

## 1 平面電磁波

誘電率  $\epsilon$ 、透磁率  $\mu$  の自由空間を、電場が  $E_1 = e^{(1)} E_0 \cos(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega t)$  で表される直線偏波が伝播する。ここで、 $e^{(1)}$  は電場の振動の向きを表す単位ベクトル、 $E_0$  は電場の振幅である。マクスウェル方程式 (1) を参考にして、次の問いに答えよ。必要なら恒等式  $\mathbf{A} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{C}) = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{C})\mathbf{B} - (\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})\mathbf{C}$  を使ってもよい。

$$\text{rot } \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0, \quad \text{rot } \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = 0, \quad \text{div } \mathbf{D} = 0, \quad \text{div } \mathbf{B} = 0 \quad (1)$$

### 1.1 波数ベクトル (5 点)

電磁波の進む向きを、理由とともに答えよ。

### 1.2 横波 (5 点)

電場の振動方向と電磁波の進行方向の関係について述べよ。

### 1.3 磁場 (10 点)

この平面電磁波の磁場  $B_1$  を求めよ。

### 1.4 ポインティングベクトル (10 点)

平面電磁波のポインティングベクトル ( $S = E_1 \times H_1$ ) を求め、 $S$  の意味することを説明せよ。

### 1.5 重ね合わせ (10 点)

平面波  $E_1, B_1$  に、他の電磁波  $E_2, B_2$  を重ね合わせて、円偏波にしたい。電場  $E_2$  を求めよ。

### 1.6 直線偏波の発生 (10 点)

直線偏波を発生させる方法を考案せよ。

## 2 電磁誘導

図1のように、端面が平行でない電磁石で磁場を発生させた。座標軸は磁場方向に  $z$  軸を取り、図2のように、辺 AB と辺 CD が  $x$  軸と平行に、辺 BC と辺 DA が  $y$  軸と平行になるように1回巻のコイルを置いた。電磁石の発生する磁場は、コイルを含む平面では  $B = (0, 0, aI - bIy)$  と表される。ここで  $I$  は電磁石に流す電流である。係数  $a$  と  $b$  の単位は、それぞれ、 $[T/A]$  と  $[T/Am]$  である。また、コイルの位置では  $|bIy| < |aI|$  である。

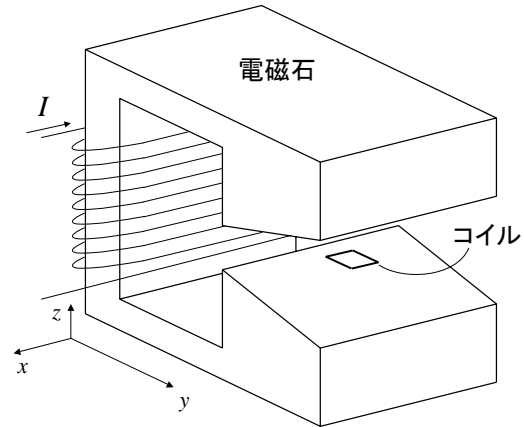


図1: 電磁石とコイル

### 2.1 レンツの法則 (5点)

電流  $I(t) (> 0)$  を時間とともに大きくした。電磁石の発生する磁場の向きと、コイルに流れる電流の向きを答えよ。

### 2.2 磁束 (5点)

A が点  $(-l_1/2, l_2/2, 0)$  にあるとき、コイルを貫く磁束  $\Phi(t)$  を求めよ。

### 2.3 誘導起電力 (10点)

コイルに発生する誘導起電力を求めよ。

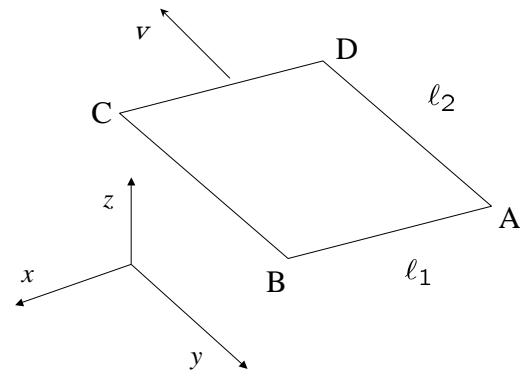


図2: コイルの拡大図

### 2.4 ローレンツ力 (10点)

次に電磁石に流す電流を一定値  $I_0$  に固定し、コイルを  $y$  軸負の向きに速さ  $v$  で等速直線運動させた。A が点  $(-l_1/2, l_2/2, 0)$  にある時刻を  $t = 0$  として、辺 AB と辺 CD にある電子 (素電荷  $e$ ) にはたらく力の大きさと向きを求めよ。

### 2.5 起電力 (10点)

前問を利用して、ABCD の向きを正の向きとして、コイルに発生する電圧を求めよ。

### 2.6 相対性の原理 (10点)

上のような、静止したコイルを貫く磁束が時間変化する場合と、空間的に不均一な磁場の中をコイルが運動する場合を比較し、磁束の時間変化  $\partial\Phi/\partial t$  と誘導起電力の大きさについて議論せよ。