

アンテナ技術

その2 移動通信用アンテナの特徴

アンテナ技術の解説で第2回目である。今回は移動通信用アンテナ技術に関する特徴を示したもので、特に、基地局アンテナにおいて干渉低減技術として必須であるビームチルト効果とダイバーシチ効果を得るために必要な各種ダイバーシチアンテナ構成法について解説する。

まえがき

移動通信用アンテナは移動通信システムと伝搬路に大きく依存している。アンテナの利得・指向性は無線ゾーンの大きさ・形状と関連し、アンテナ特性はアンテナ設置場所、端末機の大きさに依存する。基地局アンテナは専用鉄塔に搭載可能であるため、アンテナ開口長を5～6m(900MHzで約20波長)とすることができ、高利得アンテナとすることができるが[1]、ポケットベル端末のように波長比で0.1波長程度しかアンテナに与えられるスペースがない場合、その利得は-15dBi～-20dBiと極端に低下し、効率の悪いアンテナになってしまう[2]。このように移動通信用アンテナは無線システムおよび装置構成上の制約からアンテナ特性は左右されることになる。

また、通信品質などを改善のために多重伝搬路を克服する必要があるが、このとき適用される技術の1つとしてダイバーシチ受信がある。このダイバーシチ受信はダイバーシチアンテナ技術と多重伝

搬路の状況が密接に関係している。

そこで、自動車・携帯電話方式を例にとって無線システムから要求される条件とアンテナパラメータとの関連を示し、アンテナ構成上の特徴について明らかにする。

アンテナ構成上の特徴

基地局および移動局アンテナにおけるアンテナパラメータと無線システムの関係を表1に示す。ここでは特に、基地局アンテナに関するビームチルト効果とダイバーシチアンテナ構成について説明する。なお、周波数共用アンテナについては既に報告している[3]。

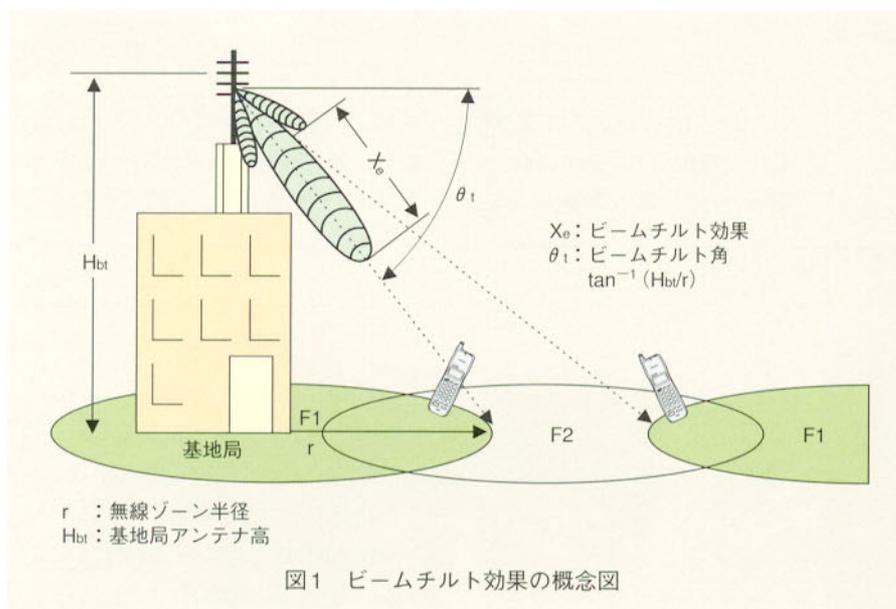
また、移動局(車載用、携帯機用)アンテナについては第4回目のアンテナ技術で解説する。

ビームチルト効果^[4]

ビームチルト効果とは図1に示すように、自局無線ゾーン周辺に基地局アンテナの主ビームを向けることにより同一周

表1 基地局アンテナ

	無線システムの要求条件	アンテナパラメータ
基地局	無線ゾーン形状	水平面内指向性(円形、扇形)
	無線ゾーン半径	アンテナ利得(アンテナ寸法)
	干渉抑圧	垂直面内指向性、ビームチルト
	ダイバーシチ効果	ダイバーシチアンテナ構成法
	風圧荷重低減(800/1500MHz共用)	周波数共用、アンテナ小型化
移動局	設置場所の限定/アンテナに与える容積	効率、アンテナ利得、指向性
	人体・車体の影響	指向性、効率
	使用形態(アンテナの傾斜)	偏波変換効率(車載用アンテナは問題ない)



波数を繰り返して使用する干渉無線ゾーンへの放射を抑圧することで、学術的に表したのではなく概念的に表現したものである。ここで、ビームチルト効果は垂直面内指向性の主ビーム幅 θ_0 、基地局アンテナ高 H_{bt} 、無線ゾーン半径 r により決定され、ビームチルト角 θ_1 は $\tan^{-1}(H_{bt}/r)$ である。したがって、 $\theta_1 < \theta_0/2$ では垂直面内指向性の主ビーム内に自局エリアと干渉エリアが存在することになりビームチルト効果はなくなる。すなわち、無線ゾーン半径が小さく、主ビーム幅が狭いほどその効果が期待でき、小無線ゾーン構成を用いる自動車・携帯電話方式（無線ゾーン半径1～2 km、主ビーム幅 $\theta_0 = 3^\circ \sim 6^\circ$ ）ではビームチルト効果を利用することにより干渉波を低減できるため周波数利用効率が向上することになる。また、基地局アンテナ高が一定であっても、ビームチルト角を変化させることにより無線ゾーン半径をある程度制御できるため、無線ゾーン成形が可能となるなどの利点を有する。

図2は基地局アンテナ高140mで市街地におけるビームチルト効果の測定結果を示したもので、同図(a)はビームチルト

角 0° 、同図(b)はビームチルト角 4° である。測定方法は基準アンテナ（ビームチルト角 0° で垂直面内ビーム幅 6° ）と測定用アンテナ（ビームチルト角を変化、垂直面内ビーム幅 3° ）を用いて、移動局から送信された電波を同時に受信し、短区間中央値を差を求めて多重伝搬路の影響がなくなるようにしている。

この結果、ビームチルト角 0° に比べビームチルト角 4° は基地局からの距離1～2 kmで相対レベルが向上し、4 km以降では徐々に相対レベルが低減量が大きくなっておりビームチルト効果が顕著に表れていることがわかる。

置局設計上、基地局アンテナ高は自由に選定できないこと、基地局アンテナのビーム幅（アンテナ大きさ）にも制限があることから、ビームチルト角を適切に設定することにより無線ゾーン成形を行う必要がある。

ダイバーシチアンテナ

移動通信では通話品質の改善（フェージングの克服）のためダイバーシチ受信が用いられる。ダイバーシチ受信を行う

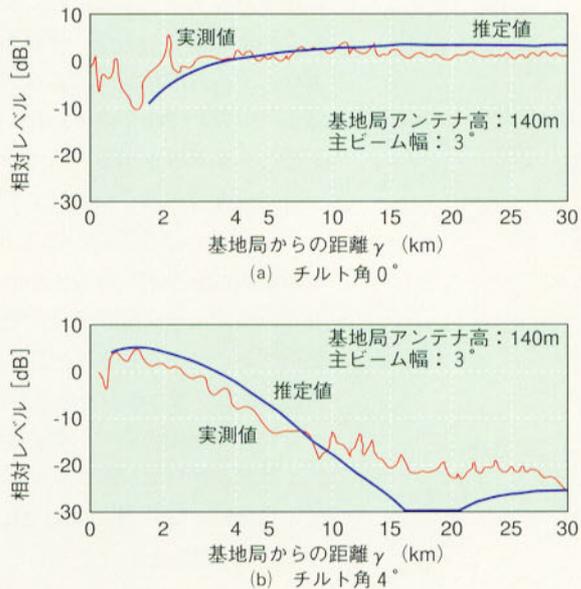


図2 ビームチルト効果の測定結果

表2 ダイバーシチアンテナおよび受信系の構成法

ダイバーシチアンテナ構成法	受信系の構成法
スペースダイバーシチ	アンテナ切替方式
偏波ダイバーシチ	最大比合成方式
指向性ダイバーシチ (角度ダイバーシチ)	等利得合成方式
エネルギー密度ダイバーシチ	検波後選択方式

ためには必要な技術は表2に示すようにダイバーシチアンテナ構成法と受信系の構成法に大別できる。

ここでは、ダイバーシチアンテナの構成について説明する。

一般に、相対的なダイバーシチ効果 F

$$F = \eta_1 / \eta_2 \cdot \sqrt{(1 - \rho^2)} \quad (1)$$

$$\rho \approx \frac{\left| \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} G_1^*(\phi, \theta) G_2(\phi, \theta) P(\phi, \theta) \cdot \exp(j\beta d \cdot r) d\phi d\theta \right|^2}{\int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} G_1^*(\phi, \theta) G_1(\phi, \theta) P(\phi, \theta) d\phi d\theta \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} G_2^*(\phi, \theta) G_2(\phi, \theta) P(\phi, \theta) d\phi d\theta} \quad (2)$$

$G_1(\phi, \theta), G_2(\phi, \theta)$: アンテナ指向性
 $P(\phi, \theta)$: 到来波分布
 $d \cdot r$: アンテナ間隔
 $\beta = 2\pi / \lambda$: 位相定数

を示す簡易な方法として式(1)が与えられる[5]。

η_1, η_2 は各アンテナブランチごとの受信電圧中央値、 ρ は相関係数を示しており、ダイバーシチ効果が最も大きくなるのは中央値が等しく、相関係数が0(無相関)である。ここで、相関係数は式(2)で与えられる[6]。

到来波分布については基地局と移動局の周辺にある構造物により決定されるため一義的に求めることはできないが、ここではガウス分布で到来するものと仮定する。

■スペースダイバーシチアンテナ⁶⁾

スペースダイバーシチアンテナとは複数のアンテナをある一定間隔離して配置する方法で、3次元的に任意に配置してよいが、一般的には水平配置と垂直配置が用いられている(図3)。

はじめに、水平配置についてアンテナ間隔と相関係数の関係を示す。

図4(a)は測定結果と式(2)による計算結果を示したものである。到来波分布の角度(水平面内) S_0 はガウス分布の標準偏差を示す。この結果から、アンテナ間隔を大きくすると相関係数が小さくなり、さらに、到来波分布の広がり(市街地のほうが郊外地に比べ到来波の広がりが大きい)が大きいと相関係数が小さくなる事がわかる。ただし、基地局アンテナ高が高くなると相関係数は大きくなる傾

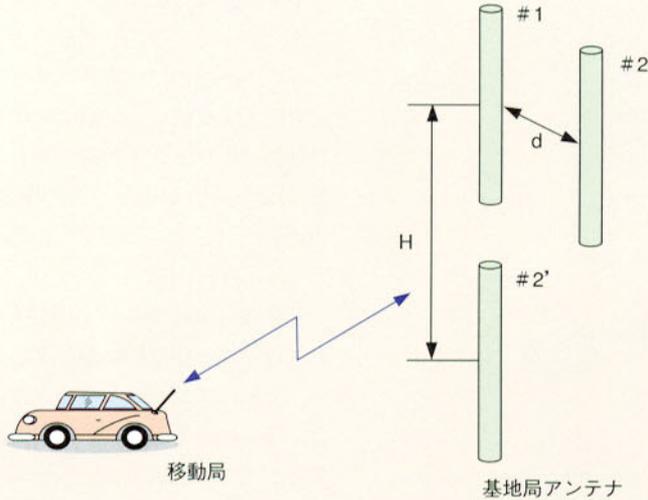


図3 スペースダイバーシチアンテナ配置図

向にある。ここで、実験値と計算値があまり一致していないが、到来波分布の仮定が十分でないものと思われる。

次に、同一軸上に垂直に配置したスペースダイバーシチについてアンテナ間隔と相関係数の関係を示す[7]。図4(b)は市街地において基地局アンテナ高(基地局アンテナ高15mは平均建物高よりも低い)を変化させた場合の測定結果と式(2)

による計算結果を示したものである。なお、到来波分布の角度(垂直面内) s はガウス分布の標準偏差である。相関係数は水平配置と同様な傾向を示しているが、所要の相関係数を得るためには水平配置より垂直配置のほうがアンテナ間隔を大きくしなければならないことがわかる。この原因は到来波分布の広がり小さくなるため、垂直配置では仰角方向に基地局アンテナがあり水平配置に比べ地形地物の影響を受け難いためと考えられる。

なお、垂直配置のアンテナ間の受信レベル差は基地局アンテナ高が平均建物高より高ければ20~30 λ で1dB以内でありほとんど問題ない。

■偏波ダイバーシチ¹⁰⁾

偏波ダイバーシチとは垂直、水平の各偏波をダイバーシチ受信するものである。アンテナとしては垂直、水平偏波用のアンテナを設計する必要がある。なお、一般的に移動通信用アンテナは垂直偏波である。

偏波ダイバーシチアンテナを用いると1本のアンテナで垂直、水平の両偏波の

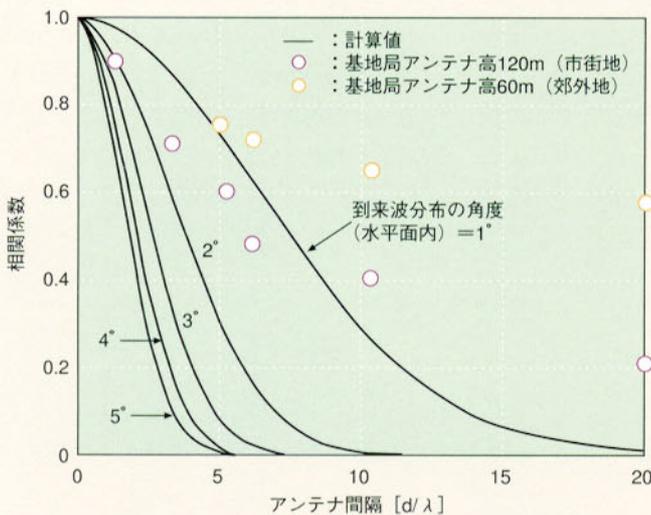


図4(a) 水平配置スペースダイバーシチのアンテナ間隔と相関係数

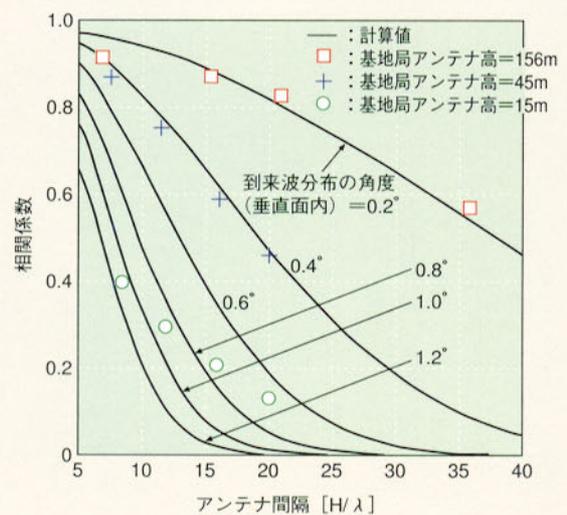


図4(b) 垂直配置スペースダイバーシチのアンテナ間隔と相関係数

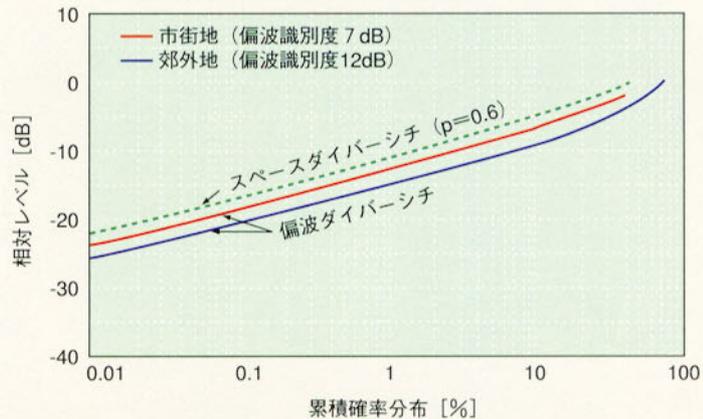


図5 偏波ダイバーシチとスペースダイバーシチの比較

2ポートが構成できスペースダイバーシチに比べ設置空間が狭くてよい特徴があるがアンテナ構造がやや複雑になる[9]。また、基地局送信は垂直偏波の1ポートのみになるため、アナログ方式のように複数の送信共用装置(32CH以上)を用いる場合はアンテナも複数(2本以上)必要となり偏波ダイバーシチとする必然性がなくなる(スペースダイバーシチは2本必要)。

次に偏波ダイバーシチとスペースダイ

バーシチの特性を比較する。図5は累積確率分布で示したもので、偏波ダイバーシチは異なる偏波で受信するためアンテナブランチ間にレベル差があり不等中央値ダイバーシチ受信となり、(1)式で示したように受信中央値が等しいスペースダイバーシチに比べてダイバーシチ効果が減じる。その特性は偏波識別度に依存し、市街地(偏波識別度XPD=7dB)に比べ郊外地(XPD=12dB)ではさらにダイバーシチ効果が劣化する。

ただし、携帯モードのように使用される形態(アンテナの傾き)が任意に変化する場合は垂直偏波のみに比べて中央値が向上することになるため有利となる。

■指向性ダイバーシチ^[6]

一般的な指向性ダイバーシチとは多重中にアンテナの主放射方向の異なる複数のアンテナブランチを用いてダイバーシチ受信するものである。ここでは水平面内ビーム幅が180°のアンテナ素子を図6(a)に示すように2つのアンテナを10~20波長離して、ハイブリッド回路を用いて背面合成して等価的な円形無線ゾーン構成する指向性ダイバーシチについて説明する。このときの水平面内指向性は図

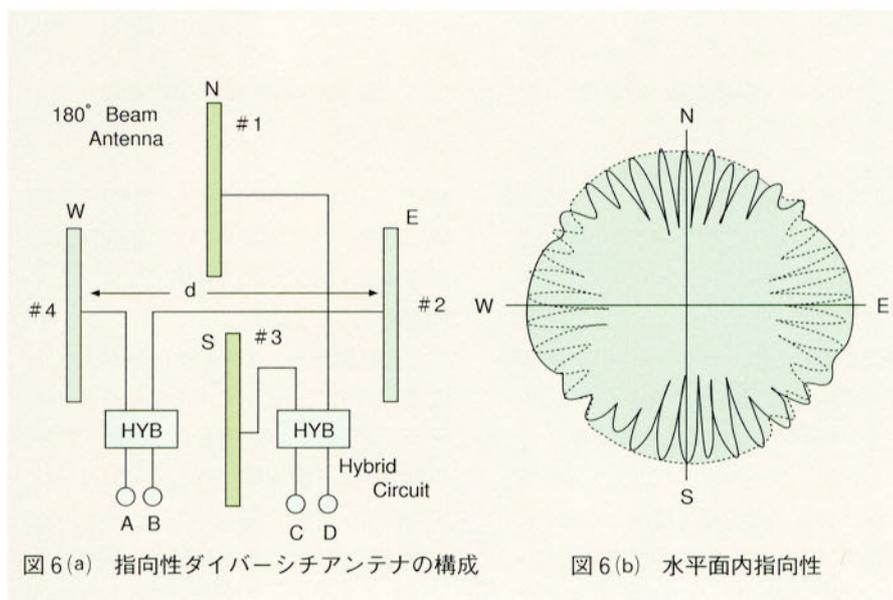
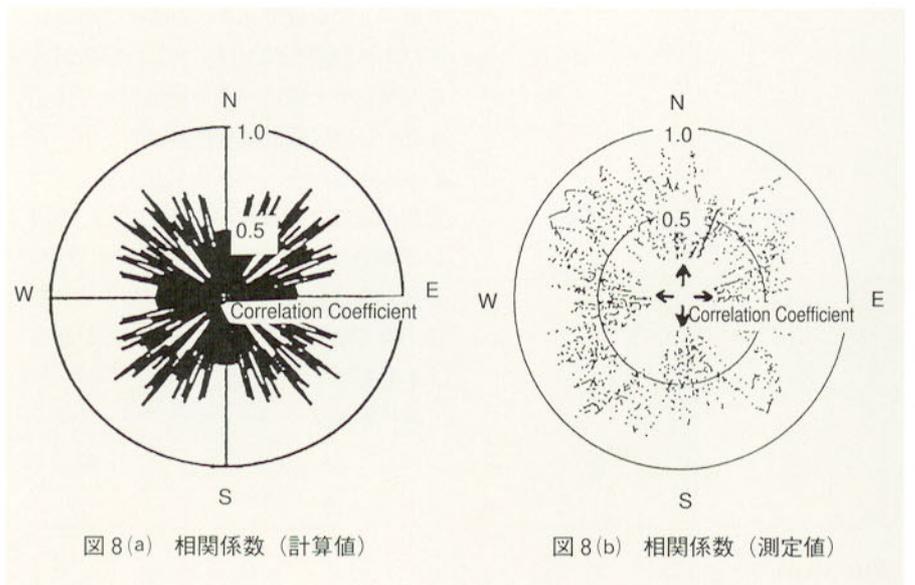
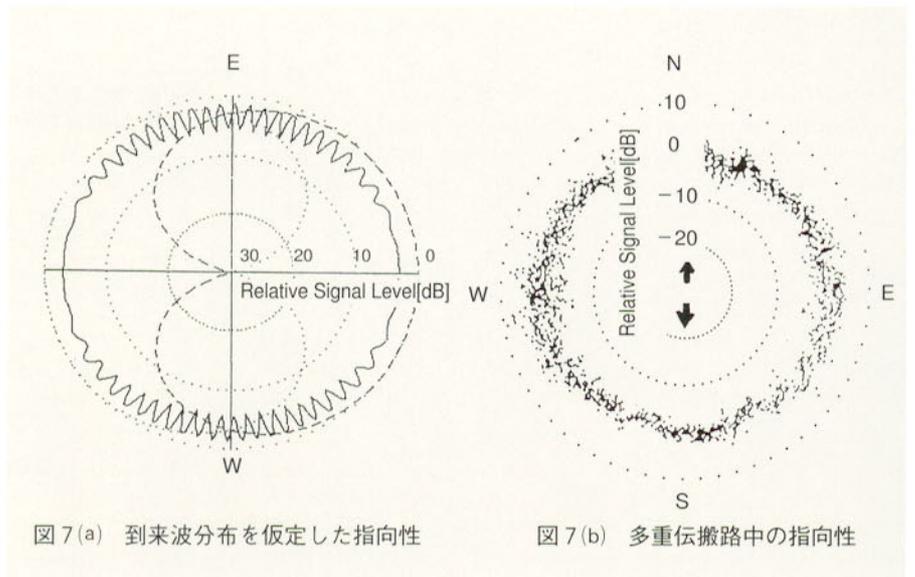


図6(a) 指向性ダイバーシチアンテナの構成

図6(b) 水平面内指向性



6(b)に示すように多くのグレーティングローブが生ずる(設置間隔に依存)。ここで、合成された各アンテナ面は 90° ずらして配置することによって、指向性変動の少ない端子とグレーティングローブが生ずる指向性の異なる2つのダイバーシチブランチが構成できることになる。

はじめに、レベル変動について検証する。図7は到来波分布を考慮した場合の等価的な水平面内指向性の計算結果(アンテナ間隔7波長、到来波の標準偏差

1.5°)と測定結果(郊外地でアンテナ間隔40波長)を示したもので、指向性の変動が見やすいように計算値ではアンテナ間隔を狭くしている。

この結果から、アンテナ間隔が大きくなると到来波に広がりがあるため、グレーティングローブが埋もれて等価的に無指向性アンテナを用いたものと同様の結果を得て、実用上問題ないことがわかる。

図8は相関係数の計算結果と測定結果を示したもので、アンテナ間隔は20波長

で測定場所は郊外地である。グレーティングローブが重なり合う方向では相関係数が小さくなっている。市街地では到来波分布に広がりがあるため、さらに相関係数は小さくなる。

このようなアンテナ構成は円形の無線ゾーンを構成するうえでは、アンテナ設置性を含めて有効な方法である。

おわりに

以上、基地局アンテナにおいて多重伝搬路を含めたビームチルト効果、ダイバーシチ効果について明らかにしたが、これらを実現するためのアンテナ構成については次回の基地局アンテナに関する解説の中で述べることにする。

文献

- [1] Y.Yamada, Y.Ebine and K. Tsunekawa: "Base and mobile station antennas for land mobile radio systems", IEICE Trans. Vol.E74, No.6, PP1547-1555, 1991.
- [2] 恵比根, 伊藤: "1.5GHz/800MHz 共用基地局アンテナ", 本誌, Vol.2, No.2, pp16-19, 1994.
- [3] 伊藤, 春木, 藤本: "小型携帯無線機用ループアンテナ", NATIONAL TECHNICAL REPORT, Vol.19, No.1, pp.145-154, 1973.
- [4] 奈良, 中嶋, 恵比根, 堀: "自動車電話用基地局ビームチルトアンテナの現場試験結果", 昭和54年信学会総合全大2452, 1984.
- [5] 恵比根: "陸上移動通信におけるダイバーシチアンテナに関する研究", 平成3年度学位論文(東工大).
- [6] M.Schwartz, W.R.Bennet and S.Stein: Communication Systems and Techniques, New York: McGraw-Hill, 1996.
- [7] 恵比根, 高橋, 山田: "陸上移動通信におけるアンテナ垂直面内配置ダイバーシチアンテナの検討", 信学論(B-II), Vol.J73-B-II, No.6, pp286-292, 1991.
- [8] S.Kozono, T.Tsuruhara and M. Sakamoto: "Base station polarization diversity reception for mobile radio", Trans IEEE, Vol.VT-33, No.4, pp301-306, 1984.
- [9] 山田, 他: "無給電素子を装荷した偏波共用マイクロストリップアンテナ", 昭和61年度信学会総合全大643, 1986.