専門科目　電気電子系 (午前)　29 大修

時間 9:30 ～ 11:00

数学

注 意 事 項

1. 大問 1, 2, 3 の解答はそれぞれ別の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. 電子式卓上計算機などの使用は認めない。

1. 式(1.1)，式(1.2)からなる，実数 t の関数 x, y を未知関数とする連立定係数常微分方程式を解くことを考える。

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -3x + y + 1 & (1.1) \\ \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -x - y + 1 & (1.2) \end{cases}$$

以下の問に解答せよ。ただし，解答は導出過程も含めて記述すること。

1) 式 (1.1) を変形して，$\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ および x を用いて y を表せ。

2) 前問 1)の結果を式 (1.2) に代入して y を消去し, x のみの非斉次常微分方程式を導け。

3) 前問 2)で求めた非斉次常微分方程式を解き，x の一般解を求めよ。

4) 前問 1)，および前問 3)の結果を利用して，y の一般解を求めよ。

2. 以下の問に解答せよ。ただし，解答は導出過程も含めて記述すること。なお本問では，虚数単位を j と表す（$j^2 = -1$）。また z は複素数とし，その実部・虚部をそれぞれ x, y とする ($z = x + jy$,　x および y は実数)。

1) 複素平面上で次の図形の概略を示し，どのような図形か説明を加えよ。

$$\left|z+1\right| - \left|z-1\right| = 1$$

2) 次の複素関数 $f(z)$ が正則か否かを判定せよ。さらに，正則ならば導関数を求め，x および y を用いて表せ。

a)　$f(z) = \dfrac{x+y}{x^2+y^2} + j\dfrac{x-y}{x^2+y^2}$

b)　$f(z) = (\cos x + j \sin x) \times \exp(-y)$

問 題 分 野
数学

3. 周期 2π の周期矩形関数 $f(x)$

$$
\begin{cases}
-\dfrac{\pi}{2} \le x \le \dfrac{\pi}{2} \quad \text{において} \quad f(x)=1 \\
-\pi \le x < -\dfrac{\pi}{2} \quad \text{および} \quad \dfrac{\pi}{2} < x \le \pi \quad \text{において} \quad f(x)=-1
\end{cases}
$$

がある。別の周期関数 $g(x)$ との誤差として

$$E = \int_{-\pi}^{\pi} \{ f(x) - g(x) \}^2 \mathrm{d}x$$

を定義する。以下の問に答えよ。

1) $g(x) = A\cos x$ としたときの E を計算せよ。

2) 前問で求めた E について, $\dfrac{\partial E}{\partial A} = 0$ から, E を最小とする A を求めよ。

3) $g(x) = B\cos 2x$ として, E を最小とする B を求めよ。

4) $g(x) = C\cos 3x$ として, E を最小とする C を求めよ。

5) $g(x) = \alpha\cos x + \beta\cos 2x + \gamma\cos 3x$ としたときに E を最小とする α, β, γ は, 問題 2), 3), 4)で別々に求めた A, B, C と同じ値になるか否か答えよ。また, その理由を述べよ。

専門科目　電気電子系 (午後 1)　29 大修

時間　13:30 ～ 15:00

電磁気学

注 意 事 項

1. 大問 1, 2, 3 の解答はそれぞれ別の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. 電子式卓上計算機などの使用は認めない。

1.

図 1.1 の断面図に示すように，半径 a と b の半球形完全導体容器を中心が一致するように配置し，その間を誘電率 ε ，導電率 σ の媒質で満たす。外側導体容器を接地し，内側導体容器には $t=0$ で初期電荷 q_0 があるとする。$t>0$ で導体容器間に電流が流れ，内側導体容器の電荷量は減少する。時刻 t における内側導体容器の電荷量を $q(t)$ とするとき，以下の問に答えよ。ただし，導体の厚さ，および端部効果は無視する。また，媒質内の電荷による電界の発生は無視する。

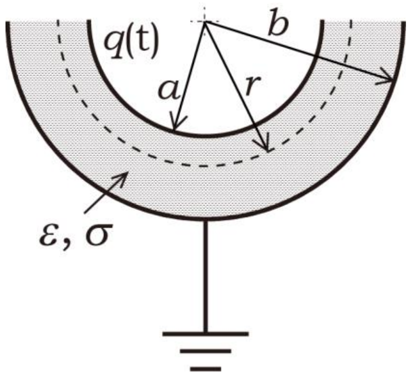

図 1.1

1) 時刻 t において, 内側導体容器の中心から距離 r の位置における電界強度 $E(t)$を， $q(t)$ を用いて表せ。ただし，中心から外側に向かう向きを正とする。また， $a<r<b$ とする。

2) 時刻 t における内側導体容器の電位 $V(t)$ を， $q(t)$ を用いて表せ。

3) 距離 r の位置における電流密度を $j(t)$ とするとき, 導体容器間を流れる全電流 $I(t)$ を， $j(t)$ を用いて表せ。ただし， $a<r<b$ とする。

4) 電荷保存則から， $q(t)$ に関する微分方程式をたてよ。

5) $I(t)$ を ε， σ および q_0 を用いて表せ。

6) 図 1.1 の構造を，抵抗とコンデンサを用いた回路で示し，抵抗値 R と容量 C を用いて， $I(t)$ を表せ。

問　題　分　野
電磁気学

2.

図 2.1 は，無限に広い平らな表面をもつ透磁率μの磁性体と，磁性体表面から距離 a だけ離れて真空中にある無限に長い直線導線を表している。この導線に直流電流Iが流れている時, 単位長さあたりに導線に働く力を以下の手順で求めたい。以下の問に答えよ。ただし，導線の抵抗および径は無視し、真空の透磁率はμ_0とする。

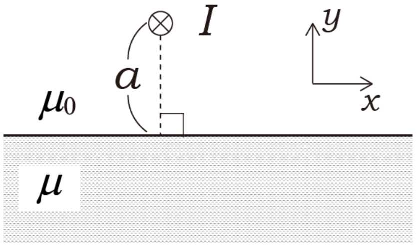

図 2.1

1) ２つの異なる材料が接する界面において，磁界と磁束密度に対する境界条件を，それぞれ答えのみ示せ。ただし，境界面には真電荷や電流はないものとする。
2) 電磁気学の基本法則を用いて，1)で求めた２つの境界条件をそれぞれ導出せよ。
3) 真空中の磁界は，全空間を真空としたときに電流 I によって生じる磁界と，境界面に対して I に対称な影像電流 I' によって生じる磁界の和に等しい。図 2.2 において，境界面上の点 P における磁界を求めよ。ただし，I と I' を用いて, 境界面に対する磁界の x 方向成分 H_{1x} と y 方向成分 H_{1y} に分けて表すこと。
4) 同様に，磁性体中の磁界は，全空間を磁性体としたときに，電流 I の位置に影像電流 I'' が流れる場合に等しい。図 2.3 において，境界面上の点 P における磁界を求めよ。ただし，I'' を用いて，境界面に対する磁界の x 方向成分 H_{2x} と y 方向成分 H_{2y} に分けて表すこと。
5) 1)の境界条件をもとに，I' と I'' を，I を用いて表せ。
6) 単位長さあたりに導線に働く力を表せ。

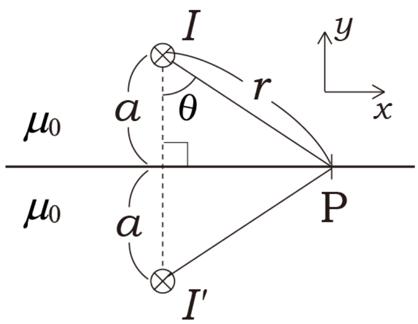

図 2.2

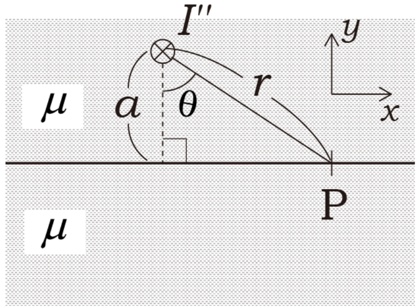

図 2.3

問　題　分　野
電磁気学

3.

以下の問に答えよ。ただし，透磁率は全領域でμ_0とする。

1) 図 3.1 のように，半径 a の円形ループ A に電流 I を流した。ループの中心を原点とし，ループの面に垂直にとった x 軸上の任意の点の磁界の大きさを求めよ。

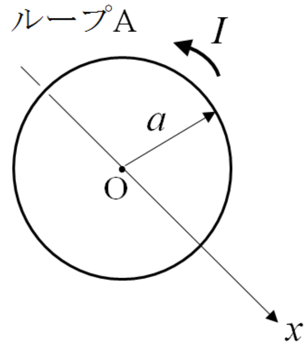

図 3.1

2) 図 3.2 のように，x 軸上で座標 d の位置に，半径 b の微小円形ループ B を，その中心を x 軸上に，また，その面がループ A の面と平行になるように置いた。ループ A と B の間の相互インダクタンスを求めよ。ただし, $b \ll a$ とする。

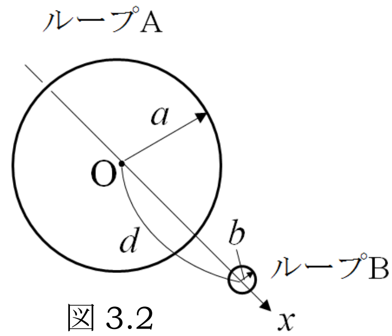

図 3.2

3) 図 3.3 のように，2)で示した半径 b の微小ループ B に一定の電流 I を流しておき，x 軸上で$-\infty$から$+\infty$まで一定の速度 u で移動させる。また, 半径 a のループ A は固定し，図 3.3 のように電圧計を接続しておく。この電圧計の内部抵抗は高く，ループ A に流れる電流は無視できる。
このとき，電圧計の表示する電圧を計算し，時間 t の関数として，そのグラフの概略を図示せよ。
（グラフ中に各点の値を示す必要はない。）
ただし，$b \ll a$ とし，また，ループ B がループ A の中心を通過する瞬間を t =0 とする。

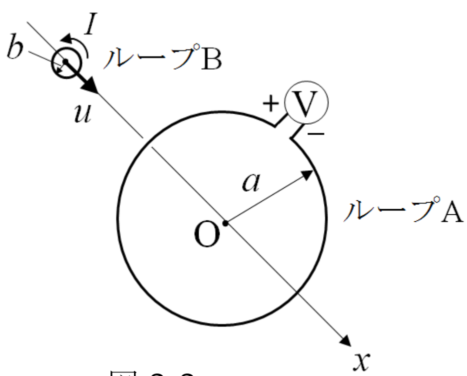

図 3.3

選択専門科目　電気電子系 (午後 2)　29 大修

時間　15:30 ～ 16:30

電気回路

注 意 事 項

1. 大問 1, 2 の解答はそれぞれ別の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. 電子式卓上計算機などの使用は認めない。

問 題 分 野
電気回路

1.

図 1.1 に示す RLC 回路で $t = 0$ にスイッチ SW を閉じた。ここに $t = 0$ におけるコンデンサ電圧 v_c，インダクタ電流 i_L はともに 0 とする。

1) 回路方程式をもとにコンデンサ電圧 $v_c(t)$ のラプラス変換を表す式を導け。
2) 1)で求めたコンデンサ電圧 $v_c(t)$ のラプラス変換について，その極が互いに共役な複素数となるために抵抗 R が満たすべき条件を求めよ。
3) 2)で求めた極が共役複素数となる場合に対して，ラプラス逆変換によりコンデンサ電圧 $v_c(t)$ の時間変化を表す式を求めよ。
4) 3)で求めたコンデンサ電圧 $v_c(t)$ の時間変化の概形を図示せよ。また代表的な値を図中に示せ。

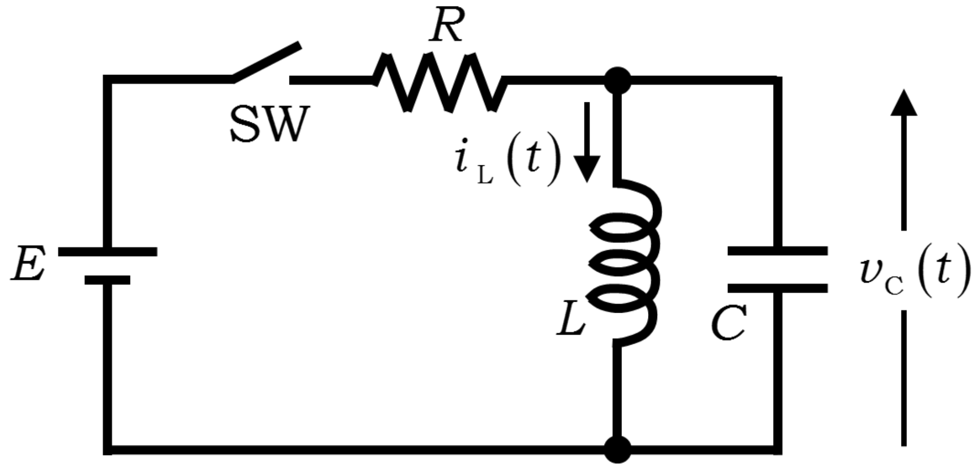

図 1.1

［逆ラプラス変換表］$\mathscr{L}^{-1}$ はラプラス逆変換を表す。

$$\mathscr{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}\right] = \mathrm{u}(t) \quad \text{（単位段関数）}$$

$$\mathscr{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+a}\right] = \mathrm{e}^{-at}$$

$$\mathscr{L}^{-1}\left[\frac{\lambda s+\mu}{(s+a)^2+b^2}\right] = \lambda\,\mathrm{e}^{-at}\cos(bt) + \frac{1}{b}(\mu - a\lambda)\mathrm{e}^{-at}\sin(bt)$$

$$\mathscr{L}^{-1}\left[\frac{\lambda s+\mu}{(s+a)^2-b^2}\right] = \lambda\,\mathrm{e}^{-at}\cosh(bt) + \frac{1}{b}(\mu - a\lambda)\mathrm{e}^{-at}\sinh(bt)$$

問題分野
電気回路

2.

図 2.1 のMOSトランジスタを用いたソース接地回路の周波数特性に関して，以下の問に答えよ。トランジスタは飽和領域で動作しているものとし，トランジスタの小信号等価回路は図 2.2 であらわされ，そのトランスコンダクタンスがg_mとする。

1) 図 2.1 について小信号等価回路を示せ。
2) 小信号等価回路から，$G(j\omega) = v_{out}/v_{in}$ を求めよ。
3) 低域遮断角周波数ω_c（利得が 3 dB 下がる低周波側の角周波数）を求めよ。また，遮断角周波数より十分に高い角周波数領域における利得 G_0 を求めよ。
   ただし，$R_1 = R_2 = 200$ kΩ，$R_D = 10$ kΩ，$g_m = 10$ mS，$C = 0.1$ μF とする。
4) 3) の条件において，$G(j\omega)$の骨格ボード線図（利得および位相の周波数依存性の概略図）を 1 rad/s ~ 1×10^8 rad/s の範囲内で描け。

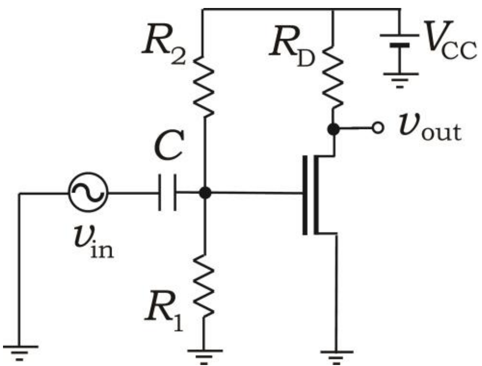

図 2.1

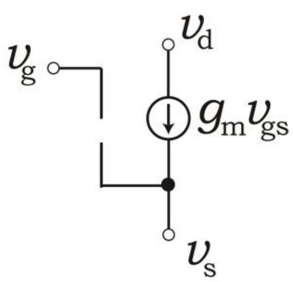

図 2.2

選択専門科目　電気電子系 (午後 2)　29 大修

時間　15:30 〜 16:30

量子力学/物性基礎

注 意 事 項

1. 大問 1, 2 の解答はそれぞれ別の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. 電子式卓上計算機などの使用は認めない。

問　題　分　野
量子力学/物性基礎

（次ページに続く）

1.

一辺の長さがLの立方体の箱（無限に深い三次元井戸型ポテンシャル）に閉じ込められた質量mの電子を考える。箱の中では，ポテンシャル$V(x,y,z)=0$であり，これ以外の領域での$V(x,y,z)$は無限大である。

$$V(x,y,z)=\begin{cases}0 & (0\le x\le L, 0\le y\le L, 0\le z\le L)\\ \infty & (\text{上記以外})\end{cases}$$

電子のエネルギーをE，プランク定数を2πで割ったものを$\hbar$とする。次の問に答えよ。

1) 箱の中における電子の定常状態のシュレディンガー方程式を示せ。
2) 境界条件を示し，量子数n_x, n_y, n_z $(=1,2,3,\cdots)$を用いて規格化された波動関数を求めよ。ただし，波動関数はx,y,z方向で独立であり$\psi(x,y,z)=\psi_x(x)\psi_y(y)\psi_z(z)$であるとする。
3) エネルギー固有値E_{n_x,n_y,n_z}を求めよ。
4) エネルギー固有値E_{n_x,n_y,n_z}による電子のエネルギー準位について考える。一番低いエネルギーをE_1，二番目に低いエネルギーをE_2とする。E_1，E_2をとるn_x, n_y, n_zの組み合わせを答えよ。
5) エネルギーE以下の電子の取り得る状態の数をNとする。単位体積あたりの状態の数を$n(=N/L^3)$としてEを求めよ。ただし，電子のスピンを考慮すること。
6) 単位体積，単位エネルギーあたりのエネルギー準位の数を状態密度$g(E)$といい

$$\int_0^E g(E)dE=n$$

となる。状態密度$g(E)$を求めよ。また，Eに対する$g(E)$のグラフを描け。ただし，量子数n_x, n_y, n_zが連続と見なせるほど，Lが十分に長いものとする。

2.

n 型半導体の少数キャリアである正孔の濃度 p_n [cm^{-3}]に関するキャリア連続の方程式が，半導体の内部にかかる電界がゼロの場合，座標 x と時間 t を用いて次式のように表される条件のとき，以下の問に答えよ。

$$\frac{\partial p_n}{\partial t} = D_h \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_h} + G$$

上の式中， p_{n0} [cm^{-3}]は熱平衡状態時の正孔濃度， D_h [cm^{2}s^{-1}]は正孔の拡散定数， τ_h [s]は電子-正孔対の再結合寿命時間と呼ばれ，過剰正孔濃度が p_{n0} に戻るまでの時間の目安を与える。また，G [cm^{-3}s^{-1}]は光照射などによる単位時間・単位体積あたりに増加する正孔濃度を表す。ここで，正孔濃度 p_n は x 方向のみに変化し，y, z 方向には変化しないものと仮定し，端部効果や量子サイズ効果は無視せよ。

(A) 図 2.1 に示すように，x 軸に一様な n 型半導体に，外部から一定の強度の光を均一に照射し続け，半導体内部の光強度は一定とみなすことができる状況にある。その結果，半導体内には場所によらず均一に電子-正孔対が生成され，定常状態となった。

1) この定常状態に達したときの少数キャリアである正孔濃度 p_n を求めよ。

2) 1)の条件のもと，$t = 0$ において光照射を停止した。$t \geqq 0$ における少数キャリアの濃度の時間変化 $p_n(t)$ を導出せよ。

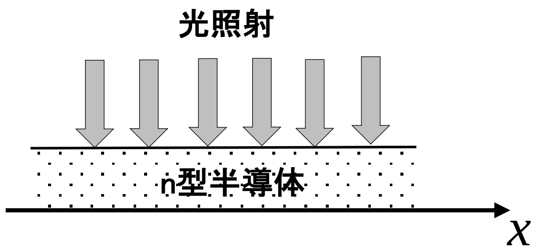

図2.1

(B) 図 2.2 に示すように，$x = 0$ に端面があり，ここでキャリアの表面再結合が生じている場合について考える。x 軸の正方向に半無限長の n 型半導体に，(A)と同様に外部から光を照射し，場所によらず均一に電子-正孔対が生成されている。少数キャリアの拡散長 $L_h = \sqrt{D_h \tau_h}$ を適宜用いよ。

1) 少数キャリア濃度の x 方向の分布 $p_n(x)$の連続の方程式，及び $x = 0$，$x = \infty$ での境界条件を示せ。表面で単位時間あたりに再結合で消滅する正孔密度は，表面再結合速度 S_1 [cm s^{-1}]と$(p_n(0) - p_{n0})$の積で表される。

2) 1)より，少数キャリア濃度の x 方向の分布 $p_n(x)$を導出せよ。

3) 表面再結合速度 S_1 を∞と仮定したときの $x = 0$ での拡散電流密度を求めよ。なお，素電荷は q とする。また，拡散電流の向きを示せ。

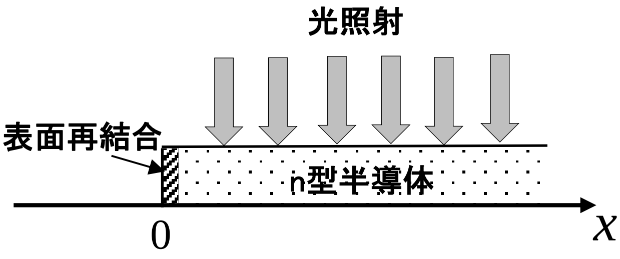

図2.2

4) 図 2.3 に示すように，n 型半導体が $x = 0$，W に端面をもち，両方の端面で表面再結合が生じているとする。両方の端面の表面再結合速度がともに∞であると仮定し，少数キャリアの x 方向の濃度分布 $p_n(x)$を求めよ。

また，拡散長 L_h >> 長さ W の場合，$p_n(x)$は x 方向にどのような分布になるか，考察せよ。

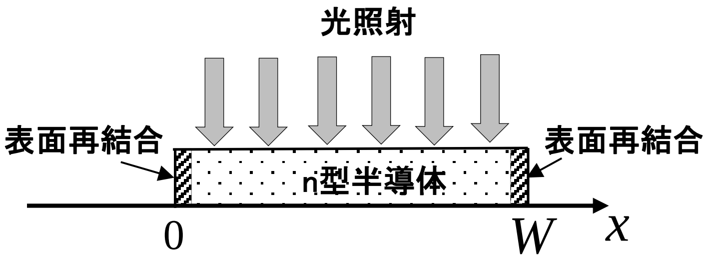

図2.3