

このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座-理論と実際-第1巻」の一部分の見本です。内容・購入方法などにつきましては是非以下のホームページをご覧ください。
<http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/79/79711.htm>

第2章 TE波とTM波の導波路

1. の図 1(c) 及び (d) に示したように、TE 波 (または H 波) 及び TM 波 (または E 波) が導波管 (金属の導体で囲まれた管であるのでこう呼ばれる) 内を伝播する。まず、このような TE 波及び TM 波はどんなメカニズムで作られるかを簡単な場合として 2 本の TEM 波の合成で考えてみる。その後、より一般的にベクトル場の立場から述べる。

2.1 TE 波と TM 波の発生とその性質

(1) 2本の均一 TEM 波の合成でできる TE 波とその性質

図 1(a) 及び (b) の如く水平面上の z 軸方向と角度 θ をなす方向に進む 2 本の垂直偏波 TEM_1 及び TEM_2 を合成すると (a) の実線と (b) の点線とが重なる点は電界は零となるのでこれらの点を通り z 軸と平行な垂直面は全て電界は零となる面である。これらの面の隣り同志の面は同図で A_1 、 A_2 、 A_3 を含む S_1 面と B_1 、 B_2 、 B_3 を結ぶ S_2 面である。

いま S_1 と S_2 面に金属板 M_1 、 M_2 を同図 (d) のようにおき、金属板間に例えば垂直な無限線状電流源をもうけると、電流源から遠く離れた所では図のように TEM_1 の方向 $\rightarrow$ TEM_2 の方向 $\rightarrow$ TEM_1 の方向と進み、金属板で反射を繰り返しながら z 方向に進む。これは以下の理由からわかる。

即ち図 1(e) の M_1 より右側の電磁界は図 1(f) の如く M_1 を取り去り M_1 に関して対称位置に配置されたお互いに逆位相の垂直線状電流源から放射された TEM_1 と TEM_2 との合成になる。従って図 1(e) の P 点ではもともとある TEM_1 に TEM_2 が反射波として加わったことになる。同様に図 1(d) の M_2 に入射した TEM_2 に今度は反射波として TEM_1 が加わることになる。このように無限空間の TEM_1 と TEM_2 とで合成される電磁界のうち、電界零の平行した面 S_1 と S_2 の間の領域に関する限り、図 1(d) の如く S_1 及び S_2 の位置に金属板 M_1 及び M_2 をおき、 M_1 と M_2 との間で遠くに垂直線状電流源を配置したときの電磁界に等しく、またその電磁界は図 1(d) の如く M_1 と M_2 との間を交互に反射を繰り返していったものと同等となることがわかる。従ってつねに M_1 と M_2 との間の電磁界は金属板への入射波と反射波との合成になることを注意しなければならない。

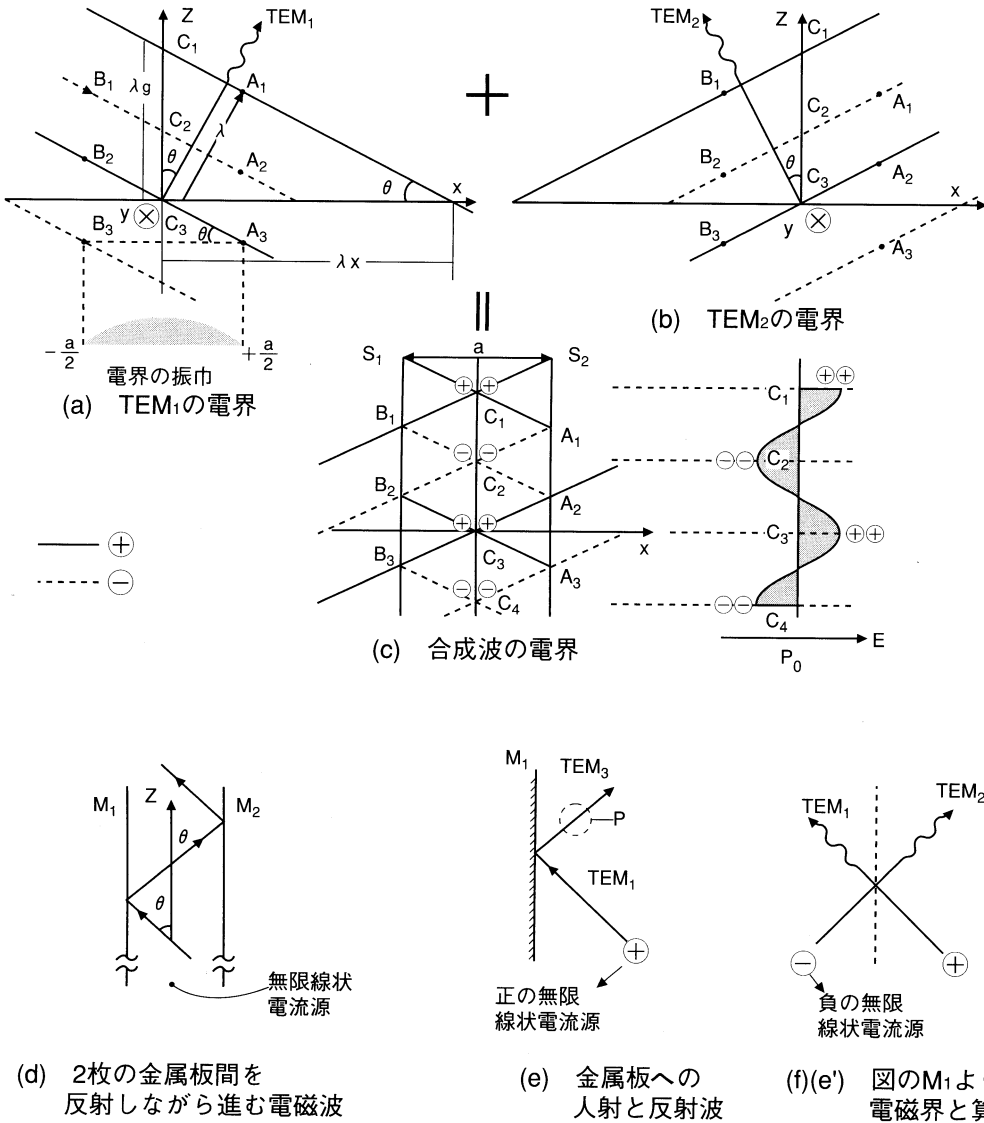


図1 紙面に垂直な電界をもつ2つのTEM波とその合成波を示した図。実線は $t = 0$ に於る電圧の最大値の位置、点線は最小値を示す。

次に数式的な結果を以下導き出そう。

いま図 1(a) から

$$\frac{\lambda}{\lambda_x} = \sin \theta \quad (1)$$

となり金属板間の間隔を図 1(c) の如く a とすると同図 (a) で示したように a は $\frac{\lambda_x}{2}$ にならねばないから

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{2a} \quad (2)$$

となる。

遮断周波数 f_c と遮断波長 λ_c

(2) 式で周波数が高い時は λ が小さいので $\theta = 0$ となり、従って電波の進行方向は金属面に並行に近づくが、周波数が低くなると λ が大となりついには $\theta = \frac{\pi}{2}$ となり電波は 2 枚の金属板間を往復して z 方向には進まない。これは (2) 式で $\sin \theta = \sin \frac{\pi}{2} = 1$ となるから、

$$\lambda = 2a \quad (3)$$

となる。 ϵ_r, μ_r の無限媒質中においてこの λ に対する周波数を遮断周波数と呼び f_c で示す。また f_c の自由空間波長 (真空の無限媒質中の波長) を遮断波長と呼び λ_c で記す。したがって

$$\lambda = \lambda_c / \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad \text{の関係があるから}$$

$$\lambda_c = 2a \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (4)$$

$$f_c = \frac{3 \times 10^8}{\lambda_c} \quad (5)$$

となる。

管内波長 λ_g

図 1(a) より

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\cos \theta} \quad (6)$$

となる。一方 (2)(4) 式を考慮して

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} \\ &= \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}\end{aligned}$$

となるので

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (7)$$

となる。

位相定数 k_z と位相速度 v_p

$k_z = \frac{2\pi}{\lambda_g} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{\lambda_g}$ であるから、図1より (8)(9) 式を得る。

$$k_z = k \cos \theta = k \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \quad (8)$$

$$v_p = \frac{v}{\cos \theta} = \frac{v}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (9)$$

波動インピーダンス Z_w

図2からわかるように2ヶの TEM 波の合成電界 $\mathbf{E}$ は、

$$\mathbf{E} = 2\mathbf{E}_1$$

となり、磁界 $\mathbf{H}$ は

$$\mathbf{H} = 2\mathbf{H}_1 \cos \theta$$

となる。故に Z_w は