課題 14　FDTD 法による電磁界解析

x 方向に均質な媒質中を yz 面内で伝搬する光波を考える．マクスウェル方程式より $\partial/\partial x = 0$ を仮定すると，TE 偏波 (電磁界の成分は E_x，H_y，H_z) の光波に対して以下の連立微分方程式が得られる．

$$\epsilon \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \tag{1}$$

$$\mu \frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{\partial E_x}{\partial z} \tag{2}$$

$$\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial y} \tag{3}$$

式 (1),(2) を解くために，図 1 のような離散化を行い，式 (1),(2) を以下のような差分式に変形する．

$$\epsilon \frac{E_x^{(n+1)}(j,k) - E_x^{(n)}(j,k)}{\Delta t} = \frac{H_z^{(n+1/2)}\left(j+\frac{1}{2},k\right) - H_z^{(n+1/2)}\left(j-\frac{1}{2},k\right)}{\Delta y} \tag{4}$$

$$- \frac{H_y^{(n+1/2)}\left(j,k+\frac{1}{2}\right) - H_y^{(n+1/2)}\left(j,k-\frac{1}{2}\right)}{\Delta z} \tag{5}$$

$$\mu \frac{H_y^{(n+1/2)}\left(j,k+\frac{1}{2}\right) - H_y^{(n-1/2)}\left(j,k+\frac{1}{2}\right)}{\Delta t} = -\frac{E_x^{(n)}(j,k+1) - E_x^{(n)}(j,k)}{\Delta z} \tag{6}$$

$$\mu \frac{H_z^{(n+1/2)}\left(j+\frac{1}{2},k\right) - H_y^{(n-1/2)}\left(j+\frac{1}{2},k\right)}{\Delta t} = \frac{E_x^{(n)}(j+1,k) - E_x^{(n)}(j,k)}{\Delta y} \tag{7}$$

E_x, H_y，H_z に対する初期解を時刻 $t=0$ で

$$E_x(z,t=0) = \mathrm{Re}\left\{\exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{a_y^2} - \frac{(z-z_0)^2}{a_z^2}\right]\exp(-j\beta z)\right\} \tag{8}$$

$$H_y(z,t=0) = \mathrm{Re}\left\{\frac{1}{Z_0}\exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{a_y^2} - \frac{(z-z_0)^2}{a_z^2}\right]\exp(-j\beta z)\right\} \tag{9}$$

$$H_z(z,t=0) = 0 \tag{10}$$

であるものとして，その後のパルスの時間発展を計算せよ．

ただし，計算に用いるパラメータは以下のようにする．空間パルス幅 $a_y = 2$ μm，$a_z = 3$ μm，入射位置 $y_0 = 0$ μm，$z_0 = 15$ μm，y, z 方向の解析領域サイズ $-10 < y < 10$ μm，　$0 < z < 25$ μm，解析時間間隔 $0 < t < 20$ fs，空間刻み幅 $\Delta y = \Delta z = 0.05$ μm，時間刻み幅 $\Delta t = 0.1$ fs，動作波長 $\lambda = 1.55$ μm.

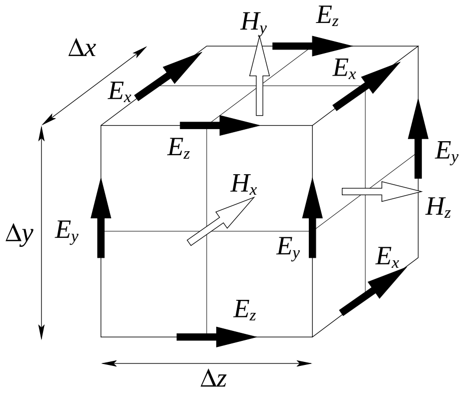

図 1 電磁界の離散化

実行例

以下に仮想境界の境界条件を電気壁，Mur の吸収境界条件，PML 境界条件とした場合について，それぞれ光の伝搬の様子を示す.