

2026 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

基礎科学コース

「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 8 枚である。
3. 問題冊子に受験番号と氏名を必ず記入すること。
4. 問題は **1** から **12** までの12個の問題が含まれている。
1 から **12** の内から**3問を選択**し、解答用紙に記入すること。
なお、解答用紙は1問ごとに1枚を使い、必ず解答用紙左上の枠内に問題番号を記入すること。解答欄が足りない場合には、その解答用紙の裏面も解答欄として使用してもよい。その場合、「裏面に続く」と表面の最後に明記すること。
5. 解答冊子、問題冊子とも必ず提出すること。

1 以下の問に答えよ.

(1) G を群とし, $H_n (n \in \mathbb{N})$ を G の部分群とする. このとき, $\bigcap_{n \in \mathbb{N}} H_n$ は G の部分群であることを示せ.

(2) $\text{Mat}_2(\mathbb{R})$ を実 2 次正方行列全体のなす環とする.

(a) $A \in \text{Mat}_2(\mathbb{R})$ をひとつ選んで固定し,

$$R = \{X \in \text{Mat}_2(\mathbb{R}) \mid AX = XA\}$$

とおく. このとき, R は $\text{Mat}_2(\mathbb{R})$ の部分環であることを示せ.

(b) (a) で $A = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ とおく. このとき, R は可換環であることを示せ.

2 空間内の曲面が, パラメーター (u, v) を用いて,

$$\begin{cases} x = 3 \frac{u-v}{u+v}, \\ y = 2 \frac{uv+1}{u+v}, \\ z = \frac{uv-1}{u+v} \end{cases} \quad (u+v \neq 0)$$

と表されている. パラメーター (u, v) で表される点を $p(u, v)$ とするとき, 以下の問に答えよ.

(1) 点 $p(1, 0)$ での接平面の方程式を求めよ.

(2) 点 $p(1, 0)$ でのガウス曲率と平均曲率を求めよ.

3 以下の各問に答えよ.

(1) (a) $z = 0$ を中心とする $\frac{1}{2z^3+1}$ のテイラー展開 (マクローリン展開) を求めよ.

(b) $z = 0$ を中心とする $\frac{1}{z^{100}(2z^3+1)}$ のローラン級数展開を求めよ.

(c) $\text{Res}_{z=0} \frac{1}{z^{100}(2z^3+1)}$ を求めよ.

(2) 以下の複素線積分の値を求めよ. ただし積分路の向きは正の向きとする.

$$(a) \int_{|z-1|=2} \bar{z}^2 dz \quad (b) \int_{|z+\frac{\pi}{2}|=1} \frac{dz}{\cos z} \quad (c) \int_{|z-i|=2} \frac{dz}{(z^2+2z+3)^2}$$

4 \mathbb{R} を定義域とする関数項級数 f を

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin nx}{n^3}$$

で定める。このとき、以下の問に答えよ。

- (1) $\alpha > 0$ を実数の定数とするとき、無限級数 $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^\alpha}$ が収束するための α の条件を求めよ。
- (2) f は \mathbb{R} 上で連続であることを示せ。
- (3) f は \mathbb{R} 上で微分可能であることを示せ。

5 $(X, d), (X', d')$ を距離空間, A を X の部分集合とし, $f: X \rightarrow X'$ を (X, d) から (X', d') への連続写像とする。このとき、以下の主張は成り立つか。常に成り立つ場合は証明し、必ずしも成り立たない場合は反例を挙げよ。

- (1) A が高々可算集合ならば, A は (X, d) の閉集合である。
- (2) A が (X, d) の閉集合ならば, f による A の像 $f(A)$ は (X', d') の閉集合である。
- (3) A が (X, d) のコンパクト集合ならば, f による A の像 $f(A)$ は (X', d') のコンパクト集合である。

6 X, Y, Z を区間 $[0, 1]$ 上の一様分布に従う確率変数とし, 独立であると仮定する。このとき,

$$S = \min \{X, Y, Z\}, \quad T = \max \{X, Y, Z\}$$

とおく。以下の問に答えよ。

- (1) T の分布関数 $P(T \leq x)$ ($0 \leq x \leq 1$), 確率密度, および平均を求めよ。
- (2) S の分布関数, 確率密度, および平均を求めよ。

7 以下では1次元方向に並んでいて、その方向にのみ動くことができる粒子列の運動を考える。各粒子は隣の粒子とばね定数 K 、自然長 a のばねでつながっている。 t は時刻である。

問1. 質量 M の粒子が N 個、間隔 a で並んでいる。 l 番目の粒子の1次元方向の位置を u_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ とおくことにより、振動数 ω を波数 q の関数として求めよ。

問2. 質量 M_A の粒子Aと質量 M_B の粒子Bが交互に間隔 a で並んでいる。2種類の粒子の総数はともに N 個である。 l 番目の粒子Aの1次元方向の位置を u_l 、粒子Bの1次元方向の位置を v_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $v_l = B \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ とおいて、 $A \neq 0, B \neq 0$ の解が存在する条件より振動数 ω と波数 q の関係の式を求め、それぞれの q に対してその関係式を満たす ω がいくつあるか示せ。さらに $q = 0$ とした時、それぞれの ω がとる値を求めよ。

8 真空の誘電率を ϵ_0 、真空の透磁率 μ_0 として以下の問いに答えよ。

問1. x 軸に垂直で無限に広い平面 ($x = 0$) に一様な面電荷密度 σ で電荷が分布している。

- (1) この面電荷がつくる電場を求めよ。
- (2) 静電ポテンシャルの大きさを求めよ。ただし、 $x = 0$ を基準点とする。

問2. 単位長さ当たりの巻き数 n 、長さ l 、断面積 S のソレノイドコイルを考える。

- (1) ソレノイドコイルに電流 I を流したときに、コイル内外に生じる磁束密度の大きさを、積分型のアンペールの法則を用いて求めよ。
- (2) ソレノイドコイルの自己インダクタンスを求めよ。

問3. 自己インダクタンス L のコイルと電気容量 C のコンデンサーを直列につないだ回路を考える。時刻 $t = 0$ でコンデンサーの両極板に電荷 $\pm Q$ を与えたところ、電流が流れ始めた。

- (1) コンデンサーの電荷 $Q(t)$ および電流 $I(t)$ の時間変化を求めよ。
- (2) コンデンサー内の電場のエネルギー $U_E(t)$ とコイル内の磁場のエネルギー $U_B(t)$ の時間変化を求めよ。

9

質量 m の粒子がバネ定数 $k = m\omega^2$ のバネによってつながれている調和振動子を考える。ハミルトニアンは、運動量演算子 \hat{p} および位置演算子 \hat{x} を用いて

$$\hat{\mathcal{H}} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2 + \frac{m\omega^2}{2}\hat{x}^2 \quad (1)$$

で表される。ここで、消滅演算子 \hat{a} および生成演算子 \hat{a}^\dagger を

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} + \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right), \\ \hat{a}^\dagger &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} - \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right) \end{aligned}$$

と定義する。すると、数演算子 $\hat{N} = \hat{a}^\dagger\hat{a}$ を用いて $\hat{\mathcal{H}} = \hbar\omega \left(\hat{N} + \frac{1}{2} \right)$ と表すことができる。数演算子 \hat{N} の固有値を n と表し、固有値 n に対しての固有関数を $\varphi_n(x)$ とする。なお、 $\varphi_n(x)$ はすべて規格化条件 $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\varphi_n(x)|^2 = 1$ を満たすものとする。

1. 交換関係 $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$ を示せ。なお、 $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ を用いて良い。
2. 交換関係 $[\hat{N}, \hat{a}]$ を求めよ。
3. $\phi(x) = \hat{a}\varphi_n(x)$ とする。 $\hat{N}\phi$ を求めよ。
4. このとき $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\phi(x)|^2$ を計算せよ。ここではエルミート共役の性質より $\phi^*(x) = (\hat{a}\varphi_n(x))^* = \varphi_n^*(x)\hat{a}^\dagger$ となることを用いても良い。
5. $\hat{a}\varphi_n(x)$ を、 \hat{N} の固有関数を用いて表せ。理由も説明せよ。
6. \hat{N} の固有値 n が負でない整数であることを示せ。ここでは式(1)の $\hat{\mathcal{H}}$ が半正定値なのでその固有値が負にならないことを用いても良い。
7. 生成消滅演算子による第2量子化と、量子状態の粒子性について述べよ。

10 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 ($N \gg 1$) 含まれている。この系の統計的性質をミクロカノニカル集団の手法を用いて考察しよう。以下の計算では、半径 R の d 次元球の体積 $V_d(R)$ が必要となるが、これについては d に依存する定数 C_d を用いた表式 $V_d(R) = C_d R^d$ を用いよ。

ある一つの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、許される運動量の値は離散的となる。周期境界条件の下では、各成分が整数のベクトル $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ を用いて次式のようになる。

$$\mathbf{p} = \frac{2\pi\hbar}{L} \mathbf{n} = \frac{2\pi\hbar}{L} (n_x, n_y, n_z)$$

問1. N 個の粒子は互いに区別できないことに留意し、全エネルギーが E 以下の状態数 $\Omega(E)$ を求めよ。

問2. 全エネルギーが E と $E + \Delta E$ の間にある状態数 $W(E)$ を求めよ。ただし、 $E \gg \Delta E$ として、 ΔE について一次までの近似をせよ。

問3. 系の温度を求め、エネルギー等分配則 $E = \frac{3}{2} N k_B T$ が成り立つことを示せ。

問4. 系の圧力を求めよ。

二次元の系で同様の問題を考える。すなわち、面積が $A = L^2$ の正方形の領域中に、相互作用しない質量 m の気体分子が N 個 ($N \gg 1$) 含まれている。

問5. 上で考察した三次元の場合と同様の解析から、二次元の場合のエネルギー等分配則の関係式を求めよ。

11

1. 図1はある金属の熱伝導率 κ の低温域における温度依存性を示したもので、試料Aと試料Bは純度が異なるだけで主成分の元素は同じである。以下のa,bに解答せよ。
- 試料A, 試料Bで純度が高いほうはどちらか。理由を添えて答えよ。
 - 両試料とも熱伝導率にピークが現れ、低温側で熱伝導率が低下する。その機構を説明せよ。

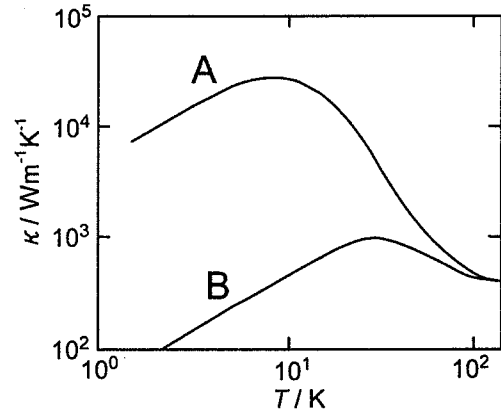


図1

2. 図2は高純度の金属C, Dの極低温領域で調べられた比熱の温度依存性のデータをフィッティングした線で表したものである。金属C, Dは異なる元素であるが結晶構造, 価数が同じで格子定数もほぼ同じである。縦軸との切片は電子比熱係数に相当し, 金属C, Dについてそれぞれ γ_C, γ_D , 直線の傾きをそれぞれ α_C, α_D とする。また, 金属Cの原子量は金属Dのそれより1.7倍大きい。以下のa,bに解答せよ。

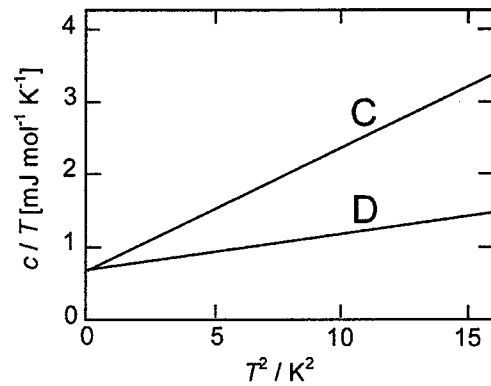


図2

- 金属Cの比熱 c の温度依存性を γ_C, α_C, T を用いて表せ。
- γ_C と γ_D がほぼ同じ値であるのに対し, α_C と α_D は大きく異なる。その理由を説明せよ。

12 高エネルギー宇宙線は地球の大気上空の原子と衝突し高エネルギーのミュー粒子を作る。このミュー粒子は高度 約 6 km から地上に到達することが知られている。ミュー粒子の静止系でのミュー粒子の平均寿命 $\tau = 2.2 \times 10^{-6}$ s で電子とニュートリノに崩壊する。ミュー粒子が光速 $c (= 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})$ で運動したとしても平均的な距離は $\tau \times c = 660$ m となり、ミュー粒子は地上では観測することができないことになる。以下の問いに答えよ。

- 問 1. ある慣性系 $K(x, y, z, t)$ とそれに対して x 軸方向へ速度 v で運動している慣性系 $K'(x', y', z', t')$ においてローレンツ変換の式を書け。ただし、 $\frac{v}{c} = \beta$ 、 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ を用いて書け。
- 問 2. K' 系の原点 O' に固定されている時計で測った時間間隔を t' 、また、 K に固定されている時計で測った時間間隔を t とした時、 t' は t を用いてどのように書けるか。また、この結果は何を意味するか述べよ。
- 問 3. 問 2 の結果を踏まえ、ミュー粒子の観測を再考し、ミュー粒子は問題なく 6 km という距離を移動でき、地上に到達できることを示せ。ただし、ミュー粒子の速度は $0.999c$ 、その時の $\sqrt{1 - \beta^2} = 0.044$ とする。

2026 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

化学コース

「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 10 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。

選択問題 右の 3 系列から 2 系列を選択	物理化学系列	I
	無機・分析化学系列	II
	有機化学系列	III

4. 選択した系列の問題はすべて答えること。ただし、系列 I は 3 題を選択すること。
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。

博士前期課程 化学コース「専門科目」問題用紙 (2026年度9月入学試験)

I. 物理化学系列

次の問1～問4の中から3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 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、 $\hbar = h/2\pi = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、光の速度 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、原子質量単位 $u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。また、必要ならば、以下の原子質量を用いよ。 ^1H の質量 $1.0 u$ 。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、以下の一次元調和振動子のシュレーディンガー方程式と波動関数および数学公式を用いよ。

一次元の調和振動子のシュレーディンガー方程式、ただし、 μ は換算質量、 k は力の定数、 v は振動量子数、 $\psi_v(x)$ は振動量子数 v の波動関数、 E_v は振動量子数 v の振動エネルギー

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2 \right] \psi_v(x) = E_v \psi_v(x)$$

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

$$\psi_1(x) = \left(\frac{4\alpha^3}{\pi} \right)^{1/4} x e^{-\alpha x^2/2}$$

数学公式

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

- (1) 波長 1064 nm の光と波長 532 nm の光を特殊な光学材料(非線形光学結晶という)に入射したところ、それらの光子のエネルギーの和に相当するエネルギーをもつ波長 λ_{THG} の新しい光が発生した。波長 λ_{THG} (単位 nm) を有効数字 3 桁で求めよ。
- (2) H_2 ($^1\text{H}-^1\text{H}$) 分子の伸縮振動の波数が 4000 cm^{-1} であるとき、 H_2 分子の力の定数 (単位 N m^{-1}) を有効数字 3 桁で求めよ。また、 H_2 分子の振動基底状態 (振動量子数 $v = 0$) のエネルギー (単位 J) を有効数字 3 桁で求めよ。
- (3) 一次元の調和振動子の第一振動励起状態 (振動量子数 $v = 1$) の平均ポテンシャルエネルギー $\langle V \rangle$ が、対応する振動エネルギー E_1 の $\frac{1}{2}$ になることを具体的に示せ。
- (4) オゾン (O_3) 分子の 3 つの基準振動が赤外吸収を示し、また、3 つの基準振動がラマン散乱を示すとき、赤外吸収とラマン散乱の“選択律”に基づいて、オゾン分子の形を推定せよ。

博士前期課程 化学コース「専門科目」問題用紙 (2026年度9月入学試験)

問2.

熱力学的な系(例えば物質 N の気体が封入されたピストンつきシリンダー)の内部エネルギー U は、エントロピー S と体積 V の関数であるとみなすとき、熱力学的に完全な関数となる。このとき U は微分形式で

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

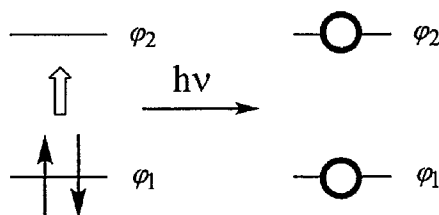
と書ける。ここで p は圧力、 T は温度である。式①は熱力学におけるエネルギー保存則を示しており、エントルピー H やHelmholtzの自由エネルギー A 、Gibbsの自由エネルギー G などの熱力学的関数はいずれも、式①から導出することができる。

これに関する次の設問(1)~(3)に答えよ。

- (1) 物理量 A 、 B 、 C が互いに $A = A(B, C)$ の関係にあるとき、 A の完全微分を示せ。
- (2) 物理量 A 、 B 、 C が互いに $A = A(B, C)$ 、 $B = B(C, A)$ 、 $C = C(A, B)$ の関係にあるとき、偏導関数の積 $\left(\frac{\partial A}{\partial B}\right)_C \left(\frac{\partial B}{\partial C}\right)_A \left(\frac{\partial C}{\partial A}\right)_B$ を求めよ。途中の式変形も省略せずに示すこと。
- (3) $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S$ を定圧熱容量 $C_p := \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$ と膨張率 $\alpha := \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ を用いて表せ。 C_p と α 以外に、必要であれば p 、 V 、 T を用いて良い。途中の式変形も省略せずに示すこと。

博士前期課程 化学コース「専門科目」問題用紙 (2026 年度 9 月入学試験)

問 3. 結合性分子軌道 φ_1 から反結合性分子軌道 φ_2 に 1 電子遷移した水素分子の電子励起状態の電子スピンも考慮した波動関数について考える。ただし、二つの電子の空間座標は r_1 、 r_2 とし、スピン座標は ω_1 、 ω_2 とする。また、スピン関数は α および β とする。以下の設問に答えよ。

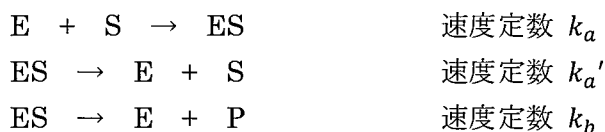


- (1) 電子基底状態では二つの電子はともに結合性分子軌道 φ_1 に収容されている。電子基底状態の波動関数を求めよ。
- (2) 空間部分に関する波動関数が対称になる場合には、スピン関数は反対称になることを利用して、励起一重項状態の波動関数を求めよ。
- (3) 空間部分に関する波動関数が反対称になる場合には、スピン関数は対称になることを利用して、励起三重項状態の波動関数を求めよ。

博士前期課程 化学コース「専門科目」問題用紙 (2026年度9月入学試験)

問4. 反応に関する以下の設問 (A)、(B) に答えよ。

(A) 酵素反応の速度についてミカエリス–メンテンの式がある。活性部位を一つもつ酵素の反応機構は次式で表される。



酵素基質複合体 ES の生成は2次、分解は1次反応であるとする、基質の濃度 [S] に対して生成物の生成速度 v は、

$$v = \frac{v_{max}}{1 + K_M/[S]} \quad (\text{a})$$

となる。ただし、 k はそれぞれの素反応の速度定数、最大速度 $v_{max} = k_b[E]_0$ 、ミカエリス定数 $K_M = \frac{k_a' + k_b}{k_a}$ 、 $[E]_0$ は酵素の初濃度である。また、基質は酵素に対して大過剰にあるとする。

- (1) ES の濃度が定常状態にあるとして、ES の濃度を求めよ。
- (2) 式(a) を導け。
- (3) 25°Cで、基質の酵素触媒による変換は $0.032 \text{ mol dm}^{-3}$ の K_M をもつ。基質濃度 $[S] = 0.256 \text{ mol dm}^{-3}$ のとき、反応速度 v は $0.200 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ であった。この反応の最大速度 v_{max} を求めよ。
- (4) (3)において、単位時間に一つの活性部位で生成物に変換される基質分子の数であるターンオーバー頻度 (代謝回転数、触媒定数) を求めよ。但し、この時の酵素の初濃度は、 $[E]_0 = 1.0 \text{ mmol dm}^{-3}$ とする。

(B) 次の語句について説明せよ。

- (1) 一次反応の半減期と二次反応の半減期
- (2) 反応の速度論的制御と熱力学的制御
- (3) 反応経路と鞍点

II. 無機化学系列

次の問1～問3の答を解答用紙に記入せよ。

問1 設問(1)～(3)に答えよ。必要であれば $\sqrt{2} = 1.14$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{7} = 2.65$ を用いよ。

- (1) HCl と H_3PO_4 の混合物を 0.100 M の NaOH で滴定した。指示薬としてメチルレッドを選び、滴定したところ、1 番目の終点は 35.0 mL となった。続いて、指示薬プロモチモールブルーを用いて滴定を続けたところ、2 番目の終点は 50.0 mL (1 番目の終点の後、15.0 mL を加えた点) となった。溶液中に存在する HCl と H_3PO_4 の物質質量 (mmol) をそれぞれ有効数字 3 桁で答えよ。
- (2) $80 \pm 2 \text{ g}$ の水と $12 \pm 2 \text{ g}$ のエタノールを混合した。この混合溶液の質量を誤差の伝播に留意して計算せよ。
- (3) 以下の酵素反応が進行するとき、最大反応速度 (R_{max})、反応速度 (R)、基質濃度 [S]、ミカエリス定数 (K_m) を用いて以下の Lineweaver-Burk 式が成り立つ。このときの K_m を k_1 、 k_2 、 k_3 を用いて示せ。ただし、E は酵素、S は基質、ES は活性複合体、P は生成物、 $k_1 \sim k_3$ はそれぞれの段階での反応速度定数である。



Lineweaver Burk式

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\text{max}}} + \frac{K_m}{R_{\text{max}} [S]}$$

問2 以下の(1)～(3)のすべてに答えなさい。

- (1) 金属の銅(Cu)と亜鉛(Zn)に関して、濃硝酸、ならびに希硝酸との化学反応式を記せ。
また、硝酸と反応しない金属に関して例を挙げながら説明せよ。
- (2) イオウのオキシ酸、またそれら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。
- (3) 金属の標準電極電位(酸化還元電位)とイオン化傾向に関して解説せよ。
(真空準位、金属のフェルミ準位、仕事関数の定義を図示して説明し、これらとの関係も記すこと。)

博士前期課程 化学コース「専門科目」問題用紙（2026年度9月入学試験）

問3 次の設問(1)～(3)に答えよ。

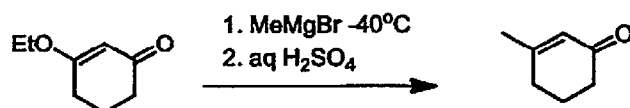
- (1) 無機化学におけるハード、ソフト、酸、塩基の概念について説明せよ。
- (2) d 族金属イオンにおいて、 d^9 電子配置を有する金属イオンが隣接原子と 6 配位八面体を形成する際のスピントロースオーバーとその際の配位子場の強さの関係について説明せよ。
- (3) (2)において金属が関わる混成軌道について説明せよ。
- (4) キレート効果とエンタルピーについて具体的な錯体の例を挙げて説明せよ。

Ⅲ. 有機化学系列

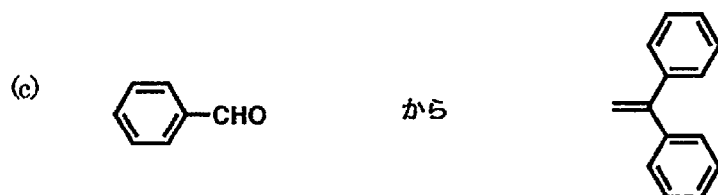
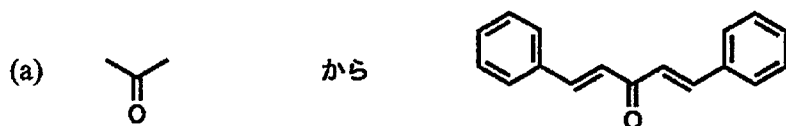
次の問 1, 問 2 の答を解答用紙に記入せよ。

問 1. 以下の設問 (1) ~ (3) に答えなさい。

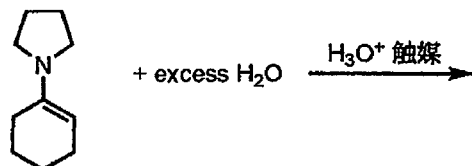
(1) 以下の反応の反応機構を書け。



(2) 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。

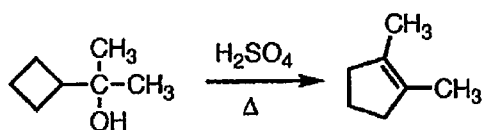


(3) 以下に示す加水分解反応の反応機構と主生成物を示しなさい。



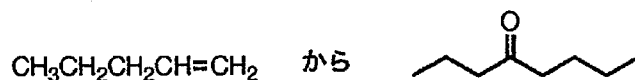
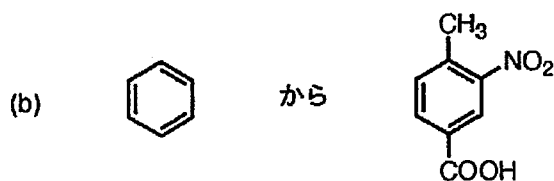
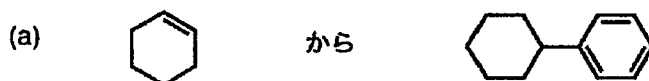
問 2. 以下の設問 (1) ~ (3) に答えなさい。

(1) 次に示す反応の機構を示しなさい。



(2) *cis*-1-ブromo-2-メチルシクロヘキサンと *trans*-1-ブromo-2-メチルシクロヘキサンをそれぞれ E2 反応させると異なる生成物を与える。それぞれの配座異性体を書いて、主生成物に至る過程を 100~200 字程度で説明しなさい。

(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。



2026 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

以下の設問 1-3 のなかから 2 問 を選択し、解答せよ。

1. 図 1 はある金属の熱伝導率 κ の低温域における温度依存性を示したもので、試料 A と試料 B は純度が異なるだけで主成分の元素は同じである。以下の a, b に解答せよ。
- 試料 A, 試料 B で純度が高いほうはどちらか。理由を添えて答えよ。
 - 両試料とも熱伝導率にピークが現れ、低温側で熱伝導率が低下する。その機構を説明せよ。

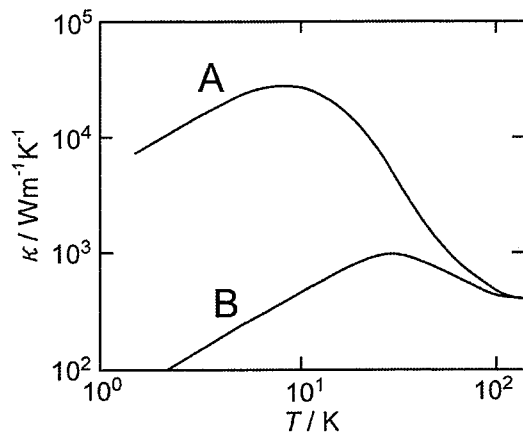


図 1

2. 図 2 は高純度の金属 C, D の極低温領域で調べられた比熱の温度依存性のデータをフィッティングした線で表したものである。金属 C, D は異なる元素であるが結晶構造、価数が同じで格子定数もほぼ同じである。縦軸との切片は電子比熱係数に相当し、金属 C, D についてそれぞれ γ_C , γ_D , 直線の傾きをそれぞれ α_C , α_D とする。また、金属 C の原子量は金属 D のそれより 1.7 倍大きい。以下の a, b に解答せよ。

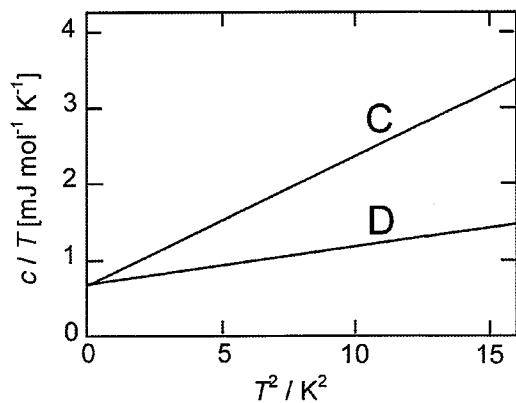


図 2

- 金属 C の比熱 c の温度依存性を γ_C , α_C を用いて表せ。
 - γ_C と γ_D がほぼ同じ値であるのに対し、 α_C と α_D は大きく異なる。その理由を説明せよ。
3. 以下の a, b に解答せよ。
- グラファイトは弱い反磁性を示す。その機構を説明せよ。
 - チタンドープ酸化インジウムにおけるキャリアの生成機構を述べよ。

2 固体化学

X線回折、透過型電子顕微鏡、電子線回折による結晶構造解析や多結晶構造体の微細構造解析に関して以下の設問(1)～(3)のすべてに答えよ。

(1) 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。

(2) 結晶構造解析を行うにあたってX線回折と電子線回折を用いた場合の類似点と相違点に関して解説せよ。

(3) 透過型電子顕微鏡では、明視野像と暗視野像をえることで、複数の結晶構造を含む多結晶等の詳細を解析することができる。その原理を解説せよ。

3

電子物性学

- (a)物質を電気抵抗の観点から分類した場合の3つの代表的な物質名を記し、バンド理論の観点からそれらの特徴を説明せよ。
- (b)またそのうちの1つの物質で、エネルギーバンドギャップを実験から導出する方法を説明せよ。

4 力学

以下では 1 次元方向に並んでいて、その方向にのみ動くことができる粒子列の運動を考える。各粒子は隣の粒子とばね定数 K 、自然長 a のばねでつながっている。 t は時刻である。

- 問 1. 質量 M の粒子が N 個、間隔 a で並んでいる。 l 番目の粒子の 1 次元方向の位置を u_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ とおくことにより、振動数 ω を波数 q の関数として求めよ。
- 問 2. 質量 M_A の粒子 A と質量 M_B の粒子 B が交互に間隔 a で並んでいる。2 種類の粒子の総数はともに N 個である。 l 番目の粒子 A の 1 次元方向の位置を u_l 、粒子 B の 1 次元方向の位置を v_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $v_l = B \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ において、 $A \neq 0, B \neq 0$ の解が存在する条件より振動数 ω と波数 q の関係の式を求め、それぞれの q に対してその関係式を満たす ω がいくつあるか示せ。さらに $q = 0$ とした時、それぞれの ω がとる値を求めよ。

5 電磁気学

真空の誘電率を ϵ_0 、真空の透磁率 μ_0 として以下の問いに答えよ。

問1. x 軸に垂直で無限に広い平面 ($x = 0$) に一様な面電荷密度 σ で電荷が分布している。

- (1) この面電荷がつくる電場を求めよ。
- (2) 静電ポテンシャルの大きさを求めよ。ただし、 $x = 0$ を基準点とする。

問2. 単位長さ当たりの巻き数 n 、長さ l 、断面積 S のソレノイドコイルを考える。

- (1) ソレノイドコイルに電流 I を流したときに、コイル内外に生じる磁束密度の大きさを、積分型のアンペールの法則を用いて求めよ。
- (2) ソレノイドコイルの自己インダクタンスを求めよ。

問3. 自己インダクタンス L のコイルと電気容量 C のコンデンサーを直列につないだ回路を考える。時刻 $t = 0$ でコンデンサーの両極板に電荷 $\pm Q$ を与えたところ、電流が流れ始めた。

- (1) コンデンサーの電荷 $Q(t)$ および電流 $I(t)$ の時間変化を求めよ。
- (2) コンデンサー内の電場のエネルギー $U_E(t)$ とコイル内の磁場のエネルギー $U_B(t)$ の時間変化を求めよ。

6 量子力学

質量 m の粒子がバネ定数 $k = m\omega^2$ のバネによってつながれている調和振動子を考える。ハミルトニアンは、運動量演算子 \hat{p} および位置演算子 \hat{x} を用いて

$$\hat{\mathcal{H}} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2 + \frac{m\omega^2}{2}\hat{x}^2 \quad (1)$$

で表される。ここで、消滅演算子 \hat{a} および生成演算子 \hat{a}^\dagger を

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} + \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right), \\ \hat{a}^\dagger &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} - \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right) \end{aligned}$$

と定義する。すると、数演算子 $\hat{N} = \hat{a}^\dagger\hat{a}$ を用いて $\hat{\mathcal{H}} = \hbar\omega \left(\hat{N} + \frac{1}{2} \right)$ と表すことができる。数演算子 \hat{N} の固有値を n と表し、固有値 n に対しての固有関数を $\varphi_n(x)$ とする。なお、 $\varphi_n(x)$ はすべて規格化条件 $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\varphi_n(x)|^2 = 1$ を満たすものとする。

1. 交換関係 $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$ を示せ。なお、 $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ を用いて良い。
2. 交換関係 $[\hat{N}, \hat{a}]$ を求めよ。
3. $\phi(x) = \hat{a}\varphi_n(x)$ とする。 $\hat{N}\phi$ を求めよ。
4. このとき $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\phi(x)|^2$ を計算せよ。ここではエルミート共役の性質より $\phi^*(x) = (\hat{a}\varphi_n(x))^* = \varphi_n^*(x)\hat{a}^\dagger$ となることを用いても良い。
5. $\hat{a}\varphi_n(x)$ を、 \hat{N} の固有関数を用いて表せ。理由も説明せよ。
6. \hat{N} の固有値 n が負でない整数であることを示せ。ここでは式 (1) の $\hat{\mathcal{H}}$ が半正定値なのでその固有値が負にならないことを用いても良い。
7. 生成消滅演算子による第 2 量子化と、量子状態の粒子性について述べよ。

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 ($N \gg 1$) 含まれている。この系の統計的性質をミクロカノニカル集団の手法を用いて考察しよう。以下の計算では、半径 R の d 次元球の体積 $V_d(R)$ が必要となるが、これについては d に依存する定数 C_d を用いた表式 $V_d(R) = C_d R^d$ を用いよ。

ある一つの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、許される運動量の値は離散的となる。周期境界条件の下では、各成分が整数のベクトル $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ を用いて次式のようになる。

$$\mathbf{p} = \frac{2\pi\hbar}{L}\mathbf{n} = \frac{2\pi\hbar}{L}(n_x, n_y, n_z)$$

問 1. N 個の粒子は互いに区別できないことに留意し、全エネルギーが E 以下の状態数 $\Omega(E)$ を求めよ。

問 2. 全エネルギーが E と $E + \Delta E$ の間にある状態数 $W(E)$ を求めよ。ただし、 $E \gg \Delta E$ として、 ΔE について一次までの近似をせよ。

問 3. 系の温度を求め、エネルギー等分配則 $E = \frac{3}{2}Nk_B T$ が成り立つことを示せ。

問 4. 系の圧力を求めよ。

二次元の系で同様の問題を考える。すなわち、面積が $A = L^2$ の正方形の領域中に、相互作用しない質量 m の気体分子が N 個 ($N \gg 1$) 含まれている。

問 5. 上で考察した三次元の場合と同様の解析から、二次元の場合のエネルギー等分配則の関係式を求めよ。

8 物理化学

次の問1～問4の中から3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 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、 $\hbar = h/2\pi = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、光の速度 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、原子質量単位 $u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 、アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。また、必要ならば、以下の原子質量を用いよ。 ^1H の質量 $1.0 u$ 。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、以下の一次元調和振動子のシュレーディンガー方程式と波動関数および数学公式を用いよ。

一次元の調和振動子のシュレーディンガー方程式、ただし、 μ は換算質量、 k は力の定数、 v は振動量子数、 $\psi_v(x)$ は振動量子数 v の波動関数、 E_v は振動量子数 v の振動エネルギー

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2 \right] \psi_v(x) = E_v \psi_v(x)$$

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

$$\psi_1(x) = \left(\frac{4\alpha^3}{\pi} \right)^{1/4} x e^{-\alpha x^2/2}$$

数学公式

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

- (1) 波長 1064 nm の光と波長 532 nm の光を特殊な光学材料(非線形光学結晶という)に入射したところ、それらの光子のエネルギーの和に相当するエネルギーをもつ波長 λ_{THG} の新しい光が発生した。波長 λ_{THG} (単位 nm) を有効数字 3 桁で求めよ。
- (2) H_2 ($^1\text{H}-^1\text{H}$) 分子の伸縮振動の波数が 4000 cm^{-1} であるとき、 H_2 分子の力の定数 (単位 N m^{-1}) を有効数字 3 桁で求めよ。また、 H_2 分子の振動基底状態 (振動量子数 $v = 0$) のエネルギー (単位 J) を有効数字 3 桁で求めよ。
- (3) 一次元の調和振動子の第一振動励起状態 (振動量子数 $v = 1$) の平均ポテンシャルエネルギー $\langle V \rangle$ が、対応する振動エネルギー E_1 の $\frac{1}{2}$ になることを具体的に示せ。
- (4) オゾン (O_3) 分子の 3 つの基準振動が赤外吸収を示し、また、3 つの基準振動がラマン散乱を示すとき、赤外吸収とラマン散乱の“選択律”に基づいて、オゾン分子の形を推定せよ。

問2.

熱力学的な系 (例えば物質量 N の気体が封入されたピストンつきシリンダー) の内部エネルギー U は、エントロピー S と体積 V の関数であるとみなすとき、熱力学的に完全な関数となる。このとき U は微分形式で

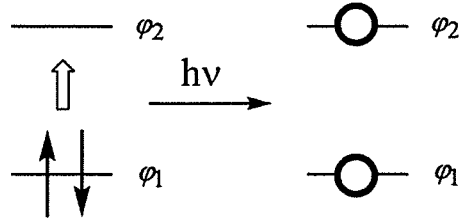
$$dU = T \cdot dS - p \cdot dV \quad \text{①}$$

と書ける。ここで p は圧力、 T は温度である。式①は熱力学におけるエネルギー保存則を示しており、エンタルピー H や Helmholtz の自由エネルギー A 、Gibbs の自由エネルギー G などの熱力学的関数はいずれも、式①から導出することができる。

これに関する次の設問(1)~(3)に答えよ。

- (1) 物理量 A, B, C が互いに $A = A(B, C)$ の関係にあるとき、 A の完全微分を示せ。
- (2) 物理量 A, B, C が互いに $A = A(B, C)$ 、 $B = B(C, A)$ 、 $C = C(A, B)$ の関係にあるとき、偏導関数の積 $\left(\frac{\partial A}{\partial B}\right)_C \left(\frac{\partial B}{\partial C}\right)_A \left(\frac{\partial C}{\partial A}\right)_B$ を求めよ。途中の式変形も省略せずに示すこと。
- (3) $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S$ を定圧熱容量 $C_p := \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$ と膨張率 $\alpha := \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$ を用いて表せ。 C_p と α 以外に、必要であれば p 、 V 、 T を用いて良い。途中の式変形も省略せずに示すこと。

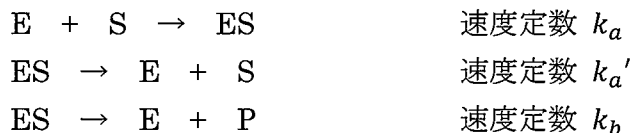
問 3. 結合性分子軌道 ϕ_1 から反結合性分子軌道 ϕ_2 に 1 電子遷移した水素分子の電子励起状態の電子スピンも考慮した波動関数について考える。ただし、二つの電子の空間座標は r_1 、 r_2 とし、スピン座標は ω_1 、 ω_2 とする。また、スピン関数は α および β とする。以下の設問に答えよ。



- (1) 電子基底状態では二つの電子はともに結合性分子軌道 ϕ_1 に収容されている。電子基底状態の波動関数を求めよ。
- (2) 空間部分に関する波動関数が対称になる場合には、スピン関数は反対称になることを利用して、励起一重項状態の波動関数を求めよ。
- (3) 空間部分に関する波動関数が反対称になる場合には、スピン関数は対称になることを利用して、励起三重項状態の波動関数を求めよ。

問4. 反応に関する以下の設問 (A)、(B) に答えよ。

(A) 酵素反応の速度についてミカエリス–メンテンの式がある。活性部位を一つもつ酵素の反応機構は次式で表される。



酵素基質複合体 ES の生成は2次、分解は1次反応であるとする、基質の濃度 [S] に対して生成物の生成速度 v は、

$$v = \frac{v_{max}}{1 + K_M/[S]} \quad (\text{a})$$

となる。ただし、 k はそれぞれの素反応の速度定数、最大速度 $v_{max} = k_b[E]_0$ 、ミカエリス定数 $K_M = \frac{k_a' + k_b}{k_a}$ 、 $[E]_0$ は酵素の初濃度である。また、基質は酵素に対して大過剰にあるとする。

- (1) ES の濃度が定常状態にあるとして、ES の濃度を求めよ。
- (2) 式(a) を導け。
- (3) 25°Cで、基質の酵素触媒による変換は $0.032 \text{ mol dm}^{-3}$ の K_M をもつ。基質濃度 $[S] = 0.256 \text{ mol dm}^{-3}$ のとき、反応速度 v は $0.200 \text{ mmol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ であった。この反応の最大速度 v_{max} を求めよ。
- (4) (3)において、単位時間に一つの活性部位で生成物に変換される基質分子の数であるターンオーバー頻度 (代謝回転数、触媒定数) を求めよ。但し、この時の酵素の初濃度は、 $[E]_0 = 1.0 \text{ mmol dm}^{-3}$ とする。

(B) 次の語句について説明せよ。

- (1) 一次反応の半減期と二次反応の半減期
- (2) 反応の速度論的制御と熱力学的制御
- (3) 反応経路と鞍点

9 無機・分析化学

次の問1～問3の答を解答用紙に記入せよ。

問1 設問(1)～(3)に答えよ。必要であれば $\sqrt{2} = 1.14$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$, $\sqrt{7} = 2.65$ を用いよ。

- (1) HCl と H_3PO_4 の混合物を 0.100 M の NaOH で滴定した。指示薬としてメチルレッドを選び、滴定したところ、1番目の終点は 35.0 mL となった。続いて、指示薬プロモチモールブルーを用いて滴定を続けたところ、2番目の終点は 50.0 mL (1番目の終点の後、15.0 mL を加えた点) となった。溶液中に存在する HCl と H_3PO_4 の物質量 (mmol) をそれぞれ有効数字 3 桁で答えよ。
- (2) 80 ± 2 g の水と 12 ± 2 g のエタノールを混合した。この混合溶液の質量を誤差の伝播に留意して計算せよ。
- (3) 以下の酵素反応が進行するとき、最大反応速度 (R_{\max})、反応速度 (R)、基質濃度 [S]、ミカエリス定数 (K_m) を用いて以下の Lineweaver-Burk 式が成り立つ。このときの K_m を k_1 , k_2 , k_3 を用いて示せ。ただし、E は酵素、S は基質、ES は活性複合体、P は生成物、 $k_1 \sim k_3$ はそれぞれの段階での反応速度定数である。



Lineweaver Burk式

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\max}} + \frac{K_m}{R_{\max} [S]}$$

問2 以下の(1)～(3)のすべてに答えなさい。

- (1) 金属の銅(Cu)と亜鉛(Zn)に関して、濃硝酸、ならびに希硝酸との化学反応式を記せ。
また、硝酸と反応しない金属に関して例を挙げながら説明せよ。
- (2) イオウのオキシ酸、またそれら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。
- (3) 金属の標準電極電位(酸化還元電位)とイオン化傾向に関して解説せよ。
(真空準位、金属のフェルミ準位、仕事関数の定義を図示して説明し、これらとの関係も記すこと。)

問 3 次の設問(1)～(3)に答えよ。

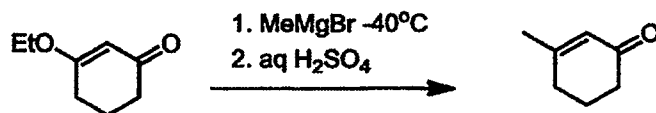
- (1) 無機化学におけるハード、ソフト、酸、塩基の概念について説明せよ。
- (2) d 族金属イオンにおいて、 d^5 電子配置を有する金属イオンが隣接原子と 6 配位八面体を形成する際のスピントロクロオーバーとその際の配位子場の強さの関係について説明せよ。
- (3) (2) において金属が関わる混成軌道について説明せよ。
- (4) キレート効果とエンタルピーについて具体的な錯体の例を挙げて説明せよ。

10 有機化学

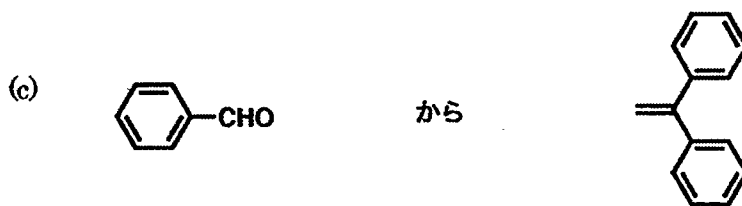
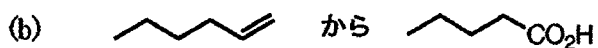
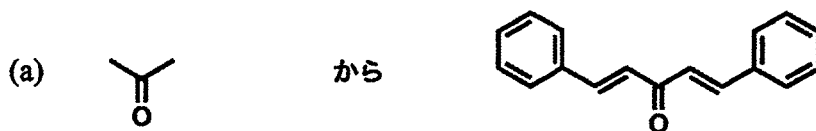
次の問 1, 問 2 の答を解答用紙に記入せよ。

問 1. 以下の設問 (1) ~ (3) に答えなさい。

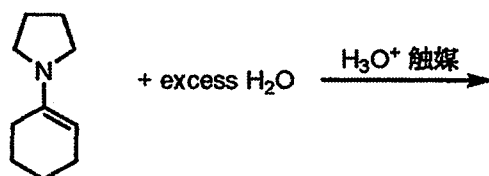
(1) 以下の反応の反応機構を書け。



(2) 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。

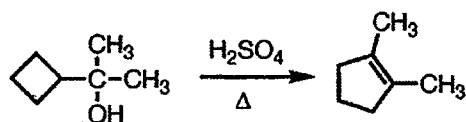


(3) 以下に示す加水分解反応の反応機構と主生成物を示しなさい。



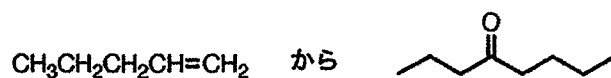
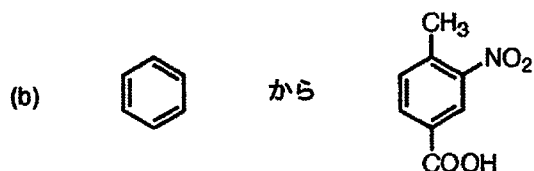
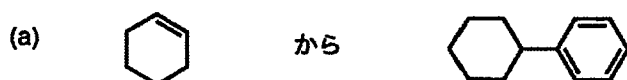
問2. 以下の設問(1)～(3)に答えなさい。

(1) 次に示す反応の機構を示しなさい。



(2) *cis*-1-ブロモ-2-メチルシクロヘキサンと *trans*-1-ブロモ-2-メチルシクロヘキサンをそれぞれ E2 反応させると異なる生成物を与える。それぞれの配座異性体を書いて、主生成物に至る過程を 100～200 字程度で説明しなさい。

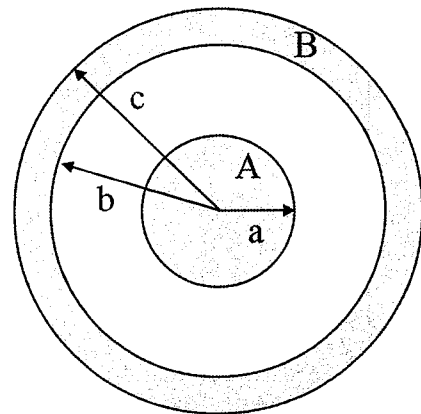
(3) 次の化合物を与えられた出発物質から合成する方法を示せ。各段階で必要となる有機試薬、無機試薬も記載すること。



11 電磁気学

図のように、半径 a の導体球 A が、内半径 b 、外半径 c の導体球殻 B で包まれている。

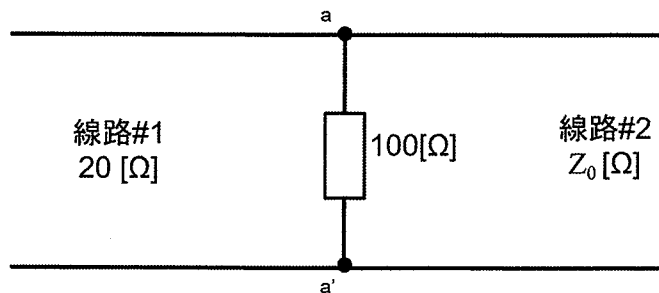
- (1) 導体球殻 B のみに $+Q$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。
- (2) 導体球殻 B を接地し、導体球 A に $+Q$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。
- (3) 導体球 A に $+Q_1$ の電荷を与え、導体球殻 B に $+Q_2$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。



12 電気回路

下図に示すように特性インピーダンス $20[\Omega]$ の線路#1 と、特性インピーダンス $Z_0[\Omega]$ の線路#2 の接続接点对 $a-a'$ に抵抗 $100[\Omega]$ を挿入した。両線路は無損失線路である。接点 a に左から入射波として電圧 $100[V]$ の信号が入射したとき、線路#2 に $2[A]$ の電流が流れた。次の値を求めよ。

- (1) 入射波の電流
- (2) Z_0 の値
- (3) 接続点 a での反射係数
- (4) 線路#1 に流れる反射波の電流
- (5) 両線路間に挿入した抵抗に流れる電流



13 電波工学

1. ホーンアンテナの実効開口面積について説明しなさい.
2. 半波長ダイポールアンテナの実効長を求めなさい.

14 情報・通信工学

通信路において $P(y|x)$ で記号 x が送信された時に記号 y が受信される確率を表すとする.

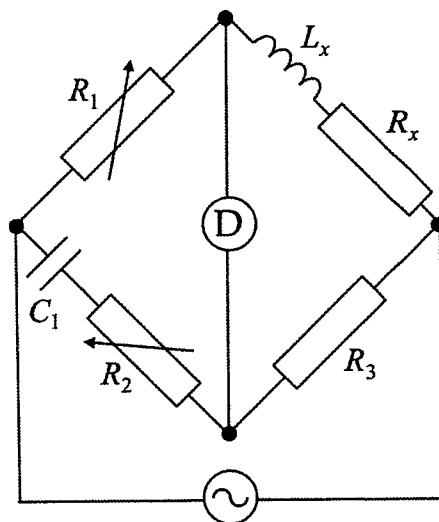
$P(0|0) = 1, P(0|1) = s, P(1|1) = 1 - s$ ($0 < s < 1$), 記号 $0, 1$ の送信確率がそれぞれ $t, 1 -$

t ($0 < t < 1$) なる通信路の伝達情報量, および $s = 1/2$ の時の通信路容量を求めよ. なお,

必要な場合, エントロピー関数 $H(x) = -x \log_2(x) - (1 - x) \log_2(1 - x)$ を解答で使用してもよい.

15 電気電子計測

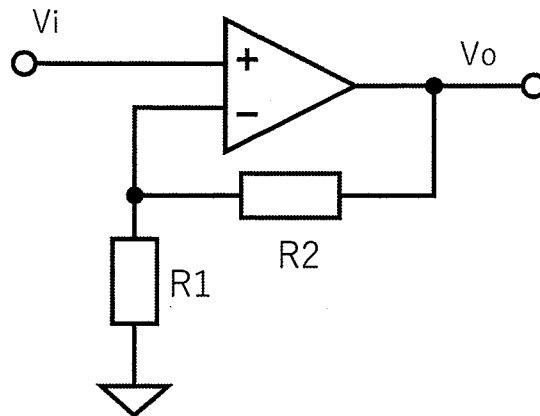
下図の交流ブリッジにおいて交流検出器 D の指示値がゼロとなるよう抵抗 R_1 および R_2 を調整した。 L_x および R_x を求めよ。



16 電子回路

1. 下記の条件において, 下図の増幅回路の利得 $A_v = V_o / V_i$ を計算し, A , R_1 , R_2 を用いて表せ.
[条件] 増幅器利得: A , 増幅器入力抵抗: ∞ , 増幅器出力抵抗: 0

2. 増幅器の利得 A を 1 で求めた利得と同じにすることで, 理論上は増幅器単体で信号を増幅することができるが実用的ではない. なぜ負帰還を用いて信号を増幅する回路が用いられるのか説明せよ.



17 制御工学

図 1 にあるブロック線図で表されるシステムを考える。ここで、 $u(t), y(t)$ はそれぞれシステムの入力、出力であり、 $e(t), r(t), x(t)$ はシステム内部の各信号を表す。 $U(s), E(s), R(s), X(s), Y(s)$ はそれぞれ $u(t), e(t), r(t), x(t), y(t)$ のラプラス変換である。 $G_A(s), G_B(s)$ はそれぞれサブシステム A とサブシステム B の伝達関数である。つまり、それぞれが $X(s)$ から $R(s)$ までと $X(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を表している。サブシステム A とサブシステム B は以下に示す微分方程式で表されるものとする。また、サブシステム A にある α はある有限の定数であり、どのシステムの初期条件はゼロとする。

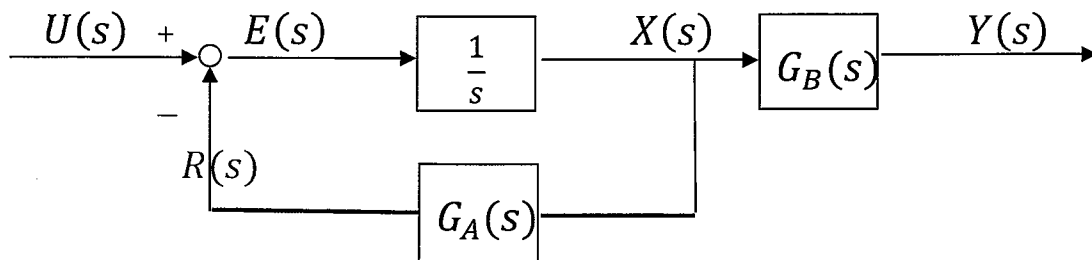


図 1 フィードバック系

$$\text{サブシステム A : } \frac{d^3 r}{dt^3} + 6 \frac{d^2 r}{dt^2} + \alpha \frac{dr}{dt} + 6r(t) = 8 \frac{dx}{dt} + 8x(t), \quad t > 0$$

$$\text{サブシステム B : } \frac{dy}{dt} + 2y(t) = 7x(t), \quad t > 0$$

- (i) $\alpha = 1$ の時、 $X(s)$ から $R(s)$ までの伝達関数 $G_A(s)$ を求めよ。
- (ii) $X(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数 $G_B(s)$ を求めよ。また、そのゲインと時定数を求めよ。
- (iii) 信号 $x(t)$ が単位ステップ関数であるとする時、その時の出力 $y(t)$ を求めよ。
- (iv) $\alpha = 11$ の時、このシステムの入力 $U(s)$ から出力 $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。
- (v) $\alpha = 11$ の時、入力 $u(t) = e^{-3t}$ に対するこのシステムの応答 $y(t)$ を求めよ。
- (vi) ラウスまたはフルビッツの安定判別法を用いて、図 1 の全体のシステムが安定となるための α の値の範囲を求めよ。

18 パワーエレクトロニクス

問1 図1に示す周期 T の繰り返し電圧波形 v の実効値 V_e , 基本波実効値 V_1 そして総合ひずみ率 (THD) を求めよ。

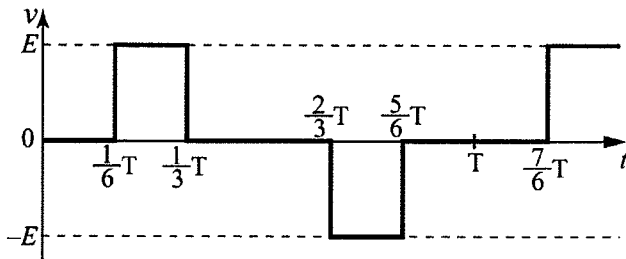


図1

問2 図2は Zeta コンバータである。定常動作時の V_{c1}/V_{in} 及び V_{out}/V_{in} を導出せよ (必ず過程を示すこと)。ただし, C_1 と C_{out} は非常に大きいため V_{c1} と V_{out} は一定とみなせるとし, また L_1 と L_2 には電流が連続して流れるとする。さらにスイッチ S は周期 T , デューティサイクル D で PWM 動作するとする。

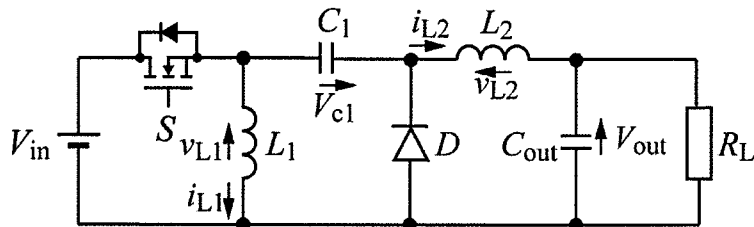


図2

2026 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

生命科学コース

「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 10 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. 選択問題から3問を解答すること。

選択問題 右の 9 問の中から 3 問選択	1	生化学・分子生物学
	2	生化学・分子生物学
	3	生化学・分子生物学
	4	生体物質分析
	5	バイオインフォマティクス
	6	力学
	7	電磁気学
	8	量子力学
	9	統計力学

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

問 1 染色体の構造に関する次の設問に答えよ。

真核生物の核 DNA はヒストン 8 量体に巻きついてヌクレオソームを形成する。1 個のヌクレオソームの直径は 11 nm で、147 塩基対の DNA を含む。ヌクレオソーム間のリンカー部分の DNA の長さを 53 塩基対とすると、ヌクレオソームを形成したときの長さは、完全に伸びきった DNA と比べてどのくらい凝縮されているか？その凝縮率（完全に伸びきった DNA の長さ/ヌクレオソームを形成したときの長さ）を、四捨五入して小数点以下第 1 位まで求めよ。

問 2 DNA の複製に関する設問 (1) ~ (3) に答えよ。

DNA 複製の際、DNA ポリメラーゼによるヌクレオチドの付加は 5'→3' 方向にしか起こらない。このことは DNA 複製の精度を保つ上で重要である。すなわち、誤って付加されたヌクレオチドは、DNA ポリメラーゼが持つ (ア) 活性により除去され校正が行われる。ところが、もしヌクレオチド鎖の伸長が 3'→5' 方向に進むと仮定すると、誤ったヌクレオチドが除去されても、次に正しいヌクレオチドを付加することができないためである。

複製フォークでは、(イ) が ATP のエネルギーを用いて二重らせんをこじあけている。複製に伴い DNA 鎖にはねじれが蓄積するため、これを (ウ) が解消する。(エ) はプライマー (オ DNA・RNA) を合成し、DNA ポリメラーゼによる重合反応の足場を形成する役割を果たしている。

- (1) (ア) ~ (オ) に当てはまる最も適切な語句を書きなさい。ただし、(オ) については選択肢から正しいものを選びなさい。
- (2) 下線部について、その理由を説明しなさい。
- (3) PCR (Polymerase Chain Reaction) で DNA を試験管内で合成する場合には、(イ)、(ウ)、(エ) のいずれのタンパク質も必要ではない。その理由を (イ)、(ウ)、(エ)、それぞれについて説明しなさい。

問 3 真核生物における翻訳の仕組みについて、語群の用語を全て用いて論じなさい。

(語群) mRNA、rRNA、tRNA、リボソーム、大サブユニット、小サブユニット、開始因子 (eIF, eukaryotic initiation factor)、開始コドン、終止コドン、

2

問 1

タンパク質は一般的に 20 種類の標準アミノ酸から構成されている。

以下の設問 (1) ~ (4) に答えなさい。

- (1) 標準アミノ酸のほとんどが α -アミノ酸である。 α -アミノ酸の定義を説明しなさい。
- (2) 標準アミノ酸の中で、正確には α -アミノ酸に該当しないアミノ酸が 1 つだけある。このアミノ酸の名称とその三文字表記を示しなさい。また、このアミノ酸がなぜ正確には α -アミノ酸に該当しないのか、その理由を説明しなさい。
- (3) タンパク質に含まれる標準アミノ酸は、グリシンを除き、全て L-立体配置を持ち、D-立体配置を持たない。標準アミノ酸における L-立体配置と D-立体配置について説明しなさい。
- (4) L-アラニンを Cahn-Ingold-Prelog 表示法 (RS 表示法) にて示しなさい。また、その回答を導いた理由を説明しなさい。

問 2

タンパク質の性質を解析する手法は多種多様である。

以下の設問 (1) と (2) に答えなさい。

- (1) SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) の原理と、SDS-PAGE の結果より得られるタンパク質の情報を説明しなさい。
- (2) 280 nm におけるタンパク質溶液の吸光度を測定すると、タンパク質の濃度を簡易的に定量できる。この解析手法の原理を説明しなさい。

3

問1 以下の語句を全て用いて、グルコースから ATP が得られるまでの過程を説明せよ。

語句：アセチル CoA, NADH, Fo-F1 ATPase, 解糖系, クエン酸回路
シトクロム c, 電子伝達系, ピルビン酸, プロトン (H⁺)

問2 以下の語句を全て用いて、植物の光呼吸について説明せよ。

語句：暗反応, 3-ホスホグリセリン酸, 2-ホスホグリコール酸
リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ (RuBisCO)

4

以下の問に答えよ。必要であれば、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$ 、 $\sqrt{5} = 2.24$ 、 $\sqrt{7} = 2.65$ を用いよ。

問 1 HCl と H_3PO_4 の混合物を 0.100 M の NaOH で滴定した。指示薬としてメチルレッドを選び、滴定したところ、1 番目の終点は 35.0 mL となった。続いて、指示薬プロモチモールブルーを用いて滴定を続けたところ、2 番目の終点は 50.0 mL (1 番目の終点の後、15.0 mL を加えた点) となった。溶液中に存在する HCl と H_3PO_4 の物質質量 (mmol) をそれぞれ有効数字 3 桁で答えよ。

問 2 80 ± 2 g の水と 12 ± 2 g のエタノールを混合した。この混合溶液の質量を誤差の伝播に留意して計算せよ。

問 3 以下の酵素反応が進行するとき、最大反応速度 (R_{\max})、反応速度 (R)、基質濃度 [S]、ミカエリス定数 (K_m) を用いて以下の Lineweaver-Burk 式が成り立つ。このときの K_m を k_1 、 k_2 、 k_3 を用いて示せ。ただし、E は酵素、S は基質、ES は活性複合体、P は生成物、 $k_1 \sim k_3$ はそれぞれの段階での反応速度定数である。



Lineweaver Burk 式

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\max}} + \frac{K_m}{R_{\max}[S]}$$

5

以下の文章を読み、設問(1)～(3)に答えよ。

膜貫通型タンパク質は、生体膜に存在し、物質輸送、シグナル伝達、酵素活性など多様な機能を担っているが、結晶化が困難なため、立体構造情報が乏しい。そこで、バイオインフォマティクス手法を用いて、アミノ酸配列から膜タンパク質の立体構造と機能を予測する必要がある。そのためには、いくつかプロセスを踏む必要がある。

まず、得られたアミノ酸配列に対して(①)検索を行い、相同性のある膜タンパク質が存在するかを確認する。次に、(②)スコアや隠れマルコフモデル(HMM)を利用するツールを用いて膜貫通領域の予測を行う。予測された膜貫通領域の情報は、膜内外の構造的区別に利用される。また、多配列アラインメント(Multiple Alignment)から得られる保存領域や共進化情報をもとに、(③)間の接触予測を行い、三次構造の制約条件として利用する。近年、深層学習を用いた(④)により、全体の立体構造を精度よく予測することも可能になった。

膜タンパク質特有の問題として、疎水性に富む領域の取り扱いや、膜中での安定構造を考慮する必要があり、(④)においても、これらのタンパク質は(⑤)が相対的に低くなる傾向にある。こうした予測結果の信頼性評価には、既知構造との(⑥)の検証が重要となる。構造が予測された後は、膜環境を模した条件下で(⑦)シミュレーションを行うことで、構造の安定性やダイナミクスを検証できる。また、リガンドや脂質分子との相互作用解析には、(⑧)手法を用いて結合部位の同定が行われる。

さらに、予測構造から得られる膜内の機能的ドメインや、配列保存性の高い部位を解析することで、機能推定が可能となる。これらの情報を(⑨)などの機能アノテーションデータベースと統合することで、機能の裏付けが得られる。最終的に、得られたモデルは(⑩)などのデータベースを用いて他のタンパク質との相互作用ネットワークを解析する。

(1) 空欄(①～⑩)にあてはまる最も適切な語句を語群から選び記入せよ。

【語群】

ドッキング	分子動力学 (MD)	構造アラインメント	検証指標	KEGG
C α 距離	Pfam	PSI-BLAST	疎水性インデックス	AlphaFold

(2) 膜貫通領域予測について、②のスコアを使う事が有効である理由を述べよ。その際、膜貫通領域の構造特徴や、存在環境について説明しながら記載せよ。

(3) ④の手法は高精度な構造予測手法だが、膜貫通型タンパク質単体の構造予測には限界も存在する。予測精度が低下する原因を、膜タンパク質の構造的特性に着目して説明せよ。ただし以下の用語を1回は使用すること(300字以内)

複合体構造が多い 学習セット 膜中環境 膜外環境 水溶性タンパク質

6

以下では1次元方向に並んでいて、その方向にのみ動くことができる粒子列の運動を考える。各粒子は隣の粒子とばね定数 K 、自然長 a のばねでつながっている。 t は時刻である。

問1. 質量 M の粒子が N 個、間隔 a で並んでいる。 l 番目の粒子の1次元方向の位置を u_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ とおくことにより、振動数 ω を波数 q の関数として求めよ。

問2. 質量 M_A の粒子Aと質量 M_B の粒子Bが交互に間隔 a で並んでいる。2種類の粒子の総数はともに N 個である。 l 番目の粒子Aの1次元方向の位置を u_l 、粒子Bの1次元方向の位置を v_l とする。この系の運動方程式を記し、 $u_l = A \exp[i(qla + \omega t)]$, $v_l = B \exp[i(qla + \omega t)]$, $\omega > 0$ とおいて、 $A \neq 0, B \neq 0$ の解が存在する条件より振動数 ω と波数 q の関係の式を求め、それぞれの q に対してその関係式を満たす ω がいくつあるか示せ。さらに $q = 0$ とした時、それぞれの ω がとる値を求めよ。

7

真空の誘電率を ϵ_0 、真空の透磁率 μ_0 として以下の問いに答えよ。

問 1. x 軸に垂直で無限に広い平面 ($x = 0$) に一様な面電荷密度 σ で電荷が分布している。

- (1) この面電荷がつくる電場を求めよ。
- (2) 静電ポテンシャルの大きさを求めよ。ただし、 $x = 0$ を基準点とする。

問 2. 単位長さ当たりの巻き数 n 、長さ l 、断面積 S のソレノイドコイルを考える。

- (1) ソレノイドコイルに電流 I を流したときに、コイル内外に生じる磁束密度の大きさを、積分型のアンペールの法則を用いて求めよ。
- (2) ソレノイドコイルの自己インダクタンスを求めよ。

問 3. 自己インダクタンス L のコイルと電気容量 C のコンデンサーを直列につないだ回路を考える。時刻 $t = 0$ でコンデンサーの両極板に電荷 $\pm Q$ を与えたところ、電流が流れ始めた。

- (1) コンデンサーの電荷 $Q(t)$ および電流 $I(t)$ の時間変化を求めよ。
- (2) コンデンサー内の電場のエネルギー $U_E(t)$ とコイル内の磁場のエネルギー $U_B(t)$ の時間変化を求めよ。

8

質量 m の粒子がバネ定数 $k = m\omega^2$ のバネによってつながれている調和振動子を考える。ハミルトニアンは、運動量演算子 \hat{p} および位置演算子 \hat{x} を用いて

$$\hat{H} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2 + \frac{m\omega^2}{2}\hat{x}^2 \quad (1)$$

で表される。ここで、消滅演算子 \hat{a} および生成演算子 \hat{a}^\dagger を

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} + \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right), \\ \hat{a}^\dagger &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} - \frac{i}{m\omega}\hat{p} \right) \end{aligned}$$

と定義する。すると、数演算子 $\hat{N} = \hat{a}^\dagger\hat{a}$ を用いて $\hat{H} = \hbar\omega \left(\hat{N} + \frac{1}{2} \right)$ と表すことができる。数演算子 \hat{N} の固有値を n と表し、固有値 n に対しての固有関数を $\varphi_n(x)$ とする。なお、 $\varphi_n(x)$ はすべて規格化条件 $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\varphi_n(x)|^2 = 1$ を満たすものとする。

1. 交換関係 $[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = 1$ を示せ。なお、 $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ を用いて良い。
2. 交換関係 $[\hat{N}, \hat{a}]$ を求めよ。
3. $\phi(x) = \hat{a}\varphi_n(x)$ とする。 $\hat{N}\phi$ を求めよ。
4. このとき $\int_{-\infty}^{\infty} dx |\phi(x)|^2$ を計算せよ。ここではエルミート共役の性質より $\phi^*(x) = (\hat{a}\varphi_n(x))^* = \varphi_n^*(x)\hat{a}^\dagger$ となることを用いても良い。
5. $\hat{a}\varphi_n(x)$ を、 \hat{N} の固有関数を用いて表せ。理由も説明せよ。
6. \hat{N} の固有値 n が負でない整数であることを示せ。ここでは式 (1) の \hat{H} が半正定値なのでその固有値が負にならないことを用いても良い。
7. 生成消滅演算子による第 2 量子化と、量子状態の粒子性について述べよ。

9

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 ($N \gg 1$) 含まれている。この系の統計的性質をミクロカノニカル集団の手法を用いて考察しよう。以下の計算では、半径 R の d 次元球の体積 $V_d(R)$ が必要となるが、これについては d に依存する定数 C_d を用いた表式 $V_d(R) = C_d R^d$ を用いよ。

ある一つの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、許される運動量の値は離散的となる。周期境界条件の下では、各成分が整数のベクトル $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ を用いて次式のようにになる。

$$\mathbf{p} = \frac{2\pi\hbar}{L}\mathbf{n} = \frac{2\pi\hbar}{L}(n_x, n_y, n_z)$$

問 1. N 個の粒子は互いに区別できないことに留意し、全エネルギーが E 以下の状態数 $\Omega(E)$ を求めよ。

問 2. 全エネルギーが E と $E + \Delta E$ の間にある状態数 $W(E)$ を求めよ。ただし、 $E \gg \Delta E$ として、 ΔE について一次までの近似をせよ。

問 3. 系の温度を求め、エネルギー等分配則 $E = \frac{3}{2}Nk_B T$ が成り立つことを示せ。

問 4. 系の圧力を求めよ。

二次元の系で同様の問題を考える。すなわち、面積が $A = L^2$ の正方形の領域中に、相互作用しない質量 m の気体分子が N 個 ($N \gg 1$) 含まれている。

問 5. 上で考察した三次元の場合と同様の解析から、二次元の場合のエネルギー等分配則の関係式を求めよ。

2026 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
電気電子工学コース

「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11枚である。
3. 問題冊子及び解答冊子に、受験番号と氏名を必ず記入すること。また、各解答用紙には、解答した問題番号も記入すること。
4. 必須問題を2問、選択問題から3問の合計5問を解答すること。

必須問題 すべて解答	1	電磁気学
	2	電気回路
選択問題 右の8問の中から3問選択	3	電波工学
	4	情報・通信工学
	5	電気電子計測
	6	電子回路
	7	制御工学
	8	パワーエレクトロニクス
	9	電気・電子物性学
	10	高電圧工学

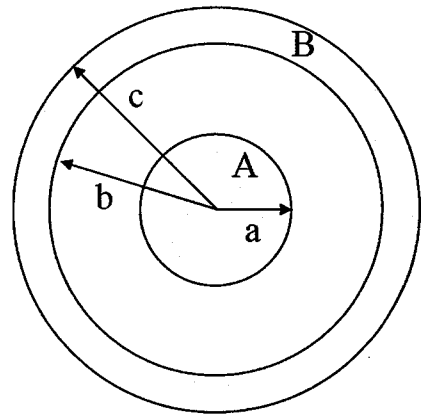
5. 解答用紙が足りない場合は、裏面を使用しても良い。
6. 解答冊子、問題冊子とも全て回収するので、綴じたままにしておくこと。

1

電磁気学

図のように、半径 a の導体球 A が、内半径 b 、外半径 c の導体球殻 B で包まれている。

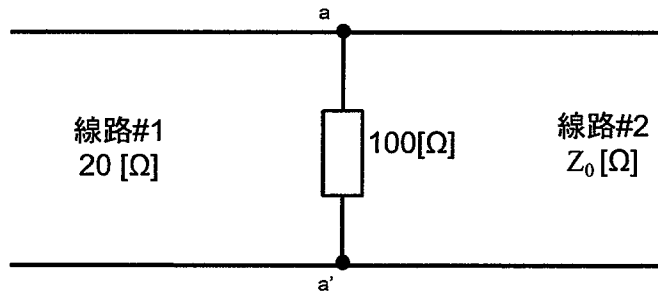
- (1) 導体球殻 B のみに $+Q$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。
- (2) 導体球殻 B を接地し、導体球 A に $+Q$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。
- (3) 導体球 A に $+Q_1$ の電荷を与え、導体球殻 B に $+Q_2$ の電荷を与えた。導体球 A の電位を求めなさい。



2 電気回路

下図に示すように特性インピーダンス $20[\Omega]$ の線路#1 と、特性インピーダンス $Z_0[\Omega]$ の線路#2 の接続接点对 $a-a'$ に抵抗 $100[\Omega]$ を挿入した。両線路は無損失線路である。接点 a に左から入射波として電圧 $100[V]$ の信号が入射したとき、線路#2 に $2[A]$ の電流が流れた。次の値を求めよ。

- (1) 入射波の電流
- (2) Z_0 の値
- (3) 接続点 a での反射係数
- (4) 線路#1 に流れる反射波の電流
- (5) 両線路間に挿入した抵抗に流れる電流



3

電波工学

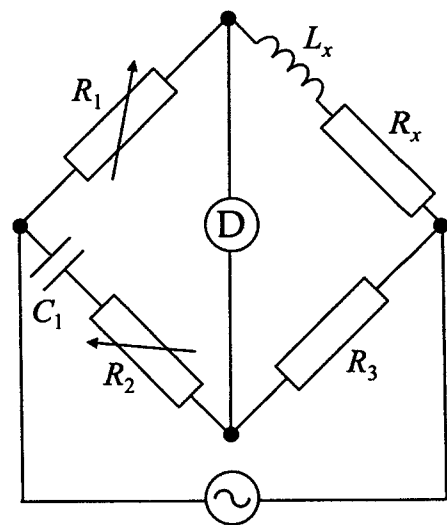
1. ホーンアンテナの実効開口面積について説明しなさい.
2. 半波長ダイポールアンテナの実効長を求めなさい.

4 情報・通信工学

通信路において $P(y|x)$ で記号 x が送信された時に記号 y が受信される確率を表すとする。
 $P(0|0) = 1, P(0|1) = s, P(1|1) = 1 - s$ ($0 < s < 1$), 記号 $0, 1$ の送信確率がそれぞれ $t, 1 - t$ ($0 < t < 1$) なる通信路の伝達情報量, および $s = 1/2$ の時の通信路容量を求めよ。なお, 必要な場合, エントロピー関数 $H(x) = -x \log_2(x) - (1 - x) \log_2(1 - x)$ を解答で使用してもよい。

5 電気電子計測

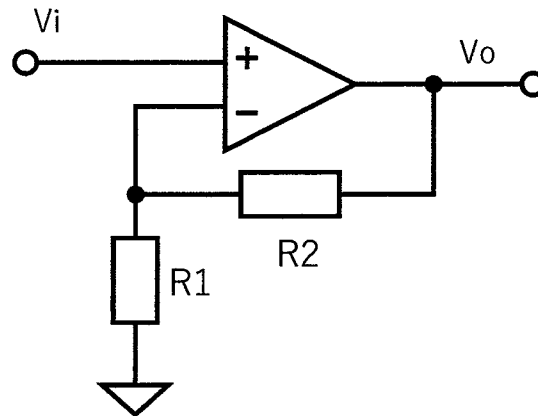
下図の交流ブリッジにおいて交流検出器 D の指示値がゼロとなるよう抵抗 R_1 および R_2 を調整した。 L_x および R_x を求めよ。



6 電子回路

1. 下記の条件において, 下図の増幅回路の利得 $A_v = V_o / V_i$ を計算し, A , R_1 , R_2 を用いて表せ.
[条件] 増幅器利得: A , 増幅器入力抵抗: ∞ , 増幅器出力抵抗: 0

2. 増幅器の利得 A を 1 で求めた利得と同じにすることで, 理論上は増幅器単体で信号を増幅することができるが実用的ではない. なぜ負帰還を用いて信号を増幅する回路が用いられるのか説明せよ.



7 制御工学

図 1 にあるブロック線図で表されるシステムを考える。ここで、 $u(t), y(t)$ はそれぞれシステムの入力、出力であり、 $e(t), r(t), x(t)$ はシステム内部の各信号を表す。 $U(s), E(s), R(s), X(s), Y(s)$ はそれぞれ $u(t), e(t), r(t), x(t), y(t)$ のラプラス変換である。 $G_A(s), G_B(s)$ はそれぞれサブシステム A とサブシステム B の伝達関数である。つまり、それぞれが $X(s)$ から $R(s)$ までと $X(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数を表している。サブシステム A とサブシステム B は以下に示す微分方程式で表されるものとする。また、サブシステム A にある α はある有限の定数であり、どのシステムの初期条件はゼロとする。

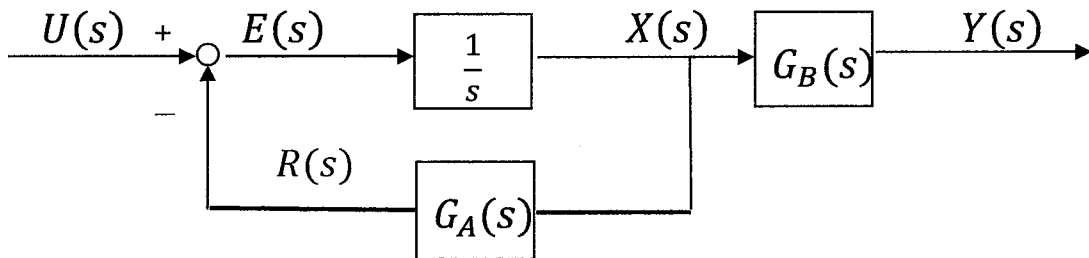


図 1 フィードバック系

$$\text{サブシステム A: } \frac{d^3 r}{dt^3} + 6 \frac{d^2 r}{dt^2} + \alpha \frac{dr}{dt} + 6r(t) = 8 \frac{dx}{dt} + 8x(t), \quad t > 0$$

$$\text{サブシステム B: } \frac{dy}{dt} + 2y(t) = 7x(t), \quad t > 0$$

- (i) $\alpha = 1$ の時、 $X(s)$ から $R(s)$ までの伝達関数 $G_A(s)$ を求めよ。
- (ii) $X(s)$ から $Y(s)$ までの伝達関数 $G_B(s)$ を求めよ。また、そのゲインと時定数を求めよ。
- (iii) 信号 $x(t)$ が単位ステップ関数であるとする時、その時の出力 $y(t)$ を求めよ。
- (iv) $\alpha = 11$ の時、このシステムの入力 $U(s)$ から出力 $Y(s)$ までの伝達関数を求めよ。
- (v) $\alpha = 11$ の時、入力 $u(t) = e^{-3t}$ に対するこのシステムの応答 $y(t)$ を求めよ。
- (vi) ラウスまたはフルビッツの安定判別法を用いて、図 1 の全体のシステムが安定となるための α の値の範囲を求めよ。

8 パワーエレクトロニクス

問1 図1に示す周期 T の繰り返し電圧波形 v の実効値 V , 基本波実効値 V_1 として総合ひずみ率 (THD) を求めよ。

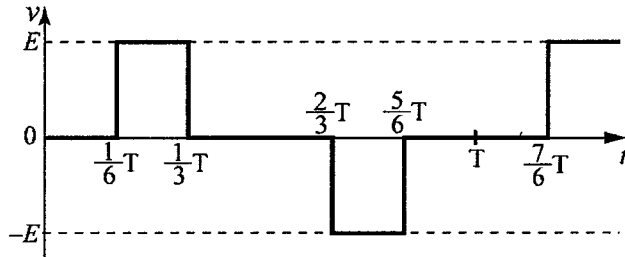


図 1

問2 図2は Zeta コンバータである。定常動作時の V_{c1}/V_{in} 及び V_{out}/V_{in} を導出せよ (必ず過程を示すこと)。ただし, G_1 と C_{out} は非常に大きいため V_{c1} と V_{out} は一定とみなせるとし, また L_1 と L_2 には電流が連続して流れるとする。さらにスイッチ S は周期 T , デューティサイクル D で PWM 動作するとする。

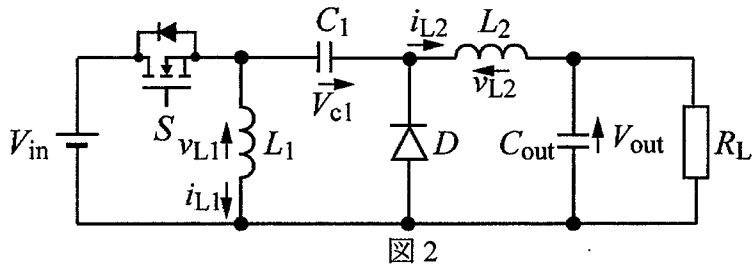


図 2

9 電気・電子物性学

下記 (1)、(2) の両方の問いに答えよ。

- (1) 元々、オームの法則は経験則であるが、ドルーデモデルを用いてオームの法則が得られることを示せ。
- (2) LSI などの電子デバイスによく用いられる半導体材料は Si であるが、高速電子デバイスや発光デバイスによく用いられる半導体材料 GaAs である。何故、このような違いが生じるのか、電気電子物性の観点で説明せよ。

10 高電圧工学

GIS (Gas Insulated Switchgear) について以下の問いに答えよ。

- A) GIS に絶縁媒体として使われる絶縁ガスの名称を答えよ。
- B) 1 気圧 25°C の条件下で問 A) のガスと空気の絶縁耐力はおよそいくらかを答えよ。
- C) 問 A) のガスが GIS のガスとしてよく使われる理由をプラズマの形成・消滅のメカニズムに即して述べよ。

2026 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

機械創造コース
「専門科目」
問題冊子

受験番号：	氏名：
-------	-----

【注意事項】

- (1)本問題冊子が、志願したコースのものであることを確認すること。
- (2)本問題冊子が、表紙を含めず、全10頁であることを確認すること。
- (3)上記、所定の欄に、受験番号、氏名を記入すること。
- (4)下表の系A、系B、系Cから解答する系を一つ選択して丸で囲み、その系の問題を解答すること。

系A	材料力学系（材料，材料力学）
系B	熱・流体系（熱力学，流体力学）
系C	機械制御系（機械力学，制御工学）

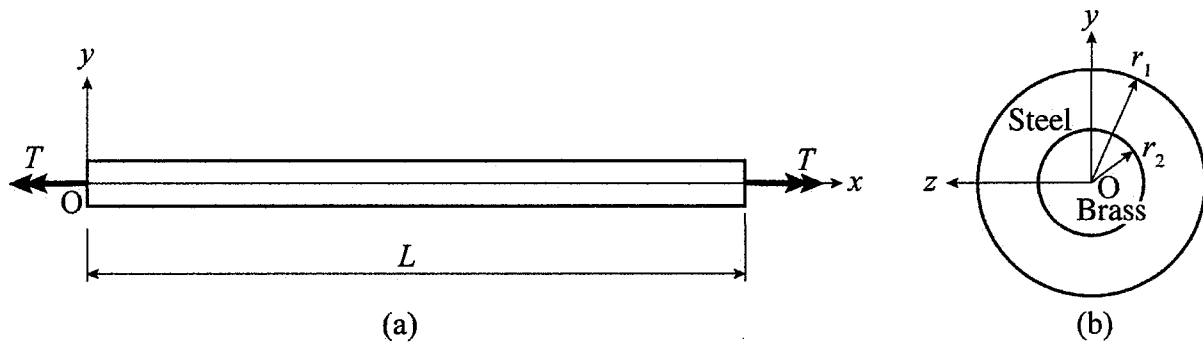
- (5)関数電卓（式の記憶機能を持たないもの）を使用してよい。
- (6)本問題冊子は綴じたまま（バラバラにしないで）、提出すること。

系A 材料力学系 (材料, 材料力学)

系A-1.

図(a)に示すように長さ L の丸棒がトルク T を受けている. 図(b)はこの丸棒の断面の拡大図である. この図に示すように, この丸棒は外半径 r_1 , 内半径 r_2 の鋼のパイプの内部に黄銅が接着された構造である. 鋼の横弾性係数を G_{st} , 黄銅の横弾性係数を G_{br} とする. 以下の問いに答えなさい.

- (1) 鋼および黄銅部分の内力と外力 T の関係を表すフリーボディダイアグラムを描き, それら内力と外力の力のつり合い式を示しなさい.
- (2) 鋼および黄銅それぞれの部分のねじり角を求めなさい. ただし, 解答には鋼および黄銅部分の内力を未知量として含んで構わない.
- (3) 鋼のねじり角と黄銅のねじり角の関係を示しなさい.
- (4) 鋼および黄銅それぞれの部分に生ずる最大のせん断応力を求めなさい.

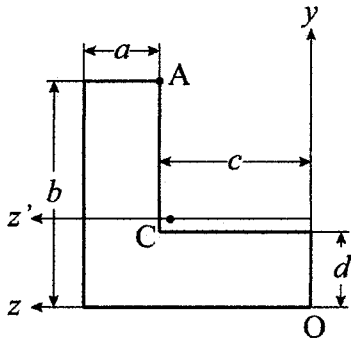


系A 材料力学系 (材料, 材料力学)

系A-2.

図のL字型断面について以下の問に答えなさい.

- (1) 図心 C の y 座標および z 座標を求めなさい.
- (2) z 軸に関する断面2次モーメントを求めなさい.
- (3) 図心を通り z 軸に平行な z' 軸に関する断面2次モーメントを求めなさい.
- (4) この断面をもつはりが, z 軸が中立軸になる方向に $M=500\text{ N}\cdot\text{m}$ の曲げモーメントを受けている. 各部の寸法を $a=10\text{ mm}$, $b=35\text{ mm}$, $c=25\text{ mm}$, $d=10\text{ mm}$ とした場合に A 点に生ずる曲げ応力を求めなさい.
- (5) 各部の寸法を前問(4)と同じ $a=10\text{ mm}$, $b=35\text{ mm}$, $c=25\text{ mm}$, $d=10\text{ mm}$ とした場合の最大主断面2次モーメントを求め, その時の中立軸を図中へ書き込みなさい.

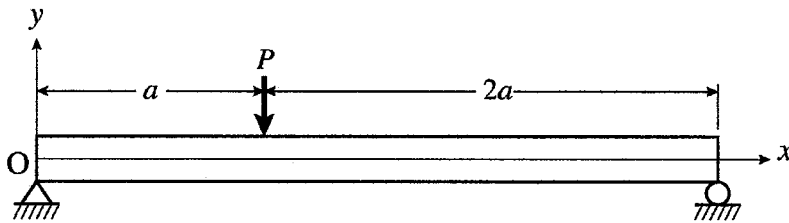


系A 材料力学系 (材料, 材料力学)

系A-3.

図に示すように長さ $3a$ の単純支持はりがあり, 集中荷重 P が負荷されている. 縦弾性係数を E , 断面2次モーメントを I とし, それらは定数とする. 以下の間に答えなさい.

- (1) フリーボディダイアグラムを描き, 力のつり合い式を解いて未知反力を決定しなさい.
- (2) せん断力および曲げモーメントを位置 x の関数として表し, せん断力図および曲げモーメント図を描きなさい.
- (3) 荷重点 ($x=a$) におけるたわみを求めなさい.



系A 材料力学系 (材料, 材料力学)

系A-4.

以下の問いに答えなさい

- (1) 右図は Fe-Fe₃C の熱力学的平衡状態図である. 図中の T₀ の温度からゆっくりと冷却した場合の T₀, T₁ および T₂ (727°C の直下) での組織の図を描きなさい. その際, 各相の名前をわかるようにしなさい.
- (2) T₀ から T₂ 以下の温度に急冷した場合に観察される組織の名前を示すとともに, その組織の特徴を説明しなさい.
- (3) 一般的に(2)で説明した処理の後に行う熱処理の名前を示すとともに, その処理を行う目的を2つ書きなさい.
- (4) T₀ からゆっくりと冷却した鋼と(2)で示した T₀ から急冷した鋼に対して単軸引張試験をした際に得られる応力-ひずみ関係をそれぞれの特徴が分かるように描きなさい. また, 描いた応力-ひずみ関係の図には物理量と単位を示しなさい.

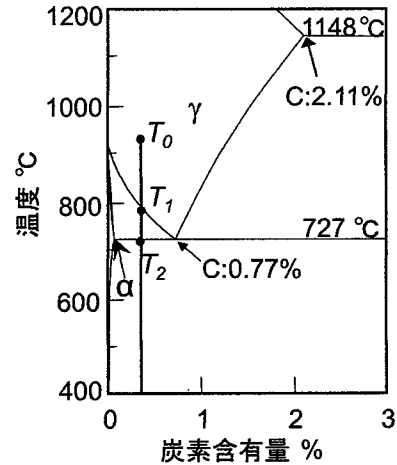


図 Fe-Fe₃Cの熱力学的平衡状態図

系B 熱・流体系 (熱力学, 流体力学)

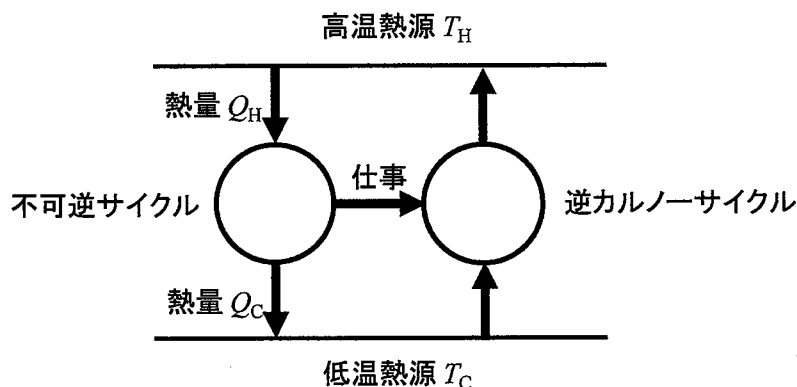
系B-1.

(1) 温度 T_H [K] の高温熱源と温度 T_C [K] の低温熱源の間で動作するカルノーサイクルを考える。サイクル内で作動する流体は, 高温熱源から熱量を受けた際に, ΔS [J/K] のエントロピー変化があるとき, 以下の文の (1) から (5) に入るものを T_H , T_C , ΔS を用いて答えよ。

- ・高温熱源から受ける熱量は (1) [J] であり, 低温熱源に放出する熱量は (2) [J] である。また, このサイクルの熱効率は, (3) である。
- ・このサイクルを逆向きに動作させた逆カルノーサイクルでは, 1 サイクルを動作させるために必要な仕事は (4) [J] であり, 冷凍機としての成績係数は, (5) である。

(2) 以下の図のように, 温度 T_H [K] の高温熱源と温度 T_C [K] の低温熱源の間で動作する不可逆サイクルから仕事を取り出し, その仕事を利用して逆カルノーサイクルを動作させて低温熱源から高温熱源に熱量を移動させる。不可逆サイクルは, 1 サイクルあたり高温熱源から Q_H [J] の熱量を受け, 低温熱源に Q_C [J] の熱量を放出するとき, 以下の文の (6) と (7) に入るものを T_H , T_C , Q_H , Q_C を用いて答えよ。また, (8) に入る適切な語句を答えよ。

- ・不可逆サイクルの熱効率は (6) である。
- ・不可逆サイクルの 1 サイクルで取り出した仕事を使って, 逆カルノーサイクルを動作させたとき, 1 サイクルあたり低温熱源から吸収できる熱量は (7) [J] であり, この熱量は, 不可逆サイクルが低温熱源に放出する熱量より (8) なる。



系B 熱・流体系 (熱力学, 流体力学)

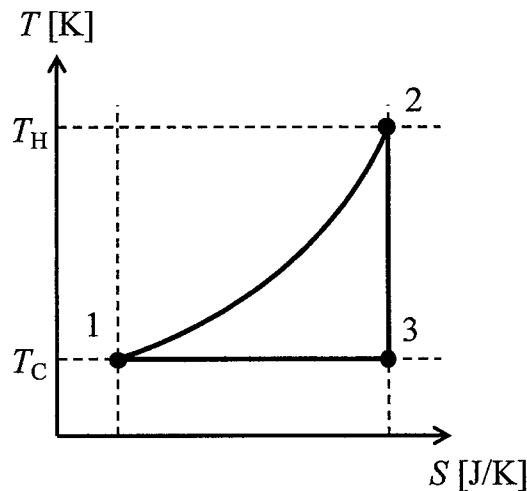
系B-2.

1kg の理想気体 (ガス定数 $R[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$, 比熱比 κ) を作動流体として, 以下の T - S 線図 (温度-エントロピー線図) に示すように, 状態1から状態2, 状態3を経て, 状態1に戻るサイクルを考える. このサイクルに関して, 以下の問に答えよ.

(1) 以下の文の (1) から (10) に入るものを T_H , T_C , p_1 , R , κ を用いて答えよ.

- ・状態1から状態2の過程は, 圧力が $p_1[\text{Pa}]$ の等圧変化であり, 状態1から状態2の過程で作動流体の内部エネルギーの変化は (1) [J], エンタルピーの変化は (2) [J] である. また, 作動流体が外部にした絶対仕事は, (3) [J] である.
- ・状態2の体積は (4) $[\text{m}^3]$ であり, 状態3の体積は (5) $[\text{m}^3]$ である. また, 状態2から状態3の過程で, 作動流体が外部にした絶対仕事は, (6) [J] である.
- ・状態3から状態1の過程で, 作動流体が受けた絶対仕事は, (7) [J] であり, エントロピーの変化は, (8) [J/K] である.
- ・このサイクルの1サイクルあたりに取り出すことのできる仕事は, (9) [J] であり, このサイクルの熱効率は, (10) である.

(2) このサイクルの p - V 線図 (圧力-体積線図) の概略を示せ. なお, 図中に状態1から状態3の各点を明示すること.



系B 熱・流体系（熱力学，流体力学）

系B-3.

2次元デカルト座標系 (x, y) で，時間 t ，流速 (u, v) ，圧力 p ，密度 ρ ，粘性係数 μ とする時，非圧縮性流れの支配方程式は，

$$\text{連続の式：} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$x\text{方向運動方程式：} \rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta u \quad \dots \textcircled{2}$$

$$y\text{方向運動方程式：} \rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \Delta v \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\text{※Lagrange 微分：} \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\text{※Laplacian：} \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

で与えられる。

以下の (A) ~ (J) を数式で埋めよ。但し，各解答はそれより以前の全条件を考慮した上で，最も簡単な形式に整理して示せ。

(1) Lagrange 微分を， x で偏微分すると，その時間項は (A)， u の項は (B)， v の項は (C) となる。

(2) Lagrange 微分を， y で偏微分すると，その時間項は (D)， u の項は (E)， v の項は (F) となる。

(3) Laplacian を， x で偏微分する時，偏微分と Laplacian は可換なので， $\frac{\partial}{\partial x} \Delta =$ (G) となる。

(4) 式②③を用い，且つ，式変形において移項しないで，渦度 $\omega = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$ の方程式を求めると，

$$\text{右辺} = \text{(H)}$$

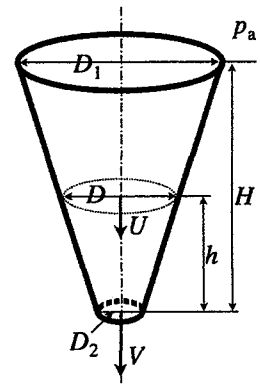
$$\text{左辺} = \text{(I)}$$

となる。なお，式 (J) を用いて， u, v の1回微分を簡単化した。

系B 熱・流体系 (熱力学, 流体力学)

系 B-4.

図の様に, 大気 (圧力 p_a , 重力加速度 g) 中で, 軸が鉛直な円錐形ロート (上端内径 D_1 , 下端内径 D_2 , 高さ H) の下端から, 容器内液体 (密度 ρ) が流出している. 高さ基準を, 容器下端とした液面高さは h である. 但し, $D_2 \ll D_1$ である.



以下の (A) ~ (J) を数式で埋めよ. 但し, 各解答はそれより以前の全条件を考慮した上で, 最も簡単な形式に整理して示せ.

- (1) 液面は円形であり, その内径 D は, $h = H$ の時に $D = \text{(A)}$, $h = 0$ の時に $D = D_2$ なので, $D = \text{(B)}$ である. ここで, $D_2 \ll D_1$ を用いて, $D = D_1 \frac{h}{H}$ と近似する.
- (2) 液面降下速度を $U (> 0)$ とすると, 液面液体が持つ単位質量当りの力学的エネルギーは (C) である.
- (3) 流出流速を $V (> 0)$ とすると, 出口液体が持つ単位質量当りの力学的エネルギーは (D) である.
- (4) 一方, 質量保存を用いると, $V = U \frac{D_1^2}{D_2^2} \times \text{(E)}$ である.
- (5) 以上より, $U = \sqrt{2gh} \frac{D_2^2 H^2}{D_1^2 h^2} \times \text{(F)}$ を得る.
- (6) ここで, 液面降下速度 U と液面高さ h の関係は, $U = \text{(G)}$ である.
- (7) $\text{(F)} = C = \text{一定}$ と近似して, (5) の式を微分方程式に変換すると, $\frac{dh}{dt} = -C \sqrt{2g} \frac{D_2^2}{D_1^2} H^2 \times \text{(H)}$ を得る.
- (8) 満水を時刻 0 とし, 全ての液体が流れ出る時間を T とすれば, t の積分区間は $[0, T]$ であり, それに対応した h の積分区間は (I) であるので, (7) を解いて, $T = \frac{\sqrt{2} D_1^2}{5 C D_2^2 \sqrt{g}} \times \text{(J)}$ を得る.

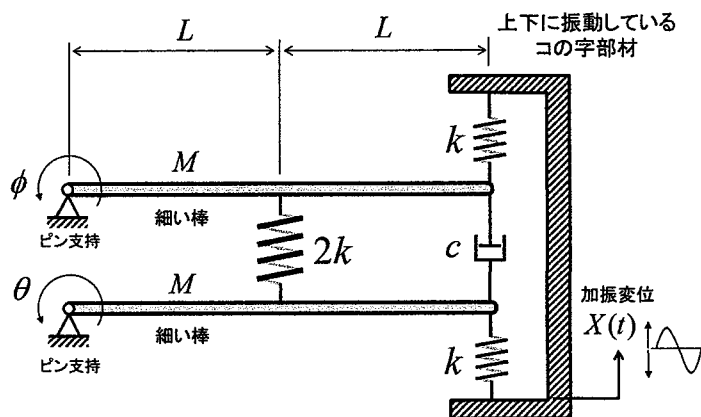
系C 機械制御系 (機械力学, 制御工学)

系C-1. 図に示すように, 2本の細長い棒が左端をピンで滑らかに支持されている. これらの棒は長さと同じであり, 全長 $2L$, 質量 M である. また, これらの棒はばねと減衰器で連結されている. さらに, 右端はコの字部材とばねで連結されている. コの字部材は上下に強制変位 $X(t)$ で振動している. 主な寸法, 質量, ばね定数, 減衰係数を表す記号は, 図中に示されている. ここで, 重力の影響は無視でき, 各記号の値は, $M = 2.0 \text{ kg}$, $L = 1.5 \text{ m}$, $c = 0.10 \text{ Ns/m}$, $k = 2000 \text{ N/m}$ とする. 以下の問に答えよ.

- (1) 棒の支持点回りの慣性モーメントを J とする. J を記号と数値で求めよ.
- (2) フリーボディダイアグラムを描け. ここで, 図中に示すように, 2つの棒の回転角はそれぞれ θ と ϕ で表記する.
- (3) 記号を用いて系の運動方程式を求めよ. また, それらを行列で表記せよ.
- (4) 減衰が小さく無視できる (減衰係数 $c = 0$) 場合, 運動エネルギー T およびポテンシャルエネルギー U を記号で表記せよ. また, ラグランジュ方程式を利用して, 系の運動方程式を求めて行列で表記せよ. 下式では, q_i は一般化座標を表す.

$$\text{ラグランジュ方程式: } \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0, \quad L = T - U$$

- (5) 減衰が小さく無視できる (減衰係数 $c = 0$) 場合, 系の固有振動数を記号および数値で求めよ.
- (6) この系では2次モード (逆位相モード) の振動は励起されず共振は生じない. このことを, 式を用いて示せ.



系C 機械制御系 (機械力学, 制御工学)

系C-2. 次の伝達関数 $G(s)$ に関して, 以下の問いに答えよ. ただし, $Y(s)$ および $U(s)$ はそれぞれ出力および入力である.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s^2 + 2s}$$

- (1) $G(s)$ の極を求め, その入出力安定性について判定せよ.
- (2) $G(s)$ に対して $y = x$ となる状態量 x を導入する. このとき, 状態ベクトルを $\mathbf{x} = [x \ \dot{x}]^T$ として, 以下のように状態方程式と出力方程式を導出した.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u$$

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x} + Du$$

このとき, \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , D をそれぞれ求めよ. ただし, $u = \mathcal{L}^{-1}[U(s)]$, $y = \mathcal{L}^{-1}[Y(s)]$ である.

- (3) 設問(2)で与えられた状態方程式に対して, 状態フィードバック入力 $u = \mathbf{K}\mathbf{x}$ を施した. そのシステムに対して, 初期値 $\mathbf{x}(0) = [1 \ 0]^T$ を与えたところ状態ベクトルは $\mathbf{x} = [2e^{-t} - e^{-2t} \quad -2e^{-t} + 2e^{-2t}]^T$ となり, 初期値 $\mathbf{x}(0) = [0 \ 1]^T$ を与えたところ状態ベクトルは $\mathbf{x} = [e^{-t} - e^{-2t} \quad -e^{-t} + 2e^{-2t}]^T$ となった. このとき, フィードバックゲイン \mathbf{K} を求めよ.
- (4) 設問(3)で導出したフィードバックゲイン \mathbf{K} を用いて, $u = \mathbf{K}\mathbf{x} + H(t)$ を与えた. ただし, $H(t)$ は次に示すように単位ステップ関数であり, t は時刻を表す変数である.

$$H(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t \geq 0) \end{cases}$$

ここで, 状態ベクトルの初期値を $\mathbf{x}(0) = [0 \ 0]^T$ とするとき, 状態量 x を t の関数で表せ.

2026 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
知能情報コース

「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 10 枚である。
3. 問題冊子に受験番号と氏名を必ず記入すること。
4. 選択問題から 2 問を解答すること。

選択問題 8 問中から 2 問選択	1	ネットワーク
	2	ロボット工学
	3	ヒューマンインタフェース
	4	数値計算法
	5	ソフトウェア設計
	6	データ構造とアルゴリズム
	7	マルチメディア工学
	8	デジタルメディア設計

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 ネットワーク

[1] データリンク層において、CRC (Cyclic Redundancy Check)コードを用いてフレームの誤り検出について考えてみよう。生成多項式 (Generator Polynomial) が

$$G(x) = X^3 + X + 1$$

であるとする。11110000 というビット列のメッセージを送信するときの CRC コードを求めよ。

[2] IEEE 802.11 におけるアクセス制御を説明せよ。

[3] DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) の仕組みを説明せよ。ブロードキャストという用語を含めること。

[4] HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) がいかに HTTP と異なるか具体的なメッセージの交換を含めて説明せよ。

[5] LINE 等の SNS (Social Networking Service) において、送信者から受信者までにメッセージが届く仕組みを説明せよ。

2 ロボット工学

【問題 1】任意の回転変換 R が

$$R = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & 0 \\ n_y & o_y & a_y & 0 \\ n_z & o_z & a_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

と与えられたとき、これに等価な回転軸 k_r および回転角 θ を求めることができる。いま、回転変換 R と式(2)に示す単位ベクトル $k_r = [k_x, k_y, k_z]^T$ のまわりの回転角 θ の回転変換 $\text{Rot}(k_r, \theta)$ が等しいと
 おいて、回転軸 k_r と回転角 θ の計算式を導出しなさい。ここで、 $\text{vers}\theta = 1 - \cos\theta$ である。

$$\text{Rot}(k_r, \theta) = \begin{bmatrix} k_x k_x \text{vers}\theta + \cos\theta & k_y k_x \text{vers}\theta - k_z \sin\theta & k_z k_x \text{vers}\theta + k_y \sin\theta & 0 \\ k_x k_y \text{vers}\theta + k_z \sin\theta & k_y k_y \text{vers}\theta + \cos\theta & k_z k_y \text{vers}\theta - k_x \sin\theta & 0 \\ k_x k_z \text{vers}\theta - k_y \sin\theta & k_y k_z \text{vers}\theta + k_x \sin\theta & k_z k_z \text{vers}\theta + \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

【問題 2】図 1 はスタンフォード・マニピュレータの 3 次元モデルを表わしている。この 3 次元
 モデルは複数の剛体の組み合わせから構成されている。剛体間の相対位置・相対姿勢を指定する
 方法を、同次変換行列を用いて詳しく説明しなさい。

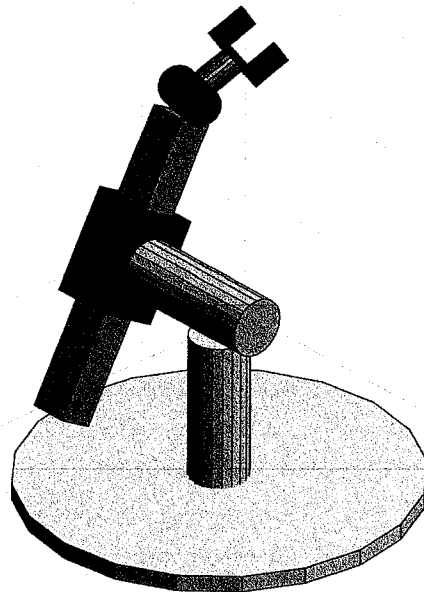


図 1 スタンフォード・マニピュレータの 3 次元モデル

3

ヒューマンインタフェース

1. 以下の文章の空欄に該当する内容を解答用紙に記述せよ。

一般に OS (Operating System) を制御するために、CUI (Character User Interface) と呼ばれる文字の入出力を基準としたユーザインタフェースに対し、① では、コンピュータの画面を机上と見立てて表現する ② メタファにより設計される。現在広く用いられる①上で動作するソフトウェアにおいて、Microsoft の Word では、画面上に表示されたそのものが印刷されるという考え方である ③ を基本としている。また①を構成する要素としては ④ , ⑤ , 選択用メニュー、マウスポインタが挙げられ、それぞれの頭文字を取って ⑥ インタフェースと呼ばれている。一方、マウスポインタをマウスによって動かしてターゲットをポイントするタスクにおいて、そのポイントする時間 T は

$$T = a + b \log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right)$$

T ターゲットまでポインタを動かすのにかかる時間
 D ターゲットまでの距離
 W ターゲットの短辺の長さ
 a スタート、ストップにかかる時間
 b ポインティングデバイスの移動速度に関する量

で表されることが知られており、これを「⑦ の法則」と呼ぶ。

2. (1) 問 1 の⑦の法則について考える。マウスを用いて画面上のアイコンをポイントするタスクを想定する。96 ピクセル離れた所にある半径 16 ピクセルの円形ボタン A をポイントするのに要する時間と、168 ピクセル離れたところにある 30 ピクセル×24 ピクセルの矩形ボタン B をポイントするまでに要する時間を問 1 の⑦の法則を用いて予測し、どちらの方が速くポイントできるか示せ。ただし、アイコンは画面の辺や隅にはないものと仮定し、 $a=60$ (ms), $b=90$ (ms/bit) とする。途中の計算過程も書くこと。
- (2) ボタン B を 210px 離れた位置に移動させる。元の移動時間を維持するために必要な短辺の幅を求めよ。
3. コミュニケーションにおける視線の役割について知ることを述べよ。
4. 日常生活の経験をコンピュータの使い方に適用しようとする NUI (Natural User Interface) が普及しつつある。このうち、音声を使ったユーザインタフェースについて、利点と欠点を述べよ。

4 数値計算法

行列の固有値問題について、次の設問に答えなさい。

- (1) 行列 \mathbf{A} の固有値を λ , 対応する固有ベクトルを \mathbf{x} とすると, 正則行列 \mathbf{M} による \mathbf{A} の相似変換 \mathbf{MAM}^{-1} および $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{AM}$ の固有値は λ であり, 対応する固有ベクトルはそれぞれ $\mathbf{M}\mathbf{x}, \mathbf{M}^{-1}\mathbf{x}$ であることを証明せよ. ただし, \mathbf{M}^{-1} は \mathbf{M} の逆行列であり, $\mathbf{x} = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{y}$ という変形を用いてよい.
- (2) 設問(1)において, \mathbf{M} が直交行列であれば \mathbf{MAM}^T および $\mathbf{M}^T\mathbf{AM}$ の固有値は λ であり, 対応する固有ベクトルはそれぞれ $\mathbf{M}\mathbf{x}, \mathbf{M}^T\mathbf{x}$ であることを証明せよ. ただし, \mathbf{M}^T は \mathbf{M} の転置行列である.
- (3) 行列 $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 1 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}$ である場合の固有値 λ と固有ベクトル \mathbf{x} とを求めるための特性方程式を λ の方程式として示せ.
- (4) 設問(3)で求めた特性方程式を解き λ ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ の3個) を求めよ. ただし $|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq |\lambda_3|$ となるよう並べること. 次に固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ に対応する固有ベクトル $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3$ を求めよ.

5 ソフトウェア設計

1. ソフトウェア開発工程に関する次の設問に答えなさい。
 - 1.1 ソフトウェア開発工程における「ソフトウェア設計」について、ウォーターフォールモデルにおけるその位置付けとあわせて説明せよ。
 - 1.2 ソフトウェア開発工程における「要求分析」について、ウォーターフォールモデルにおけるその位置付けとあわせて説明せよ。
 - 1.3 ソフトウェア開発工程における「要件定義」について、ウォーターフォールモデルにおけるその位置付けとあわせて、「機能要件」と「非機能要件」を用いて説明せよ。
2. 構造化分析に関する次の設問に答えなさい。
 - 2.1 構造化分析について、「データフロー図」、「データ辞書」、「ミニ仕様書」を用いて説明せよ。
 - 2.2 構造化分析における「データフロー図」と「データ辞書」の「階層性」について、具体例を挙げて説明せよ。
3. オブジェクト指向分析設計に関する次の設問に答えなさい。
 - 3.1 オブジェクト指向分析設計におけるクラスとオブジェクトについて、「書籍」クラスを例に挙げて説明せよ。
 - 3.2 「書籍」クラスと「著者」クラスを対象に、UML (Unified Modeling Language) のクラス図における関連と多重度について説明せよ。
 - 3.3 設問 3.1 と設問 3.2 を元に、UML のクラス図とオブジェクト図を作成せよ。ただし、「書籍」クラスおよび「著者」クラスのオブジェクトは一つずつ作成し、各オブジェクトには属性名と属性値の組を二つ以上記述すること。

6 データ構造とアルゴリズム

6.1 分割統治法のアルゴリズムを一つ選び、明記の上その仕組みや動作を 200 字以上で説明しなさい。(できるだけ多く書けるアルゴリズムを選ぶこと。40 点)

6.2 動的計画法のアルゴリズムを一つ選び、明記の上その仕組みや動作を 200 字以上で説明しなさい。(できるだけ多く書けるアルゴリズムを選ぶこと。40 点)

6.3 分割統治法と動的計画法のアルゴリズムとそのアルゴリズムで解ける問題の共通点と相違点について論じなさい。(20 点)

7 マルティメディア工学

A. マルティメディアの概要と特性について

A-1. 時系列連続情報を 2 つ記述せよ。

A-2. テキスト記録ファイル形式において、オープン形式とクローズ形式をそれぞれ 2 つ記述せよ。

A-3. データストリームの 3 つの伝達モードを定義せよ。

A-4. 連続メディアストリームのデータ間隔の特徴 3 つと、データサイズの特徴 3 つを記述せよ。

A-5. Medium を分類する観点 4 つ記述せよ (英語・日本語どちらも可)。

B. 信号処理について

B-1. 最大周波数 $F_{MAX}=60\text{Hz}$ の信号を、 $F_s=100\text{Hz}$ でサンプリングした場合、シャノンのサンプリングの定理で定めている条件が守られているかどうかと、その理由を述べよ。

B-2. サンプリング周波数 $F_s=25\text{KHz}$ の場合のサンプリング周期 T を求めよ。

B-3. 信号処理のフィルタリングにおいて、FIR および IIR は何の略かを英語で解答せよ。

B-4. 1 から 4 ボルトのアナログ入力信号を 4 ビットの A/D 変換機を通す際、次の 4 項目を算出せよ: 量子化レベル数「L」、量子化器のステップサイズ「 Δ 」、2.08 ボルトの入力に対する量子化レベル「 x_q 」と、A/D 変換機が出力するバイナリーコード「B」。

B-5. 信号 x の正規化結果である x' の算出式を、(a) 平均が 0 と分散が 1 になるように、(b) [0~1] の範囲に収まるようにそれぞれ記述せよ。

B-6. 全体のサンプル数が“L”の入力信号に対して、“N”のフレームサイズと“m”のシフトサイズで処理する際の 出力信号のデータ数 L_E の算出式を定義せよ。

B-7. 下記時系列データに対して、窓サイズ 3、シフトサイズ 1、矩形窓とした際の 移動平均フィルタと、メディアンフィルタをかけた際のそれぞれの出力を求めよ。

入力 →

1	3	5	4	3	2	7	9	8	4	3	2	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

8 デジタルメディア設計

問1 二次元平面内のベジエ曲線に関する以下の問に答えよ。なお、以下では $0 \leq t \leq 1$ である。答えだけでなく計算や証明の過程も記すこと。

(a) 一次のベジエ曲線は二つの制御点 $P_0, P_1 \in \mathbb{R}^2$ で指定でき、パラメータ t に対応する点 $C_{\{P_0, P_1\}}^1(t) \in \mathbb{R}^2$ は、 P_0 と P_1 を $t:(1-t)$ に内分する点である。 P_0, P_1, t を用いて $C_{\{P_0, P_1\}}^1(t)$ を表す式を書け。

(b) 二次のベジエ曲線は三つの制御点 $P_0, P_1, P_2 \in \mathbb{R}^2$ で指定でき、パラメータ t に対応する点 $C_{\{P_0, P_1, P_2\}}^2(t) \in \mathbb{R}^2$ を求めるには、まず、 P_0 と P_1 を制御点とする一次のベジエ曲線 $C_{\{P_0, P_1\}}^1(t)$ における t での点 $P_{01}(t)$ を求め、同様に、 P_1 と P_2 を制御点とする一次のベジエ曲線 $C_{\{P_1, P_2\}}^1(t)$ における t での点 $P_{12}(t)$ を求める。続いて、 $P_{01}(t)$ と $P_{12}(t)$ を制御点とする一次のベジエ曲線 $C_{\{P_{01}(t), P_{12}(t)\}}^1(t)$ における t での点が $C_{\{P_0, P_1, P_2\}}^2(t)$ となる。 P_0, P_1, P_2, t を用いて $C_{\{P_0, P_1, P_2\}}^2(t)$ を表す式を導け。ただし、答えは $f(t)P_0 + g(t)P_1 + h(t)P_2$ の形に書き、 $f(t), g(t), h(t)$ の部分に相当する t の多項式を答えよ。

(c) 一般に、 n を正の整数とする時、 n 次のベジエ曲線 $C_{\{P_0, P_1, \dots, P_n\}}^n(t)$ は、

$$C_{\{P_0, P_1, \dots, P_n\}}^n(t) = (1-t)C_{\{P_0, P_1, \dots, P_{n-1}\}}^{n-1}(t) + tC_{\{P_1, P_2, \dots, P_n\}}^{n-1}(t) \quad (1)$$

と帰納的に表すことができる。ただし、 $C_{\{P\}}^0(t) = P$ と定める。一方で、 n 次のベジエ曲線 $C_{\{P_0, P_1, \dots, P_n\}}^n(t)$ は、バーンスタイン多項式 $B_k^n(t) = {}_n C_k t^k (1-t)^{n-k}$ を利用して

$$C_{\{P_0, P_1, \dots, P_n\}}^n(t) = \sum_{k=0}^n B_k^n(t) P_k \quad (2)$$

とも表せる。数学的帰納法により、式(1)を利用して(2)と表現できることを示せ。

(d) バーンスタイン多項式が有する「1 の分割 (partition of unity)」の性質を説明するとともに、その性質が確かに成立することを、数式を用いて示せ。また、この 1 の分割の性質が、ベジエ曲線がアフィン不変性を有する上で重要である理由を説明せよ。

問2 モンテカルロ積分に関する以下の問に答えよ。答えだけでなく計算や証明の過程も記すこと。

- (a) 積分範囲 $\Omega \subset \mathbb{R}$ において、関数 $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ の定積分 $I = \int_{\Omega} f(x)dx$ を実行したいとする。この時、確率密度関数 $p(x)$ で、 $f(x) \neq 0$ の時 $p(x) > 0$ となるものを任意に選び、 $I_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{f(x_i)}{p(x_i)}$ としてモンテカルロ推定を構成する。ただし、 N は正の整数であり、 X_i は $p(x)$ に従ってサンプリングされた乱数であり、 X_i 同士は独立とする。こうして推定される値 I_N は、求めたかった定積分 I の良い近似を与え、このように乱数を利用して定積分を計算する方法をモンテカルロ積分と呼ぶ。 I_N の期待値を求めよ。また、 $\frac{f(x)}{p(x)}$ の分散を $V_{f/p}$ とする時、 I_N の分散を求めよ。その結果をもとに、モンテカルロ推定の計算効率を上げるためにできる工夫を論じるとともに、このようにモンテカルロ積分を構成できる理由を、積分と期待値との対応を利用して説明せよ。
- (b) 確率密度関数 $p(x)$ に従って乱数をサンプリングする方法の一つに逆関数法がある。逆関数法では、まず $p(x)$ の累積分布関数 $F(x)$ を求め、続いて $[0,1]$ 間の一様乱数 ξ を生成し、 $x = F^{-1}(\xi)$ として乱数 x を得る。 $[0, \frac{\pi}{2}]$ 以外で 0 の値をとり、 $[0, \frac{\pi}{2}]$ の範囲で $g(x) = \sin(x) \cos^k(x)$ に比例する確率密度 $p(x)$ を求めよ。ただし、 $k \geq 1$ とする。上記の逆関数法に基づいてこの確率密度 $p(x)$ に従って ξ から x を生成する式を具体的に求めよ。

2026 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

マネジメントテクノロジーコース

「専門科目」
問題・解答冊子

受験番号：	氏名：
-------	-----

[注意事項]

1. 志願したコースの問題・解答冊子であることを確認すること。
2. 本問題・解答冊子は表紙を含めて全10枚である。
3. 問題・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. 3つの専門分野 **分析技術**、**モデル化技術**、**最適化技術**、の中から、希望する専門分野を含む2分野を選択すること。所属を希望する研究室の分野に◎をつけ、それ以外で回答する分野に○をつけなさい。◎、○をつけた各分野から2問ずつ回答すること。また、選択した合計4問の問題(各頁左上の【問題 X】)に○を付けること。

分析技術 (), モデル化技術 (), 最適化技術 ()

5. 選択する3つの専門分野は、いずれも問題用紙の左上に明示してあるので確認すること。各分野の問題は、以下のページにある。

分析技術	1-3	モデル化技術	4-6	最適化技術	7-9
------	-----	--------	-----	-------	-----

6. 電卓の持ち込みは不可とする。
7. 解答・問題冊子は全て回収するので、綴じたままにしておくこと。
8. 解答スペースが不足した場合は、裏面を使用して良い。

専門分野	分析技術
------	------

分析技術を選択した場合は、問題 1，問題 2，問題 3 のうち 2 問に解答せよ。

【問題 1】

以下の問 (I) ~ (III) すべてに解答せよ。

(I) 以下の小問それぞれに解答せよ。

(I-1) 離散型確率変数 X について、次の等式が成り立つことを証明せよ。

$$V[X] = E[X^2] - (E[X])^2$$

ただし、 X の平均を μ とすること。

(I-2) ポアソン分布に従う確率変数 $X \sim Po(4)$ がある。このときにおける $E[X^2]$ の値を求めよ。

(I-3) 二項分布に従う確率変数 $Y \sim B(10, 0.4)$ がある。このときにおける $E[Y(Y-1)]$ の値を求めよ。

(II) 大きさ n の標本における標本分散を S^2 ，不偏分散を U^2 とする。このとき、 $S^2 \geq 0.95U^2$ となるようにするために必要な標本サイズ n はどのように設定すればよいかを答えよ。

(III) 以下の小問それぞれに解答せよ。必要に応じて数式や図表を用いてもかまわない。

(III-1) 統計的仮説検定における p 値の意味を説明せよ。

(III-2) 統計的仮説検定における第 1 種の誤りと第 2 種の誤りを説明せよ。

専門分野	分析技術
------	------

分析技術を選択した場合は、問題 1，問題 2，問題 3 のうち 2 問に解答せよ。

【問題 2】

- (1) ある母集団から 5 名の学生の数学と理科のテストの点数を観測した。そのテストの点数を表 1 に示す。このテストの点数に基づき、数学のテストの点数から理科のテストの点数を予測したい。数学のテストの点数 x から理科のテスト y を求める回帰直線を $y = ax + b$ を生成するため、回帰係数 a, b を求めよ (割り切れない場合は、小数点以下第 3 位まで求めよ)。ただし、回帰係数 a, b を求めるための公式も記載すること。

表 1

数学	理科
26	5
58	59
57	45
6	9
68	97

- (2) 2 変数間の相関関係を調べるピアソンの相関係数の求め方を記載せよ。ピアソンの相関係数には以下の三つの特徴がある。各特徴を証明せよ。
1. ピアソンの相関係数はスケール変換に対して不変である。
 2. ピアソンの相関係数は -1 から $+1$ の値をとる。
 3. ピアソンの相関係数の値が $+1$ または -1 の場合、全てのデータは一つの線上にある。

表 2

- (3) ある母集団から男性女性の身長と体重に関するデータ点を観測した。そのデータ点を表 2 に示す。二変数におけるマハラノビスの距離の二乗を求める式を記載せよ。身長 172cm, 65kg の人は男性女性のどちらに分類されるかを表の観測データからマハラノビス距離の二乗を計算して推定せよ (割り切れない場合は、小数点以下第三位まで求めよ)。

性別	身長(cm)	体重(kg)
男性	173	75
男性	173	79
男性	167	75
男性	157	77
男性	160	74
女性	162	57
女性	160	61
女性	166	49
女性	168	45
女性	159	58

専門分野	分析技術
------	------

分析技術を選択した場合は、問題1, 問題2, 問題3のうち2問に解答せよ。

【問題3】

(1) 変数 X , Y , Z の観測値からなるデータが、以下の行列 A によって表されている。行列 A の第1列は変数 X , 第2列は Y , 第3列は Z の観測値である。このデータの相関行列を求めよ。解答が小数となる場合は、小数点第4位を四捨五入し、小数第3位まで記すこと。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -0.1 \\ 3 & 4 & -0.3 \\ 5 & 3 & -0.5 \\ 9 & 5 & -0.9 \\ 12 & 7 & -1.2 \end{pmatrix}$$

(2) 主成分負荷量とは何かを説明し、それが主成分分析の結果の解釈にどう役立つかを述べよ。

(3) 階層的クラスター分析を行う際に、変数の標準化が推奨される理由を述べよ。

専門分野	モデル化技術
-------------	--------

モデル化技術を選択した場合は、問題4，問題5，問題6のうち2問に解答せよ。

【問題4】

(1) 減価償却法の定額法と定率法について、以下の記号を用いて、 t 期の減価償却費の計

算方法を定式化しなさい。またそれぞれの方法の特徴と違いを説明しなさい。

D_t : t 期の減価償却費, C : 取得コスト, B_t : t 期末簿価, S : 残存価額, U : 耐用年数,
 r : 償却率 *他の記号が必要であれば定義して用いること

(2) X社は、運営中のWebサイトの売却計画として、排反的なA案とB案を検討している。各案は、追加投資額によって、1年度の売却金額が変化する。

	現時点のキャッシュフロー	1年後のキャッシュフロー
A案	-\$200,000 (追加投資額)	\$330,000 (売却金額)
B案	-\$250,000 (追加投資額)	\$400,000 (売却金額)

1) 各案の内部収益率 (IRR) を求めよ。ハードルレートが20%のときの採用案を意思決定せよ。IRRは、小数点以下を四捨五入して、整数値をもとめよ。

A案のIRR _____ (%)

B案のIRR _____ (%)

(A案 B案) を採用する

投資判断を行うときに、「内部収益率 (IRR) 法」と「正味現在価値 (NPV) 法」のどちらを使うかによって、結論が異なる場合がある。この2つの方法が、どのような点で異なる結果や意思決定を導く可能性があるのか、具体的に説明しなさい。

専門分野	モデル化技術
------	--------

モデル化技術を選択した場合は、問題 4, 問題 5, 問題 6 のうち 2 問に解答せよ。

【問題 5】

t を連続時間, システムへの入力を $x(t)$, 出力を $y(t)$ としたとき, あるシステムの入出力の関係は以下の微分方程式で与えられるとする。

$$\frac{dy(t)}{dt} + 10y(t) = 5 \frac{dx(t)}{dt}$$

与システムについて, 以下の(1), (2), (3)に解答せよ。必要な変数は適宜定義して用いること。

- (1) 与システムの伝達関数 $G(s)$ を求めよ。ただし, $x(t)$ の初期値 $x(0)$ および $y(t)$ の初期値 $y(0)$ は, それぞれ $x(0)=0$, $y(0)=0$ とする。
- (2) 与システムに $x(t) = e^{-5t}$ を入力したとき, システムからの出力 $y(t)$ を求めよ。
- (3) 与システムの安定性について, 極配置の観点から説明せよ。

専門分野	モデル化技術
------	--------

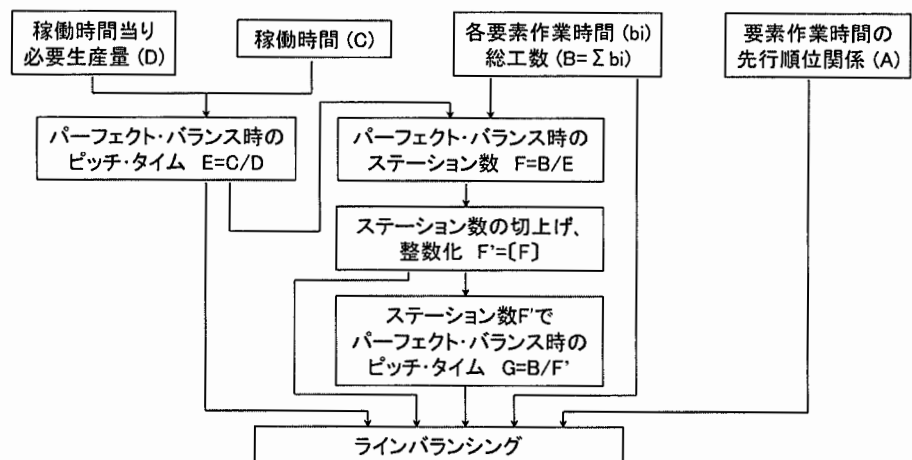
モデル化技術を選択した場合は，問題 4，問題 5，問題 6 のうち 2 問に解答せよ。

【問題 6】

次の 2 つの設問に答えなさい。

(1) 工程設計におけるラインバランシングのバランスロス率の定義を示し、ラインバランシングの方法について述べよ。

(2) 1 個を組立てるための総工数 450 D.M.の製品を 1 日 7 時間稼働で 400 個生産する場合のラインバランシングを考える。この場合のパーフェクト・バランシング時における最小となる工程数とピッチタイムを右下の手順を参考にして求めなさい。



専門分野	最適化技術
------	-------

最適化技術を選択した場合は、問題7、問題8、問題9のうち2問に解答せよ。

【問題7】

次の線形計画問題Pについて、単体法を用いて最適解を求めよ。ただし、最小添字規則を用いよ。また、得られた最適解のみでなく、単体法の実行過程も詳細に記述すること。さらに、問題Pの双対問題Dを定めるとともにその最適解を求め、Pの最適解とDの最適解が相補スラック条件を満たすことを確かめよ。ただし、Dの最適解を求める過程も詳細に記述すること。

$$\begin{array}{ll} \text{最大化} & 30x_1 + 42x_2 \\ & 2x_1 + 7x_2 \leq 40 \quad (1) \\ & 4x_1 + 4x_2 \leq 60 \quad (2) \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \quad (3) \end{array}$$

専門分野	最適化技術
------	-------

最適化技術を選択した場合は、問題 7，問題 8，問題 9 のうち 2 問に解答せよ。

【問題 8】

(ナップサック問題)

泥棒がお店に盗みに入り、持っているナップサック (袋) に物品を入れて持ち出したい。ただし、ナップサックに入れる物品の総重量には上限がある。そこで、ナップサックに入れる物品を選択して、持ち出す物品の合計価値が最大になるようにしたい。

問 1. お店には物品が 5 つあり、それぞれの価値と重さは以下の通りである。

	物品 1	物品 2	物品 3	物品 4	物品 5
価値 (万円)	7	4	10	9	2
重さ (kg)	4	3	5	3	5

また、ナップサックに入れる物品の総重量の上限は 10 kg である。この場合、持ち出す物品の合計価値の最大値を答えること。

合計価値の最大値 = _____

問 2. 上記の 5 つの物品に加え、お店に新たに物品 2 つが追加され、それぞれの価値と重さは以下の通りである。

	物品 6	物品 7
価値 (万円)	8	2
重さ (kg)	4	1

また、ナップサックに入れる物品の総重量の上限は 15 kg である。この場合、持ち出す物品の合計価値の最大値を答えること。

合計価値の最大値 = _____

専門分野	最適化技術
------	-------

最適化技術を選択した場合は、問題7，問題8，問題9のうち2問に解答せよ。

【問題9】

下表に示す4ジョブを1台の機械で加工する，単一機械スケジューリング問題を考える。

ジョブ番号 j	1	2	3	4
処理時間 p_j	100	90	60	150
重み w_j	2	1	3	5

- (1) ジョブを $\sigma = (1, 2, 3, 4)$ の順に処理するスケジュールを考える。このスケジュールの重み付き完了時刻和 (Total weighted completion times) を計算せよ。
- (2) 重み付き完了時刻和を最小にするスケジュールは，WSPTルールによって得られることが知られている。WSPTルールの手順を簡潔に説明せよ。
- (3) WSPTルールが重み付き完了時刻和を最小にすることを示せ。
- (4) このルールを上の問題に適用し，重み付き完了時刻和を最小にするスケジュールを求めよ。得られたスケジュールをガントチャートで表し，目的関数の値を明記すること。