

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1章 電波と分布定数線路

1.1 電波の性質と分類

電波の性質

電界と磁界が媒質中に波長 λ をもって分布し、真空中では光速(3×10^8 [m/s])で移動する。そして電界の強さ(ボルト/m)と磁界の強さ(アンペア/m)との比はどこも一定値 $\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$ (オーム)を有する。従って電界最大の点は磁界最大である。また電界のベクトルから磁界のベクトルの方向に右ネジを回したとき、ネジの進む方向に電波は進む。以上の事は全てアンペアの法則とファラディの法則から導かれる。【一般基礎1と附録1】

また電波はテレビやラジオ及び移動体通信のように自由空間など無限媒質を伝播して用いられるものと、固定した場所の間を導波路で接続してその中を伝播するものがある。

電波の分類

(イ) TEM、TE、TM 及び混成波

電界と磁界ともに電波の進む方向に直角な面内にのみ存在する($E_z = H_z = 0$: z 方向は電波の進む方向)とき、TEM波と呼びまたこの時、同一位相面は平面であるので平面波(plane wave)と呼ぶ。そしてアンテナから遠く離れた所では同一位相面では電界の大きさや方向そして磁界の大きさや方向ともに同じであり、このような平面波を均一平面波と呼ぶ。また同軸線路やレッヘル線のように2ヶ以上の平行導体の場合にも平面波が存在するが、同一位相面内での電界や磁界の強さは異なる。このような場合の平面波を不均一平面波と呼ぶ。

また1ヶの導体壁で囲まれた導波管などでは電界成分のみ z に垂直な断面に存在し、磁界は断面成分のみならず、 z 方向成分を含む。これをTE波(またはH波)と呼ぶ。また、磁界成分のみ断面に存在し、電界は断面成分のみならず z 成分も含む場合がある。これをTM波(またはE波)と呼ぶ。また誘電体線路などの場合にはTE波とTM波とが混ざった混成波がある。これらを表にまとめると表1のように分類できる。

各種の電磁波の模様を図1に示した。

(ロ) 垂直、水平及び円偏波

空間を伝播する均一平面波において、電界が大地に垂直である場合、垂直偏波、水平である場合水平偏波、また電界成分が波の伝播方向にむかって右ネジの方向に回転する(f Hzの電波では1秒間に f 回回転する)場合、右旋偏波と呼び、また左周りに回転するものを左旋偏波と呼ぶ。

モード名	E_z 成分	H_z 成分	平面波の分類	実 例
TEM 波	無	無	均一平面波	アンテナから遠く離れた所の自由空間中の電波
TE 波	無	無	不均一平面波	同軸線路
TM 波	有	無	不均一平面波	導波管
混成 波	有	有	不均一平面波	誘電体線路

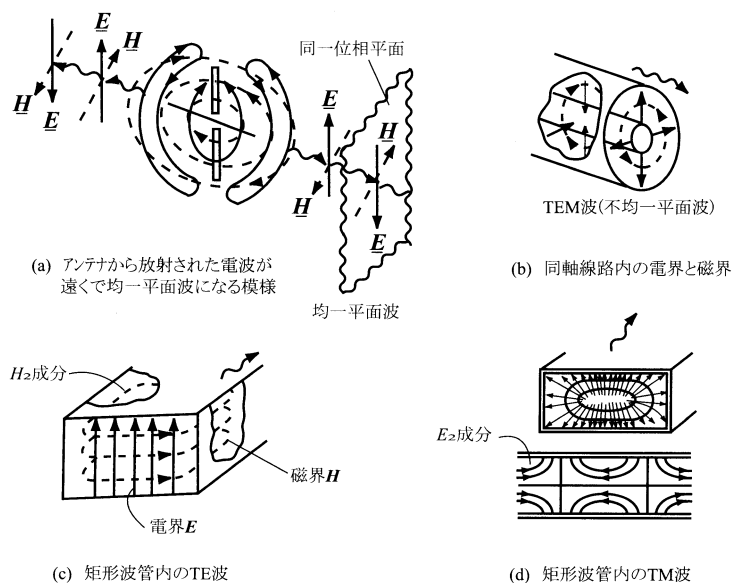
表1 各種モードと実例 [E_z 、 H_z は電界、磁界の電波の進行方向]

図1 種々の電波のモード波矢印は電波の進行方向

図2 (a) に水平偏波の均一平面波を時間をとめて見た時、電界と磁界の強さの分布が z 軸方向に変化する模様を示し、図2 (b) に左旋偏波を時間をとめて見た時を示す。また各種の偏波の実際用いられている例を表2に示す。

表2 各種の偏波と実例

偏 波	実 例
水平偏波	地上のテレビ放送電波
垂直偏波	ラジオ放送、コードレス電話、自動車電話
円 偏 波	衛星放送電波

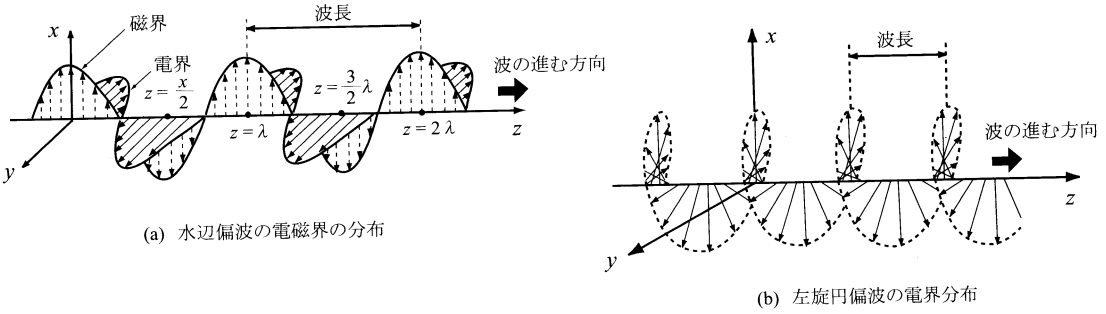


図 2 時間をとめて眺めた時の電界と磁界の z 方向分布

1.2 均一平面波の電界と磁界

いま垂直偏波の均一平面波の $t = 0$ に於る電磁界分布は z 軸に垂直な断面 S_i [$i=1,2,\dots$] 上で図 3 のようになる。このように z 軸に沿った電界分布と磁界分布は正弦波状になる。即ち

$$\left. \begin{aligned} E(z_0) &= E_m \cos \frac{2\pi}{\lambda} z_0 = E_m \cos \left(-\frac{2\pi}{\lambda} z_0 \right) \\ H(z_0) &= \frac{1}{Z_w} E(z_0) \\ Z_w &= 120\pi \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \end{aligned} \right\} \quad (1-a)$$

但し λ は波長、 μ_r 及び ϵ_r は媒質の比透磁率及び比誘電率である。

のように分布している。いま、 $z = z_0$ で $E(z_0)$ 、 $H(z_0)$ の値をとっていた点が、 $t = \Delta t$ のち、

$$z = z_0 + \Delta z \quad (1-b)$$

に移動したとすると次式を満たさなければならない。

$$\begin{aligned} \cos \left(-\frac{2\pi}{\lambda} z_0 \right) &= \cos \left\{ -\frac{2\pi}{\lambda} (z_0 + \Delta z) + \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{\Delta z}{\Delta t} \right) \Delta t \right\} \\ &= \cos \left\{ -\frac{2\pi}{\lambda} (z_0 + \Delta z) + 2\pi f \Delta t \right\} \end{aligned}$$

ここで、 Δt は任意の値 t でよいから $z_0 + \Delta z = z$ 、とおいて上式は $\cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z \right)$ となる。故に (1-a) 式は、

$$\left. \begin{aligned} E(z) &= E_m \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z \right) \\ H(z) &= \frac{1}{Z_w} E \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる。(2) 式を実数にもつ複素数で表すと、それを複素平面上のベクトルで示すことができ、そのベクトルを眼で見ることにより解り易くなる。次にそれをのべる。いまオイラーの公式

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x \quad (3)$$

を用いると、(2) 式は (4-a)(4-b)(4-c) 式で表せる。

$$E(z, t) = R_e[\dot{E}(z, t)] = R_e[\dot{E}(z)e^{j\omega t}] \quad (4-a)$$

$$\dot{E}(z) = E_m e^{-jkz} \quad (4-b)$$

$$H(z, t) = \frac{E(z, t)}{Z_w} \quad (4-c)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4-d)$$

ここで k のことを位相定数と呼ぶ。

いま $t=0$ における $\dot{E}(z, 0)$ を考えると (4-b) 式より、 z が進むにつれてベクトルはおくれ、複素平面上でベクトルは時計の針の方向にまわる。それを示すと図2の $t=0$ の列のようになる。また、 z を一定にして t が増加すると、(4-a) 式よりわかるように、 $\dot{E}(z, t)$ は位相が進む。例えば、図2で $z=0$ の所で t の経過と共にベクトルは反時計方向にまわっていることがわかる。他の z の位置でもそれが行われていることがわかる。

このように複素ベクトルで表すことにより z や t により位相の変化が眼で見えるからわかり易い。この時、つねに本当の値はこのベクトルの実部（複素平面の水平軸への正射影）であることを常に念頭におかねばならない。

1.3 単一分布定数線路における TEM 波とその性質

1.3.1 特性インピーダンス、線路のキャパシタンス及びインダクタンス

図3の断面 S_3 内の電界及び磁界分布を再び画くと図4のようになる。いまこの S_3 面内に磁界と平行に幅 W で z 方向に無限長の金属板 M_1 及び M_2 を間隔 d を保って配置されたとすると、電界は金属に垂直であるから境界条件は満している [電界は金属面に垂直であるという条件]。この時、 M_1 と M_2 の向いあわさる表面にはもとの磁界を維持するための誘導電流が、アンペアの法則を満すように流れ [一般基礎 1]、その方向は M_1 上には $\odot$ の向き、 M_2 上には $\otimes$ の向きに流れる。そこで M_1 と M_2 とで挿まれる部を取り出して見ると図5(a)のようになる。この時、