

移動通信の基盤技術 その1

3 セル構成技術の進展 ~マイクロセル化に向けて~

我が国の自動車・携帯電話方式は、限られた周波数資源を利用しつつ、導入後13年を経て180万を超えて利用されるに至った。この発展には、セル構成および関連する無線回線制御技術が大きな役割を果たした。本サービスの黎明期から発展期にかけて、これらの技術がどのように進歩してきたかを整理するとともに、今後のマイクロセル化の技術動向を予測する。

なかじま のぶお
中嶋 信生

まえがき

もし現在のアナログ自動車・携帯電話に現在使用されている28MHz(×2)を、1人当たり12.5kHzずつ使用すると、2,240チャンネルしか得られない。2,240チャンネルを1人1人が独占使用したと仮定すると、ニューヨーク、シカゴ、東京のような大都市の40~100万に及ぶ需要を満たすには遠く及ばない。

サービスエリアを複数のセル(無線ゾーン)で形成し、お互いに干渉が許容できる距離だけ離れたセル間で周波数を再利用すると極めて多くのチャンネルを利用でき、高い周波数効率を得られる。再利用距離を狭める(小セル化)ことでセル半径に応じて周波数利用効率をさらに高めることもできる。小セル化に伴って送信電力も節減でき、超小型携帯機の利用が可能となる。この概念はセル方式の中心をなすもので、自動車・携帯電話方式は、これによっている。

周波数リユースのアイデアは1953年K. Bullington¹⁾、1960年H. J. Schulteら²⁾(いずれもベル研)によって提案され、さらに1967年には当時電電公社の荒木の論文³⁾において広域位置登録、小セル化の概念が加えられ、自動車電話セル構成法の基礎となった。

1979年になると、BSTJの移動通信特集号において“Cellular Concept”が提案された⁴⁾。それまでの周波数リユースなどの機能に加えて cell splitting を特徴とするものであった。cell splitting とは需要の増加に応じてセルを細分化していくもので、必要に応じて容量を段階的にいくらかでも高めることができるという考え方である。ハンドオーバも提案されている。

携帯電話を指向した方式としては、6セクタのダイバーシチ基地局アンテナを利用し、移動機送信出力の節減を図ったダイナタック方式が最初に挙げられるであろう⁵⁾。

1980年代になって自動車電話システム導入が世界規模で行われ、我が国では導入当初の方式⁶⁾と、その改良方式⁷⁾、大容量方式⁸⁾⁹⁾、3チャンネル TDMA を採用したデジタル PDC 方式(Personal Digital Cellular Telecommunication System)¹⁰⁾が次々とサービスを開始したが、それらは上記コンセプトを基礎として発展したものである。

本稿では、セル構成法の特徴、ならびに関連する周波数有効利用技術を紹介する。また、次なる課題であるマイクロセルを実現するための課題について概説し、将来のセル構成のイメージを描く。

セル構成技術の特徴

移動通信において固定電話と同等な通信能力(容量、接続性)を確保するには、2つの大きな問題があった。第1は周波数資源に限りがあること、第2はユーザの場所が不定であることである。これらは、セル構成技術と無線回線制御技術で解決の工夫がなされてきた。

図1はセル構成の比較である。単一セル方式は使用可能チャンネル数が使用帯域で一意に決まり、容量に限界があるものの、システムは簡易な構成である。複数セル方式では、サービスエリアを複数のセルで形成し、周波数を繰り返し利用する(リユース)。通信がセル間をまたがる場合にも、チャンネル切替(ハンドオーバ)で継続を可能としている。トラヒック密度の高いエリアでは、セルを小さくし繰り返し距離を近くとることにより、単位面積当りの呼量を大きくすればよい。これにより、容量の問題は大きく改善された。

複数のセルでサービスエリアをカバーすることは、移動機の大きさの面でも有利である。セル半径が小さくなるほど、送信出力は小さくて済む。

セル方式における第2の問題として取り上げた固定電話並みの接続性を確保するには、表1のような課題を解決する必

	単一セル方式	複数セル方式
セル構成	周波数 $f_1 \sim f_n$	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 周波数はユーザごとに固定またはマルチチャネルアクセス 制御容易 送信出力大 	<ul style="list-style-type: none"> 周波数繰返し利用 マルチチャネルアクセス 高度な回線制御必要 送信出力小
適用システム	<ul style="list-style-type: none"> MCA コンビニエンスラジオホン 簡易無線 (タクシー無線) など 	<ul style="list-style-type: none"> 自動車・携帯電話 船舶電話 航空機電話 テレターミナルなど

図1 セル方式の比較

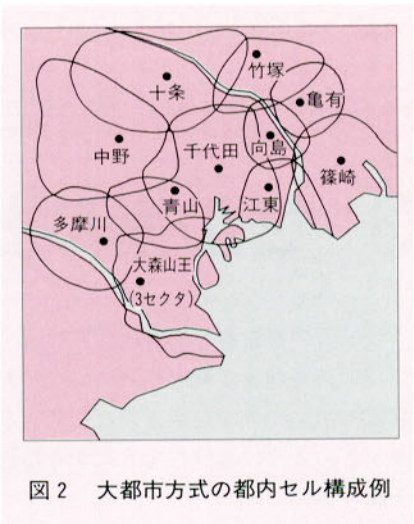


図2 大都市方式の都内セル構成例

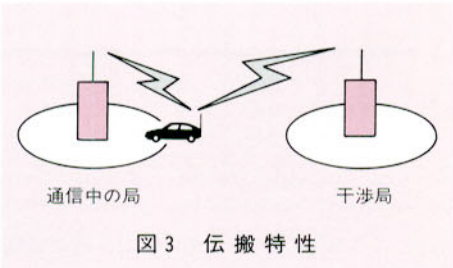


図3 伝搬特性

表1 セル方式回線制御所要機能

発信
着信
終話
待ち受け
位置登録*
ハンドオーバー*

*: セル方式固有

要がある。これについては、後に詳しく述べる。

セル構成技術の進展

1979年に我が国で商用化された最初の自動車電話システム (大都市方式) では、15MHz × 2 の帯域を使用し、容量は1

地域で10万加入であった⁶⁾。セル半径は5kmを基本とし、23区内は図2に示すように11局計13セルでカバーされた。その後一貫してセル構成技術は大容量化に向けて高度化が図られてきた。表2は、システムの改良とともに推移したセル構成パラメータと関連する適用技術を示したものである。セクタ化¹¹⁾、ビームチルティング¹²⁾、インタリーブ配置^{13),14)}などが導入されていった。

以下にセル設計の基本、ならびに適用技術の概要について述べる。

■セル設計 (周波数リユース)

どれくらいの距離で周波数をリユースできるかは、伝搬損失の距離/変動特性、所要品質を満たす許容CIR値 (希望波/

干渉波比)、および場所的劣化率の許容値に依存する。

移動無線伝搬路では、伝搬損失の平均値 (または中央値) は距離の α ($\approx 3.2 \sim 3.5$) 乗に比例し、標準偏差 σ (≈ 6 dB) の対数正規分布をなすモデルが一般的に適用されている¹⁵⁾。損失距離特性の推定には奥村カーブとそれを定式化した秦式などがよく知られている^{15),16)}。図3において、希望波と干渉波はそれぞれ受信レベル平均値を中心に独立に標準偏差 σ のレベル変動をしている。これより各地点のCIRの確率分布が求められ、セル内全体の場所的劣化率は、地点ごとのCIRが許容値を下回る確率を積分すれば得られる。

図4はオムニ (円形) セル構成において、周波数リユース数をパラメータとして、許容CIR値と劣化率の関係を求めた例である。例えば許容CIR=13dBで干渉による劣化率を10%とすると、約9リユースとなる。

■セクタ化

オムニセルでは、干渉波は図5に示すように6方向から到来する。一方、セクタアンテナを用い各セルを複数のセクタ

表2 セル構成の推移

	アナログ方式		デジタル方式
	導入時方式 (大都市/中小都市方式)	大容量方式	PDC方式
セル形状	オムニ	オムニ/3セクタ	3セクタ
最小セル半径	5km~3km	3km~1.5km	~1.5km
周波数リユース	20~12*	12~7*	7~4*
容量増対策 セル構成			セクタ化 ビームチルティング
制御・伝送	25kHz アナログFM コンパンド	6.25kHzアナログFM (インタリーブ配置) ダイバーシチ受信 インサースビス制御 干渉検出チャネル切替	ダイバーシチ受信 送信出力制御 干渉検出チャネル切替 ダイナミックチャネル割当(予定) 11.2Kb/s音声コーデック (将来は5.6Kb/s化)
移動機 送信出力	5W (2段階切替)	1W (適応送信電力制御)	0.8 W (ピーク) 0.27W (平均)

*: 適用条件による

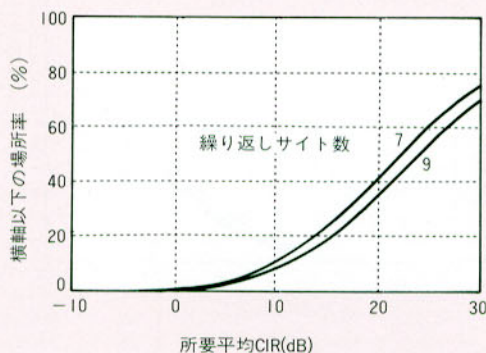


図4 オムニセルの所要CIRと劣化率

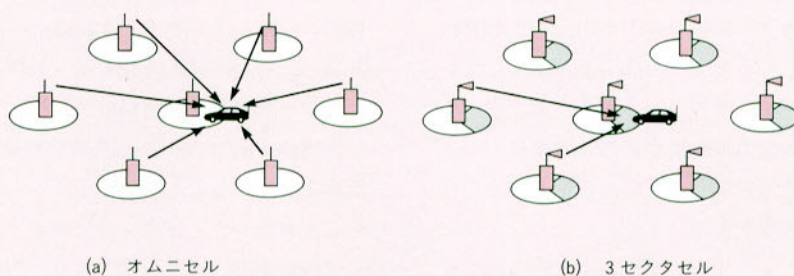


図5 同一周波干渉特性

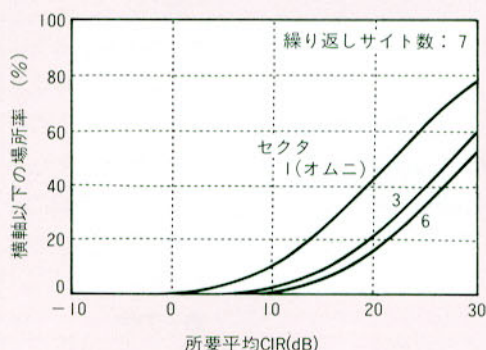


図6 セクタ化による干渉の低減

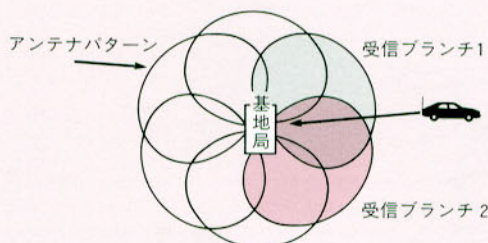


図7 6セクタ、隣接アンテナダイバーシチ受信

に分けると、干渉を与える局数が少なくなる。図6はセクタ数が多くなると干渉量が減ることをシミュレーションにより明らかにしたものである¹⁷⁾。

セクタアンテナはオムニアンテナよりも利得が高いため、送信出力の低減にも有効である。一方、セル数が実質的に増加するため、回線制御はやや負荷が大きくなる。

大容量方式では、当初のオムニ構成から3セクタ構成に変更し、次に述べるインターリーブと組み合わせることで更なる容量増大が図られた。1993年3月にNTT DoCoMoで商用導入されたPDC方式でも、3セクタ構成が適用されている。

米国のAMPS方式や、我が国のJ/N-TACS方式では、6セクタ構成も採用されている。通常ダイバーシチ受信はアンテナを2組必要とするが、代りに図7に示すようにセクタ間アンテナ指向性の重複を利用することにより、不等利得となるものの、アンテナを追加することなくダイバーシチが実現されている。

必ずしも実用化されているとは限らないが、その他のセクタ関連の周波数有効利用技術をいくつか以下に紹介する。

図8は同一周波数をバックバック配置したものである。背面同士のセクタセルは近くでもお互いに干渉しにくいことを利用しており、より近接したセクタ間で周波数リユースができるため周波数効率が高い¹⁸⁾。

トラフィック密度のピークを中心に、この考え方を拡張してセクタアンテナを巧

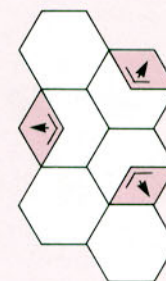


図8 セクタアンテナのバックバック配置

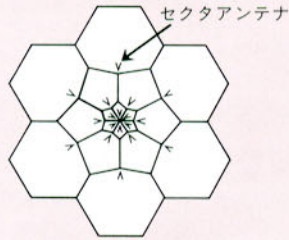


図9 トラヒックピークに対応したセル構成例

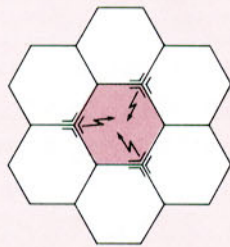


図10 複数セクタアンテナによるオムニセル

みに配置して容量を高めた例もある¹⁹⁾。図9に示すように中心を小セル化し、さらにそこからセルを大きくしつつ放射状にセクタアンテナを配置している。

図10は複数のセクタアンテナを内側に向けてオムニセルを形成したもので、伝搬損失の変動が少ない、他セルへの洩れが少なく干渉が小さい、などの特徴がある²⁰⁾。

■インタリーブ配置

移動通信では、同一基地局で隣接する同波数のチャンネルを使用しても干渉しないようにチャンネル間隔が定められている。その配列に割り込んで、各隣接するチャ

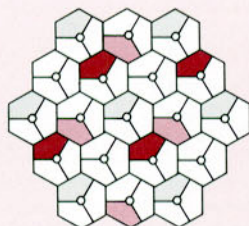


図11 インタリーブ化時のセル構成例

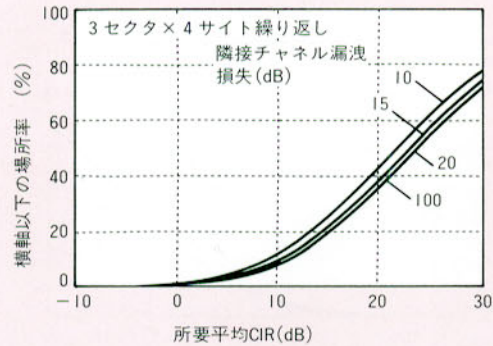


図12 インタリーブを考慮した所要CIRと劣化率

ネル間の中央に別のチャンネル列を加えたのがインタリーブ配置である²¹⁾。同一基地局での使用は困難であるが、同一チャンネル干渉よりは影響が小さい。そこで図11に例示したように、同一チャンネルリユース距離よりも近いセルにインタリーブチャンネルを追加配置することにより、干渉をほとんど増やさずに、容量を高められる可能性がある。

オムニセル方式では、原理的に12サイト（基地局）リユース以上でないとインタリーブチャンネルが隣接セルにきてしまうが、セクタ化や周波数配置の工夫により、9サイト以下のリユースの可能なことが見出されている²²⁾。

大容量方式では、インタリーブ干渉による品質劣化を改善し、6.25kHz間隔を実現した¹⁴⁾。PDC方式では隣接チャンネルへの漏洩損失は15~20dBに抑えることにより、図12の例からわかるように約2倍のチャンネルを有しながら劣化率はあまり増大していない¹⁷⁾。

■ビームチルティング¹²⁾

周波数リユース数は、セル周辺において所要CIRを確保できることを条件に求

められる。図13に示すように基地局アンテナビームを下方に傾け(チルト)、セル周辺の希望波レベルと繰り返しセルへの放射レベルの差を大きくすれば、干渉が低減し、その結果周波数リユース数を減らすことができる。図14はチルティングの実験結果例であり、10dB程度干渉量が低減されていることがわかる。

ビームチルティングは、アンテナが高くセルが小さいほど有効である。都内の高トラヒックエリアでは、現在ほとんどの局に適用されている。

■リユースパーティション

図15のように、各セルの中に仮想的な小セルを重ねると、小セル同士ではより近い距離で周波数リユースができる²³⁾。表3の例は、7セルと3セルリユースを組合せ、周波数を3:1の比で分割・使用させたもので、等価的なリユース数は約5となり、周波数効率7セルリユースの約1.3倍となる。

■その他

“Cellular Concept”に基づく、高トラヒック領域は小セル、周辺は中~大セルとすることで経済的に容量を高めるこ

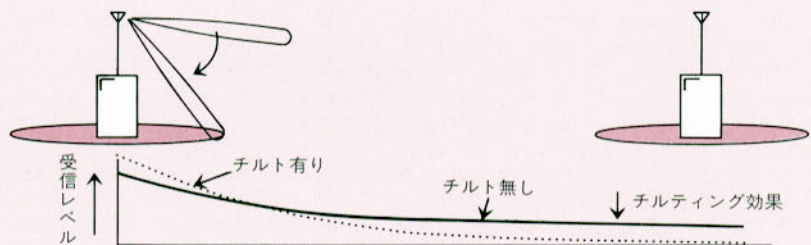


図13 基地局アンテナのビームチルティング

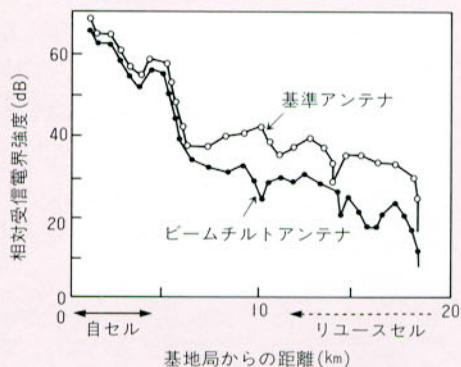


図14 ビームチルティングによる干渉の低減例

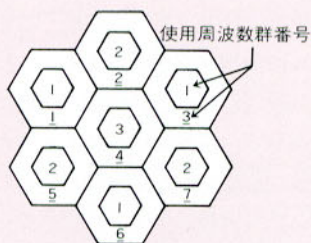


図15 リユースパーティション

とができるが、周波数リユースの面から見ると、実はそう簡単ではない。大きいセルからの干渉波は距離とともに緩やかに減衰するため、小セルで大セルの周波数を再利用することは一般に困難である。そこで、図16に示すような繰り返しの近い小セル群と、遠い大セル群で周波数を分けて使う方法が代りに考えられた²⁴⁾。周波数の分割損はあるものの、チャンネル割

表3 リユースパーティション条件

	半径	呼量	リユース
外側セル	1	3/4	7
内側セル	0.5	1/4	3
総合	1	1	5.22 担当

当が容易な特徴もあって実際に使用されている。

回線制御や無線伝送技術の分野でも、表2に示すような周波数有効利用技術が開発された^{25),26)}。

以上述べたように、セルを構成するうえで各種の工夫をすることにより、周波数はより有効に利用できるようになった。図17は、一例としてアナログ方式における大容量化の技術導入経過を示したものである¹³⁾。導入当初にシステムでは1地域

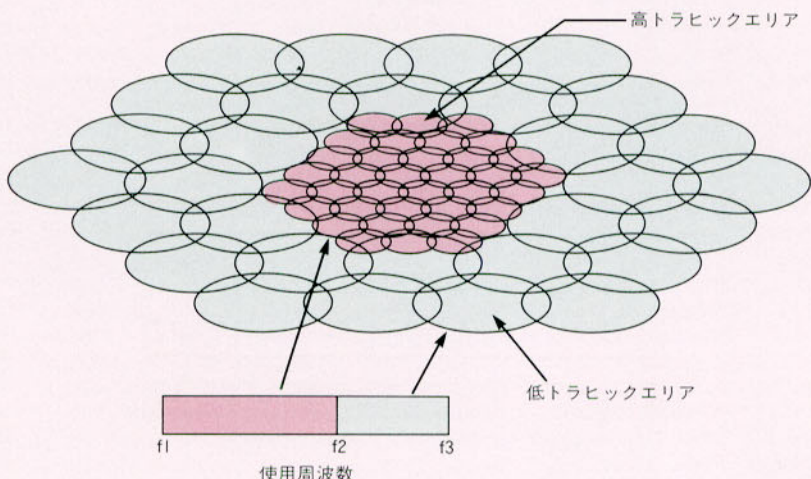


図16 セル群ごと周波数帯域分割

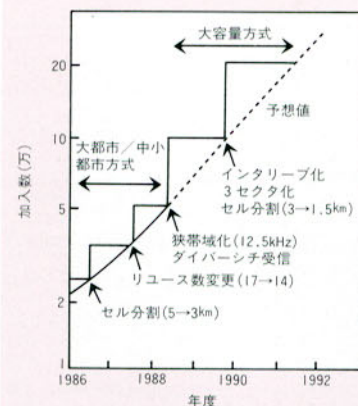


図17 大容量化技術導入経過(1989資料)

10万加入であったものが、今では同じ帯域幅でも都内で40万以上を収容できるまでに至っている。

回線制御技術

移動機がどこにいても良好な接続率を維持するには、表1に示す機能を実現するための移動通信固有の回線制御技術が必要である。最初の自動車電話システムでは、既に実用化されていた250MHz帯無線呼出方式や自動内航船舶電話方式(以後、船舶方式と呼ぶ)の技術が一部適用され、その後システムの進化に伴って、制御方式は高度化されてきた(表4)。

■制御チャンネル構成

通信チャンネルと共用する方式と制御専用のチャンネルを設ける方式がある。通信チャンネル数の少なかった船舶方式では前者が採用されていたが、自動車電話では一貫して専用チャンネル方式が適用されている。また、アナログ方式では発信制御と着信制御は別チャンネルとなっている²⁷⁾。

発信制御チャンネルでは、複数移動機の同時発呼対策として衝突制御が必要である。空き線制御²⁸⁾をはじめとして、システムの発展に伴い効率の高い方法が開発されてきた。

船舶方式の場合セル半径が50km前後と大きく、発着信や位置登録制御はすべてこの単位で行えばよかったが、自動車電話ではセル半径が小さいため、複数のセル(これを制御ゾーンまたは位置登録エリアと呼ぶ)で一括して呼を扱うことが

表4 回線制御技術の進展

	自動内航船舶 電話方式	自動車・携帯電話方式		
		導入時方式	大容量方式	デジタル方式 (PDC)
制御チャンネル 構成	通信チャンネル共用	制御専用, 発着信個別チャンネル	同左	制御専用, 発着信共通チャンネル
信号伝送方式 ・着信	グループ内チャンネル 一斉送信	(周波数/波形オフセット) 複局同時送信	複局同時/順次送信	セクタごと個別周波数送信 (部分エコー付空き線制御 : ICMA-PE)
・発信 (ランダムアクセス制御)	待受けチャンネルから 送信 (空き線制御)	周波数/波形オフセット 複局送信 (空き線制御: ICMA)	セクタごと個別周波数送信, (データスロット予約形空き 線制御: ICMA-DR)	
位置登録	セル単位で登録	複数セル単位 (位置登録エリア) で登録	同左 (多層エリア登録法)	
ハンドオーバー ・通信中位置 検出	なし	周辺基地局で専用受信装置によりレベルモニタ	移動機が周辺基地局の レベルモニタ	
・チャンネル 切替制御		通信チャンネルに 制御信号が割込	通信中制御信号同時伝送 で無雑音化 マルチ接続により瞬断時間 低減	同左
追跡交換	なし	導入当初なし, 地域準無指定化以後 有り	有り	同左

■位置登録

かつての米国の各都市単位の自動車電話と異なり、早い時期から全国ローミングと番号の地域準無指定(距離が160 km以下(030)/以上(040)でのみ呼出番号が変わる)機能をもつ我が国の方式では、位置登録と追跡接続機能が不可欠であった。

複数のセルからなる広域単位で位置登録する方式において、どの程度の広さが最適かは、着信呼数と位置登録頻度のトレードオフによって決められた²⁹⁾。広すぎると着信信号トラヒックが増し、狭すぎると位置登録トラヒックが増して制御チャンネルの使用効率が低下する。また、位置登録頻度が高いと移動機の電池消耗にもつながる。位置登録エリアはおおむね県単位に形成された。トラヒックの増大に伴い、位置登録エリアは狭くなっていく傾向にある。位置登録トラヒックの上昇に伴い、エリア境界におけるばたつき(電界の変動に伴って頻繁に切替が生じてしまうこと)が問題になる。PDC方式では、対策としてオーバーレイ位置登録エリア構成が提案された³⁰⁾。図20に示すよ

考えられた。このために大都市方式では、着信および発信制御チャンネルの周波数は制御ゾーン内でそれぞれ同一とし、セル間で周波数をオフセットして同時送信する方式が採られた⁶⁾。この複局同時送信には、無線呼出方式の技術が活用された。後に中小都市方式では、周波数安定度の面で有利な波形オフセット方式が採用された⁷⁾。複局同時送信は我が国のシステムだけに使用されている。

大容量方式になると、制御チャンネルの有効利用を図るため、複局同時順次方式が開発された⁹⁾。すなわち、図18に示すように着信制御チャンネルで、同一周波数により、着信など共通情報は広域で同時に送信し、各基地局の固有情報は順を追って個別に送信するものである。これにより移動機は帰属している基地局を認識できるようになった結果、発着情報はセル単位で(別周波数で)扱えるようになり、周波数利用効率が高められた。

デジタル方式になると様子は一変する。信号伝送速度はそれまでのチャンネル辺り300 ~ 2,400b/sから11.2kb/sと5倍以上に高速化された。しかし、このために、局間で同期して同じ情報を送信することが困難になった。

着信では着信情報を報知するために下り回線に速度が求められ、発信では、ランダムアクセスのために上り回線の速度

が要求された。そこで、発着信チャンネルを図19に示すように1つに統合して、上り/下り制御回線の使用効率を高めることにより、セルごとに別周波数としつつも、複局同時送信に劣らない制御信号伝送効率を得ている。セルごと別周波数は、次に述べるように移動機が周辺局からの信号強度をモニターするためにも必須であった。

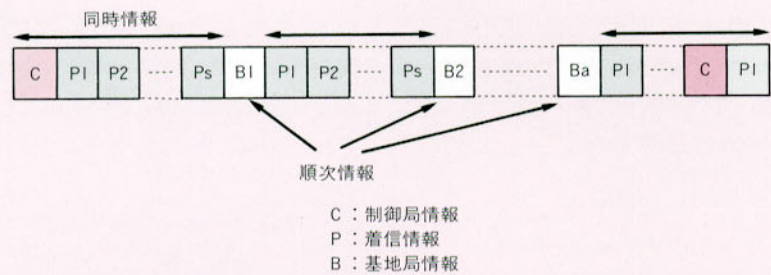


図18 複局同時順次送信

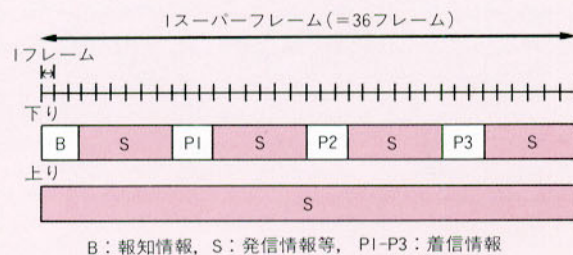


図19 発着信チャンネルの統合

うに位置登録の際、移動機はエリアの境界ではなく中心近くに位置できるようなレイヤの該当エリアに登録させるもので、ばたつきの問題は解決した。

位置登録トラヒックそのものを減らす検討もなされている。各移動機の行動パターンをネットワークが学習して、移動機ごとに位置登録が最も少なくなるよう

に位置登録エリアの範囲を定めるもので、高度な機能を必要とするが今後のマイクロセル化に向けた重要な課題である³¹⁾。

■ハンドオーバ

船舶方式のように広いセル内を低速で移動するシステムでは問題なかったが、自動車・携帯電話ではハンドオーバ（通信中チャンネル切替）は、通話を継続させ

るために不可欠である。アナログ方式では、いずれのシステムでも図21のように移動機周辺の基地局が受信レベルをモニタして制御局で比較することにより、移動機位置を検出してハンドオーバを行ってきた。切替制御信号は、当初通信チャンネルに割込みを入れ、切替時に異音が生じたが、大容量方式では通信中に音声帯域外で制御信号を同時伝送することにより無音にした。また、切替時に交換装置から切替前後両方の基地局に回線を設定（マルチ接続）することにより、瞬断時間は短くなった。

アナログ方式における基地局系による通信中のレベル監視は、制御信号の処理および局間伝送において多くの割合を占めていた。PDC方式では、レベル監視機能を移動機が受け持ち、制御の自律分散化を図ったことにより、制御効率が大きく向上した。この移動機補助チャンネル切替(Mobile Assisted Hand Over: MAHO)は、TDMAの採用によって初めて可能となった³²⁾。図22に示すように、時分割送受信において、移動機には空時間があり、その間に周波数を切り替えて周辺局の電波強度を調べるもので、移動機自身が移行先の基地局や、移行タイミングを把握することができる。ネットワーク側の役目は、移動機からの情報に基づき移行先の無線チャンネルを設定し、固定回線を切り替えるだけである。この制御効率の向上により、一層の小セル化、マイクロセル化が可能となったといえる。

■その他

所属するセルのチャンネルに空きがないとき、隣接セルの中から使用可能なチャンネルを次に選択する割当て方式も考えられ、呼損を下げ周波数効率を高めるのに役立っている^{33),34)}。

マイクロセル化

■特徴

これまでのセルシステムの適用領域は主に屋外であり、トンネルや駐車場など一部の屋内不感地（閉空間）はブースタでカバーされてきた^{35),36)}。また、需要の

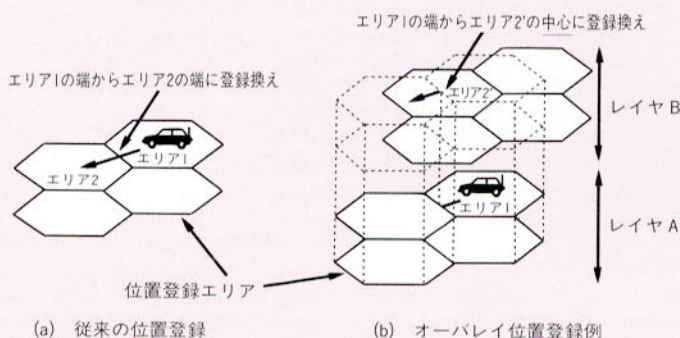


図20 位置登録法

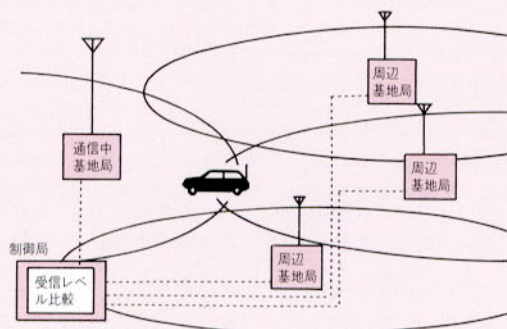


図21 アナログ方式の位置検出法

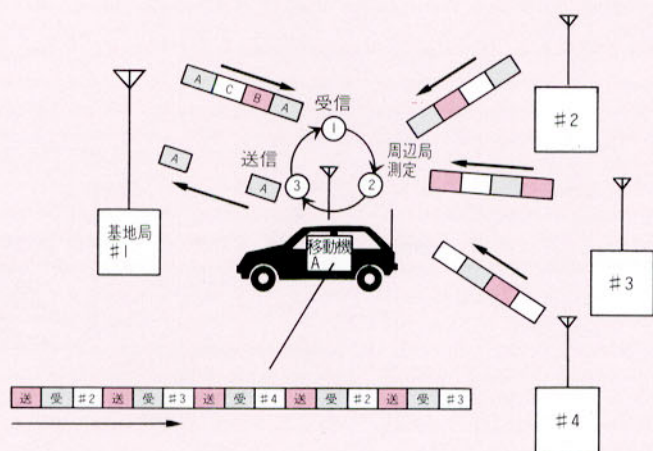


図22 デジタル方式の位置検出法

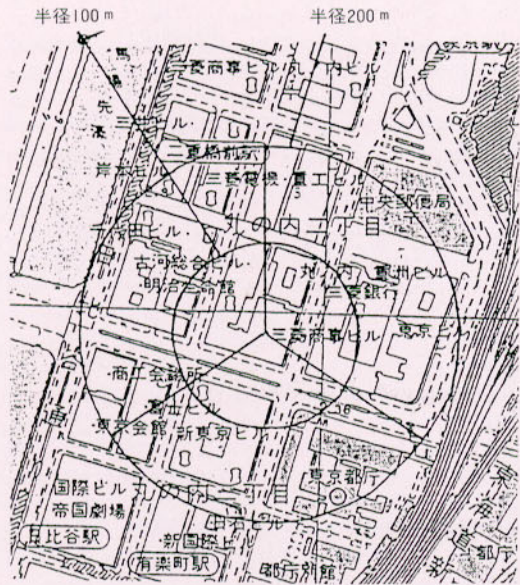


図23 セル半径と建物分布の関係

増大には、小セル化で対処してきた。今、マイクロセルが注目を集めている理由は、容量ならびにエリア拡大の手段として、これから大いに有効と考えられるためである。

なお、マイクロセルの定義は種々あるが、ここでは以下に述べるストリートセルと屋内セルを指すものとする。

現在のセル構成法は、伝搬特性に奥村モデルを使い、セルは基地局を中心とした円である。セル半径は5kmから次第に小さくなり、いまや1km以下になろうとしている。ところで、図23を見るとセル半径の減少に伴い建物の局在が無視し得なくなり、伝搬路はマクロに扱い難くなっていくことがわかる。道路沿いに干渉波が遠くまで達し、周波数リユース数は大きくなると予想される。

一方、基地局アンテナ高が建物以下のストリートセルでは、電波は道路に沿って自由空間と同じ強さで伝搬し、周囲への洩れは少ない³⁷⁾

このようなセル構成法としては、池上により樹枝状セル構成³⁸⁾が提案され、最近では、自動車・携帯電話、デジタルコードレスへの適用の検討が数多くなされている。

小さい面積なため面的な周波数効率に

優れ、伝搬損失は少ない、極めて大きな容量を得て、移動機送信出力も節減するには、マイクロセルが効果的である。

携帯電話がサービスの主体となってくると、屋内で通話を行う確率が高くなっていくため、いかにして屋内にエリアを展開するかが大きな課題となってくる。ブースタが効果的であるが、容量や品質を考慮すると、屋内もセル（ピコセル）で覆っていくことが不可欠である。

■課題

マイクロセルを適用した、将来のセル構成の概念図を図24に示す。サービスエリア全体をマイクロセルで埋め尽くすのは経済的でないので、従来のマクロセル構成との共用は必須である。この場合、

「セル構成技術の進展—その他」でも述べたのと同じように、マクロ/マイクロセルで周波数を共用するのは困難であり、帯域を分けることが考えられる。分割損を考慮しつつ周波数効率を評価し高めていく必要がある。またセルはオーバレイ構成になるため、移動機はどちらのセルに帰属するかのアロギリズムや、マクロ/マイクロセルハンドオーバも新しい機能として要求される。

セル数は当然極めて多くなるため、基地局の小型化、経済化ならびに局間伝送路の経済性がマイクロセル実現の鍵を握っている。共通増幅³⁹⁾、光RF伝送⁴⁰⁾などが重要である。

無線回線制御方式についても、位置登録、広域呼出、ハンドオーバなどマイクロセルに適した方式を考える必要があろう。制御効率向上のためには、自律分散化が求められる。セルの新設、移動などが頻繁となるため、チャンネル割当には、柔軟性のあるダイナミックチャンネル割当⁴¹⁾の適用が重要となろう。

まとめ

自動車・携帯電話システムにおけるセル構成技術とその周辺技術の発展の状況を解説した。さらに詳細な内容については、文献を参照されたい。

屋内外にサービスを統一的に提供しようとする次世代移動通信システムにとって、マイクロセル化は重要な課題である。特徴と主な課題について述べたが、技術的にはネットワーク、伝搬、制御、ハー

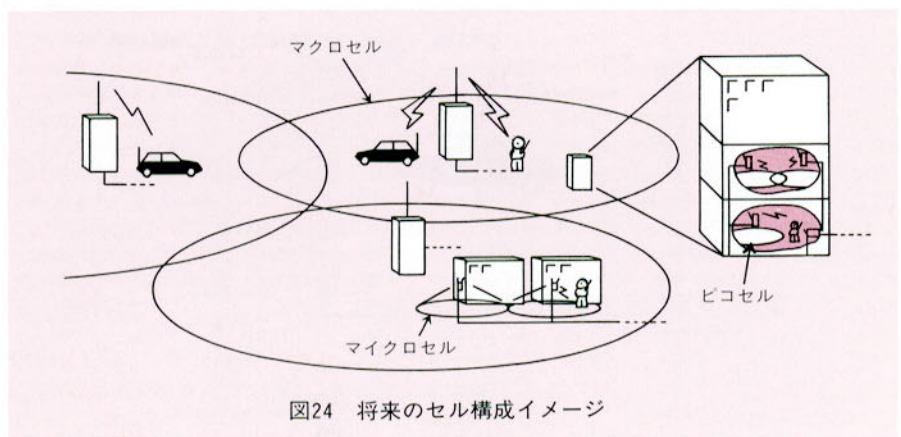


図24 将来のセル構成イメージ

ドなど多くの分野が関わるものであり、今後の各分野における研究の進展が不可欠である。

文 献

- 1) K. Bullington: "Frequency Economy in Mobile Radio Bands", BSTJ, Vol. XXXII No.1 pp.42-62 (Jan. 1953)
- 2) H. J. Schulte, Jr. and W. A. Cornell: "Multi-Area Mobile Radio Telephone System", IRE Trans on Veh. Commun. Vol. VC-9 No.1, pp.49-53 (May 1960)
- 3) 荒木: "全地域移動通信方式の基本的諸問題", 研実報, 第16巻 第5号, pp.843-865 (1967)
- 4) V. H. MacDonald: "The Cellular Concept", BSTJ Vol.58 No.1, pp.15-42 (1979)
- 5) J.J. Mikuski: "Dyna T*A*C* Cellular Portable Radio telephone System Experience in the U.S. and UK", IEEE Communications Magazine, Vol.24 No.2, pp.40-46(1986)
- 6) "自動車電話方式特集", 研実報, 第26巻 第7号 (1977)
- 7) "最近の自動車電話技術特集", 研実報, 第31巻 第1号, pp.1-240 (1982)
- 8) "大容量移動通信構成技術特集", 研実報, 第35巻 第10号, pp.989-1032 (1986)
- 9) "大容量移動通信方式", NTT 国際シンポジウム資料 (July 1983)
- 10) "ディジタル移動通信技術の開発", NTT R&D Vol.40, No.10, pp.1269-1326(1991)
- 11) 野村, 吉川: "移動通信における無線ゾーンくり返し法の検討", 研実報, 第22巻 第9号, pp.2451-2465 (1973)
- 12) 奈良, 恵比根, 中嶋: "基地局アンテナの市街地におけるビームチルト効果", 昭60信学総全大, S5-15
- 13) K. Watanabe and K. Imamura: "Evolution of NTT High-Capacity Land Mobile Communication System", ICC'89, pp.462-466 (1989)
- 14) 村田, 尾上: "移動通信隣接チャンネル干渉軽減法の提案", 信学論B-II, Vol. J72-B-II No.12, pp.680-681(1989)
- 15) 奥村, 大森, 河野, 福田: "陸上移動無線における伝ぱん特性の実験的研究", 研実報, 第16巻 第9号, pp.1705-1764 (1967)
- 16) M. Hata: "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. VT-29 No.3, pp.317-325 (August 1980)
- 17) 中嶋, 中野: "セクタセルの周波数利用率", 信学技報 RCS 89-18, pp.1-4 (1989)
- 18) T. Nomura and N. Yoshikawa: "Multiple Radio Zone Plans in Mobile Radio Systems", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. VT-25 No. 3, pp.68-74 (August 1976)
- 19) M. Nilsson: "MAX Digital Mobile Radio System - A System Proposal for GSM -", Second Nordic Seminar, pp.109-115 (1986)
- 20) P. S. Henry and B. S. Glance: "A New Approach to High Capacity Digital Mobile Radio", BSTJ, Vol. 60 No. 8, pp.1891-1904 (1981)
- 21) J.J.Mikulski: "A System Plan for a 900-MHz Portable Radio Telephone", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol.VT-26 No.1, pp.76-81(Feb. 1977)
- 22) 服部, 平出: "移動通信におけるスプリットチャンネル配置と周波数有効利用率", 昭和58信学総全大
- 23) S. W. Halpern: "Reuse Partitioning in Cellular Systems", IEEE Veh. Tech. Conf., VTC'83, pp.322-327 (1983)
- 24) 朝倉, 藤井: "移動通信における無線ゾーン構成方法の一考察", 1990信学春季全大 B-332
- 25) 藤井, 坂本: "干渉検出・ゾーン内チャンネル切換えによる移動通信同一チャンネル干渉軽減", 信学論B-II, Vol. J74-B-II No.12, pp.646-655 (1991)
- 26) 藤井, 小園: "移動通信における送信電力制御適用時の受信レベル特性", 信学論B-II, Vol. J72-B-II No.9, pp.434-441 (1989)
- 27) AT&Tの FCC提出文書: "High Capacity Mobile Telephone System Technical Report", Docket No.18262, Section 3. Switching and Control (Dec. 1971)
- 28) S. Okasaka: "Control Channel Traffic Design in a High Capacity Land Mobile Telephone System", IEEE Trans. Veh. Tech. VT-27, 4, pp.224-231 (1978)
- 29) 中島: "移動通信網における位置登録エリア構成法", 信学論B-II, Vol. J73-B-II No.8, pp.357-365 (1990)
- 30) S. Okasaka, S. Onoe, S. Yasuda and A. Maebara: "A New Location Updating Method for Digital Cellular Systems", IEEE Veh. Tech. Conf., VTC'91, pp.345-350 (1991)
- 31) 安田, 藤井, 尾上: "移動特性群分け多層エリア構成位置登録方式", 1991信学秋季全大, B261
- 32) Mallinder: "An Overview of the GSM System", Proc. of DCRC, Hagen (Oct. 1988)
- 33) B.Eklundh: "Channel Utilization and Blocking Probability in a Cellular Mobile Telephone System With Directed Retry", IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-34 No.4, pp.329-337(April 1986)
- 34) 藤井, 西岡: "移動通信におけるトラヒック分散形チャンネル切換え", 信学論B-II, Vol. J75-B-II No.5, pp.276-284(1992)
- 35) 福住, 鈴木: "自動車電話トンネル内不感地対策方式設計", 研実報, Vol. 28 No.3, pp.517-536 (1979)
- 36) H. Ohdate: "A Frequency Offset Booster with an Oscillation Prevention Function for Land Mobile Communication", IEEE 37th Veh. Tech. Conf. pp.430-434 (June 1987)
- 37) 小園, 田口: "市街地の路上に置かれた低基地局アンテナ高による伝ぱん特性", 信学論B-II, Vol. J72-B-II No.1, pp.34-41 (1989)
- 38) 池上: "これからの移動通信の技術的条件", 昭和63信学秋季全大, SB-6-8
- 39) 野島, 橋橋: "移動通信用超低歪多周波共通増幅器", 信学技報, RCS90-4 (1990)
- 40) M. Shibutani, T. Kanai and K. Emura: "Fiber Optic Link for Microcellular Mobile Communication Systems", MWE'91, pp.131-136 (Sept. 1991)
- 41) "インテリジェント電波利用に関する調査研究会中間報告書", インテリジェント電波利用に関する調査研究会 (April 1992)