

専門科目 電磁気学（午後）

19 大修

時間 13:30 ~ 15:00

電気電子工学  
電子物理工学

注 意 事 項

1. 解答は問題ごとに指定されている答案用紙に記入せよ。
  2. すべての答案用紙に受験番号を記入せよ。
  3. 電子式卓上計算機等の使用は認めない。
-

1. 半径  $a$  の円柱状導体と内半径  $b$ , 外半径  $c$  の厚みのある中空円筒導体が図 1.1 のような軸方向に十分長い同軸線路を形成している。中心軸を  $z$  軸にとり, 軸からの距離を  $r$  とする。 $a \leq r \leq b$  の範囲には誘電率  $\epsilon$  の誘電体が充填されており,  $c \leq r$  の部分の誘電率は真空の誘電率  $\epsilon_0$  である。この系内の各部の透磁率は全て真空の透磁率  $\mu_0$  とする。端部の効果や接続回路の寄与は無視する。また印加する電圧や電流によって各材料は変形せず, 電圧や電流の周波数が変化しても材料特性は変化しないものとする。

1) この同軸線路の円柱状導体と中空円筒導体に図 1.2 のように電圧  $V$  を印加した。以下の問に答えよ。

- $a \leq r \leq b$  となる  $r$  の範囲における電界  $\mathbf{E}$  の  $r$  成分  $E_r$  を  $r$  の関数としてあらわせ。
- この同軸線路の  $z$  軸方向の単位長さあたりの静電容量  $C$  を求めよ。
- 誘電体中の電界の大きさの最大値  $E_m$  を求めよ。
- 中空円筒導体の内半径  $b$  を固定し, 円柱状導体の半径  $a$  を変化させる。このとき, 上記の問 c) で求めた電界の最大値が最も小さくなる  $a$  を求めよ。

2) 図 1.3 のように内側の円柱状導体に  $z$  軸の方向に電流  $+I$  が, また外側の中空円筒導体に電流  $-I$  が, それぞれの断面内で一様な電流密度で流れているとする。以下の問に答えよ。

- 中心軸からの距離  $r$  の位置での磁界の  $\phi$  成分  $H_\phi(r)$  を求め, その概略をグラフに示せ。
- $z$  軸方向の単位長さあたりの磁界のエネルギー  $U$  を求めよ。その際,  $r$  について  $0 \leq r \leq \infty$  の範囲を考慮して計算せよ。
- この同軸線路の  $z$  軸方向の単位長さあたりのインダクタンス  $L$  を求めよ。

3) この同軸線路に交流電流  $I$  を流し, その周波数を高くした場合に起こる現象について述べよ。またそのときの単位長さあたりの静電容量  $C$  とインダクタンス  $L$  はどのように変化するかを, 理由とともに定性的に述べよ。

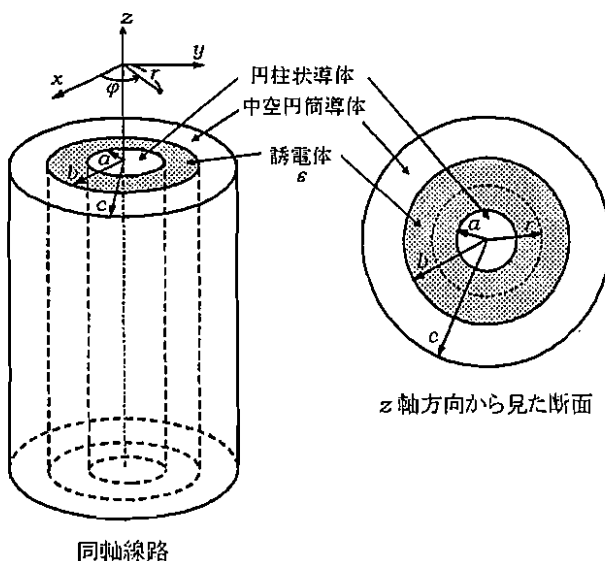


図 1.1

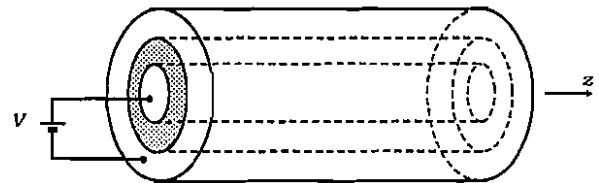


図 1.2

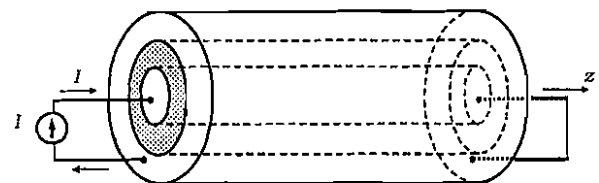


図 1.3

2. 一様な磁束密度  $\mathbf{B}$  ( $z$  軸の正方向とする) の中に、図 2.1 のような形の導体でできたレールが置かれている。レールは、間隔が  $l$  ( $l > 0$ ) の十分長い平行なレールからなる領域 1 と、半径が  $r$  と  $r + l$  の同心半円状のレールからなる領域 2 によって構成され、レール間は、領域 1 と領域 2 の境界 ( $A-A'$ ) において抵抗  $R$  で接続されている。今、質量  $m$  の導体棒をレールの上に接触させて置き、導体棒に外力を加えてレール上を動かす。レールと導体棒の間の摩擦、および抵抗  $R$  を除くレールの抵抗は無視できるものとし、また導体棒の両端はレールから逸脱しないものとする。このとき以下の問に答えよ。

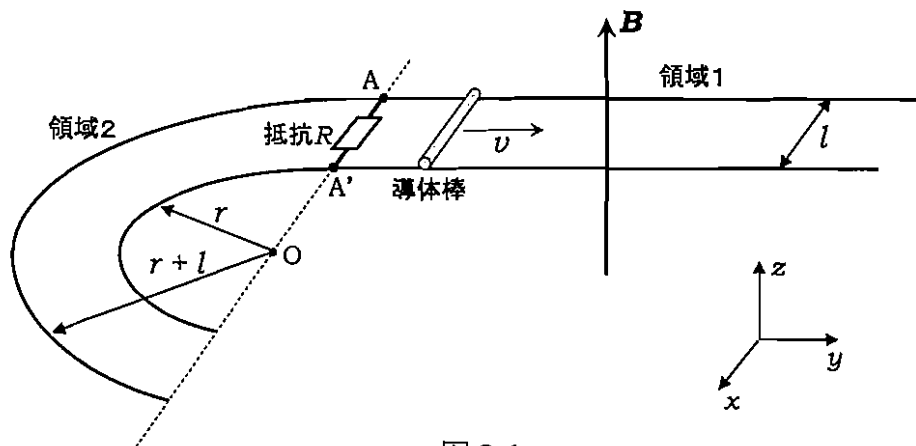


図 2.1

- 1) まず、導体棒が領域 1 にあり、平行なレール上を右向き ( $y$  軸の正方向とする) に一定の速度  $v$  で動いている場合を考えよう。
  - a) このとき抵抗  $R$  に流れる電流  $I$  の大きさを求めよ。
  - b) 問 a) において導体棒を一定の速度  $v$  で動かすために必要な外力の大きさ  $F$  を求めよ。
  - c) 一定の速度  $v$  で動いている導体棒に対して、時刻  $t = 0$  において、導体棒に加えていた外力を 0 にした。このとき、時刻  $t > 0$  における導体棒の速度  $v(t)$  を求めよ。また、時刻  $t > 0$  で導体棒がどのような運動をするかを論ぜよ。
  - d) 問 c) の導体棒の運動に関して、時刻  $t > 0$  で、抵抗  $R$  でジュール熱として失われるエネルギーの総和を求め、それが時刻  $t = 0$  での導体棒の運動エネルギーに等しいことを示せ。
- 2) 次に、導体棒が領域 2 にあり、外力を受けて図 2.2 のようにレール上を一定の角速度  $\omega$  で反時計回りに動いている場合を考えよう。
  - a) このとき、抵抗  $R$  に流れる電流  $I$  の大きさを求めよ。なお、図 2.2 において、磁束密度  $\mathbf{B}$  の向きは、紙面の裏から表に向かう方向である。
  - b) 問 a) において  $r = 10 \text{ cm}$ ,  $l = 20 \text{ cm}$ ,  $R = 200 \Omega$ ,  $\omega = 2 \text{ rad/秒}$  の場合に、 $I = 0.1 \text{ mA}$  の電流が流れたとする。このときの磁束密度の大きさ  $B [\text{T} (= \text{Wb/m}^2)]$  を求めよ。

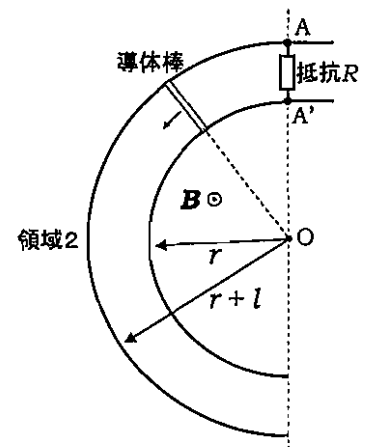


図 2.2