

# 移動通信における置局設計

移動通信における置局設計は適用する方式を理解してそのシステム特性を十分に引き出し、「いつでも」「どこでも」「誰とでも」という究極の通信を具体化する設計作業である。

当社における移動通信には自動車・携帯電話方式、ポケットベル方式、船舶電話方式および航空機電話方式等があるが、今回は自動車・携帯電話方式を例にその実際について紹介する。

おまつざわ きよひろ もとき まさみ おおほり ひろゆき  
大松澤 清博・本木 正己・大堀 博幸

## まえがき

1979年12月、東京23区でサービスを開始した自動車・携帯電話方式は15年の歳月を経て、そのサービス環境もまた要求される条件も当初と比較して大きく変化している。

サービス開始当初は広いエリアをいかに少ない基地局で効率的にカバーするか、そしていかに早く全国展開するかが設計の要点であった。しかしながら超小型携帯電話の普及により、たとえばオフィスなど建物の中、電車、バスなどの乗り物の中、さらには海上での利用などお客さまのTPOに応じた使用形態が一般化している。したがって、今日、置局設計には使用形態の変化に対応したエリア品質と、限られた電波を効率的に利用していかに大きな加入者容量を確保するかが主要な課題となっている。以下、移動通信における置局設計について、エリア作りの変遷とその技術的背景並びに基盤設備確保に関する状況について紹介する。

## 置局設計の変遷

自動車・携帯電話方式における置局設計は、エリア構成技術、無線回線制御技術および種々の基地局装置技術の進展に伴い表1に示す変遷をたどっており、以下に示すように方式の特徴を生かした置局設計作りを行ってきた。

表1 代表的な置局設計  
Table 1 Typical Cell Design

項目	アナログ方式		デジタル方式
	大都市方式/中小都市方式	大容量方式	
ゾーンの形状	オムニ	オムニ/3セクタ	3セクタ
サービスエリア半径	10km	5km	3km
基地局設置場所	NTT局舎	NTT局舎/一般ビル	一般ビル/NTT局舎
端末機の種類	車載機	車載機/携帯機	携帯機
端末機の送信出力	5W	5W/0.6W	0.8W
サービスグレード	屋外利用	屋外利用	携帯機車内利用

### ■大都市・中小都市方式（アナログ方式）<sup>1,2)</sup>

大都市方式は1979年12月に東京でサービスを開始した我が国初の本格的自動車電話方式であり、大阪、名古屋、福岡、札幌地区へと順次拡大されてきた。当初の端末機は自動車に搭載された車載機で、基地局配置は都市部を除き山上などに設置され、広いサービスエリア（平均10km程度）を1局で確保する設計を行っていた。中小都市方式は大都市方式をベースに地方拡大用に種々の改良が加えられた方式であるが、置局設計の面では大都市方式と同様に基地局を広いサービスエリアを1局で確保可能な山上などに設置する設計を行っていた。

また基地局の設置場所は、市街地や山上の無線中継所など鉄塔設備のあるNTT局舎の有効利用を前提として設計を行っていた。

このころは首都圏でも東京駅付近と横浜駅付近で同じ周波数を使用しており、その繰返し距離は30km程度であった。

### ■大容量方式（アナログ方式）<sup>3)</sup>

携帯電話の導入などによるお客さまの急激な伸びに対応するため、1988年5月に周波数利用効率の向上を図った大容量方式を導入した。端末機の小型・軽量化による送信出力の低減に対応するため、サービスエリアも比較的小さく（平均5km程度）作られ、基地局も市街地に多く設置するようになった。

導入当初は首都圏でもまだオムニゾーン構成を標準としており、東京駅付近と駒沢付近で同じ周波数を使用して、その繰返し距離は十数km程度であった。その後、1990年4月の超小型携帯機「mova」の登場により、容量の増大とエリア品質の向上が求められ、大都市部では小ゾーン化（平均1.5km）とセクタゾーン化<sup>4)</sup>を進め



た。

基地局の設置場所も、市街地における基地局数の増加に伴い電話局など NTT 局舎のほか、一般ビルなどにも設置されるケースがでてきた。

この頃になると加入者容量の増大のため、基地局数の増加と相まって東京駅付近と青山付近で同じ周波数を使用するようになり繰返し距離では5 km程度と自動車電話サービス開始導入当初の約6分の1になった。

### ■デジタル方式<sup>5)</sup>

加入者容量の増大、高品質なサービス(音声 FAX, データ通信)の提供および高度な秘匿性を可能としたデジタル方式が、1993年3月に東京を中心とした1都3県においてサービスを開始した。このデジタル方式の販売は当初から携帯機主体であり、使用形態の多様化に合わせ車内利用も考慮したエリア設計を行うようになった。エリア作りは今後の加入者数の伸びを想定して、大都市部の基地局は規則的な小ゾーン(半径3 km程度)からなる基地局配置の設計を行っている。

一方、地方都市では早急にサービスエリアを拡大する必要から、中ゾーン(平均6 km程度)による経済的な基地局配置設計を行っている。

ゾーンの形状は、周波数利用効率の向上および受信性能の向上の観点から、標準的に3セクタ構成としているが、装置(送受信装置、基地局アンテナ)の小型・軽量化が図られていることにより、アナログ方式より設置性が格段に向上している。また写真1のような小型の収容箱が開発され一般ビルへの屋上設置も容易に行えるようになり適用範囲が拡大してきている。

基地局の設置場所は、加入者容量の増大の必要性から基地局数が増加したため半数以上が一般ビルとなり、地方都市でも一般ビルなどに設置されるケースがでてきている。アナログ方式にも増して容量増大が求められるようになったことから、規則的な小ゾーン化によって基地局数が増加し周波数は東京山手線内で同じ周波数を使用するなど繰返し距離は4 km

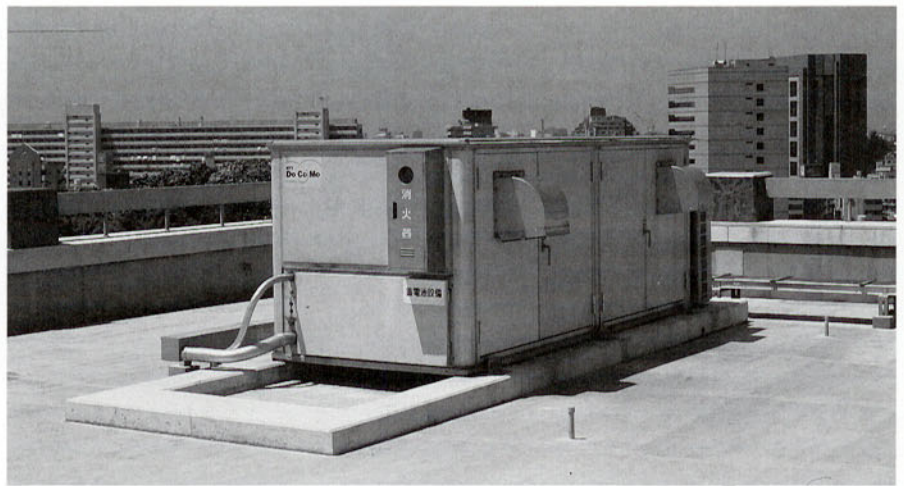


写真1 設置例(デジタル収容箱)

程度となってきている。

## 回線設計の設計目標

移動通信における電波伝搬は、移動局周辺の地形や建物による反射、回折、散乱などの影響を受け、多重伝搬路を經由して到来する多数の電波の干渉により受信機の入力レベルは激しく変動している<sup>6)</sup>。このため、図1に示すように所要の

伝送品質が得られない場所が時間的かつ場所的に点在する。移動通信ではゾーン内にこのような場所を完全になくすことは技術的・経済的に極めて困難なことから、確率的に所要の伝送品質が得られない割合を許容することにより置局設計を行っている。

### ■電波伝搬と伝送品質規定

移動通信における電波伝搬は図2に示すように、

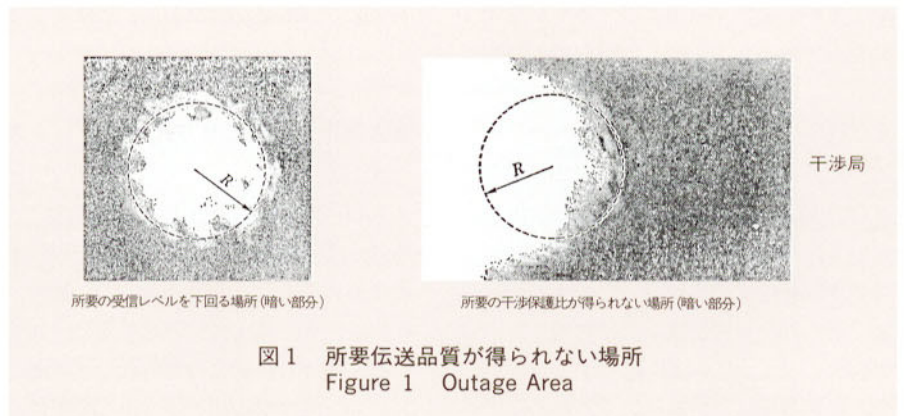


図1 所要伝送品質が得られない場所  
Figure 1 Outage Area

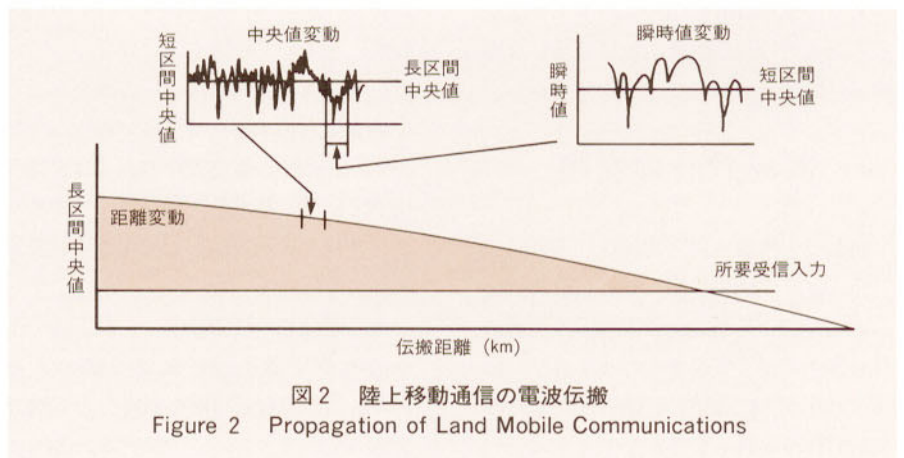


図2 陸上移動通信の電波伝搬  
Figure 2 Propagation of Land Mobile Communications



- ① 基地局と移動機間の距離の変化に伴う変動 (距離変動)
- ② 数十m程度の区間にわたる緩慢な変動 (中央値変動)
- ③ 数十m程度の区間内での急激な変動 (瞬時値変動)

の3つの変動<sup>7)</sup>を伴っている。このような多重伝搬により発生する変動について、レイリーフェージングの理論に基づき瞬時変動と場所的変動とに分けて、システム固有に定まる瞬時変動に対する所要品質と場所的変動によりその品質が保てない確率 (劣化率) により所要伝送品質を規定している<sup>8)</sup>。

この劣化率はサービスエリア内の無線区間において電波伝搬上の理由で接続できない確率を示しており、希望波の受信レベルと熱雑音との比率 (CNR) および希望波と干渉波との受信レベルの比率 (CIR) とによって定まる。

具体的な劣化率の配分<sup>9)</sup>としては、図3で表されるようにトラフィック密度が高い地域で大きな加入者容量を確保したい場合は、面的な周波数の利用効率を向上するため CIR に多く配分して干渉耐性を確保する。トラフィック密度が低い地域で広いエリアを少ない基地局で経済的にカバーしたい場合には CNR に多く配分して低い受信レベルに対する耐性を確保する。

無線回線設計では、図4に示すように所要の短区間 CNR および CIR にそれぞれ劣化率に対応する場所的レベル変動マージンを加えた所要長区間中央値を伝送品質規定として用い、これを満足するように設計を行っている。

たとえば、トラフィック密度が高く大きな加入者容量を必要とする場合は、サービスエリア全体の劣化率を仮に10% (たとえば100カ所の任意の場所で接続しようとしたとき、無線区間の電波伝搬上の理由で10カ所で所要の品質を満足できない) とすると、希望波の受信レベルと熱雑音との比、CNRに1%を配分し、希望波と干渉波の受信レベルの比、CIRに9%を割り当てる。

■所要受信機入力レベル

先の劣化率配分から熱雑音によるゾー

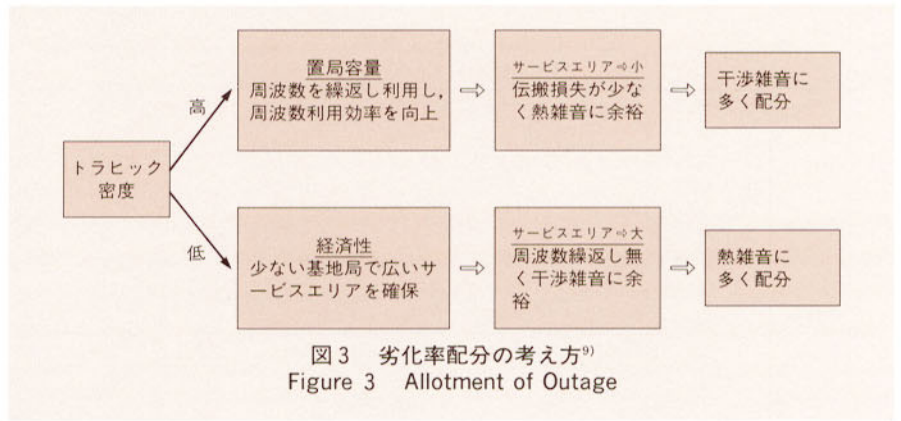


図3 劣化率配分の考え方<sup>9)</sup>  
 Figure 3 Allotment of Outage

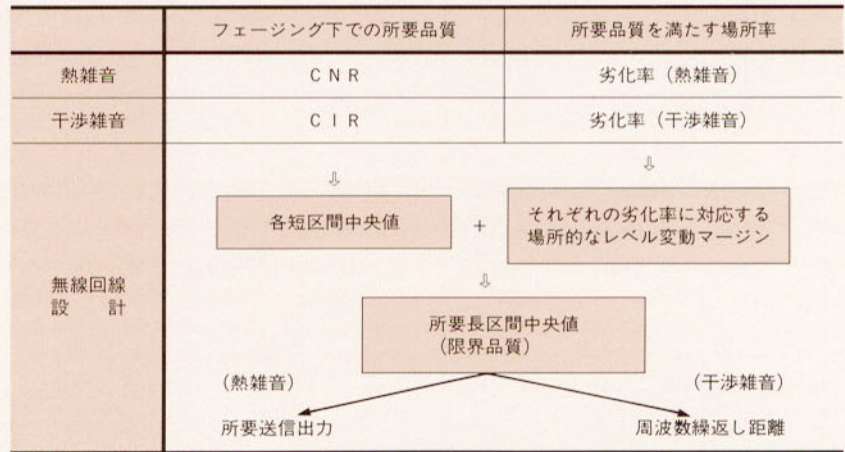


図4 無線回線設計<sup>23)</sup>  
 Figure 4 Radio Link Design

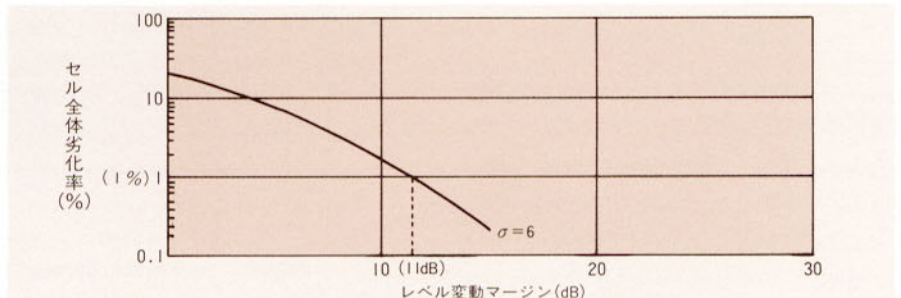


図5 劣化率とレベル変動マージン (熱雑音特性)  
 Figure 5 Relation between Outage and necessary CNR Margin

ン全体の劣化率を1%とした場合、図5に示すように所要マージンは約11dBとなる。

ここに移動機の所要受信入力レベルを4 dB $\mu$ V (RCR 標準規格による) とすればサービスエリア端における所要受信機入力レベルは所要マージンを加えた15 dB $\mu$ V (所要電界強度で約37dB $\mu$ V/m) となる。

■所要送信出力

サービスエリア端における所要受信機入力レベルを用いて、基地局の所要送信出力は以下の式により設計する<sup>10)</sup>。

$$P_o = V_r - G_b - G_m + L_a + L_p + L_s$$

P<sub>o</sub>: 基地局送信出力

V<sub>r</sub>: 移動機所要受信機入力レベル

G<sub>b</sub>: 基地局アンテナ利得

G<sub>m</sub>: 移動機アンテナ利得

L<sub>a</sub>: 基地局給電線損失



表2 奥村・秦式  
Table 2 Okumura-Hata Empirical Formula

市街地	$L_p = 65.25 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m)^* + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} r$ (dB)
	* 移動局アンテナ高に対する補正項 中小都市 $a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)$ 大都市 $a(h_m) = 8.29 (\log_{10}  1.54 h_m^2 - 1.1  ; f_c \leq 200 \text{MHz}$ $= 3.2 (\log_{10}  1.75 h_m^2 - 4.97  ; f_c \geq 400 \text{MHz}$
郊外地	$L_{ps} = L_p \{\text{市街地}\} - 2 \{\log_{10}(f_c/28)\}^2 - 5.4$ (dB)
開放地	$L_{po} = L_p \{\text{市街地}\} - 4.78 \{\log_{10} f_c\}^2 + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94$ (dB)
	ただし、 $L_p, L_{ps}, L_{po}$ : ダイポールアンテナ間の伝搬損 $f_c$ : 周波数 150~1500 (MHz) $h_b$ : 基地局実効アンテナ高 (m) 30~200 (m) $h_m$ : 移動局アンテナ高 (m) 1~10 (m) $r$ : 距離 (km) 1~20 (km)

$L_p$ : 伝搬損失 (基地局~移動機間)  
 $L_s$ : 建物占有面積率補正值  
 また、伝搬損失 (基地局~エリア端間)  
 $L_p$ の算出には表2に示す「奥村・秦式」<sup>11)</sup>が一般的に用いられている。

さらに携帯機のアンテナは人体の影響を受けやすいため、人体効果による利得低下を<sup>12)</sup>、また、携帯機の車内使用および建物内使用も考慮する場合は、各々の侵入損失を考慮する。

■周波干渉雑音

先の劣化率配分の例で干渉雑音によるゾーン全体の劣化率を9%とした場合、図6に示すように所要マージンは約7dBとなる。したがって移動機の所要短区間 CIR を13dB とすると、この所要マージンを加えた20dB が所要長区間 CIR となる。

さらに、ゾーンのオーバラップおよび干渉局数による補正值とビームチルト効果<sup>13)</sup>、干渉 CH 切替<sup>14)</sup>および送信電力制御<sup>15)</sup>による改善効果を考慮したマージンを加えて実際に設計する所要長区間 CIR を定める。また、隣接周波数を使用する場合も同様に所要長区間 CIR を定め設計する。

この所要長区間 CIR を満足するような基地局配置およびゾーン作りを行うことにより周波数の繰り返し可能な距離を設計することができる。

■周波数繰返し距離

電波伝搬の距離特性は、基地局からの

距離の-3.5乗に比例することが知られており<sup>8)</sup>、図7に示すように同一周波数干渉の場合の周波数繰返し距離とゾーン半径の関係は

$$d/r = 1 + \Lambda_m^{1/\alpha} \quad \alpha = 3.5$$

(注)  $\Lambda_m$  は真値  
 $\Lambda_m$  : 所要長区間 CIR

d : 繰返し距離  
 r : ゾーン半径

となる<sup>16)</sup>。上式より周波数繰返し距離 d は所要長区間 CIR を定めるとゾーン半径 r を小さくするほど近い距離で繰り返すことが可能であることを示している。したがって加入者容量の増大のためには不要な方向への電波の発射を抑制して干渉雑音を減らし、より近い距離の基地局同士で同じ周波数を繰り返して使用する必要がある。このためには先に示したようにゾーンの半径を小さくするような設計となり図8に示すように必然的に基地局数は増加する。

このように加入者容量の増加は基地局数の増加となる反面、サービスエリア内の受信レベルの均一化が図られることになり品質面の向上にもなっている。

■周波数と容量<sup>10)</sup>

周波数と容量の関係をデジタル方式を例にすると、表3に示すようにチャンネル当たりの周波数帯域幅は、フルレート方式では8.3kHz(インタリーブチャンネル使

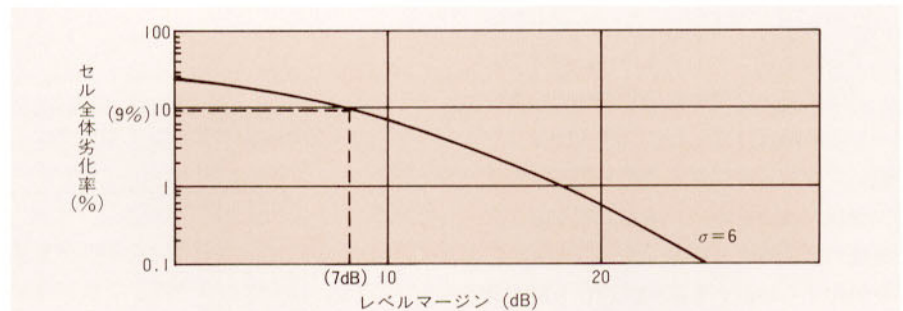


図6 劣化率とレベル変動マージン (干渉雑音特性)  
Figure 6 Relation between Outage and necessary CIR Margin

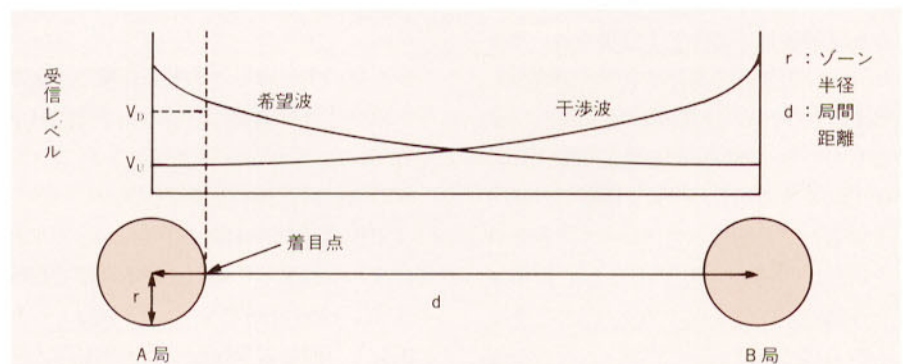


図7 同一周波干渉モデル  
Figure 7 Co-channel Reuse Model



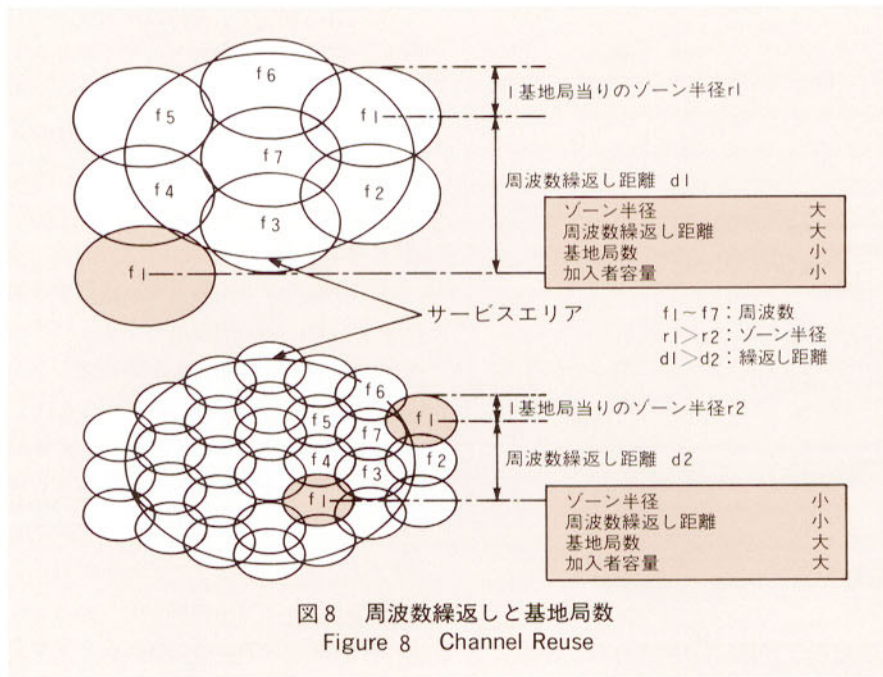


表3 周波数利用率  
 Table 3 Spectrum Efficiency

項目	方式名	デジタル方式	
		フルレート	ハーフレート
1ch 当りの周波数帯域幅 (大容量方式を1とした利用率)	6.25kHz (1)	8.3kHz (0.7倍)	4.15kHz (1.5倍)
周波数繰返しパターン (大容量方式を1とした利用率)	7ゾーン/3セクタ (1)	4ゾーン/3セクタ (1.7倍)	
総合の利用率	1	1.3倍	2.5倍

用)であるが、ハーフレート CODEC が実用化すると4.15kHzとなる。したがって、周波数軸上の利用率は大容量方式の6.25kHz (インタリーブチャンネル使用)と比較し、フルレート方式で0.75倍、ハーフレート方式1.5倍となる。

周波数繰返しパターンは、アナログ方式 (大容量方式) では7サイト3セクタ (基地局配置が理想的な場合) を基本としている。一方、デジタル方式は、誤り訂正技術の高度化などによる同一および隣接チャンネル干渉耐力の増大、移動機主導セル判定によるセル選択精度の向上およびサイトダイバーシチ効果の向上などにより同一周波数の繰返し距離が短縮可能となっている。理想的な基地局配置においては4サイト3セクタの周波数繰

返しも可能であり、空間上の利用率は大容量方式と比較して1.7倍となる。

以上のことから、デジタル方式のシステム収容能力は、大容量方式と比較すると、フルレート方式で1.3倍、ハーフレート方式で2.5倍となる。将来的には、ダイナミックチャンネルアサイン方式<sup>17)</sup>の導入などにより一層のシステム収容能力向上が期待できる。

## 置局設計のながれ

置局設計にあたっては要求される品質とエリアの広さ並びに通信事業者として実現しなければならない加入者容量と経済性、さらには将来性を勘案した設計を行うことが要求される。

作業として、マクロ的にはサービスエリア全体の広さと収容可能な加入者容量の設計を、またミクロ的には基地局ごとのゾーンの大きさと品質 (弱電界の有無) を考慮しながら設計する。

特に、品質と容量確保により増加する基地局数と経済性とのバランスをとることが課題である。

具体的な作業は図9に示すように

- ① サービスの提供対象地域について、基地局のマクロ的な配置設計と基地局諸元 (送信出力、アンテナ種別、アンテナ高) の設計
- ② この諸元を基に置局設計システムなどによりサービスエリアのシミュレーションを行い所要電界の概略設計と、サービス提供地域における必要基地局数の検討
- ③ 各基地局ごとに現地の設置環境などを調査し、必要により実験局を使用した事前電界測定による詳細なゾーン設計
- ④ さらに、詳細なゾーン設計結果に基づき、その候補ポイントについて基盤設備確保に向けた一般ビルまたは敷地などの確保手続き
- ⑤ 確保した基盤設備ごとに諸元の再検討による基地局設計の最適化
- ⑥ サービスエリア内に配置された基地局を使用して要求される加入者容量に合ったチャンネル数の検討と、その周波数配置の設計
- ⑦ 最後に工事ででき上がった各基地局のゾーンについて設計どおりのエリアになるように、また現在サービス中ゾーンとのバランスがとれるようにチルト角変更などによるエリア成形を行う

というながれに従って作業が進められている。

## 基盤設備確保

所要サービスエリアを実現するためには選定したポイントに基地局を建設することであり、この場所を確保することを基盤設備の確保という。首都圏などの建



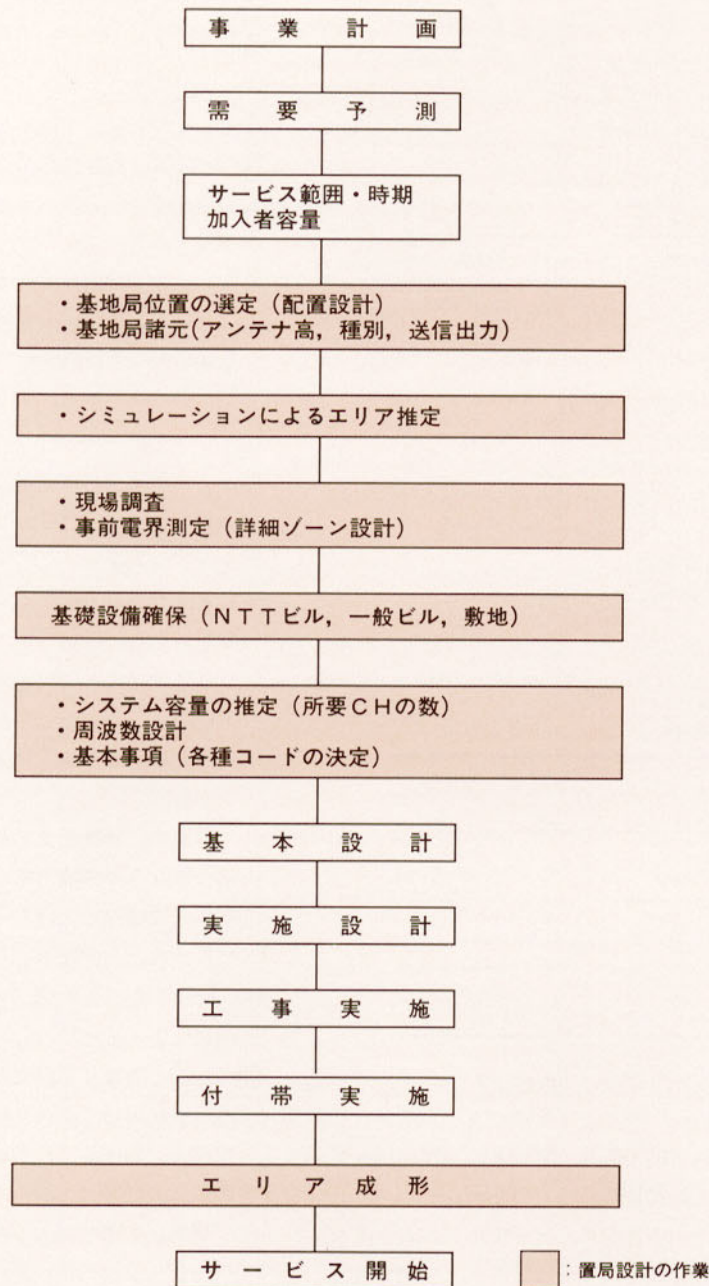


図9 置局設計作業のながれ  
Figure 9 Cell Design Flow

物の密集した地域では、電気通信設備の設置を目的として建築していないビル(マンションなどの一般ビル)についても基地局候補として検討する必要がある、基盤設備の確保には次のようなことを考慮しながら作業を進めている。

### ■基地局設置ポイントの選定

自動車・携帯電話方式の移動機はその周辺に位置する複数の基地局からの電波

を受信し、そのうち最も強い基地局の電波を使用して一般網と接続する。この各基地局からの電波の強さを比較して定めたエリアを勢力エリアといい、移動機はこの勢力エリアに従って動作している。

基地局設置ポイントの選定にはどの地域のトラヒックをどこの基地局で取るか、周波数使用効率の向上を図るためにはどのポイントを選定するかを考慮して設計

している。したがって基盤設備確保の段階で大幅にポイントがずれると勢力エリアが変化してトラヒックのアンバランスや品質の低下、強いては加入者容量の低下を招くこととなるのでポイントの選定と確保には注意が必要である。

### ■アンテナ高

先に示したように加入者容量を増大するためには、同一周波数をできるだけ短い距離で再利用することが必要である。

このためには各ゾーンの大きさを同じにして、干渉関係を一定に抑える必要がある。このような均整のとれた勢力エリアを作るためには送信出力やアンテナ種別だけでなく、そのアンテナ高が大きく影響しており、特に容量の増大を図りたい場合はアンテナ高のバラツキを少なくするよう考慮する必要がある。たとえば、1.5～3kmのゾーン半径のエリアを設計する場合、周波数繰り返しやビームチルト効果を考慮したアンテナ高が望ましい。

### ■アンテナ設置

移動体通信で発生するフェージングに対し図10に示す様に異なる場所に設置した2つのアンテナで同時に受信し、レベルが高い方のアンテナを選択することにより受信レベルの急激な変動を軽減する受信ダイバーシチ<sup>18)</sup>を採用している。このとき十分なダイバーシチ効果を得るためにはある程度のアンテナ間隔を確保する必要があり、市街地でも3m以上のアンテナ間隔とすることが望ましい。基盤設備確保ではこの条件を満足するようなアンテナ設置スペースの確保と設置方法の工夫が必要となる(写真2)。

### ■地形、建築物などによる損失

800MHz帯など高い周波数を使用する移動通信では基地局の近くにアンテナより高い建物があると、遮蔽物としてその影響を受けることがある。特に、平成6年4月よりサービス開始した1.5GHz帯では周波数がより高いため遮蔽物の影響が800MHz帯と比較して顕著に現れる。したがってアンテナの周辺にはそれ以上高い構造物がないことが望ましく、周辺の建物に比べ少しでも高く設置する工夫が求められる。



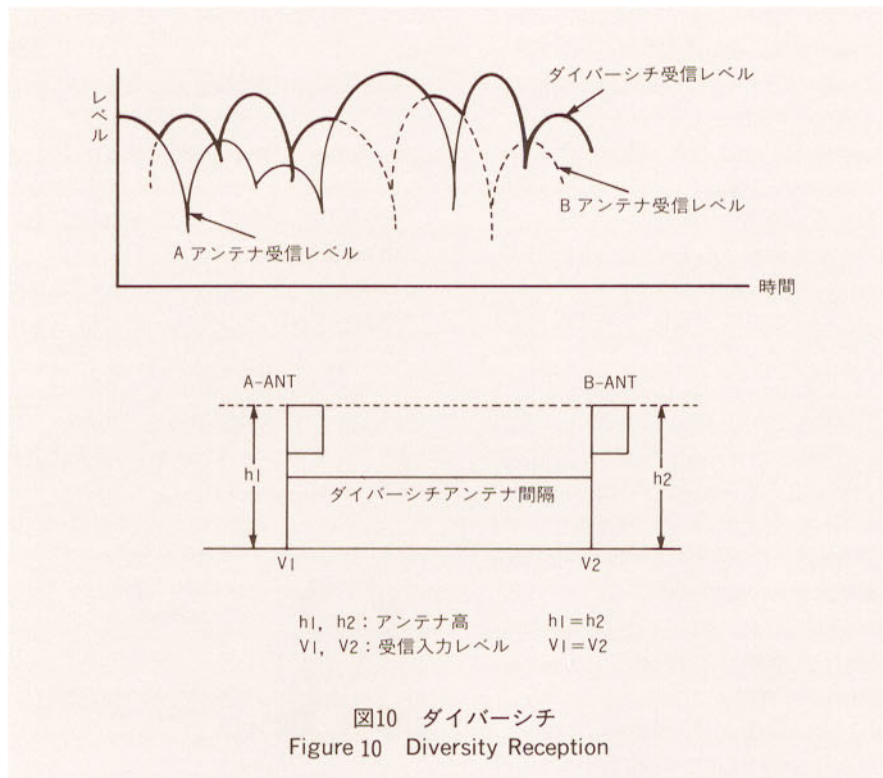


写真2 マンション〈東京・世田谷区〉

しかしながら、やむを得ずアンテナより高い構造物ができてしまった場合には、その影が出る方向とその基地局で主にサービスしたい方向を考慮して良否の判定を行っている。一般的に遮蔽物による減衰は状況によって異なるが数十 dB 程度の減衰<sup>19)</sup>を見込む必要がある。

また、アンテナの近傍に鉄柱などの障害物があるとアンテナパターンが乱れ設

計値のエリアが確保できなくなるおそれがあるので、水平面の指向内近傍には障害物のないことが望ましい。たとえば10 m離れた場所に20cm φの鉄柱があるとアンテナパターンに乱れを招き、方向によって数 dB 程度の利得低下<sup>20)</sup>となる。

さらにビル屋上の端より奥まった場所にアンテナを設置すると設置ビル自身が遮蔽物となり、その足元で十分な受信レ

ベルを確保できない場合がある。これを防ぐためにはビル屋上面から十分なアンテナ高を確保するか、アンテナ取付位置をビル壁面または壁面近くにする方法がとられる。

また、電波が樹木帯を通過する場合の減衰も考慮する必要がある。山岳地など森林地帯が続く基地局では相当量の減衰量を考慮して基地局の選定を行う。

特に、山間地などにおいて周辺樹木より充分高いアンテナ高を確保することができない場合にはこの現象が顕著に見られることがある。

このように、アンテナ高は周辺建物だけでなく周辺樹木に対しても充分な高さを確保する必要がある。

### ■建物侵入損失

置局設計の設計対象は屋外における携帯機の使用を標準としており、従来、屋内は標準設計の対象としていなかった。これは建物侵入損失が建材・構造および場所により異なり数十 dB<sup>21)</sup>にも及ぶことから、屋内において所要受信レベルを完全に実現するのは困難なためである。しかしながら基地局の近くの電界強度が高い場所の屋内では所要受信レベルを確保できる場合が多く、容量確保のための小ゾーン化に伴う基地局数の増加により屋内でも使用できる範囲が広がっている。したがって建物内の使用を勘案し、そのトラヒック分布状態やサービスポイント(建物など)の重要性を考慮して基地局の選定を行っている。

### ■法的規制

一般ビルや敷地に基地局を設置する場合、基盤設備確保においては、その周辺の状況と法的規制を充分考慮する必要がある。特に、風致地区の有無、農業振興地域の有無、景観条例による制限、文化財保護条例による制限さらには国立公園法や航空法の適用について考慮する。また作業を進めるにあたっては基地局の周辺環境にまで配慮することが必要である。

## あ と が き

以上のように置局設計の主要目標は適

切なエリアの確保に加え将来の需要に対応できる加入者容量の確保と、より良い品質が得られるゾーン設計の実現である。

このため、今後建設される基地局の多くは電話局でなく、一般ビル屋上や敷地を対象とする必要があり、その基盤設備の確保は最も重要な問題となっている。さらに、基盤設備確保にかかる時間も基地局設置ポイントの選定から1年以上の期間を必要とする場合もあり、効率的な基盤設備確保との将来計画を考慮したタイムリーな置局設計作業が求められている。

## 文 献

- 1) “自動車電話特集”, 研実報, 第26巻第7号(1977)
- 2) “最近の自動車電話技術特集”, 研実報, 第31巻第10号, (1982)
- 3) “大容量移動通信構成技術特集”, 研実報, 第35巻第10号, (1986)
- 4) 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, (1973)
- 5) “デジタル移動通信技術の開発”, NTT R&D Vol.40, No.10, (1991)
- 6) R.H.Clarke: “A statistical theory of mobile-radio reception”, Bell Syst. Tech.J.,47,pp.957-1000 (July - Aug. 1968)
- 7) 奥村, 大森, 河野, 福田: “陸上移動通信における伝ぱん特性の実験的研究”, 研実報, 第26巻, (1967)
- 8) 坂本, 鎌田: “自動車電話無線回線設計”, 研実報, 第26巻第7号, (1977)
- 9) 秦, 木下, 平出: “陸上移動通信における劣化確率配分とフェージングマージン”, 信学論(B), J64-B,7, (昭56-07)
- 10) 桑原守二 (監修): “デジタル移動通信”, 科学新聞社(1992)
- 11) M. Hata: “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service” IEEE Trans. Veh. Technol., VT-29,3, 1980
- 12) A.Akiyama, T.Tsuruhara and Y. Tanaka: “920MHz mobile propagation test for portable telephone” Trans. IECE Japan, E65, No.9, 1982
- 13) 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
- 14) 今村, 村瀬, 田島, 稲葉: “大容量移動通信方式無線回線制御技術”, 研実報, 第35巻第10号, (1986)
- 15) 藤井, 小園: “陸上移動通信における送信電力制御の検討”, 信学技報, CS85-15, 昭和60年5月
- 16) M.Hata,K.Kinosita and K.Hirade: “Radio link design of cellular land mobile communication systems”, IEEE Trans. Veh. Technol., VT-28,3, (1982)
- 17) 安田周二: “移動通信ダイナミックミックチャンネル割当てにおける適応的周波数再利用の効果”, 信学会春季大会, B-860, (平成元年)
- 18) 小園, 鶴原: “陸上移動通信における基地局受信スペースダイバーシチの相関特性”, 信学論(B), J66-B,4, (昭58-04)
- 19) 大堀, 藤井: “低アンテナ高における移動通信電波伝搬特性”, 信学会春季大会, B-32, (1990)
- 20) 遠藤, 三池田, 伊藤: “VHFおよびUHF放送アンテナにおける近接鉄塔による水平指向性の影響”, NHK技術研究, 昭和40年
- 21) 西尾, 加地: “UHF帯における建築材電波透過特性”, 昭和59年, 信学光, 電波全大, 35
- 22) 奥村善久, 進士昌明 (監修): “移通信の基礎”, 電子情報通代学会(1986)
- 23) 田中良一: “やさしいデジタル移動通信”, 電気通信協会(1993)