継に際しては、搬送波の受信電圧レベルを制御

信号の後に付加して中継する。これは複局制御方式における移動機の在局無線ゾーンを無線回線制御局で判定するのに必要なものである。

保守監視子装置は各機器の障害情報をまとめて無線回線制御局へ伝送するもので、無線基地局内での折返し試験を可能にするため試験用擬似移動機を内蔵している。

5.3 移動機⁽²²⁾

自動車に搭載する移動機は図 14 に示すようにアンテナ、無線送受信機能を持つ移動機本体及び自動車電話機から構成される。アンテナは自動車の屋根等に、移動機本体はトランクルームに、また自動車電話機は助手席のダッシュボード下等の室内にそれぞれ設置される。顧客の操作するのは自動車電話機のみであり、電源スイッチ及び音量調整スイッチを除くと操作方法は一般加入電話と全く同じである。

移動機本体の制御部は無線基地局との間の無線チャネル設定のための制御、電話機の制御等を行うものである。自動車電話は我が国では未だ商用の経験がないため、加入者習性上の問題から制御方式の小変更が必要となることも考えられる。このため制御部はプログラム論理方式とし、制御方式の小変更に対する融通性を持たせるために、マイクロプロセッサ、メモリ等の市販 LSI を活用する。

移動機は 600 チャネルの切替機能を持っていることは、既に述べたがこれは周波数シンセサイザの技術を用いて実現している。シンセサイザ部は図 15 に示すように電圧制

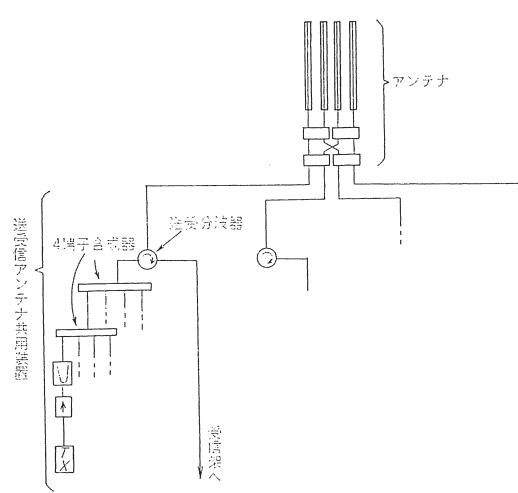


図 13 アンテナ及び送受信アンテナ共用装置の構成

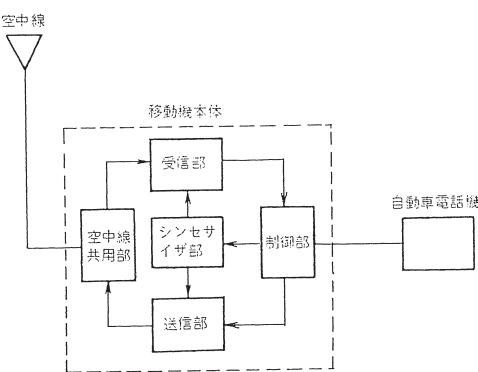


図 14 移動機の構成

御発振回路、可変分周回路及び位相検出回路とで位相固定ループを構成するもので、可変分周回路及び固定分周回路の分周数をそれぞれ N 及び K とすると電圧制御発振回路の発振周波数 f_{vco} は、

$$f_{vco} = N \cdot \frac{f_s}{K} + M \cdot f_s \quad (4)$$

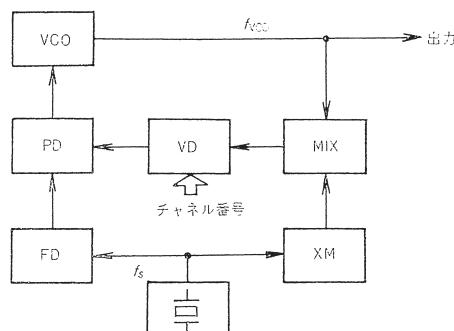
となる。ただし f_s は基準水晶の発振周波数、 M は図 15 の倍周回路の倍倍数である。したがって f_s/K をチャネル間隔に対応する周波数に選定すると、分周数 N を変えることによって電圧制御発振回路の発振周波数 f_{vco} をチャネル番号に対応した周波数とすることができる。

6 無線回線制御方式

一般電話における加入者線路は自動車電話では無線チャネルに相当する。無線チャネルは加入者線路と比較して次のような特徴を持っている。

(1) 加入者線路は電話機と交換機を常時接続しているのに対して、自動車電話では必要なときのみ無線チャネルが設定される。

(2) 加入者線路は電話機と交換機端子とを 1 対 1 に接続するものであるが、自動車電話では端末である移動機が無線チャネルの集線機能を持っている。



VCO : 電圧制御発振回路
VD : 可変分周回路
FD : 固定分周回路
PD : 位相検出回路
MIX : 周波数混合回路
XM : M倍周回路

図 15 シンセサイザの構成

(3) 固定電話では加入者線路を通じて通話及び制御信号が伝送されるのに対して、自動車電話では通話用のチャネルと制御用のチャネルに分離されており、いわば端末まで共通線信号方式となっている。

このような性質を持つ無線チャネルの設定制御に関する制御を無線回線制御といい、自動車電話方式実現のための重要な技術である⁽¹⁰⁾。

以下では無線回線制御方式の基本的技術について述べる。

6.1 複局制御技術

無線区間の制御チャネルの使用方法は、①無線ゾーンごとに異なるチャネルを使用する方法と、②複数の無線ゾーンで同一周波数のチャネルを使用する方法（複局制御方式）がある。前者は制御チャネルを通話チャネルと同様に無線ゾーン対応に配置するので、各無線ゾーンに割当てた無線チャネルの一部を制御チャネルに、残りを通話チャネルに使用する。これに対して後者は既にポケットペル方式に採用されており、信号伝送信頼度向上等の種々の利点を有する。

自動車電話方式では以下に述べる理由により複局制御方式を採用する。

(1) 制御チャネル数の減少

所要の同一チャネル干渉保護比を一定とすると、複局制御方式では繰返しゾーン数が著しく小さくなる。これは図 16 に示すように、干渉上からは無線ゾーン半径 r と干渉局間距離 d が節 3.2 で述べた方法で求められるが、この場合の繰返しゾーン数は式 (3) がそのまま使えるのではなく、複局制御をしている無線ゾーン全体をまとめ

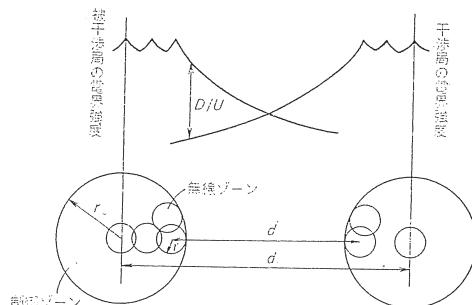


図 16 複局制御方式における繰返し距離の決定

て制御ゾーンと見たときの半径 r_0 及び干渉ゾーン間距離 d_0 から

$$N = \frac{1}{3} \left(\frac{d_0}{r_0} \right)^2 \quad (5)$$

で求められるためである。無線ゾーンごとに異なるチャネルを使用する方式では、繰返しゾーン数は 12~15 であるのに對して複局制御方式では 3~4 となる。一斉呼出しエリア内では、すべての送信機で同一の着呼信号を送出する必要のある着信制御チャネルはその数が上記繰返しゾーン数の減少分だけ少なくなる。一方発信制御チャネルについては、大ゾーン化による利用率低下と、制御の大束化による能率向上が相殺してほとんど所要チャネル数は変わらない。

(2) 制御チャネル探索時の呼損減少

移動機は待ち受け中は無線基地局からの着信制御チャネルを受信しているが、移動機が走行して着信制御チャネル周波数の異なる地域へ移動する場合には、着信制御チャネルを順次切替えて信号対雑音比の良好なチャネルを探索する。着信制御チャネル探索中は基地局との間にチャネルが設定されていないので、この間に生起した呼は接続不能であり呼損となる。この場合の呼損率は、単位時間あたりの探索回数と 1 回あたりの探索に要する時間すなわち着信制御チャネル数に比例する。

無線ゾーンごとに異なる制御チャネルを使用する場合は、移動機が無線ゾーンを移行するたびに着信制御チャ

ネルの探索をしなければならないが、複局制御方式では制御ゾーンを移行するときだけ探索すればよいので探索回数は少なくなる。しかも一般的には制御ゾーンの境界はトラヒックの少ない所に設定されるので、探索回数は事実上無視することができる。

一方着信制御チャネル数も前述したように複局制御を採用することにより減少する。以上 2 つの理由によって制御チャネル探索時間すなわち、探索中の呼損率を減少させることができる。

(3) 制御信号伝送信頼度の向上

複局制御方式では、移動機は複数の基地局の電波を受信するためルートダイバージチの効果を生じ、信号伝送信頼度を向上させることができる。

一方各無線基地局における制御チャネル送信機の送信周波数を互いに数 100 Hz 程度オフセットさせることによって、2 つ以上の無線基地局の電波がほぼ同じ強さで届いている場所での信号伝送信頼度が著しく向上することがわかっている⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。

以上述べた複局制御方式の長所と短所を表 4 にまとめて示す。またその実現に必要な技術を表 5 に示す。

無線ゾーンごとに異なる周波数の制御チャネルを配置する方式では、制御チャネル送受信機数は各無線ゾーン内のトラヒックに見合う数だけ設置すればよい。一方複局制御方式においては、複数の無線ゾーンから成る制御ゾーン内のトラヒックに見合う数の制御用送受信機を各無

表 4 複局制御方式の得失

		内 容
長 所	制御チャネル数の減少	制御チャネル繰返しゾーン数の減少による。
	制御チャネル探索時の呼損減少	制御チャネル数の減少と探索回数の減少による。
	制御信号伝送信頼度の向上	ルートダイバージチとオフセット効果による。
短 所	基地局装置の複雑化	発信制御用送受信機の増加、搬送波の周波数同期、ベースバンド信号の遅延時間等化

表 5 複局制御方式実現のために必要な技術

必要な技術	実 現 方 法
搬送波の周波数同期	高安定水晶 (1.5×10^{-7}) による独立同期
ベースバンド信号の遅延時間等化	ベースバンド信号の可変遅延回路の採用
移動機の在圏無線ゾーン検出	移動機からの電波の強さを各無線基地内で検出して、最も強い局を選択する。

線基地局に設置する必要があり、このために、制御用送受信機数が複局制御を採用しない場合と比較して約2倍必要となる欠点がある。この台数増は電話チャネル用送受信機台数の数%にしか相当しないで大きな問題ではない。

6.2 通話路の設定制御

通話チャネル設定制御の概要を移動機からの発呼及び移動機への着呼の場合について述べる。

6.2.1 移動機発呼時の通話路設定制御

移動機から発呼する場合の通話チャネル設定制御のタイムチャートを図 17 に示す。

複数の無線基地局で受信された、移動機からの発呼信号は無線回線制御局まで中継され、ここで発呼信号受信時の搬送波受信レベルが最も高い無線ゾーンを検出して、そのゾーンでの空き通話チャネルを移動機に指定する。受信レベルの検出は移動機が電波を送信している約 240 ms の間の平均値で行う。

通話路の導通確認のため指定した通話チャネルに基づ地→移動→基地の経路でループチェックトーンを送受信する。これは移動機が指定されたチャネル以外のチャネルに誤って切替えた場合に、他の加入者へ妨害を与えるほ

か、場合によっては他の加入者の通話が聞こえる可能性があり、これらを防止するために必要なものである。

通話路の導通試験が終了したあと、自動車電話交換局のダイヤル信号受信準備完了を待って無線回線制御局から移動機にダイヤル信号送出指令を送信する。これを受信した移動機がダイヤル信号を送出して交換接続がなされる。

なお加入者がフックを上げてからダイヤル信号送出指令受信までに数秒の時間を要するため、通話路設定制御の途中で移動機自身で発信音を発生させることとし、加入者がダイヤルした数字は1度バッファレジスタに蓄積してから送出する。これにより、加入者のダイヤル速度に無関係に信号長を一定にすることができるため、ダイヤル信号伝送の信頼性を向上させることができる。

6.2.2 移動機着呼時の通話路設定制御

移動機に着信があった場合の通話チャネル設定制御のタイムチャートを図 18 に示す。

待受け受信中の着信制御チャネルで自移動機番号と合致する着呼信号を受信した移動機は、応答信号を基地局に返送する。応答信号は一般に複数の無線基地局で受信され、無線回線制御局まで中継される。移動機発呼時と同様に応答信号を最も高いレベルで受信し

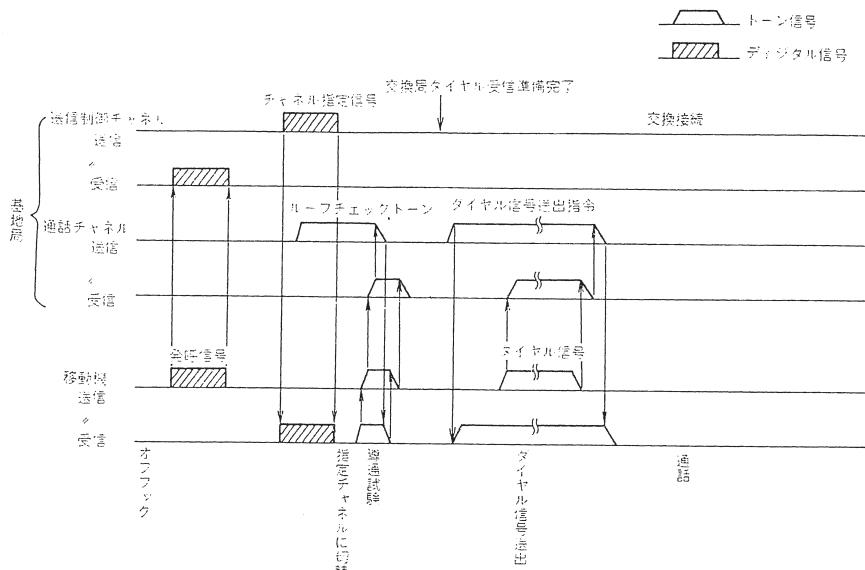


図 17 移動機発呼時のタイムチャート

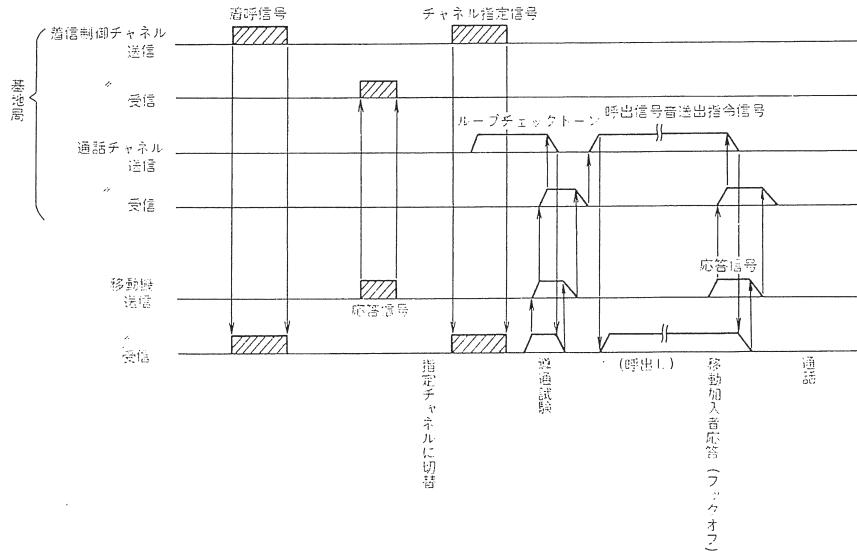


図 18 移動機着信時のタイムチャート

た無線ゾーンが検出され、そのゾーンでの空き通話チャネルを移動機に指定する。その後は通話チャネルの導通試験を行ったのち、移動機の呼出信号鳴動のために呼出信号音送出指令信号を送出する。移動機加入者が応答すると移動機から基地局に応答信号を送出したのち、通話路を接続する。

6.3 位置登録及び追跡切替

全国どこへでも移動する移動機に対する着信を処理する方法として、①全国で移動機を一斉に呼出す方法と、②あらかじめ知っている移動機所在地域でのみ一斉に呼出す方法が考えられる。前者は呼出しトラヒックが膨大になること、交換制御が複雑になること等のため不都合が多く、自動車電話方式では後者を採用する。

自動車電話交換局に移動機の位置を通知することを位置登録といふ。移動機の受けている着信制御チャネルに位置登録のための位置情報に関する信号を送り出しておき、一斉呼出しエリアごとにこの信号を異なれておく。移動機は位置情報信号が変化したことを検出したときに、位置登録信号を自動的に送出することによって位置登録がなされる。

このように移動機が通話していない場合でも、一斉呼出しエリアの境界を通過するたびに位置登録をするので、

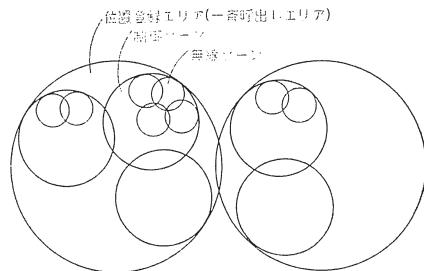


図 19 無線ゾーン、制御ゾーン及び位置登録エリアの関係

そのひん度は高く、このための処理量も大きなものとなる。位置登録のひん度は一斉呼出しエリアの大きさなど位置登録単位の大きさに依存し、一斉呼出しエリアを大きくした場合はそこから出していく移動機の割合が小さくなるので、位置登録ひん度は小さくなる傾向を持つ。また自動車電話の料金区域は、一斉呼出しエリアを単位として設定されるので一斉呼出しエリアの設定には十分自由度を持たせる必要がある。経済圏等も考慮すると東京あるいは首都圏を1つの一斉呼出しエリアとするのが妥当と思われる。

一斉呼出しエリアは1つまたは複数の制御ゾーンから構成される。無線ゾーン、制御ゾーン及び位置登録エリア（一斉呼出しエリア）の関係を図19に示す。

位置登録が非通話時に移動機が走行するときの問題であるのに対して、追跡切替すなわち通話中チャネル切替は、通話時の移動機走行に伴う問題である。位置登録が本質的に移動機側の主導で行われるのに対し、通話中チャネル切替は移動機の簡易化のため基地局側主導とする。

通話中チャネル切替の具体的な手順は次のとおりである。

①無線基地局の通話チャネル受信機の出力雑音を監視することにより、移動機が無線ゾーンを移行しつつあることを検出する。

②無線回線制御局は周辺の各無線基地局の電界監視用受信機に指令を出して、移行中移動機の送信波の各局における受信レベルを報告させる。

③無線回線制御局は、この中から最高受信レベルの無線ゾーンすなわち移動機の移行先無線ゾーンを検出して、ここでの空き通話チャネルを移動機に指定して切替えさせる。

④指定された新通話チャネルで導通試験をして通話を再開する。

通話中チャネル切替は帯域内の信号を使用するので通話の瞬断は避けられないが、上述の動作のうち、瞬断となるのは移動機に対する新通話チャネルの指定から導通試験終了までの約0.8秒であるので通話に対しては大きな影響は与えない。

7 む す び

800 MHz 帯を用いる自動車電話方式の無線方式について、ゾーン構成、無線チャネルの使用方法、無線系装置の概要及び無線回線制御方式を中心に述べた。

本方式は

(1) 800 MHz 帯 1000 チャネル (50 MHz) を使用することにより、首都圏で約 10 万の加入者を収容し、

(2) 全国的な規模でのダイヤル自動接続を可能とするもので、このため次の技術を開発した。

(1) 無線周波を有効に利用するとともに、800 MHz 帯の機器特性にマッチした小ゾーン構成法

(2) 移動機の 600 チャネル切替機能

(3) 無線チャネルの設定制御と、自動車電話交換局とのインターフェースを担当する無線回線制御局の導入

(4) 通話チャネルとは別に制御専用チャネルを導入し、これらについての複局制御技術

(5) 移動機が任意に走行しても接続処理及び通話の継続を可能とするための位置登録及び通話中チャネル切替技術

本方式のように大規模で大容量の公衆移動通信は未だ我が国では商用化の経験がないため、加入者習性上の問題で未知のことが多い。今後実際の置局、建設及びサービスと保守を通じての経験をもとに本方式を改善していくべき点も多いと思われる。

低成長、省資源が叫ばれている今日、自動車電話の果たす役割も少なからぬものがある。自動車電話に限らず移動通信の発展が大いに期待されるところである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導いただいた複合伝送研究部池上元部長、同渡辺前部長、移動無線研究室奥村前室長、移動通信研究室伊藤室長及び技術局高村調査役に深く感謝します。また複合伝送研究部美間部長及び技術協力部半沢部長には、それぞれ自動車電話の交換方式及び自動車電話機に関して種々御指導いただいた。複合伝送研究部宮内部長には日々の研究に関して御指導いただいている。これらの方々に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 渡辺・宮内：自動車電話方式の研究実用化、通研実報、26, No. 7, p. 1813, 1977.
- (2) 伊藤・松坂：自動車電話方式の概要、通研実報、26, No. 7, p. 1821, 1977.
- (3) 中村・十一家：準ミリ波デジタル伝送方式の実用化、通研実報、24, No. 10, p. 2095, 1975.
- (4) 荒木：全地域移動通信方式の基本的諸問題、通研実報、16, No. 5, p. 843, 1967.
- (5) 吉川・野村：自動車電話の無線回線設計、通研実報、22, No. 9, p. 2423, 1973.
- (6) 岩井・森永：移動無線通信における干渉妨害、通研実報、11, No. 10, p. 1759, 1962.
- (7) 高村・伊藤：自動車電話方式、信学誌、60, 5,

- p. 509, 1977.
- (8) 寺野・代田・三石：自動車電話用移動機の環境条件，信学会総合全大，p. 1886, 1977.
- (9) 吉川・岡坂：自動車電話方式の無線回線制御，信学会通信部門全大，S 4-5, 1976.
- (10) 吉川・岡坂・駒形：自動車電話無線回線制御，通研実報，26, No. 7, p. 1871, 1977.
- (11) 野村・吉川：移動通信における無線ゾーン繰返し法の検討，通研実報，22, No. 9, p. 2451, 1973.
- (12) 吉川・野村：自動車電話の無線ゾーン構成法，通研実報，23, No. 8, p. 1731, 1974.
- (13) 奥村・大森他：陸上移動無線における伝ばん特性の実験的研究，通研実報，16, No. 9, p. 1705, 1967.
- (14) CCIR : Rep. 567, Geneva, vol. V, p. 208, 1974.
- (15) 梅田・渡辺他：移動通信における伝ばん特性の一考察，信学会全大，p. 2353, 1974.
- (16) 三島・恵比根：移動通信における電波到来仰角測定結果，信学会アンテナ伝播研究会資料，AP-72-57, 1972.
- (17) 陸上移動業務の800 MHzにおける技術条件について，昭和50年度電波技術審議会答申，p. 50, 1976.
- (18) JAPAN : Channel Control in Small Cell Systems, CCIR Doc 8/14-E, Interim Meeting, Geneva, 1976.
- (19) 岡坂：自動車電話方式に用いる無線回線制御トラヒックの検討，信学会，通信方式研究会資料，CS 76-5, 1976.
- (20) W. C. Babcock : Intermodulation Interference in Radio Systems Frequency of Occurrence and Control by Channel Selection, B. S. T. J., 32, No. 1, p. 63, 1953.
- (21) 渡辺：自動車電話方式における無線チャネル配置法，信学論B, J59-B, No. 3, p. 196, 1976.
- (22) 木下・坂本・代田：自動車電話方式用移動機，通研実報，26, No. 7, p. 1987, 1977.
- (23) 三島・恵比根・渡辺：自動車電話方式用基地局アンテナ共用系，通研実報，26, No. 7, p. 2011, 1977.
- (24) 坂本・鎌田：自動車電話無線回線設計，通研実報，26, No. 7, p. 1855, 1977.
- (25) 岡坂・吉富他：自動車電話方式用無線制御装置，通研実報，26, No. 7, p. 2067, 1977.
- (26) 長津・平出・梅田：自動車電話方式用基地局送受信装置，通研実報，26, No. 7, p. 2037, 1977.
- (27) T. Hattori, K. Hirade and F. Adachi : Theoretical Studies On Diversity Technique Using Carrier Frequency Offset Strategy, Symposium on Microwave Mobile Communication, IV-3, 1976.
- (28) 服部・平出：複局同時呼出し方式におけるダイバージュ効果，信学会，通信方式研究会資料，CS 74-97, 1974.

(1977, 4, 11 受付)