

筆答専門試験科目（午前）
生命理工学系

2022 大修

時間 9 : 3 0 ~ 1 2 : 0 0

注 意 事 項

1. 次の8 題から 4 題を選択して解答せよ。解答する問題は 4 題を超えてはならない。
(5 題以上解答した場合はすべての答案をゼロ点とする。)
2. 解答は原則として 1 題ごとに答案用紙 1 枚を用い記入せよ。ただし、問題⑦、⑧に関しては
それぞれ答案用紙を 2 枚まで用いてもよい。その場合、1 枚目の答案用紙の最後に「2 枚目に続く」と記入すること。裏面は使用しないこと。
3. 各答案用紙には、1 枚ごとに必ず問題番号及び受験番号を記入せよ。
4. 問題番号は各答案用紙の左上に大きくわかりやすいように記入すること。
5. 定規、コンパス、電卓の持ち込みは不可とする。
6. 通信機能や計算機能を持つ機器を使用してはならない。
7. 試験問題は試験終了後持ち帰ってよい。

① 以下のⅠおよびⅡの問に答えよ。

Ⅰ. 次の文章を読み、以下の1)～5)の問に答えよ。

ヒト細胞における ATP の生成には様々なエネルギー代謝の過程が関与している。細胞内の (ア) で行われているエネルギー代謝のうち、グルコースからピルビン酸に代謝される過程を解糖系と呼ぶ。この過程に関わるはじめの酵素はヘキソキナーゼであり、グルコースと ATP から (イ) と ADP を生成する。次に (イ) はフルクトース 6-リン酸に変換された後に、ホスホフルクトキナーゼ 1 によって (ウ) に変換される。この^(a)ホスホフルクトキナーゼ 1 は ATP やクエン酸によって阻害を受けることが知られている。さらに (ウ) はグリセルアルデヒド 3-リン酸に分解され、^(b)グリセルアルデヒド 3-リン酸デヒドロゲナーゼの作用によって 1,3-ビスホスグリセリン酸とともに NADH を生成する。解糖系ではグルコース 1 分子が代謝される際に ATP (エ) 分子を消費し、ATP (オ) 分子が生成される。この過程で生成されたピルビン酸はミトコンドリアに輸送されたのち、ピルビン酸デヒドロゲナーゼによって (カ) に変換される。

ミトコンドリアの (キ) 上には呼吸鎖複合体の複合体 I から複合体 IV のタンパク質群が存在しており、これらが形成した (ク) の濃度勾配を利用して ATP が生成される。NADH は呼吸鎖複合体のうち (ケ) の基質として用いられる。解糖系で生成された NADH はミトコンドリアの (キ) を透過しない。電子などの輸送にはシャトル系が関与し、これには (コ) シャトルならびに (サ) シャトルが知られている。ミトコンドリア内では^(c)クエン酸サイクルならびに脂肪酸を基質とした (シ) などの一連の反応においても NADH が生成される。

- 1) (ア) から (シ) に最も適した語句又は数値を答えよ。なお、(コ) と (サ) は順不同である。
- 2) 下線部(a)の現象の解糖系における意義を 2 行程度で述べよ。
- 3) 下線部(b)のタンパク質やそれをコードしている遺伝子は、様々な遺伝子の発現量解析における内部標準 (コントロール) としてよく使われている。この理由を 2 行程度で述べよ。

(次ページへ続く)

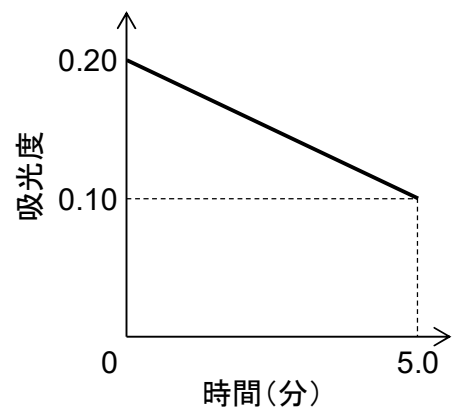
- 4) 好気状態では、グルコースは解糖系の一連の代謝とピルビン酸デヒドロゲナーゼの作用を経て、下線部(c)のクエン酸サイクルで酸化される。このとき、グルコース 1 分子から何分子の NADH が生成されるか、ミトコンドリア輸送前とミトコンドリア輸送後においてそれぞれ答えよ。
- 5) 嫌気状態ではピルビン酸は乳酸デヒドロゲナーゼによって乳酸に変換される。この反応の解糖系に対する役割を 3 行程度で述べよ。

II. 次の文章を読み、以下の 1) ～ 3) の間に答えよ。

シトクロム *c* は分子内に補因子として (ス) を持つタンパク質である。そのために可視領域に大きな吸収帯を持つ。シトクロム *c* は生体内ではミトコンドリア内の呼吸鎖複合体 III と呼吸鎖複合体 IV の (セ) の授受に関わっている。さらにシトクロム *c* は細胞死の一種である (ソ) にも重要な役割を果たしている。(ソ) の初期では、ミトコンドリアに局在していたシトクロム *c* がミトコンドリア外に放出され、続いて(d)前駆体カスパーゼがプロセッシングを受け活性型カスパーゼとなり、細胞死が進行する。

1) 文章中の (ス) ～ (ソ) に入る最も適切な語句を答えよ。

- 2) ミトコンドリアから呼吸鎖複合体 IV であるシトクロム *c* オキシダーゼを精製し、その活性を次のように測定した。シトクロム *c* オキシダーゼ濃度が 10 $\mu\text{g/mL}$ である溶液 1.0 mL に対し、完全に還元したシトクロム *c* を含む溶液 0.50 mL を添加した。その 550 nm における吸光度の経時変化を測定したところ右図のようになった。この時のシトクロム *c* オキシダーゼの比活性を、計算過程と単位を明示して求めよ。ただし、1.0 分間で 1.0 μmol の還元型シトクロム *c* を酸化できる活性を 1.0 unit とし、シトクロム *c* オキシダーゼ 1 mg における活性を比活性 (unit/mg) とする。



なお、酸化に必要な酸素は十分存在し、系内の pH と温度は変わらないものとし、すべての溶液の密度は同一であるとする。550 nm におけるシトクロム *c* オキシダーゼの比活性を求めよ。

(次ページへ続く)

ロム c のモル吸光係数は酸化型が $1.0 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ 、還元型が $21 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ とし、他の吸光度は無視できる。吸光度を測定したセルの光路長は 1.0 cm とする。

- 3) 下線部(d)に関して、活性型カスパーゼと前駆体カスパーゼを分離して検出することで（ ソ ）の進行を評価することがある。活性型カスパーゼを前駆体カスパーゼと分離して検出する方法について2行程度で述べよ。ただしカスパーゼを認識する抗体を用いるものとする。

② 以下のⅠおよびⅡの問に答えよ。

Ⅰ. 次の文章を読み、以下の 1) ～ 3) の問に答えよ。

全ての細胞は (a) 細胞膜により外界と内部が隔てられており、イオンの自由な行き来が阻害されている。細胞膜には濃度勾配に従ってイオンを透過させるチャネルや、エネルギーを使ってイオンを輸送するポンプなど、さまざまなタンパク質が埋め込まれている。ほとんどすべての細胞に存在するナトリウムポンプ (Na^+/K^+ -ATP アーゼ) は、細胞外ナトリウムイオン濃度と細胞内カリウムイオン濃度を高く維持することに寄与している。通常、(b) 神経細胞が静止状態にあるときの静止膜電位は、カリウムイオンの平衡電位に近い。

1) 下線部 (a) に関して、細胞膜の性質や機能に関係した文を下に示した。それぞれの文が正しくなるように、括弧内の語句の中から最も適した語句を 1 つずつ選べ。

- ① 細胞膜は、(全透性／半透性／不透性) の膜である。
- ② (神経成長因子／グルカゴン／エストロゲン) は細胞膜を透過する。
- ③ チャネルやポンプを介さずに細胞内に物質を取り込む機構に (エキソサイトーシス／エンドサイトーシス／ネクローシス) がある。
- ④ 細胞膜にはスフィンゴ脂質とコレステロールに富む (脂質ラフト／アクティブゾーン／デスモソーム) と呼ばれる構造がある。受容体などが集積するこの構造は情報伝達に重要な働きをもつ。
- ⑤ カドヘリンは細胞膜を貫通するタンパク質で (ナトリウム／カリウム／カルシウム) イオンが関与する細胞間の接着で機能する。

(次ページへ続く)

- 2) イオン X の平衡電位は、ネルンストの式により以下の式⑦のように示される。

$$\textcircled{7} \quad E = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

E : 平衡電位 R : 気体定数 T : 温度 z : イオンの価数

F : ファラデー定数

$[X]_o$: 細胞外液のイオン濃度 $[X]_i$: 細胞内液のイオン濃度

式⑦を用いると、37 °Cにおけるカリウムイオンおよびナトリウムイオンの平衡電位は次の式⑧のようになる。細胞内外のそれぞれのイオンの濃度を表のとおりとし、細胞外の電位を 0 mV とする。

$$\textcircled{8} \quad E(\text{mV}) = -\frac{62}{z} \log \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

	カリウム イオン濃度	ナトリウム イオン濃度
細胞外	10 mM	140 mM
細胞内	150 mM	14 mM

カリウムイオンおよびナトリウムイオンの平衡電位 (mV) のそれぞれを、正負を明らかにして、有効数字2桁で求めよ。必要であれば、次の値を用いよ。 $\log 2 = 0.30$ 、 $\log 3 = 0.48$

- 3) 下線部 (b) に関し、静止膜電位の生じるメカニズムを「濃度勾配」、「電気的勾配」、「カリウム漏洩チャネル」という語句を使って、5行程度で説明せよ。

II. 次の文章を読み、以下の1)～3)の問に答えよ。

神経細胞は、核の存在する（ア）、情報を受け取る（イ）、情報を入力する軸索から構成されている。（イ）に入力された情報は、神経細胞内を電気信号として伝わり、最終的には軸索末端から神経伝達物質を放出することにより、次の細胞に伝達されている。軸索末端と次の細胞との間に存在する情報伝達の接触構造は（ウ）と呼ばれており、その伝達効率の変化が記憶や学習の基盤となっている。

また、神経細胞内を伝わる興奮の速度は、脊椎動物では速く、無脊椎動物では遅いことが知られている。この速い伝導は（エ）と呼ばれており、脊椎動物の神経線維に巻き付いている（オ）という構造が重要な役割を果たしている。中枢神経ではオリゴデンドロサイト、末梢神経では（カ）細胞が軸索の周囲を覆い、（オ）を形成している。

(次ページへ続く)

- 1) 文章中の (ア) ～ (カ) に入る最も適切な語句を記せ。
- 2) 哺乳類の神経伝達物質として機能しているものはどれか、下記の中から 5 つ 答えよ。

アセチルコリン アルブミン 一酸化窒素 インスリン
エリスロポエチン グルタミン酸 チロシン フィブリン
ATP EGF (上皮成長因子) GABA (γ -アミノ酪酸)
SNARE (可溶性 NSF 付加タンパク質受容体)

- 3) 神経ネットワークは、細胞が発生した部位からさまざまな場所に移動し形成される。細胞の移動は、その細胞の形質による細胞自律的な機構と、周囲の細胞の形質による非細胞自律的な機構とがある。細胞 X の移動について、野生型マウスと遺伝子 A を全身でノックアウトしたマウスを用いて調べた。野生型マウスの細胞 X を X^{WT} 、遺伝子 A を全身でノックアウトしたマウスの細胞 X を X^{KO} とする。野生型マウスでは細胞 X^{WT} の移動が観察されたが、ノックアウトマウスでは細胞 X^{KO} の移動が観察されなかった。この細胞 X の移動が細胞自律的か非細胞自律的かを調べる手法を 3 行程度で述べよ。

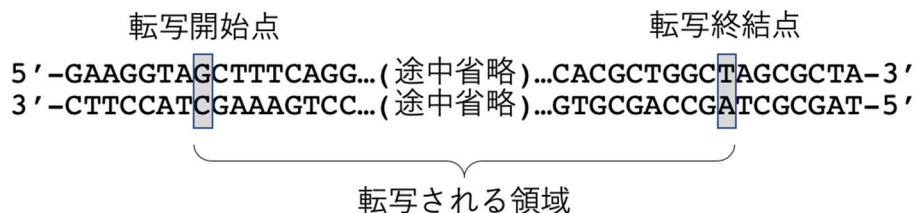
③ 以下の I および II の問に答えよ。

I. DNA に関する次の文章を読み、以下の 1) ～ 4) の間に答えよ。

DNA 分子は、4 種類のヌクレオチドから構成されている。ヌクレオチドは（ ア ）、（ イ ）炭糖、（ ウ ）からなる。モノヌクレオチドの（ エ ）位の炭素と、別のモノヌクレオチドの（ ウ ）基との結合によって、オリゴヌクレオチド主鎖が形成されている。一方、（ ア ）は、モノヌクレオチドの（ オ ）位の炭素から *N*-（ カ ）結合を介してつながっており、もう一方のヌクレオチド鎖との間で（ キ ）的な塩基対を形成することで、二重らせん構造が生じる。

DNA 二重らせん構造では（ ク ）と（ ケ ）の2つの溝構造が存在し、それら溝の底にあたる部分に、各（ ア ）から異なる官能基が提示される。例えば（ ク ）には、グアニンからはカルボニル基が、アデニンからは（ コ ）基がそれぞれ提示される。このように溝構造に現れる官能基の違いが転写因子によって識別される。

- 1) 文章中の (ア) ～ (コ) に入る最も適切な語句を答えよ。
- 2) (エ) 位の炭素についている水酸基を水素に置換したヌクレオチドを用いて DNA 配列を決定する方法の名称を答え、その原理を 3 行程度で説明せよ。
- 3) 以下に示されたゲノム領域から転写される RNA 分子の 5' 末端から 4 番目までの塩基配列を答えよ。



(次ページへ続く)

- 4) 転写因子の DNA 配列結合能を電気泳動によって調べることができる実験手法の名称を 1 つ挙げよ。またこの手法を活用して、異なる 2 つの塩基配列のうち転写因子がどちらにより強く結合するかを調べる手順を 4 行程度で説明せよ。

II. 真核生物と細菌の相違点や分類について以下の 1) ～ 4) の問に答えよ。

- 1) 下の選択肢の中から、真核生物には存在し、細菌には存在しないと考えられているものを 2 つ選び、それぞれの特徴や機能について 2 ～ 3 行で説明せよ。
- 2) 下の選択肢の中から、細菌には存在し、真核生物には存在しないと考えられているものを 2 つ選び、それぞれの特徴や機能について 2 ～ 3 行で説明せよ。
- 3) 下の選択肢の中から、細菌と真核生物の両方に存在しているものを 1 つ選び、その特徴や機能について 2 ～ 3 行で説明せよ。
- 4) 生物分類学における最上階級はドメインと呼ばれ、その数は 3 つある。真核生物と細菌はそれぞれ独立したドメインである。もう 1 つのドメインの名称を答えよ。

【選択肢】

- A) トランスポゾン
- B) ラクトースオペロン
- C) RNA ポリメラーゼ I
- D) ペプチドグリカン層
- E) キネトコア
- F) ヒストン
- G) スクレオシド
- H) ミトコンドリア

④ 以下の I および II の間に答えよ。

I. 次の文章を読み、以下の 1)～3)の間に答えよ。

アミノ酸は、(ア) 基と (イ) 基の両方を持つ有機分子と定義される。遺伝情報に基づくタンパク質の合成に用いられるアミノ酸の多くは (ウ) 型であり、これらのアミノ酸が (エ) 結合を介して重合し、タンパク質が合成される。_(a) タンパク質は分子内の様々な相互作用を介して折りたたまれ、それぞれに特有の立体構造を獲得して機能する。 α ヘリックスや (オ) と呼ばれる 2 次構造は、主鎖の N-H 基と (カ) 基の間の (キ) 結合を介して形成される。 α ヘリックスは、およそ 3.6 個のアミノ酸残基ごとに一周する右巻きのらせん状構造である。_(b) タンパク質の 3 次構造はアミノ酸側鎖部分も含めた様々な分子内相互作用を介して形成される。ジスルフィド結合は、2つの (ク) 残基の (ケ) 基同士の (コ) 反応によって形成され、タンパク質の構造を強固にする。

- 1) 上の文章の (ア) ～ (コ) に入る最も適切な語句を以下の語群から選んで答えよ。なお、同じ語句を 2 度以上使ってはならない。(ア) と (イ) は順不同。

<語群>

O-H、S-H、NH₂、C=O、CO₂H、水素、エステル、ペプチド、高エネルギーリン酸、 β ループ、 β シート、D- α 、L- α 、D- β 、L- β 、酸化、還元、転移、セリン、システイン、リシン

- 2) 下線部(a)について、タンパク質の折りたたみを補助するタンパク質の総称を答えよ。
- 3) 下線部(b)について、タンパク質の 3 次構造の形成に関わる非共有結合を (キ) 結合の他に 2 つ挙げよ。

(次ページへ続く)

Ⅱ. タンパク質の構造と機能に関する以下の 1)～3)の問に答えよ。

- 1) 次を示した 3 つのアミノ酸配列 i、ii、iii は、いずれも実在するタンパク質の一部であり、 α ヘリックス構造をとる。それぞれが形成する α ヘリックスの【構造上の特徴】と【機能】として最も適切なものを下の各選択肢からそれぞれ 1 つずつ選んで答えよ。

<アミノ酸配列 (1 文字表記) >

- i. MSFVSLLLVGILLFWIVATEAE
- ii. MLSLRQSIRFFKPTRTLKSSCRYLL
- iii. SRLEEKCLKTLKSQLTELASTLSLLREQLA

【構造上の特徴の選択肢】

- 1. 親水性アミノ酸残基に富む領域を含んでいる
- 2. 疎水性アミノ酸残基に富む領域を含んでいる
- 3. α ヘリックスの片面にロイシン残基が並んでいる
- 4. α ヘリックスの片面に塩基性アミノ酸残基が偏って存在している
- 5. α ヘリックスの片面に酸性アミノ酸残基が偏って存在している

【機能の選択肢】

- a. 二量体化ドメインとして機能する
- b. 分解シグナルとして機能する
- c. ミトコンドリアへの移行シグナルとして機能する
- d. 小胞体への移行シグナルとして機能する
- e. 核への移行シグナルとして機能する

- 2) 一倍体酵母細胞内でタンパク質 A とタンパク質 B は複合体を形成する。タンパク質 A にのみ変異が生じた結果、タンパク質 A の量は変化しなかったが、タンパク質 B の量が減少した。これについて考えられる理由を 1 つ挙げ、3 行程度で述べよ。
- 3) マウス培養細胞の増殖に必須の酵素複合体 X がある。この複合体は、酵素 Y とその活性に必要なタンパク質 Z からなる。触媒残基の置換により酵素活性を失った酵素 Y (タンパク質 Z との複合体形成能は正常である) を細胞に過剰に発現させると、野生型の酵素 Y とタンパク質 Z の発現量は維持されていたにもかかわらず、その細胞の増殖速度は低下した。これについて考えられる理由を 1 つ挙げ、3 行程度で述べよ。

⑤ 以下の I ～ III の間に答えよ。

I. 化合物 **A**～**C** は $C_4H_6O_2$ の分子式をもつ非環状化合物である。**A**～**C** について、化学構造から予測される 1H NMR および ^{13}C NMR スペクトルのピーク位置を以下に示す。ここで化学シフト値はテトラメチルシラン (TMS) を標準物質としたときの値である。**A**～**C** の化学構造式を描け。

化合物 **A**

1H NMR : δ 2.2 ppm (6 プロトン, 一重線)

^{13}C NMR : δ 196.5 ppm, 22.7 ppm

化合物 **B**

1H NMR : δ 5.2 ppm (2 プロトン, 幅広い一重線), 4.2 ppm (4 プロトン, 一重線)

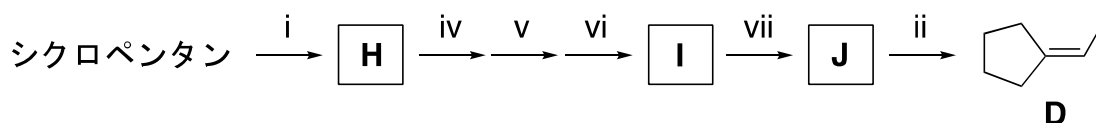
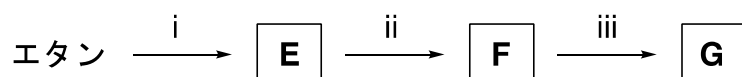
^{13}C NMR : δ 83.7 ppm, 51.1 ppm

化合物 **C**

1H NMR : δ 7.3 ppm (1 プロトン, 二重線の二重線, $J = 16.8$ Hz, 10.0 Hz), 4.9 ppm (1 プロトン, 二重線の二重線, $J = 16.8$ Hz, 2.1 Hz), 4.6 ppm (1 プロトン, 二重線の二重線, $J = 10.0$ Hz, 2.1 Hz), 2.1 ppm (3 プロトン, 一重線)

^{13}C NMR : δ 168.0 ppm, 141.2 ppm, 97.4 ppm, 20.8 ppm

II. アルケン **D** の合成に関する次の一連の反応について、以下の間に答えよ。

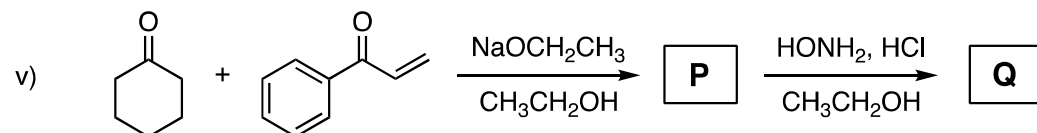
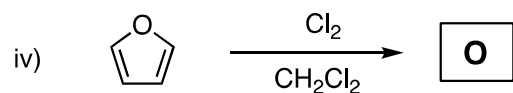
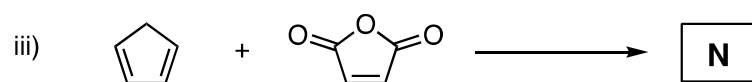
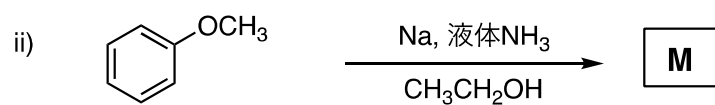
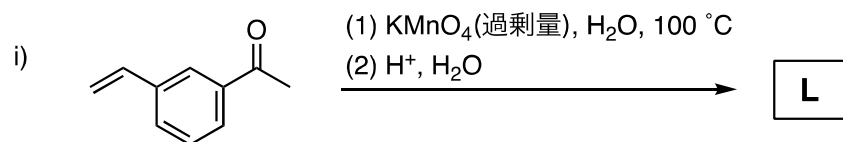


<反応条件> i) Br_2 , 光; ii) $NaOH$; iii) クロロクロム酸ピリジニウム; iv) Mg ; v) 化合物 **G**; vi) H_2O, H^+ ; vii) PBr_3

- 1) 化合物 **G** として最も適切な化合物の化学構造式を描け。
- 2) 化合物 **I** として最も適切な化合物の化学構造式を描け。
- 3) 化合物 **J** からアルケン **D** に至る工程において、副生成物としてアルケン **K** が次に多く得られた。**K** として最も適切な化合物の化学構造式を描け。

(次ページへ続く)

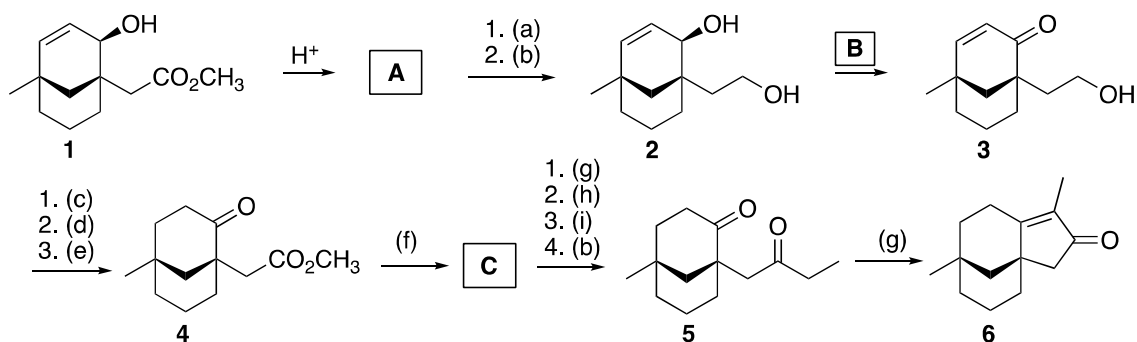
III. 次の反応 i) ～ v) において、主生成物として得られる化合物 **L**～**Q** の化学構造式を描け。ただし、化合物 **N** については、立体化学がわかるように描け。



分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}$ で
表される化合物

⑥ 以下の I ～ III の間に答えよ。

I. 次の合成スキームは、セスキテルペンであるクロベンの全合成経路の一部を示したものである。



1) 分子式 $C_{12}H_{16}O_2$ で表される化合物 **A** の化学構造式を描け。

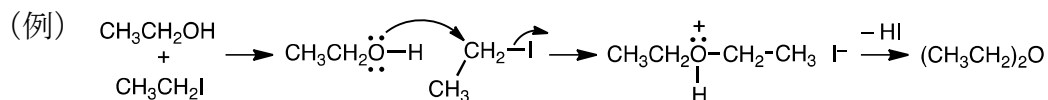
2) (a)～(i)に最も適した試薬を次の試薬群から 1 つずつ選び、それぞれ答えよ。

(ア) $SOCl_2$ (イ) $LiAlH_4$, ether (ウ) $NaOH$, H_2O (エ) CH_3OH , H^+
 (オ) H^+ , H_2O (カ) $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , H_2O (キ) $(CH_3CH_2)_2CuLi$, ether
 (ク) $HOCH_2CH_2OH$, H^+ (ケ) H_2 , Pd/C

3) 化合物 **2** から化合物 **3** では、アリル型 OH 基が選択的に α,β -不飽和ケトンへと酸化されている。この変換反応に最も適切な酸化剤 **B** を答えよ。

4) 化合物 **4** から化合物 **5** に変換する場合、求電子的反応性の高いケトン基を保護する必要がある。(f)の条件で保護された化合物 **C** の化学構造式を描け。

5) 化合物 **5** から化合物 **6** が生成する反応機構を描け。記載する際は、下記の例にならうこと。



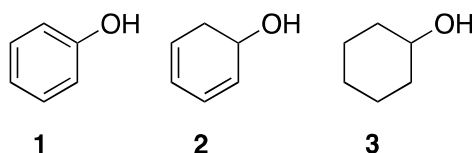
(次ページへ続く)

II. 以下に示す化合物 (a) ～ (c) を HBr と反応させるとき、(i) 過酸化水素共存下と (ii) 過酸化水素非共存下で得られる主生成物の化学構造式をそれぞれ描け。

- (a) 1-ヘプテン
 (b) 2-メチル-2-ヘキセン
 (c) シクロヘキセン

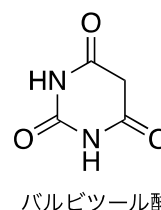
III. 次の記述 1～6 の中に正しいものが 1 つまたは 2 つある。その番号を答えよ。

1. 次の 3 つの化合物の中で、最も温和な条件下で脱水反応が起きるのは、化合物 **3** である。

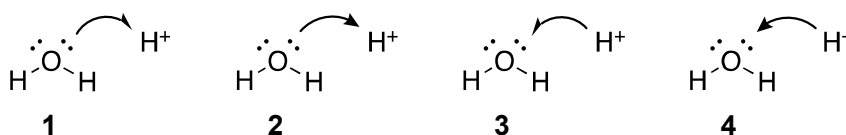


2. 液体アンモニア中、4-ブロモトルエンに NaNH_2 を反応させると主に 3 種類の生成物が得られる。

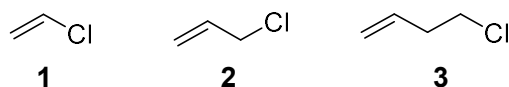
3. バルビツール酸には、芳香族性を示す互変異性体が存在する。



4. 水分子がプロトン化される際の電子の動きを曲がった矢印で表した図として最も正確なのは次の **1**～**4** のうち **4** である。



5. 次の化合物 **1**～**3** のうち、 $\text{S}_{\text{N}}1$ 型の求核置換反応が最も速く進行するのは、化合物 **2** である。

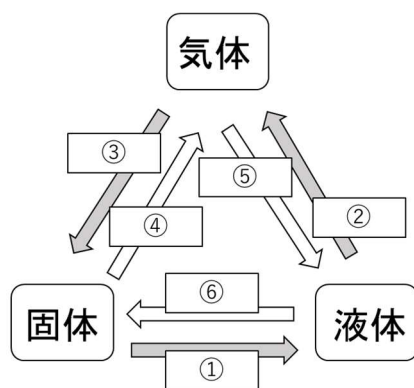


6. アルケンのアニオン重合は酸により開始される。

- ⑦ 物質の相平衡に関するⅠ～Ⅶの問に答えよ。解答用紙は2枚まで使ってもよい。

ギブズエネルギーを G 、エンタルピーを H 、エントロピーを S 、内部エネルギーを U 、体積を V 、温度を T 、圧力を p 、気体定数を R とする。

- Ⅰ. 以下の図中の①から⑥にあてはまる、物質の相変化を表す語句を答えよ。またそれぞれの過程が、「発熱」か「吸熱」のいずれであるかを答えよ。

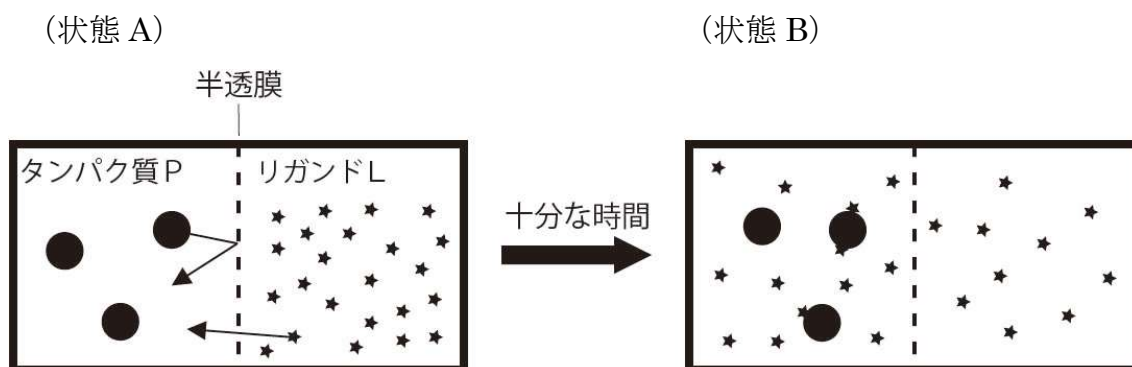


- Ⅱ. エンタルピーとギブズエネルギーの定義式を、それぞれ記せ。
- Ⅲ. 閉鎖系で非膨張仕事をしないとき、Ⅱの定義式を用いてギブズエネルギーの変化が以下の式で表せることを導け。ただし、系と外界の圧力は同じとする。
- $$dG = Vdp - SdT$$
- Ⅳ. ある物質の p と T を微小変化させたときの、モルギブズエネルギー変化は、 $dG_m = V_m dp - S_m dT$ で表せる。ここで、モルギブズエネルギーを G_m 、モルエントロピーを S_m 、モル体積を V_m とする。温度一定の条件下、完全気体の圧力が p_1 から p_2 まで変化したときのモルギブズエネルギー変化 ($\Delta G_{m,T}$) を、 V_m を使わないで表す式を導け。
- Ⅴ. 温度一定の条件下における、完全気体の p に対するモル体積 V_m の関係を図示し、圧力が p_1 から p_2 まで変化したときの $\Delta G_{m,T}$ を図中に示せ。

(次ページへ続く)

- VI. 圧力一定の条件下、ある物質の温度が T_1 から T_2 まで変化したときのモルギブズエネルギー変化 ($\Delta G_{m,p}$) を表す式を導け。ただし、この温度領域で物質のモルエントロピーは変化しないものとする。
- VII. ある物質のモルエントロピーが各相において一定のとき、圧力一定の条件下、 G_m の温度変化を 3 相それぞれについて、横軸を T 、縦軸を G_m として一つのグラフに描き、融点と沸点を図中に示せ。

- ⑧ タンパク質 P とそれに結合するリガンド L との相互作用解析実験に関する以下の I ～VIIの間に答えよ。解答用紙は 2 枚まで使っても良い。



一定体積のタンパク質 P 溶液（濃度 C_{PI} ）と、それと同じ体積のリガンド L 溶液（濃度 C_{LI} ）を状態 A のようにリガンド L のみが透過できる半透膜で仕切られたチャンバーに封じ、十分な時間透析を行い平衡に達した後（状態 B）、状態 B の右室の遊離リガンド L の濃度 C_{LF} を測定した。状態 B の左室において、 C_{PF} はリガンド L を結合していないタンパク質 P の結合部位の濃度、 C_{LB} はタンパク質 P に結合したリガンド L の濃度とする。

透析過程での体積変化、タンパク質 P へのリガンド結合の協同的相互作用、タンパク質 P とリガンド L 間以外の相互作用はないものとする。また、1 分子のリガンド L に複数のタンパク質 P が結合することはないものとする。

- I. タンパク質 P とリガンド L の結合定数 K を式で表せ。
- II. タンパク質 P にはリガンド L の結合部位が n 個あるとして、 C_{PF} を、全タンパク質濃度 C_{PI} を含む式で表せ。
- III. I、II の式から C_{LB} を C_{PF} を含まない式で表せ。
- IV. 1 分子のタンパク質 P に結合しているリガンド分子数の平均値 r を導け。ただし、 $r = C_{LB} / C_{PI}$ とする。
- V. IV で導いた式を変形し、 r / C_{LF} を、 K と n と r を用いて表せ。

（次ページへ続く）

- VI. Vで求めた式は、**Scatchard** 式と呼ばれ、実験データに基づき r/C_{LF} を r に対してプロットした **Scatchard** プロットの基となる式である。プロットした点を通る直線の横軸上の切片、縦軸上の切片、および傾きを、 K か n 、あるいは、その両方を用いて表せ。
- VII. 実験により以下の表に示す値が得られた。これを用いて **Scatchard** プロットを描き（4点全て示すこと）、タンパク質 P の n 、および、タンパク質 P とリガンド L の $K(\text{L mol}^{-1})$ を求めよ。

$C_{\text{LF}}(\text{mol L}^{-1})$	$C_{\text{LB}}/C_{\text{PI}}$
1.66×10^{-7}	1.00
3.00×10^{-7}	1.50
5.00×10^{-7}	2.00
1.50×10^{-6}	3.00