平成 24 年度大学院博士前期課程入学試験

大阪大学大学院工学研究科
電気電子情報工学専攻

基礎科目試験問題

（実施時間　９：３０ ～ １２：３０）

【注　意　事　項】

１．問題用紙は，この表紙を除いて 12 頁ある．解答開始の指示があるまで開いてはいけない．解答開始後，落丁や不鮮明な箇所等があった場合は，手を挙げて監督者にその旨を伝えること．

２．試験問題は，「数学１」，「数学２」，「数学３」，「数学４」，「数学５」，「電磁理論１」，「電磁理論２」，「電気電子回路１」，及び，「電気電子回路２」の９題*あり，この順番に綴じられている．このうち，５題を選択し解答すること．但し，選択すべき試験問題は，受験コース毎に下表のように規定されている．

受験コース名	選択すべき試験問題
システム・制御・電力工学コース	「数学１」,「数学２」,「数学３」,「数学４」,「数学５」の５題から３題，及び,「電磁理論１」,「電磁理論２」,「電気電子回路１」,「電気電子回路２」の４題から２題，合計５題を選択すること
先進電磁エネルギー工学コース	
量子電子デバイス工学コース	
情報通信工学コース	９題（上記*印）から５題選択すること

３．解答用紙は，試験問題毎に指定されている．解答は必ず指定された解答用紙に記入すること．解答用紙を間違えると，採点できない場合がある．

４．選択した試験問題の解答に際しては，指定されている解答用紙の上部に試験問題名，志望コースおよび受験番号を記入した後，解答の記入を開始すること．

５．解答が解答用紙の表面に書ききれない場合は，その用紙の裏面を使用してよい．ただし，その場合，裏面に記入がある旨を表面に記載すること．

６．試験終了時までに，選択した５題の試験問題名を別紙「基礎科目試験問題選択票」の該当箇所へ記入すること．

７．“選択しなかった”試験問題の解答用紙は，下書きや計算用紙として使用しても差し支えないが，配布された９枚の解答用紙は全て回収されるので，持ち帰ってはいけない．

８．試験が終了したら，(1)「基礎科目試験問題選択票」に記入した試験問題の解答用紙５枚を番号の若い順に揃え，(2) 選択しなかった試験問題の解答用紙を一つに重ね二つ折にした上，(3)「基礎科目試験問題選択票」，番号順に揃えた５枚の解答用紙，及び，２つ折にした残りの解答用紙をこの順番に重ねて，監督者の指示を待つこと．

９．問題用紙は持ち帰ってもよい．

【数学 1】　解答は，白色（1 番）の解答用紙に記入すること．

n 項列ベクトル (column vector) $\mathbf{x}(t)$ に関する常微分方程式系 (system of ordinary differential equations)

$$\frac{d}{dt}\mathbf{x} = A\mathbf{x}$$

を考える．ただし，A は実定数からなる $n \times n$ 行列 (matrix) である．以下の設問に答えよ．

(a) $\mathbf{x}(t)$ のラプラス変換 (Laplace transform) を $\mathbf{X}(s)$ とすると，

$$\mathbf{X}(s) = (sI - A)^{-1}\mathbf{x}(0)$$

で与えられることを示せ．ただし，I は単位行列 (unit matrix) である．

(b) $A = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{pmatrix}$, $\mathbf{x}(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ のとき，$\mathbf{x}(t)$ を求めよ．

(c) $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ \beta & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 \end{pmatrix}$, $\alpha\beta\gamma \neq 0$, $\mathbf{x}(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ のとき，α, β, γ の値によらず $t \to \infty$ で $\mathbf{x}(t)$ が発散 (diverge) することを示せ．

(d) $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots\cdots\cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \quad \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots \quad \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots\cdots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \cdots\cdots\cdots & & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & \cdots\cdots & -a_{n-2} & -a_{n-1} \end{pmatrix}$ のとき，$|sI - A| = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0$ となることを，数学的帰納法 (mathematical induction) を用いて証明せよ．ただし，$n = 1$ のとき $A = \begin{pmatrix} -a_0 \end{pmatrix}$ である．

【数学2】解答は，赤色（2番）の解答用紙に記入すること.

微分方程式（differential equation）

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+2k\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}+\omega^2x=0\,,\ （t\geq 0）$$

について以下の(a)～(d)の設問に答えよ．ただし，$t=0$ のとき，$x=x_0>0$，$\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=0$ とする.

（a）$k=\omega>0$ のとき，微分方程式の解を求めよ.

（b）$k>\omega>0$ のとき，微分方程式の解を双曲線関数（hyperbolic function）のみを用いて表せ.

（c）$\omega>k>0$ のとき，微分方程式の解が振動的な関数（oscillating function）となることを示せ.

（d）$\omega>k>0$ のとき，x の極大値（local maximum）のうち n 番目を x_n として，$\dfrac{x_n}{x_{n+1}}$ を求めよ.

【数学３】 解答は，青色（３番）の解答用紙に記入すること．

1 より大きい整数 n に対して，複素数（complex number）$z = x + iy$ に関する複素関数（complex function）$f_n(z)$ を

$$f_n(z) = \frac{1}{1+z^n}, \quad (n = 2, 3, 4, \cdots)$$

と定義する．以下の設問に答えよ．

(a) $f_n(z)$ の極（pole）をすべて求めよ．

(b) 図 1 のように，複素平面（complex plane）上に，半径 R，中心角 $2\pi/n$ の扇形（sector）OAB を考える．ただし，点 A は実軸（real axis）上にあり，半径 R は $R > 1$ とする．このとき，点 B から原点 O にいたる積分路（integral path）BO に沿った $f_n(z)$ の線積分（path integral）が

$$\int_{\mathrm{BO}} f_n(z)\,\mathrm{d}z = -\mathrm{e}^{i2\pi/n} \int_0^R \frac{1}{1+x^n}\,\mathrm{d}x$$

と表せることを示せ．

(c) 図 1 に示した閉路（closed contour）OABO に関する $f_n(z)$ の周回積分（contour integral）I_n の値を，留数定理（residue theorem）を用いて求めよ．

$$I_n = \int_{\mathrm{OABO}} f_n(z)\,\mathrm{d}z$$

(d) 次の実積分（real integral）J_n の値を求めよ．

$$J_n = \int_0^\infty \frac{1}{1+x^n}\,\mathrm{d}x, \quad (n = 2, 3, 4, \cdots)$$

その際，円弧（arc）AB に沿った $f_n(z)$ の積分が $R \to \infty$ の極限で

$$\lim_{R\to\infty} \int_{\mathrm{AB}} f_n(z)\,\mathrm{d}z = 0$$

となることを用いてもよい．

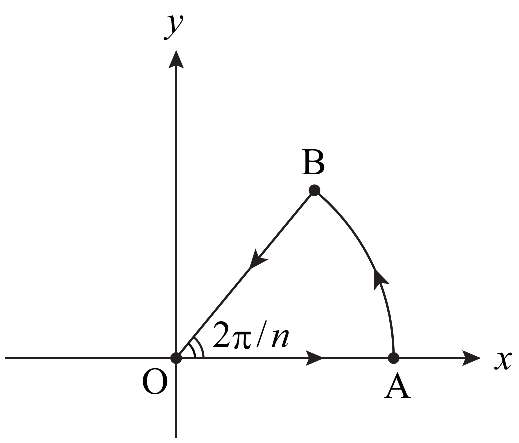

図 1

【数学4】解答は，黄色（4番）の解答用紙に記入すること.

図１に示した $-\infty < t < \infty$ で定義されている周期 T の関数 $f(t)$ （$0 \le t < T$ においては $f(t) = 1 - t/T$ ）について，以下の設問に答えよ.

(a) 関数 $f(t)$ のフーリエ級数（Fourier series）を求めよ.

(b) $-NT \le t < NT$ $(N:\text{正の整数})$ において，関数 $f(t)$ をヘヴィサイド関数（Heaviside function） $u_a(t)$ を用いて表せ．ここで，ヘヴィサイド関数 $u_a(t)$ は以下のように定義される.

$$u_a(t) = \begin{cases} 1 & (t \ge a) \\ 0 & (t < a) \end{cases} \quad .$$

(c) (a)の結果を用いて，$f(t)$ の一階微分（first differential）のフーリエ級数を求めよ．なお，(d)で示すように，ヘヴィサイド関数は不連続点においても微分可能である.

(d) ヘヴィサイド関数は以下の性質を持っている.

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\,t} u_a(t) = \delta(t-a) \quad .$$

ここで，デルタ関数は以下のように定義される.

$$\begin{cases} \delta(t-a) = 0 & (t \ne a) \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-a)dt = 1 \end{cases} \quad .$$

(b)の結果を用いて，$-NT \le t < NT$ $(N:\text{正の整数})$ におけるデルタ関数列を求め，$N \to \infty$ に拡張することにより，$-\infty < t < \infty$ において定義される周期的なデルタ関数列 $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ （periodic delta function series）が求められる．このデルタ関数列を（c)の結果を用いて，フーリエ級数で示せ.

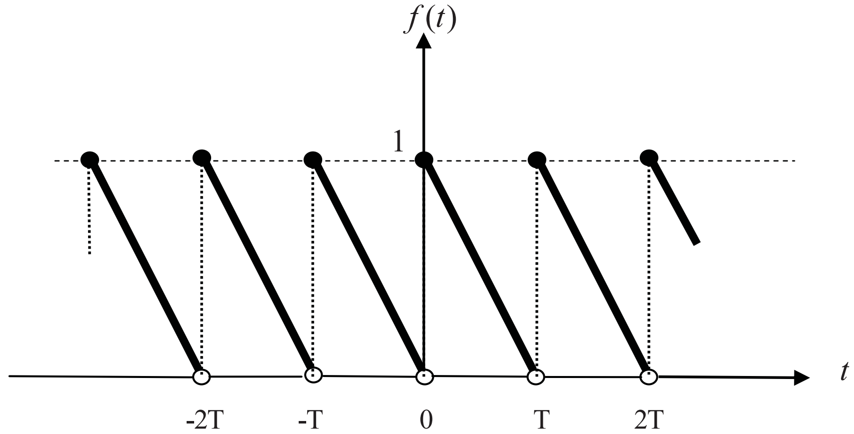

図１

【数学５】解答は，水色（５番）の解答用紙に記入すること．

ある生鮮食品を 1 kg 当たり λ [円] で仕入れ，1 kg 当たり μ [円] で販売することを考える．ただし $0 < \lambda < \mu$ である．この食品の消費期限は仕入れ当日であり，仕入れを行った当日に販売できずに売れ残った食品は全て廃棄しなければばならない．この食品の廃棄には 1 kg 当たり η [円] $(\eta \geq 0)$ の費用がかかるとする．

$\alpha = \mu - \lambda > 0, \beta = \lambda + \eta > 0$ とする．α は食品を 1 kg 販売した際に得られる利益を表している．一方，β は仕入れたが販売できず，廃棄された食品 1 kg 当りの損失額を表している．

仕入れ量が十分に多く，決して品切れにならない場合に，仕入れ当日に販売できる食品の量 S [kg] を潜在販売可能量とよぶ．仕入れ量が潜在販売可能量以下ならば、仕入れた食品を完売できる．一方，仕入れ量が潜在販売可能量より多ければ売れ残りが発生し，売れ残った食品は全て廃棄しなければばならない．

ここでは潜在販売可能量 S を，仕入れ量とは独立な (independent) 非負 (nonnegative) の値をとる確率変数 (random variable) とみなし，確率分布関数 (probability distribution function) $F(u) = \Pr(S \leq u)$ $(u \geq 0)$ ならびに確率密度関数 (probability density function) $f(u)$ $(u \geq 0)$ をもつと仮定する．

以下の (a)〜(h) の設問に答えよ．

(a) 非負の仕入れ量 x [kg] と潜在販売可能量 $S = s$ [kg] が予め与えられたとき，完売できる場合（$x \leq s$）と売れ残りが発生する場合（$x > s$）のそれぞれの場合における利得 G を，x，s，α，β のみを用いて表せ．ただし，利得とは，収益が黒字の場合は収益に一致し，収益が赤字の場合は，絶対値 (absolute value) が損失額に等しい負 (negative) の値を取る量である．

(b) $F(0) \geq \alpha/(\alpha+\beta)$ が成立するとき，仕入れ量 x $(x \geq 0)$ の値にかかわらず，利得 G の期待値 (expectation) $\mathrm{E}[G]$ は常に $\mathrm{E}[G] \leq 0$ を満たすことを証明せよ．

(c) $F(0) < \alpha/(\alpha+\beta)$ が成立するとき，利得 G の期待値が最大となる仕入れ量 $x = x^*$ が満たすべき条件を求めよ．

(d) $F(0) < \alpha/(\alpha+\beta)$ が成立するとき，利得の期待値が等しくなるような，異なる二つの仕入れ量 x_1，x_2 $(0 < x_1 < x_2)$ を選ぶことができる．このとき，仕入れ量が x_1 の場合と仕入れ量が x_2 の場合のいずれの方が利得 G の分散 (variance) が大きくなるかを，分散を計算せずに予想し，その理由を簡潔に述べよ．

以下の (e)〜(h) の設問では，潜在販売可能量 S が $[0, T]$ 上の一様分布 (uniform distribution) に従うと仮定する．ただし $T > 0$ である．

(e) 潜在販売可能量 S の確率分布関数 $F(u)$ $(u \geq 0)$ と確率密度関数 $f(u)$ $(u \geq 0)$ を求めよ．

(f) 仕入れ量 x $(x \geq 0)$ が与えられたとき，収益が赤字になる確率 $\Pr(G < 0)$ を求めよ．

(g) 収益が赤字であるという条件下での利得の条件付き期待値 $\mathrm{E}[G \mid G < 0]$ が

$$0 < w \leq \frac{(\alpha+\beta)T}{2\beta}$$

を満たす w に対して $\mathrm{E}[G \mid G < 0] \geq -\beta w$ となるような，仕入れ量 x の上限 x^{**} を求めよ．

(h) $F(0) = 0$ に注意して，設問 (g) で求めた条件の下で利得の期待値が最大となる仕入れ量を求めよ．

【電磁理論１】　解答は，桃色（６番）の解答用紙に記入すること．

解答用紙に①～⑮の番号を記し，対応する以下の文中の空欄にあてはまる語句または数式を解答用紙に記入せよ．ただし，⑪，⑫，⑮については問題文最後にある選択語群の中から適切な語句を選び記入すること．

直角座標系における x, y および z 方向の単位ベクトルをそれぞれ $\boldsymbol{i}_x$， $\boldsymbol{i}_y$ および $\boldsymbol{i}_z$，時間を t とし，一定の角周波数 ω で正弦的な時間変化をする任意のベクトル $\boldsymbol{F}(x,y,z,t)$ は各成分を F_x， F_y， F_z として

$$\boldsymbol{F}(x,y,z,t) = \boldsymbol{i}_x F_x(x,y,z,t) + \boldsymbol{i}_y F_y(x,y,z,t) + \boldsymbol{i}_z F_z(x,y,z,t) = \mathrm{Re}\left[\hat{\boldsymbol{F}}(x,y,z)e^{j\omega t}\right] \tag{1}$$

と書き表すことができる．ここで，

$$\hat{\boldsymbol{F}}(x,y,z) = \boldsymbol{i}_x \hat{F}_x(x,y,z) + \boldsymbol{i}_y \hat{F}_y(x,y,z) + \boldsymbol{i}_z \hat{F}_z(x,y,z) \tag{2}$$

は複素スカラー量 $\hat{F}_x(x,y,z)$， $\hat{F}_y(x,y,z)$ および $\hat{F}_z(x,y,z)$ を成分とする複素ベクトルである．また，Re[ ] はカッコ内の量の実数部をとることを示し， $j=\sqrt{-1}$ は虚数単位である．これ以降，例えばベクトル $\boldsymbol{F}(x,y,z,t)$ は $\boldsymbol{F}$，複素ベクトル $\hat{\boldsymbol{F}}(x,y,z)$ は $\hat{\boldsymbol{F}}$ と略して表記する．

誘電率 ε，透磁率 μ，導電率 σ なる媒質中を伝搬する角周波数 ω の電磁波を考える．その電界を $\boldsymbol{E}$，磁界を $\boldsymbol{H}$ としたときファラデー・マクスウェルの法則の微分表示は

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = \boxed{\quad ① \quad} \tag{3}$$

と表すことができる．ここで，電界 $\boldsymbol{E}$ および磁界 $\boldsymbol{H}$ に対する複素表示 $\hat{\boldsymbol{E}}$， $\hat{\boldsymbol{H}}$ を用いると

$$\boldsymbol{E} = \mathrm{Re}\left[\boxed{\quad ② \quad}\right] \tag{4}$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t} = \mathrm{Re}\left[\boxed{\quad ③ \quad}\right] \tag{5}$$

と書くことができる．したがって，ファラデー・マクスウェルの法則は

$$\nabla \times \hat{\boldsymbol{E}} = \boxed{\quad ④ \quad}\ \hat{\boldsymbol{H}} \tag{6}$$

となる．

同様にアンペア・マクスウェルの法則の微分表示は

$$\nabla \times \boldsymbol{H} = \boxed{\quad ⑤ \quad} + \sigma\boldsymbol{E} \tag{7}$$

である．ここで，右辺第 1 項は電束の時間的変化によって生じる項，右辺第 2 項は導電電流によって生じる項である．したがって，アンペア・マクスウェルの法則は

$$\nabla \times \hat{\boldsymbol{H}} = \left(\boxed{\quad ⑥ \quad}\right) \hat{\boldsymbol{E}} \tag{8}$$

となる．

次に z 方向へ伝搬する平面電磁波を考える．電界は x 成分，磁界は y 成分のみもつとし，それらの複素振幅を $\hat{E}_0$， $\hat{H}_0$ とすると，複素伝搬定数 k を使って，電界，磁界の複素表示 $\hat{\boldsymbol{E}}$ と $\hat{\boldsymbol{H}}$ はそれぞれ，

$$\hat{\boldsymbol{E}} = \boxed{\quad ⑦ \quad}\ e^{-jkz} \tag{9}$$

$$\hat{\boldsymbol{H}} = \boxed{\quad ⑧ \quad}\ e^{-jkz} \tag{10}$$

となる．そこで，式(9)，(10)を式(6)に代入し整理すると

$$k\hat{E}_0 = \boxed{\quad ⑨ \quad}\ \hat{H}_0 \tag{11}$$

であり，同様に式(9)，(10)を式(8)に代入し整理すると

$$k\hat{H}_0 = \left(\boxed{\quad ⑩ \quad}\right)\ \hat{E}_0 \tag{12}$$

となる関係が得られる．複素伝搬定数 k に対し α を $\boxed{\ ⑪\ }$ 定数， β を $\boxed{\ ⑫\ }$ 定数（ただし， α， β は正の実数）として，

$$k = \beta - j\alpha \tag{13}$$

とおき，式(11)～(13)を用いて α， β を求める．特に $\sigma << \omega\varepsilon$ の条件の下では近似的に

$$\alpha = \frac{\sigma}{2}\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \tag{14}$$

$$\beta = \omega\sqrt{\varepsilon\mu} \tag{15}$$

が導き出され，複素伝搬定数 k が求まる．このとき式(11)もしくは式(12)から k を消去すると，$\hat{E}_0$ と $\hat{H}_0$ の間には

$$\hat{H}_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}\left(\boxed{\quad ⑬ \quad} + j\ \boxed{\quad ⑭ \quad}\right)\hat{E}_0 \tag{16}$$

なる関係が得られる．したがって，磁界 $\hat{\boldsymbol{H}}$ の位相は電界 $\hat{\boldsymbol{E}}$ の位相より $\boxed{\ ⑮\ }$．このように，導電性をもつ媒質中を電磁波が伝搬するとき，電界と磁界との間に位相のずれが生じることがわかる．

選択語群

伝搬，波数，位相，振動，減衰，透過，反射，進む，遅れる

【電磁理論2】　解答は，緑色（7番）の解答用紙に記入すること．

解答用紙に①～㉑の番号を記し，対応する以下の文中の空欄にあてはまる語句または数式を解答用紙に記入せよ．⑲, ⑳については語群の中から適当な語句を一つ選択し，その記号を記入せよ．

質量 m，電荷 q の荷電粒子が速度 $\boldsymbol{v}$（大きさ v）で電界 $\boldsymbol{E}$，磁束密度 $\boldsymbol{B}$ である空間を運動するときに受ける力 $\boldsymbol{F}$ は，$\boxed{\quad ① \quad}$ と呼ばれ，

$$\boldsymbol{F} = \boxed{\quad ② \quad} \qquad (1)$$

と置ける．荷電粒子の運動による電界 $\boldsymbol{E}$ と磁束密度 $\boldsymbol{B}$ に対する影響は無視できるとする．速度の大きさ v は光速に比べて十分小さいとすると，荷電粒子の運動方程式は，

$$\boxed{\quad ③ \quad} = \boxed{\quad ② \quad} \qquad (2)$$

となる．電界 $\boldsymbol{E}$ がなく，かつ静磁界の場合，式(2)の両辺と $\boldsymbol{v}$ の内積をとった式を式(2)’とすると，

式(2)’の左辺 $= \boldsymbol{v} \bullet \boxed{\quad ③ \quad} = \dfrac{d}{dt}\boxed{\quad ④ \quad}$

式(2)’の右辺 $= \boxed{\quad ⑤ \quad}$

となり，静磁界は荷電粒子に対して $\boxed{\quad ⑥ \quad}$ をしない．

今，直角座標系(x, y, z)（基本ベクトル $\boldsymbol{i}_x, \boldsymbol{i}_y, \boldsymbol{i}_z$）において，$\boldsymbol{E} = 0$ とし，磁界の方向は z 軸方向として，$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{i}_z B$（$B$ は正定数）であるとすると，式(2)の運動方程式の各方向成分は次のようになる．

$$m\frac{dv_x}{dt} = \boxed{\quad ⑦ \quad} \qquad (3)$$

$$m\frac{dv_y}{dt} = \boxed{\quad ⑧ \quad} \qquad (4)$$

$$m\frac{dv_z}{dt} = \boxed{\quad ⑨ \quad} \qquad (5)$$

以後，$q > 0$ として，$\omega_c = \dfrac{qB}{m}$ と置く．

式(3)～(5)の運動方程式を $t = 0$ の初期条件 $(x, y, z) = (0, 0, 0)$，$(v_x, v_y, v_z) = (v_0\sin\theta, 0, v_0\cos\theta)$, $(v_0 > 0$, $0 < \theta < \pi/2)$で解き，速度と位置の各成分を v_0，ω_c，θ，t で表すと次のようになる．

$v_x =$ ⑩

$v_y =$ ⑪

$v_z =$ ⑫

$x =$ ⑬

$y =$ ⑭

$z =$ ⑮

これらから，$v_x^2 + v_y^2 =$ ⑯ であり，x-y 平面に投影した荷電粒子の回転軌道半径すなわちラーマー半径 r_L は，v_0，θ，ω_c を用いて，

$r_L =$ ⑰

となり，荷電粒子が一回転したときに z 方向に進む距離，すなわちピッチ Δz は

$\Delta z =$ ⑱

である．

したがって，$q > 0$ の荷電粒子の回転は，z 軸の負から正に向かう方向に沿って見て，⑲(イ)右回り（時計回り)，(ロ)左回り（反時計回り） となる．また，$q < 0$ の荷電粒子の回転は，その逆方向の回転となる．これらの回転方向は両者ともに磁束密度 $\boldsymbol{B}$ の外部磁界を ⑳（イ）強める，（ロ）弱める 方向に磁界を生じるように電流を発生する方向である．このことから，荷電粒子は ㉑ の性質を有するといえる．

専門用語の英訳

電磁理論１

複素伝搬定数	complex propagation constant
誘電率	dielectric constant
透磁率	magnetic permeability
導電率	conductivity
平面電磁波	plane electromagnetic wave
微分表示	differential form
波数	wave number
位相	phase
振動	oscillation
減衰	attenuation
透過	transmission
反射	reflection

電磁理論２

荷電粒子	charged particle
質量	mass
電荷	electric charge
速度	velocity
電界	electric field
磁束密度	magnetic flux density
静磁界	static magnetic field
運動方程式	equation of motion
回転軌道半径	radius of circular locus
ラーマー半径	Larmor radius

【電気電子回路１】　解答は，灰色（８番）の解答用紙に記入すること．

受動素子（抵抗，インダクタ，キャパシタ）からなる回路網 N がある．$t < 0$ では，N 内部のそれぞれの受動素子の電圧（初期電圧）および電流（初期電流）はすべてゼロとする．

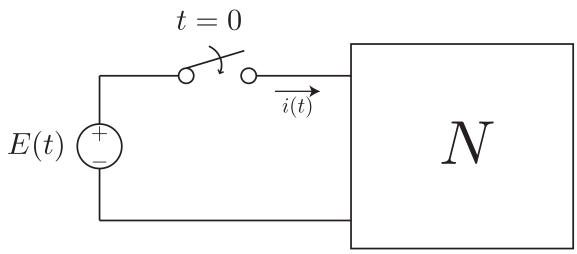

図 1

電圧 $E(t) = 1$ V の電源を用い，$t = 0$ でスイッチを閉じた．$t > 0$ で $i(t) = \frac{1}{3}\{\exp(-t) - \exp(-4t)\}$ A の電流が流れることがわかった．以下の問いに答えよ．

(1) $i(t)$ をラプラス変換した $I(s)$ を求めよ．

(2) 前問の結果を用いて N のインピーダンス $Z(s)$ を求めよ．

(3) N はどのような回路図になるのか，一例を図示せよ．必要な図および値をすべて明示せよ．

(4) $|Z(s)|$ が最小となる周波数はいくらか？またその時の $|Z(s)|$ の値はいくらか？

次に，N の受動素子のそれぞれの初期電圧および初期電流をゼロに戻し，$E(t) = \frac{12}{5}\{1 - \exp(-5t)\}$ V ($t > 0$) を出力する電圧源に入れ替え，$t = 0$ でスイッチを閉じた．

(5) $i(t)$ を求めよ．

【電気電子回路2】解答は，だいだい色（9番）の解答用紙に記入すること．

図 1 に示す n チャネル MOSFET を用いたソース接地増幅器[*1]の定常状態[*2]について，以下の問い(1)〜(5)に答えよ．なお，図中の G，S，D はそれぞれゲート，ソース，ドレイン[*3]を示し，正弦波入力信号電圧 $v_i(t)$ ならびに出力信号電圧 $v_o(t)$ の振幅は 1 V よりも十分小さいものとする．また，MOSFET は飽和領域[*4]で動作しており，ゲート・ソース間電圧を V_{GS} とすると，ドレイン電流 I_D は，

$$I_D = \frac{\beta}{2}\left(V_{GS} - V_{TH}\right)^2$$

で与えられるものとする．ここで，$V_{TH} = 0.5$ V，$\beta = 1$ mA/V^2 とする．

(1) ゲートバイアス[*5]電圧を求めよ．

(2) 直流[*6]ドレイン電流を求めよ．

(3) 出力電圧の直流成分 V_O を求めよ．

(4) 図 1 のソース接地増幅器に対する小信号交流等価回路[*7]を図 2 に示す．ただし，$\dot{V}_i$ と $\dot{V}_o$ は，それぞれ $v_i(t)$ ならびに $v_o(t)$ のフェーザ[*8]である．電圧利得[*9]の周波数特性[*10] $A(j\omega)$ について，その振幅周波数特性 $|A(j\omega)|$，ならびに位相周波数特性 $\angle A(j\omega)$ をそれぞれ導出せよ．ただし，ω は角周波数[*11]である．

(5) $|A(j\omega)|$，ならびに $\angle A(j\omega)$ をボード線図[*12]にそれぞれ図示せよ．ただし，$C = 20\ \mu$F, $g_m = 2$ mS とする．なお，ボード線図の横軸は角周波数の対数目盛り[*13]とし，振幅周波数特性 $|A(j\omega)|$ の縦軸は dB 単位にせよ．一方，位相周波数特性 $\angle A(j\omega)$ の縦軸は rad 単位にせよ．また，対数の計算に近似値 $\log_{10} 2 = 0.3$, $\log_{10} 3 = 0.5$, $\log_{10} 5 = 0.7$, $\log_{10} 7 = 0.85$ を用いて良い．

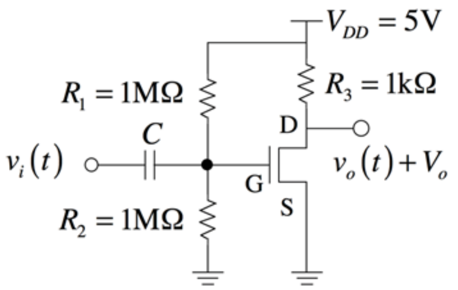

図 1

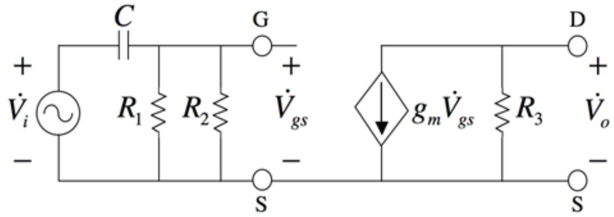

図 2

---

*1 ソース接地増幅器: common-source amplifier
*2 定常状態: steady state
*3 ゲート，ソース，ドレイン: gate, source, drain
*4 飽和領域: saturation region
*5 バイアス：bias
*6 直流：DC (Direct Current)
*7 小信号交流等価回路：small-signal AC (Alternative Current) equivalent circuit
*8 フェーザ：phasor
*9 電圧利得：voltage gain
*10 周波数特性：frequency characteristic
*11 角周波数：angular frequency
*12 ボード線図：Bode plot
*13 対数目盛り：logarithmic scale