

移動通信の基盤技術 その2

5 移動通信用アンテナ技術

基地局アンテナでは、無線ゾーン成形の要として、放射特性・指向方向制御など様々な設計がなされている。また移動局アンテナでは、自動車や携帯機に取り付けられるため、近接物や人体を考慮に入れた設計がなされている。本編では、これらの特長的技術の実際を解説するとともに、今後の技術動向にも言及している。

やまだ よしひで てらだ のりよし つねかわ こういち いたくら ひとし
山田 吉英・寺田 矩芳・常川 光一・板倉 仁嗣

まえがき

移動通信は電波を用いて通信路を設定するもので、人がどこにしようとして通信できるという、大変便利な通信網である。

アンテナは、無線機に付随して使用されるもので、自由空間から無線機への電波の伝送効率を左右するとともに、電波の自由空間への広がり方を制御するなどの役割を担っている。移動通信方式用のアンテナとしては、無線ゾーンを形作る基地局アンテナと、加入者側に位置する移動局アンテナとに大別される。

移動通信方式においてこれらアンテナは、無線ゾーン構成法や利用者側の利便性に関係し、システム構想を実現する上で大変重要な役割を果たしている。

DoCoMoの業務との関連では、表1にまとめたように、自動車・携帯電話、ポケットベル、船舶電話、航空機電話の各方式において、基地局ならびに移動局アンテナは重要な役割を果たしている。また、近い将来に計画されている移動体衛星方式でも、移動局用としてアンテナの開発が進められている。

本編においては、システム構想とアンテナ性能の関係、アンテナ機能を実現するための特長的技術について解説するとともに、今後の技術動向について概観している。

表1 各移動通信方式とアンテナ
Table 1 Antennas used in DoCoMo's Communication Systems.

方式名 (使用周波数)	基地局アンテナ		移動局アンテナ		
船舶電話 (250MHz帯)	速くまで電波を飛ばす (50~100km)	コーナリフレクタ 平面リフレクタ	・水平面内無指向性 ・高い利得	ダイポールアンテナ	
航空機電話 (800MHz帯)	速くまで電波を飛ばす (400km)	コリニアアレー	・空気抵抗極めて小 ・重量極めて小 ・水平面内無指向性	ブレードアンテナ	
無線呼出 (ポケットベル) (280MHz帯)	・ゾーン内に斑なく電波を分布	コーナリフレクタ 平面リフレクタ	・小型の受信機に内蔵 ・微小な素子で十分な感度 ・人体に密着して機能	微小ループアンテナ	
自動車・携帯電話 (800MHz帯・1.5GHz帯)	・ゾーン内に電波を閉じ込める ・多チャンネル、送受信機を1本のアンテナで共用	コリニアアレー 円筒バラボラ 反射板付きアレー アンテナ	自動車	・車外への突起は小さく ・水平面内無指向性 ・フェーシングを軽減	スリーブアンテナ ホイップアンテナ プリントダイポールアンテナ
			携帯機	・携帯機に内蔵 ・人体に近接して機能 ・アンテナ占有体積を小さく	逆F形アンテナ ホイップアンテナ
移動体衛星 (2.5GHz帯)	—————	—————	・高い利得 ・移動局の動揺を考慮	ヘリカルアンテナ マイクロストリップ	

基地局アンテナ

■自動車・携帯電話方式用アンテナ

本アンテナは主として、①サービスエリア内に電波をくまなく行き渡らせること、②システムの電波利用の構想に従っ

て電波の到達域を制限することのために使用されており、最も多彩な技術が盛り込まれているアンテナである。

日本で初めて自動車電話が商用された昭和54年当時では、少ない数の基地局で広い領域(半径5km程度)をカバーするため、水平面内が無指向性の高利得アンテナ

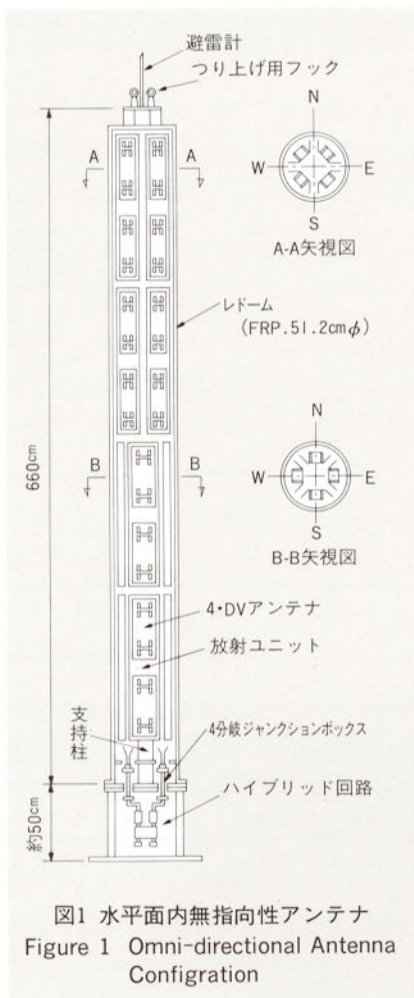


図1 水平面内無指向性アンテナ
Figure 1 Omni-directional Antenna Configuration

ナ(全長5.5m)が導入された。アンテナの構造は、図1のごとく垂直方向に多数の放射素子を配列したアレーアンテナで、垂直面内のビーム幅を4°程度と狭く絞って高い利得を実現している¹⁾。水平面内の指向性を一様にするために、円筒状にアレーアンテナを4列配置し、中間でアレーアンテナの配置を45°回転させた構成とし、さらに給電位相を順次に90°ずつ進ませる方法を採用している。

昭和62年には、移動通信も定着し、加入者の増大が明らかになってきた。大容量移動通信方式では、ゾーン半径を小さくして収容加入者の増大を図るとともに、ダイバーシチ受信の導入により通信品質の向上を図るため、新しいアンテナ構成が導入された。図2には、無指向性でダイバーシチ効果を得るアンテナ構成を示す²⁾。

各アンテナは、配置の放射線方向に外向きに180°ビームの指向性を有する。図の

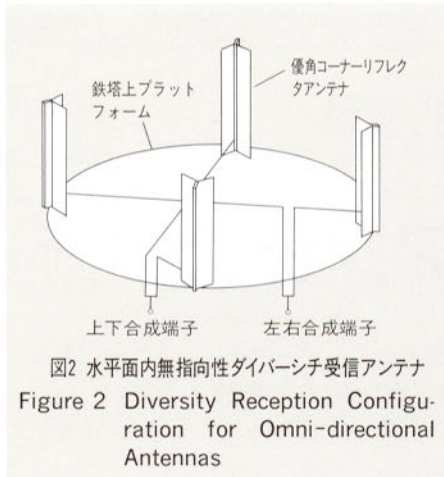


図2 水平面内無指向性ダイバーシチ受信アンテナ
Figure 2 Diversity Reception Configuration for Omni-directional Antennas

左右および上下のアンテナを組として、180°ビームを合成することにより、周方向に一律の指向性を実現している。ダイバーシチ効果については、左右と上下の組の指向性が異なっていることが有効に作用している。

さらに、近年のように携帯電話が一般に普及するに至り、基地局距離を一層近付け、かつ水平面内を3つの無線ゾーンに分割して加入者増を図る構成が導入された。図3のアンテナは、放射素子の背後に反射板を配置したもので、反射板の角度を変化させることにより、アンテナのビーム幅を様々に変えられる機能を有する³⁾。

図のアンテナ構成では、各アンテナは120°のビーム幅を有し、基地局の周囲を3方向に分けて照射している。また、各方向にはダイバーシチ受信用として、2本ずつアンテナが設置されている。さらに、主ビームを下方に指向させ(ビームチルト)るとともに、主ビーム上方のサイドローブを低減した放射特性を実現して、同一周波数を使用する無線ゾーンからの干渉を低減し、周波数の繰り返し利用距離の短縮を達成している。

平成5年当初にサービスが始められたデジタル方式用として、図4に示す新しいアンテナが導入された⁴⁾。基地局アンテナとしては、従来のNTT局舎の屋上などのスペースに余裕のある場所だけでなく、一般のビルの屋上にも設置することになり、設置性の良い、小型のアンテナが要求されるようになった。アンテナの幅を



図3 3セクタ用ダイバーシチ受信構成アンテナ配置
Figure 3 Installations of Diversity Reception Antennas for Three-sector Zone Use

縮小するとともに円筒状レドームに収容し、アンテナの風圧荷重の大幅な低減を図っている。また、800MHzと1,500MHzの2周波数を共用し得るアンテナ構成としており、アンテナ本数の低減も図っている。

今後とも急速な携帯電話の需要増が続き、2000年には約1,000万加入になるとの予測が成されている。これに対し、ゾーンの分割とゾーン半径の縮小が図られることが考えられ、基地局アンテナの一層の機能向上が要求される。図5はその一例である⁵⁾。1つのアンテナ面内に横に2列のアレーアンテナを配置し、これをハイブリッド回路で結合することにより、ハイブリッドの2個の出力端子において各々60°の放射ビームを実現したものである。6セクタ用のアンテナとしては、一面で2個のビームを放射できることになり、最もコンパクトな構成を実現している。

■その他の方式用アンテナ

船舶、航空機電話ならびにポケットベル方式用のアンテナがあり、アンテナ種類と用途は表1のごとくである。航空機電話ではゾーン半径が400kmと大きく、垂直面内に多数の放射素子を配列して高利得化を図った、コリニアアレーアンテナが用いられている。船舶電話およびポケットベル用アンテナでは、構造が簡素で高い利得の得られるコーナリフレクタアンテナなどを用いている。

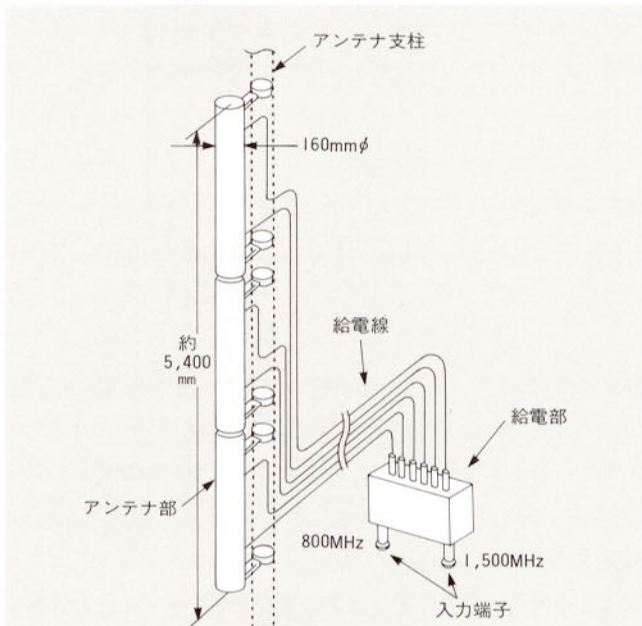


図4 デジタル方式用アンテナ
 Figure 4 Antenna Configuration for Digital Mobile Communication Systems

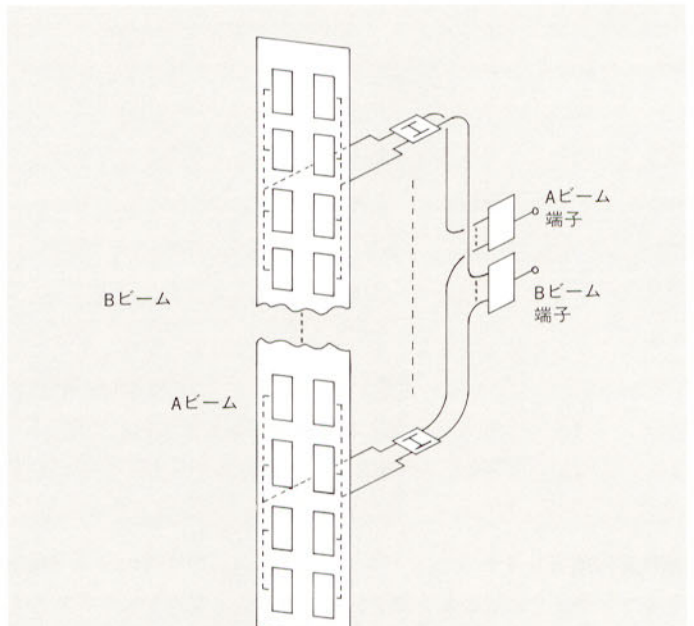


図5 6セクタ用2ビームアンテナ
 Figure 5 Two-beam Antenna Configuration for Six-sector Zone Use

■今後の技術の方向性

基地局アンテナでは、方式の高機能化に伴い、放射ビームを様々な整形かつ制御できるよう設計されてきた。今後とも無線ゾーンを一層小さくして（マイクロセル）加入者数の増大を図る方向に進むと考えられ、一層高機能なビーム制御を実現する工夫が必要となろう。

陸上移動通信用移動局アンテナ

アンテナは移動局における情報の出入口であることから、高い性能が要求される。本アンテナを設計する際に最も考慮すべき点は、第1にフェージングへの対策、第2に携帯機、ポケットベルにおける人体による影響である。

現在、フェージングに対しては車載機用と携帯機用のいずれもダイバーシチ受信を行っている。人体の影響については、携帯機ではアンテナ取付位置を人から離すことにより影響の低減を図り、ポケットベルでは人体内に生じる鏡像を利用して感度の向上を達成している。

以下に、用途別にアンテナの紹介と特長的技術を説明する。

■車載機用アンテナ

本アンテナは車体に固定され、アンテナは平面的な運動に限定される。したがって、アンテナの設置性、デザイン性が良いこと、かつ水平面内無指向性パターンを持つことが重要である。

昭和54年にサービスを開始した初期の自動車電話方式では、主に設置性、デザイン性からトランクリッド型アンテナが最も多く使われた。これは車体の影響を受けにくく、ほぼ無指向性のパターンを持つダイポールアンテナをスリーブ形として用いた。昭和62年に開始された大容量自動車電話方式では、移動局にダイバーシチを適用するため、トランクリッド型のアンテナ1本でダイバーシチ機能を

有するものを開発した⁶⁾。

これは図6に示すように、スリーブ形ダイポールアンテナを縦に2本並べたものである。アンテナ給電点の間隔を1波長以上とすれば、相関係数を所要値である0.6以下とできる。このアンテナは、素子を垂直配置としても、到来波の広がりにより十分なダイバーシチ効果を得られることを実証し、実用化したものである。なお、他にはルーフサイド、ルーフトップ形があり、スリーブまたはモノポールアンテナ素子を並列に配置した構造である。

今後、車載機用アンテナはいくつかのシステムを共用できるものが必要になり、形状も車内アンテナなどのコンパクトなものが望まれるだろう。

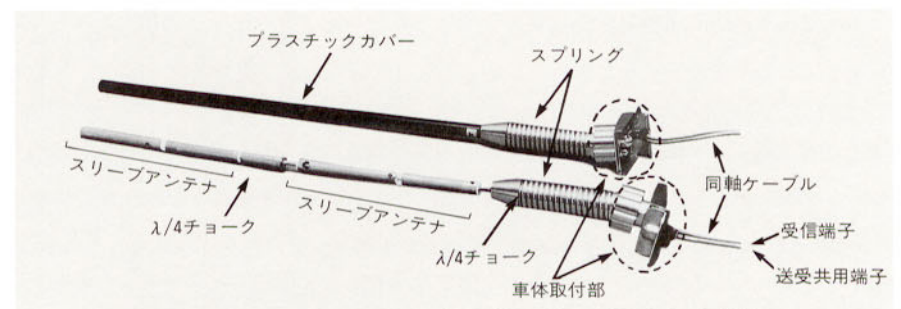


図6 トランクリッドダイバーシチアンテナ(全長56cm, 直径13.5mm)
 Figure 6 Configuration of Trunk Lid Diversity Reception Antenna

チョークは、スリーブアンテナの電流が同軸ケーブルに流れ出すのを阻げる

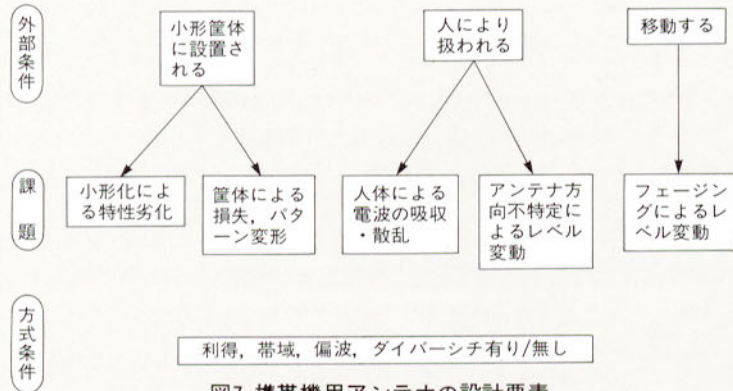


図7 携帯機用アンテナの設計要素

Figure 7 Design parameters for portable telephone antenna

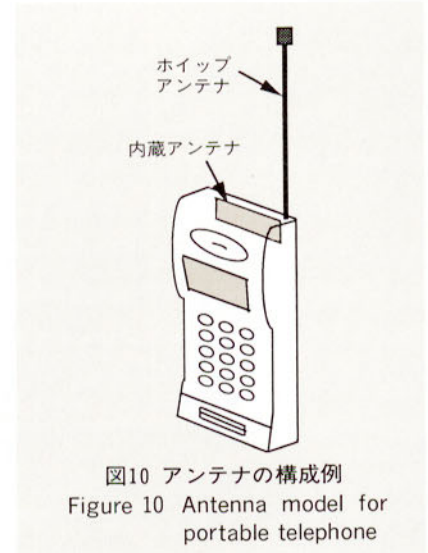


図10 アンテナの構成例

Figure 10 Antenna model for portable telephone

■携帯機用アンテナ

本アンテナの設計要素を図7にまとめた。まず小型筐体に設置される点が最も大きな特徴であり、さらに人体の影響とフェージングの問題がある。そこで、アンテナの小型化および高利得化が最も重要な課題となるが、これらを解決するためには、アンテナと筐体構造の工夫による人体や筐体影響の低減が必要である。サービス当初の昭和62年機種 (TZ-

802) では、1/2波長ホイップアンテナを採用した。アンテナは収納できる構造とし、携帯時には邪魔にならないようにしてある。図8は、ホイップアンテナ長と筐体長がアンテナ利得(dBd: 1/2波長ダイポール比) に及ぼす影響を調べたものである⁷⁾。

1/2波長ホイップアンテナでは筐体の影響を低減できることがわかる。数値解析により、筐体上の誘起電流が抑圧されたことが、筐体の影響を低減する要因となっていることが確認されている。

次の機種である平成元年の大容量方式用の携帯電話機 (TZ-803) では、ダイバーシチ受信を導入した。前記のホイップ

アンテナに加え、ダイバーシチ受信用として板状逆Fアンテナを採用した。逆Fアンテナの動作モードは、図9に示すように放射板の縦 (W) と横 (L) の和が1/4波長で共振する。共振形アンテナとしては最もコンパクトであり、筐体への収納を達成している。また、逆Fアンテナは垂直、水平の両偏波に感度を持つため、アンテナ方向の変化による受信レベル差が少ない。

さらに、平成3年には図10に構成例を示すような超小型アナログ用携帯機 (ムーバ) がサービス開始された。筐体長とのバランスを考慮して設計した3/8波長ホ

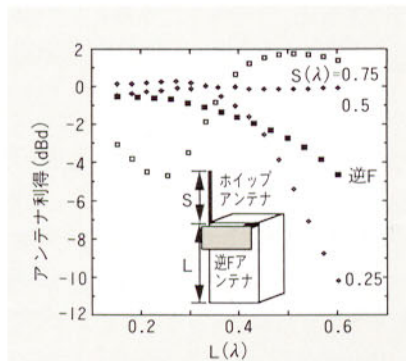


図8 筐体設置アンテナの利得特性

Figure 8 Gain characteristics for antennas on small metal housing

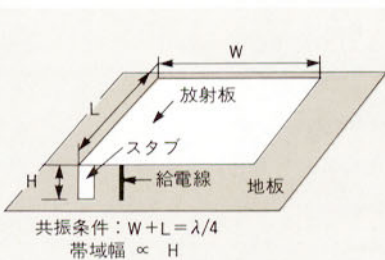


図9 板状逆Fアンテナの構造

Figure 9 Configuration of inverted-F antenna

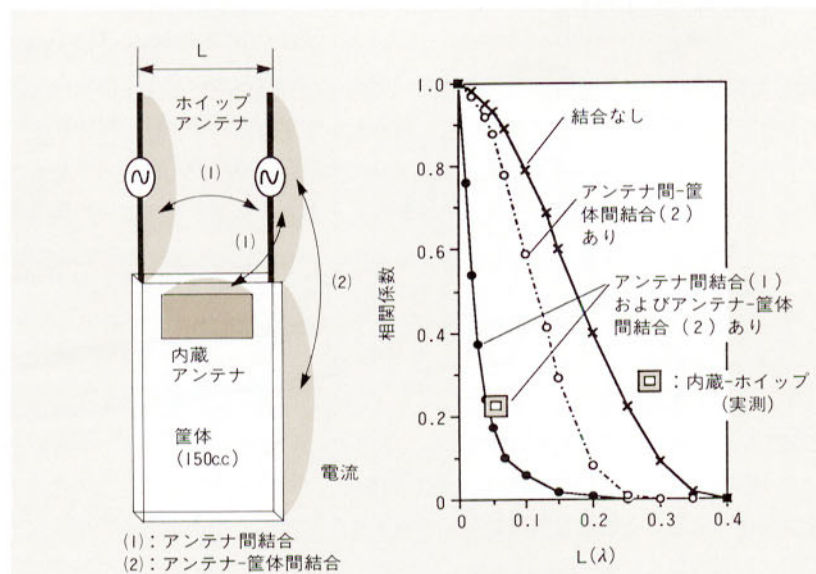
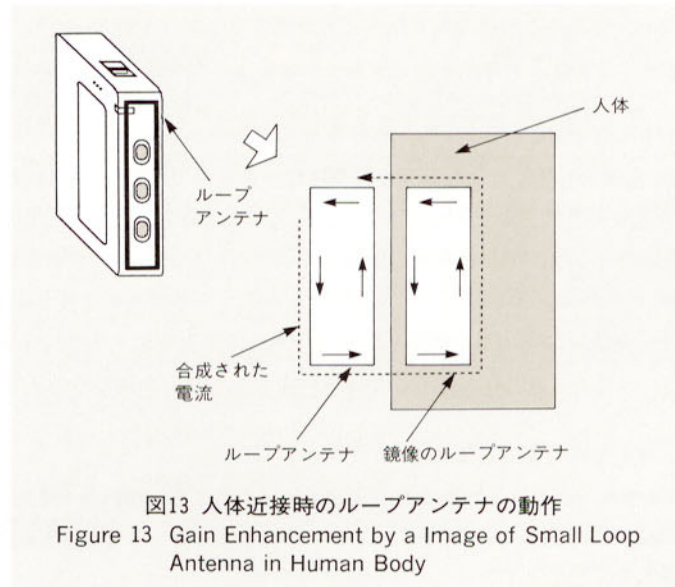
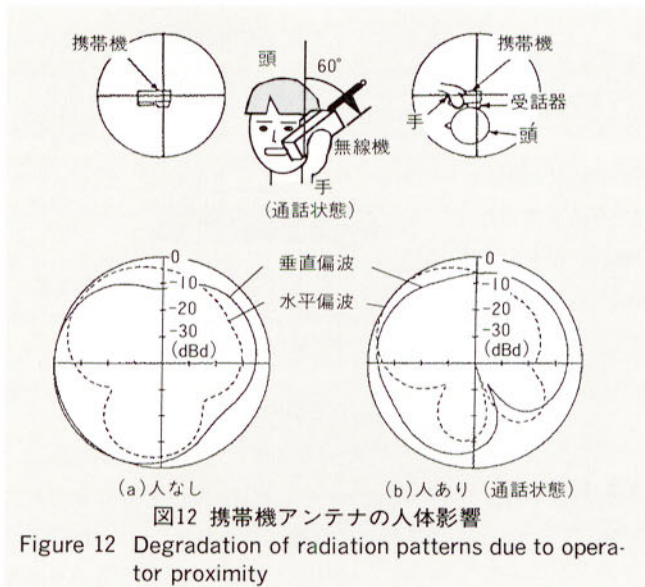


図11 ダイバーシチアンテナの相関特性

Figure 11 Correlation coefficients for diversity antennas of portable telephone

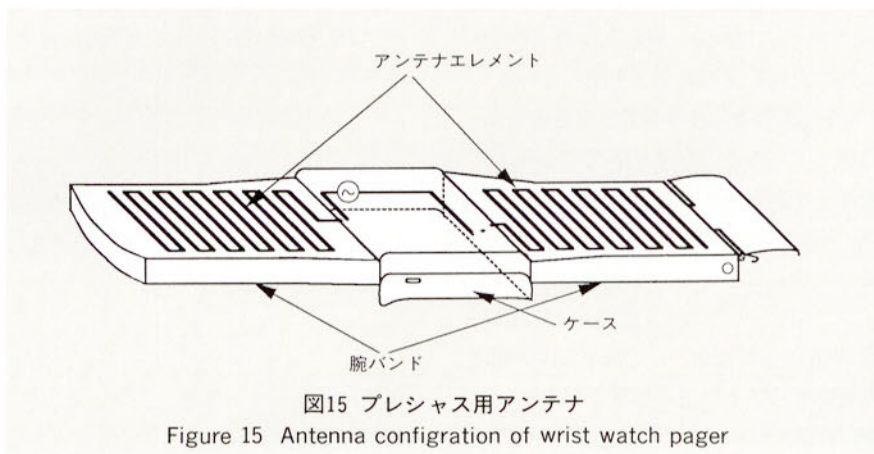
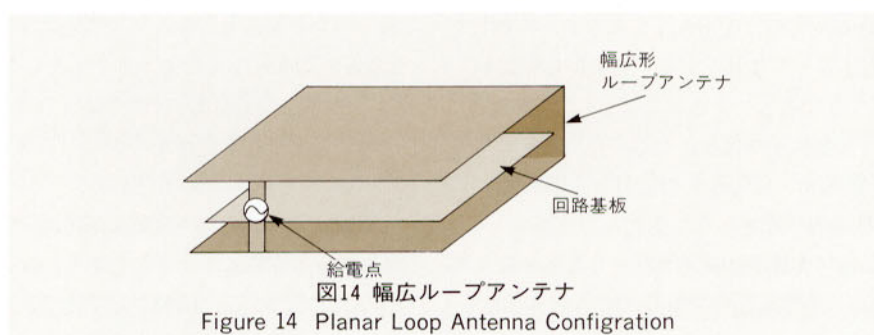


イップアンテナと、一層小型化を図った逆Fアンテナを開発した。ムーバ携帯機では、逆Fアンテナの放射板と地板の間に金属ブロック（フィルタ）を挿入して容量装荷としたり、放射板を折り曲げて実効的な電気長をかせぐなどの工夫をしてさらに小型化を図っている。

携帯機へのダイバーシチ受信の導入は全く初めての試みであり、非常に近接したアンテナ間で十分な効果が得られるかは不明であった。まず、図11に示すように、様々なアンテナの構成におけるアンテナ間の相関係数の変化を求めた⁸⁾。アンテナ間隔が0.1波長でも、筐体とアンテナ間の結合により相関係数は0.05程度と非常に低くなる。また、ホイップ、内蔵を用いている実際の携帯機でも相関係数は実測で0.24となった⁹⁾。理由は、アンテナ形式の違いによるパターンの違いに加え、アンテナ間および筐体とアンテナの結合によってパターン変形が生じ、パターンダイバーシチの効果が生じたからである。

また、以上の開発課題に加えて、携帯機設計で重要な項目は、人によって放射が遮断、吸収されてアンテナ利得が低下することである。図12に人が近接することによる放射パターンの変化を示す。人による利得低下を軽減するため、ホイップアンテナを人から離したり、逆Fアンテナの取り付け位置の工夫をしている¹⁰⁾。

さらに平成5年商用化されたデジタル



携帯機では、上記ダイバーシチアンテナについて筐体を含めた総合設計を行って利得を上げ、さらに、ホイップアンテナ収納時も高い利得を確保する工夫を行った。

今後、携帯機はより小型になることが予想され、アンテナは更なる小型、高利得が要求される。このためには、人体の影響も考慮した総合設計が必要になる。さらに将来は、携帯機がどのような使用

状態でも高い利得を得られる追尾などのアダプティブな機能がアンテナに要求されるであろう。

■ポケットベル用アンテナ

ポケットベルは人体に近接して使用されること、受信機の筐体寸法の制約からアンテナ寸法が $1/12 \sim 1/20$ 波長程度と小さいこと、さらに内部受信回路や電池などの影響を大きく受けることが問題であ

る。そこで、アンテナ素子および受信機構造の工夫が必要になる。

人体装着時の利得を確保するために、昭和53年に現在の周波数に移行して以来、最新のNEW数字表示形まで、**図13**に示すループアンテナを使用している¹¹⁾。

このアンテナでは、ループ面が人体に直角になるよう配置することにより、人体に近接した際に生じる鏡像アンテナの電流をループアンテナ本体の電流と同方向となし、人体をうまく利用している。人体近接時は自由空間に比べてピーク利得が約5～6 dB向上し、実際に-15dBd程度の利得を得ている¹²⁾。

また、超小型アンテナの放射抵抗は大変小さいため、各種損失の影響を強く受ける。実際に使用されているアンテナでは、ループ面積に対応した放射抵抗は約0.002Ω程度であるのに対し、アンテナ素子の抵抗損失は約0.15Ω、整合回路の損失が約0.1Ωもあり、アンテナ利得は約-21dBdと低下してしまう。

そこで高利得化の手法として、平成4年から商用化されたパルフィーや昭和63年以降のカード形では、概念を**図14**に示すような、幅広のループアンテナを用いることにより、アンテナ素子の抵抗損失を大幅に低減して利得向上を図っている。

カード形ポケットベルでは厚さを5.1mmと薄くするため、筐体を構成する導体板をループアンテナとして利用し、スペースの有効活用を図っている。パルフィーでは、さらにアンテナと回路とを接続するコネクタやビス部で発生する抵抗損失を徹底的に排除したり、回路部品や電池が近接することによる影響を抑えるため、部品配置や、アースラインなどの回路パターン等の工夫を行っている。

一方、平成4年に商用化された腕時計形のプレシャスでは、容積の制約から十分な感度を持つループアンテナが内蔵できないため、**図15**に示すようなバンドに組み込む、全く新しい発想のアンテナを開発した¹³⁾。これはダイポールアンテナを折り返し構造として短縮し、腕に装着した際の感度劣化が極力少なくなるよう、バンドの腕に接触しない面に組み込んだ

ものである。これにより、腕から外した状態で非常に高い感度を持ち、かつ腕に装着した状態でも十分な感度を確保している。

今後は、限られた容積において最大の利得を得るアンテナ設計法を確立するため、アンテナ素子形状の検討、整合回路の低損失化、内部回路配置の最適化を行うとともに、受信機の一層の小型化、形状の多様化に対応するものを開発していく必要がある。

移動体衛星通信方式用 移動局アンテナ

自動車・携帯電話の人口密度の低い地域へのエリア拡大、ならびに船舶電話の200海里海域へのエリア拡大を狙いとして、衛星を利用した通信方式を開発中である。平成7年に打ち上げ予定のN-STARでサービスの提供を計画している。

移動局装置の開発の重要な課題は、簡易な構成で安価にすることである。周方向の追尾をなくし、構成を簡素化できるものとして**図16**に示す指向性のコニカルビームを用いている。この放射特性ではさらに、衛星方向にのみ指向性を有する

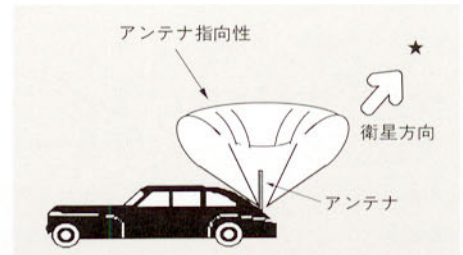


図16 コニカルビームの指向性
Figure 16 Schematic Radiation Pattern of Conical Beam

ため高利得化を図れる特長がある。

小型の移動体にも設置が容易な棒状のアンテナとして、0.1波長程度に細径化できる2線巻ヘリカルアンテナを開発した¹⁴⁾。**図16**の指向性を満足するヘリカルアンテナとしては、**図17(a)**に示す4線巻ヘリカルアンテナがある。

円偏波を放射するためには、4本の線に90°の位相差を与えて給電する必要がある。給電端子をハイブリッドにより2端子に分け、さらに各端子においてバランにより2本ずつの線に分けることにより、所期の給電状態を得ている。また4重に導体線を巻いているため、線数が多くなるという欠点があった。

2線巻ヘリカルアンテナは、4線巻の対向する2本の巻線だけを取り出した構

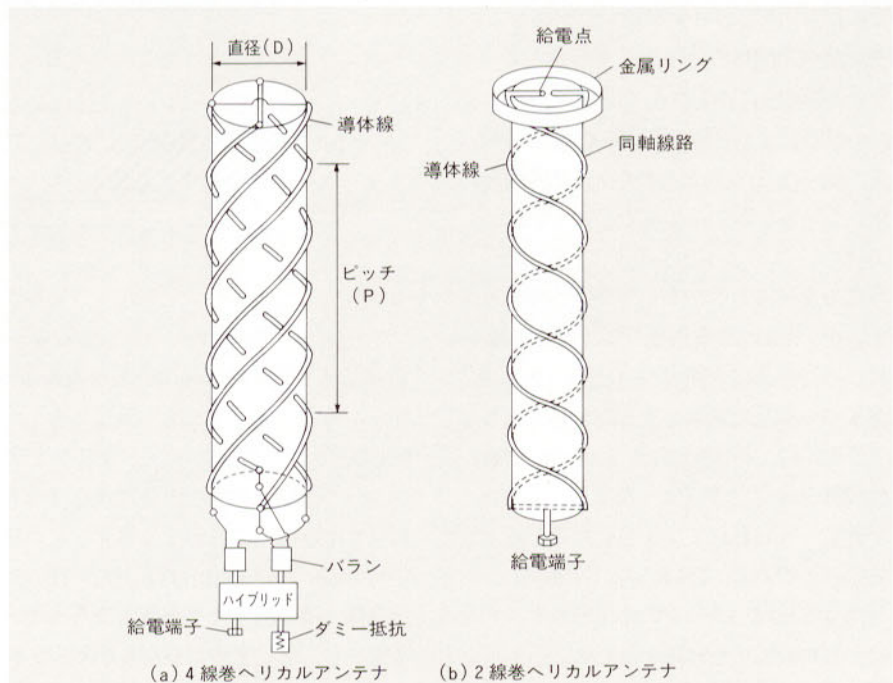


図17 コニカルビームアンテナの構造
Figure 17 Configurations of Conical Beam Antennas

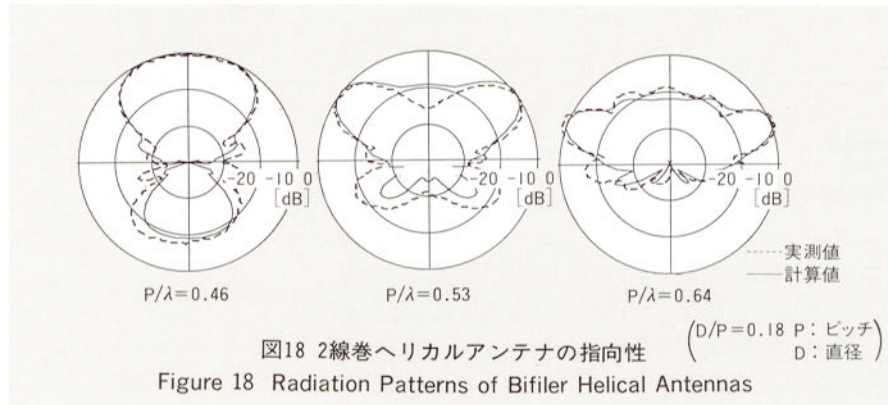


図18 2線巻ヘリカルアンテナの指向性
 Figure 18 Radiation Patterns of Bifiler Helical Antennas

造であり、ハイブリッドとバランを不要とし、構造の簡素化を達成している。本アンテナでは、放射ビームが給電点方向に向かうバックファイア動作となるという制約がある。給電点をアンテナの上部に位置させるため、図17(b)のように同軸線路と導体線でヘリカルを構成している。このときインピーダンスの整合が大きな技術課題であり、給電点位置の周辺に図示するような金属リングを取り付けることにより解決している。

本アンテナは電流がらせん導体上を進行する形式であって、らせんの形状寸法を適切に選択することによりアンテナ軸上の位相分布を制御できる。図18に示すように、様々な仰角特性を有するコニカルビームを実現できる。

車載用アンテナとしては、自動車電話と衛星との共用化も必要となる。2線巻ヘリカルアンテナでは巻線が粗く配置されているとともに下部構造が簡素なため、内部に自動車用アンテナを収納して十分な性能を得ることができる¹⁵⁾。今後、船舶などの移動体における設置状況を含めた要求条件に適合した、各種移動局アンテナを開発する必要がある。

むすび

主に現状技術を中心にして、アンテナ技術を概観した。大雑把にまとめると、これまでは伝搬路を巨視的に見てアンテナの設計がなされてきたといえる。しかし、今後のシステム容量の大幅な増大を達成するにあたっては、伝搬路を微視的な観点から捉えた設計が必要になるもの

と考えられる。すなわち、伝搬路の構造変化に応じて、放射特性の柔軟な制御能力を有した、環境適応能力を備えたアンテナが必要とされるであろう。

文 献

- 1) 三島, 恵比根, 渡辺: “自動車電話方式 基地局アンテナ・共用系”, 研実報, Vol.26, No.7, pp.199-223 (1977)
- 2) 山田, 恵比根, 中嶋, 奈良: “大容量移動通信方式用基地局/移動局アンテナ構成技術”, 研実報, Vol.365, No.10, pp.35-43 (1986)
- 3) 進士: “移動通信”, 9章, 丸善, (1989)
- 4) 斎藤, 恵比根, ほか: “無線基地局系装置”, 本誌, Vol.1, No.1, pp.33-38(Jul. 1993)
- 5) 木島, 山田, 恵比根: “60°半値幅を有する2ビームアンテナの構成法”, 1993年信学春季大会, B-110
- 6) Y.Ebine and Y.Yamada: “A Vehicular - Mounted Diversity Antenna for a Land Mobile Radio”, IEEE Tr. on VT, Vol.40 No.2 (1991)
- 7) 常川, 鹿子嶋, 安藤: “小型無線機アンテナの多重波中利得と筐体長の関係”, 電子情報通信学会論文誌, B-II, Vol. J75-B-II, No.10 (1992)
- 8) K.Tsunekawa and K.Kagoshima: “Correlation Coefficients of Diversity Antennas on a Small Metal Body”, Proc.ISAP japan, 3B1-1 585-588 (1989)
- 9) 向, 常川, 山田: “携帯機ダイバーシチアンテナの相関係数”, 1989年電子情報通信学会春季全国大会, No.B-817 (1989)
- 10) T.Tagu and K.Tsunekawa: “Prformance Analysis of a Built-in Planar Inverted F Antenna for 800 MHz Band Portable Radio Units” Ieee Tr. on SAC Vol.SAC -5,

No.5 (1987)

- 11) 伊藤, 春木, 藤本: “小形携帯無線機用ループアンテナ”, National Technical Report, 19,2, pp.145-154 (1973)
- 12) 長, 板倉: “小形方形ループアンテナの給電点位置と入力インピーダンスの関係”, 信学論 (B-②), J76-B-② No.2, pp145-150
- 13) 板倉, 難波: “腕時計形無線呼出用受信機の構成法”, 1993信学秋季全大, B-233
- 14) 寺田, 鹿子嶋: “移動体衛星通信用円錐ビーム2線巻ヘリカルアンテナ”, 信学技報 AP91-38, p.19 (1991)
- 15) 寺田, 鹿子嶋: “衛星系/地上系移動通信共用車載アンテナの特性”, 信学技報 AP91-65, p.29 (1991)

用語解説

相関係数

2信号間の変動状態の相関関係を表現する量で、ダイバーシチ効果の指標となる。値が0に近いほど各受信信号の相関関係が少ないことを示しており、ダイバーシチ効果が大きくなる。