

北海道大学大学院情報科学院  
情報科学専攻生体情報工学コース入学試験

2021 年 8 月 19 日 13:00～15:00

## 専門科目 2

### 受験上の注意

- 「解答始め」の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけない。
- 受験中、机上には、受験票、鉛筆(黒)、シャープペンシル(黒)、消しゴム、鉛筆削り、眼鏡、時計(計時機能のみのもの)以外の所持品は置くことができない。ただし、監督者が別に指示した場合は、この限りではない。
- 携帯電話等の電子機器類は、必ずアラームの設定を解除し電源を切っておくこと。
- 問題冊子1冊(この冊子)、答案用紙2枚、草案紙2枚、選択問題チェック票1枚の配布を確認すること。問題冊子と草案紙は回収しない。
- 問題Ⅱ～Ⅴのうち2問を選択し、答案用紙に問題番号と受験番号を記入の上、解答すること。選択問題チェック票にも、受験番号と問題番号を記入して提出すること。
- 2ページにわたる問題もあるので、注意すること。
- 答案用紙の裏面を使用する場合は、表面右下に「裏面に続く」と明記すること。
- 導出過程も略さず記すこと。

1. 長さ $L$ 、質量 $M$ 、太さを無視できる線密度 $\rho$ の一様な棒を、図1のように鉛直と角度 $\theta_0$ をなすように壁に立て掛けて静かに放したところ、棒は壁に接したまま落下し、その後壁から離れて落下を続け、床に衝突した。ここで、落下中の棒と鉛直方向がなす角度を $\theta$ と定義する。棒は平面内（紙面内）で運動し、棒の両端・壁・床の表面は滑らかで摩擦がなく、床は水平であり、壁は鉛直方向に立っているとして、以下の設問に答えよ。ただし、水平方向に  $x$  軸を、鉛直方向に  $y$  軸をとり、重力加速度を  $g$  とする。

- (1) 棒の重心を通り棒に垂直な軸に関する慣性モーメント  $I$  は、 $ML^2/12$  で与えられることを導け。
- (2) 棒が壁に接触しているときの運動エネルギー及び位置エネルギーを、 $M$ 、 $g$ 、 $L$ 、 $\theta$ 、 $\dot{\theta}$ 、 $\theta_0$  のいずれかを用いて求めよ。ただし、初期状態の位置エネルギーをゼロとする。また、角速度を  $\dot{\theta}$  と定義する。
- (3) 設問(2)のときの角速度  $\dot{\theta}$  を、 $g$ 、 $L$ 、 $\theta$ 、 $\theta_0$  を用いて求めよ。
- (4) 設問(2)のときの壁からの垂直抗力  $R$  を、 $x$  方向の運動方程式から求めよ。ただし、 $M$ 、 $g$ 、 $\theta$ 、 $\theta_0$  を用いること。
- (5) 棒が壁から離れる瞬間の角度  $\theta$  を、 $\theta_0$  を用いて求めよ。

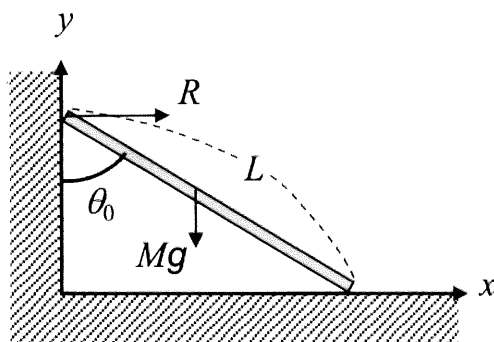


図 1

(裏面に続く)

2. 図 2(a)に示すように、3 本の弾性棒を  $x$  軸上に等間隔  $l$  で並べ、それらの先端に質量  $M$  の質点を 1 つずつ取り付け、質点同士をバネ定数  $k_1$ 、自然長  $l$  のバネでつないだ。質点は微小振動しているとし、 $x$  軸方向のみの変位を考慮する。また、弾性棒とバネの質量は無視できるとし、図 2(b)のように弾性棒は  $x$  軸方向にのみたわみ、弾性棒には比例定数  $k_2$  で質点の変位に比例する復元力が働くとする。ただし、弾性棒は水平な床の上に鉛直方向に立てられて固定されており、3 つの質点と弾性棒は同一平面内（紙面内）に配置されているとして、以下の設問に答えよ。

- (1) 静止状態の位置からの質点の変位をそれぞれ  $x_1, x_2, x_3$  とし、各質点に関する運動方程式を立てよ。
- (2) この系では、3 つの規準振動（固有振動）が現れる。その角振動数  $\omega$  ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ) を、運動方程式に  $x_m = A_m \exp(i\omega t)$  ( $m = 1, 2, 3$ ) を代入して求めよ。ただし、 $0 < \omega_1 < \omega_2 < \omega_3$  とし、 $A_m$  は振幅、 $t$  は時間を表し、 $i$  は虚数単位である。
- (3) 各質点の振動の一般解は、3 つの規準振動の重ね合わせで表される。各質点の変位を時間  $t$  の関数として記述せよ。ただし、各規準振動に対する振幅を  $X_n$ 、位相定数を  $\phi_n$  ( $n = 1, 2, 3$ ) とする。

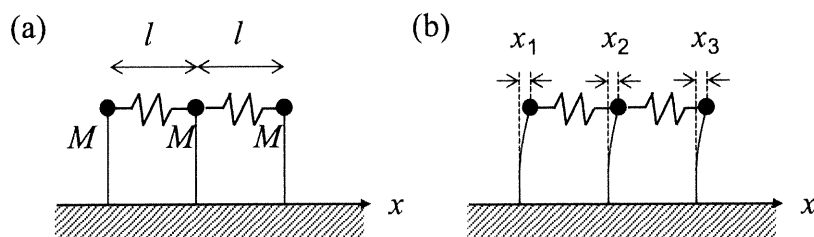


図 2

1. 一辺  $2a$  の一対の正方形電極板を間隔  $d$  で平行においた真空中のコンデンサ(キャパシタ)を考える. 電極板間には起電力  $V$  の電池が接続されており, はじめに電極板の間は, 電極間の隙と同じ大きさの誘電体(誘電率  $\epsilon$ )で満たされていた. 次に, 図 1 に示す様に電極板間の誘電体に外力  $F$  を加えて(右向きを正), 誘電体を電極板の辺にそってゆっくりと移動させた. ここで,  $x$  は電極板の一辺から誘電体の端までの距離とし, 右向きを正とする. また, 各電極板に蓄えられている電荷(電気量)を  $+Q$  と  $-Q$  とする. 以下の設問に答えよ. ただし, 摩擦や重力の影響, コンデンサの端の効果は無視し, 真空の誘電率を  $\epsilon_0$  として( $\epsilon_0 < \epsilon$ ), 国際単位系(SI)で解答すること.

- (1) コンデンサの静電容量を,  $x$  の関数として求めよ.
- (2) コンデンサの静電エネルギーを,  $x$  の関数として求めよ.
- (3)  $Q$  を,  $x$  の関数として求めよ.
- (4)  $x = a$  のときの外力  $F$  を求めよ.
- (5) 誘電体の  $x = 0$  から  $x = a$  までの移動において, 外力のなす仕事を求めよ.

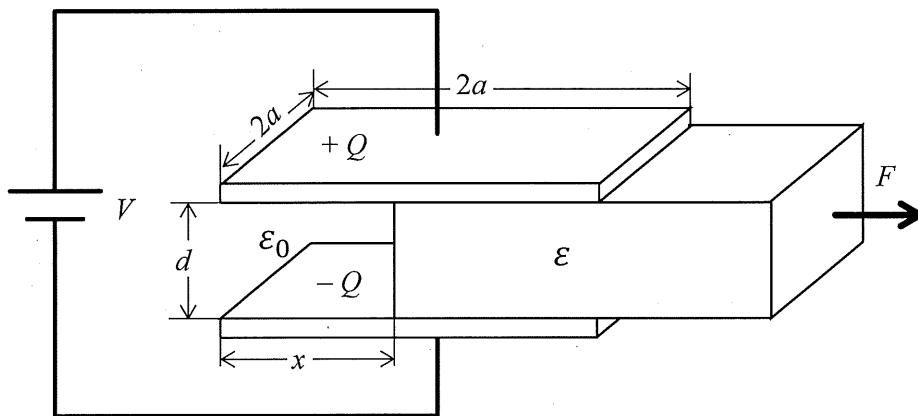


図 1

2. (ア) から (キ) にふさわしい数式(演算子等を含む)を答えよ. 国際単位系(SI)で解答すること. また, 摩擦や重力の影響は考えない. なお, 解答においてベクトルを表す場合には  $\vec{A}$  のように矢印を付記し, そのスカラー量を  $A$  と記述すること.

- (1) 図2に示すように, コの字に曲げた導線 abcd に直線状導線を渡した長方形回路 gbcf が紙面内におかれている. bc の長さを  $l$  とする. また, 紙面の裏から表に向いた一様な磁界(磁束密度  $\vec{B}$ ) が存在している. 直線状導線を, 辺 bc に対して平行に保ったまま, 直線状導線に垂直右方向に速度  $\vec{v}$  で移動させる. fg の bc からの距離を  $x$  (右方向を正) とし, 導線の直径, 質量は無視する. また, 時刻を  $t$  とする.

長方形回路 gbcf に対する鎖交磁束  $\Phi$  は, 面 gbcf の面素ベクトルを磁束密度  $\vec{B}$  と同じ向きとすると,

$$\Phi = \text{(ア)} x \quad (\text{i})$$

で与えられる. よって, 長方形回路 gbcf に生じる起電力  $V_{\text{gbcf}}$  は,

$$V_{\text{gbcf}} = \text{(イ)} \Phi = \text{(ウ)} \quad (\text{ii})$$

となる.

次に, 直線状導線において, f から距離  $y$  の位置(fを原点とした位置ベクトルを  $\vec{y}$  とする) の電子(電荷  $-e$ ) を考える. 直線状導線は右方向に速度  $\vec{v}$  で運動しているため, 導線内の電子は磁界によって  $\vec{y}$  方向の力  $\vec{F}$

$$\vec{F} = -e(\text{(エ)}) \quad (\text{iii})$$

を受ける. この力により直線状導線の fg に起電力  $V_{\text{fg}}$  が生じ, 式(iii)を用いて

$$V_{\text{fg}} = \int_0^l (\text{(エ)}) \cdot d\vec{y} \quad (\text{iv})$$

と表すことができる. 式(iv)は, 磁界中を導体が運動すれば起電力が生じることを表している.

- (2) 図3に示すように, 磁束密度  $\vec{B}$  の一様な磁界内で, 半径  $R$  の導体円板を, 磁界と平行な中心軸の周りに一定の角速度, すなわち角速度ベクトル  $\vec{\omega}$  で回転させる. 中心から  $\vec{r}$  の位置での速度  $\vec{v}$  は

$$\vec{v} = \text{(オ)} \quad (\text{v})$$

であり, 磁界中の導体の運動により生じる起電力  $V$  (円盤の中心の電位を 0 とした時に, 円盤の外周に現れる電位) は,

$$V = \int_0^R (\text{(カ)}) \cdot d\vec{r} = \text{(キ)} \quad (\text{vi})$$

で得られる.

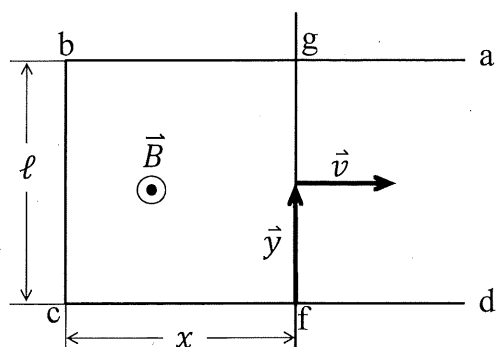


図 2

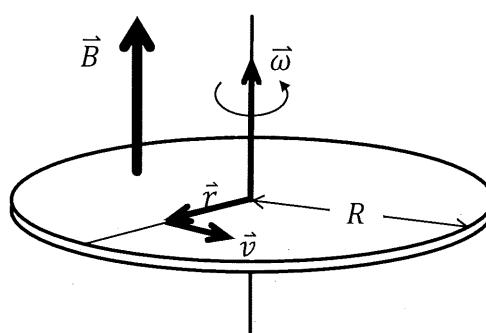


図 3

### 3 電気・電子回路

1. 図 1 のように、抵抗（抵抗値  $R$ ）、インダクタ（インダクタンス  $L$ ）、キャパシタ（キャパシタンス  $C$ ）および交流電圧源（電圧  $E$ 、角周波数  $\omega$ ）から構成される共振回路を考える。位相角は交流電圧源を基準とし、虚数単位は  $j$  とする。回路は定常状態にあるものとして、以下の設問に答えよ。

- (1) 端子対  $a$ - $a'$  から右側を見た複素インピーダンス  $Z$  を求めよ。ただし、 $L$ 、 $C$ 、 $R$ 、 $\omega$  を用いて表せ。
- (2) 電流  $I$  の実効値  $|I|$  を求めよ。ただし、 $L$ 、 $C$ 、 $R$ 、 $\omega$ 、 $E$  を用いて表せ。
- (3) 角周波数  $\omega$  を変化させたとき、共振角周波数  $\omega_r$  において  $|I|$  が最大値を示した。そのときの共振角周波数  $\omega_r$  を  $L$ 、 $C$  を用いて表せ。また、 $|I|$  の最大値を  $R$ 、 $E$  を用いて表せ。
- (4)  $|I|$  が最大値の  $1/\sqrt{2}$  倍になる角周波数  $\omega_1$  および  $\omega_2$  を求めよ。ここで、 $0 < \omega_1 < \omega_2$  とする。なお、解答では、 $R$  が小さいという近似を用いずに、 $L$ 、 $C$ 、 $R$  を用いて表すこと。

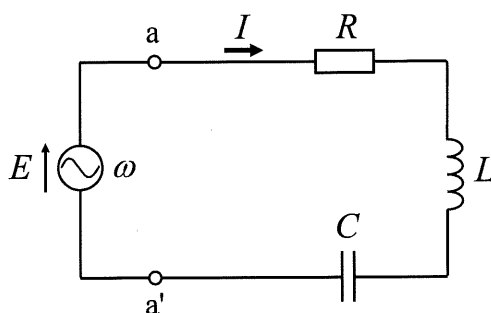


図 1

2. 図 2 のように、オペアンプ（OP）、抵抗（抵抗値  $R$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ ）、キャパシタ（キャパシタンス  $C$ ）から構成される発振回路を考える。図中各点における基準点からの電位を  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$  とし、信号の角周波数を  $\omega$  とし、虚数単位は  $j$  とする。オペアンプは理想的な特性を持ち、入力インピーダンスは十分に大きい。発振条件を導出するために、帰還ループは破線部分で仮想的に切断できると考えて、以下の設問に答えよ。

- (1) オペアンプが理想的特性を持つことを用いて、 $v_2$  を  $v_1$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  を用いて表せ。
- (2)  $v_3$  を  $v_2$ 、 $\omega$ 、 $C$ 、 $R$  を用いて表せ。
- (3) この回路が発振するためには、どのような条件を満たす必要があるか、30 字程度の文章で説明せよ。
- (4) この回路が発振しているとき、 $R_1$  および  $R_2$  が満たすべき条件を求めよ。
- (5) この回路の発振周波数  $f$  を  $C$ 、 $R$  を用いて表せ。

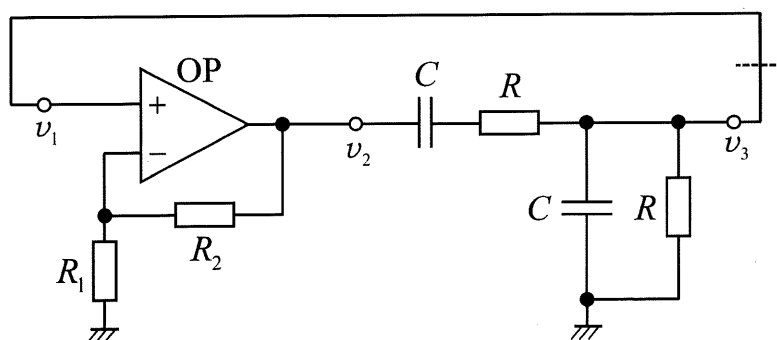


図 2

## 1. タンパク質に関する次の説明文について、下の設問に答えよ。

アミノ酸は、( ① ) 基と ( ② ) 基をもつ有機化合物であり、アミノ酸同士が ( ③ ) 結合により直鎖状に連結してタンパク質ができる。生体では、塩基配列によって規定される 20 種類のアミノ酸の重合により、生体を構成するタンパク質が作られる。基本的に ( ④ ) 構造をとる DNA とは異なり、どのようなアミノ酸がどのような順序で連結するかにより、多様な立体構造をとる。

タンパク質の立体構造は、基本構造である二次構造(A)が組み合わさり、三次構造が形作られる。三次構造においては、疎水性相互作用(B)、( ⑤ ) 結合、( ⑥ ) 結合といった非共有結合により、立体構造が形成される。また、タンパク質の中には、共有結合である ( ⑦ ) 結合による架橋によって、その構造が安定化されているものもある。タンパク質によってはさらに四次構造(C)をとる。

酵素タンパク質は、化学反応の活性化エネルギーを下げることで反応 ( ⑧ ) を増加させる。真核生物の酵素タンパク質では、アミノ酸残基(D)中の ( ⑨ ) 基がリン酸化されることで、その活性が調節されるものが多数知られている。これは細胞内の反応を制御する機構の 1 つである。

- (1) 空欄①～⑨に入る適切な語を答えよ。異なる語を入れること。なお、①と②、⑤と⑥の順序は問わない。
- (2) ③結合の構造式を書け。
- (3) 下線部(A)の二次構造について、主要な二次構造の名称を 2 つ答えよ。
- (4) 下線部(B)の疎水性相互作用とはどのようなものか、簡潔に説明せよ。
- (5) ⑦結合に関わるアミノ酸残基は何か。またこの結合をもつタンパク質の具体例を 1 つあげ、名前とその機能を簡潔に説明せよ。
- (6) 真核生物において、タンパク質の立体構造が正しく折りたたまれなかった場合、細胞内でどのように処理されうるか説明せよ。また、タンパク質のミスフォールディングが関連するヒトの疾患名を 1 つあげよ。
- (7) 下線部(C)の四次構造とは何か、簡潔に説明せよ。
- (8) 下線部(D)のリン酸化されるアミノ酸残基の例を 1 つあげよ。

## 2. ヒトにおけるグルコース代謝に関する以下の設問に答えよ。

- (1) ヘキソキナーゼの主な役割を述べよ。
- (2) ヘキソキナーゼには複数のアイソザイムが知られている。このうち肝臓で発現しているヘキソキナーゼⅣ（グルコキナーゼ）は、他の組織のヘキソキナーゼ（ⅠやⅡ）と比べてどのような特徴をもつか、「 $K_m$ （ミカエリス定数）」「グルコース濃度」の 2 語を含めて説明せよ。
- (3) 好氣的条件下では嫌氣的条件下に比べて、グルコース 1 分子あたり多くの ATP が合成されるが、どのような反応経路の違いで多くの ATP が合成されるのか、説明せよ。
- (4) 激しい運動の後、骨格筋に乳酸が蓄積した。乳酸の生成反応は骨格筋細胞にとってどのような意義があるのか、「補因子」「酸化還元反応」の 2 語を含めて説明せよ。また、この生成反応を触媒する酵素名を答えよ。
- (5) 絶食時に骨格筋のタンパク質はどのように使われうるか、グルコース代謝の観点から説明せよ。

1. 染色体DNAの構造変化に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 1 のようにタンデム重複配列 $R_1$ と $R_2$ （塩基配列は同一）を有する染色体Cについて考える。染色体Cを常染色体として持つ二倍体細胞の減数分裂過程で $R_1$ と $R_2$ の間の相同組換えによる不等交差（不等乗換え）が起きた場合、その細胞から生じる4つの配偶子それぞれが、 $R_1$ と $R_2$ に関してどのように異なる染色体Cを持つかを答えよ。

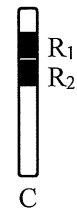


図 1

- (2) 塩基配列AAGACACTGAGCとその相補鎖からなる二本鎖DNAの下線領域が逆位となった場合の全長塩基配列を答えよ。
- (3) レトロトランスポゾンの転移過程を簡潔に説明せよ。
- (4) 点突然変異による塩基置換では、転位(transition)が転換(transversion)よりも多く観察される。その原因の一つであるシトシンの2段階の化学的変化の過程を説明せよ。

2. ヒトにおいて遺伝子 $d$ の変異のみが原因で発症する遺伝病Dに関する家系分析結果を図 2 に示している。この図に基づいて以下の設問に答えよ。ただし、新たな突然変異は生じず、個体1は保因者ではないとする。

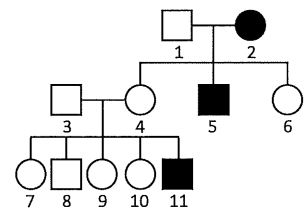


図 2

- (1) 遺伝子 $d$ は常染色体, X染色体, Y染色体のいずれに存在するかを推定せよ。推定根拠も述べること。
- (2) 個体3, 4, 7, 8それぞれについて、保因者である確率を答えよ。
- (3) 集団中の遺伝子 $d$ の総数に占める変異型の割合（対立遺伝子頻度）が常に $p$ であり、全個体が等確率で交配し、生存の確率が等しい場合、遺伝病Dを発症する個体の割合を男と女それぞれで推定せよ。

数字は個体識別番号、黒は遺伝病Dの発症を表し、保因者は明示していない。

3. 図3の60塩基対二本鎖DNAに関する以下の設問に答えよ。

-----1-----2-----3-----4-----5-----6  
 5' TGGTTATTAGGACCGGGAGGTCGACTGGCCCCAATTTTAGCTGTACTAACCGGCTAACCA 3'  
 3' ACCAATAATCCTGGCCCTCCAGCTGACCGGGGTAAAATCGACATGATTGGCCGATTGGT 5'

図 3

- (1) 平滑末端を生じるAluIという2型制限酵素でこのDNAを完全に消化した場合に生じるDNA分子全ての長さを塩基対単位で答えよ。ただし、AluIの認識配列は5' AGCT 3'である。
- (2) 6塩基長のプライマーを用いて全長をPCRで増幅する場合、適切な6塩基長プライマーの配列を答えよ。

(裏面に続く)



4. 転写・翻訳に関する以下の設問に答えよ。

- (1) タンパク質をコードする遺伝子を転写する真核細胞内酵素（以下、酵素Xとする）の名称を答えよ。
- (2) 酵素Xによる転写で合成されるRNA分子が翻訳されるまでの間に核内で受ける代表的修飾の名称を3つ答えよ。
- (3) 原核細胞において、1つのmRNA分子上の複数部位から異なるポリペプチドの翻訳を開始する場合がある。リボソームがそれらの異なる複数部位に直接結合することを可能にする翻訳開始の分子機構を簡潔に説明せよ。mRNAおよびリボソーム構成分子に存在する塩基配列上の特徴について言及すること。
- (4) 原核細胞において、翻訳されて生じるポリペプチドのN末端に存在するアミノ酸の名称を答えよ。