

2024 年度
青山学院大学
大学院理工学研究科理工学専攻

博士前期課程(9月)入学試験

機能物質創成コース

「専門科目」 問題冊子

受験番号：

氏名：

[注意事項]

1. 志願したコースの問題冊子であることを確認すること。
2. 本問題冊子は表紙を含めて全25枚である。
3. 問題冊子及び解答用紙一枚ごとに、受験番号と氏名を必ず記入すること。
4. 選択必須問題を1問、選択問題から2問の合計3問を解答すること。

選択必須問題 右の3問の中から1問解答	1	物性物理学
	2	固体化学
	3	電子物性学
選択問題 右の15問の中から2問選択	4	力学(物理分野)
	5	電磁気学(物理分野)
	6	量子力学(物理分野)
	7	統計力学(物理分野)
	8	物理化学(化学分野)
	9	無機・分析化学(化学分野)
	10	有機化学(化学分野)
	11	電磁気学(電気電子分野)
	12	電気回路(電気電子分野)
	13	電波工学(電気電子分野)
	14	情報・通信工学(電気電子分野)
	15	電気電子計測(電気電子分野)
	16	電子回路(電気電子分野)
	17	制御工学(電気電子分野)
	18	パワーエレクトロニクス(電気電子分野)

5. 解答冊子、問題冊子とも全て回収するので、綴じたままにしておくこと。

1 物性物理学

以下の固体の比熱に関する設問 a-c について、空欄 (ア) - (サ) にあてはまる式、または語句を記せ。T は温度、 k_B はボルツマン定数、 $\hbar = h(\text{プランク定数})/2\pi$ 、 ω は振動数である。

a. デバイ温度 θ より十分高温では、1原子当たりの内部エネルギー U は、位置エネルギーと x, y, z 方向の運動エネルギーにエネルギーの等分配則によりそれぞれ $\frac{1}{2}k_B T$ ずつ蓄えられていることから、モル分子数を N とすると1モルの物質の比熱 C_{mol} は、 $C_{\text{mol}} =$ (ア) と書け、この場合には物質の種類や温度に依存しない一定値となる。これは (イ) の法則である。 θ は、格子波の速さを v 、1モルの物質の体積を V とすると、 $\theta = \frac{N\hbar v}{R} \left(\frac{6\pi^2 N}{V} \right)^{1/3}$ と書ける。よって、 θ は硬い物質ほど高く、 $\theta = 2230 \text{ K}$ のダイヤモンドの室温 (298 K) における C_{mol} は、(ア) の約 $1/4$ である。

b. 低温では格子の微小振動を、互いに独立な調和振動子の集団として扱うことができ、エネルギー準位は量子化される。最も低い準位のエネルギー $\frac{1}{2}\hbar\omega$ は (ウ) 振動のエネルギーであり、それより高いエネルギー側に、 $\hbar\omega$ の間隔で準位が存在する。 ω の小さいエネルギー領域でのフォノン (エ) モードで音速を v_s 、波数 k をとすると、 $\omega =$ (オ) と書ける。一般的に3次元の固体において、低エネルギー領域でフォノンの状態密度 $D(\omega)$ は ω^2 に比例して増える。つまり $T \sim 0 \text{ K}$ の極低温から温度を上げていく場合には、一定の温度上昇幅当たりの新たに励起されるフォノンの数が温度上昇とともに増し、比熱が (カ) なる。

全ての (エ) モードに対して $D(\omega)$ が ω^2 に比例して変化し、縦波、横波が同じ v_s を持ち、上限の周波数までの $D(\omega)$ の総数が全自由度 $3N$ に一致とすると仮定したデバイ模型の比熱 C_{lat} は以下のように表される。

$$C_{\text{lat}} = 9Nk_B \left(\frac{T}{\theta} \right)^3 \int_0^{\theta/T} \frac{x^4 e^x dx}{(e^x - 1)^2} \quad \left(x = \frac{\hbar\omega}{k_B T} \right)$$

$T \ll \theta$ の極低温領域において、積分項は $\frac{4}{15}\pi^4$ に近似できるので、この領域での比熱は T の (キ) 乗に比例することがわかる。

c. 物質の極低温における比熱では、フォノンの寄与が小さくなることから電子の寄与も無視できなくなる。有限温度下で電子状態の占有確率 $f(E)$ を与える (ク) - デイラックの分布関数は、 E をエネルギー、 E_F を (ク) エネルギーとして、 $f(E) = 1/(e^{(E-E_F)/k_B T} + 1)$ と表される。 $T = 0 \text{ K}$ において、 $E < E_F$ では $f(E) =$ (ケ)、 $E > E_F$ では $f(E) =$ (コ) であり、温度 $T (> 0 \text{ K})$ によって E_F 近傍の $\pm k_B T$ のエネルギーの電子のみの $f(E)$ が変化しエネルギーを変えるとすると、これに対応する電子の比熱 C_{el} は T の (サ) 乗に比例する。

2 固体化学

以下の設問 (1) ~ (4) のすべてに答えよ。

- (1) アナターゼ型結晶構造の酸化チタン光触媒に関して光触媒活性を発現する原理に関して解説せよ。
- (2) 光触媒を用いた場合の酸化力はどのように決まるのか、また、酸化チタン光触媒に可視光応答性を持たせるためには、どのようなアプローチが有効であるのか考察し、解説せよ。
- (3) 窒化物セラミックスの中には窒素の原子価を満たした形のもの、そうでないものがある。それぞれどのような場合か、またそうなる理由を説明せよ。
- (4) イオン結晶の構造の安定性に関して、ポーリング則の立場から解説しなさい。(カチオンとアニオンのイオン半径の比と、結晶構造の安定性に関して論じること。また、静電子価則、節約則、配位多面体の結合の仕方、等にも言及すること。)

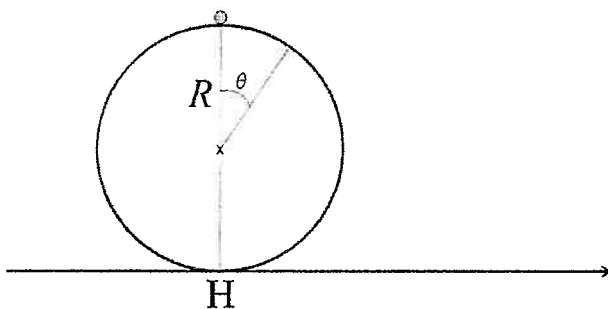
3 電子物性学

以下の問に答えよ。

物質をその電気抵抗から分類した例を3つ示し、バンド理論の観点から構造を説明せよ。また、そのうちエネルギーバンド有無の物質を実験的に分類する方法を示し、その原理を説明せよ。

4 力学

図のように半径 R の表面が滑らかな球が水平な床に固定されている。時刻 $t = 0$ で球の頂点から質量 m の質点を十分小さな速度 δv で滑らせ始めた。以下の問に答えよ。



問 1. 質点の頂点からの角度を θ とする。質点が球の表面を滑り落ちている間の運動方程式を θ を用いて記し、 θ が十分小さい間のその運動方程式の解を求めよ。

以下の問いでは θ は十分小さいとは限らない。また、初速度 δv は十分小さく 0 とみなせるとする。

問 2. 質点が球の表面を滑り落ちている間の質点の速度の大きさをエネルギー保存則より求めよ。

問 3. θ が θ_0 になったところで、質点は球の表面から離れ始めた。 θ_0 を求めよ。

問 4. 質点はその後、床に落ちた。球の中心から床に下ろした垂線の足を H とする。質点が床に落ちた位置の H からの距離 l を求めよ。

5

電磁気学

真空の誘電率を ε_0 として以下の問いに答えよ。

- 問1. 半径 a および b ($a < b$) の同心球面の導体からなる球形のコンデンサーを考える。
- (1) 内球に q_a 、外球に q_b の電荷を与えたときの電場を求めよ。また、無限遠を基準点としたときの静電ポテンシャルを求めよ。
 - (2) このコンデンサーの電気容量を求めよ。
- 問2. 質量 m 、電荷 q の荷電粒子が一様な磁場 $B = (0, 0, B)$ の中へ、 $t = 0$ に初速度 $(0, v_0, 0)$ で入射した。その後の荷電粒子の速度 $v(t)$ を求めよ。
- 問3. 電気容量 C のコンデンサーと抵抗 R 、起電力 V の電源、スイッチを直列につないだ。 $t = 0$ にスイッチを入れた後の電流 $I(t)$ を求め、そのグラフを示せ。ただし、スイッチを入れる前にコンデンサーは放電されていたとする。

6 量子力学

パウリ行列は

$$\sigma = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z), \quad \sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

と 2×2 行列で定義される。以下の問に答えよ。

I. パウリ行列を用いて、スピン角運動量ベクトルを表す演算子は $S = \frac{\hbar}{2}\sigma$ で定義される。

1. $S^2 = S_x^2 + S_y^2 + S_z^2$ を 2×2 行列で表せ。
2. 交換積 $[S_z, S_x]$ 、 $[S^2, S_x]$ を 2×2 行列の計算から求めよ。
3. S_z の固有値および固有ベクトル (固有状態のベクトル表示) を全て求めよ。
4. S_x の固有値および固有ベクトルを全て求めよ。
5. ここまでの結果を用いて、 S^2 、 S_z および S_x について、不確定性原理に関する議論をせよ。

II. スピン磁気モーメントを表す演算子を $M = -\mu_B \sigma$ とする。ここで μ_B はボーア磁子と呼ばれる定数である。このとき、磁場 $\mathbf{H} = (H_x, H_y, H_z)$ 中のスピンのハミルトニアンは $\mathcal{H} = -M \cdot \mathbf{H}$ で表される。

これ以降、磁場の強さが $H (> 0)$ で x 軸と角度 ϕ をなす向きを向いている場合

$$\mathbf{H} = (H \cos \phi, H \sin \phi, 0) \quad \text{を考える。}$$

6. ハミルトニアンを行列で表せ。
7. エネルギー準位をすべて求めよ。
8. 基底状態のベクトル表示を示せ。
9. 基底状態について、スピン角運動量ベクトルの期待値 $\langle S \rangle$ を求めよ。
10. 磁場の強さと向きによって基底状態がどのように決まるかについて議論せよ。

7 統計力学

体積が $V = L^3$ の立方体容器の中に、相互作用しない質量 m の気体分子が N 個含まれている。この系は温度 T の熱浴に接しているとして、以下の問いに答えよ。プランク定数を $h (= 2\pi\hbar)$ 、ボルツマン定数を k_B とし、逆温度を $\beta = 1/k_B T$ とする。解答では、 T と β は混在していてもよいものとする。

問 1. まず、気体分子の数が $N = 1$ の場合を考える。気体分子の運動量を $\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)$ とする。量子力学によると、運動量の取りうる値は離散的となり、各成分が正の整数のベクトル $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ を用いて

$$\mathbf{p} = \frac{\pi\hbar}{L} \mathbf{n} = \frac{\pi\hbar}{L} (n_x, n_y, n_z)$$

のようになる。

- この系の分配関数 $Z_1(T, V)$ を求めよ。その際、正の整数 n に対して $x = n/L$ とし、 n についての和 $L^{-1} \sum_{n=1}^{\infty}$ を x についての積分 $\int_0^{\infty} dx$ に置き換えてよいことを用いよ。
- この系のエネルギーの期待値 (内部エネルギー) を求めよ。

問 2. 一般の N 粒子系を考える。

- N 個の気体分子は互いに区別できないことに留意し、系の分配関数 $Z_N(T, V)$ を求めよ。
- この系のエネルギーの期待値 (内部エネルギー) を求めよ。
- この系の圧力 p を求めよ。
- この系のエントロピー S を求めよ。
- 気体分子の数密度を $\rho = N/V$ と書き、無次元量 $A \equiv \frac{mk_B T}{\rho^{2/3} \hbar^2}$ を定義する。d. で求めたエントロピーの表式によると、 A が 1 より十分小さくなるような条件 (低温、高密度) では、エントロピーが負の値となってしまう。これは何を意味するのか議論せよ。

8 物理化学

次の問 1～問 4 の中から 2 問を選び、答を解答用紙に記入せよ。

問 1. 分子分光学に関する以下の設問に答えよ。ただし、必要ならば、以下の定数を用いよ。プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s、 $\hbar = h/2\pi = 1.05 \times 10^{-34}$ J s、光の速度 $c = 3.00 \times 10^8$ m s⁻¹、原子質量単位 $u = 1.66 \times 10^{-27}$ kg、アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ mol⁻¹。また、必要ならば、以下の原子質量を用いよ。¹H の質量 1.0 u、²H の質量 2.0 u。さらに、必要ならば、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$ 、 $\sqrt{5} = 2.24$ 、 $\sqrt{7} = 2.65$ と、以下の波動関数および数学公式を用いよ。

調和振動子の波動関数、ただし、 $\alpha = (k\mu)^{1/2}/\hbar$ で、 k は力の定数、 μ は換算質量

$$\psi_0(x) = \left(\frac{\alpha}{\pi}\right)^{1/4} e^{-\alpha x^2/2} \quad , \quad \psi_2(x) = \left(\frac{\alpha}{4\pi}\right)^{1/4} (2\alpha x^2 - 1)e^{-\alpha x^2/2}$$

数学公式

$$\int_0^\infty e^{-\alpha x^2} dx = \left(\frac{\pi}{4\alpha}\right)^{1/2} \quad , \quad \int_0^\infty x^{2n} e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2^{n+1} \alpha^n} \left(\frac{\pi}{\alpha}\right)^{1/2} \quad (n \text{ は正の整数})$$

(1) CO₂ 分子のラマンスペクトルには、1330 cm⁻¹ に対称伸縮振動(ν_1)に由来するバンドが観測される。一方、CO₂ 分子の赤外吸収スペクトルには、2350 cm⁻¹ と 670 cm⁻¹ に、それぞれ逆対称伸縮振動(ν_2)と変角振動(ν_3 、 ν_4)に由来するバンドが観測される。ここで、これらのバンドの回転運動による微細構造は無視する。

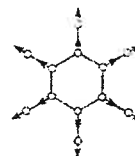
① CO₂ 分子の逆対称伸縮振動(ν_2)が吸収する波数 2350 cm⁻¹ の赤外光の波長(単位 nm)を有効数字 3 桁で求めよ。

② ラマン励起光の波長が 500 nm であるとき、CO₂ 分子の対称伸縮振動(ν_1 : 1330 cm⁻¹)に由来するストークスラマン散乱光の波長(単位 nm)を有効数字 3 桁で求めよ。

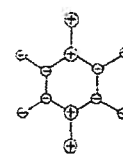
(2) H₂(¹H-¹H)分子の伸縮振動の波数が 4160 cm⁻¹ であるとき、HD(¹H-²H)分子の伸縮振動の波数(単位 cm⁻¹)を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、2 つの分子の力の定数は同じとする。

(3) 調和振動子の波動関数 $\psi_0(x)$ と $\psi_2(x)$ が直交していることを具体的に示せ。

(4) ベンゼン(C₆H₆)において、① 環が一様に膨張したり収縮したりする振動モードと、② 環がボートのように折れ曲がる振動モードは、それぞれ、赤外活性かラマン活性か、その理由、つまり、赤外吸収とラマン散乱の“選択律”とともに答えよ。



振動モード ①
矢印は原子の変位を表す



振動モード ②
+と-は、それぞれ、紙面の向こう側とこちら側に、原子が変位することを示す

博士前期課程 機能物質創成コース「専門科目」問題用紙 (2024 年度 9 月入学試験)

問 2. 熱力学的な系 (たとえば物質質量 N の気体が封入されたピストンつきシリンダー) が外界と物質のやりとりを一切おこなわない場合、系の内部エネルギー U の微分形式は、温度 T 、圧力 p 、体積 V とエントロピー S を用いて

$$dU = T \cdot dS - p \cdot dV \quad \text{①}$$

と書ける。式①は、熱力学におけるエネルギー保存則を示している。また、式①からさまざまな熱力学関数の微分形式を導くことができる。これについて、次の設問(1)~(3)に答えよ。

注意： 途中の式変形はすべて省略せずに示すこと。また、既出の記号以外の記号を用いるときは、必ずその定義を示すこと。

(1) 式①より、理想気体に対する $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ を導け。

(2) $\left(\frac{\partial}{\partial T} \frac{A}{T}\right)_V = -\frac{U}{T^2}$ を導け。ただし、 A は Helmholtz の自由エネルギーである。

(3) $\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ を導け。

博士前期課程 機能物質創成コース「専門科目」問題用紙 (2024 年度 9 月入学試験)

問 3. 以下の設問 (1)、(2) に答えよ。

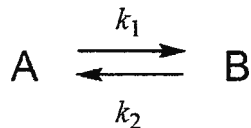
(1) ボーアは水素原子の原子スペクトルを説明するために、「電子は原子核のまわりの制限された円軌道を運動している」という仮定に基づいてボーア理論を提唱した。電子の質量を m 、電荷を e 、真空中の誘電率を ϵ_0 、プランク定数を h 、光速を c とする。

- (ア) ボーア理論に基づいて水素原子の電子の軌道半径 r_n を求めよ。ただし、量子数は n とする。
- (イ) ボーア理論に基づいて水素原子の電子の軌道エネルギー E_n を求めよ。ただし、量子数は n とする。
- (ウ) 水素原子の量子数が n_2 の状態から n_1 の状態 ($n_1 < n_2$) に遷移するとき放出される光の波長 (λ) を求めよ。

(2) $x=0$ と $x=a$ の間に閉じ込められた電子の位置の平均値 $\langle x \rangle$ 、位置の二乗の平均値 $\langle x^2 \rangle$ 、 x 方向の運動量の平均値 $\langle p \rangle$ 、 x 方向の運動量の二乗の平均値 $\langle p^2 \rangle$ は以下のように計算される。これらの値を使って、位置の不確定さ (Δx) と運動量の不確定さ (Δp) に関するハイゼンベルグの不確定性原理を表す式を導出せよ。

$$\langle x \rangle = \frac{a}{2}, \quad \langle x^2 \rangle = \frac{a^2}{3} - \frac{a^2}{2n^2\pi^2}, \quad \langle p \rangle = 0, \quad \langle p^2 \rangle = \frac{n^2\pi^2\hbar^2}{a^2}$$

問 4. 下に示す可逆反応について以下の設問に答えよ。ただし、正反応および逆反応いずれも一次反応である。また、 k_1 および k_2 はそれぞれ正反応および逆反応の速度定数である。



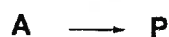
- (1) A および B について、それぞれの速度式を示せ。
- (2) 時刻 $t=0$ において、A の初濃度は C_0 、B の初濃度は 0 (ゼロ) であった。A および B の濃度の時間変化 (積分型速度式) を示せ。
- (3) 平衡に達した状態 (時刻 $t=\infty$) における A および B の濃度 C^A_∞ および C^B_∞ を C_0 、 k_1 、 k_2 を用いて示せ。
- (4) 平衡に達した状態において瞬時に温度を T に変化させたところ、新たな平衡状態に達し、A および B の濃度は $C^{A'}_\infty$ および $C^{B'}_\infty$ となった。このとき、A の濃度はどのように変化するか説明せよ。

9 無機・分析化学

次の問題 **I** ~ **III** から 2 問を選択し解答せよ。

I

問1 副反応が生じない下記の一次反応に関する以下の問に答えよ。必要ならば、 $\ln 2 = 0.693$ 、 $\ln 3 = 1.099$ 、 $\ln 5 = 1.609$ 、 $\ln 7 = 1.946$ を用いよ。



(1) 化合物 A の初濃度を $[A]_0$ とし、ある時間 t における化合物 A の濃度を $[A]$ とする。この反応の反応速度定数を k とした時、以下の式が成り立つことを示せ。

$$\ln[A] = -kt + \ln[A]_0$$

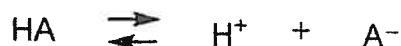
(2) この反応では 50% の化合物 A が生成物 P へ変換するのに 10.0 分を必要とした。99% の変換には何分かかかるか、有効数字 2 桁で求めよ。

問2 以下の問に答えよ。必要ならば、原子量 H 1.0, N 14.0, O 16.0 を用いよ。

(1) 市販の硝酸の重量パーセント濃度は 60% で、密度は 1.36 g/mL である。この硝酸を 10.0 mL とり、水を加えて 150.0 mL にした。得られた硝酸水溶液のモル濃度 (mol/L) を有効数字 2 桁で求めよ。

(2) 5.40 g の銀を濃硝酸と完全に反応させたところ、無色の板状結晶が 8.50 g 得られた。この反応の化学反応式を示せ。また、銀の原子量を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、本反応は主たる反応のみが進行するものとし、副反応は起こらないものとする。

問3 ある弱酸 HA は以下のように解離する。 1.00×10^{-2} M の HA 水溶液の pH を小数点第 1 位の桁までそれぞれ計算せよ。なお、HA の解離定数 $K_a = 1.00 \times 10^{-8}$ M とする。



II

以下の問 (1) ~ (3) のすべてに答えなさい。

(1) イオウのオキシ酸、またはその塩の実例を挙げて、イオウの酸化状態により分類しそれらの性質を説明せよ。イオウの酸化数は、+2, +3, +4, +6, の場合に関して説明すること。

(2) X 線による結晶構造解析に関して、運動学的回折理論における結晶による X 線の散乱強度を、結晶構造因子とラウエ関数を導くことで求めよ。

(3) 化学ポテンシャルの式を用いて、ネルンストの式を導出せよ。また、電池の起電力に関して、銅-亜鉛電池 (ダニエル電池) を例にあげてネルンストの式を用いて解説せよ。

III

次の問に答えなさい。

問1 (1) ルテニウムに 3 個のピリジンが結合した錯体の構造式をかけ。

(2) この錯体は光誘起電子移動を起こす。この時、メチルビオロゲン(MV)を用い、ルテニウムの酸化的消光を確認できる。この時の化学反応式を示せ。

問2 アルフレッドウェルナーによる錯体化学の基礎となった概念について次に答えよ。

(1) 副原子価の概念について証明するためにコバルト錯体と塩化銀を用いた実験を説明しなさい。

(2) 2 種の配位子 A と B を 2:4 用いた際の多型形成から幾何構造を予測した実験について説明しなさい。

問3 d^6 の電子配置を有する錯体の六配位八面体のスピントスオーバー現象について説明しなさい。

問4 d^8 の電子配置を有する錯体の平面および四面体構造がかかわるスピントスオーバー現象について説明しなさい。

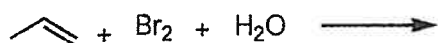
10 有機化学

次の問 1, 問 2 すべてに解答せよ。

問 1. 以下の設問(1)~(3)に答えなさい。

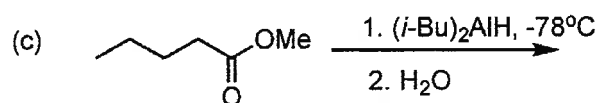
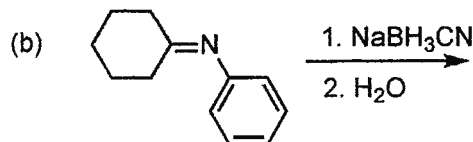
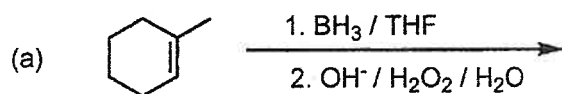
(1) 以下に示す反応の反応機構と主生成物を示しなさい。

反応の選択性についての説明も書きなさい。



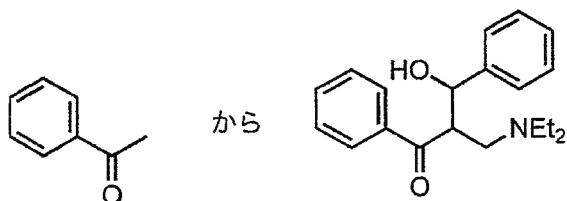
(2) 以下の反応の主生成物の構造式を示しなさい。

(a)については立体化学が明確になるように書きなさい。



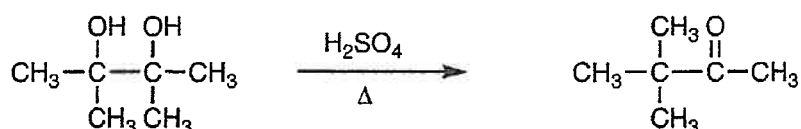
(3) 以下の化合物を与えられた出発物質から合成する方法を示しなさい。

各段階で必要となる有機試薬、無機試薬も記載すること。



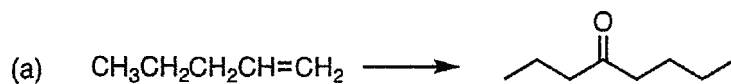
問 2. 以下の設問 (1) ~ (3) に答えなさい。

(1) 次に示す反応の機構を示しなさい。



(2) trans-1-クロロ-2-メチルシクロヘキサンとナトリウムメトキシドの置換および脱離生成物の構造を書き, 生成物に至る過程を立体配座のわかる構造式を用いて説明しなさい。

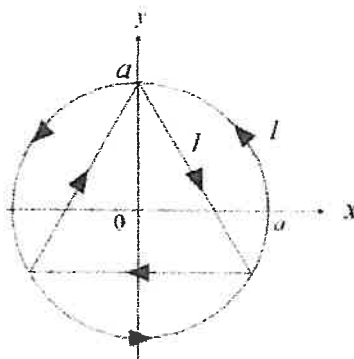
(3) 次の化合物を与えられた出発物質から合成する方法を示せ。各段階で必要となる有機試薬, 無機試薬も記載すること。



11 電磁気学

以下の設問に答えなさい。ただし、真空の誘電率を ϵ_0 , 透磁率を μ_0 とする。

- (1) 電磁界に関する 4 つの基本方程式 (マクスウェルの方程式) を微分形で書き、各式の名称とその式が表す物理的意味を書きなさい。
- (2) 下図のように、半径 a の円電流回路に正三角形形の回路が内接している。それぞれに電流 I が図に示す方向に流れている時、原点の磁界の大きさと方向を求めよ。

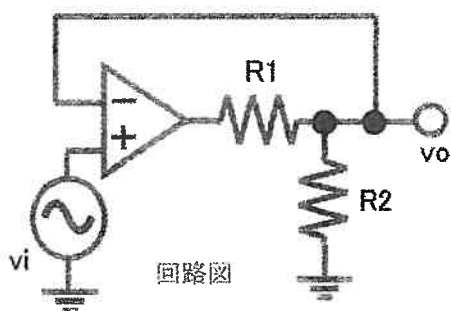


12 電気回路

下記の条件において下に示す回路の出力信号 v_o の実効電圧値を有効数字 2 桁で求めなさい。

[条件] $R_1 = 10.0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100.0 \text{ }\Omega$, 交流電圧源 $v_i = 0.1 \text{ Vrms}$

増幅器利得 : 60 dB, 増幅器出力抵抗 : $0 \text{ }\Omega$, 増幅器入力抵抗 : $\infty \text{ }\Omega$



13 電波工学

- (1) アンテナの実効開口面積について説明しなさい。
- (2) レーダ方程式について説明しなさい。
- (3) 次のレーダシステムの最大探知距離を 10km とするために必要な受信アンテナ利得を求めよ。なお、光速は 3.0×10^8 m/s とする。
周波数 10 GHz, 送信アンテナ利得 1000, 送信電力 2 kW,
受信機の最小受信可能電力 20 pW, 探知対象のレーダ断面積 10 m^2

14 情報・通信工学

q 元 n 要素の集合 Q^n を

$$Q^n = \{\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \mid a_i \in \{0, 1, \dots, q-1\}, i = 1, 2, \dots, n\}$$

とし, $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in Q^n$ 間のハミング距離 $d(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ を

$$d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_{i=1}^n \delta(a_i, b_i)$$

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 0 & (a = b) \\ 1 & (a \neq b) \end{cases}$$

とする.

任意の $\mathbf{a} \in Q^n$ に対してハミング距離が $t (< n)$ 以下である Q^n の要素数を求めよ. これと, Q^n の要素数が q^n であることに基づき, t 重誤り訂正符号の符号語数の上限を与える不等式を導け.

15 電気電子計測

直流電圧源 E と内部抵抗 R_i からなる電源回路に直流電圧計を接続して E を測定したい。

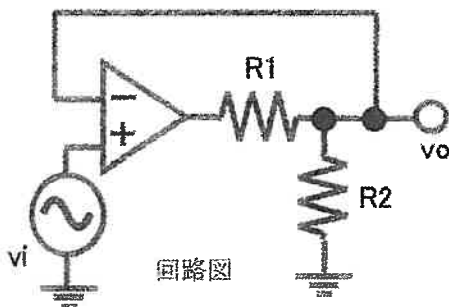
- (1) 電圧計の内部抵抗 r が電圧 E の測定精度に与える影響を理論式により説明せよ。
- (2) R_i が $100\text{k}\Omega$ であるとき、 E を 1% 以下の誤差で測定するための r の条件を求めよ。

16 電子回路

下記の条件において下に示す回路の出力信号 v_o の実効電圧値を有効数字 2 桁で求めなさい。

[条件] $R_1 = 10.0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100.0 \text{ }\Omega$, 交流電圧源 $v_i = 0.1 \text{ V}_{\text{rms}}$

増幅器利得 : 60 dB, 増幅器出力抵抗 : $0 \text{ }\Omega$, 増幅器入力抵抗 : $\infty \text{ }\Omega$



17 制御工学

つぎの連立微分方程式で記述される制御システムを考える。ここで、 $x_i(t), i = 1, 2, 3$ はそれぞれスカラの状態変数、 $u(t)$ は制御入力、 $y(t)$ は出力である。また、 $\dot{x}_i(t), i = 1, 2, 3$ は $x_i(t)$ の時間微分を表している。なお、初期条件は $x_1(0) = -1, x_2(0) = 2, x_3(0) = 0$ である。

$$\dot{x}_1(t) = -x_1(t) + x_2(t) + 2x_3(t) + 2u(t)$$

$$\dot{x}_2(t) = 3x_2(t) + x_3(t)$$

$$\dot{x}_3(t) = -2x_2(t) + u(t)$$

$$y(t) = 2x_1(t) - x_3(t) + 2u(t)$$

1. 3次元ベクトル $x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}$ を定義し、これを用いて、上記のシステムの状態空間表現

(つまり、状態方程式と出力方程式)を求めよ。

2. このシステムの可制御性・可観測性を議論せよ。
3. このシステムの入力 $u(t)$ から出力 $y(t)$ までの伝達関数を求めよ。
4. つぎのような状態フィードバック制御則を利用して、制御システムの極が $\lambda = -1, -2, -4$ となるようにしたい。

$$u(t) = [k_1 \quad k_2 \quad k_3]x(t)$$

ここで、 $k_1 \quad k_2 \quad k_3$ はある定数である。可能であれば、文意を満たす $k_1 \quad k_2 \quad k_3$ を求めよ。不可能であれば、その理由を記せ。

18

パワーエレクトロニクス

図 1 に示す MOSFET を使用した昇降圧コンバータにおいて電源電圧 $E=36\text{V}$, 負荷抵抗 $R=2.0\ \Omega$, コイルのインダクタ $L=0.2\text{mH}$ である. MOSFET が 20ms 周期で継続的に図 2 のように動作しているとき, 以下の問いに答えよ. ただし, キャパシタ C は十分大きく, 定常動作時の電圧 V の変動はゼロであるとする.

- 問1. 定常動作時の電圧 V の値を求めよ.
- 問2. 定常動作時の電流 i_L の最大値と最小値そして平均値を求めよ.
- 問3. 定常動作時の電圧 V を 54V にするために必要な MOSFET の 1 周期あたりのオン時間を答えよ.

