

アンテナ技術

その1 アンテナの基礎

アンテナ技術に関して、その基礎から応用編まで4回に分けて解説する第1回目の基礎編である。アンテナの基礎知識としてのアンテナ特性を評価するために必要な各種用語の説明、移動通信に用いられるアンテナの種類とその特徴を示すと共に、線状アンテナの解析手法について簡単な解説を行っている。

まえがき

「いつでも」「どこでも」「だれとでも」という移動通信システムを実現するためには無線通信技術が必要となる。無線通信では電波を空間に放射し、それを送受信するために必ずアンテナが取り付けられる。「アンテナ」とは昆虫の触角の意味もあり、アンテナの性能がシステムの良否または生体の生命を左右することになる。

無線通信において重要な技術の一つであるアンテナ技術について基礎技術から応用技術まで4回にわけて解説する。本稿では第1回目としてアンテナの基礎技術について解説する。

アンテナとは^[1]

伝送系と自由空間とが結合する部分をアンテナといい、アンテナの果たす役割はこの両者の間における電磁エネルギーの授受をつかさどることにある。この電磁波問題を解析するためにはマックスウェルの方程式の理解が必要となる。ここでは、アンテナなどの理解を困難にしているといわれているマックスウェルの方程式にふれず^[2]、実用面を重視しながらアンテナに関する話を進めていく。なお、線状アンテナの特性解明に必要な理論的解析手法については簡単に後述する。

一般に、アンテナの種類は線状アンテナ（ダイポールアンテナ、八木アンテナ、平面アンテナなど）と開口面アンテナ（パラボラアンテナ、ホーンアンテナなど）

に大別できる^[3]。現在、移動通信が使用している周波数はVHF帯（30～300MHz）とUHF帯（300～3000MHz）であり、線状アンテナが多く用いられている。例えば、PDC基地局アンテナはダイポールアンテナを平面化した多素子配列のアンテナとなっている。

アンテナパラメータ^{[4]~[5]}

アンテナを実用するときはその特性を評価するのに、指向性、アンテナ利得、入力インピーダンスが用いられ、その他アンテナパラメータとして偏波、効率などがある。

■指向性

図1に示すように、アンテナから放射される電界をその最大強度で正規化して角度 (θ, ϕ) の関数として表したものを電界指向性と呼んでいる。大地に対して垂直方向（Z-X面）を垂直面内指向性、水平方向（X-Y面）を水平面内指向性という。

指向性を評価するパラメータとして、電力半値幅、サイドローブレベル、前後比などがある。サイドローブがなく、前後比が大きいアンテナが性能が良いとされているが、サイドローブなどがないアンテナを設計することは極めて困難である。

■アンテナ利得

アンテナ利得とはアンテナからある方向へ放射される電波の電力密度と同一の

えびね よしお
恵比根 佳雄

つねかわ こういち
常川 光一

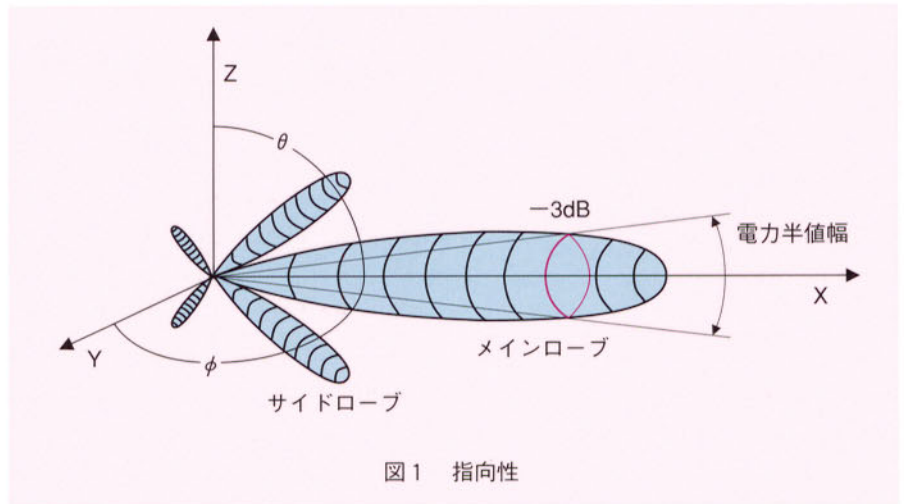


図1 指向性

電力を供給されている基準アンテナにより同一距離の点に放射される電波の電力密度の比であり、式(1)のように表すことができる。アンテナ利得は放射方向 $G(\theta, \phi)$ の関数であるが、方向を特定しない場合は最大放射方向を表す。(図1においてx軸方向となる)。

$$G(\theta, \phi) = \frac{|E(\theta, \phi)|^2}{W} / \frac{|E_0|^2}{W_0} \quad (1)$$

ここで、 $E(\theta, \phi)$ 、 E_0 はそれぞれ考えているアンテナおよび基準アンテナにより同一距離の十分遠方の点に放射された電界強度で、 W 、 W_0 はそれぞれ両アンテナへの入力電力である。

基準アンテナをすべての方向に一樣に電力を放射する仮想的なアンテナとした場合の利得を絶対利得と呼んで、dBi (iはisotropic) と表示している。また、基準アンテナを半波長アンテナ (損失のない理想的な完全半波長アンテナ) とした場合には相対利得と呼びdBd (dはdipole antenna) と表示している。半波長アンテナの利得が約2.15dBiであることから、それぞれの関係は次のようになる。

$$\text{dBi} \doteq \text{dBd} - 2.15[\text{dB}] \quad (2)$$

このほか、特定の方向への電力密度と全

放射電力を全方向について平均した値との比 G_0 を指向性利得として表され、次式で与えられる。

$$G_0(\theta, \phi) = \frac{|E(\theta, \phi)|^2}{Z_0} / \frac{W_r}{4\pi r^2} = \frac{4\pi |E(\theta, \phi)|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |E(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi} [\text{dBi}] \quad (3)$$

ここで、 $|E(\theta, \phi)|$ は考えているアンテナにより距離 r の点に放射される電界強度で、 W_r は放射電力を表す。

これは指向性があるために生ずる利得と考えられ、電力指向性の形さえわかれば決定できる。いま、アンテナの入力電力に対する放射電力の割合である放射効率を η とすると、絶対利得 G_0 と指向性利得 G_d との関係は以下の通りである。

$$G_0(\theta, \phi) = \eta G_d(\theta, \phi) \quad (4)$$

無損失のアンテナは絶対利得と指向性利得が等しい。

■入力インピーダンス

アンテナの端子電圧 V はその給電電流 I に比例し、それらの比から定義されるインピーダンス Z をアンテナの入力インピーダンスと呼び、次のような複素数で表される。

$$V/I = Z = R + jX \quad (5)$$

ここで、 R を入力抵抗、 X は入力リアクタンスと呼ぶ。

一般に、伝送系の特性インピーダンスは 50Ω であり、アンテナとの整合をとるためには $R = 50 \Omega$ 、 $X = 0 \Omega$ が最も望ましいアンテナとなる。

また、給電電流が I であるアンテナの全表面から放射される複素電力を $|I|^2$ で割ったもので定義されるインピーダンス Z_r を放射インピーダンスと呼ぶ。

■偏波

平面波の電界強度が特定方向にあり、一定の面内において変化しない場合を直線偏波という。電界が大地に対して垂直の場合を垂直偏波といい、移動通信などで用いられている。また、大地に対して

電界が水平の場合を水平偏波といい、テレビ放送などで用いられている。互いに直交する同相でない直線偏波が伝搬方向に向かって、ある一定場所において電界ベクトルが時間と共に一定の大きさを左(右)回りにまわる場合を左(右)旋円偏波とよぶ。衛星移動通信などに用いられている。

アンテナの種類 ^[5]

無線技術の進歩とともに、多種多様なアンテナが様々な用途で使われている。ここにすべてのアンテナを列挙することはできないが、線状アンテナとしての基本的な構造を図2に示す。また、それらのアンテナの特徴について表1に示す。

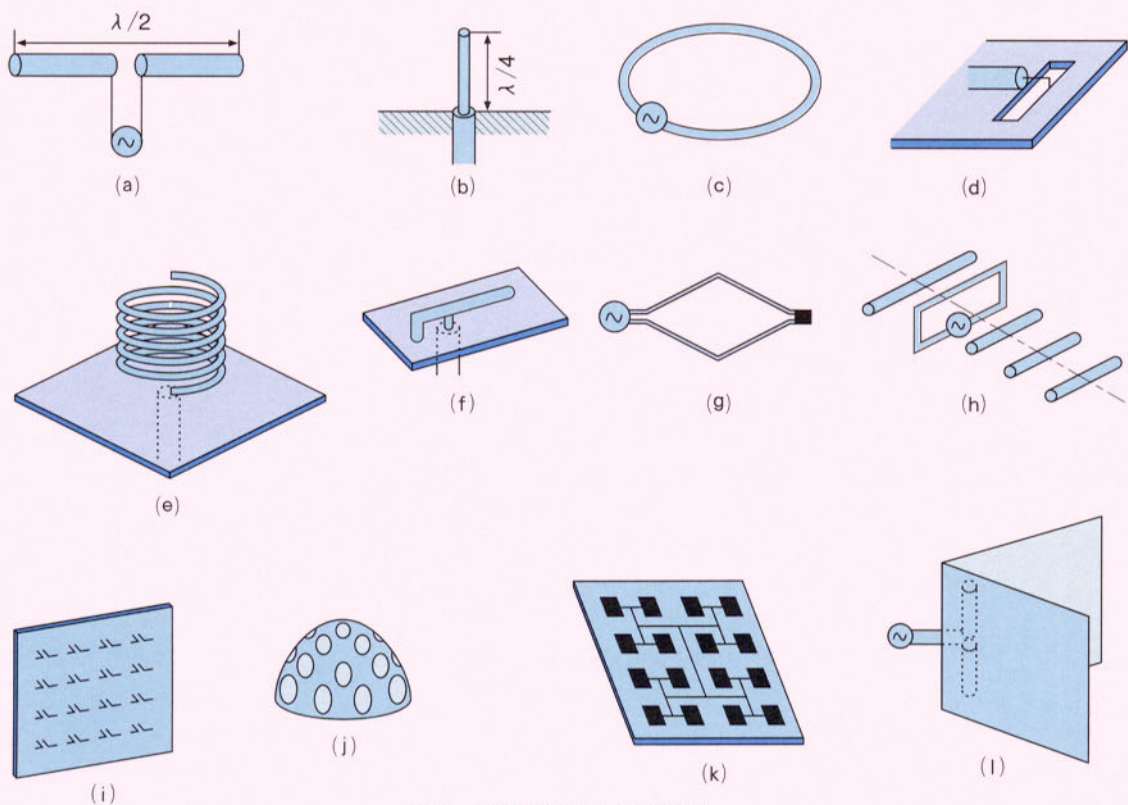


図2 線状アンテナの構造図

表1 アンテナの構造と特徴

記号	アンテナの名称	特徴	用途
(a)	ダイポールアンテナ	アンテナの基本となるもので、1/2波長のアンテナがよく用いられている。平板またはプリント化したものも基本的には同じである。	移動通信用基地局アンテナなど
(b)	モノポールアンテナ	ダイポールアンテナ長を半分にし、地板を取り付けるため垂直面内指向性は上向きになる。インピーダンス整合が取りやすい。	車載用アンテナなど
(c)	ループアンテナ	水平偏波とする場合によく用いられている。ポケットベル無線機などの小型アンテナとしても用いられている。	放送用送信アンテナなど
(d)	スロットアンテナ	導波管給電により構成が簡素になり、周波数が高い場合の素子アンテナとして用いられている。	衛星放送受信アンテナなど
(e)	ヘリカルアンテナ	円偏波を発生させることができ、ヘリカルの巻き方（ピッチ、径、巻数）により変化する。	衛星移動車載用アンテナなど
(f)	逆Fアンテナ	携帯無線機における内蔵の小型アンテナとして用いられている。(b)の先端を90°曲げたものを基本としている。	携帯無線機用アンテナなど
(g)	ロンビックアンテナ	線路上に進行波が生じ、アンテナの負荷に向かって主ビームが発生し、水平偏波となる。	短波通信用アンテナなど
(h)	八木宇田アレイアンテナ	単一方向にアンテナ利得を有する。一点給電で無給電素子の素子数によって利得を制御できる。	テレビ受信アンテナなど
(i)	2次元ダイポールアレイアンテナ	(a)のアンテナを複数配置したもので、特定方向に対して、アンテナ利得が素子数に対応して大きくできる、また、ビームを制御できる。	レーダ、基地局アンテナなど
(j)	半球面パッチアレイアンテナ	半球面内でビーム方向を制御でき、基本素子を平面パッチアンテナとしている。ここで示したものは円形で素子長は1/2波長である。	衛星移動車載用アンテナなど
(k)	マクロストリップアレイアンテナ	平面パッチアンテナを複数配置したもので、基本的には(i)と同じ。	レーダ、衛星放送受信アンテナなど
(l)	コーナーレフレクタアンテナ	ダイポールアンテナに反射板を取り付けたもので、反射板の角度、大きさを変えると指向性が変化する。	移動通信用基地局アンテナなど

アンテナの特性解析法

アンテナパラメータを求める手段には実験と解析がある。しかし、例えば長さ5mの800MHzPDC用基地局アンテナの放射指向性パターンを実験により得るには、アンテナから150m以上も先で電界強度を測定しなければならず大規模な測定設備が必要になる。一方、数値解析を行えばワークステーション内でこれらを得ることができる。特に近年の計算機能力の向上により比較的容易に大きく複雑なアンテナも解析が可能になってきた。ここでは、移動通信で多く用いられている線状アンテナを取り上げ、その代表的な解析法の特徴を説明する。

■数値解析法の基本

指向性、入力インピーダンスなどのアンテナパラメータはアンテナ上の電流分布により決定される。自由空間中ではアンテナの形状が電流分布を決定する。線状アンテナではアンテナの端で電流が0となるような定在波電流となる。ただし、アンテナに人体やプラスチックなどの誘電体が近づくと、そちらにもわずかながら電流が流れてアンテナ上電流分布が変化する。

従って、アンテナの形状、周囲物の形状/材質および使用周波数（波長）が与えられた時、それらより数値計算によってアンテナ上の電流分布を求めることが数値解析法の基本である。

■代表的な解析法

移動通信で多く用いられる線状アンテ

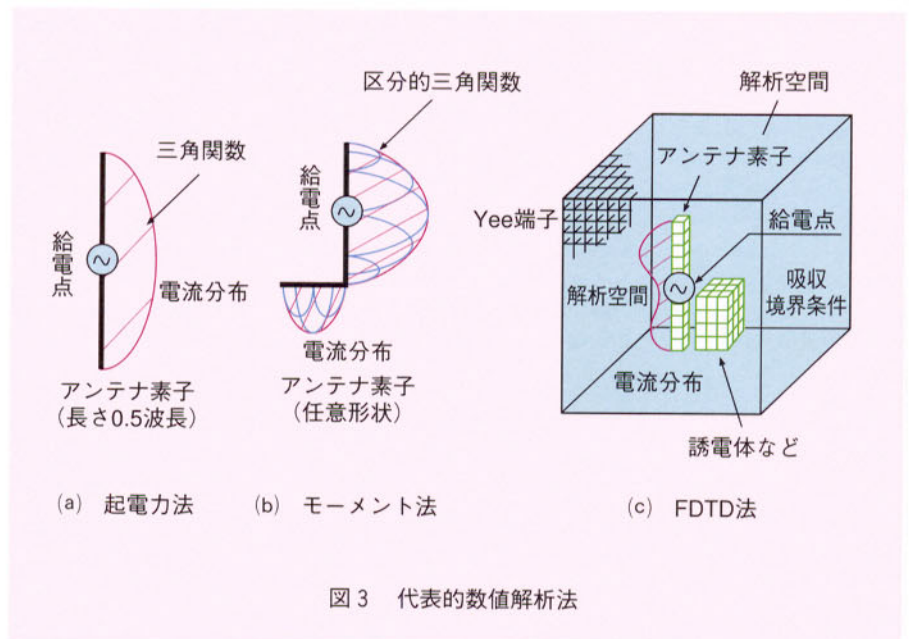


図3 代表的数値解析法

ナの場合、アンテナ上電流分布の決定法は大きく分けて以下の3種類がある。

- ① 電流分布を予想し、その形に近い関数で与える（起電力法など）。
- ② いくつかの関数の和で与える（変分法、モーメント法など）。
- ③ アンテナ、周囲物、周囲空間をすべてシミュレーションして求める（FDTD法など）。

これらは、①②③の順に複雑なアンテナに対応可能となるが、同時に高い計算機能力（CPU速度、メモリ量）も必要となる。以下簡単に例を挙げて説明する。

(1) 起電力法 [6]

図2(a)の0.5波長線状アンテナのようにあらかじめ電流分布がかなり正しく予想できる場合、図3(a)のように適当な関数（sin関数など）で電流分布を決めてしまうものである。従って、ほとんど数値的な計算は必要としないが、電流分布が実際と一致する保証はない。結果として、放射指向性パターンなどがよく一致して初めて予想した電流分布が正しいことがわかる。ただし、非常に簡易であるので、

0.5波長線状アンテナを多数配列したアンテナ（アレイアンテナ）のおおよその特性を得る場合などに有効である。

(2) モーメント法 [7]

図3(b)のように複雑な電流分布を、例えば小さく分割した領域のみの関数の和で表す方法である。アンテナ上電流分布が予想できないような複雑な形状のアンテナにも適用可能である。ただし、急激な電流変化をしている部分では細かく分割して電流分布を近似するなど、計算モデルの工夫が必要になる。従って、試行錯誤的に計算モデルを変えながら、現実を良く表した結果を導き出す作業をしなければならぬ。また、人体など誘電体がアンテナ近傍にある場合は計算式が複雑となるとともに、材質の電気特性を考慮したモデル化が必要になる。

(3) FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法 [8]

図3(c)に示すように、アンテナおよびその周囲空間をすべて計算機の中でモデル化し、かつ時間経過を含めてシミュレーションしてしまう方法である。従って、膨大な計算機メモリと計算時間を必要とするが、人体などを含めた複雑な物体と

複雑なアンテナの解析が可能である。また、複素数を含む計算式を用いないので基本の計算式が簡単である。さらに、時間的な電磁界の変化が計算されるので比較的現象を理解しやすい。

最後に、数値解析とは「計算機の中で実験をやっている」ようなものと考えべきである。すなわち、通常の実験と同じく、対象とするアンテナに応じた測定法（パラメータやモデル）の最適化により実験誤差を減らす工夫をしたり、何度も繰り返し実験（計算）して真の結果に近づける努力が必要である。

文献

- [1] 飯島：“2.アンテナの基礎理論-2.1 電磁界理論からみた開口面放射器の理論”，電気通信学会誌，Vol.48，No.4，p533，1965.
- [2] 後藤：“新しいアンテナ工学”，オーム社，1986.
- [3] 電子通信学会編：“アンテナ工学ハンドブック”，電子通信学会，1980.
- [4] 永井，佐藤，遠藤：“アンテナ工学”，日刊工業新聞社，1969.
- [5] 長谷部：“電波工学”，コロナ社，1995.
- [6] Carter, P. S.：“Circuit Relations in Radiating Systems and Applications to Antenna Problems”，Proc. IRE., 20, 6, p.1004(1932).
- [7] R. F. Harrington：“Field Computation by Moment Methods”，Robert E. Krieger Publishing Com. Inc.(1968).
- [8] A. Taflove：“Computational Electrodynamics / The Finite-Difference Time-Domain Method”，Artech House 1995(1995).