

実伝搬路における偏波 / スペースダイバーシチの検討

市坪 信一[†] 北尾 光司郎[†] 恵比根佳雄[†]

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

† E-mail: { ichitsubo, kitaok, ebine }@nttdocomo.co.jp

あらまし 移動通信の基地局では通信品質の改善のためにスペースダイバーシチや偏波ダイバーシチが用いられている。また、最近ではスペースダイバーシチや偏波ダイバーシチのように伝搬路の無相関を利用したMIMOシステムも検討されている。これらのことからマイクロセルを対象にした測定結果をもとにダイバーシチ特性を検討した。また、実伝搬路においてどちらのダイバーシチが有効であるという検討も行ったので報告する。

キーワード 電波伝搬、スペースダイバーシチ、偏波ダイバーシチ、交差偏波識別度

1. はじめに

移動通信におけるダイバーシチ特性の検討は従来から行われており、特にセル半径が数 km で基地局高が鉄塔高といったマクロセルが検討対象であった [1-4]。基地局高を考慮した検討 [5] や PHS でのストリートマイクロセルでの検討 [6]、商用システムを用いての検討 [7] も行われている。最近では広帯域で遅延波を分離した上でのダイバーシチ特性も検討 [8-10] されている。

近年では距離が 1km 程度で基地局高もあまり高くないマイクロセルが用いられるようになってきた。このため距離や基地局高をパラメータとしたダイバーシチ特性が必要になっている。また、現在検討が盛んになっている MIMO システムでは複数のアンテナを用いるが、これにより基地局アンテナの設置スペースが逼迫することになる。これを回避するためにも各環境に応じたダイバーシチ特性を把握して最適なアンテナ配置を行う必要がでてきた。さらに、ユーザのほとんどが自動車電話から携帯電話になり多様な携帯端末を使うようになった現状でスペースダイバーシチと偏波ダイバーシチとではどちらが有利であるかという検討も必要である。本報告では狭帯域におけるこれらのダイバーシチ特性の検討を行った。

2. スペースダイバーシチ特性

2本のアンテナを一定間隔離してお互いの受信レベル相関を小さくするスペースダイバーシチを行うには、最適なアンテナ間隔を求める必要がある。必要以上にアンテナ間隔を広げると設置場所の確保が困難になる。アンテナ間隔と受信レベル相関との関係は到来波広がり依存し、到来波広がり距離や基地局高に依存する。そこで距離や基地局高をパラメータにして受信レベル相関を測定した。測定を行ったのは横浜の関内地区と東京都内の蔵前地区の2ヶ所である。表1に測定諸元を示す。2GHzの電波を測定車から送信し、基地局側で4つの30度セクタアンテナを用いて受信し、アンテナ間隔に対する受信レベル相関係数を求めた。受信レベルは移動局が1cm進むごとにサンプリングし、1m区間内の相関係数を求め、10m

表1 測定諸元(スペースダイバーシチ)

測定項目	諸元
周波数	2.2 GHz
基地局高	蔵前; 80m(鉄塔), 35m(屋上) 横浜; 80m(鉄塔), 35m(屋上)
移動局高	2 m(測定車)
基地局アンテナ	30度セクタアンテナ
移動局アンテナ	スリーブアンテナ

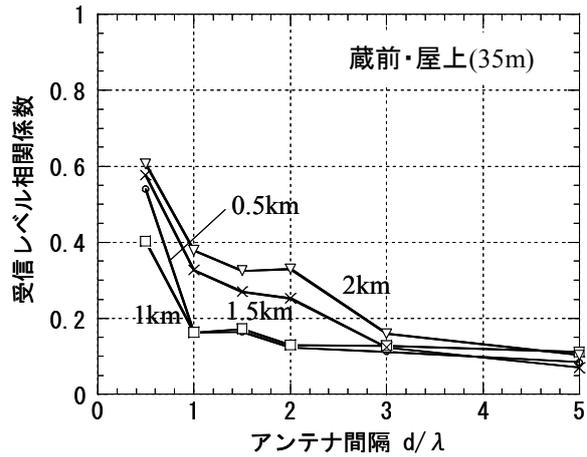
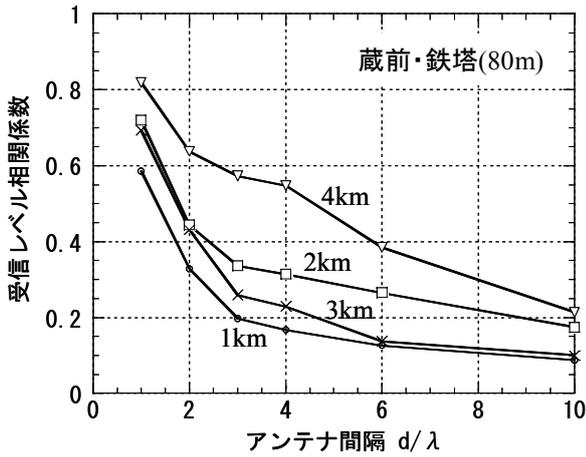


図1 受信レベル相関(蔵前局)

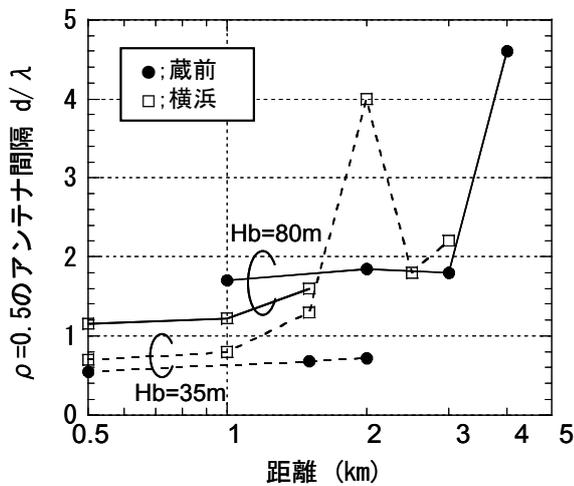


図2 距離と基地局高に対するアンテナ間隔

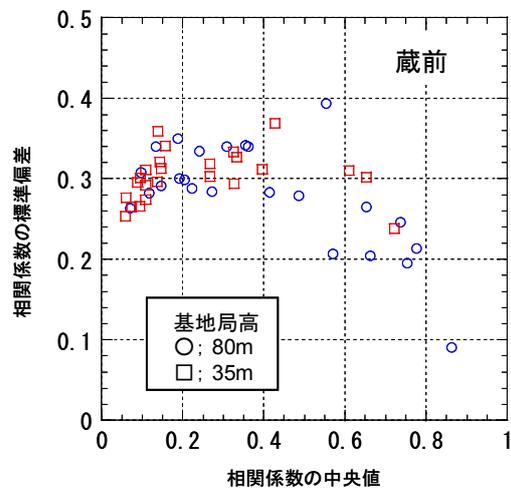


図3 相関係数のばらつき

区間で平均した。鉄塔高(80m)及び屋上高(35m)は2つの基地局とも同じである。

図1に蔵前地区での受信レベル相関を示す。同じ相関係数を得るには距離が遠くなるほど、基地局高が高くなるほどアンテナ間隔を広くする必要があることが分かる。図2に受信レベル相関係数が仮に $\rho=0.5$ になるアンテナ間隔を示す。蔵前地区と横浜地区では同じような値になり、波長に対するアンテナ間隔 d/λ は距離1kmのマイクロセルを想定すると2以下である。図1の距離4kmでの $\rho=0.5$ のアンテナ間隔は $d/\lambda=5$ であるので、マクロセルからマイクロセルになることでアンテナ間隔を狭くしてよいことが分かる。

図1の相関カーブは測定値を平均して求めている。無線回線設計で場所的なばらつきを考慮するためには図1の相関カーブのばらつきを求める必要がある。図3は図1に示す各測定値の中央値に対する標準偏差を示す。例えば、相関係数の中央

値が0.5になるときの標準偏差は0.3程度である。

また、基地局のセクタ数によってカバーする水平方向の角度範囲が変わるので、アンテナ間隔を決める場合にはこれも考慮する必要がある。例えば、6セクタだと斜め30度までの到来波をカバーすればよいが、3セクタだと60度になりアンテナ間隔を広げる必要がある。

3. 偏波ダイバーシチ特性

偏波ダイバーシチでのV(垂直)偏波とH(水平)偏波の受信レベルは、距離や基地局に依存せず無相関になるといわれている。このためマイクロセルになることで偏波ダイバーシチの特性が変わることはない。しかし、携帯端末が多様化して移動側から送信される偏波面が傾くことでV偏波とH偏波の受信レベル不等中央値が変わってくる。移動側アンテナの傾きに対する偏波ダイバーシチ特性は従来から報告されている[3,6,10]が、測定を

表2 測定諸元(偏波ダイバーシティ)

測定項目	諸元
周波数	2.2 GHz
基地局高	80m(鉄塔)
移動局高	2 m(測定車)
基地局アンテナ	偏波共用アンテナ(60度セクタ)
移動局アンテナ	スリーブアンテナ

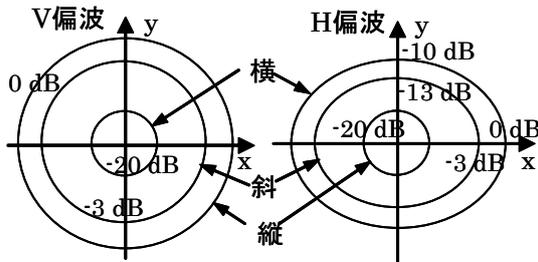


図4 移動局アンテナの放射パターンモデル

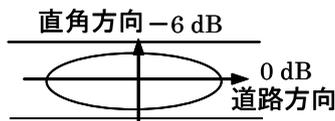


図5 方向別の伝搬損失差のモデル

行い検証した。

測定場所は横浜駅周辺と先の蔵前地区の2ヶ所である。表2に測定諸元を示す。2GHzの電波を測定車に取り付けたスリーブアンテナから送信し、基地局の偏波共用アンテナで受信した。移動側の偏波面を傾かせるためにスリーブアンテナを垂直、道路方向に斜め45度、さらに道路方向に水平に設置した。移動側が距離1cm進むごとにV偏波とH偏波の受信レベルを基地局側でサンプリングし2m区間の中央値を求めた。測定は基地局から2km以内のエリアで行い、2地区とも測定延べ距離は6km程度である。

表3に移動側のアンテナ傾き角度に対するV偏波とH偏波の不等中央値を示す。各不等中央値を求める場合の標準偏差は3~4dBであった。移動局アンテナを縦(V偏波送信)にした場合のレベル差は交差偏波識別度XPDに相当し、従来からいわれている6dB程度である。斜め45度の場合にレベル差が0dBにならないのは移動局側のアンテナパターンの影響である。このことを簡易なモデルを使って説明する。

図4はスリーブアンテナの放射パターンを上か

表3 移動局アンテナの状態と両偏波のレベル差

移動局アンテナの状態	垂直と水平偏波のレベル差 (dB)		
	横浜	蔵前	モデル計算
縦(0°)	6.7	7.7	5.8
斜(45°)	1.9	1.7	3.0
横(90°)	-5.6	-3.3	-5.4

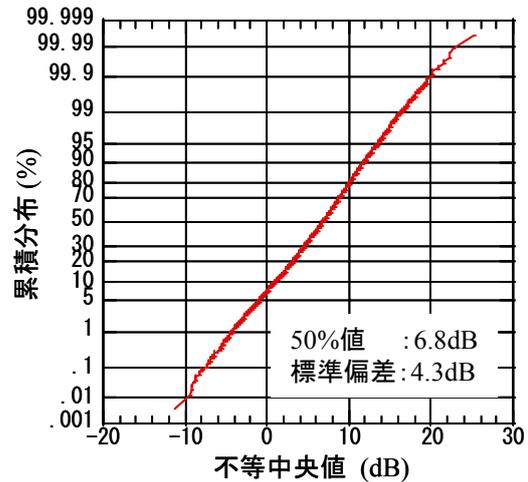


図6 不等中央値の累積分布

ら見た図である。これは電波暗室で測定した結果を元に簡易化して描いている。アンテナを縦にした場合のV偏波は円形パターンになる。横にした場合のH偏波は8の字パターンになるが簡易に楕円で示す。図4のy軸方向に斜め45度にした場合のV偏波とH偏波を比べるとV偏波のパターンの方が大きい。このことからスリーブアンテナを45度に傾けてもV偏波の受信レベルが高くなり、不等中央値は0にならないことが分かる。

道路上では道路に沿った方向に電波は伝搬し易い。また、スリーブアンテナを斜めや横にした場合のH偏波のパターンは円形にならないので、道路上でアンテナを傾ける方向によっても不等中央値は変わる。道路方向に対して平行よりも直角に傾けた方が不等中央値は大きくなる。コリニアアンテナ(7dBi)での測定では横にしたアンテナを道路方向に対して直角にすると受信されるV偏波レベルは変わらず、H偏波レベルは6dB高くなった。

道路上でアンテナを傾ける方向の影響まで考慮したモデルを図5に示す。このモデルは、道路方向に対して直角な方向は伝搬損失が6dB高く、伝搬路の数は道路方向と直角な方向の2つで、各伝

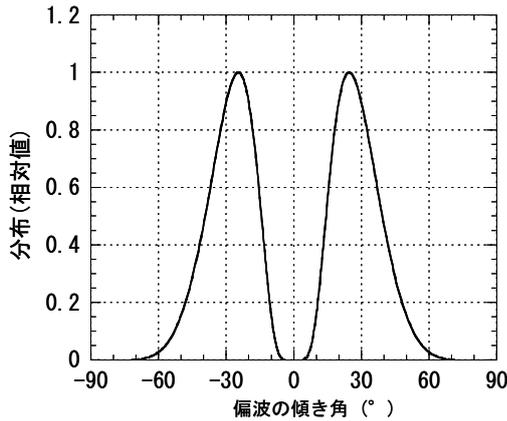


図7 偏波面の傾きの分布

搬路とも交差偏波識別度は6dBとしている。表3のモデル計算値は図4と図5のモデルから計算した。これらは測定値に近い値になっている。

図6に2つの地区で得られた不等中央値の累積分布を示す。スリープアンテナを縦にした場合(V偏波送信)の不等中央値である。V偏波レベルの方が高く不等中央値分布での中央値は6.8dBで、標準偏差は4.3dBであり正規分布となる。

単純に不等中央値Lは到来電波の偏波面の傾き角度と、 $L=20\log(\tan[90-\theta])$ の関係にあるとする。偏波面が45°傾いているときは不等中央値は0dBである。図6の不等中央値の累積分布をこの関係を用いて偏波面の傾き角度の分布に換算したのが図7である。ここでは受信アンテナの交差偏波識別度は十分にあるので無視する。偏波面の傾き角度の分布も正規分布になるように思っていたが、意外にも特定の傾き角度にピークを持つ分布になることが分かる。到来電波の偏波面の傾きが垂直方向に近い角度なので、偏波素子を直交させるダイバーシチより縦長にクロスさせた方が有利になる場合もある。

4. 実環境での両ダイバーシチの比較

実環境においてスペースダイバーシチと偏波ダイバーシチとではどちらが有利であるか検討した。スペースダイバーシチは2つのV偏波受信で無相関であれば、到来波の傾き角度が45°では偏波ダイバーシチと同等の能力である。到来波の傾き角度が垂直に近いとスペースダイバーシチが、水平に近いと偏波ダイバーシチが有効となる。

そこで、PDCの一般ユーザからの上りチャンネルをV偏波とH偏波で受信し到来波の傾き角度を測定した。周波数はPDCの通話チャンネルの940MHz付近で、80ms間隔サンプリングで5秒間の中央値を求めた。受信アンテナは2本のダイポールアンテナか2本の5素子八木アンテナを用いて、それぞれV偏波とH偏波で受信した。アンテナを向けたセクタからの電波を受信した。表4に測定した不等中央値とその標準偏差を示す。不等中央値は1~5dBである。蔵前ビル鉄塔での不等中央値が5.2dBと他に比べて高いのは、鉄塔最上段であったので周辺に散乱体がないことが影響したとも考えられるが明確ではない。

一般ユーザからの電波の不等中央値(V偏波-H偏波レベル)は2dB程度である。このことから、現状の携帯端末の使用状況においては偏波ダイバーシチよりスペースダイバーシチの方が有利と考えられる。ちなみに、先の表3の測定結果から不等中央値が2dB程度とすると携帯端末のアンテナの傾きは45°程度となる。ただし、人体の影響も含めた移動側での電波放射パターンがスリープアンテナ単体でのそれと同程度と仮定した場合である。

5. まとめ

マイクロセルでのダイバーシチ特性を検討した。スペースダイバーシチでの必要アンテナ間隔

表4 一般ユーザからの上りチャンネルの垂直偏波と水平偏波の受信レベル差

基地局(高さ)	測定時間(h)	受信アンテナ	V-Hレベル差(dB)	
			中央値	標準偏差
蔵前 鉄塔(80m) 屋上(35m)	9.9	ダイポール	5.2	6.8
	5.4	ダイポール	1.0	5.6
千代田 鉄塔(117m) 屋上(38m)	11.7	5素子八木	2.2	6.4
	2.6	5素子八木	1.9	5.5

は基地局高や距離に依存し、マイクロセルでは平均の相関係数を0.5とするためには1~2のアンテナ間隔でいいことを明らかにした。偏波ダイバーシチ特性として移動局アンテナの傾きに不等中央値が依存することを確認した。また、一般ユーザからの到来電波はH偏波よりV偏波が強いことから、偏波ダイバーシチよりスペースダイバーシチの方が有利であることを明らかにした。今回は狭帯域での検討であったが、IMT-2000のような広帯域での検討も必要である。

参考文献

- [1] S. Kozono, T. Tsuruhara, M. Sakamoto, "Base Station Polarization Diversity Reception for Mobile Radio", IEEE Trans. commun., vol. VT-33, No. 4, pp. 301-306, Nov. 1984.
- [2] F. Adachi, M. T. Feeney, A. G. Williamson, and J. D. Parsons, "Crosscorrelation between the envelopes of 900 MHz signals received at a mobile radio base station site," Proc. IEE, pt. F, Vol. 133, No. 6, pp. 506-516, Oct. 1986.
- [3] 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)
- [4] 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-11, No. 6, pp. 286-292 (1990.6)
- [5] 明山哲、坂上修二、青山繁、“UHF帯移動通信用基地局アンテナの空間相関特性”、信学論, Vol. J73-B-11, No. 12, pp. 838-842 (1990.12)
- [6] 前山利幸、本間輝彰、濱井龍明、新井宏之、“PHS用双指向性偏波ダイバーシチアンテナにおける伝搬特性の測定”、1998年信学会総合大会B-1-41、1998
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] 藤井、今井、阿久津、“広帯域移動伝搬におけるアンテナブランチ間相関特性”、1998年信学会総合大会B-1-40、1998
- [10] 今井哲朗、森慎一、“広帯域移動伝搬における基地局偏波ダイバーシチ特性”、2002年信学会総合大会B-1-6、2003