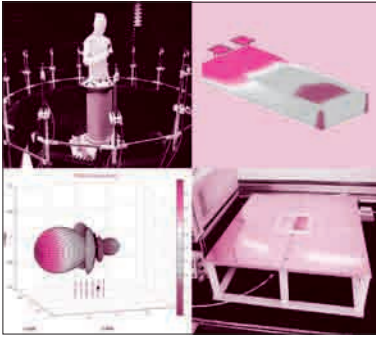


特集



第4章 ホーン・アンテナやパラボラ・アンテナの動作原理や特性など

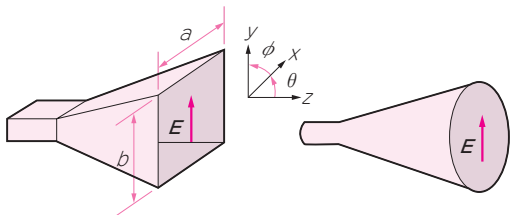
開口面アンテナの基礎

小川 晃一
Koichi Ogawa

線状アンテナや平面アンテナは数GHz以下の比較的低い周波数で多く使われます。10 GHz以上になると、電波の出入口に開口を持つ開口面アンテナが使われます。30 GHz以上のミリ波と呼ばれる周波数帯は、高速ブロード・バンド通信用の周波数として最近注目されています。本章では、そのような高周波における最も基本的なアンテナである、ホーン・アンテナとパラボラ・アンテナの二つを取り上げます。

4.1 ホーン・アンテナ

図4.1のように導波管の喉元から徐々に角錐状に広げた「角錐ホーン・アンテナ」および円錐状に広げた「円錐ホーン・アンテナ」があります。これらは「電磁ラップ」とも呼ばれます。写真4.1は円錐ホーン・



(a) 角錐ホーン・アンテナ (b) 円錐ホーン・アンテナ

〈図4.1〉角錐ホーン・アンテナと円錐ホーン・アンテナ



〈写真4.1〉円錐ホーン・アンテナの例

アンテナの実例です。本章では最もよく使われる角錐ホーン・アンテナについて説明します。

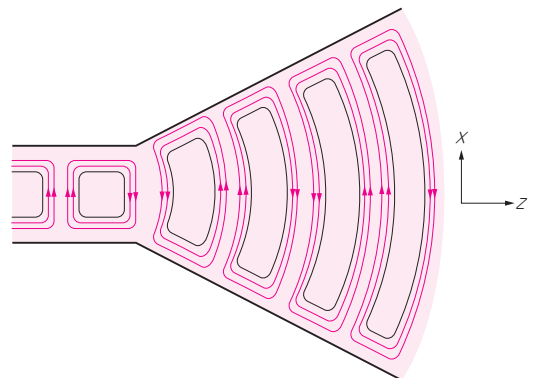
■ TE₁₀からTEMへのモード変換器

方形導波管の電磁波の伝搬モードはTE₁₀波です。導波管を単に一端で切断しても電磁波が放射されますが、切り口で急激に環境が変化するので電磁波の反射が起き、効率よく放射されません。そこで切り口を徐々に広げていくと図4.2に示すように、伝搬モードがTE₁₀波から平面波のTEM波に無理なく変換されて、電磁波が効率よく空間に放射されます。

マイクロ波回路ではサイズの異なった導波管を接続するのにサイズを徐々に広げるテーパ導波管変換器を使います。角錐ホーンは、これと同様にTE₁₀波(導波管)からTEM波(自由空間)へのモード変換器と考えるてもよいでしょう。

■ 指向性

角錐ホーンの指向性は、開口の電界分布を2次波源として計算でき、「等価定理」と呼ばれます。これは放射界が導波管内部の励振部分を考慮しないで、アンテナが励振された結果として生じた開口における電磁界分布のみを使って計算できることを示しており、光のホイヘンスの定理を電磁気学的に置き換えたものです。



〈図4.2〉角錐ホーン断面の磁力線

この原理を応用してホーン・アンテナの指向性を求めます。ホーン開口における規格化した電界分布はTE₁₀波とほぼ等しく、図4.3に示すようにx方向に対しては余弦状、y方向には矩形状です。すなわち、

$$E(x) = \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) \quad \left(\text{ただし}|x| < \frac{a}{2}\right) \dots\dots (4.1)$$

$$E(y) = 1 \quad \left(\text{ただし}|y| < \frac{b}{2}\right) \dots\dots (4.2)$$

となります。これによる遠方界は各部の電界の足し合わせになりますから、zx面およびzy面それぞれに対して次式で求められます。

zx面▶

$$f(u) = \int_{-a/2}^{a/2} \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{jk_x \sin\theta} dx = \frac{2a}{\pi} \frac{\cos u}{1 - (2u/\pi)^2} \dots\dots (4.3)$$

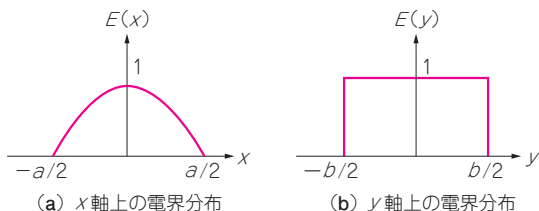
zy面▶

$$f(v) = \int_{-b/2}^{b/2} e^{jk_y \sin\theta} dy = b \frac{\sin v}{v} \dots\dots (4.4)$$

ここで式(4.3)では $u = \pi a \sin\theta / \lambda$ 、式(4.4)では $v = \pi b \sin\theta / \lambda$ です。θは図4.1に示す開口正面(z方向)から測った角度です。式(4.4)のように矩形状の電界分布はsinc関数(sinx/xのように正弦関数をその変数で割って得られる関数)で与えられます。これから開口分布と遠方界がフーリエ変換の関係にあることがわかります。実際、遠方界から開口分布を推定するのに逆フーリエ変換が使われます。

図4.4に式(4.3)と式(4.4)から求めた指向性を示します。図からzx面と比較してzy面の指向性が鋭いことがわかります。一方、主ビームの左右にあるサイド・ローブ・レベルはzx面のほうが低いことがわかります。これは開口面アンテナの一般的な性質であって、式(4.2)のように一様な開口分布のとき最も狭い指向性が得られ(高い利得に対応する)、式(4.1)のように開口の分布にテーパを設けると利得は下がりますが、低いサイド・ローブが得られます。

開口面の大きさと指向性の鋭さの関係を調べてみましょう。式(4.4)のsinc関数で主ビームに最も近くて放射レベルがゼロになる角度θ₀(指向性の第1ヌル点と呼ぶ)を求めると、



〈図4.3〉 開口の規格化した電界分布

$$\theta_0 = \sin^{-1} \frac{\lambda}{b} \dots\dots (4.5)$$

となります。したがって $b = 3\lambda$ および 7λ に対して、それぞれ $\theta_0 = 19.5^\circ$ および 8.2° となります。

上記の計算では、開口の電界は等位相であるとした。しかし実際にはホーンの開口面の中心と周辺付近の経路差によって電界には位相差が生じます。このような位相分布も考慮した場合の立体指向性を図4.5に示します。図(a)によると、zy面に対してsinc関数の指向性が山脈のように連なっていることがわかります。また図(b)からはzx面に対して広い指向性ビーム幅と低いサイド・ローブ・レベルが確認できます。さらに図4.5では式(4.5)で求めた角度においてヌルが完全にできず、緩慢な指向性になっています。これは開口面の位相の不均一性によって、放射の打ち消しがある角度方向で起こらないからです。

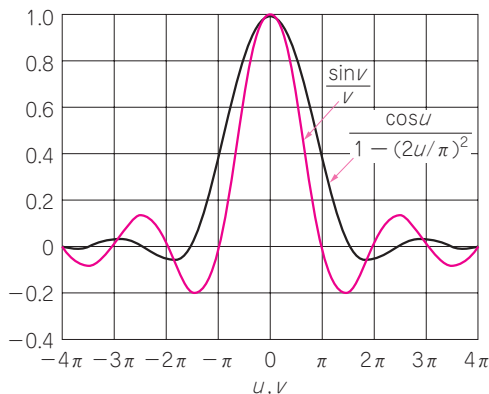
■ 利得

角錐ホーンの利得は図4.1の開口寸法(a, b)を使って、

$$G = \frac{4\pi ab}{\lambda^2} \eta \dots\dots (4.6)$$

で表されます。ここでηは「開口効率」と呼ばれ50～60%程度の値をとります。式(1.39)との比較から角錐ホーンでは実効面積が開口の半分程度であることがわかります。これは、上述したようにx方向の電界分布が余弦状であることと、開口分布の位相差によるものです。利得の数値例を示すと、周波数26 GHz(λ = 11.5 mm)において $a = 65$ mm、 $b = 32.5$ mm、 $\eta = 50\%$ のとき $G = 20$ dBです。

ホーン・アンテナは構造が簡単で、計算によって利得を高い精度で求めることができるので、マイクロ波帯の標準アンテナによく使われます。また次節で述べるパラボラ・アンテナの1次放射器として使われることもあります。



〈図4.4〉 zx面およびzy面の指向性