

アンテナ技術

その4 移動端末用アンテナ

今回は携帯・自動車電話方式に用いられる車載用アンテナ・携帯機用アンテナなど移動端末に搭載または装着するアンテナについて紹介する。移動端末用アンテナはアンテナを搭載するスペースが限定されるため、収容性・設置性の良いアンテナとする必要がある。特に、携帯機用アンテナは人体の影響を受けやすく、かつ、使用形態（アンテナ傾きなど）が一定しない特徴があり、アンテナ特性の劣化要因となる。また、移動端末用アンテナは多重波伝搬環境にあるため、アンテナ特性が定義された自由空間と異なる。従って、伝搬路構造とアンテナ特性についても明らかにする必要がある。これらについて統計的手法により解析し、その特徴を明らかにする。

まえがき

携帯・自動車電話方式では移動端末に取り付けられるアンテナの寸法は設置空間（車両、携帯端末）の制約から、通常、波長と同等またはそれ以下しか与えられない。このため、移動端末側では所要のアンテナ利得を大きくできない。一般に、多重伝搬路における損失補償は基地局アンテナを高利得化することにより実現している。また、移動端末は自由に動き回ることを前提としているため、水平面内指向性は無指向性が最も良いとされており、指向性についても制約を受けている。このように移動端末用アンテナはアンテナ設計上かなりの制約を受けるなかで最適化を図る必要がある。

アンテナの放射素子設計のほか、移動端末は周辺の地形、地物からの散乱・反射・回折された多重波中を移動するため、自由空間で定義されたアンテナ特性を得ることができない。このため、多重伝搬路環境における最適な移動端末アンテナ設計をする必要がある。従って、移動端末に到来する電波の方向、幅など伝搬構造の特徴を知る必要がある。本稿では、移動端末に到来する電波の性質を統計的な手法によって解析し、アンテナ特性との関係を明らかにすると共に、車載用アンテナおよび携帯機用アンテナについてアンテナ設計上の特徴について説明する。

多重波中のアンテナ特性

水平面内における移動端末側での到来波分布は市街地においてあらゆる方向から振幅が一様で位相がランダムで到来するとされている[1]、[2]。このことは指向性を有するアンテナと無指向性アンテナとの受信レベル差を測定することにより容易に確認できる。

表1は3～12素子の八木アンテナ（単方向性の指向性）とダイポールアンテナ（無指向性）との受信レベルの測定結果を示したもので[3]、自由空間時のアンテナ利得が多重伝搬路において現れておらず、水平面内において指向性を鋭くしてもアンテナ利得は向上しないことが分かる。

次に、垂直面内における電波の到来方向と分布幅を実験的に明らかにする。図1は電波の到来方向を測定したもので、水平面内無指向性のコリニアアレイアンテナを用いて主ビーム方向を変化させて、基準アンテナ（ $\lambda/2$ ダイポールアンテナ）との受信レベル差を求めたものである。なお、測定は市街地と郊外地において基地局から5 km 以内の範囲で、縦・横コースを含む全走行距離約4 km における20m 中央値の平均値を求めた。測定周波数は920MHz、1.5GHz、2.2GHzで行った。この結果から、到来波方向に関しての周波数特性はなく、すべて水平方向（大地に対して水平）に主到来波方向が集

表1 アンテナ利得の比較

アンテナ種類	自由空間アンテナ利得 (dBd)	多重波中アンテナ利得 (dBd)
ダイポールアンテナ	0	0
3素子八木アンテナ	2.6	-0.8
5素子八木アンテナ	7.9	0.2
8素子八木アンテナ	9.9	-0.7
12素子八木アンテナ	11.9	2.0

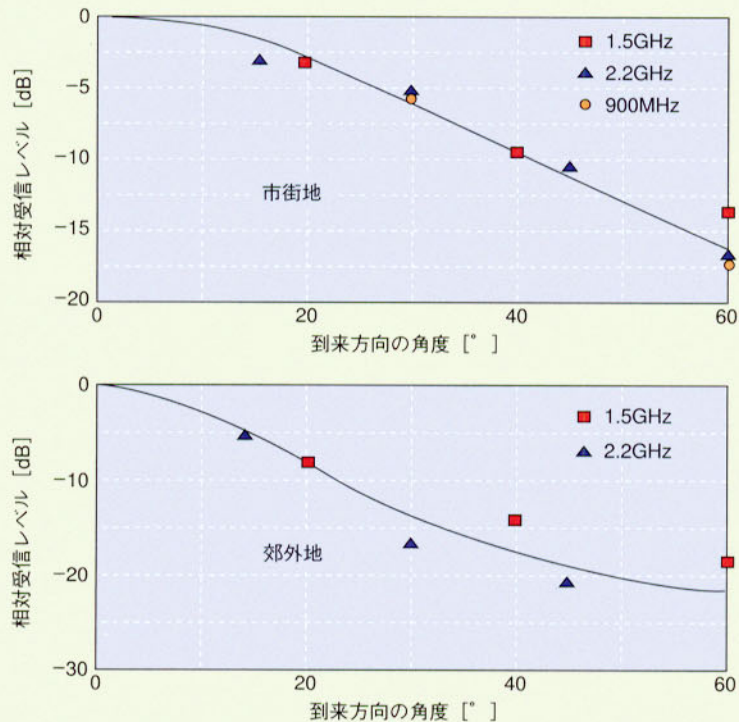


図1 垂直面内における電波到来角

中していることが分かる。また、伝搬構造（市街地、郊外地）にほとんど依存せず、これも水平方向に到来波が集中していることが分かる。ただし、高仰角方向では市街地に比べ相対レベルが低くなっており、例えば40°方向で市街地では相対レベルが-10dBであるのに対して郊外地では-15dBとなっており、到来波分布幅が狭くなっていることが分かる。このことは、郊外地での平均建物高が約5m程度で移動端末からみた回折角度が小さくなることから分かる。

次に、垂直面内におけるアンテナ利得

の保存性（電波の広がり）について伝搬試験により推定を行う。測定に用いたアンテナは水平面内面無指向性のコリニアアレイアンテナ（支持金属円柱の周囲に4素子配置同相合成の無指向性アンテナ）で、接続段数を変えることによって垂直面内のみアンテナ利得を変化させることができる。測定は基準アンテナ（ $\lambda/2$ ダイポールアンテナ）との受信レベル差を求めて、アンテナ利得の保存性を求めている。

図2は測定結果を示したもので、破線は自由空間時のアンテナ利得と多重波中

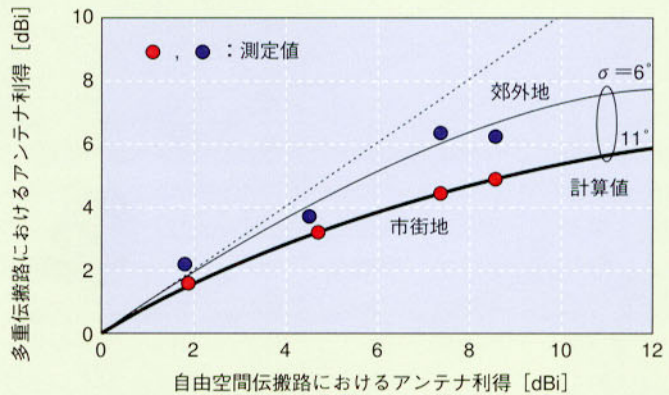


図2 多重波中と自由空間アンテナ利得の比較

のアンテナが一致した場合を示している。ここで、多重波中のアンテナ利得は市街地において約4～5dBi、郊外地では約6dBi以上になると、自由空間時のアンテナ利得を大きくしてもその劣化量が増加し、効果的にアンテナ利得が向上しないことが分かる。移動端末用アンテナの設計は自由空間において7～8dBiのアンテナは $\lambda/2$ ダイポールを1波長間隔で4素子(900MHzで全長約1.1m)とすればよく、これ以上アンテナ利得を大きくしてもアンテナ寸法が大きくなるだけで効果的に利得を向上させることはできないことになる。なお、実線は到来波分布をガウス分布と仮定して理論的にアンテナ利得を求めたもので、市街地ではガウス分布の分散(電波の広がり) σ を 11° 、郊外地では 6° とした場合に測定結果とよく一致している[4]。

結論として、以下の理由により移動端末用アンテナとして適用するアンテナ形式は $\lambda/2$ ダイポールアンテナなどの線状アンテナが最も優れているといえる。

- ① 多重波中の利得劣化量が少ない。
- ② 小型化が可能である。
- ③ インピーダンス整合が取りやすく、広帯域性もある。
- ④ 水平面内が無指向性である。

車載用アンテナ^[5]

サービス当初の自動車電話方式はダイバーシチ受信がなく、車載用アンテナとしては $\lambda/2$ モノポールアンテナ、もしくはスリーブアンテナが採用されていた。大容量アナログ方式からダイバーシチ受信が採用され、2本のアンテナが必要となり、アンテナ構成もやや複雑になってきた。

図3は車載用ダイバーシチアンテナを乗用車に取り付けた場合の外観図を示したもので、ルーフトップアンテナ、ルーフサイドアンテナは並列配置のスペースダイバーシチ構成とし、乗用車の屋根の部分、雨樋部分にそれぞれ取り付け、トランクリッド型はトランクの蓋部分に取り付けるため、垂直配置のスペースダイバーシチ構成として外観上1本のアンテナとしている。ルーフトップ型、ルーフサイド型のアンテナ形式は $\lambda/2$ モノポールアンテナで一定間隔離して2本のアンテナが構成されている。アンテナ間隔はアンテナ間の相関係数とアンテナ給電端で互いに折り曲げてアンテナ基部に放射素子が収容できることを考慮して決定している。ダイバーシチ受信に必要なアンテナ間の相関係数を図4に示す。並列配

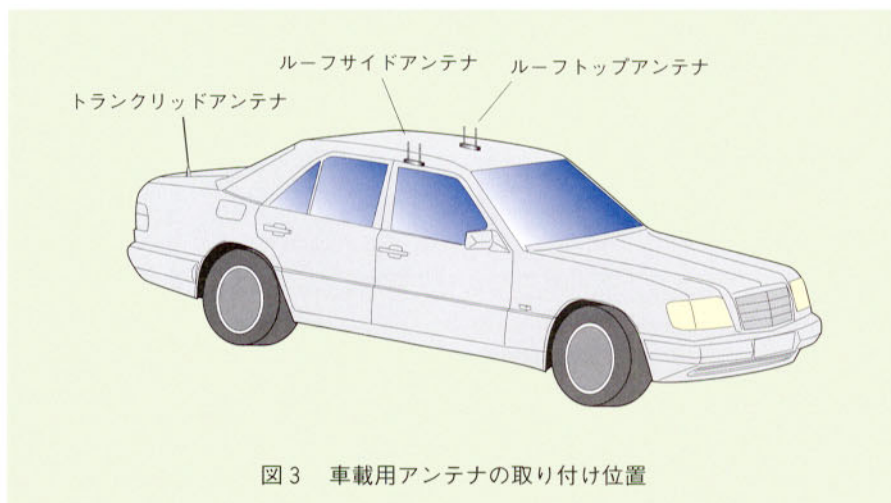


図3 車載用アンテナの取り付け位置

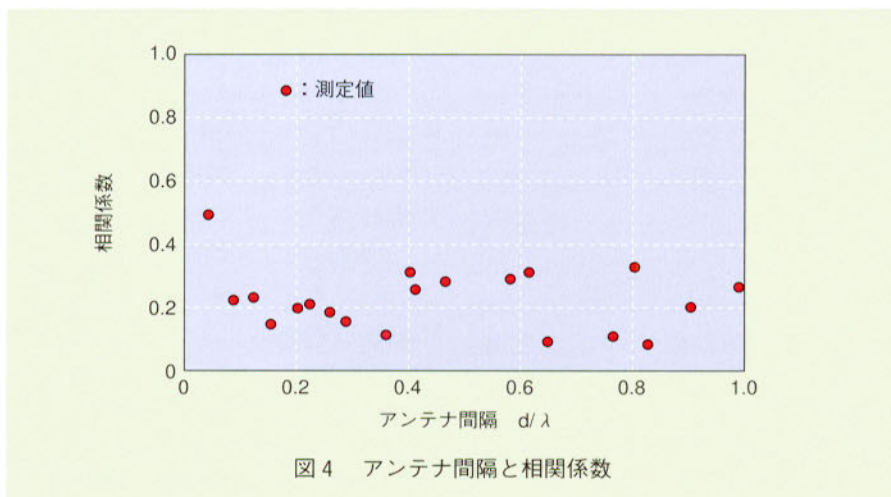


図4 アンテナ間隔と相関係数

置ではアンテナ間隔が 0.1λ 以下にならないと相関係数は大きくならないことが分かる。相関係数はアンテナ間隔に依存せず、 $0.2\sim 0.3$ と一定でアンテナ設計上(所要の相関係数は 0.6 以下)問題にならないことが分かる。ただし、アンテナ間隔を大きくするとアンテナ全体が大きくなるため、アンテナ間隔は放射素子収容時の大きさで決定している。放射素子は $\lambda/2$ のアンテナであるから、互いに重ねあわせるとアンテナ間隔は約 $\lambda/2$ となる。

次に、放射素子として $\lambda/2$ モノポールアンテナを選定した理由を以下に示す。アンテナ形式として最も簡易なものとして $\lambda/4$ モノポールアンテナと $\lambda/2$ モノポ

ールアンテナがある(双方とも水平面内指向性は無指向性)。これらのアンテナについて多重波中での特性比較を行う。図5は直径 2.5 波長の金属板上に、同一軸上に構成した $\lambda/4$ モノポールアンテナと $\lambda/2$ モノポールアンテナの垂直面内指向性を示したもので、 $\lambda/4$ モノポールアンテナは 40° の方向に最大値があり、水平方向では $\lambda/2$ モノポールアンテナより $2\sim 3$ dB小さくなっている。そこで、垂直面内における到来波が前述のように水平面内方向に集中しているとすれば、車載用アンテナのアンテナ形式としては $\lambda/2$ モノポールアンテナが最も適していることになる。図6は $\lambda/4$ モノポールアンテナと $\lambda/2$ スリーブアンテナの移動距離に

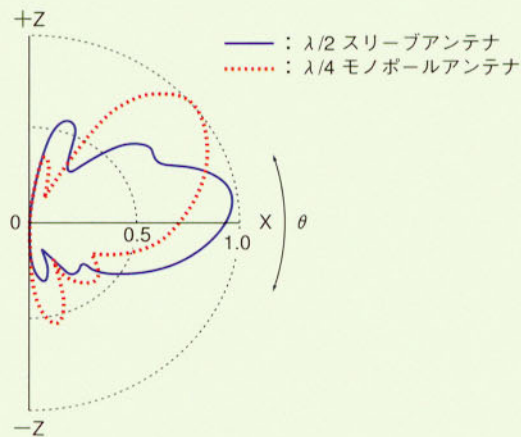


図5 垂直面内指向性

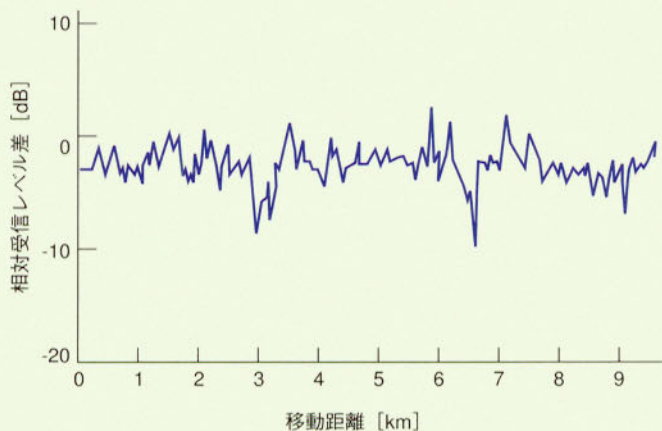


図6 アンテナ走行距離に対する受信レベル差（市街地）

対する受信レベル差を測定したものである。ここで、市街地において $\lambda/4$ モノポールアンテナの受信レベルが $\lambda/2$ スリーブアンテナの受信レベルを上回る場合もあるが、全移動距離に対する平均受信レベル差は -2.9dB となり、 $\lambda/4$ モノポールアンテナでの受信レベルが小さくなっている。結論として、市街地において移動端末に到来する電波は水平方向にほぼ集中していることが図6の結果からも再確認できる。以上の結果から、移動端末用の放射素子としては $\lambda/2$ のモノポール

アンテナまたは $\lambda/2$ スリーブアンテナが最も適していることが分かる。

トランクリッド型アンテナは2つのアンテナを同一軸上配置したもので、アンテナ設計上の問題点は上段にあるアンテナの給電線を指向性に影響を与えないために下段アンテナの内部を通すこと、垂直配置で小さな相関係数を得ることにある。アンテナ構造はやや複雑であるため参考文献[6]を参照していただきたい。ここでは、垂直配置でのアンテナ間相関係数について述べる。図7はアンテナ間隔に対する相関係数を示したもので、実線は計算値で σ は到来波分布の広がりを示す。市街地ではいずれのアンテナ間隔においても相関係数が0.6以下となっているが、郊外地ではアンテナ間隔が 1.2λ 以上必要になることが分かる。なお、アンテナ間隔が 0.5λ 付近ではアンテナの相互結合の影響により垂直面内指向性が変化し、相関係数が小さくなっている[7]。

携帯機用アンテナ

ハンドヘルドタイプ携帯機用アンテナの設計上の特徴は端末（筐体）自体が小さいこと、また美観上の点からアンテナを任意の寸法で、任意に配置することができないことにある。

携帯機用アンテナとして、水平面内無指向性の $\lambda/2$ スリーブアンテナ、もしくは $\lambda/2$ モノポールアンテナが適用が考えられるが、給電が比較的簡単な $\lambda/2$ モノポールアンテナが多く適用されている。筐体内に $\lambda/2$ モノポールアンテナを収容するためには、 900MHz 帯で $\lambda/2$ は約 16cm であり、アンテナの小型化（短縮）が必要となってくる。ここで、アンテナ寸法とアンテナ利得はほぼ比例関係にあり、アンテナ寸法を極端に短くするとアンテナ利得が劣化すると共にインピーダンス特性が狭帯域となる[8]。このため、アンテナ短縮率を $0.7\sim 0.8$ にし、アンテ

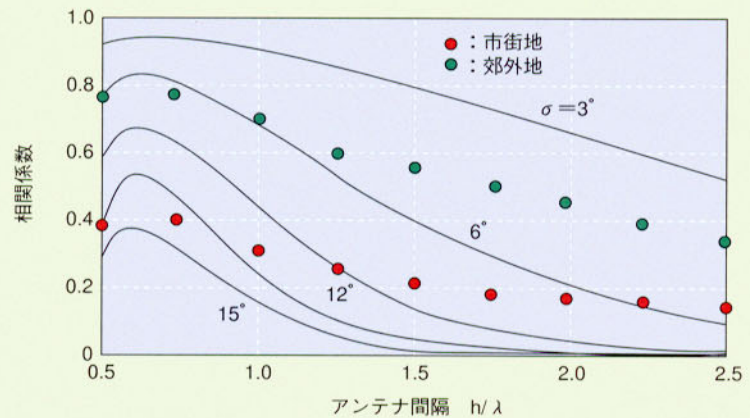


図7 アンテナ間隔に対する相関係数



図8 携帯機アンテナの配置例

ナ利得が約0dBi (−2.1dBd) 程度として
いる場合が多い。

図8に携帯機用アンテナの配置例を示
すようにモノポールアンテナの先端部分
が筒状 (コイルが巻かれている) になっ
ているが、アンテナ収容時においてもア
ンテナ先端部を筐体から突起させること
によって一定のアンテナ利得 (約−3dBi)
を確保している。現行の携帯機はモノポ
ールアンテナとコイル上の先端部と2つ
の個別のアンテナとして動作している。

なお、 $\lambda/2$ モノポールアンテナのイン
ピーダンスは数100 Ω となるため、無線
機との整合 (50 Ω) が必要となり、伝送
損失の少ないインピーダンス整合回路の
設計が要求される。

下り回線の通信品質を向上させるため、
携帯機にダイバーシチ受信を導入してい
るが、このときのアンテナは図8に示す
ように筐体内部に収容されている。アン
テナ形式としてはアンテナの小型化、イン
ピーダンスの比帯域特性から板状逆F

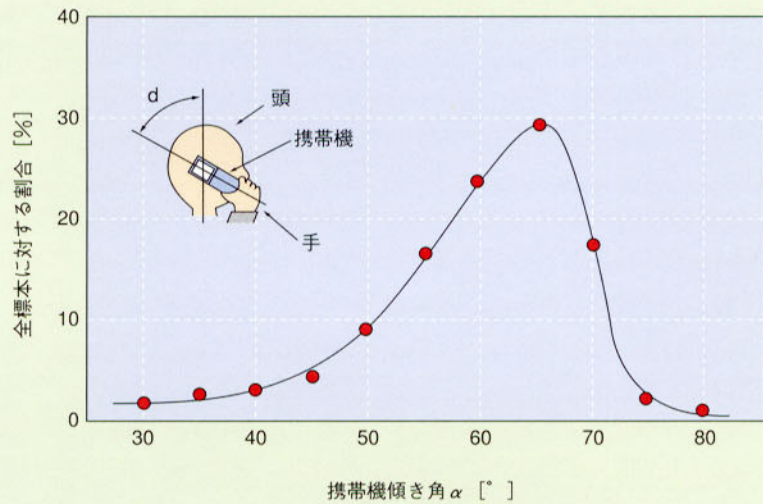


図9 通話時における携帯機の傾き角度の分布

アンテナが多く用いられている[9]。このアンテナの構造は参考文献[6]に示すように、従来から用いられているL字型トップローディングアンテナを応用したもので、アンテナ利得は-3~-4dBi程度となっている。

また、ダイバーシチ受信に必要な相関係数はアンテナ間隔が狭く、相関係数が大きくなる傾向となるが、モノポールアンテナと逆Fアンテナの複素指向性（相互結合を含めて）が異なることから、実際の多重伝搬路では通話状態での平均相関係数は0.24で比較的小さくなっている[10]。

このほか、携帯機用アンテナの特徴として、偏波の傾きが使用状態によって異なること（車載用では垂直偏波のみ）、人体近傍にアンテナが存在するためアンテナ特性が劣化することが挙げられる。

携帯モードにおけるアンテナの偏波は使用形態により一定しない特徴を有している。図9は通話時における無線機の傾き角度の分布を調査したもので[11]、45°~70°の範囲で90%となっており、ほとんど傾いた状態で通話していることが分かる。基地局アンテナは垂直偏波で

送受信しているため最も効率の良い偏波は垂直偏波となる。従って、多重伝搬路において異偏波で送受信した場合の劣化量を知る必要がある。

さらに、人体近傍にアンテナを装着したとき、アンテナ利得劣化が生じるため、この劣化量も知る必要がある。

図10は携帯機用アンテナの傾き時の劣化量および人体装着時の劣化量を各種類の携帯機について測定したもので、ダイポールアンテナとの相対比較で測定している。

携帯機の傾き角度を60°とした場合2~3dB劣化し、通話状態ではさらに3~4dB劣化している。ここではモノポールアンテナについて示しているが、ダイバーシチ受信用の内蔵アンテナ（逆Fアンテナ）についても同様に劣化する。

このほかの劣化要因として、乗用車内部に携帯機を持ち込んで通話した場合、さらに実質的なアンテナ利得は劣化し、窓際付近で約3dB劣化する[12]。

以上のように、携帯機用アンテナは劣化要因が多く、携帯機の形状・大きさ、搭載するアンテナの種類によって特性が大きく変化する。このため、携帯機用ア

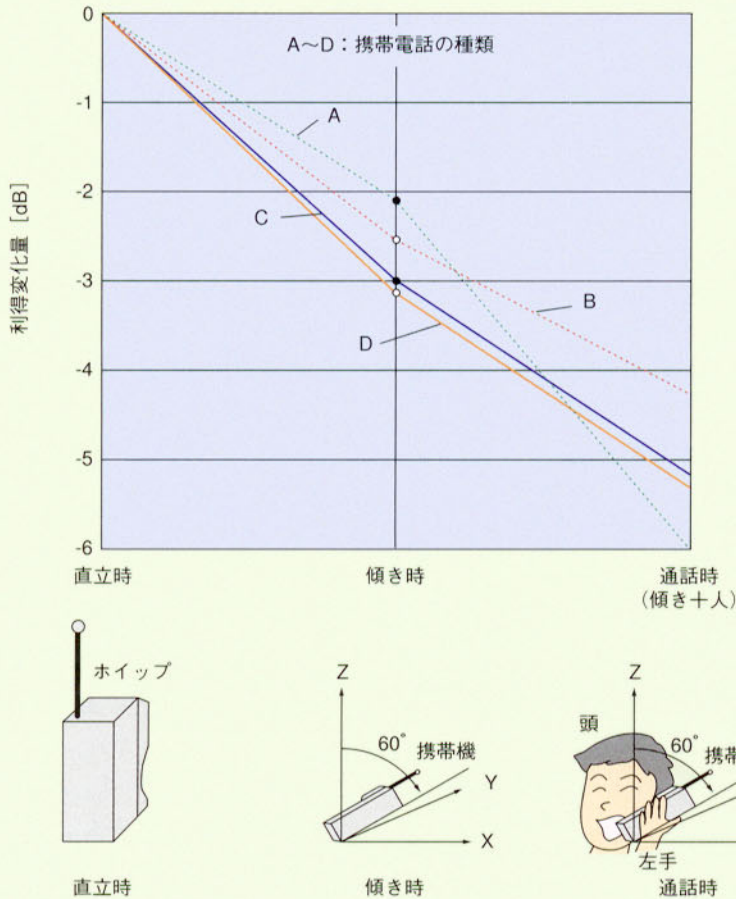


図10 携帯機アンテナの利得劣化量

アンテナは筐体との整合性を十分考慮して設計する必要がある。

文献

- [1] R.H.Clark : "A statistical theory of mobile-radio reception", B.S.T.J., pp. 957-1000, 1968.
- [2] M.J.Gans : "A power-spectral theory of propagation in the mobile

radio environment", IEEE Trans., Vol. VT-21, No.1, pp. 27-38, 1972.

- [3] 池田, 明山: "多重波中における900MHz帯アンテナ利得の測定結果", 昭57信学会総合全大2157, 1982.
- [4] 恵比根, 高橋: "ガウス分布到来波モデルを用いたアンテナ利得評価", 信学技報, AP89-93, 1989.
- [5] 恵比根, 山田: "車載用ダイバーシチアンテナ" 信学技報, CS85-120, 1985.
- [6] 山田, 寺田, 常川, 板倉: "移動通信用アンテナ技術", 本誌, Vol.1, No.3, pp.37-43, 1994.
- [7] Y.Ebine and Y.Yamada: "A vehicular-mounted vertical space diversity antenna for a land mobile radio", IEEE Trans., Vol. VT-40, No.2, pp. 420-425, 1991.
- [8] R.F Harrington: "Effect of antenna size on gain, bandwidth and efficiency", J.Res. Nat Bur. Stand V64D, pp.1-12, 1960.
- [9] 春木, 小林: "携帯無線用逆Fアンテナ", 昭57信学総合全大, 613, 1982.
- [10] 向, 常川: "携帯機ダイバーシチアンテナの相関係数", 1989信学会春期全大, B-817, 1989.
- [11] 多賀, 常川, 佐々木: "着脱式移動機用アンテナ", 研実報, Vol.35, No.8, pp. 823-831, 1986.
- [12] 恵比根: "陸上移動通信における車内設置型ダイバーシチアンテナの検討": 信学論 B-II, Vol.J73-B-II, No.9, pp.455-463, 1990.