

アンテナ技術

その3 基地局アンテナ

本稿では携帯・自動車電話方式用基地局アンテナにおいて無線ゾーンの形状など、与えられた設計条件に対する基地局アンテナの構成法と機械的および電気的なアンテナ設計技術について解説する。

まえがき

携帯・自動車電話方式に用いられる水平面内120°ビーム幅（3セクタ無線ゾーン構成用）の基地局アンテナを写真1に示す。このように円筒形レドーム（FRP）の中にアンテナが収容されており、放射素子は外観上見えない。円筒形レドームはアンテナを風雨にさらさず耐候性を確保する目的のほか、円筒形にすることによって風力係数を最も小さくして風圧荷重を低減している。また、放射素子に機械的強度をもたせずレドームでアンテナ全体を支えている。このため、放射素子は機械的強度の弱いプリント化された平面状にすることができ、量産性・経済性に優れた基地局アンテナの設計が可

能となっている。

基地局アンテナを設計する際は、電気的特性を満足させるとともに機械的特性も十分考慮して設計する必要がある。このため、風圧荷重などの機械的設計条件について簡単に説明する。また、レドームの中は平面状に構成された $\lambda/2$ ダイポールアンテナが直線上に多数配列されており、リニアアレーアンテナ構成となっている。このときの素子数は要求されるアンテナ利得によって決定されるが、素子間隔、素子ごとの相対電力比、給電位相なども指向性およびアンテナ利得に影響する。そこで、垂直面内におけるビームチルト機構の動作原理を含めて基地局アンテナ設計に必要なアレーアンテナ技術について説明する。また、前回示した基地局アンテナにおける各パラメータと



写真1 基地局アンテナ群

無線システムの関係について、これらを実現するためのアンテナ設計法に関して解説する。

機械的特性

基地局アンテナの設計で要求される主な機械的条件として耐候性、耐風性、耐震性がある。耐候性については放射素子をFRP（強化プラスチック）のレドーム内に收容することにより風雨・塩害・紫外線などが直接放射素子および給電系に影響しないように対処している。なお、FRPレドームの外層は耐候性を向上させるためエポキシ樹脂（下塗り）とポリウレタン樹脂（上塗り）の2層で塗装されている。







アンテナの耐風性については式(1)に示した風圧力 P より強い応力を持った部材を用いることにより対処できる[1]。

$$P=q \cdot C \cdot A \quad (1)$$

ここで、 q ：速度圧、 C ：風力係数、 A ：見付け面積である。

アンテナの寸法が大きいと風のあたる面積が大きくなり風圧力は大きくなることがわかる。次に、風力係数は表1に示

表1 アンテナ形状と風力係数

アンテナ構造	風力係数
円柱 	0.7
八角柱 	1.4
バラボラ 	2.1
コーナーアンテナ 	1.7~1.9
ヒレ付四角 	2.1
スーパーターン 	1.2

すようにアンテナ断面形状によって決定される。例えば、コーナーアンテナの風力係数は1.7であるのに対して、これを円形レドームで覆うと、風力係数は0.7（高さ/幅 ≥ 25 ）で約60%小さくなる。式(1)から風圧力が60%低減されアンテナを搭載する鉄塔なども強度的に低減されることになる。このようにアンテナの断面形状はできるだけ円形であることが望ましいといえる。

速度圧については2つの指針がある。日本建築学会規準として風速から算出する方法があり式(2)で与えられる。

$$q=1/2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \quad (2)$$

ρ ：空気密度=0.125 [kg・s²/m⁴]
 V_0 ：基準風速 [m/s]

基準風速は再現期間50年の10分間平均風速期待値によると35[m/s]を越える地域は沖縄を含め4つの地域にとどまるが、ここでは瞬間最大風速60[m/s]に耐えることにする。このときの速度圧 q は225[kg/m²]となる。

次に、日本建築学会における鉄塔構造計算規準による速度圧はアンテナ高が16[m]以上では式(3)で与えられる。

$$q=120 \cdot \sqrt[4]{H} \quad (3)$$

H ：アンテナ高

平均的な基地局アンテナ高を70[m]とすると速度圧は347.1[kg/m²]（風速74.5[m/s]相当）となり、風速より算出した値より大きくなるが、安全率を見込んで式(3)により決定している。

耐震性については昭和53年度電気通信技術委員会審議資料中間報告で、1978年宮城県沖地震など最大級の地震を考慮し、震度階VおよびVIの場合の鉄塔上構造体に対する水平作用力が最大5Gにおよぶという見解がある[2]。従って、基地局アンテナは水平加速度が前後左右より

静的に応力が加わるとする。従って、耐震強度 5 G においてアンテナ主要部に働く応力および永久変形に対する安全率を 1.0 以上になるように設計し、機械的に耐える構造とする必要がある。なお、局舎上にあるアンテナ鉄塔に取り付けられた基地局アンテナは局舎と鉄塔の固有振動数と基地局アンテナの固有振動数が一致しないように設計する必要がある。固有振動数が一致すると共振状態となり、震度階が大きくない場合でもアンテナが破壊する可能性がある。例えば、開口長の大きなアンテナ（5 [m]以上）をアンテナ基部 1 点で支えると共振する可能性がある。

アレーアンテナ

多数の放射素子を直線上に配列したものをリニアアレーアンテナという[3]。このほか、放射素子を円形、コンホーマルに配置するなど要求される性能によって最適化されている[4]。放射素子を 2 個以上配列したのがアレーアンテナである。図 1 にリニアアレーアンテナの配置を示すが、素子間隔は等間隔に並べることが多い[5]。ここに示す放射素子は微小ダイポールで素子指向性は等方向性の指向性を有している。素子ごとの電流分布を I_n とし、このときの給電移相は ϕ_n とする。大地に対して垂直方向の角度を θ とし、水平方向を Φ とする。いま、水平方向は考慮せず垂直面内のみとすると、指向性 $G(\theta)$ は式(4)で与えられる[3]。

$$G(\theta) = E(\theta) \sum_{n=1}^N I_n \exp(j\phi_n) \times \exp[jnkd(\sin\theta)] \quad (4)$$

$$k = 2\pi / \lambda$$

$E(\theta)$ は素子指向性、 n は素子数、 d は素子間隔、 k は位相定数、 λ は波長である。

ここで、 $I_n = 1$ 、 $\phi_n = 0^\circ$ とし、等振幅、等位相でアンテナ素子が給電されたとすると式(4)は式(5)のようになる。

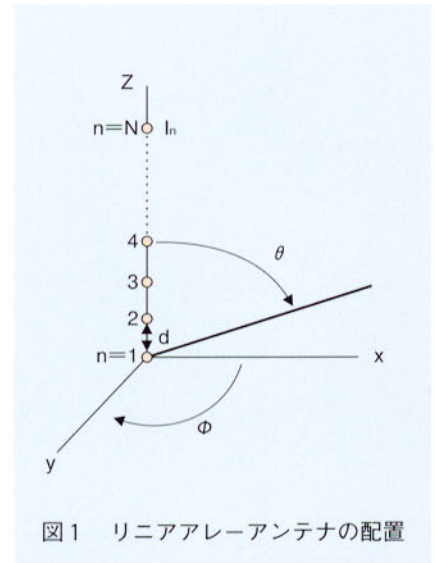


図 1 リニアアレーアンテナの配置

$$G(\theta) = E(\theta) \left| \frac{\sin(n \cdot kd \sin \theta)}{n \cdot \sin(kd \sin \theta)} \right| \quad (5)$$

ここで、 $E(\theta) = \cos \theta$ ($\lambda/2$ ダイポールアンテナを仮定) として、式(5)を用いてアンテナ素子数および素子間隔に対するアンテナ利得を計算すると図 2 のようになる。この結果、アンテナ間隔を一定にして素子数を 2 倍にすると、最大利得付近では約 3.0dB だけアンテナ利得が増加する。また、素子数を一定にして素子間隔を大きくすると、アンテナ利得は約 1.0 波長付近で最大となることがわかる。素子間隔を 1.0 波長以上にするとグレーティングローブが発生しアンテナ利得は低下する。従って、リニアアレーアンテナの素子間隔は 1.0 波長以下とすることが望ましいことになる。

図 3 は素子数を 12 素子とし、素子間隔 0.6 波長とした場合の指向性の計算例を示したものである。実線はアンテナに給電される電流分布（電力の比）と給電位相を変えて低サイドローブ化を図り、主放射方向を 6° ずらしたものである。点線は式(5)を用いて等振幅、等位相で給電した場合の指向性を示す。このように電流分布と給電位相を変えることにより指向性は制御できることになる。

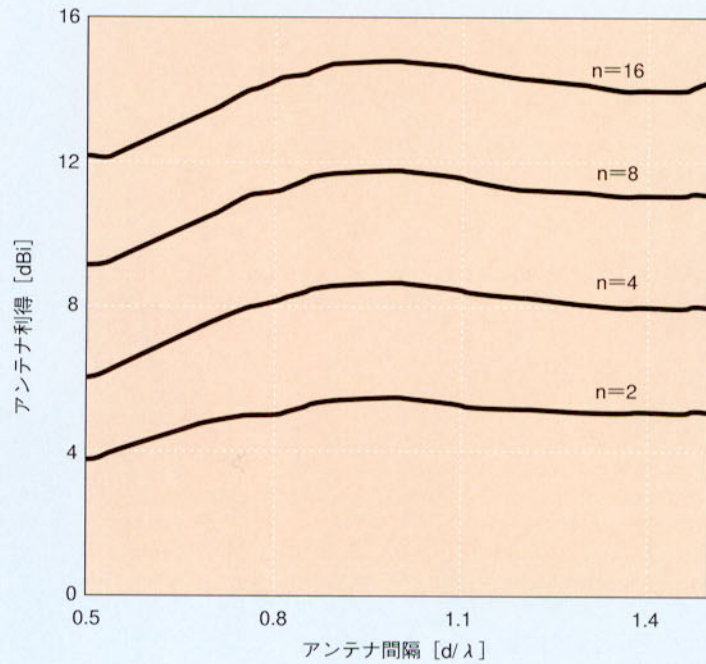


図2 素子数と素子間隔に対するアンテナ利得

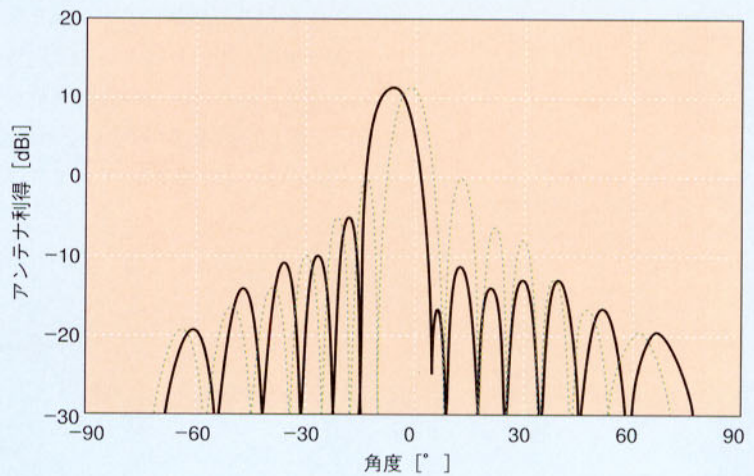


図3 アンテナ指向性

これまで、垂直面内について述べてきたが、水平面内についても同様にアレーアンテナ構成を応用できる。例えば、水平面内のビーム幅を変化させるためには2つの放射素子を一定間隔離して配置することにより実現できる。図4は式(4)において $n=2$ 、 $d=0.5\lambda$ とし、同位相

で電流分布 I_n を変化させた指向性の計算結果を示したものである。このときの素子指向性 $E(\theta)$ は $\cos(\pi/2 \cdot \sin \theta)$ で表わし、水平面内ビーム幅 120° を有する振幅指向性を数式化している。

この結果から、2つの放射素子の電流分布の相対比を1:0.1から1:1まで

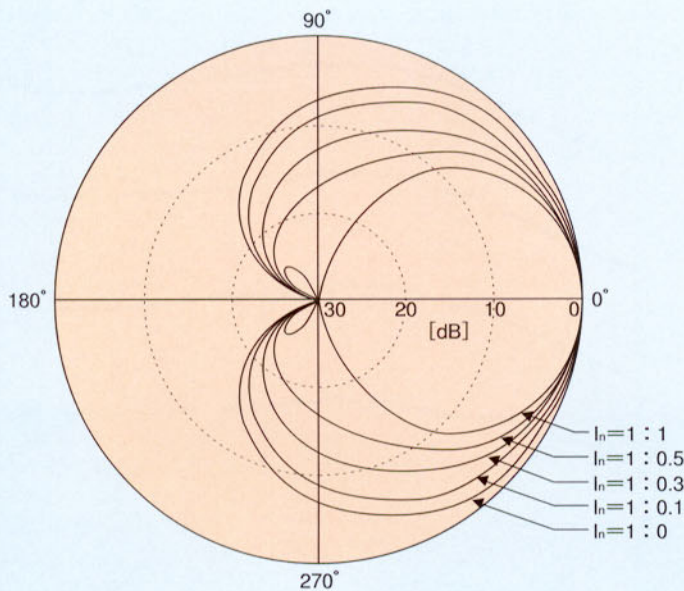


図4 水平面内指向性

変化させることによりビーム幅を約95°から約60°まで変化できることがわかる。すなわち、120°ビーム幅であれば1素子単体を用いればよく、60°ビーム幅とするためには2つの放射素子を等振幅・同位相で給電すればよいことになる。以上のように、アレーアンテナは指向

性合成によって次のような機能をもつことになる[3].

- ① 指向性の主ビームの幅を変化できる。
- ② サイドローブを抑圧したり、そのレベルを制御できる。
- ③ 指向性中の零点の位置を指定できる。
- ④ 所望のアンテナ利得を得ることができる。
- ⑤ 所望の指向性を得ることができる。

ビームチルト機構

基地局アンテナにおけるビームチルトとは垂直面内において主ビーム方向を変化させることをいう。図5に基づいて動作原理を簡単に説明する。ここで、アレーアンテナの素子間隔 d 、ビームチルト角 θ_i とする。#1から#4の放射素子の相対的な給電線路長を $l_1 < l_2 < l_3 < l_4$ とすることにより主ビームは下方に向くことになる。このときの隣接する各素子ごとの相対的な移相量 $\Delta\phi$ は、

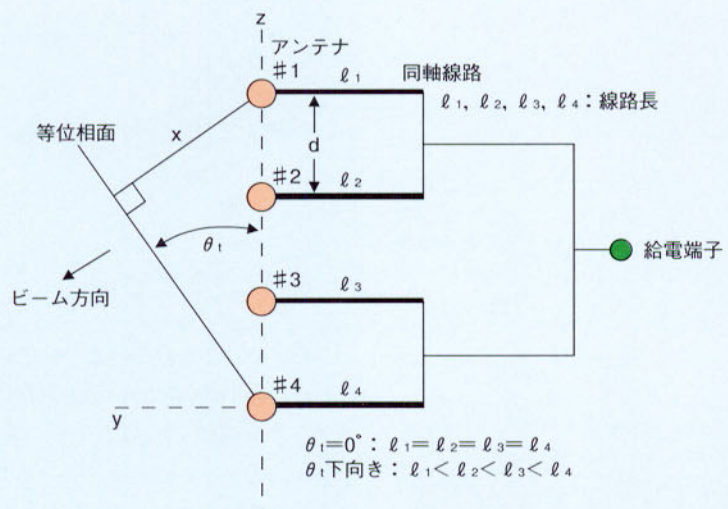


図5 ビームチルト機構の説明図

$$\Delta\phi = d \cdot \sin\theta_i \cdot 2\pi \quad (6)$$

となる。ここで、各放射素子の位相を等位相面（ビームチルト角）に合わせるためには給電線長 l_i は最も遅れさせる必要があるため、 $l_i = 3 \Delta\phi \cdot \lambda / 2\pi$ となる。なお、移相量は給電線路の長さを調整することにより任意に変化させることができる。また、ビームチルト角は素子間隔と給電線路長が周波数に対して同じように変化するため、周波数特性をもたない。

以上は電氣的にビームチルトさせる場合について述べたが、機械的にもビームチルトは可能である。ただし、式(7)に示すように $\phi = 90^\circ$ （側面方向）で $\theta_i = 0^\circ$ となり水平面内において実効的なビームチルト角 θ_e が一定にならない欠点がある。

$$\theta_e = \theta_i \cdot \cos\phi \quad (7)$$

次に給電線長を可変して移相量を変化させる移相器について説明する。基地局アンテナに用いる可変移相器の設計条件を以下に示す。

- ① 相互変調積が生じないこと。
- ② 10W／キャリア程度の送信電力に耐えること。

- ③ 移相時の不連続が生じないこと（スイッチングは不可）。
- ④ 耐候性に優れ、信頼性が高いこと。
- ⑤ できるだけ自動的に移相量を変化し、経済性に優れること。

以上の条件を満足する移相器の構成例を図6に示す。なお、基地局アンテナは6ブロックのサブアレーアンテナから構成されているため、給電端子はp1からp6に分割されている。移相器は円弧状のマイクロストリップ線路と3分岐された線路で構成されており（駆動装置により回転する）、それぞれの結合は容量性となっており非接触型としている。また、給電点にあるマイクロストリップ線路と3分岐線路合成部分との結合も容量性としている。このような構成とすることにより金属同士の接触を避け非線形性をなくし、放電性の雑音と相互変調積の発生を防いでいる。

いま、基地局アンテナの位相中心をp3とp4の中間にして各円弧状のマイクロストリップ線路中央部分が移相量 0° とする。そこで、3分岐線路が回転することによりブロックごとの移相量に変化しビームチルトができることになる。なお、この構成ではブロック内部の移相量を任意に変えできない欠点がある。

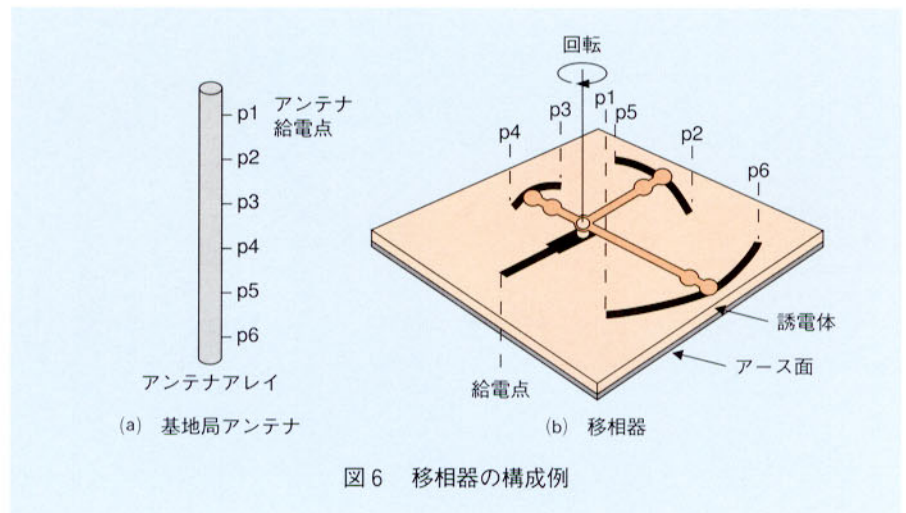


図6 移相器の構成例

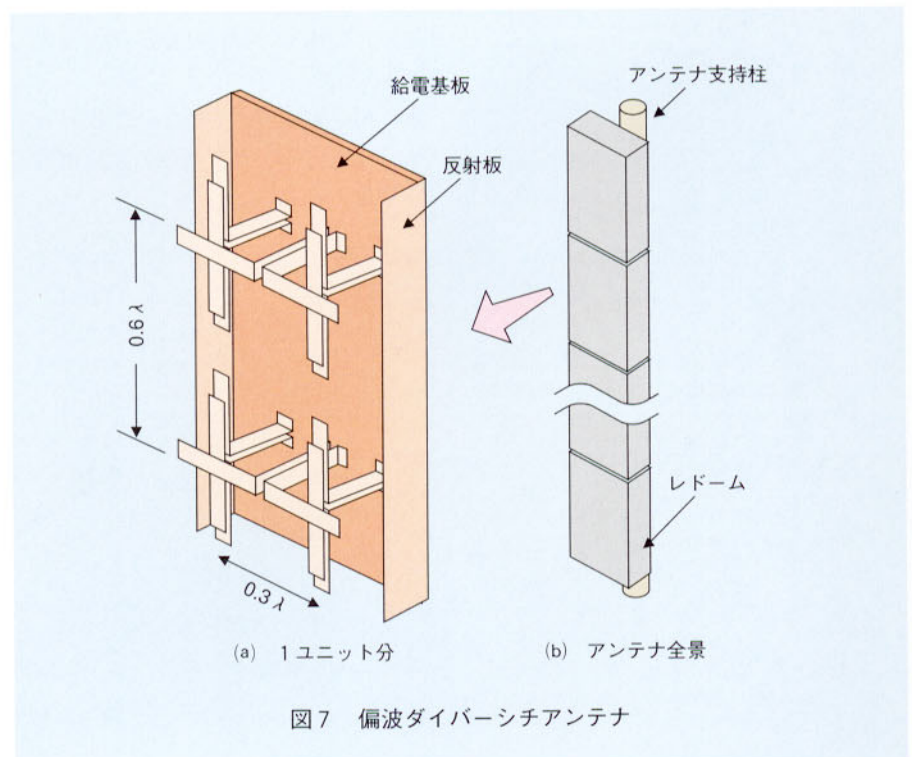
アンテナ構成法

基地局アンテナの構成は垂直面内はアレーアンテナ構成としているが、水平面内ではそれぞれ所要のビーム幅（無線ゾーン構成に依存）によって適正化している。水平面内指向性を変化させるためには前述のようなアレーアンテナ構成のほかコーナレフレクタアンテナがある[6]。基地局アンテナに用いられるコーナレフレクタアンテナについてはすでに2周波共用も含めて報告しているので説明を省略する[7]，[8]。

アンテナ構成においてスペースダイバーシチ用基地局アンテナは垂直偏波用アンテナを物理的に離して2つ以上配置するため比較的簡易になる。しかし、偏波ダイバーシチは垂直偏波用アンテナと水平偏波用アンテナを同一面内で構成する必要があるためアンテナ構成が複雑になる。図7はダイポールアンテナを用いた場合の偏波ダイバーシチアンテナの構成

例を示したもので金属反射板上に垂直偏波用アンテナと水平偏波用アンテナを配置している[9]。垂直偏波用アンテナと水平偏波用アンテナの水平面内指向性を一致させるため（ビーム幅は約70°）垂直偏波用アンテナは2素子のアレーアンテナにしている。なお、水平偏波用アンテナは受信帯域のみでよいため比帯域は狭くてよいが、垂直偏波用アンテナは送受信帯域とするため広帯域化が必要となる。このため、垂直偏波用アンテナにはインピーダンス調整用の無給電素子がとりつけられている。

次に、マイクロストリップアンテナを用いた場合の偏波ダイバーシチアンテナ構成例を図8に示す[10]。同図(a)に示すようにマイクロストリップアンテナは平板状の誘電体基板に構成され給電点方向に偏波（電流の向き）が生じる特徴をもっている[11]。従って、同図(b)のように水平と垂直に同時に給電することができ、同一アンテナで2つの偏波を発生させることができる。このアンテナは2×4の



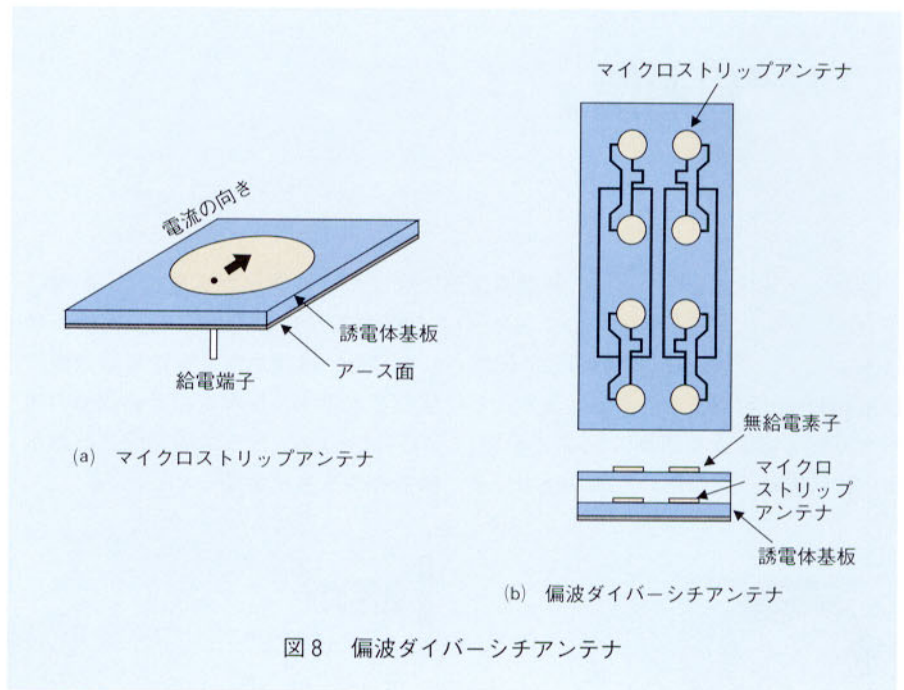


図8 偏波ダイバーシチアンテナ

アレーアンテナ構成になっており、水平面内ビーム幅は 60° から 110° まで可変できる構造になっている。なお、放射部の形状は円形もしくは正方形どちらでもよい。また、一般にマイクロストリップアンテナは狭帯域であるため、放射素子上面に無給電素子を取りつけ、帯域を拡大している[12]。

文献

- [1] 日本建築学会編：“鉄塔構造計算標準・同解説”，技報堂，1962.
- [2] 電気通信技術委員会編：“昭和53年度電気通信技術委員会審議資料中間報告”，日本電信電話公社，1979，9.
- [3] 電子通信情報学会編：“アンテナ工学ハンドブック”，オーム社，5章，1980.
- [4] 本郷：“アンテナの基礎理論と設計法”，リアライズ社，第4章，1993.
- [5] 後藤：“図解・アンテナ”電子情報通信学会，第4章，1995.
- [6] JASIK：“Antenna Engineering Handbook”，Mc-Grow Hill，p11-1-p11-10，1961.
- [7] 恵比根，伊藤：“1.5GHz/800MHz 共用基地局アンテナ”，本誌，Vol.2，No.2，pp.16-19，July，1994.
- [8] 恵比根：“移動通信用基地局2周波共用 120° ビームアンテナの設計”，信学技報A・P97-73，1997-07.
- [9] 魯，茹込：“800MHz帯広帯域偏波共用アンテナ”，1996信学会総合全大，B-153，1996.
- [10] 中嶋 ほか：“ハニカムを用いた二重円形マイクロストリップアンテナ”，昭60信学会総合全大，711，1985.
- [11] 羽石（監修）：“最新平面アンテナ技術”，総合技術センター，第2章，1993.
- [12] 多賀，三島，兼堀：“UHF帯マイクロストリップアンテナの広帯域化”，昭56信学会総合全大，621，1982.