

大学院情報理工学研究科  
博士前期課程一般入試 入学試験問題  
(2019年8月16日実施)

【基盤理工学専攻】

専門科目

※注意事項

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子はこの注意事項を含めて23枚、解答用紙は4枚である。
3. 試験開始の合図の後、全ての解答用紙に受験番号を記入すること。
4. 選択科目記入シートに受験番号を記入すること。
5. 試験時間は180分である。
6. 科目は、選択群Ⅰの5科目（1「電気・電子回路」、2「光波動工学」、3「量子力学／統計力学」、4「無機・有機化学」、5「分子生物学／生物化学」）と選択群Ⅱの6科目（6「基礎数学」、7「力学」、8「電磁気学」、9「光・電子デバイス基礎」、10「物理化学」、11「細胞・神経生物学」）、合計11科目で構成されている。  
●全11科目のうちから4科目を選択して解答すること。ただし、選択群Ⅰから1科目以上を含めること。
7. 選択科目記入シートには、選択した4科目に○印を記入すること。
8. 選択科目記入シートは、試験終了後に必ず提出すること。
9. 解答用紙の問題の番号欄には、解答した問題の番号を記入すること。  
(採点は記入された番号についてのみ行う。誤記入、記入もれに注意すること。)
10. 解答は、問題ごとに別々の解答用紙（各問題ごとに1枚）を使用すること。  
必要なら裏面を使用してもよいが、その場合は表面下に「裏面へ続く」と記入すること。
11. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせること。
12. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ること。
13. 解答は英語でもよい。

問 題

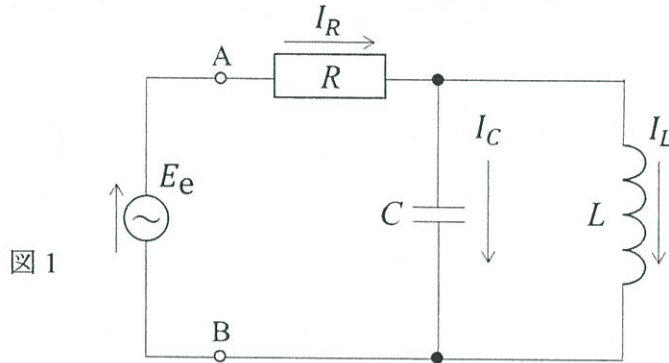
基盤理工学専攻

科目の番号

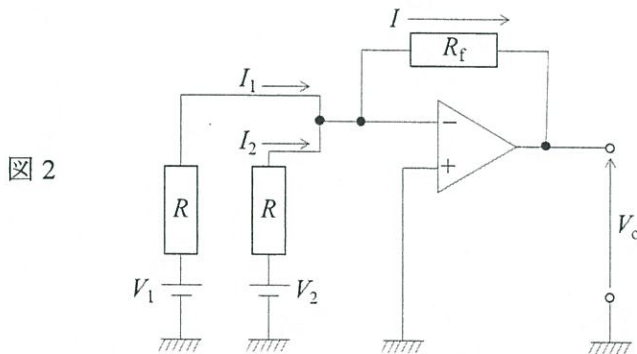
1

電気・電子回路

- (1) 図1のように、抵抗値  $R$  の抵抗、自己インダクタンス  $L$  のコイル、キャパシタンス  $C$  のコンデンサを、出力電圧  $E_e$  (実効値)、角周波数  $\omega$  の交流電圧源に接続した回路において、以下の問に答えよ。なお、電圧および電流は矢印の向きを正とする。
- (a) 端子 AB から右側の回路の合成複素インピーダンスを答えよ。
- (b)  $E_e=10\text{ V}$ 、 $\omega=10^3\text{ rad/s}$ 、 $R=4\ \Omega$ 、 $C=500\ \mu\text{F}$ 、 $L=6\text{ mH}$ の場合、抵抗に流れる電流  $I_R$  の実効値、および電源出力電圧に対する位相差を  $\alpha$  としたときの  $\tan\alpha$  の値を答えよ。
- (c)  $\omega$ 、 $E_e$ 、 $R$ 、 $L$ の値を(b)のままとして  $C$  を変化させたところ、抵抗を流れる電流が  $0\text{ A}$  となった。このときの  $C$  の値を求めよ。また、そのときにコンデンサ、コイルそれぞれに流れる電流  $I_C$  および  $I_L$  の実効値と電源出力電圧に対する位相差を答えよ。



- (2) 理想的な演算増幅器を使った図2のような回路がある。以下の問に答えよ。なお、電圧、電流は矢印の向きを正とする。
- (a) 理想的な演算増幅器とは、入力インピーダンス、出力インピーダンス、入力端子間電圧がそれぞれどのような値にあることを意味するか。
- (b)  $I_1$ 、 $I_2$ それぞれを、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $R$ で表せ。
- (c) 出力電圧  $V_o$  を  $I$  と  $R_f$  で表せ。
- (d)  $I$  を  $I_1$ 、 $I_2$  で表せ。
- (e) (b)~(d)の答より  $I$ 、 $I_1$ 、 $I_2$  を消去することで  $V_o$  を  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $R$ 、 $R_f$  で表せ。
- (f) (e)の答より、この回路の用途を答えよ。



(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

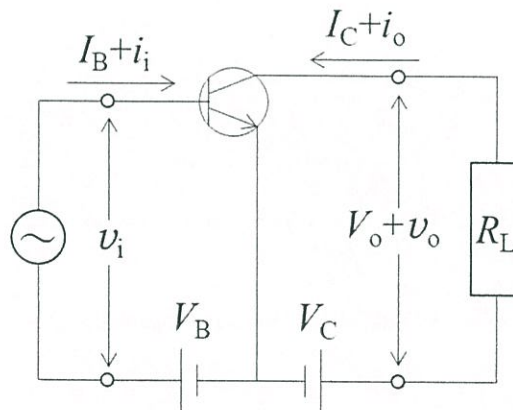
1

## 電気・電子回路

(前ページから続く)

- (3) A国製のある交流電気製品を出力電圧  $V_A$  のA国のコンセントで使用すると  $I_A$  の電流が供給される。この電気製品は  $V_A$  以外の電圧には対応していないため、出力電圧が  $V_B$  のB国のコンセントで使用するには、コンセントと電気製品の間に変圧器を挟む必要がある。変圧器が理想トランスから成るとして、以下を  $V_A, V_B, I_A$  を用いて表せ。
- (a) 理想トランスの1次側(コンセント側), 2次側(電気製品接続側)の巻線数をそれぞれ  $N_1, N_2$  としたときの巻線数比  $N_2/N_1$
- (b) B国で使用した場合にコンセントから供給される電流
- (c) B国で使用した場合に電気製品に供給される電流
- (4) 図3は安定に動作している増幅回路を示し、大文字は直流成分、小文字は交流成分の電圧あるいは電流を表す。出力側には抵抗値  $R_L$  の負荷抵抗が接続されている。この回路において、バイアス電圧  $V_B$  を微小量  $\Delta V_B$  増加させたところ、バイアス電流  $I_B, I_C$  がそれぞれ微小量  $\Delta I_B, \Delta I_C$  だけ増加することが確認できた。電圧帰還率 ( $h_{re}$ ) と出力アドミタンス ( $h_{oe}$ ) は十分小さいものとして以下を求めよ。
- (a) 微小入力電流  $i_i$  に対する出力電流  $i_o$
- (b) 微小入力電圧  $v_i$  に対する出力電圧  $v_o$
- (c) 入力インピーダンス

図3



抵抗値: resistance, 抵抗: resistor, 自己インダクタンス: self-inductance, コイル: inductor, キャパシタンス: capacitance, コンデンサ: capacitor, 電圧: voltage, 実効値: effective value, 角周波数: angular frequency, 交流電圧源: AC voltage supply, 電流: electric current, 端子: terminal, 合成複素インピーダンス: combined complex impedance, 位相差: phase difference, 演算増幅器: operational amplifier, 入力インピーダンス: input impedance, 出力インピーダンス: output impedance, コンセント: electric outlet, 変圧器: voltage converter, 理想トランス: ideal transformer, 増幅回路: amplification circuit, 直流: DC, 交流: AC, バイアス: bias, 電圧帰還率: voltage feedback ratio, 出力アドミタンス: output admittance

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

2

## 光波動工学

- (1) 図1のように、単色の点光源から放射された光を、焦点距離  $f$  の凸レンズを用いて平行光にし、レンズから距離  $L_1$  だけ離れた場所に配置した二重スリットに導いた。スリットの間隔は  $d$  である。スリットから透過した光を距離  $L_2$  だけ離れたスクリーンに映すと、明暗の縞模様があらわれた。明るい縞の間隔を測ると、 $u$  であった。点光源から放射された光の波長を求めよ。ただし、 $d$  と  $u$  は  $L_2$  に比べて十分小さいとする。

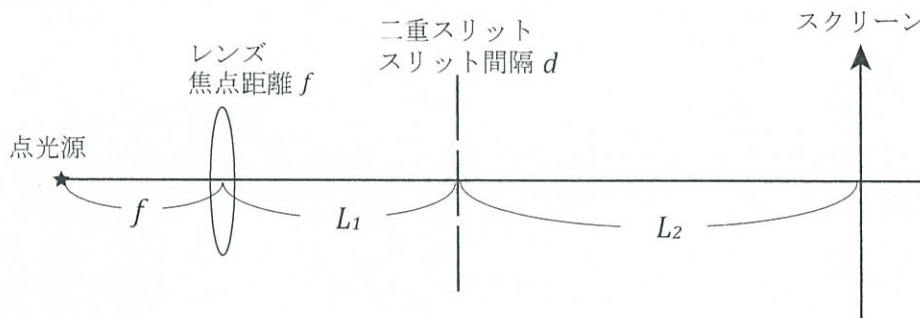


図1

- (2) 17世紀に、フランスの学者フェルマーによって、光の伝搬に関する以下の原理が発見された。  
「光はつねに光学距離が最小となる経路を進む。」
- (a) 図2は、光線が媒質1にある点Aから媒質2にある点Bにいたる経路をあらわしている。AからBまでの光学距離を求めよ。ただし、光線の経路が媒質境界と交わる点をPとし、AとB、AとPの媒質境界に平行な方向の距離をそれぞれ  $\ell$ ,  $x$  とする。Aから媒質境界までの距離を  $h_1$ , Bから媒質境界までの距離を  $h_2$  とする。媒質1と媒質2の屈折率をそれぞれ  $n_1$ ,  $n_2$  とする。光学距離は、 $\ell$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $x$  を用いて答えること。
- (b) フェルマーの原理を満たす  $x$  の条件を求め、スネルの法則を導け。ただし、入射角を  $\theta_1$ , 屈折角を  $\theta_2$  とする。

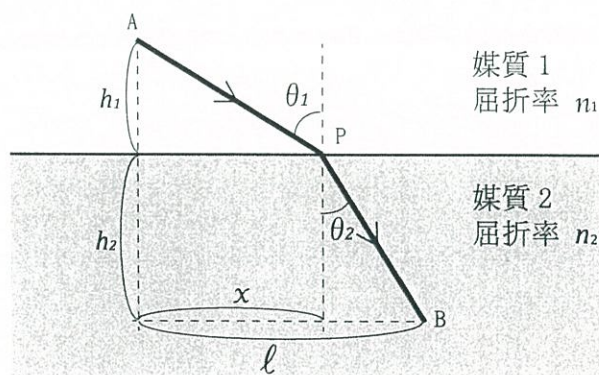


図2

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

2

## 光波動工学

(前ページから続く)

- (3) 図3のように、平面波とみなせる単色のレーザー光を、2方向から入射角 $\theta$ でフォトレジストの表面に入射し干渉させて、周期構造をフォトレジスト表面に形成する。レーザー光の波長はいずれも $\lambda$ である。それぞれの入射光の電場の複素振幅を、

$$E_1(\mathbf{r}, t) = A \exp\{-i(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t)\}$$

$$E_2(\mathbf{r}, t) = A \exp\{-i(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t)\}$$

と表す。 $\mathbf{k}_1$ 、 $\mathbf{k}_2$ はそれぞれの入射光の波数ベクトル、 $\mathbf{r}$ は空間の位置ベクトル、 $\omega$ は入射光の角周波数である。また、偏光方向はフォトレジスト表面に平行であるとする。

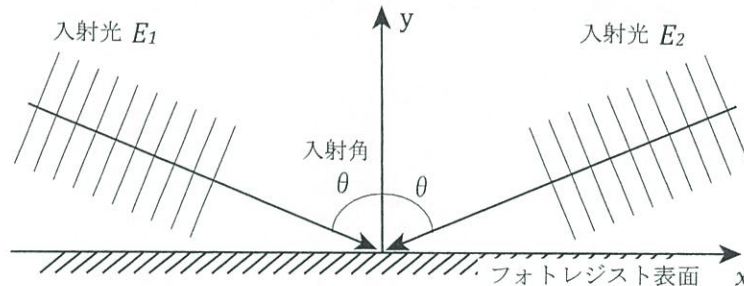


図3

- (a) 空間の2次元座標を図のように取るとき、 $\mathbf{k}_1 = (k_{1x}, k_{1y})$ 、 $\mathbf{k}_2 = (k_{2x}, k_{2y})$ のそれぞれの成分を、 $\lambda$ と $\theta$ を用いて表せ。
- (b) フォトレジスト表面 ( $y=0$ ) での光電場振幅 $E(x, t)$ と、光強度 $I(x)$ を求めよ。
- (c) フォトレジスト表面に形成される干渉縞の間隔 $d$ を、波長 $\lambda$ 、入射角 $\theta$ を用いて表せ。また、干渉縞の間隔が $\lambda$ になるときの入射角を求めよ。
- (4) 以下の文章を読んで、空欄 (あ) ~ (さ) に当てはまる単語を次ページの単語集から選び、それぞれ解答用紙に答えよ。同じ単語を複数回用いてもよい。

- (a) 直線偏光かランダム偏光かを見分けるには、にその光を通し、それを回転させながら透過光を観察し、光強度が変化するかどうかを見ればよい。それでは、円偏光とランダム偏光とを見分けるにはどうすればよいか。それにはまず、に光を通す。これをさらに、に通して、それを回転させながら透過光を観察すればよい。光強度が変化すれば、もとの光はであると分かる。
- (b) 一般的に、ガラスやプラスチック製の単レンズは、焦点距離が波長によってわずかにずれる。これをという。これは、材料のが波長によって異なることが原因である。可視光域では一般的に、赤色に比べて青色の光の方が焦点距離は。

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

2

## 光波動工学

(前ページから続く)

- (c) ランダム偏光から直線偏光を取り出すには、直線偏光板がよく用いられる。それ以外には、ウォラストンプリズムやグラントムソンプリズムなどの光学素子を用いる方法がある。これらの光学素子の材料である石英や方解石などは、の性質を示す。さらにシンプルな方法は、ガラス板が一枚あればよい。ランダム偏光をガラス板(屈折率:1.5)に対してある特定の入射角で入射すると反射光が完全に直線偏光となる。この入射角をという。このとき、反射光の偏光はで、反射光と透過光の伝搬方向がなす角度はとなる。

- 問題(4)の単語集 -

ビームスプリッター	(beam splitter)	円偏光	(circular polarization)
$\frac{1}{4}$ 波長板	(quarter wave plate)	直線偏光	(linear polarization)
$\frac{1}{2}$ 波長板	(half wave plate)	ランダム偏光	(random polarization)
直線偏光板	(linear polarizer)	ブリュースター角	(Brewster's angle)
ロングパスフィルター	(long pass filter)	臨界角	(critical angle)
ノッチフィルター	(notch filter)	屈折角	(refraction angle)
アキシコンプリズム	(axicon prism)	球面収差	(spherical aberration)
吸収率	(absorbance)	非点収差	(astigmatism)
屈折率	(refractive index)	色収差	(chromatic aberration)
反射率	(reflectance)	回折限界	(diffraction limit)
透過率	(transmittance)	長い	
複屈折	(birefringence)	短い	
非線形光学効果	(nonlinear optical effect)	0°	
分散	(dispersion)	45°	
p 偏光	(p-polarization)	90°	
s 偏光	(s-polarization)	56°	

点光源: point light source, 焦点距離: focusing length, 二重スリット: double slit, 波長: wavelength, フェルマー: Pierre de Fermat, 光学距離: optical path length, フェルマーの原理: Fermat's principle, スネルの法則: Snell's law, レーザー光: laser light, フォトレジスト: photoresist, 波数ベクトル: wave vector, 位置ベクトル: position vector, 干渉縞: interference fringe, 直線偏光: linear polarization, ランダム偏光: random polarization, 円偏光: circular polarization, 透過光: transmitted light, 単レンズ: single lens, ウォラストンプリズム: Wollaston prism, グラントムソンプリズム: Glan-Thompson prism, 石英: quartz, 方解石: calcite

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

3

## 量子力学／統計力学

質量  $m$ , 角振動数  $\omega$  で振動している一次元調和振動子のポテンシャルエネルギーは  $\frac{m\omega^2}{2}x^2$  で与えられる。この調和振動子について量子力学的に考えていく。

(1) 質点の位置演算子  $\hat{x}$  および運動量演算子  $\hat{p}$  を用いて、一次元調和振動子のハミルトニアン  $\hat{H}$  を書け。

(2) 一次元空間における運動量演算子が  $\hat{p} = -i\hbar \frac{d}{dx}$ , 位置演算子が  $\hat{x} = x$  で与えられるとき、演算子  $\hat{x}$  と  $\hat{p}$  の間の交換関係は  $[\hat{p}, \hat{x}] = A$  と書ける。このときの  $A$  を求めよ。

ここで、新しい演算子  $\hat{a} = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{x} + i\sqrt{\frac{1}{2m\hbar\omega}}\hat{p}$  を導入する。

(3) 演算子  $\hat{a}$  とそのエルミート共役演算子  $\hat{a}^\dagger$  との交換関係を求めよ。

(4) 一次元調和振動子のハミルトニアン  $\hat{H}$  を演算子  $\hat{a}$  と  $\hat{a}^\dagger$  とを用いて表せ。

(5) 新たに演算子  $\hat{n} \equiv \hat{a}^\dagger \hat{a}$  を導入する。演算子  $\hat{n}$  の規格化された固有関数を  $\phi_n$  とし、その固有値を  $n$  とすると、 $\hat{n}\phi_n = n\phi_n$  が成り立つ。基底状態の固有関数  $\phi_0$  が  $\hat{a}\phi_0 = 0$  を満たすとき、位置空間での固有関数  $\phi_0(x)$  を求めよ。この際、規格化の係数は求めなくても良い。

(6) 演算子  $\hat{a}$  および  $\hat{a}^\dagger$  が  $\hat{a}\phi_n = C\phi_{n-1}$ ,  $\hat{a}^\dagger\phi_n = D\phi_{n+1}$  を満たすことを示せ。さらに、固有関数  $\phi_n$  が規格化されていることを利用して係数  $C$  と  $D$  を求めよ。ここで、係数  $C$  と  $D$  は、正の数である。

(7) 演算子  $\hat{a}$  の規格化された固有関数を  $\psi_\alpha$  とし、その固有値を  $\alpha$  とすると、 $\hat{a}\psi_\alpha = \alpha\psi_\alpha$  が成り立つ。この固有関数  $\psi_\alpha$  を演算子  $\hat{n}$  に対する固有関数  $\phi_n$  で展開すると  $\psi_\alpha = \sum_{n=0}^{\infty} f_n \phi_n$  と書ける。このときの展開係数  $f_n$  を求めよ。さらに、 $\psi_\alpha$  を基底状態の固有関数  $\phi_0$  を用いて表せ。ただし、 $\phi_n = \frac{1}{\sqrt{n!}}(\hat{a}^\dagger)^n \phi_0$  を用いて良い。

質量 : mass, 角振動数 : angular frequency, 一次元調和振動子 : one-dimensional harmonic oscillator, ポテンシャルエネルギー : potential energy, 量子力学的 : quantum-mechanically, 質点 : point mass, 位置演算子 : position operator, 運動量 : momentum, ハミルトニアン : Hamiltonian, 一次元空間 : one-dimensional space, 交換関係 : commutation relation, エルミート共役 : Hermitian conjugate, 規格化された固有関数 : normalized eigenfunction, 固有値 : eigenvalue, 基底状態 : ground state, 位置空間 : position space, 係数 : coefficient, 正の数 : positive number, 展開 : expansion

## 問 題

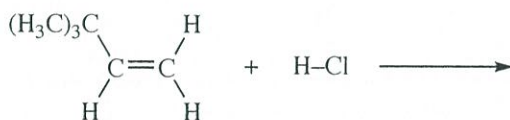
## 基盤理工学専攻

科目の番号

4

## 無機・有機化学

- (1)  $\text{BeCl}_2$  分子は気相中で直線構造をとる。これについて次の間に答えよ。  
 (a) 直線構造をとる理由を混成軌道の考え方を使って説明せよ。  
 (b)  $\text{BeCl}_2$  は低温になると二量体や重合体を形成する。二量体および重合体の構造式を記せ。
- (2)  $\text{Fe}^{2+}$  イオンの八面体型錯体について次の間に答えよ。Fe の原子番号は 26 である。  
 (a) 高スピン錯体、低スピン錯体について、それぞれの d 軌道における電子配置を示せ。  
 (b) 高スピン錯体における結晶場分裂エネルギーを  $10Dq$  とする。この錯体の結晶場安定化エネルギーを、 $Dq$  を用いて表せ。
- (3) 八面体型錯体  $[\text{CoCl}_2(\text{en})_2]^+$  について次の間に答えよ。なお en は  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$  であり、 $\text{N}\text{---}\text{N}$  と表してよい。  
 (a)  $[\text{CoCl}_2(\text{en})_2]^+$  の異性体のうち互いに幾何異性体であるものの立体構造を 2 つ記せ。  
 (b) 前問の解答でキラルなものはどれか。さらに、その鏡像異性体の立体構造を記せ。
- (4) 以下の反応では生成物として 2 種類の付加体を得られる。そのうち 1 種類は置換基の転位を経由した生成物である。反応機構とともに 2 つの生成物の構造式を示せ。



- (5) 以下の化合物は炭化水素としては比較的低い  $\text{p}K_a$  値を有する。その理由をそれぞれについて述べよ。



$$\text{p}K_a = 25$$



$$\text{p}K_a = 16$$

- (6) 以下の反応により得られる主生成物の構造式を記せ。さらに、主生成物を与える中間体の共鳴構造を示して反応機構を説明せよ。



(次ページに続く)



## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

4

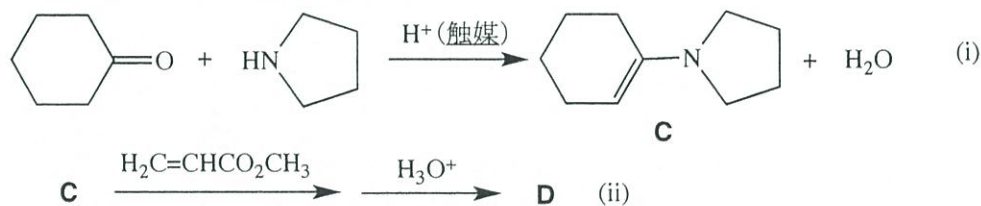
無機・有機化学

(前ページから続く)

- (7)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$  と  $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCH}_2\text{Cl}$  ではどちらが  $\text{S}_{\text{N}}1$  反応を起こしやすいか。中間体の共鳴構造を示して理由とともに述べよ。
- (8) 化合物 **A** と **B** を別々に  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  中、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$  と反応させて  $\text{E}2$  反応を行った。それぞれの生成物の構造式を示せ。さらに **A** の反応機構を立体化学がわかるように説明せよ。



- (9) 以下の反応について次の問に答えよ。



- (a) 式 (i) の反応機構を説明せよ。
- (b) 式 (ii) の反応の生成物 **D** の構造式を記せ。

直線構造: linear structure, 混成軌道: hybrid orbital, 二量体: dimer, 重合体: polymer, 構造式: structural formula, イオン: ion, 八面体型錯体: octahedral complex, 原子番号: atomic number, 高スピン: high spin, 低スピン: low spin, 電子配置: electron configuration, 結晶場分裂エネルギー: crystal field splitting energy, 結晶場安定化エネルギー: crystal field stabilization energy, 幾何異性体: geometric isomer, キラル: chiral, 鏡像異性体: enantiomer, 反応: reaction, 生成物: product, 付加体: adduct, 置換基: substituent, 転位: rearrangement, 反応機構: reaction mechanism, 化合物: compound, 炭化水素: hydrocarbon, 主生成物: main product, 中間体: intermediate, 共鳴構造: resonance structure, 立体化学: stereochemistry, 触媒: catalyst

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

5

## 分子生物学／生物化学

(1) 大腸菌の遺伝子やゲノムについて、以下の間に答えよ。

(a) 以下の文の中から正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (ア) 大腸菌のゲノムは環状DNAである  
 (イ) 大腸菌のDNAはヒストンに結合している  
 (ウ) 大腸菌の遺伝子にはイントロンがない  
 (エ) 大腸菌の遺伝子は核の中で転写される  
 (オ) 大腸菌のmRNAにはポリ(A)鎖がある  
 (カ) 大腸菌のmRNAはリボソームで翻訳される

(b) 以下のDNAの塩基配列はあるタンパク質の中央付近のアミノ酸配列をコードしており、左から右に向かって転写される。この部分が転写されたときのmRNAの塩基配列と、翻訳されたときのアミノ酸配列を書け。遺伝子コードおよびアミノ酸の表記については、下のコドン表を参考にする。

5'...CCGTAACCTAGAGGTCAACA...3'

標準遺伝暗号表（コドン表）

1塩基目	2塩基目				3塩基目
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	終止	終止	A
	Leu	Ser	終止	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	Met(開始)	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

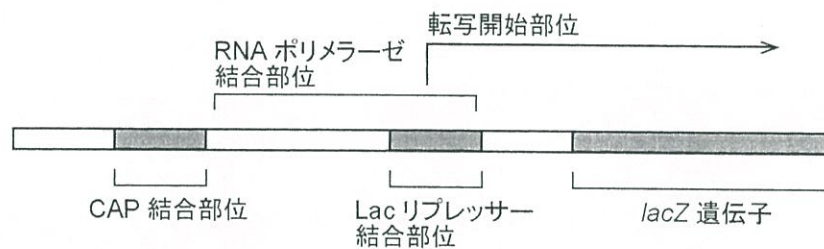
科目の番号

5

## 分子生物学／生物化学

(前ページから続く)

- (c) 下の図は、大腸菌の *lacZ* 遺伝子の転写調節領域の模式図である。*lacZ* 遺伝子は、培地中にグルコースが存在せず、かつラクトースが存在する場合にのみ発現する。*lacZ* 遺伝子の発現は、CAP と呼ばれる転写活性化因子と、Lac リプレッサーと呼ばれる転写抑制因子によって制御されている。グルコースが存在するときやラクトースが存在しないときに *lacZ* 遺伝子が発現しない理由について、「RNA ポリメラーゼと DNA の結合」という観点から説明せよ。



- (2) ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) について、以下の間に答えよ。

- (a) 以下の塩基配列の DNA をテンプレートにして、○から●までの範囲と同一の配列の DNA を PCR によって増幅したい。プライマーとして用いるべき 2 種類の一本鎖 DNA の塩基配列を、それぞれ 5'端から 4 塩基ずつ書け。



- (b) 典型的な PCR では、反応液の温度を  $95^{\circ}\text{C} \rightarrow 50 \sim 60^{\circ}\text{C} \rightarrow 72^{\circ}\text{C}$  の順に変化させるサイクルを、20 ~ 30 回繰り返す。この 3 つの温度において、それぞれどのような反応が起こっているか説明せよ。
- (c) PCR による DNA の増幅過程について、温度サイクル数を横軸、増幅産物量の対数を縦軸にとってグラフで表すとどのような曲線になるか、およその形状を図示せよ。また、そのような曲線になる理由を説明せよ。

- (3) 抗体 (免疫グロブリン) について、以下の間に答えよ。

- (a) 抗体タンパク質である IgG 分子の大まかな形状を図示せよ。またその中で 抗原結合部位 がどこに位置しているかを記せ。
- (b) 体内で産生される抗体の抗原特異性に膨大な多様性が生じる遺伝子レベルのメカニズムについて説明せよ。ただし、以下の 4 つの語句をすべて用いること。

B 細胞 可変領域 組換え 突然変異

- (c) 抗体を利用した 生化学的実験法 を 1 つ挙げ、その目的と方法について説明せよ。

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

5

## 分子生物学／生物化学

(前ページから続く)

大腸菌：*Escherichia coli*, 遺伝子：gene, ゲノム：genome, 環状：circular, ヒストン：histone, イントロン：intron, 核：nucleus, 転写：transcription, ポリ(A)鎖：polyadenyl tail, リボソーム：ribosome, 翻訳：translation, 塩基配列：nucleotide sequence, タンパク質：protein, アミノ酸配列：amino acid sequence, 遺伝子コード：genetic code, コドン：codon, 調節領域：regulatory region, グルコース：glucose, ラクトース：lactose, 活性化因子：activator, 抑制因子：suppressor, RNAポリメラーゼ：RNA polymerase, ポリメラーゼ連鎖反応：polymerase chain reaction, テンプレート：template, 増幅：amplification, プライマー：primer, 一本鎖：single strand, 産物量：amount of product, 抗体：antibody, 免疫グロブリン：immunoglobulin, 抗原結合部位：antigen-binding site, 特異性：specificity, 多様性：diversity, B細胞：B cell, 可変領域：variable region, 組換え：recombination, 突然変異：mutation, 生化学的実験法：biochemical method

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

6

## 基礎数学

(1)  $m$  を実数とし、3次正方行列  $A, E$  と  $\mathbb{R}^3$  のベクトル  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$  を

$$A = \begin{bmatrix} m & -2 & 4 \\ 3 & -6 & 6 \\ 3 & -3 & 1 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v}_2 = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

とする。さらに、 $\mathbb{R}^3$  の 部分空間  $\langle \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \rangle$  を

$$\langle \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \rangle = \{c_1 \mathbf{v}_1 + c_2 \mathbf{v}_2 \in \mathbb{R}^3 \mid c_1, c_2 \in \mathbb{R}\}$$

で定義し、線形変換  $f: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$  を  $f(\mathbf{v}) = A\mathbf{v}$  ( $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^3$ ) と定める。

このとき、以下の問に答えよ。

- (a)  $f(\mathbf{v}_1) \in \langle \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \rangle$  となるように  $m$  の値を定めよ。  
 (b) 行列式  $\det A$  の値が  $-6$  となるときの  $m$  の値を求めよ。

以下では、 $m$  は(b)で求めた値とする。

- (c) 線形変換  $g: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$  を  $g(\mathbf{v}) = (A + E)\mathbf{v}$  ( $\mathbf{v} \in \mathbb{R}^3$ ) と定めるとき、 $g$  の 核  $\text{Ker}g = \{\mathbf{v} \in \mathbb{R}^3 \mid g(\mathbf{v}) = 0\}$  の 基底 を求めよ。  
 (d)  $f$  の 固有値 をすべて求めよ。  
 (e)  $f$  の各固有値に対する 固有空間 の基底を求めよ。

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

6

基礎数学

(前ページから続く)

(2) 以下の問に答えよ。

(a) 関数  $f(x, y) = 2x^3 - y^3 + 4xy + 1$  に対して、次の問に答えよ。(i)  $f_x(1, -1)$ ,  $f_y(1, -1)$  の値を求めよ。ただし、 $f_x = \frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $f_y = \frac{\partial f}{\partial y}$  である。(ii)  $f(x, y) = 0$  上の点  $(1, -1)$  の近くでは、 $f(x, y) = 0$  の陰関数  $y = \varphi(x)$  が存在する。このとき、 $\varphi(1)$ ,  $\varphi'(1)$ ,  $\varphi''(1)$  の値を求めよ。(b) 次の重積分  $I$  を求めよ。

$$I = \iint_D \frac{y}{\sqrt{1+x^3}} dx dy, \quad D = \{(x, y) : 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq x\}$$

部分空間：subspace, 線形変換：linear transformation, 行列式：determinant, 核：kernel, 基底：basis,  
固有値：eigenvalue, 固有空間：eigenspace, 陰関数：implicit function, 重積分：double integral

## 問 題

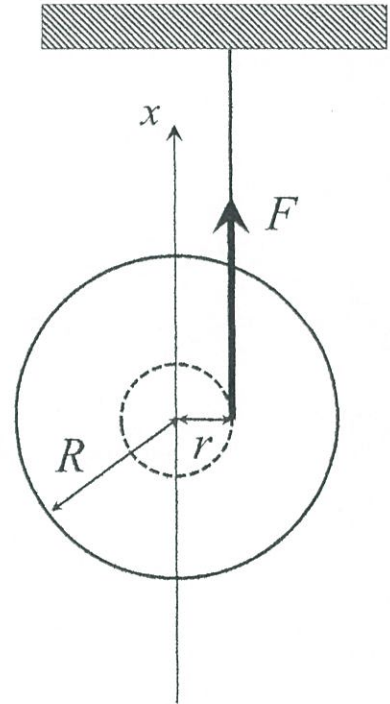
## 基盤理工学専攻

科目の番号

7

力学

半径  $R$  の一様な2枚の円板を半径  $r$  の連結軸で連結し、全体の質量  $M$ 、慣性モーメント  $I$  のヨーヨーを作製した。図のように鉛直上向きを  $x$  軸とし、中央の連結軸に重さの無視できる糸を長さ  $L$  だけ巻き付け、時刻  $t=0$  のときに原点で静止した状態から糸の上端を固定して落下させた。このとき、重心は  $x$  軸にそって落下するものとし、重力加速度を  $g$ 、糸の張力を  $F$ 、回転運動の角速度（反時計回りが正）を  $\omega$  とする。



- (1) ヨーヨーの重心の座標を  $x(t)$  として、糸の張力  $F$  を用いて重心の運動方程式を求めよ。
- (2) ヨーヨーの重心の落下速度と、重心まわりの角速度との関係を求めよ。
- (3) 回転の運動方程式を、糸の張力  $F$  を用いて求めよ。
- (4) 重心の落下加速度を求めよ。
- (5) ある時刻  $t$  での角速度と落下速度を  $t$  の関数として求めよ。
- (6) ある時刻  $t$  での落下距離を  $t$  の関数として求めよ。ただし、落下距離が  $L$  となるまでとする。
- (7) 糸の上端を上下動可能な状態にしたとき、ヨーヨーの位置を一定に保つために糸の上端を  $x$  軸に対して平行に引いた。このときの糸の上端の加速度を求めよ。

半径 : radius, 円板: disc, 連結軸: connecting shaft, 質量: mass, 慣性モーメント: moment of inertia, ヨーヨー: yo-yo, 重心: center of gravity, 重力加速度 : gravitational acceleration, 張力: tension, 回転運動: rotational motion, 角速度: angular velocity, 反時計回り: counterclockwise, 座標: coordinate, 運動方程式: equation of motion, 加速度: acceleration

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

8

## 電磁気学

(1) 面積  $s$ 、極板間距離  $d$  の平行平板コンデンサー（図1a）の電気容量は、極板の端の効果を無視できるとすると、 $C = \frac{\epsilon_0 s}{d}$  と与えられる。 $\epsilon_0$  は真空の誘電率である。

(a) このコンデンサーに定電圧源をつなぎ、電圧をゆっくりと0から $V_0$ まで上げた。極板に蓄えられた電荷量 $Q_0$ を答えよ。また、この時に極板間に形成される電場を、ガウスの法則を用いて求めよ。

(b) コンデンサーにつないだ定電圧源の電圧を0から $V_0$ までゆっくりと上げる過程（図1b）で電源がコンデンサーに対してした仕事は、極板間に形成される電場のエネルギーとして蓄えられたと考えることができる。この仕事を計算し、これを電場 $E_0$ と電束密度 $D_0$ を用いて表せ。

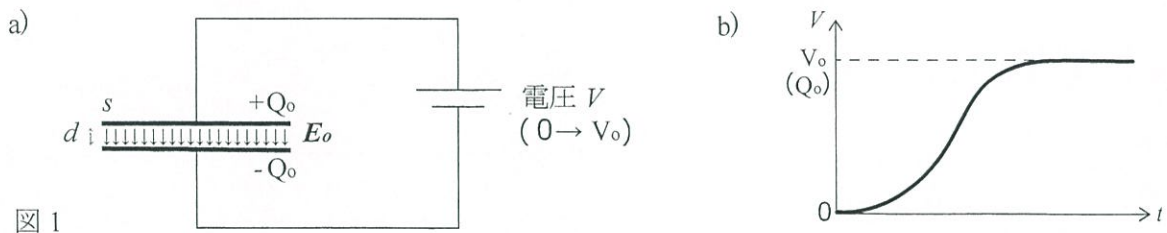


図 1

(2) 単位長さ当たりの巻き数  $n$ 、長さ  $l$ 、断面積  $s$  のコイル（図2a）のインダクタンスは、コイルの端の効果を無視できるとすると、 $L = \mu_0 n^2 s l$  と与えられる。 $\mu_0$  は真空の透磁率である。

(a) このコイルに定電流源をつなぎ、電流を0から $I_0$ までゆっくりと上げた。電流値が $I_0$ に到達した時にコイルの内側に形成される磁場をアンペールの法則を用いて求めよ。

(b) コイルにつないだ定電流源の電流をゆっくりと0から $I_0$ まで上げる過程（図2b）で定電流源がコイルに対してした仕事は、コイルの内側に形成される磁場のエネルギーとして蓄えられたと考えることができる。この仕事を計算し、これを磁場 $H_0$ と磁束密度 $B_0$ を用いて表せ。

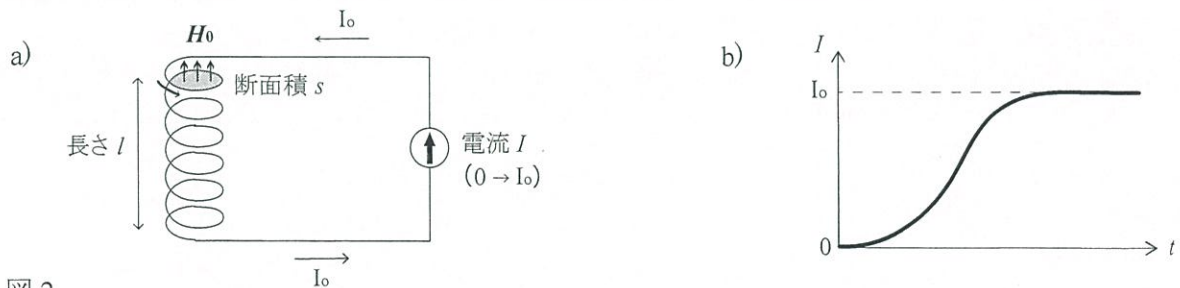


図 2

(次ページに続く)



## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

8

電磁気学

(前ページから続く)

(3) 以下は、微分形で表したマクスウェル方程式である。

$$\nabla \cdot \mathbf{D}(\mathbf{r}, t) = \rho(\mathbf{r}, t) \quad \text{①}$$

$$\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = -\frac{\partial \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \quad \text{②}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = 0 \quad \text{③}$$

$$\nabla \times \mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{i}(\mathbf{r}, t) + \frac{\partial \mathbf{D}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \quad \text{④}$$

(a) 図3のように真空と誘電体が境界を接している。誘電体の内部や表面に、真電荷 $\rho(\mathbf{r}, t)$ および電流 $\mathbf{i}(\mathbf{r}, t)$ は存在しない。磁場 $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ も存在しない。境界において、静電場 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ は境界面に対する垂直成分と平行成分のどちらが連続でなければならないか。その理由を含めて答えよ。

(b) 同様に、電束密度 $\mathbf{D}(\mathbf{r})$ については、境界面において、垂直成分と平行成分のどちらが連続でなければならないか。その理由を含めて答えよ。

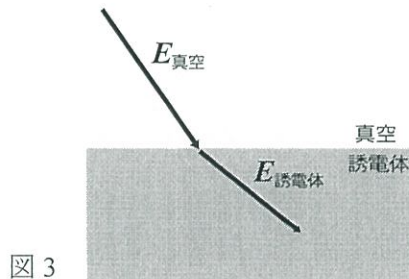


図3

(c) 上記のマクスウェル方程式から電磁場のエネルギーに関する関係式を導きたい。ただし、 $\mathbf{i}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{0}$ とする。②式と④式に次の操作をする。

②式の両辺に左から磁場との内積 $\mathbf{H} \cdot$ を作用させる。 …②'

同様に、④の両辺に左から電場との内積 $\mathbf{E} \cdot$ を作用させる。 …④'

さらに、②'式の両辺と④'式の両辺を、それぞれ引き算する。

このようにして導かれる結果と、問(1)、問(2)で得られた結果から、 $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$  (Poynting vector) が電磁場のエネルギーの流れの密度を表すことを説明せよ。必要であれば次のベクトル公式を用いて良い。

$$\nabla \cdot (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = \mathbf{H} \cdot (\nabla \times \mathbf{E}) - \mathbf{E} \cdot (\nabla \times \mathbf{H})$$

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

8

電磁気学

(前ページから続く)

コンデンサー: capacitor, 電気容量: electric capacitance, 真空: vacuum, 誘電率: permittivity, 定電圧源: constant voltage source, 電圧: voltage, 極板: polar plate, 電荷: electric charge, 電場: electric field, ガウスの法則: Gauss's law, 仕事: work, 電束密度: electric flux density, コイル: inductor, インダクタンス: inductance, 透磁率: magnetic permeability, 定電流源: constant current source, 電流: electric current, 磁場: magnetic field, アンペールの法則: Ampere's circuital law, 磁束密度: magnetic flux density, 誘電体: dielectrics, 真電荷: true electric charge, 静電場: electrostatic field, 垂直成分: vertical component, 平行成分: parallel component, マクスウェル方程式: Maxwell's equation, 電磁場: electromagnetic field, エネルギー: energy, 内積: scalar product, 流れの密度: flux, ベクトル公式: vector formula

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

9

## 光・電子デバイス基礎

- (1) あるシリコン (Si) 半導体試料において、図 1 のように、 $x = 0$  は  $N_D(0)$ 、 $x = d$  は  $N_D(d)$  でドナー不純物が一定の濃度勾配で試料に添加されている。 $N_D(0)$  は真性キャリア濃度より十分大きいとする。室温ではすべてのドナーがイオン化され、ドナーイオンの拡散はないものと仮定する。ドナー濃度の勾配により伝導電子の拡散が起こることで、熱平衡状態では電荷中性の条件が破綻し、半導体内に電界  $\epsilon$  が発生する。試料の長さ  $d$  は伝導電子の拡散長より十分長いとし、熱平衡時の伝導電子密度は、図 2 のような一定の密度勾配で近似する。 $x = 0$  と  $x = d$  における伝導電子密度をそれぞれ  $n(0)$  と  $n(d)$  とする。また、全試料領域において正孔は考慮しないとする。以上の条件に基づき、熱平衡状態において以下の間に答えよ。ただし、温度  $T$  を室温とし、ボルツマン定数を  $k$ 、電気素量(素電荷)を  $q$ 、電子のドリフト移動度と拡散係数をそれぞれ  $\mu_n, D_n$  とする。

図1

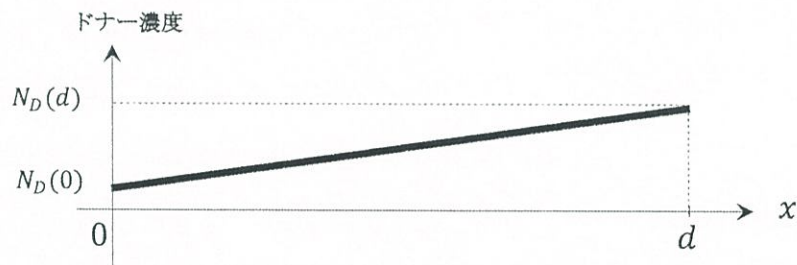
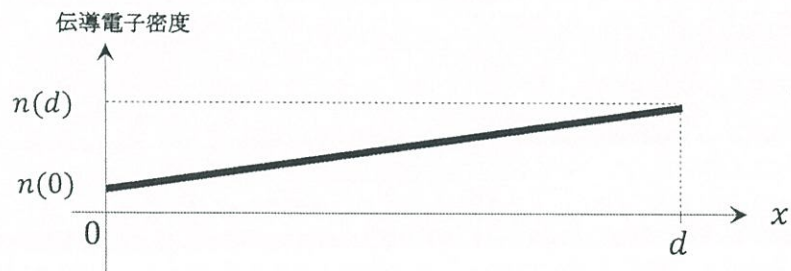


図2



- 伝導電子密度の空間分布  $n(x)$  の式を導出せよ。
- (a)で求めた式を用いて伝導電子電流密度のドリフト成分  $J_{drift}$  と拡散成分  $J_{diff}$  の式をそれぞれ示せ。
- 熱平衡状態においては伝導電子の全電流密度が0 (零) になる。このときの内蔵電界の空間分布  $\epsilon(x)$  の式を求めよ。
- このときのフェルミ準位  $E_f$  に対する伝導帯下端エネルギー  $E_c(x)$  の分布式を求めよ。ただし、伝導電子の有効状態密度は  $N_c$  とする

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

9

## 光・電子デバイス基礎

(前ページから続く)

(2) シリコン (Si) 半導体に関する以下の間に答えよ。伝導帯下端エネルギーは  $E_c$  とし、価電子帯上端エネルギーは  $E_v$  とする。また伝導帯の有効状態密度は  $N_c$  とし、価電子帯の有効状態密度は  $N_v$  とする。ボルツマン定数は  $k$ 、温度は  $T$  とする。

(a) エネルギー  $E$  の状態にある電子の占有確率を表すフェルミ・ディラック分布とそれに対応したボルツマン近似分布はそれぞれ下記の①と②のどちらであるか答えよ。

$$\textcircled{1} \quad f_n(E) = \exp\left[-\left(\frac{E-E_f}{kT}\right)\right] \qquad \textcircled{2} \quad f_n(E) = \frac{1}{1+\exp\left(\frac{E-E_f}{kT}\right)}$$

ここで、 $E_f$  はフェルミ準位である。

- (b) フェルミ・ディラック分布  $f_n(E)$  を用いて、正孔の占有確率  $f_p(E)$  を表すフェルミ・ディラック分布とそれに対応したボルツマン近似分布を求めよ。
- (c) 室温において、 $E_c$  における伝導電子の占有確率を  $10^{-3}$  とした場合、伝導電子と正孔の占有確率は、それぞれに対応するボルツマン近似分布が成立すると仮定する。このときの伝導電子密度  $n$  を求めよ。また  $E_v$  における正孔の占有確率に基づき、 $E_f$  を使わずに、正孔密度  $p$  の式を求めよ。
- (d) (c)にある条件下のシリコン試料に光を照射してキャリアが一様に生成されると、伝導電子と正孔の密度が変化し、それぞれ擬フェルミ準位  $E_{fn}$  と  $E_{fp}$  が生成される。この光照射による過剰電子を  $\Delta n$ 、過剰正孔を  $\Delta p$  とする場合、伝導電子の  $E_{fn}$  の式及び正孔の  $E_{fp}$  の式を求めよ。

半導体: semiconductor, ドナー不純物: donor impurity, 濃度勾配: concentration gradient, 真性キャリア濃度: intrinsic carrier concentration, イオン化: ionization, 拡散: diffusion, ドナー濃度: donor concentration, 伝導電子: conducting electron, 熱平衡: thermal equilibrium, 電荷中性: charge neutrality, 破綻: failure, 電界: electric field, 拡散長: diffusion length, 伝導電子密度: conducting electron density, 密度勾配: density gradient, 正孔: hole, ボルツマン定数: Boltzmann constant, 電気素量(素電荷): elementary charge, ドリフト移動度: drift mobility, 拡散係数: diffusion coefficient, 空間分布: spatial distribution, 電流密度: current density, 全電流密度: total current density, 内蔵電界: built-in electric field, フェルミ準位: Fermi level, 伝導帯下端: bottom of conduction band, 有効状態密度: effective density of state, 価電子帯上端: top of valence band, 占有確率: occupancy probability, フェルミ・ディラック分布: Fermi-Dirac distribution, ボルツマン近似分布: Boltzmann approximation distribution, 擬フェルミ準位: quasi-Fermi level, 光照射: light illumination, 過剰電子: excess electron, 過剰正孔: excess hole

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

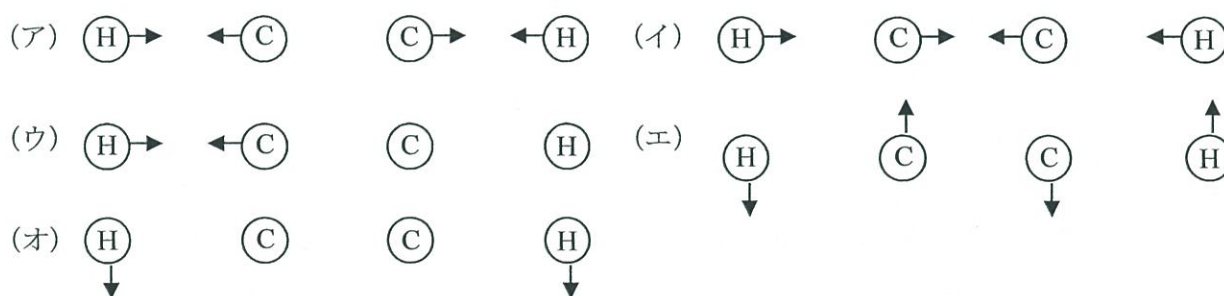
10

## 物理化学

(1) 化学熱力学に関連する下記の問に答えよ。

- (a) 5.0 mol の理想気体を 300 K,  $1.0 \times 10^5$  Pa から容積が 10 倍になるまで (i), (ii) のようにして膨張させた。このとき気体になされた仕事  $w$ , 気体に入る熱  $q$ , 気体の内部エネルギー変化  $\Delta U$ , 気体のエントロピー変化  $\Delta S$  をそれぞれ求めよ。また, 気体とその外界の  $\Delta S$  の合計をそれぞれ求めよ。なお, 気体定数  $R = 8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $\ln 10 = 2.3$  とせよ。
- (i) 等温可逆過程  
(ii) 真空にした容器中への自由膨張
- (b) 理想溶液がその蒸気との平衡状態にある場合を考える。
- (i) 理想溶液では, その成分の蒸気分圧が溶液中の組成に比例するというラウールの法則が全濃度範囲で成立する。この法則を数式で表し, 2 成分系の溶液について圧力と組成の関係を, グラフを用いて説明せよ。
- (ii) 体積一定の真空の容器にベンゼンとトルエンの混合溶液を入れた。室温で放置後も, 容器に溶液が残っている。室温での蒸気圧はベンゼン: 70 mmHg, トルエン: 20 mmHg である。容器に残っている溶液中のベンゼンのモル分率が 0.50 のとき, 容器内の圧力はいくらか。また, 蒸気中のベンゼンのモル分率はいくらか。ただし, ベンゼンとトルエンの混合溶液は理想溶液, また, その蒸気は理想混合気体として振舞うものとする。

(2) アセチレン分子  $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$  は直線構造である。下図の (ア) から (オ) は紙面内での振動に関する基準振動モードを示している。このうち, (ウ) と (オ) は不完全な図である。



- (a) (ウ) と (オ) の図を解答用紙に描き, これに適切な矢印を加えて基準振動モードを表すようにせよ。
- (b) この分子は赤外スペクトルに  $3289, 730 \text{ cm}^{-1}$  の位置でピークを示し, また, ラマンスペクトルに  $3374, 1972, 612 \text{ cm}^{-1}$  の位置でピークを示す。(ア) から (オ) の振動モードはそれぞれどの波数のピークに対応するか, 理由とともに答えよ。

(次ページに続く)

## 問 題

## 基盤理工学専攻

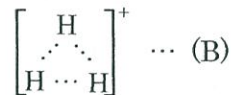
科目の番号

10

物理化学

(前ページから続く)

- (3)  $\text{H}_3^+$ イオンの構造については、下図のように  $\text{H}\cdots\text{H}$  距離が等しい直線構造 (A) と正三角形構造 (B) を考えることができる。各原子の  $1s$  軌道を  $\phi_i$  ( $i=1,2,3$ ),  $\text{H}_3^+$ のハミルトニアンを  $\hat{H}$ , 分子軌道エネルギーを  $E$  とする。Hückel 分子軌道法を用いて、以下の問に答えよ。



- (a) 積分  $H_{ij} = \int_{\text{全空間}} \phi_i^* \hat{H} \phi_j d\tau$  ( $i=1,2,3; j=1,2,3$ )  $\cdots$  ① のうち、クーロン積分  $\alpha$  を次の例にならって、すべて書け。  
例  $H_{56}, H_{65}$
- (b) 直線構造 (A) について、積分 ① の中で共鳴積分  $\beta$  のうち、0 以外のものを (a) と同様にすべて書け。
- (c) 正三角形構造 (B) について、積分 ① の中で共鳴積分  $\beta$  のうち、0 以外のものを (a) と同様にすべて書け。
- (d) 構造(A) と (B) それぞれに対する永年行列式を、 $x = (\alpha - E)/\beta$ を用いて表せ。
- (e) (d) の永年行列式を解き、(A) と (B) それぞれについて分子軌道エネルギーをすべて求めよ。
- (f)  $\text{H}_3^+$ イオンの構造は (A) と (B) どちらが安定か、全電子エネルギーを用いて述べよ。

理想気体：ideal gas, 内部エネルギー：internal energy, エントロピー：entropy, 等温可逆過程：isothermal reversible process, 自由膨張：free expansion, 理想溶液：ideal solution, ラウールの法則：Raoult's law, グラフ：graph, ベンゼン：benzene, トルエン：toluene, モル分率：mole fraction, 直線構造：linear structure, 紙面内：on the paper surface, 基準振動モード：normal mode, 赤外スペクトル：IR spectrum, ピーク：peak, ラマンスペクトル：Raman spectrum, イオン：ion, 正三角形構造：equilateral triangle structure, 軌道：orbital, ハミルトニアン：Hamiltonian, 分子軌道エネルギー：energy of molecular orbital, Hückel 分子軌道法：Hückel molecular orbital theory, クーロン積分：Coulomb integral, 共鳴積分：resonance integral, 永年行列式：secular determinant

## 問 題

## 基盤理工学専攻

科目の番号

11

## 細胞・神経生物学

神経と筋細胞の機構について以下の問に答えよ。

(1) 右の表は哺乳類の細胞内外の陽イオンと陰イオン濃度を示している。A～E にあてはまる物質名を答えよ。

電解質	細胞内濃度 (mM)	細胞外濃度 (mM)
陽イオン		
A	5~15	145
B	140	5
C	0.5	1~2
D	$10^{-4}$	1~2
陰イオン		
E	5~15	110

(2) 細胞内は基本的に電気的中性が保たれる。表中の E のほかに細胞内に多く含まれる陰イオン物質にはどのようなものがあるかを述べよ。

(3) 神経細胞は、細胞膜を介して電氣的に興奮する機構を持っている。この機構を表中の A と B に着目して説明せよ。

(4) 神経の興奮は筋細胞の収縮を導く。神経終末において 1 種類、筋細胞において複数の種類のイオンチャンネルが関与し、表中 D の細胞質内濃度が増加する。これらのイオンチャンネルを挙げて、D 濃度が増加する機構を説明せよ。

(5) 表中 C は細胞内のあるリン酸化合物と結合する。このリン酸化合物は加水分解され、筋収縮に必要なエネルギーを供給する。この物質名を答えよ。また、骨格筋細胞の筋原線維の主要な構造成分のうち、この物質を加水分解する酵素活性を持つモータータンパク質の名称を挙げ、その構造的な特徴を述べよ。必要であれば図示してよい。

(6) 筋細胞質内の D 濃度は安静状態では非常に低く保たれている。短時間に筋収縮を何度も繰り返した後に細胞質内の D 濃度を測定した場合、表中の値よりも高いレベルであった。この原因として考えられる筋細胞内の機構を説明せよ。

(7) 表中に記載されていない陽イオンで、ミトコンドリアでの(5)のリン酸化合物の合成に重要な役割を果たす物質を答えよ。また、酸化リン酸化反応において、その物質が関与する機構を説明せよ。

神経: nerve, 筋細胞: muscle cell, 哺乳類: mammal, 陽イオン: cation, 陰イオン: anion, 電気的中性: electroneutrality, 神経細胞: neuron, 細胞膜: plasma membrane, 興奮: excitation, 収縮: contraction, 神経終末: nerve terminal, イオンチャンネル: ion channel, 細胞質: cytoplasm, リン酸化合物: phosphoric acid compound, 加水分解: hydrolysis, 骨格筋: skeletal muscle, 筋原線維: myofibril, タンパク質: protein, ミトコンドリア: mitochondrion, 酸化リン酸化: oxidative phosphorylation