

説明がなく、答えのみの解答は減点する。

### 1 電磁波の伝播

電場が  $E = E_0 (\sin(\omega t - kz), 0, 0)$ , ( $0 < E_0, \omega, k$ ) と表される電磁波が、速さ  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  で真空中を伝播している。

問 1-1. 電場を  $E = (E_x, E_y, E_z)$  と表したとき、 $\text{rot} E$  を示せ。

問 1-2. 電磁誘導の式 ( $\text{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ ) より、電磁波の磁場を求めよ。

問 1-3. 電磁場  $E, B$  を、 $z$  の関数 ( $t = 0$ ) として、それぞれ図示せよ。

問 1-4. 電磁場  $E, B$  を、 $t$  の関数 ( $z = 0$ ) として、それぞれ図示せよ。

問 1-5. 角周波数  $[\omega]$ 、波数  $[k]$ 、波の速さ (位相速度)  $[c]$  の関係を示し、波の伝播する向きを答えよ。

問 1-6. 電場と磁場が直交することを示せ。

問 1-7. エネルギー密度  $[\text{J/m}^3]$ ,  $u = \frac{1}{2} \epsilon_0 \langle E^2 \rangle + \frac{1}{2\mu_0} \langle B^2 \rangle$ , を求めよ。  
ここで、 $\langle \rangle$  は時間平均、 $E^2$  は  $E \cdot E$  を表す。

問 1-8. ポインティングベクトル ( $E \times H$ ) を求め、大きさや向きなど、エネルギーの流れについて考察せよ。

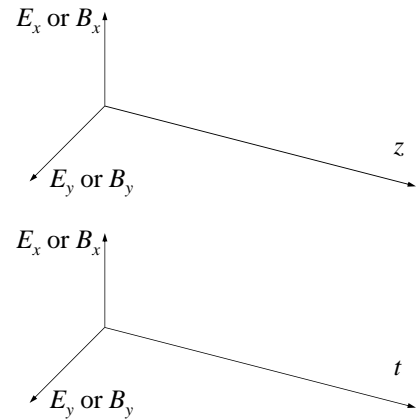


図 1: 解答用紙に示す図の例

### 2 電磁波の反射

図 2(a) のように、電気的性質の異なる媒質 1 (誘電率  $\epsilon_1$ , 透磁率  $\mu$ ) と媒質 2 ( $\epsilon_2, \mu$ ) が接している境界 ( $xy$  平面) に、電磁波が入射する。媒質内や境界では電荷 ( $\rho$ ) も電流 ( $j$ ) も存在しない。マクスウェル方程式より、電磁場 ( $E, H$ ) の境界面に対する接線成分は連続になる。それぞれの媒質における電磁波が次のとき、以下の設問に答えよ。

入射波:  $E = E_i (\cos(\omega_i t + k_1 z), 0, 0)$ ,  $H = H_i (0, \cos(\omega_i t + k_1 z), 0)$ , ( $0 < \omega_i, \omega_r, \omega_t$ )

反射波:  $E = E_r (\cos(\omega_r t - k_1 z), 0, 0)$ ,  $H = H_r (0, \cos(\omega_r t - k_1 z), 0)$ , ( $0 < k_1, k_2$ )

透過波:  $E = E_t (\cos(\omega_t t + k_2 z), 0, 0)$ ,  $H = H_t (0, \cos(\omega_t t + k_2 z), 0)$ , ( $k_2/k_1 = \sqrt{\epsilon_2/\epsilon_1}$ )

問 2-1. 境界条件より、 $\omega_i = \omega_r = \omega_t \equiv \omega$  なることを示せ。

問 2-2. 境界条件より、 $E_i, E_r, E_t$  のみたす関係を求めよ。

問 2-3. 境界条件より、 $H_i, H_r, H_t$  のみたす関係を求めよ。

問 2-4. アンペール・マクスウェルの式 ( $\text{rot} H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$ ) より、各媒質における振幅  $E$  と  $H$  の関係を求めよ。

問 2-5. 問 [2-2, 3, 4] より、反射率  $R_{12} = (\frac{E_r}{E_i})^2$  を誘電率で表わせ。

問 2-6. 図 2(b) のように、媒質 1 と 2 の間に媒質 3 ( $\epsilon_3, \mu$ ) を挿入した。それぞれの境界における反射率  $R_{13}, R_{32}$  は 1 より十分に小さいとし、媒質 2 内に達する電磁波のエネルギーが最大になるように、媒質 3 の誘電率を決めよ。そのときの反射率  $R = R_{13} + R_{32}$  も求めよ。ただし、多重反射や波の干渉は考えない。

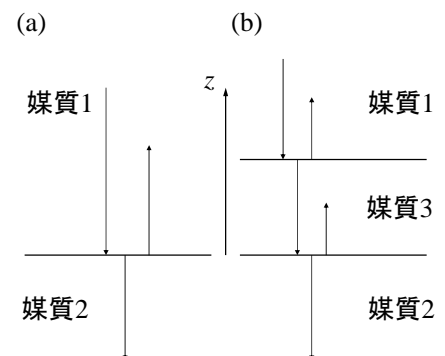


図 2: 境界面に垂直入射する電磁波の反射と透過