

## マイクロセルにおけるエリア最適化の検討

市坪 信一<sup>†</sup> 北尾 光司郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> (株) NTTドコモ 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘3-5

<sup>†</sup> E-mail: { ichitsubo, kitaok }@nttdocomo.co.jp

あらまし 近年、携帯電話の基地局のエリアはセル半径の小さいマイクロセルになっており、この環境でエリアを最適に構成する方法について検討した。検討項目は次の4つである。①基地局アンテナの最適な水平方向ビーム幅、②スペースダイバーシチの必要アンテナ間隔、③エリアの広がり、④基地局アンテナの実効利得、④基地局アンテナの最適なチルト角度。その結果、①到来波広がりを考慮すると水平方向ビーム幅は多少狭くした方が最適値となる、②スペースダイバーシチで必要なアンテナ間隔は送受信間距離や基地局高のパラメータで回帰できる、③エリア広がりによって基地局アンテナの実効利得は5dB程度低下している、④マイクロセルでビームチルトを行うと周辺のビル遮蔽でチルト角に応じたエリアにならない、ことが明らかになった。

キーワード：電波伝搬、セル構成、到来波広がり、スペースダイバーシチ

### 1. はじめに

携帯電話のサービスエリアを構成するセルは、近年の加入者増加によってセル半径の小さいマイクロセルとなっている。従来のマクロセルに対してマイクロセルではセル半径が小さいだけでなく基地局高も低くなっている。このような状況で基地局エリアを経済的に最適に構成するための検討が必要である。エリアの最適化を図るにはマイクロセルでの伝搬特性を明らかにした上で、その特性を利用する必要がある。

マクロセルはセル半径が数kmで基地局高は主に鉄塔くらいの高さに設置されることが多い。これに比べて、マイクロセルはセル半径が1km以下で基地局高はビル屋上程度の高さである。基地局高が低くなると周辺ビルによる散乱の影響が増え、送受信間距離が短くなると到来波の見かけ上の広がりが大きくなる。このため、マイクロセルになると移動局から基地局に到来する到来波広がり大きくなる。

到来波広がりが大きくなるということは、基地局のアンテナパターンが広がることと等価である。このため、①基地局アンテナの最適な水平方向ビーム幅を決める場合には到来波広がりを考慮する必要がある。

また、到来波広がりが大きくなると②スペースダイバーシチでの2つのアンテナ間の受信レベル相関が低くなるので、アンテナ間隔を狭くできる。これにより自立鉄塔のリング直径を小さくできる利点があり、またビル屋上に設置する場合でも設置スペースを削減できる利点がある。

到来波広がりが大きくなることによって③セクタのエリアも広がる。エリアが広がることで基地局アンテナの実効利得も低下する。アンテナ長を長くして垂直方向のアンテナ利得を高くしても実環境で実効利得が低下するのであれば、これを考慮して最適なアンテナ利得が決める必要がある。

基地局高が低くなると周辺ビルの影響を大きく受ける。周辺ビルに遮蔽されて垂直面でのアンテナパターンも保存されず、主ビームが向いている地点まで電波が届かなくなる。このことから④最適なチルト角度を求める必要がある。

以上のことからエリア最適化に影響する次の項目を伝搬特性と共に検討を行った。①基地局アンテナの最適な水平方向ビーム幅、②スペースダイバーシチの必要アンテナ間隔、③セクタのエリアの広がり、④基地局アンテナの実効利得、④基地局アンテナの最適なチルト角度。今回新たに行った測定結果も踏まえて検討結果を報告する。

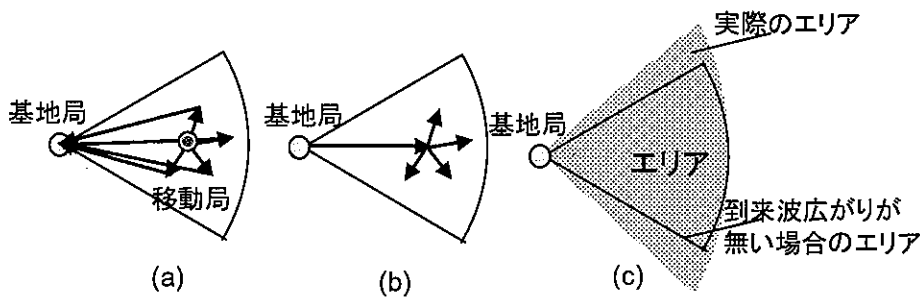


図1 到来波広がりてエリアが広がる

表1 到来波広がりの測定諸元

基地局	蔵前局	山下局	茅場兜局	玉川局	寒川局
測定地区	蔵前	横浜関内	日本橋	玉川	神奈川寒川
地区環境	都市内	都市内	都市内	郊外住宅地	郊外地
周辺ビル高	16m	16m	16m	8m	8m
基地局高	鉄塔(80m) 屋上(35m)	鉄塔(80m)	屋上(36m)	鉄塔(45m) 屋上(10m)	鉄塔(50m) 屋上(15m)

## 2. 基地局アンテナの最適な水平方向ビーム幅

### 2-1 到来波広がりとアンテナパターン

基地局アンテナのパターンは実際の環境では保存されず、ビル等の散乱で広がってしまう。どの程度広がるかを把握できれば最適な水平方向のビーム幅を求めることができる。

図1に基地局受信での到来波広がりとの関係を示す。図1(a)は基地局と移動局との間にできる多重波伝搬路を示す。これは送受信が入れ替わっても伝搬路は同じである。基地局側で見ると、移動局から送信された電波が空間的に広がって到来する。図1(b)は基地局から放射された電波のうちである方向だけの波の伝搬路を描いている。ある方向に放射された波は街中で散乱される。(a)と(b)は同じ伝搬路ではなく現象としても同じではない。しかし、どちらも電波がビル等で散乱されて広がることを示しており、平均的にはこの広がりの度合いは同じになると考えられる。図1(c)は基地局アンテナの水平方向のビーム幅が実環境では保存されずに、広がることを示している。(b)の電波の広がりによって(c)のようにエリアは広がる。このことから、(a)の到来波広がり特性を明らかにすれば(c)のエリア広がり特性も明らかになる。基地局の水平方向のアンテナパターンに水平方向の到来波広がりパターンをコンボリューションすることで、エリアの広がりを求めることができる。ただし、正確にエリアの広

がりを求めるには4章で示す検討が必要である。

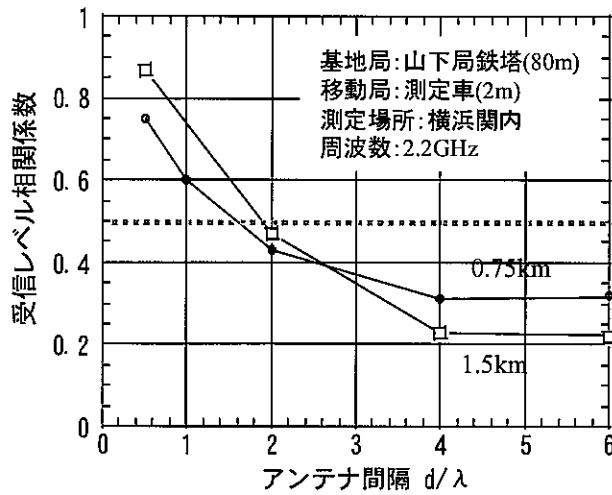
### 2-2 受信レベル相関測定

都市内の到来波広がり測定は以前に東京の蔵前地区と日本橋地区、及び横浜地区で行っている。今回は郊外地での測定を東京の玉川地区と神奈川の寒川地区で行った。到来波広がりの測定方法は受信レベル相関法を用いた。これは、基地局で一定間隔離した2本のアンテナで移動局からの電波を受信して、この瞬時受信レベルの相関係数を求めて、アンテナ間隔に対する相関カーブを求め、この相関カーブから到来波広がり(角度プロファイル)を推測する方法である。

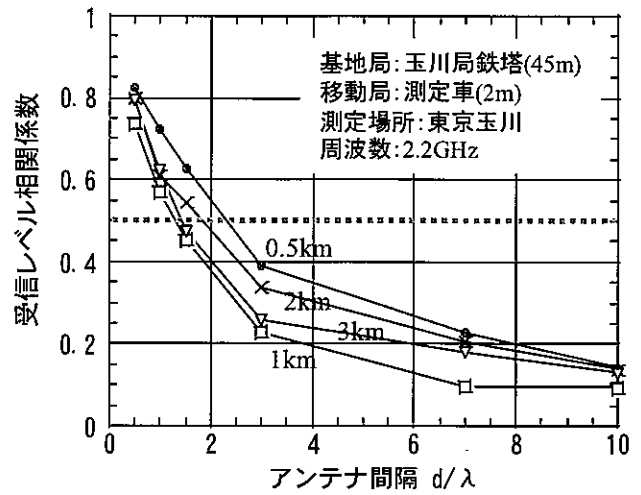
測定諸元を表1に示す。周波数は2GHzで、移動局側にはスリーブアンテナ、基地局側には水平方向の半値角度 $30^\circ$ もしくは $120^\circ$ のアンテナを用いた。図2に測定で得られた一例として山下局と玉川局の受信レベル相関カーブを示す。

### 2-3 最適なアンテナパターン

図2の受信レベル相関カーブを用いて到来波広がりを角度プロファイルとして推定した。この推定は角度プロファイルをいろいろ変えて受信レベル相関カーブにフィットするものを求めるため逆問題となっている。角度プロファイルの候補として変数が1つであるガウス関数やラプラシアン関数だけでは受信レベル相関カーブにはフィットしない。ベキ乗関数やラプラシアン関数にインパル

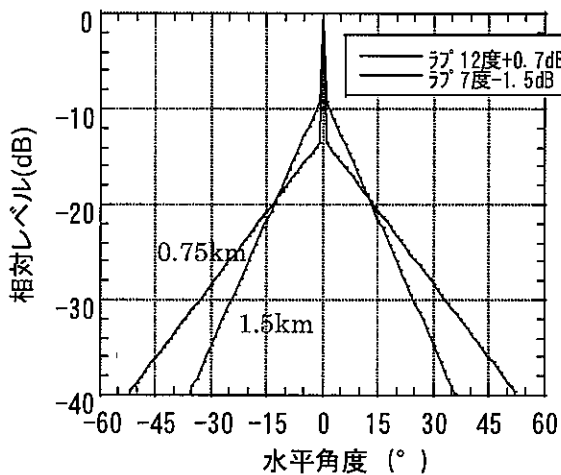


(a) 山下局鉄塔

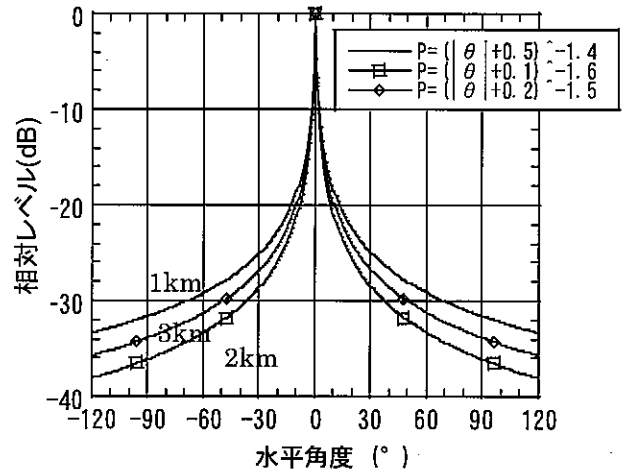


(b) 玉川局鉄塔

図2 受信レベル相関カーブ



(a) 山下局鉄塔



(b) 玉川局鉄塔

図3 受信レベル相関から求めた角度プロフィール

ス関数を加えた関数も候補に加えた。図3に(a)山下局と(b)玉川局の受信レベル相関カーブから推定した角度プロフィールの例を示す。

到来波の角度プロフィールとアンテナパターンをコンボリューションして得られるパターンが実際のエリアとして投影されると考えると、最適なエリアのパターンが分かっている場合は到来波の角度プロフィールを用いて最適なアンテナパターンを求めることができる。

一例として、最適なアンテナパターンを求めてみる。ここでは、エリアのパターンPを次式で示す半値幅が40度のcos関数にしたい場合を考える。

$$P = 451 \cdot \log(\cos[\theta/2]) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

また、アンテナパターンも半値角をパラメータとしたcos関数とする。測定で得られた角度プロフィールを用いて、40度cos関数のエリアを作る

のに最適なセクタアンテナの半値角を求めた。図4に送受信間距離と基地局高とをパラメータとした最適な半値角を示す。距離が短くなる、または基地局高が低くなると最適な半値角は小さくなる。セル半径500mでみると、鉄塔設置では図4のカーブを外挿して最適な半値角は35度程度である。屋上設置では30度くらいになる。図4から分かるように、郊外地の玉川と都市の蔵前や横浜では同様な結果になる。両者の基地局高の絶対値は異なり2倍くらいの差がある。また、周辺の平均ビル高も約2倍の差があることから、周辺ビル高を基準にすると都市部と郊外地を同じように扱えると考えられる。

### 3. スペースダイバーシティ必要アンテナ間隔

#### 3-1 測定値の回帰

測定地区	鉄塔高	屋上高	周辺ビル高
蔵前(都市)	80m	35m	16m
横浜(都市)	80m	35m	16m
玉川(郊外地)	45m	10m	7m

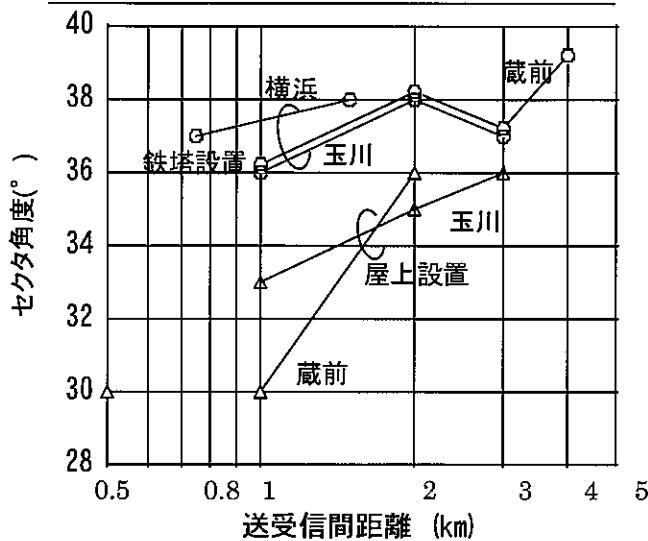


図4 最適なアンテナビーム幅

一例として図2に示した受信レベル相関結果を用いてスペースダイバーシチの必要アンテナ間隔を求める。ここでは、仮に受信レベルの相関係数  $\rho$  が0.5となるアンテナ間隔を求める。

表1に示す測定で得られた36個のデータを元に回帰式を作成した。回帰結果を表2に示す。アンテナ間隔  $d/\lambda$  は距離  $d$  や周辺ビル高  $H_o$  を基準にした基地局高  $H_b$  に依存するため回帰ではこれらのパラメータを用いた。表2の回帰式で仮に、 $d=0.5\text{km}$ ,  $H_b=50\text{m}$ ,  $H_o=16\text{m}$  とすれば  $d/\lambda=0.9\lambda$  である。マクロセルに比べてマイクロセルでは短いアンテナ間隔でよいことが分かる。

### 3-2 場所率

先の回帰式は平均値を用いた場合である。半分の場合で相関係数  $\rho$  が0.5以下になるが0.5以上になる場所も半分ある。そこで場所率を考慮した場合を考える。測定データを元に、相関係数が0.5

となる場所率を仮に80%としてアンテナ間隔を求めた。これを回帰した結果を表2中に示す。

先ほどと同様に、 $d=0.5\text{km}$ ,  $H_b=50\text{m}$ ,  $H_o=16\text{m}$  とすれば場所率80%を満たし相関係数が0.5となるアンテナ間隔は  $1.7\lambda$  である。

## 4. セクタのエリア広がり と 基地局アンテナの実効利得

### 4-1 到来波広がり と エリア広がり

基地局に到来してくる電波が空間的に広がっていることを到来波広がりと呼んでいる。また、到来角度  $\theta$  に対して到来波の電力分布  $P(\theta)$  は角度プロファイルであり、角度スプレッド  $S$  は次式で表される。

$$\theta_{ave} = \frac{\int P(\theta) \cdot \theta \cdot d\theta}{\int P(\theta) \cdot d\theta} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\int P(\theta) \cdot (\theta - \theta_{ave})^2 \cdot d\theta}{\int P(\theta) \cdot d\theta}} \quad (3)$$

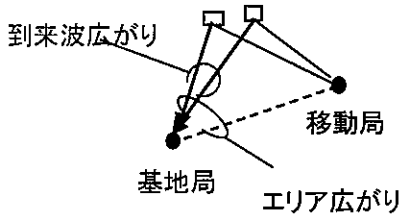
ここで、 $\theta_{ave}$  は平均角度であり、角度プロファイルの重心(1次モーメント)に相当する。上式から分かるように平均角度も角度スプレッドも移動局の方位角度とは無関係に求まる値である。ここで、到来角度  $\theta$  を移動局の方位角度を基準にした角度とする。すると平均角度  $\theta_{ave}$  は移動局方向からの平均的なずれ角度である。また、移動局方向を基準にした角度スプレッド  $S_0$  を新たに次式として定義する。

$$S_0 = \sqrt{\frac{\int P(\theta) \cdot \theta^2 \cdot d\theta}{\int P(\theta) \cdot d\theta}} \quad (4)$$

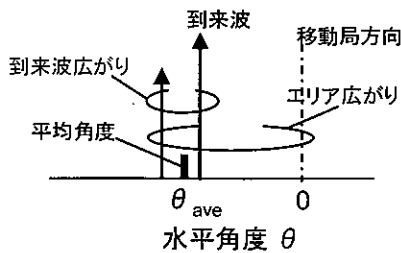
これは、到来波の移動局方向からのばらつきを程度を表す指標となる。従来の到来波広がり は移動局方向を考慮していなかったが、移動局方向を考

表2  $\rho=0.5$ となるアンテナ間隔の回帰式

$d/\lambda (\rho=0.5) = 0.52 d + 0.37 (H_b/H_o) - 0.49$ (平均値)
$d/\lambda (\rho=0.5) = 0.85 d + 0.91(H_b/H_o) - 1.53$ (場所率80%)
$d/\lambda (\rho=0.5)$ : 受信レベル相関係数 $\rho=0.5$ となるアンテナ間隔
d: 距離 0.5~4km
H <sub>b</sub> : 基地局高 10~80m
H <sub>o</sub> : 周辺ビル高 16m(蔵前、横浜、茅場兜)、8m(玉川、寒川)



(a)到来波広がりとエリア広がりの違い



(b)角度プロファイル上での違い

図5 到来波広がりとエリア広がり

慮した到来波の角度広がりという概念をエリア広がりとして表現することにする。

到来波広がりには次の項目と関係する。

- ・従来の角度スプレッド
- ・スペースダイバーシティの受信レベル相関
- ・水平面のアンテナパターンに関するセクタ間干渉

エリア広がりには次の項目と関係する。

- ・エリアの広がり
- ・エリア内の散乱体分布
- ・垂直面のアンテナパターンに関するセル間干渉

図5で到来波広がりとはエリア広がりとの違いを説明する。図5(a)に示すように到来波広がりとは移動局方向には無関係だが、エリア広がりとは移動局方向を基準としている。移動局のいる場所は隣のセ

クタのエリアである。このように、従来の到来波広がりだけでは実際のエリアが広がることを表現することはできなかった。図5(b)には角度プロファイル上での両者の違いを示す。

#### 4-2 エリア広がり測定

実環境でのアンテナパターンの保存性を測定することでエリア広がりを検討した。具体的には、移動局から送信された電波を基地局に設置したセクタアンテナとオムニアンテナで受信してそのレベル差を求め、水平角度上にプロットし、セクタアンテナパターンと比較してエリア広がり求めた。ここで得られるエリア広がりとは移動局方向を基準にした角度スプレッドと平均角度を含んだ広がりである。オムニアンテナとの差を求めたのは短区間変動を取り除くためである。測定は都市部の横浜地区と郊外住宅地の玉川、郊外地の寒川で行った。横浜では下り測定を行い、周波数はセクタアンテナに2.2255GHzを、オムニアンテナに2.2001GHzを用いた。玉川と寒川では上り測定を行い周波数2.2255GHzを2つのアンテナで受信した。セクタアンテナは水平方向の半値角が30度または15度の指向性アンテナを用いた。移動局は測定車でオムニアンテナを用いた。表3に測定諸元を示す。

図6に一例として横浜での測定結果を示す。図中に基地局のアンテナパターンと測定値を示す。測定値はセクタアンテナとスリーブアンテナでの10m短区間中央値のレベル差である。測定値の平均カーブはアンテナパターンと異なり、パターンのヌルが埋まり、左右に広がり、主ビーム利得が低下している。特に基地局高が低い屋上の場合には広がりが大きくなった。

#### 4-3 エリア広がり特性

図6の測定結果を元に、エリア広がり角度プロファイルを推定した。図7に到来波広がり(実

表3 エリア広がり測定諸元

基地局	山下局	玉川局	寒川局
測定地区	横浜関内	玉川	寒川
地区環境	都市内	郊外住宅地	郊外地
周辺ビル高	16m	7m	7m
基地局高	鉄塔(80m) 屋上(35m)	鉄塔(45m) 屋上(10m)	鉄塔(50m) 屋上(15m)
周波数	すべて2.2GHz		
基地局アンテナ	30度(13dBi)または15度セクタアンテナ(15dBi)とスリーブアンテナ(2dBi)		
移動局アンテナ	すべてスリーブアンテナ		

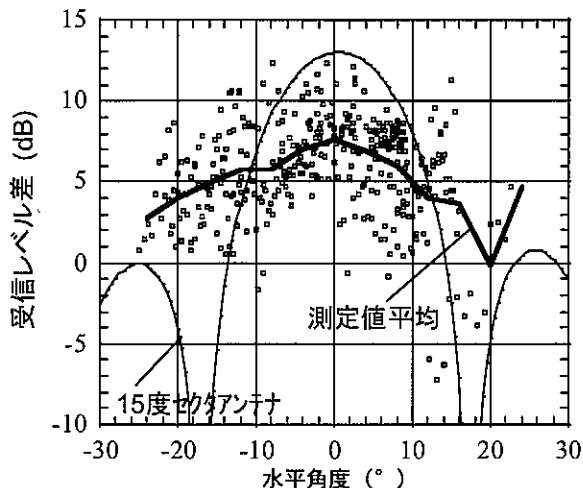


図6 エリア広がり測定結果

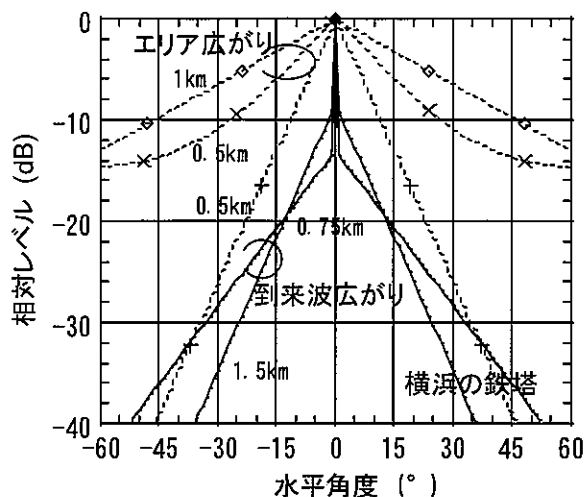


図7 到来波広がりエリア広がりとの比較

線)とエリア広がり(点線)の比較を示す。エリア広がり(点線)は平均角度のばらつきまで含んでいるので、到来波広がりより広がりが大きくなっている。郊外地や都市内、また基地局高の違いに関わらずエリア広がりの方が大きくなる。

エリア広がりによって基地局アンテナの実効利得がどの程度低下するか調べた。表4に横浜と玉川地区での結果を示す。玉川で基地局が鉄塔にある場合は利得低下がないが、それ以外は5dB程度の利得低下がある。

## 5. 基地局アンテナの最適なチルト角度

### 5-1 商用エリアの測定

マイクロセルになり基地局高が低い状況でビームチルトを行うと主ビームは周辺のビルに遮蔽されて、遠方までエリアにできない可能性がある。

商用の電波を受信してチルト角度とエリアの関係調べた。図8に横浜での測定結果の一例を示す。図中の○と□は測定値でそれぞれ見通し外と見通し内でのデータであり、実線は計算値である。図8を見ると分かるように測定値と計算値は合わない。実際にはチルト角度に従って電波が飛んでいないことから、周辺ビルに遮蔽されているものと思われる。

### 5-2 チルト角度とビル遮蔽

基地局から周辺ビルの屋上に電波が照射され、それがそのまま路上に落ちてきたと考えると、遠方まで電波が届かないことを説明できる。また、アンテナの主ビーム部分(図中の矢印)で利得低下が起こっているのは、表4と同様の現象が起こっていると考えられる。垂直方向のアンテナパターンの保存性については今後の検討が必要であ

表4 アンテナの実効利得の低下

(a) 横浜地区			
基地局	距離	セクタアンテナ	利得低下
屋上	500m	30度	5dB
屋上	1km	15度	6dB
鉄塔	500m	30度	4dB
鉄塔	500m	30度	3dB
鉄塔	1km	15度	5dB
(b) 玉川地区			
基地局	距離	セクタアンテナ	利得低下
屋上	500m	15度	6dB
屋上	1km	15度	5dB
鉄塔	500m	15度	2dB
鉄塔	500m	15度	0dB
鉄塔	1km	15度	0dB

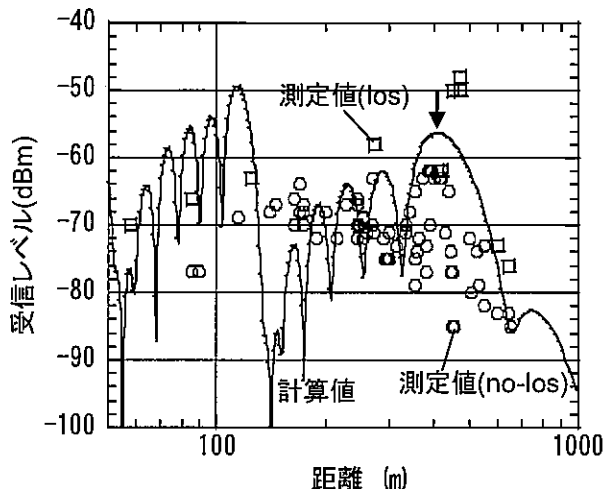


図8 チルト角によるエリア測定

る。

## 6. まとめ

マイクロセル環境での最適なエリアを構成するための検討を行った。主な結果は次のとおりである。

(1) 基地局アンテナの水平方向ビーム幅： 加入者容量を増やすための最適な水平方向のアンテナビーム幅は、到来波広がりを考慮することで狭くなる。例えば、到来波広がりを考慮しない場合の最適なビーム半値角が  $40^\circ$  であるときは、セル半径 500m で鉄塔設置だと最適値は 35 度、屋上設置では 30 度となる。

(2) スペースダイバーシチのアンテナ間隔： 距離 500m、基地局高 50m で場所率 80% を満たすスペースダイバーシチの受信レベル相関係数が 0.5 となるアンテナ間隔は  $1.7\lambda$  である。

(3) エリア広がりによる基地局アンテナの実効利得： 平均角度も考慮したエリア広がりによって基地局アンテナの実効利得は低下する。都市部のマイクロセルでは 5dB の利得低下がある。郊外地はこれよりも低下は少ない。

(4) 周辺ビル遮蔽によるエリア： マイクロセルでビームチルトを行っている場合は周辺ビルの遮蔽によって、幾何学的なチルト角に従ったエリアを構成できない。

上記の (1) と (2) についてはある程度の結論が得られたが、(3) と (4) についてはまだ検討が始まったばかりである。環境や測定条件によって結果のばらつきがおおきくすっきりした形でまとまっていない。引き続き今後も検討が必要である。

## 参考文献

- [1] 坂上修二、明山哲、“移動通信用基地局偏波ダイバーシチ特性”、信学論, Vol. J70-B, No. 3, pp. 385-395 (1987. 3)
- [2] 恵比根佳雄、高橋龍美、山田吉英、“陸上移動通信におけるアンテナ垂直配置スペースダイバーシチの検討”、信学論, Vol. J73-B-II, No. 6, pp. 286-292 (1990. 6)
- [3] 明山哲、坂上修二、青山繁、“UHF 帯移動通信基地局アンテナの空間相関特性”、信学論, Vol. J73-B-II, No. 12, pp. 838-842 (1990. 12)
- [4] 中野雅之、相沢進、佐藤敏雄、松岡徹、新井

宏之、“携帯電話システムにおける上り回線偏波ダイバーシチ特性”、信学技報、AP98-15, pp. 13-20 (1998. 5)

- [5] 太田喜元、表英毅、三上学、藤井輝也、“広帯域移動通信方式における交差偏波識別に関する一検討”、信学技報、AP2002-185, pp. 163-167 (2003. 3)