

## ■4群 (モバイル・無線) - 3編 (移動通信)

# 2章 移動通信固有の技術

(執筆著: 上杉 充) [2010年6月 受領]

### ■概要■

移動通信端末は人が携帯するものであるため小型・軽量・低発熱・低消費電力が必須であることに加え、不安定な電波という媒体を使用しながらあらゆる場所や使用環境でも安定した通信ができることが要求されるため、その実現においては、様々な移動通信固有の技術を駆使する必要がある。

本章ではまず、移動通信を行ううえで最も重要な電波伝搬の振る舞いについて述べ、更にその振る舞いを利用して、いかにして広範囲をカバーする移動通信システムを構築するかについて述べる。

また、構築したセル構成において、発着呼や移動管理などを行う無線制御と、それを支えるコアネットワークの構成について述べる。

更に、移動機端末や基地局を具現化する際のキーデバイスについて紹介する。その中でも、移動通信として最も特徴的なデバイスであるアンテナについては、特に詳細に記載する。

本章は、これらの移動通信固有の技術を網羅し、その概要を把握することを目的とする。

### 【本章の構成】

本章の構成は以下のとおりである。

#### 2-1 セル構成・回線設計

##### 2-1-1 移動通信の電波伝搬

##### 2-1-2 セル構成

##### 2-1-3 回線設計

#### 2-2 移動通信の無線制御

##### 2-2-1 発着信制御

##### 2-2-2 ハンドオーバー

##### 2-2-3 送信電力制御

#### 2-3 移動通信のコアネットワーク

##### 2-3-1 移動通信ネットワーク構成

##### 2-3-2 移動管理

##### 2-3-3 ローミング

##### 2-3-4 ALL-IP 移動通信ネットワーク

#### 2-4 移動通信用装置・デバイス

##### 2-4-1 基地局装置

##### 2-4-2 移動機

##### 2-4-3 基地局アンテナ

##### 2-4-4 移動局アンテナ

## ■4群 - 3編 - 2章

### 2-1 セル構成・回線設計

#### 2-1-1 移動通信の電波伝搬

(執筆著者: 秦 正治) [2008年8月受領]

##### (1) 使用周波数帯

今日の移動通信では、伝搬損失の少なさや波長と携帯端末のアンテナとの関係などから、ほとんどのシステムが1~2 GHz帯を用いている。しかしながら、高速信号伝送や様々なサービス需要の高まりに伴い、既存及び将来システムのための周波数帯域が逼迫している。このため我が国では、地上テレビ放送のデジタル化で空くUHF帯の使用の検討や、広帯域移動無線アクセス用としての2.5 GHz帯の使用が始まっており、更には、これらの周波数帯に加えて4 GHz前後(Cバンド)の周波数帯も移動通信用に割り当てられることが2007年の世界無線会議(WRC-2007)で決められた。

##### (2) 電波伝搬特性

移動通信の伝搬路は時間的に変化する一種の線形フィルタとみなせる。このとき瞬時時間特性を表すのがインパルス応答であり、周波数領域での表現は伝達関数に対応する。陸上移動通信におけるレベル変動、遅延プロファイル、到来角の各特性をまとめると次のようになる。

**レベル変動:** 市街地における受信レベル変動は、瞬時値変動、中央値変動、距離特性で特徴づけられる<sup>1)</sup>。平均値が一定とみなせる数十波長の短区間内での包絡線変動は次式で示すレイリー分布(Rayleigh distribution)に従い、レイリーフェージング(Rayleigh fading)と呼ばれる。

$$p(r) = (2r/\sigma_r^2) \exp(-r^2/\sigma_r^2)$$

ただし、 $r$ は包絡線の瞬時値で、 $\sigma_r^2$ は短区間の平均電力である。また、位相の変動は0~2 $\pi$ に一樣分布する。なお、移動受信時の搬送波周波数はドップラー偏移(Doppler shift)を受ける。移動速度を $v$ 、波長を $\lambda$ とすると、最大ドップラー周波数は $f_D = v/\lambda$  [Hz]となり、レイリーフェージング時にはレベル変動の最大変動周波数に相当する。

短区間内の中央値(累積分布の50%値)を $R_m$ とすると、 $R_m$ の場所的変動(中央値変動)は次式で表される対数正規分布(log-normal distribution)に従い、地形地物による影響であることからシャドウイング(shadowing)と呼ばれる。

$$p(X) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) \exp\{-(X - X_m)^2/(2\sigma^2)\}$$

ここで、 $X = 20 \log R_m$ で、 $X_m$ は長区間中央値(区画内の短区間中央値の50%値)、 $\sigma$ は標準偏差で、市街地では5~8 dB程度である<sup>1)</sup>。

長区間中央値 $X_m$ 、すなわち伝搬損失の距離特性は奥村らにより解明され、奥村カーブと呼ばれるグラフにまとめられている<sup>2)</sup>。また、その結果は次式に示す秦式と呼ばれる簡便な実験式にまとめられている<sup>3)</sup>。

$$\begin{aligned} L_p \text{ [dB]} = & 69.55 + 26.16 \log f_c \text{ [MHz]} \\ & - 13.82 \log hb \text{ [m]} - \kappa(\text{hm [m]}) \\ & + (44.9 - 6.55 \log hb \text{ [m]}) \log d \text{ [km]} \end{aligned}$$

ここで、 $L_p$  は市街地における等方性アンテナ間の伝搬損失で、 $f_c$  は周波数(150~1500 MHz、後に 2200 MHz まで拡張<sup>4)</sup>)、 $h_b$  は基地局実効アンテナ高(30~200 m)、 $h_m$  は移動局アンテナ高(1~10 m)で、 $d$  は送受信点間の距離(1~20 km)である。 $h_b=30$  m とすると、距離の約 3.5 乗に比例して伝搬損失が増えることになる。

**遅延プロファイル**：平均電力と遅延時間に関する伝搬路の統計的性質を表す遅延プロファイルは、どの程度遅延した時間に電力の中心があるかを表す平均遅延時間(average delay)  $t_0$  と、平均遅延時間を中心にとどの程度の時間まで電力が広がっているかを表す遅延スプレッド(delay spread)  $S$  で特徴づけられる。

$$t_0 = \left\{ \int tp(t)dt / \int p(t)dt \right\},$$
$$S = \sqrt{\left\{ \int (t - t_0)^2 p(t)dt / \int p(t)dt \right\}}$$

ここで、 $p(t)$  は、いわば個々の伝搬路に対応するインパルス応答の分布関数で、市街地では指数関数で近似されることが多い<sup>5)</sup>。市街地での遅延スプレッドは、セル半径 1 km のエリア内で  $1 \mu\text{sec}$  程度、300 m<sup>2</sup> のオフィス内で 50 nsec 程度と報告されている<sup>6,7)</sup>。

時間領域での表現である遅延プロファイルを周波数領域で見ると、広帯域信号伝送時には帯域内で伝達関数が一様でない周波数選択性が見られる。波形歪が起きて符号間干渉により伝送品質が劣化するため、周波数選択性フェージング(frequency selective fading)と呼ばれる。これに対して、狭帯域信号伝送時のように伝達関数が一様とみなせる場合は波形歪が起きず、フラットフェージング(flat fading)と呼ばれる。

**到来角特性**：移動局からの電波を基地局で受信する場合、電波の到来方向は水平面内でみると、移動局方向を中心に正規分布するとして扱われる。その広がり角は、基地局アンテナ高にもよるが 1~5° 程度で<sup>8)</sup>、アンテナ高が低いほど大きくなる。一方、基地局からの電波を移動局で受信する場合、電波は移動局周辺の建物などで反射・回折して到達するため、その到来方向はすべての方向に一様分布するとして扱われる。到来波の数は、基地局アンテナ高や建物高により異なるため一概にはいえないが、モデル化においては少なくとも十波程度を考慮する必要がある<sup>9)</sup>。

到来角特性は遅延プロファイルとともに今後の高速広帯域伝送を実現するための技術、例えば MIMO と組み合わせたアダプティブアレーアンテナ技術の開発や、システム評価のための伝搬路シミュレータのパラメータ設定にとって重要な特性である。このため、到来する素波の方位角(DOA: Direction of Arrival)と遅延時間(TOA: Time of Arrival)の解析アルゴリズムに関する提案や、測定装置の開発、特性のモデル化、などの検討が進められている。

海上及び航空移動における見通し域内での平均的な電波の減衰特性は自由空間の伝搬損失で与えられる。

$$L \text{ [dB]} = 32.4 + 20 \log d \text{ [km]} + 20 \log f_c \text{ [MHz]}$$

ここで、 $L$  は等方性アンテナ間の伝搬損失で、 $f_c$  は周波数である。なお、見通しを越える距離での伝搬損失については 17 編 1 部門 3.3 に述べられている。また、今日の海上及び航空移動通信は通信衛星経由のシステムがほとんどであり、通信衛星と地球局や移動局との間も自由空間伝搬損失として扱われる。

## ■参考文献

- 1) 奥村善久, 進士昌明監修, “移動通信の基礎,” 電子情報通信学会, 1986.
- 2) 奥村善久, 大森英二, 他, “陸上移動通信における伝搬特性の実験的研究,” 研実報, vol.16, no.9, pp.1705-1764, 1967.
- 3) M. Hata, “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services,” IEEE Trans. Veh. Tech., vol.VT-29, no.3, pp.317-325, Aug. 1980.
- 4) S. Kozono and A. Taguchi, “Quasi-microwave propagation loss in urban area,” Trans. IEICE Japan, vol. J70-B, no.10, pp.1249-1250, Oct. 1987.
- 5) W. C. Jakes (ed.), “Microwave Mobile Communications,” John Wiley & Sons, 1974. (復刻版: IEEE Press, 1993.)
- 6) 市坪信一, 古野辰男, 他, “都市内マイクロセル伝搬における遅延プロファイルモデル,” 信学論, vol.J80-B-II, no.8, pp.707-713, Aug. 1997.
- 7) 市坪信一, 古野辰男, 他, “屋内における伝搬遅延特性とその遅延シミュレータ用モデル,” 信学論, vol.J79-B-II, no.12, pp.1048-1050, Dec. 1996.
- 8) 小園茂, 坂上修二, “陸上移動通信における基地局ダイバーシチの相関係数-スペース及び指向性ダイバーシチ,” 信学論, vol.J74-B, no.4, pp.476-482, Apr. 1987.
- 9) 唐沢好男, “ディジタル移動通信の電波伝搬基礎,” コロナ社, 2003.

## 2-1-2 セル構成

(執筆者: 藤井輝也) [2008年6月 受領]

### (1) セル構成の基本概念

移動通信では基地局の電波が到達するエリアを無線エリアという。この場合、一つのサービスエリアを構成する方法として二つの方法が考えられる。一つは図 2・1 に示すように、一つの基地局 (BS) でサービスエリア全体をカバーする“単一エリア構成”であり、他方は複数の基地局でサービスエリアをカバーする“複数エリア構成”である。複数エリア構成は一つひとつのエリアが小さく、各エリアが細胞 (セル) のように見えることからセルラー構成と呼ばれる。セルラー構成は各セルが小さいことから、単一エリア構成に比べて送信電力を大幅に低減できる。また、図 2・1(b)に示すように同一周波数を地理的に離れた場所で再利用できることから周波数を効率よく利用できる (図中の同一番号は同一周波数を表している)。

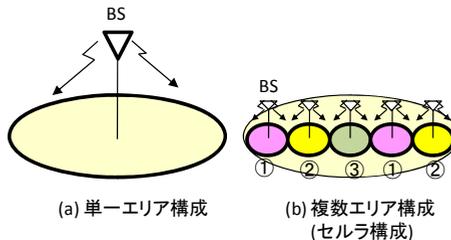


図 2・1

### (2) セル構成法

セルの形状として様々な形状が考えられるが、基本的な形状として基地局を中心とする正多角形セルが考えられる。全エリアを正多角形セルで隙間なくカバーするには、正三角形、正四角形、正六角形の三つの正多角形セルだけがその条件を満足する。三つの正多角形セルの面積を比較すると、基地局からセルの最遠端までの距離 (セル半径) が同じであれば、正

三角形，正四角形，正六角形の順でセルの面積は大きくなる．したがって，全エリアをカバーするために必要な基地局数は，正三角形，正四角形，正六角形セルの順に少なくできる．すなわち，少ない基地局数でエリアをカバーするためには，正六角形セル構成が最適である．

### (3) 繰り返しパターン

セルラー構成法の特徴の一つは，同一周波数を相互に干渉妨害とされない地理的に離れた場所で再利用できることにある．再利用できる距離は一般に繰り返し距離と呼ばれ，それが短いほど周波数の繰り返し効率が低い．多角形セル構成において繰り返し効率を表す評価指標として，繰り返し距離に代わって，繰り返しセル数が用いられることが多い．一般に，同一周波数を繰り返すことが可能な最少の基本グループを繰り返しパターンと呼び，またそれに属するセル数を繰り返しセル数と呼ぶ．すなわち，繰り返しセル数が少ないほど，同一周波数を再利用できる距離が短くなり，周波数利用効率は高くなる．繰り返しセル数と繰り返しパターンはセル構成ごとに異なる．ここでは，正六角形セル構成と正四角形セル構成の繰り返しセル数と繰り返しパターンを示す．今，それぞれの繰り返しセル数を  $N_c^{[6]}$ ， $N_c^{[4]}$  と表すと， $N_c^{[6]}$ ， $N_c^{[4]}$  は次式で与えられる<sup>1)</sup>．

$$N_c^{[6]} = i^2 + j^2 + ij \quad (i = 1, 2, \dots, j = 0, 1, 2, \dots, i \geq j) \quad (2 \cdot 1)$$

$$N_c^{[4]} = i^2 + j^2 \quad (i = 1, 2, \dots, j = 0, 1, 2, \dots, i \geq j) \quad (2 \cdot 2)$$

ただし， $i$ ， $j$  は正の整数である．正六角形セルの場合， $N_c^{[6]}$  は 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, …，となる．一方，正四角形セルの場合， $N_c^{[4]}$  は 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, …，となる．図 2・2 に一例として，正六角形セル構成において繰り返しセル数  $N_c^{[6]}$  を 3, 4 とした場合の繰り返しパターンを示す．

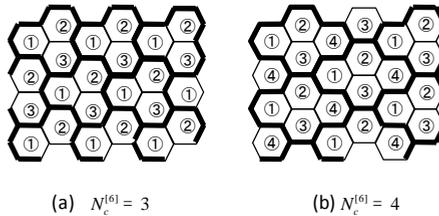


図 2・2 正六角形セル構成の繰り返しパターン

### (4) セクタセル構成

同一周波数干渉を低減し繰り返し効率を大きくする方法として，扇型セル構成がある．扇型セル構成は，図 2・3 に示すように各セルを水平面内指向性アンテナにより複数の扇型セルに分割する．分割された扇型セルはセクタセルと呼ばれ，例えば同図 2・3(b)ではセルを 3 分割していることから，3 セクタセルと呼ばれる．一方，基地局アンテナの水平面内指向性に着目すると，3 セクタセルはビーム幅  $120^\circ$  の基地局アンテナで構成される．セクタセルは電波の放射方向をビーム幅内に集中させることで，与干渉，被干渉を低減する．例えば，ビーム幅が  $120^\circ$ ， $60^\circ$  の場合，ビーム幅が  $360^\circ$  である無指向性アンテナに比べて，干渉電力を平均でそれぞれ約  $1/3$ ， $1/6$  に低減できる．また，同時にアンテナ利得を約 3 倍，6 倍に増加できる．すなわち，セクタセル構成は干渉の低減に留まらず，端末の送信電力の低減に有効で

ある。一般に、セクタ分割数は任意の数に設定可能であるが、セル構成ごとに効率的な分割数がある。例えば正六角形セル構成では、3セクタセル（ビーム幅  $120^\circ$ ）や6セクタセル（ビーム幅  $60^\circ$ ）が一般的であり、2, 4, 5セクタセルはほとんど用いられない。

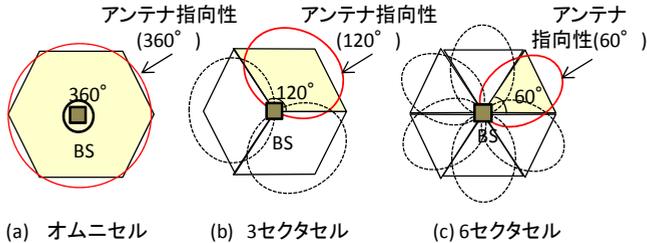


図 2・3 セクタセル（正六角形セル）

■参考文献

- 1) 進士昌明編，“移動通信，” pp.140-145, 丸善, 1989.

### 2-1-3 回線設計

(執筆者：石川義裕) [2008年6月 受領]

移動通信における無線回線設計は、使用する周波数帯及び伝搬環境が与えられた場合に、基地局や移動局の受信機性能、送信機の最大送信出力などの諸条件を考慮して、一つの基地局がカバーする範囲（セル半径）を算出する設計、あるいは逆に、所望のセル半径を得るために必要な受信感度や送信出力などを算出する設計である。ところで、設計対象とする移動通信システムが使用できる周波数帯域には通常限りがあるため、一つの基地局が収容する加入者数を大きくするためには、周辺のほかの基地局からの干渉に対するマージンをとらなければならない、セル半径はその分小さくなる。このように、移動通信システムでは無線回線設計と収容加入者容量は独立ではなく、相互に関係しているのが一般的であり、これら双方を考慮したうえで設計を行うことが重要となる。また、これらの設計は、上り回線（移動局送信，基地局受信）と下り回線（基地局送信，移動局受信）の双方に対して行う必要がある。

無線回線設計はその基本的な設計段階において、リンクバジェットと呼ばれるチャートを用いて行われることが多い。表 2・1 に簡易なリンクバジェットの例を、図 2・4 にリンクバジェットの各項目をマッピングした参照図を示す。短区間変動マージンは建物の影になったりすることによる短区間変動（シャドウイング）に対するマージンであり、通常、この変動が対数正規分布するものと仮定して、その劣化率を数%程度に抑えるためのマージンをあらかじめ算出して使用する。一方、短区間変動よりも高速の、いわゆる Rayleigh フェージングに対するマージンや、誤り訂正によるゲインなどは、それぞれの通信方式がこれらに対してどのように対処するかによるため、受信機の所要受信レベルにこれらを含めたうえで評価することも多い。通信方式ごとに特に考慮すべき項目を別に計上する場合もある。

表 2・1 簡易なリンクバジェットの例

送信出力	+ 21 dBm
送信系給電損失	- 0 dB
送信アンテナ利得	+ 0 dBi
受信アンテナ利得	+ 17 dBi
受信系給電損失	- 5 dB
建物浸入損失	- 6 dB
短区間変動マージン	- 8 dB
干渉マージン	- 6 dB
所要受信電力	-121 dBm
許容伝搬損失	134 dB
セル半径	847 m

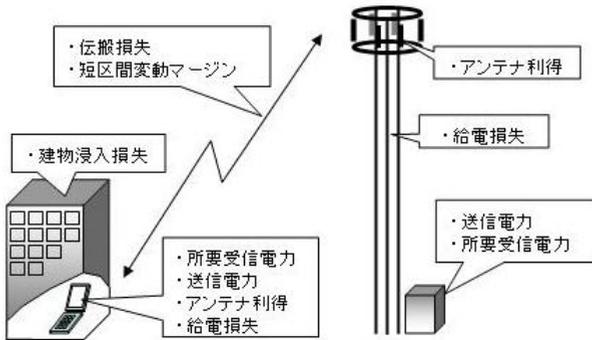


図 2・4 簡易なリンクバジェットにおける各要素の説明図

リンクバジェットにおいて、伝搬損失と距離の関係、建物浸入損失については使用する周波数帯が決まればその特性が決まるものであるため、設計では前提条件として与えられる条件となる。通信方式そのものを設計しているような初期の段階においては、受信機の所要受信電力や送信出力などが設計対象となり、通信方式や装置のラインナップが決まった後の個々の基地局の設計では、給電ケーブル損失やアンテナ利得及びセル半径などが設計対象となる。個々の基地局の設計では、リンクバジェットによる基本設計に加えて、周囲の地形などが伝搬特性に与える影響や、周辺基地局からの影響などを考慮して詳細な設計、最適化が必要となる。

以下では、FDMA/TDMA、及び CDMA で特筆すべき事項について記述する。

#### (1) FDMA/TDMA の場合の回線設計

都市部では収容加入者容量を上げるため（基地局当たり使用できるチャンネル数を増やすため）、同一チャンネルの繰り返し距離が短く設定される。したがって、同一チャンネル干渉が発生する確率はより高くなるため、その分をマージンとして考慮する必要がある。そのため、高トラフィックの地域ではそのマージン分だけ無線回線設計上のセル半径は小さくなる。

## (2) CDMA の場合の回線設計

CDMA システムは、全基地局で同一周波数が利用可能であるため、干渉が常に存在する(信号の復調に際して、干渉は抑圧されるため、通信には影響のないレベル)状態で動作するため、この干渉に対してマージンを考慮する必要がある。このマージンは、通常、干渉マージンあるいはロードマージンなどと呼ばれることが多い。

下り回線は、共通制御チャネルなど複数のチャネルが一つの周波数に多重されて、基地局から送出されるため、全体の送信電力のほかに、個々の共通制御チャネルへ電力をどの程度配分するかという設計も必要となる。個々のチャネルが品質を満たせるよう十分な電力を割り当てる必要があるが、同時に、移動局個別の通信用チャネルの収容容量を圧迫するオーバーヘッドとなるため、必要最小限度の電力とする必要がある。特に、共通パイロットは、移動局において復調のための位相リファレンスとして利用することや、移動局が自局の移動を複数の基地局からの共通パイロットの信号を見て判断することなどを考慮して、十分かつ必要最小限の電力を割り当てる必要がある。

## ■4群 - 3編 - 2章

### 2-2 移動通信の無線制御

(執筆者：上林真司) [2009年7月 受領]

移動通信の無線制御技術という、一般に、位置登録制御、発着信制御、ハンドオーバ、マルチチャネルアクセス/ランダムアクセス制御、制御信号伝送技術等を含むと思われるが、マルチアクセス、ランダムアクセス、信号伝送については、無線通信基礎として4群1編に記載されるので、本節では、発着信制御(含位置登録、一斉呼出し、認証)、ハンドオーバに加え、移動通信固有の技術として送信電力制御について説明する。

#### 2-2-1 発着信制御

移動通信は固定電話の通信とは異なり、端末が有線に接続されておらず、好きな場所に移動可能のため、接続にあたり該端末がどの基地局のエリアにいるかを特定することが必要になる。また、多くのユーザが同時に同一エリアで無線を使用するので、混信せずにそれぞれ通信できるように通信ごとに個別に無線チャンネルを割り当てる必要がある。更に、偽の端末が使われる危険を避けるため、通信ごとに加入者・端末を認証する必要がある。

このように、移動通信の発着信接続では、固定電話になかった問題点を克服する技術が必要になる。本項では、セル方式移動通信の発着信接続がどのようになされるかの概要を説明する。まず、簡単な移動通信システムの構成を示し、移動通信システムが移動局の位置を管理する方法について説明する。次に、発着信接続の例として、固定電話から移動局に着信する場合の接続制御の流れを説明する。最後に、移動通信システムが移動局を認証する方法について説明する。

##### (1) 移動通信システム<sup>1,2)</sup>

図2・5は、移動通信システムの構成を簡易的に示した模式図である。移動局の送信した電波は基地局で受信され、交換機に送られる。交換機は固定網などを介して相手の電話機に接続する。基地局のカバーするエリアをセル(cell)と呼ぶ。一つのセルのサイズは数km(郊外)~数十m(屋内)と様々である。多数の基地局を効率よく配置し、サービスエリア全体

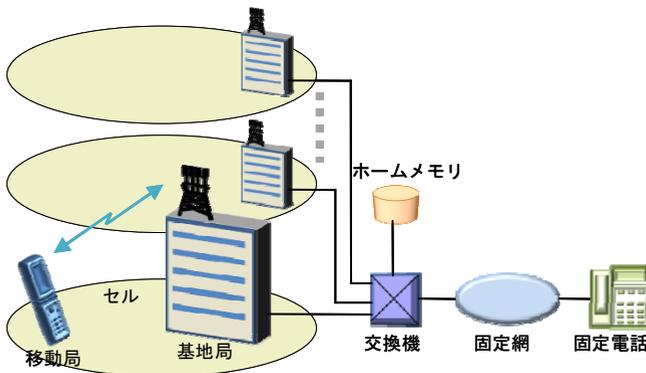


図2・5 移動通信システムの構成

をカバーしている。交換機も全国に多数存在し、基地局装置に接続する加入者系交換機や、固定網などのほかのネットワークと接続する閉門中継交換機があるが、ここでは簡単のため1台の交換機で代表させる。交換機はホームメモリ(home memory)とも接続している。ホームメモリには全加入者の移動局の位置情報、課金情報などの加入者データが記憶されている。本項では、この構成に基づいて、移动通信の発着信接続制御の概要を説明する。

(2) 位置登録<sup>1-4)</sup>

どこにいるか分からない移動局に着信呼を接続するため、移动通信システムは常に移動局の位置を管理している必要がある。移动通信システムは、セル単位で移動局の位置を管理することが可能だが、その場合、移動局はセルを移動するたびに位置登録(location registration)更新のため制御信号の送受信を行わなければならない、制御信号のトラフィックが膨大になる(図2・6(a))。そこで、複数のセルをまとめて位置登録エリアとし、移動局は、位置登録エリアを越えて移動するときのみ位置登録を更新する方法が一般に採用されている(図2・6(b))。この場合、移动通信システムは、位置登録エリア内のどのセルに移動局が存在するか分からないので、着信呼があったときは、位置登録エリア内の全基地局から一斉呼出し信号を送信する必要がある。位置登録エリアのサイズは、位置登録のトラフィックと一斉呼出しのトラフィックのバランスをとり、最も効率がよくなるように設計される。

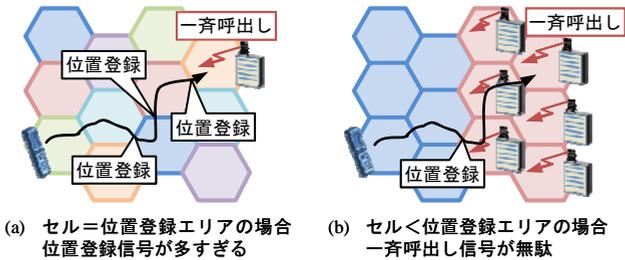


図2・6 位置登録エリア

(3) 発着信接続<sup>1.2.4)</sup>

発着信接続制御の一例として、固定電話から移動局に電話をかけるときの着信接続の流れを図2・5を使って説明する。固定電話でオフフックし移動局の電話番号をダイヤルすると、固定網の交換機は、ダイヤルの最初の3桁(0A0)の移動網識別番号により移动通信システムの閉門交換機に接続する。移動網の交換機はホームメモリから加入者データを読み出し、該移動局が通話中でなければ、位置登録情報に基づき、位置登録エリア内の全基地局に一斉呼出しを指示する。位置登録エリア内の全基地局は共通制御チャネルを使い一斉呼出し信号を送信する。該移動局が一斉呼出しを受信すると自分の属する基地局に一斉呼出し応答信号を送信する。該基地局はこの応答信号を交換機に転送する。交換機は、一斉呼出し応答信号を受信すると、該移動局が属する基地局を除く位置登録エリア内の全基地局に一斉呼出し中止信号を送信し、その後の通信は、該移動局と該基地局の2局間のみで行われる。

交換機は、移動局が属する基地局が特定できると、まず、該基地局を介して、該移動局が正規の移動局かどうか確認するため、認証手続きを行う。認証手順は次項で説明する。交換

機は、認証結果及び加入者データから該移動局を正当な移動局と判定すると、基地局に対して該通信に使用する無線チャンネルの割当てを要求する。基地局は、自セルの空きチャンネルを検索して無線チャンネルを決定し、移動局に通知するとともに交換機に無線チャンネルの設定ができたことを報告する。交換機は、無線チャンネルが設定されると固定網の交換機を介して固定電話にリングバックトーン（RBT）を流すとともに、移動局に呼出し音を出させ、その後移動局が応答（オフフック）すると通信が開始される。

#### (4) 認証<sup>1)</sup>

移動局の不正使用を防止するため、通信を始める前には必ず認証（authentication）の手続きを行う。その手順の典型的な例について概要を図 2・7 を使って説明する。移動局はそれぞれ個別の秘密の認証鍵をもっている。ホームメモリには移動局の位置情報などと併せてそれぞれの移動局の認証鍵が記憶されている。

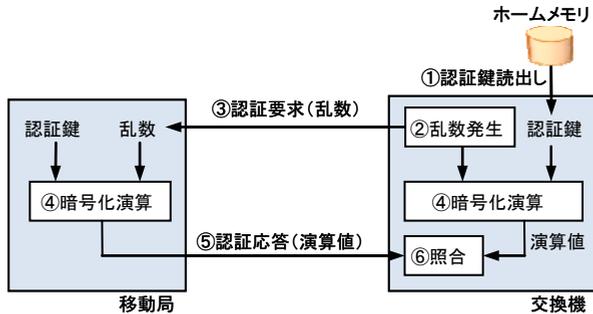


図 2・7 認証手順

交換機が認証手続きを行う際には、まずホームメモリから該移動局の認証鍵を読み出す(①)。次にこの認証鍵と乱数(②)によって暗号化演算を行う(④)とともに、ここで使った乱数を移動局へ送信する(③)。移動局は、自ら記憶している認証鍵と交換機から送られてきた乱数によって、交換機と同じ暗号化演算を行い(④)、その結果を交換機へ送信する(⑤)。交換機では、先に自ら演算した結果と移動局からの返答を照合する(⑥)ことにより、正しい移動局かどうかの認証を行う。

### 2-2-2 ハンドオーバー

移動局が通信中に移動すると、現在通信している基地局のエリアから別の基地局のエリアに移ることがある。その場合は、通信中に新しい基地局との通信に通信経路の切り替えを行う。これをハンドオーバー（hand-over）（通信中チャンネル切り替え）という。

セル方式移動通信の導入当初は、アナログ FDMA 方式が採用され、基地局が受信電界強度を監視し、ハンドオーバーを実施する方式であった。この方式は、基地局の負担が大きく、ハンドオーバーの際に通話が 0.7～0.8 秒間瞬断するという問題があった<sup>2)</sup>。第 2 世代移動通信方式以降、この問題を解決し、更に通信品質を向上するハンドオーバー技術が開発されてきた。本項ではそれらの技術の概要を紹介する。

(1) MAHO<sup>1)</sup>

第2世代移動通信方式では、TDMAが採用されたため、移動局は空いたタイミングを使って周辺セルの受信レベルを測定することが可能になった。図2・8は、3チャンネルTDMAの移動局の動作タイミングを示す。1周期は3スロットに分割され、この例では移動局は第1スロットで送信し、第2スロットで受信し、第3スロットは空き（アイドル）である。移動局はこのアイドルタイミングで周辺セルの共通制御チャンネルの受信レベルを測定し、この測定結果に基づいてハンドオーバーの実施を決定する。この方法をMAHO（Mobile Assisted Hand Over）と呼ぶ。

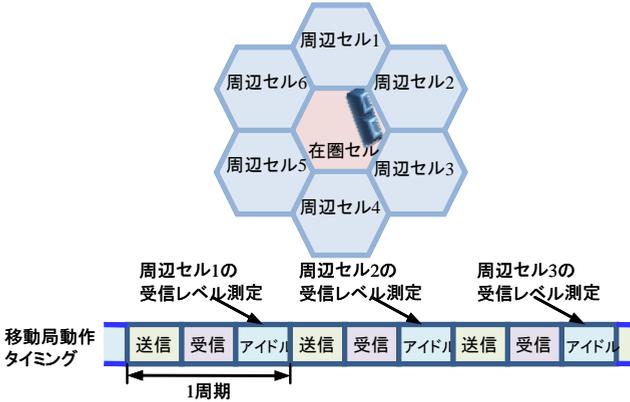


図2・8 移動局補助形ハンドオーバー

第1世代移動通信方式では、基地局が移動局の受信レベルを短時間で測定していたが、MAHOでは、移動局が通信中継続的に周辺セルの受信レベルを測定できるため、測定値が安定し精度が高くなった。また基地局の負担が軽減されたため、小セル化しハンドオーバーが頻発しても対応可能になった。

(2) ソフトハンドオーバー<sup>1,5)</sup>

第3世代移動通信方式で採用されたCDMA方式では、隣接するセルで同じ周波数を使用可能であり、移動局は自セルの通信を行いながら同時に周辺セルの信号を受信できる。この特徴を活かし、ハンドオーバー時に瞬断をなくしむしろ品質の向上が可能なソフトハンドオーバー（soft hand-over）が可能になった。

移動局が送信した信号は複数の基地局アンテナで受信される。同一基地局の複数のセクタアンテナで受信された信号は最大比合成して復号することによりサイトダイバーシチ効果を得ることができる。異なる基地局で受信した信号は品質情報（受信レベルなど）を付加して制御装置に送られる。制御装置は各基地局から送られた信号から品質の高い信号を選択して受信信号とする。基地局-制御装置間はベースバンド信号しか伝送できないので、最大比合成は困難だが、選択ダイバーシチ効果を得ることができる。

基地局から移動局に送信する信号については、制御装置が、送信信号をソフトハンドオーバーで用いる各アンテナに配分して送信する。移動局はこれらの信号を受信し最大比合成して復号する。

ソフトハンドオーバにより、ハンドオーバに伴う瞬断をなくすとともに、品質の悪いセルエッジの信号をダイバーシチ効果により改善することが可能になった。

### 2-2-3 送信電力制御

#### (1) 第1, 2世代 (FDMA, TDMA) の送信電力制御<sup>1)</sup>

移動通信では、移動局の位置によって基地局との間の距離が大きく変化する。移動局が基地局の直近にいるときは送信電力は小さくても十分な受信品質が得られるが、移動局が基地局から遠く離れているセルエッジ付近では送信電力を大きくする必要がある。

移動局が基地局直近にいるにもかかわらず大きい電力で送信すると、電力の無駄使いになりバッテリーの消耗が早くなるだけでなく、大きすぎる送信電力は周辺のほかの通信の干渉になる。そこで、過剰な送信電力を抑制する送信電力制御 (transmitter power control) は、セル方式導入当初から採用されていた。

送信電力制御には、移動局 (基地局) が下り (上り) 受信電力を測定し上り (下り) 送信電力を決定する開ループ送信電力制御 (open-loop transmitter power control) と、基地局 (移動局) が上り (下り) 受信電力を測定し移動局 (基地局) の送信電力を指定する閉ループ送信電力制御 (closed-loop transmitter power control) がある。FDD 方式では上りと下りの周波数が異なるため、フェージングの影響で上り伝搬路の品質と下り伝搬路の品質が異なる。そのため、閉ループの方が一般に精度の高い送信電力制御が可能であるが、距離減衰のみに対応する送信電力制御であれば開ループでもよい。

#### (2) 第3世代 (CDMA) の送信電力制御<sup>1,5)</sup>

第3世代 (CDMA) 方式では、同一周波数で複数の通信を同時に行うため、ほかの通信の信号は干渉になる。したがって、平等な受信品質を実現するためには、各通信の受信電力が高い精度で一致する必要がある。従来の送信電力制御は、数十 msec.の周期で数 dB 程度の精度であったが、CDMA の送信電力制御では、1 msec.以下の周期で 1 dB 以下の精度を実現する必要がある。この速度と精度を実現するため、第3世代方式では、2重の閉ループ送信電力制御を行っている (図 2・9)。

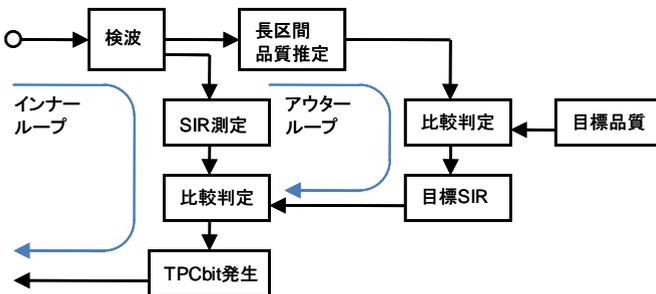


図 2・9 閉ループ送信電力制御

インナーループ送信電力制御は、1 スロット (0.667 msec.) ごとに受信信号の SIR (Signal-to-Interference Ratio : 信号対干渉電力比) を測定し、目標 SIR を満たさないときは、送信電力 Up のコマンドを TPC (Transmitter Power Control : 送信電力制御) bit として送信する。受信信号の SIR が目標 SIR 以上のときは、送信電力 Down の TPCbit を送信する。

アウトーループ送信電力制御は、十分長い時間 (数百 msec. から数 sec.) の品質 (ビット誤り率やブロック誤り率) を測定し、目標品質と比較することにより、インナーループの目標 SIR を決定する。

このインナーループとアウトーループの併用により、高速かつ高精度の送信電力制御を実現している。

なお、閉ループ送信電力制御は、上りと下りの対の無線回線が必要であり、また受信信号の品質に基づいて制御が行われるため、移動局が最初に信号を送信するときの送信電力は、下り受信電力から上りの伝搬ロスを推定して送信電力を決定する開ループ送信電力制御を用いる。

#### ■参考文献

- 1) 田中良一監修, “やさしいデジタル移動通信,” オーム社, 2008.
- 2) 桑原守二監修, “自動車電話,” 電子情報通信学会, 1993.
- 3) 上林真司, “携帯電話のつながる仕組み,” 信学通ソマガジン, no.9, pp.14-15, Jun. 2009.
- 4) 桑原守二監修, “デジタル移動通信,” 科学新聞社, 1992.
- 5) 立川敬二監修, “W-CDMA 移動通信方式,” 丸善, 2001.

## ■4群 - 3編 - 2章

### 2-3 移動通信のコアネットワーク<sup>1)</sup>

(執筆者：藪崎正実) [2008年6月 受領]

#### 2-3-1 移動通信ネットワーク構成<sup>2)</sup>

移動通信ネットワークは、図 2・10 に示すように、移動端末 MS (Mobile Station) との間で無線制御を行う RAN (Radio Access Network) と、複数の RAN を収容し、外部の固定通信ネットワークである PSTN (Public Switched Telephone Network) や ISDN (Integrated Services Digital Network)、及びほかの移動通信ネットワーク PLMN (Public Land Mobile Network) と接続する CN (Core Network) で構成される。

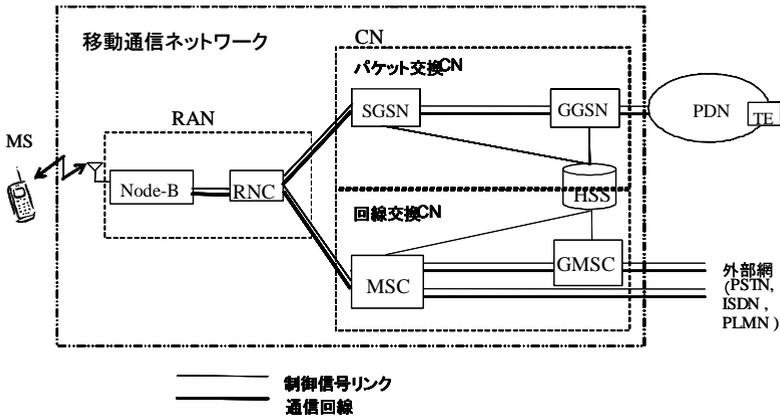


図 2・10 移動通信ネットワークアーキテクチャ

RAN は、各無線ゾーンを形成して MS と無線送受を行う基地局 Node-B と、複数の Node-B を収容し、各無線ゾーンの無線回線接続/切断、無線回線での位置登録、一斉呼出し、ハンドオーバーなどの移動管理を行う無線ネットワーク制御装置 RNC (Radio Network Controller) で構成される。

CN は、回線交換 CN とパケット交換 CN に分離される。回線交換 CN では、サービスエリア内の MS 間の通信回線に RAN を通して接続し、また、MS とほかの PSTN、ISDN、PLMN に接続する端末との間の通信のためにそれらの外部網との間の回線を接続する移動サービス交換局 MSC (Mobile-services Switching Center)、及び GMSC (Gateway MSC) で構成する。パケット交換 CN では、RAN と連携して MS の移動管理、MS からのアクセス制御を行う SGSN (Serving GPRS Support Node) と、外部の様々な PDN とのインタワークを行う GGSN (Gateway GSN) で構成する。更に、これらの CN は、CN 内の移動管理を行い RAN と連携して MS の移動管理を行う HLR (Home Location Register) を共有する。

#### 2-3-2 移動管理

移動通信では、MS がどの無線ゾーンに存在してもその MS に通信を行うことを可能とするために、図 2・11 に示すように、複数の無線ゾーンをグループ化した位置登録エリアを構成

しておき、MSが位置登録エリア間を移動したときに、HLRに位置登録を行っておく。

そのMSに対して通信を行う場合には、その位置登録エリア内のすべての無線ゾーンからMSに一斉呼出しを行い、MSが存在する無線ゾーンで応答して通信を開始する。

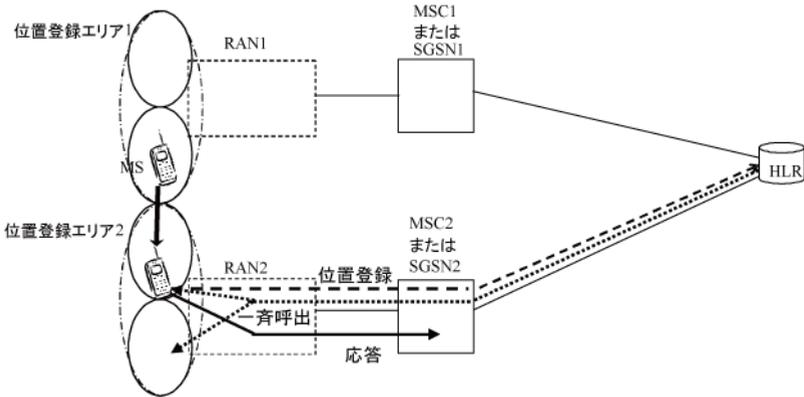
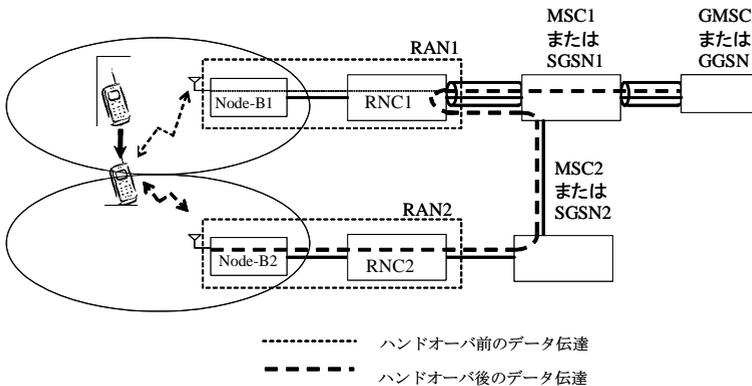


図 2・11 位置登録と一斉呼出し

移動通信システムでは、MSが通信中にある無線ゾーンから別の無線ゾーンに移動する場  
 合が想定される。この通信中に無線ゾーンを変更した場合にも通信を継続させる技術が、ハ  
 ンドオーバーである(図 2・12)。

MSが、ある無線ゾーンから隣の無線ゾーンに移動する場合、まず、その移動先の無線ゾ  
 ーンで無線通信回線を設定する。移動前後の無線ゾーンの境界付近では、MSは、双方の無  
 線ゾーンの無線通信回線で同時に通信データを送受信する。そして、MSが移動先の無線ゾ  
 ーンに移動して、移動前の無線ゾーンとの電波が微弱になると、その無線通信回線を切断、  
 解放してハンドオーバーを完了する。



..... ハンドオーバー前のデータ伝達  
 - - - - ハンドオーバー後のデータ伝達

図 2・12 ハンドオーバー

### 2-3-3 ローミング

移動通信システムでは、ユーザが契約した通信事業者のサービスエリア以外の地域であっても、その地域の通信事業者において位置登録を行うことによってサービスを享受できる(これをローミングと呼ぶ)。

ローミング中のMSに通信を行う場合、MSの番号MSISDN (Mobile Station ISDN Number)をもって発信する(図2・13)。その発信網からMSのホーム網のGMSCまで、MSISDNに基づいてルーチングする。MSのホーム網では、MSISDNから、HLRに記憶しているローミング番号MSRN (Mobile Station Roaming Number)を引き出して、MSの在圏網のMSC/VLRまでルーチングする。MSC/VLRは、そのMSRNに対応する、MSの識別子IMSI (International Mobile Station Identity)を引き出して、無線区間においてIMSIをもってMSに一斉呼出し、及び着信を行う。

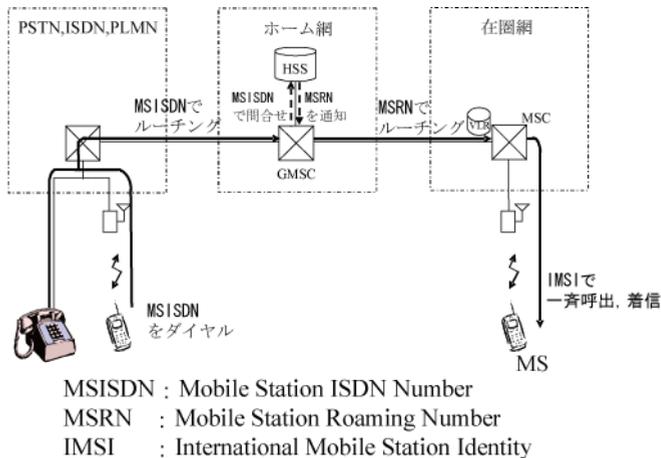


図2・13 移動通信ネットワークにおける移動端末番号と識別子の使用法

### 2-3-4 All-IP 移動通信ネットワーク

現在、図2・14に示すような、セルラー無線アクセスシステムだけではなくWLANなどのホットスポット無線アクセスシステムなども収容し、それらの無線アクセスシステム間でシームレスに移動管理を行うAll-IP移動通信ネットワークの国際標準<sup>3)</sup>が策定され、各国で鋭意開発が進められている。

図2・10の従来の移動通信ネットワークと対比すると、CNはIP伝達ネットワークで統合され、SGSNに対応して信号制御を行うMMS (Mobility Management Entity)とユーザデータを伝達するServing Gatewayと、GGSNに対応したPDN Gatewayで構成される。その伝達ネットワークのQoS (Quality of Service) 制御並びに伝達ポリシー制御は、PCRF (Policy and Charging Rules Function) から、これらのGatewayに向けて指令する。HSSは、従来のHLRにサービスプロファイルなどを具備して高度化したものである。なら、従来のRNCの機能は、eNode-B (evolvedNode-B)とServing GWに配備され、RANが従来に比べて分散制御さ

れた形態をとる。

このAll-IP移動通信ネットワークにIMS(IP Multimedia Subsystem)を付加することにより、テキストのみならず音声や動画像を用いたチャット、インスタントメッセージング(IM; Instant Messaging)、ライブ情報を伝達するストリーミングサービスや、IP電話サービスVoIP(Voice over IP)、また、通信したい相手の状態(位置、在籍/離籍、接続中の有無、など)を確認するプレゼンスサービスなどのpeer-to-peerのIPリアルタイムマルチメディア通信サービス制御を実現する。

CSCF(Call Session Control Function)は、ネットワーク内のセッション状態を維持し、AS(Application Server)と連動して様々なセッション制御サービスを提供する。

MRFP(Multimedia Resource Function Processor)は、会議用のメディア合成、トランスコーダ、アナウンス装置などのマルチメディアリソースであり、MRFC(Multimedia Resource Function Controller)が、CSCF、ASの指令に基づいて制御する。

MGW(Media GateWay function)は、STMなどの回線交換伝達とIP伝達の変換を行う。MGCF(Media Gateway Control Function)は、MGWの接続状態を管理するとともに、回線交換ネットワークの制御信号とIMSの制御信号の変換を行う。

BGCF(Breakout Gateway Control Function)は、回線交換ネットワークとの相互接続にあたって、MGCFの選択を行う。

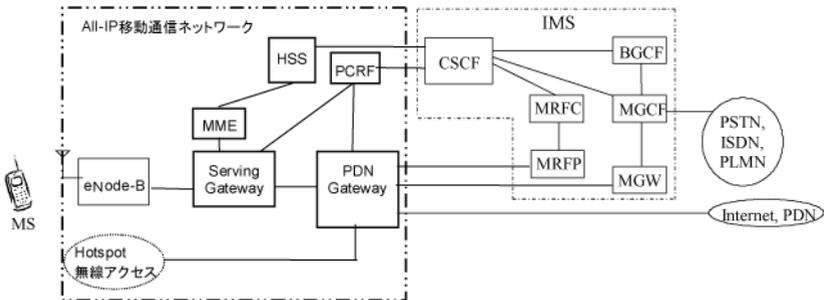


図 2・14 All-IP 移動通信ネットワークと IMS アーキテクチャ

#### ■参考文献

- 1) 藪崎正実, “移動通信ネットワーク技術,” 電子情報通信学会, 2005.
- 2) TTC 規格 JP-3GA-23.002, “Network Architecture”
- 3) 3GPP Specification TS23.402, “Architecture Enhancements for non-3GPP Access”

## ■4群 - 3編 - 2章

### 2-4 移動通信用装置・デバイス

#### 2-4-1 基地局装置

(執筆者：箕輪守彦) [2009年2月受領]

セルラー方式の移動通信基地局装置は、第1世代の音声中心のサービスから第2世代のメール、データ通信と進化し、その後、動画伝送、音楽ダウンロードなどの様々なマルチメディアサービスが可能な第3世代移動通信システムに発展した。サービスの高度化に伴いデータ通信速度も大幅に向上し、第3世代方式の一つである W-CDMA 方式では、2001年のサービス開始当初はユーザ当たりの最大伝送速度は 384 kbps であったが、今日では、HSDPA 方式の導入により 7.2 Mbps のデータ通信が可能となっている。現在は更なるデータ通信の高速化、低遅延化、周波数利用効率の向上を目指して 3GPP の標準化作業と平行して LTE 方式の開発が行われている。

我が国でサービスされている W-CDMA, HSDPA 方式と今後サービスが予定されている LTE 方式の無線基地局装置の主要諸元を表 2・2 に示す。

表 2・2 移動通信基地局の主要諸元

方式	W-CDMA	HSDPA	LTE
サービス開始	2001年	2005年	2010年以降
無線周波数帯	800 MHz 帯, 1.7 GHz 帯, 2 GHz 帯		
帯域幅	5 MHz		1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
アクセス方式	DS-CDMA / FDD		下り : OFDMA / FDD 上り : SC FDMA / FDD SC : Single carrier
Sheared チャネル / スケジューラ	なし	あり	
変調方式	下り : QPSK 上り : BPSK	下り : QPSK, 16QAM 上り : BPSK	下り : QPSK, 16QAM, 64QAM 上り : QPSK, 16QAM
フレーム長	10 ms	2 ms	1 ms
Hybrid ARQ	なし	あり	
誤り訂正	音声 : ビタビ符号 (R:1/2) データ : ターボ符号 (R:1/3)	データ : ターボ符号 (符号化率可変)	ターボ符号 (符号化率可変)
最大伝送速度 (ユーザ当たり)	384 kbps	7.2 Mbps	100 Mbps 以上
アンテナ技術	下り : 送信ダイバーシチ, 上り : スペースダイバーシチ		MIMO
VoIP	なし		あり

移動通信用基地局装置は、RF周波数帯の無線信号を扱う無線部、無線デジタル信号処理を行うベースバンド信号処理部、制御部、ネットワークインタフェース部から構成される。

図 2・15 に概略の W-CDMA 基地局構成を示す。

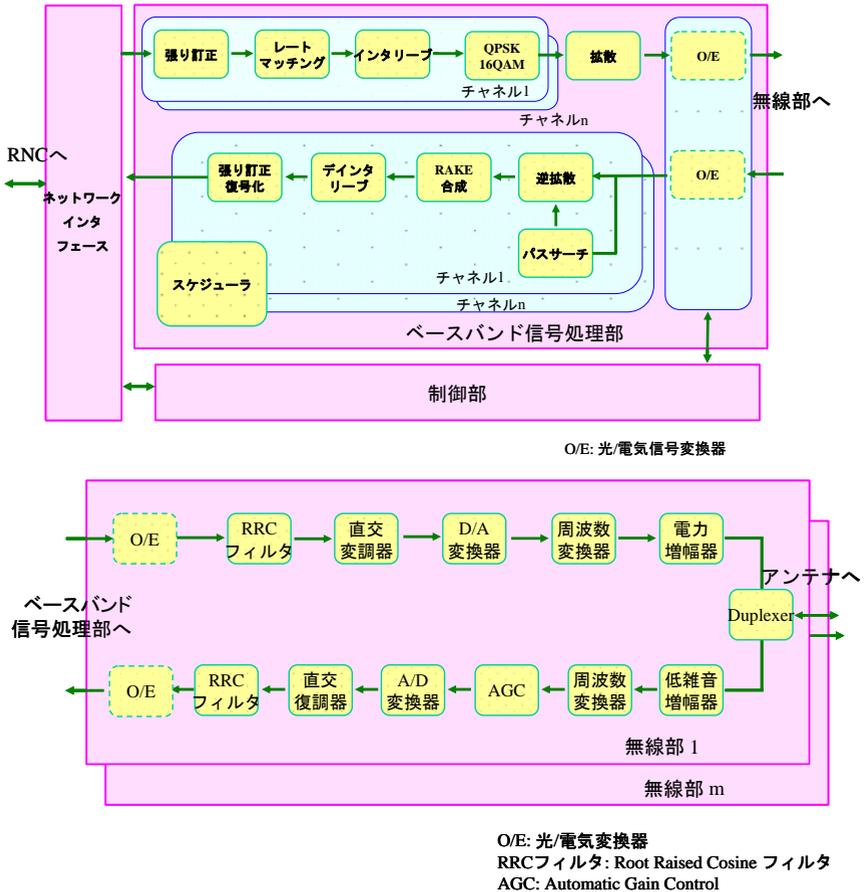


図 2・15 W-CDMA 無線基地局の構成

ネットワークインタフェース部は ATM, IP などの物理インタフェースを介し上位装置である RNC (Radio Network Controller) からの制御信号と送受信のデータをベースバンド信号処理部、制御部と入出力する。

ベースバンド信号処理部に入力した送信データは誤り訂正符号化、レートマッチング、インタリーブなどの無線フレーム生成を行い、データ変調、拡散変調されたあとに無線部へ出力する。ベースバンド信号処理部はすべての機能をベースバンドデジタル信号処理で実現する。また、3GPP 標準化仕様の変更に対する柔軟性と、高集積化を図る必要があるため、

高性能 DSP, 大規模 FPGA, ASIC などのデバイスを使用して構成される. 無線部とベースバンド信号処理部のインタフェースは I-ch, Q-ch の複素デジタル信号として入出力される. このインタフェースは高速シリアル伝送を採用した CPRI (Common Public Radio Interface) あるいは OBSI (Open Base Station Architecture Interface) などの標準的な仕様も規格化されている.

ベースバンド信号処理部から無線部に入力した I, Q チャネルのデジタルデータ信号は RRC (Root Raised Cosine) フィルタにより  $\alpha = 0.22$  に帯域制限したあと, 直交変調, D/A 変換, 周波数変換され電力増幅器に入力する. 電力増幅器で線形増幅した無線信号は, デュープレクサを介してアンテナに出力する.

一方, アンテナから受信されたデータは, 低雑音増幅器 (LNA) で増幅され IF 周波数帯まで周波数変換される. そこで AGC (Automatic Gain Control) により適正な入力レベルに電力を制御し A/D 変換する. そのあと, 準同期検波され RRC フィルタで波形成形後にベースバンド信号処理部に出力される. ベースバンド信号処理部に入力されたデータは, パスサーチ回路により受信パスを検出し, 各パスごとに逆拡散処理を行ったあとに RAKE 合成し, そのあと, 誤り訂正複号を行い, 受信データを再生する.

制御部は, RNC からの制御信号を基に, ベースバンド信号処理部, 無線部のハードウェア制御, 呼処理制御, チャネルなどの無線リソースの維持, 管理などを行う.

電力増幅器は無線基地局の大きさや消費電力に大きく影響するため, 電力増幅器の高効率化が重要である. 従来はフィードフォワード型電力増幅器が一般的であったが, 歪み補償効果の高いデジタルプリディストーション方式による基地局増幅器も実用化されている. また基地局電力増幅器で使用する FET デバイスは LD MOS FET がよく使われているが, より効率が高い窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ (GaN HEMT: High Electron Mobility Transistor) なども実用化の段階にある. このように, 歪み補償方式とデバイスの改良により無線基地局の低消費電力化, 小型化を目指して開発が行われている.

また, 無線部は RRH (Remote RF Head) と呼ばれる無線部を基地局本体から離れて設置する形態も考案され実用化されている. 無線部とベースバンド信号処理部を光ファイバで接続することにより, 品質の劣化なく電柱や塔頂のアンテナの近くなどの様々な場所に設置が可能となり, 自由なエリア構築が可能となる. また, この設置形態はアンテナ近くまで光ファイバで伸ばすため, 電力増幅器の出力を同軸ケーブルで伸ばす場合に比較し, 電力ロスが少ないという特長があり広く普及している.

## 2-4-2 移動機

(執筆者: 作野圭一) [2009年2月 受領]

移動機の代表である携帯電話は, その実用化初期 (第1世代) においては音声通話機能のみであり, 低速のアナログ FM 変調方式が用いられていたが, インターネットとの接続やカメラ機能の搭載による大容量データの高速送受信需要の増加, 有限の周波数資源のもとでの加入者容量増大など, 消費者ニーズやインフラ進化に対応するため, デジタル変調方式に移行し, 変調方式も GMSK, QPSK, OFDM (第2世代, 第3世代) へと高度化を続けており, MIMO など複数アンテナでの空間伝送を活用した更に高速の無線通信システムの導入も始まろうとしている.

また, 各種・各国の携帯電話規格に対応するマルチモード/マルチバンド機能, Bluetooth による周辺機器連携, GPS による位置検出, 我が国規格の ISDB-T (ワンセグ放送)

や欧州規格の DBV-H に代表される移動体用デジタル放送など、無線で提供される様々なサービスを楽しむ機能も携帯電話に搭載されてきており、通信速度の向上や機能拡充は今後も進展していくと考えられる。

しかし一方では、携帯電話に代表される移動機では、携帯性を確保するための端末の物理的なサイズの制約及び電池容量の制約により、搭載される電子部品に対しては、低消費電力でかつ小型であることが強く求められている。上述のように携帯端末に搭載される機能は年々増加の一途をたどっており、リチウムイオン電池の容量アップは進展しているものの、無線通信用電子部品には一層の小型化、低消費電力が求められていくことになる(図 2・16)。

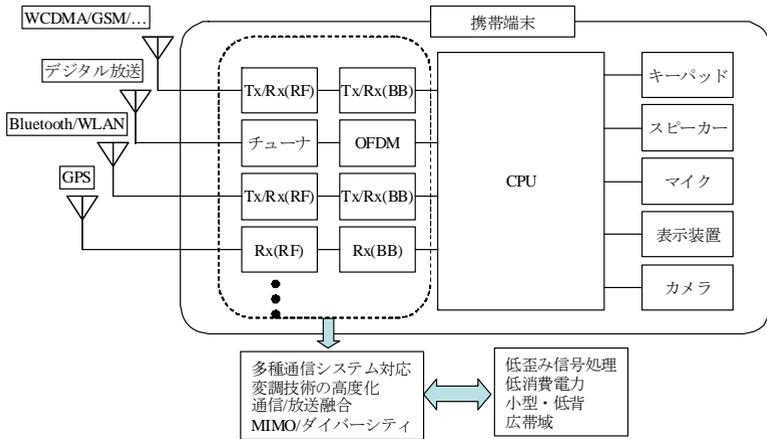


図 2・16 携帯電話の無線機能の進化・拡充と課題

無線通信用電子部品の小型化については、シリコン LSI 技術を駆使した半導体チップへの機能集積化や複数の高周波部品を高密度に実装したモジュール化などの開発が進められている。1608/1005 型から 0603/0402 型への抵抗、コンデンサ、コイルなどの受動チップ部品の小型化とも相まって、多くの無線システムを内蔵しつつも端末のサイズは増やすことなく今日に至っている。

消費電力については、無線通信システムが要求する低歪み特性とのトレードオフをいかに克服していくかが鍵になると考えられる。このトレードオフは、限られた無線帯域を使って通信速度を高めていくためには符号間距離の小さい多値変調方式の採用が不可欠であり、送信及び受信経路での信号の歪みに対する許容マージンが小さくなっていく一方で、送受信の基幹部品であるパワーアンプや周波数変換器などに使用される電界効果トランジスタやバイポーラトランジスタなどの半導体素子は、動作電流を低減すると歪みも増大するのが通常であることから生ずる。低消費電力化のためには、歪みの発生を抑制する回路技術、低歪みデバイス技術双方の技術的な進展が必要である。

パワーアンプを例にとると(図 2・17)、入力電力の増大に伴って出力電力が増大するが、出力電力が飽和に近づくると利得が低下する。これはいわゆる利得圧縮と呼ばれる歪みの増大

であり、出力電力は歪みが許容値に収まるレベル以下に制限される（飽和出力からのバックオフが必要）。このバックオフ量は、OFDMなどの新しい変調方式では、従来のGMSKやQPSKなどの変調方式に比べて大きくなる傾向にある。しかし、パワーアンプの電力利用効率は一般に飽和に近い出力電力で動作させるほど高くなるため、バックオフ量が大きいと電力利用効率が低下してしまう（＝消費電力が増大する）というトレードオフが存在する。したがって、今後一層の低歪みが要求される次世代の通信システムでも低消費電力化を実現していくためには、低バックオフでも歪みを抑制できるような回路技術と電力利用効率の絶対値を引き上げるような高性能増幅素子の開発が必要となる。

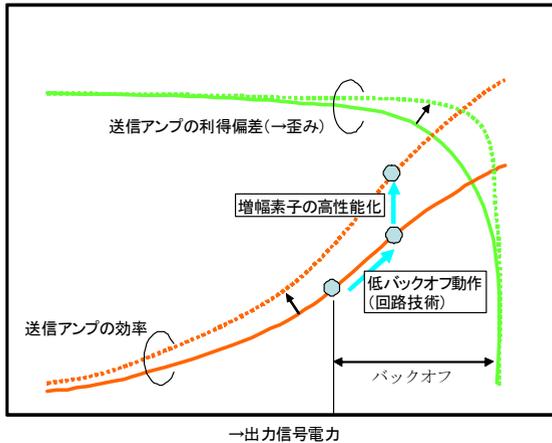


図 2・17 送信用パワーアンプの低消費電力化

移動体通信は、ユーザの利便性の向上や高速・大容量化を目指して Super3G (LTE) やモバイル WiMAX などの次世代のシステムへと今後も進化が続いていく。携帯端末に標準搭載されるようになってきたデジタル放送受信機能についても、フルセグメント放送受信や 2011 年のアナログ TV 放送停波に伴って開始が予定されている新たなサービス (ISDB-Tmm など) への対応など、機能拡充が進展していくと予想される。携帯電話による家電機器や車載機器との連携も今後大きく進展していくサービスの一つと考えられる。これらの機能拡充をより使いやすいものにしていくためには、より高精細なディスプレイも必要になってくるであろうし、情報の入力手段としてのカメラの高画素化も進展していくであろう。携帯電話の進化に伴い、通信機能に限らずあらゆる機能面での信号処理量が激増することは不可避である。限られた電池容量や端末サイズの制約のなかで、これら機能と激増する信号処理を低消費電力で実現するデバイス・回路技術の進展が切に望まれる。

### 2-4-3 基地局アンテナ

(執筆者: 山田吉英) [2008年7月 受領]

基地局アンテナは、無線ゾーンの形状を成形するとともに、ゾーン内外からの電波干渉を低減することによる周波数の利用率向上や通信品質の向上などの役割を果たしている。アンテナ

ナの構成は、垂直方向に多くの放射素子を配列したアレーアンテナであり、アンテナ利得の向上とともに、ゾーン外への電波放射を抑圧するための低サイドローブ特性が得られるように、指向性合成が成されている。以下に、具体的なアンテナ性能を概説する。

サービスゾーンの形状としては、**図 2・18**のように基地局周囲を3個から6個に分割した、セクタゾーンが採用されている。アンテナの水平面内のビーム幅は、セクタ間干渉を軽減するため3個については $120^\circ$ より狭い $80^\circ$ に近いものが、6個については $60^\circ$ より狭い $50^\circ$ に近いものが用いられている。また、ゾーンの半径距離を設定するため、アンテナの主ビーム方向をゾーン周辺部に向けた、ビームチルト機能を有している。最近では、半径距離を遠隔操作で設定できるリモートビームチルトも用いられている。更に、移動局からの到来電波が多重波であるため、アンテナ受信レベルは深いフェージング特性を有する。このフェージングを軽減するために、ダイバーシチ受信機能も有している。代表的なものは、スペースダイバーシチアンテナであるが、**図 2・19**のような偏波ダイバーシチアンテナも用いられている。

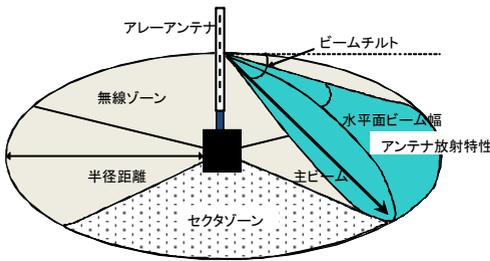


図 2・18 無線ゾーンとアンテナ指向

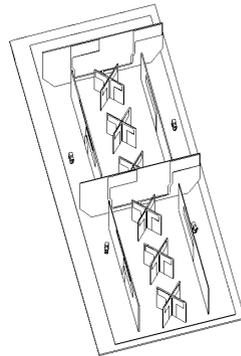


図 2・19 偏波ダイバーシチアンテナ

近年では、移動通信に様々な周波数帯が用いられているため、**図 2・20**のような多周波数共用アンテナも使用されている。このアンテナでは、周波数に応じた水平面内ビーム幅が達成されている。サービスエリアが地下の場合や、電波の届かない領域をカバーするために、ブラインドエリア用の基地局アンテナとして、中継基地局機能を果たす、ブースタ基地局アンテナや地下エリア用のアンテナも用いられている。

高機能なアンテナとしては、**図 2・21**のように水平面内に複数のアンテナを配置した、アダプティブアンテナが導入されている。この構成では、複数アンテナの出力を信号処理することにより、水平面内の干渉波を除去する機能が達成されている。

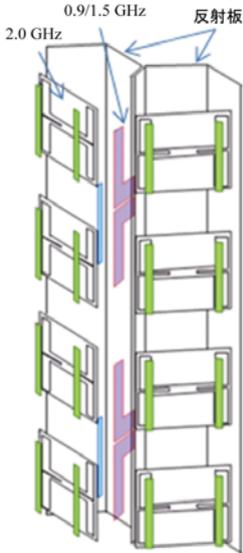


図 2・20 多周波数共用アンテナ



図 2・21 アダプティブアンテナ

#### 2-4-4 移動局アンテナ

(執筆者:小川晃一) [2008年6月受領]

移動局アンテナの種類を使用形態によって分類すると、主に次の3種類に分けることができる。

- ① 携帯端末など屋外で使用されるもの
- ② コンピュータの無線 LAN など屋内で使用されるもの
- ③ 非接触 IC カードなど極めて近距離で使用されるもの

上記システムで用いられるアンテナはその使用上の違いによって異なった形状のアンテナが用いられている。移動局アンテナへの要求条件はこれら三つの場合でそれぞれ異なるが、ここでは移動通信としての特徴を最もよく表しており、全世界的に広く行き渡っている(①)の携帯端末を中心にその技術の概要を解説する<sup>1-5)</sup>。

携帯端末用アンテナの特徴を考えるには、それと対照的な無線システムと比較してみるとの分かりやすい。図 2・22 に移動通信とテレビ受信の比較を、図 2・23 にその比較から出てくる移動通信移動局アンテナの特徴、課題と高性能化技術を示す。

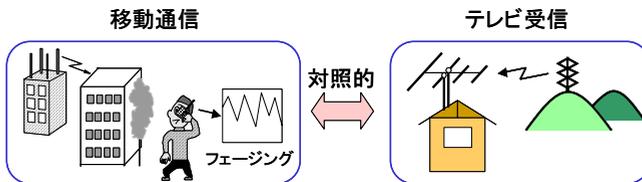


図 2・22 移動通信とテレビ受信の比較

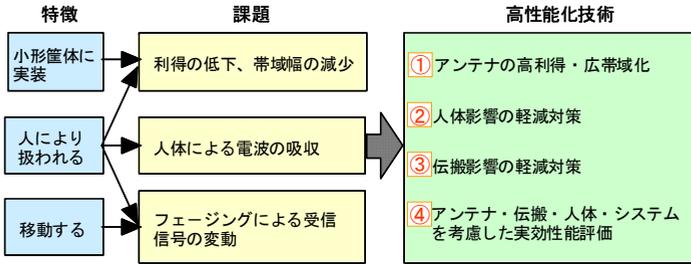


図 2・23 移动通信移動局アンテナの特徴、課題と高性能化技術

テレビ受信には八木一宇田アンテナがよく用いられる。八木一宇田アンテナは家の屋根の上などにテレビ受像機と離して設置され、アンテナとテレビの間は同軸線路で接続される。この場合、テレビセットとアンテナの電磁的な結合は非常に小さい。分かりやすくいうと、テレビの機種を変えてもアンテナの指向性やインピーダンスが変化することはほとんどない。一方、携帯端末ではアンテナは端末のケース（実際はセット内部の回路基板）に直接接続されている。この場合、アンテナの指向性やインピーダンスは携帯端末の種類（大きさや形状）によって大きく変化する。すなわち、移动通信移動局アンテナの第 1 の特徴はアンテナが小形筐体に実装されていることである。

移动通信移動局アンテナの第 2 の特徴は人により扱われることである。テレビ受像機でも人がセットの近くにいるがアンテナとは遠く離れていることが多い。しかし、携帯端末では通話中やメールの操作をしているときは人体の頭や手がセットの極近傍に存在する。この場合、携帯端末から出た電波は頭や手によって吸収・反射されて弱くなる。すなわち、アンテナの利得が低下する。そして、その程度が人や使用状況（セットの距離や角度）によって大きく変化する。すなわち、アンテナの性能は人体の電磁的な影響を考慮して評価する必要がある。

移动通信移動局アンテナの第 3 の特徴は移動することである。これはテレビ受像機と対照するまでもなく名のとおりである。移动通信では基地局からの電波は周りのビルや家に反射や回折して移動局の場所に到来する。そして複数のルートで到来した電波は互いに干渉合せて、移動局周辺に電波に起伏（強弱）をつくる。これは多重波伝搬環境と呼ばれている。移動するとアンテナはこの多重波環境のなかを進むことになるので電波の変動を受ける。この変動はフェージングと呼ばれていて、電波の弱い所では音声や画質の品位が劣化し、最悪の場合は通信が途切れる。

以上のように携帯端末アンテナでは固定通信アンテナとは違った多くの特徴とそれによって生み出される課題が存在する。図 2・23 は携帯端末アンテナの性能が、無線機筐体、人体及び電波伝搬などの外部環境に強く依存していることを示している。すなわち、携帯端末アンテナの設計とは、アンテナ単体としてではなく、これら外部環境を含めて考えた「アンテナ系」の最適化問題として取り扱うのが適当である。アンテナとしての電磁気的な動作原理は、上記の八木一宇田アンテナのような固定通信アンテナとなんら変わらないが、図 2・23 の矢印で示したような相互に関連する事項を統合して考える必要があり、問題を極めて複雑にしている。この問題に対するアプローチにはアンテナとその外部環境を含めた性能評価方法が重

要である<sup>6,7)</sup>。

携帯端末アンテナの典型的な構成を図 2・24 に示す。図 2・24(a)の例では 3 種類のアンテナが描かれているが、必ずしもすべてのアンテナが使用されるわけではなく、いずれか一つのみを実装する場合もある。例えば、図 2・24(b)のように内蔵アンテナや固定式ヘリカルアンテナのみを実装している機種も多くなっている。また最近では、携帯端末によるインターネットや e-mail の使用が増え、いわゆる二つ折れタイプの端末が多くなったが、基本的なアンテナ構成は図 2・24 と同様である。特殊な例では、国内で実用化されているデジタル携帯電話 (PDC 方式)<sup>8)</sup> で採用されているダイバーシチアンテナ方式<sup>9,10)</sup> がある。この場合、ホイップアンテナは送受信兼用で、図のホイップアンテナ (あるいはヘリカルアンテナ) と内蔵アンテナで受信ダイバーシチを行う。ヘリカルアンテナはホイップアンテナを筐体内に収納したときに送受信アンテナとして機能する。アンテナ構成はシステムによっても変化し、例えば欧州のデジタル携帯電話 (GSM 方式や DCS 方式) ではダイバーシチは行っておらず、図 2・24(b)の固定式のヘリカルアンテナや内蔵アンテナが主に用いられている。

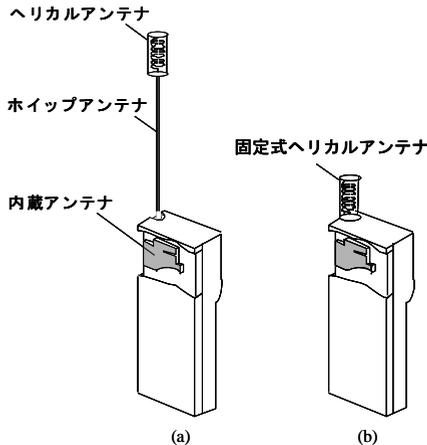


図 2・24 携帯端末アンテナの構成例

#### ■参考文献

- 1) 小川晃一, 石崎俊雄, 小杉裕昭, “携帯電話用高周波デバイスの超小形化技術,” 電子通信学会誌解説 B 平成 11 年 3 月号, pp.251-257, March, 1999.
- 2) 小川晃一, “携帯端末アンテナの高性能化技術 —アンテナ・伝搬・人体・システムの調和を求めて—,” 電子情報通信学会誌 特集号『モバイル社会を支える先端技術 —小型化と使いやすさを極める』平成 13 年 11 月号, vol. 84, no.11, pp.775-781, Nov. 2001.
- 3) “携帯電話から見るモバイル機器 構成部品・材料の最新技術”, 第 5 章, 株式会社 情報機構, Sep. 2003.
- 4) “アンテナ・無線ハンドブック,” III編, 2 章, 株式会社 オーム社, Oct. 2006.
- 5) “無線通信技術大全”, 第 6 章, 株式会社 リックテレコム, Feb. 2007.
- 6) 小川晃一, “アンテナ測定からみた電磁ファントム,” 2000 信学ソサエティ大会チュートリアル講演, no. TB-1-8, Sep. 2000.

- 7) 小川晃一, “端末アンテナの測定・評価技術,” 2008 信学春季全大チューリアル講演, no. BT-1-3, Mar. 2008.
- 8) 平出賢吉, “超小形携帯機—MOVA—,” NTT R&D, vol.40, No.7, pp.997-1004, 1991.
- 9) K. Ogawa and T. Uwano, "A Diversity Antenna for Very Small 800-MHz Band Portable Telephones," IEEE Trans. Antennas Propagat. AP-42, no.9, pp.1342-1345, Sep. 1994.
- 10) 小川晃一, 上野伴希, 菅田誠, 森永洋一, “800MHz デジタル携帯電話用ダイバーシティアンテナ,” National Technical Report, vol.42, no.1, Feb. 1996.