

2026 年度 4 月 入学  
室蘭工業大学大学院工学研究科  
博士前期課程入学試験(一般入試二次)

## 学力試験問題

環境創生工学系専攻 化学生物工学コース  
情報電子工学系専攻 共創情報学コース A 系  
専門科目(化学生物基礎)

### 第 1 日

#### 注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は、この表紙を含め合計 7 枚あります。試験開始後、問題用紙の不足や印刷の不良に気づいた場合は、直ちに監督員に申し出てください。問題冊子は持ち帰って構いません。
3. 次の 6 科目すべてに解答してください。
  - A-1 [物理化学]
  - A-2 [無機分析化学]
  - A-3 [有機化学]
  - A-4 [生物化学]
  - A-5 [生物工学]
  - A-6 [プロセス工学]
4. 答案用紙は 6 枚です。各科目に答案用紙を 1 枚使用してください。各答案用紙に科目名、受験番号を必ず記入してください。6 科目すべての科目の答案用紙を提出してください。氏名を記入してはいけません。解答スペースが不足する場合は、裏面にも記載があることを明記した上で、裏面を使ってください。
5. 草案用紙は 1 枚です。草案用紙は持ち帰って構いません。

## A-1 [物理化学](50 点)

[1] ある元素 X には質量数が異なる 3 種類の安定同位体  ${}^A_2X$ ,  ${}^B_2X$ ,  ${}^C_2X$  が存在し, これらの自然界における存在比が  $p:q:r$  ( $p > 0, q > 0, r > 0$ ) であるとする. さらに,  $A < B < C$  かつ  $A + C \neq 2B$  であるとして以下の問い (1) ~ (5) に答えよ.

- (1)  ${}^C_2X$  の陽子数を答えよ.
- (2)  ${}^B_2X$  の中性子数を答えよ.
- (3)  ${}^A_2X$  の陰イオン  ${}^A_2X^-$  の電子数を答えよ.
- (4)  ${}^A_2X$  1 mol の質量を  $M$  g とする. 元素 X の原子量を求めよ. ただし, 陽子と中性子の質量は等しいものとし, 質量欠損と電子の質量は無視してよい.
- (5) 自然界に元素 X からなる分子  $X_2$  が存在するとき, 質量の異なる分子  $X_2$  は何種類存在するか答えよ.

[2] 25 °C, 10<sup>5</sup> Pa の定圧条件における 1 mol のメタンの完全燃焼反応について, 以下の問い (1) ~ (4) に答えよ. なお, 生成物はすべて気体であるとし, 必要に応じて次の 25 °C における標準生成エンタルピー値を用いよ.

$$\Delta_f H^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) = -74 \text{ kJ mol}^{-1}, \quad \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = -393 \text{ kJ mol}^{-1}, \quad \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -241 \text{ kJ mol}^{-1}$$

- (1) この反応の反応式を記せ.
- (2) この反応の標準反応エンタルピー  $\Delta_r H^\circ$  を  $\Delta_f H^\circ(\text{CH}_4(\text{g}))$ ,  $\Delta_f H^\circ(\text{CO}_2(\text{g}))$ ,  $\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))$ ,  $\Delta_f H^\circ(\text{O}_2(\text{g}))$  の記号を用いてあらわせ. ただし  $\Delta_f H^\circ(\text{O}_2(\text{g}))$  は 25 °C における気体の酸素の標準生成エンタルピーである.
- (3)  $\Delta_f H^\circ(\text{O}_2(\text{g}))$  の値を答えよ.
- (4) この反応の標準反応エンタルピー  $\Delta_r H^\circ$  の具体的な数値を求めよ.

## A-2 [無機分析化学](50点)

[1] 以下の文章を読み、問い(1)～(3)に答えよ。

硫黄は、原子番号が(①)であり、酸素と同族の元素である。通常、硫黄は化合物中で(②)から(③)の範囲の酸化数をとる。酸化数が(②)の硫黄化合物の例としては硫化水素がある。硫化水素は、石油留分の水素化脱硫プロセスの生成物として発生する。硫化水素は有用な化学原料にならず、有毒であるため、後段のクラウスプロセスで処理される。このクラウスプロセスでは、硫化水素の一部を酸素により酸化することで(④)とし、硫化水素と(④)を反応させることにより(⑤)が得られる。

硫黄の酸化数が(③)をとる化合物としては硫酸があり、硫酸中の硫黄は(⑥)混成軌道をとるため、硫酸イオンは(⑦)型構造をとる。(⑧)や $V_2O_5$ を触媒として用いる工業プロセスにより硫酸は製造される。これらの触媒を用いた反応では、(④)を酸素で酸化し、(⑨)に転換することができる。さらに、この(⑨)を濃硫酸に吸収させることで硫酸が得られる。このように得られた硫酸の一部は、(⑩)と反応させることで、肥料として使用される。

語群：8, 16, 32, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6,  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2S_2O_3$ , S,  $H_2O$ , NaOH,  $NH_3$ , Pt, Ni, sp,  $sp^2$ ,  $sp^3$ ,  $sp^3d^2$ , 直線, 折れ線, 正四面体, 平面四角形

(1) 上記文章中の空欄(①)～(⑩)に当てはまる適切な数字や語などを語群から選び、答えよ。

(2) 硫化水素中の H-S-H 結合の角度は、四面体型構造から推測される  $109.5^\circ$  よりも小さい角度になる。この理由を、「非共有電子対」および「共有電子対」を用いて説明せよ。

(3) 硫酸中の S と同じ混成軌道をとるものを下記(a)～(d)の中から選べ。

(a)  $SiH_4$  中の Si, (b)  $Si_2H_4$  中の Si, (c)  $C_2H_2$  中の C, (d)  $XeF_4$  中の Xe

[2] 以下の文章を読み、問い(1)～(3)に答えよ。

弱酸である二塩基酸  $H_2A$  のみが溶解した希薄な水溶液の pH について考える。この  $H_2A$  の酸解離定数を 1 段目のプロトン解離は  $K_{a1}$ 、2 段目のプロトン解離は  $K_{a2}$  とする。ここで  $X$  である場合、ほとんど  $H_2A$  からの 2 段目のプロトン解離は起こらないと見なせるため、1 段目の反応のみを考えるだけで pH を計算できる。

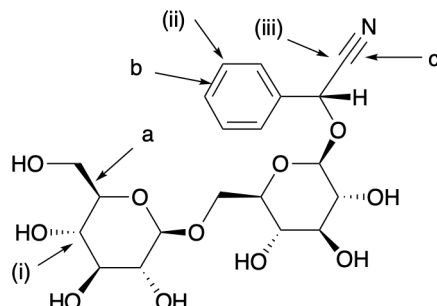
(1)  $H_2A$  の 1 段目のプロトン解離および 2 段目のプロトン解離を、それぞれ化学反応式で記せ。

(2)  $H_2A$  の  $K_{a1}$  と  $K_{a2}$  を(1)で記した物質の濃度を用いて表せ。

(3) 文章中の  $X$  に当てはまる適切な  $K_{a1}$  と  $K_{a2}$  の関係性を答えよ。

## A-3 [有機化学](50点)

[1] 次の分子(アミダグリン)の結合状態について以下の問い(1), (2)に答えよ。



(1) 矢印で示された原子(i)~(iii)の混成状態を次の(A)~(D)からそれぞれ選べ。また、原子(i)~(iii)の原子の周りのおおよその結合角を(E)~(H)からそれぞれ選べ。

混成状態: (A)  $sp^3$  混成      (B)  $sp^2$  混成      (C)  $sp$  混成      (D) 混成していない

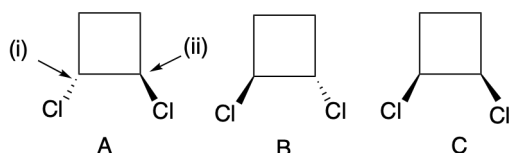
結合角: (E)  $180^\circ$       (F)  $120^\circ$       (G)  $109.5^\circ$       (H)  $90^\circ$

(2) a, b, c の結合について、結合距離の長い順に左から記号で書け。

[2] 次の分子 A~D のうちで分子全体として双極子モーメントを持たないものを記号で書け。

A. bromobenzene      B. *o*-dibromobenzene      C. *m*-dibromobenzene      D. *p*-dibromobenzene

[3] 以下の化合物 A~C について以下の問い(1)~(4)に答えよ。



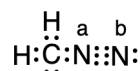
(1) 化合物 A において、矢印で示された不斉炭素 (i) と (ii) の絶対配置を *R* または *S* でそれぞれ示せ。

(2) 互いにエナンチオマーの関係にある化合物の組み合わせを記号で示せ。

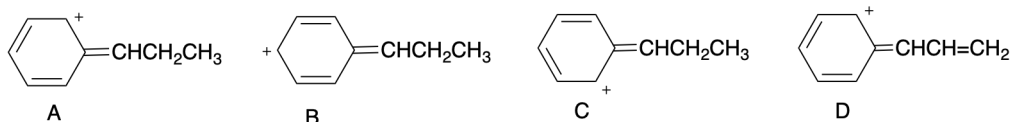
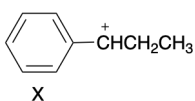
(3) A とジアステレオマーの関係にある化合物を記号で示せ。

(4) メソ体の化合物を記号で示せ。

[4] 次の化学種に含まれる a と b で示された 2 つの窒素原子の形式電荷をそれぞれ示せ。



[5] 次の陽イオン X の共鳴寄与式のうち、正しくないものを A~D から記号で書け。



## A-4 [生物化学](50点)

[1] 次の文章はアミノ酸とタンパク質について説明したものである。空欄 (A) ~ (F) に入る適当な数字または語句を記せ。

(1) アミノ酸のような双性イオン化合物において、正負の電荷が釣り合う pH を (A) という。酸性アミノ酸と塩基性アミノ酸とでは、(A) は (B) アミノ酸のほうが高い。

(2) (C) やタンパク質はアミノ酸が (C) 結合で結合した直鎖状分子である。タンパク質の一次構造から二次以上の構造を予測するために、近年、AlphaFold などの情報技術が用いられている。一次構造とは直鎖状分子内における (D) のことであり、(D) は計算機上の文字列として扱うことができる。

(3) SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) は、分子量に基づいてタンパク質を分離する方法である。還元剤の 2-メルカプトエタノールと陰イオン界面活性剤のドデシル硫酸ナトリウム (SDS) がタンパク質の立体構造を破壊する。この現象をタンパク質の (E) という。さらに、SDS に由来する負電荷によってタンパク質自身の電荷は覆われる。その結果、タンパク質は全体として陰性に荷電し、ゲル中を分子ふるい効果に従って陽極方向に移動する。分子量 200 kD, 100 kD と 50 kD の 3 種のタンパク質を SDS-PAGE によって分離する場合、電荷をかけた時の移動距離が最も長いのは (F) kD のタンパク質である。

[2] 次の文章は核酸について説明したものである。空欄 (A) ~ (D) に入る適当な数字、記号または塩基配列を記せ。

(1) 塩基配列 5'-AATGCATGAC-3' を持つ一本鎖 DNA に相補的な RNA 鎖の塩基配列は 5'- (A) -3' である。

(2) 以下に示す塩基配列の二本鎖 DNA $\alpha$  と二本鎖 DNA $\beta$  が存在する時、 $\alpha$  の GC 含量は (B) %,  $\beta$  の GC 含量は (C) % である。 $\alpha$  と  $\beta$  とでは、融解温度は (D) のほうが高い。

二本鎖 DNA $\alpha$     5'-AATGCATGACGATCGAATGA-3'

二本鎖 DNA $\beta$     5'-AAGGCATGCCTACCGTACCG-3'

[3] 次の文章は糖質について説明したものである。空欄 (A) ~ (E) に入る適当な語を記せ。

(A) 結合とは、糖分子と別の有機化合物とが脱水縮合して形成する共有結合である。糖同士は (A) 結合によって鎖状につながる。多糖は生物学的に貯蔵や構造において役割を持つが、多糖の結合様式はやや複雑である。

貯蔵多糖としては、植物にはグルコースの多糖である (B) がある。(B) は、グルコースが  $\alpha$ -1,4 結合した直鎖状の高分子化合物の (C) と、 $\alpha$ -1,4 結合した直鎖に  $\alpha$ -1,6 結合の枝分かれがある高分子化合物の (D) から構成される。動物には (D) に似た構造をもつ (E) がある。生物は、これらの多糖を加水分解酵素によって単糖に分解し、エネルギー源として利用する。

## A-5 [生物工学](50点)

[1] 次の文章を読み、以下の問い(1)、(2)に答えよ。

遺伝子のコード領域にある遺伝情報はタンパク質の(ア)である。DNA上にあるこの情報は、まず転写の過程で(イ)に写し取られる。真核生物では、その(イ)は当初、遺伝情報が含まれてない(ウ)を持つことが多いが、それは(エ)で除去され、成熟した(イ)になる。その後、(イ)はそこから(オ)に移動し、遊離型の(カ)や小胞体の上にある(カ)に結合する。ここで、(イ)に写された遺伝情報が(ア)に変換される翻訳が始まり、3つの塩基(コドン)が1つのアミノ酸を規定する。各コドンに対応するアミノ酸は、(オ)にある(キ)によって(イ)まで運ばれる。遺伝情報は、このようにDNAからRNAへの転写、RNAからタンパク質への翻訳という2段階を経て発現する。この一方向性の流れは、セントラルドグマとよばれている。

(1) 文章中の(ア)～(キ)に当てはまる適切な語を下の語群から選んで答えよ。

【語群】

核内	細胞質	細胞膜	アミノ酸配列	リソソーム	リボソーム
mRNA	rRNA	tRNA	エキソン	イントロン	ゴルジ体

(2) 翻訳によって以下のペプチドが合成される際に、翻訳の鋳型となったRNA鎖の塩基配列、および転写の鋳型となったDNA鎖の塩基配列を答えよ。なお、Metに対応するDNAのコドンはATGであり、Leuに対応するDNAコドンはCTTである。また、塩基配列は5'→3'の順番に記載すること。

Met - Leu - Met - Leu

[2] 細胞周期に関する次の文章を読み、文章中の(ク)～(セ)に当てはまる適切な語、または記号(略号)を答えよ。

細胞周期において、真核細胞は増殖時にDNAを(ク)し、その倍加したDNAを2つの(ケ)細胞に均等に(コ)する、というサイクルを繰り返す。細胞周期は基本的に4つに区分される。つまり、DNAが(ク)されるS期、染色体(コ)と細胞質分裂が起こるM期、S期が終わってからM期が始まるまでの間の(サ)期、M期が完了した後からS期が始まるまでの間の(シ)期である。M期以外の期間はまとめて(ス)期とよばれることがある。

また、細胞は細胞の特性、あるいは周囲の環境に応じて、細胞周期を繰り返して増殖を続けるか、または細胞周期のサイクルから外れて(セ)期に入るかの選択を主に(シ)期に行う。

[3] 酵素反応に関する記述のうち、正しくないものはどれか。1つ選び、その理由を簡潔に述べよ。

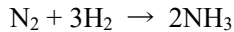
- ① 酵素に基質が結合すると、一般に酵素の立体構造(コンホメーション)は変化する。
- ② 酵素反応において競合的阻害剤が存在する場合、見かけの $K_m$ (ミカエリス定数)は、阻害剤非存在下と比べて低下する。
- ③ ヨード酢酸や重金属イオンによる酵素の不可逆的阻害では、基質濃度を高めても阻害の程度は変化しない。
- ④ シアン化物イオンは、シトクロムc酸化酵素の活性中心に存在する金属イオンに結合し、酵素活性を低下させる。

## A-6 [プロセス工学] (50点)

[1] 以下の文章 A, B をよく読んで問い (1) ~ (7) に答えよ.

A

混合器で窒素と水素を、物質質量 (モル) 比が 1:3 となるように調整した混合ガスを加圧, 加熱して反応器へ供給する. 反応器において窒素と水素を触媒に作用させると次のような反応によりアンモニアが得られる:



反応器から出る混合ガスを分離器へ送り, そこで減圧, 冷却し, アンモニアを凝縮させ, アンモニア液と他の成分の混合ガスを分離する. 分離した後の混合ガスの成分は窒素と水素であり, 当該ガスをリサイクルする. すなわち, 混合ガスを混合器へ戻し, 外部から供給する窒素と水素の混合ガスとともに反応器へ入れる. 反応器では, 上の式で表される反応のみが起こるとする.

- (1) プロセスのフローシートを, 混合器, 反応器および分離器それぞれの装置における物質の出入りを併記して描け.

B

A で記述したプロセスにおいて反応器へ供給する窒素の流量を  $100 \text{ kmol h}^{-1}$  とし, アンモニア液を流量  $680 \text{ kg h}^{-1}$  で得る. 定常状態にあるこのようなプロセスについてプロセス計算を行う. 計算には原子量: 窒素 (N) =14, 水素 (H) =1 を用いよ.

- (2) 外部から供給する窒素のモル流量 ( $\text{kmol h}^{-1}$ ) を  $F$  としてプロセス入口出口の間で質量基準の物質収支式を記せ.
- (3) 外部から供給する窒素と水素それぞれのモル流量 ( $\text{kmol h}^{-1}$ ) を計算せよ.
- (4) リサイクルされる窒素と水素それぞれのモル流量 ( $\text{kmol h}^{-1}$ ) を計算せよ.
- (5) 反応器における窒素の消費速度 ( $\text{kmol h}^{-1}$ ) の大きさを  $x$  として窒素について反応器入口出口の間で物質基準の物質収支式を記せ.
- (6) 反応器における窒素の単通転化率を計算せよ.
- (7) プロセスでの窒素の総括転化率を計算せよ.

2026 年度 4 月入学  
室蘭工業大学大学院工学研究科  
博士前期課程入学試験(一般入試二次)

学力試験問題

環境創生工学系専攻 化学生物工学コース  
情報電子工学系専攻 共創情報学コース A 系

専門科目

第 2 日

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は、この表紙を含め合計 9 枚あります。試験開始後、問題用紙の不足や印刷の不良に気づいた場合は、直ちに監督員に申し出てください。問題冊子は持ち帰って構いません。
3. 次の 6 科目から 3 科目を選択して解答してください。
  - B-1 [物理化学]
  - B-2 [無機分析化学]
  - B-3 [有機化学]
  - B-4 [生物化学]
  - B-5 [生物工学]
  - B-6 [プロセス工学]
4. 答案用紙は 3 枚です。各科目に答案用紙を 1 枚使用してください。各答案用紙に科目記号、科目名、受験番号、選択問題記号(受験する科目に選択問題がある場合)を必ず記入してください。氏名を記入してはいけません。解答スペースが不足する場合は、裏面にも記載があることを明記した上で、裏面を使ってください。
5. 選択問題がある場合は、指定された問題数だけ解答してください。
6. 試験終了後、すべての答案用紙を提出してください。
7. 草案用紙は 1 枚です。草案用紙は持ち帰って構いません。

## B-1 [物理化学](100 点)

以下の [1] ~ [3] の問いに答えよ。なお、気体定数  $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  とし、必要であれば  $\ln 2.00 = 0.693$ ,  $\ln 3.00 = 1.10$ ,  $\ln 5.00 = 1.61$  であるとして計算せよ。

[1] ある溶液中の反応  $X \rightarrow Y$  について、 $X$  の初期濃度が  $[X]_0 = 8.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ 、反応開始 20.0 min 後の  $X$  の濃度が  $[X]_{20} = 4.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  となった。以下の問い (1), (2) に答えよ。

- (1) この反応が  $X$  の一次反応である場合、この反応の一次反応速度定数  $k_1$  を求めよ。また、この反応を開始してから  $X$  の濃度が  $[X]_{t_1} = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  になるまでにかかる時間  $t_1$  を求めよ。
- (2) この反応が  $X$  の二次反応である場合、この反応の二次反応速度定数  $k_2$  を求めよ。また、この反応を開始してから  $X$  の濃度が  $[X]_{t_2} = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$  になるまでにかかる時間  $t_2$  を求めよ。

[2] ある純粋な溶媒の凝固点と沸点を精密に測定したら、それぞれ  $-23.58^\circ\text{C}$  および  $76.83^\circ\text{C}$  であった。この液体 200 g に 1.28 g の化合物  $Z$  を完全に溶解させた。得られた溶液の凝固点を精密に測定したら  $-25.08^\circ\text{C}$  であった。ただし化合物  $Z$  は溶液中で解離や会合をおこさないとする。この溶媒の凝固点降下定数が  $K_f = 30.0 \text{ K kg mol}^{-1}$  であるとして、以下の問い (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) この溶液中の化合物  $Z$  の質量モル濃度  $C$  を凝固点降下の結果から求めよ。
- (2) この溶媒の沸点上昇定数  $K_b = 4.00 \text{ K kg mol}^{-1}$  であるとして、この溶液の沸点を求めよ。
- (3) 化合物  $Z$  のモル質量を求めよ。

[3] ベンゼン (BE) とトルエン (TO) の混合物は理想溶液と考えてよいとして以下の問い (1) ~ (3) に答えよ。ただし、315 K における純粋な BE および TO の蒸気圧をそれぞれ  $P_{\text{BE}}^* = 26.4 \text{ kPa}$  および  $P_{\text{TO}}^* = 8.65 \text{ kPa}$  とし、気相中の BE および TO は理想気体とみなせるとする。

- (1) 1.00 mol の BE と 1.00 mol の TO との 315 K における混合によるギブズエネルギー変化を示せ。
- (2) 1.00 mol の BE と 1.00 mol の TO との混合溶液の 315 K における全蒸気圧を求めよ。
- (3) (2) の混合溶液と平衡にある気相 (BE と TO の混合気体) 中の BE のモル分率を求めよ。

## B-2 [無機分析化学](100点)

[1] 第2族および第12族に属する金属元素 W, X, Y, Z がある。これらを特定し、その化学的性質を調べるために以下の実験1～5を行った。(1)～(4)の問いに答えよ。

【実験1】W, X, Y, Z の4つの元素の塩化物溶液(それぞれ  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ ) に希硫酸を加えたところ、X と Y で白色沈殿が生じたが、W と Z では沈殿が生じなかった。

【実験2】X と Y の混合溶液を中性条件に保ち、クロム酸カリウム溶液を加えたところ、X のみが沈殿した。

【実験3】元素 Z の塩化物溶液に少量の水酸化ナトリウム水溶液を加えると白色沈殿が生じたが、ここに過剰のアンモニア水を加えると、錯イオンを形成して沈殿が完全に溶解した。また、生じた白色沈殿に過剰の水酸化ナトリウムを加えていくと沈殿は溶解し無色の液体となった。

【実験4】元素 Y の塩化物をガスバーナーの炎の中に入れると、紅色の炎色反応が観察された。

【実験5】元素 W は、その酸化物 WO をセラミックス材料として用いる時、少量の異なる価数の不純物を加えることで電気伝導性が変化することが知られている。

- (1) 元素 W, X, Y, Z を、それぞれ元素記号で答えよ。
- (2) 実験3について、(I), (II) の問いに答えなさい。
  - (I) 生じた白色沈殿(水酸化物)の化学式(示性式)を答えよ。
  - (II) 過剰のアンモニアを加えることで生成し溶解する錯イオンの化学式(示性式)を答えよ。
- (3) 元素 X の硫酸塩の溶解度積  $K_{sp}$  は温度が高くなるほどその値が大きくなることがわかっている。温度が上がるとこの硫酸塩は「溶けやすくなる」か「溶けにくくなる」かを答えよ。
- (4) 元素 Y の炭酸塩  $\text{YCO}_3$  を加熱すると二酸化炭素を放出して酸化物 YO になる。この化学反応式を示せ。

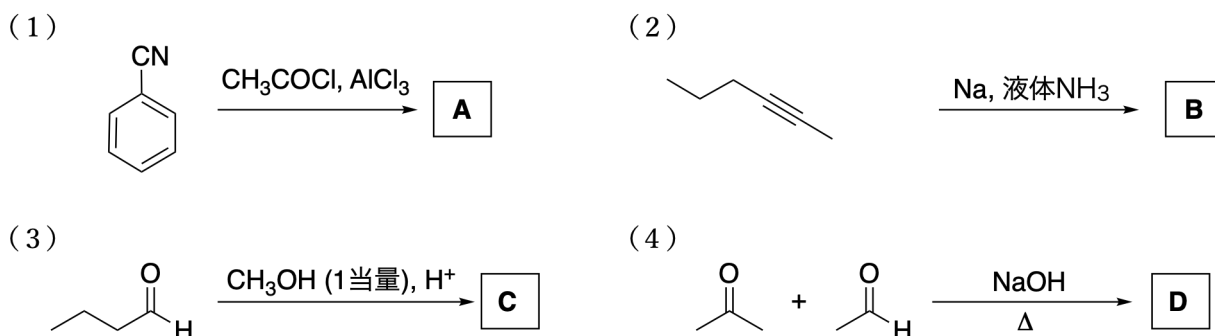
[2] 金属 M および D について以下の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

酸化物である化合物 A は、第4周期の遷移金属 M の酸化物 ( $\text{MO}_2$ ) であり、ルチル型の結晶構造をとる。A および金属 D の酸化物 (DO) は白色の粉末で、光を照射することで有機物を分解する機能をもつ。いっぽう、金属 D の硫化物である化合物 T は、化学式 DS であり、閃亜鉛鉱型の結晶構造をとる。この構造では、硫化物イオン  $\text{S}^{2-}$  が面心立方格子をつくり、その内部にある四面体空隙の半分に金属イオン  $\text{D}^{2+}$  が配置されている。

- (1) M および D を元素記号で答えよ。
- (2) 化合物 A ( $\text{MO}_2$ ) の  $\text{M}^{4+}$  サイトの一部を、より価数の大きい  $\text{Nb}^{5+}$  (ニオブ) で置換すると、電気伝導性が增大する。このように、負の電荷をもつ電子がキャリアとなる半導体を何型半導体と呼ぶか答えよ。
- (3) 化合物 T (閃亜鉛鉱型構造) について、以下の (i), (ii) の問いに答えよ。
  - (i) 単位格子(1つのサイコロ状の枠)の中に含まれる  $\text{D}^{2+}$  イオンの個数を答えよ。
  - (ii)  $\text{D}^{2+}$  イオン1個の周りには、何個の  $\text{S}^{2-}$  イオンが隣接しているか答えよ。
- (4) 金属イオン  $\text{D}^{2+}$  の濃度を求めるため、シュウ酸塩を用いた間接滴定を行った。試料溶液 10.0 mL から  $\text{D}^{2+}$  をシュウ酸塩  $\text{DC}_2\text{O}_4$  として完全に沈殿させ、これを濾別し洗浄した。得られた沈殿を希硫酸で溶解し、生成したシュウ酸を  $0.020 \text{ mol L}^{-1}$  の過マンガン酸カリウム水溶液で滴定したところ 16.0 mL を要した。試料溶液中の  $\text{D}^{2+}$  のモル濃度を求めよ。

## B-3 [有機化学](100点)

[1] 次の反応 (1) ~ (4) で得られる主生成物 **A** ~ **D** の構造式を記せ.

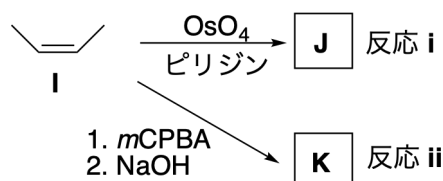


[2] 芳香族化合物 **E** は分子式  $C_8H_{10}$  で、キシレンの異性体である. 化合物 **E** を濃硝酸, 濃硫酸で処理すると, 主生成物として化合物 **F**, 副生成物として化合物 **G** が得られた. さらに 化合物 **F** を過マンガン酸カリウム ( $KMnO_4$ ) で酸化すると化合物 **H** が得られた. 以下の問い (1), (2) に答えよ.

(1) 化合物 **E** の  $^1H$  NMR ( $CDCl_3$ ) における芳香環プロトンの積分比が 2:1:1 であるとき, 化合物 **E** の構造式を記せ.

(2) 化合物 **F**, **G**, **H** の構造式を記せ.

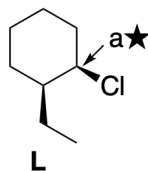
[3] *cis*-2-ブテン (**I**) を以下の 2 種類の反応 **i** および **ii** に付し, 化合物 **J**, **K** を得た. これらの反応について, 以下の問い (1), (2) に答えよ.



(1) 化合物 **J** と **K** の構造式を記し, それぞれがメソ体かラセミ体が答えよ.

(2) 反応 **ii** の 2 段階目の反応を, 求核剤の攻撃方向と生成物の立体化学の関係を考慮して反応機構で説明せよ.

[4] キラルな化合物 **L** に関する以下の問い (1) ~ (3) に答えよ.



(1) 化合物 **L** のカリウム *t*-ブトキシド (*t*-BuOK) を塩基として用いる脱離反応により得られることが予想される主生成物の構造式を記せ.

(2) 化合物 **L** のキラル中心 (**a★**) における *R*, *S* 絶対配置を記せ.

(3) 化合物 **L** のエナンチオマー (鏡像異性体) の構造式を記せ.

[5] カルボン酸誘導体 (アミド, 酸無水物, 酸塩化物, エステル) について次の問い (1), (2) に答えよ.

(1) カルボン酸誘導体を求核攻撃に対する反応性が高い方から低い方へ左から右へ並べよ.

(2) アミドの求核攻撃に対する反応性について, 窒素の孤立電子対の性質の観点から説明せよ.

## B-4 [生物化学](100点)

[1] 酵素の「反応特異性」について、【語句一覧】に挙げた語句をすべて用いて説明せよ。

【語句一覧】 特定の基質、立体構造、活性部位、基質特異性、副産物

[2] 脂質と生体膜について、次の問い(1)～(3)に答えよ。

(1) 単純脂質と複合脂質の違いを、構造および構成成分の観点から説明しなさい。

(2) 次のA～Dの脂質が単純脂質か複合脂質かを分類しなさい。

A: トリアシルグリセロール      B: リン脂質      C: ワックス      D: 糖脂質

(3) 生体膜に関する以下の文章の( A )～( J )に入る語を【語群】から選び記号で答えよ。

生体膜は柔軟性や流動性に富む構造体であり、細胞や細胞内小器官の形をつくる。生体膜で区切られた( A )を維持して、タンパク質、核酸、( B )などのさまざまな生体物質を保持する役割を果たしている。生体膜は、各生体成分に対して( C )的透過性を持ち、膜内外の組成の差を保つ境界として働いている。このように生体膜は反応を区画化し、物質輸送と情報伝達、( D )変換を担うことで生体の( E )性を保っている。生体膜の主要構成成分である脂質分子は( F )の性質をもつ。生体膜では脂質は親水性部分を膜の( G )側に、疎水性部分は膜の( H )側に向き合わせた構造をとる。この構造は、( I )と呼ばれる。生体膜は適度な流動性を持ち、膜中に埋め込まれた( J )は浮遊状態にあり、移動することができる。

【語群】

ア	選択	イ	位置	ウ	DNA	エ	両親媒性	オ	一過
カ	水	キ	環境	ク	脂質二重層	ケ	拡散	コ	親水性
サ	エネルギー	シ	二重膜	ス	疎水性	セ	イオン	ソ	極性
タ	膜タンパク質	チ	RNA	ツ	恒常	テ	外	ト	内

[3] 次のA～Eの代謝経路の名称を答えよ。

A: 細胞質でグルコースを分解し、ピルビン酸を生成する経路。

B: ミトコンドリアでアセチル CoA を酸化し、CO<sub>2</sub>、NADH、FADH<sub>2</sub>、GTP を生成する経路。

C: ミトコンドリアで脂肪酸を2炭素ずつ切り出してアセチル CoA に変換する経路。

D: タンパク質分解により生じる有害なアンモニアを肝臓で尿素に変えて解毒・排泄する経路。

E: 細胞質でグルコースから NADPH と五単糖を作り出す経路。

[4] 光合成における明反応と暗反応について、【語群】に挙げた語をすべて用いて説明せよ。なお、【語群】の語は必要に応じて何度用いても良い。

【語群】 ATP, NADPH, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, グリセルアルデヒド-3-リン酸, 葉緑体, ストロマ, チラコイド膜, 光エネルギー

[5] 細胞内で作用するセカンドメッセンジャーを3つ挙げよ。

## B-5 [生物工学](100点)

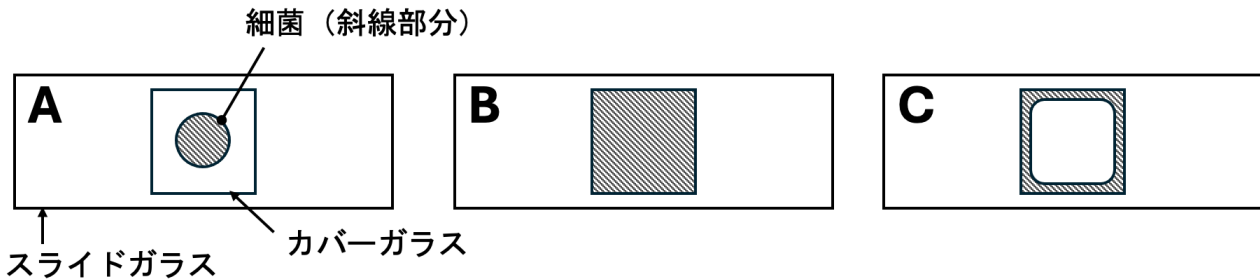
[1] 以下の実験を行った。問い(1)～(5)に答えよ。

目的遺伝子断片を、Amp 耐性遺伝子 (bla) をもつ pUC 系プラスミドの lacZα 領域 (マルチクローニングサイト : MCS) に挿入し、そのプラスミドを *Escherichia coli* DH5α (lacZΔM15) に導入した。導入後、*Escherichia coli* を Amp, X-gal, IPTG を添加した LB 寒天培地で培養したところ、青色コロニーと白色コロニーが出現した。

- (1) *Escherichia coli* を日本語名で答えよ。
- (2) Amp (アンピシリン) を培地に入れる目的は何か答えよ。
- (3) X-gal と IPTG を培地に入れる目的を、それぞれ答えよ。
- (4) 目的遺伝子断片がプラスミドに挿入されている可能性が高いのは、青色コロニー・白色コロニーのどちらか答えよ。また、その理由も簡潔に答えよ。
- (5) (4) で選んだコロニーが本当に目的とする遺伝子断片を含むか確認する方法を簡潔に説明せよ。

[2] 下の図は、野外から単離培養した運動性のある細菌 3 株の走気性試験の様子を模式図としたものである。スライドガラスに細菌をそれぞれ滴下し、カバーガラスをかけてしばらく静置した。スライドガラス A, B, C に滴下した細菌を、以下の菌群から選び答えよ。

【菌群】好気性細菌、偏性嫌気性細菌、通性嫌気性細菌



[3] 岡崎フラグメントについて以下の問い(1)～(3)に答えよ。

(1) 以下の空欄に入る語を語群から選べ。

DNA ポリメラーゼは新しい DNA 鎖を ( ① ) → ( ② ) 方向にしか合成できない。そのため、複製フォークの進行方向と逆向きに合成される ( ③ ) 鎖では、DNA は ( ④ ) 的に合成され、短い ( ⑤ ) 断片 (岡崎フラグメント) が多数できる。

【語群】1', 2', 3', 4', 5', リーディング, ラギング, センス, アンチセンス, 連続, 不連続, 半保存, 対称, DNA, RNA, ペプチド, クロマチン

- (2) 岡崎フラグメント同士をつなぐ酵素の名称を答えよ。
- (3) 岡崎フラグメント合成の開始に必要な短い核酸の名称を答えよ。

【問題は次のページに続きます】

[4] 以下の文章の空欄（あ）～（さ）に入る語を語群の中から選べ。

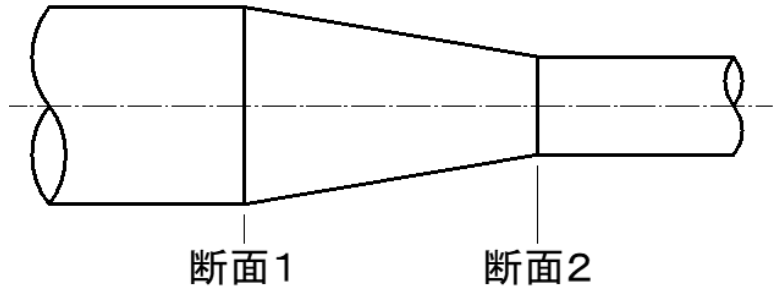
発酵作用など様々な微生物の機能を利用して、多様な食品が生産されている。例えば醤油は、大豆や小麦などを蒸煮・炒煎し混合する原料処理工程後、製麹工程から複数の微生物が利用されている。製麹工程で用いられる（あ）や（い）などの麹菌は、原料となる大豆などの穀物の（う）をアミノ酸に、またデンプンを（え）に分解する役割を担う。続く仕込工程では、麹と高濃度の食塩水を一般に 1:1 の比率で混合したもろみを仕込み、（お）を有する乳酸菌の（か）と、酵母の（き）や（く）などにより発酵を進行させる。乳酸菌は（け）や（こ）などを生産し、もろみの（さ）を低下させ酵母の増殖環境を整える働きがある。酵母の（き）は、エタノールなどを生成して味に貢献し、（く）は 4-エチルグアヤコールなどの揮発性フェノール類を生成して醤油特有の香りの生成を担う。

【語群】 *Candida versatilis*, *Escherichia coli*, *Aspergillus oryzae*, *Zygosaccharomyces rouxii*, *Aspergillus sojae*, *Tetragenococcus halophilus*, *Bacillus subtilis*, 酢酸, 耐塩性, ブドウ糖, 乳酸, pH, 脂質, タンパク質, 耐熱性

## B-6 [プロセス工学](100点)

次の問題 [A] ~ [C] のうち **2問を選択** して解答せよ。解答の際には選択した問題記号 ([A] ~ [C] から2つ) を明記し、式の導出過程や計算過程を記載すること。

[A] 図に示す断面積が緩やかに減少する円管があり、図左から図右に向かって密度  $1.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  の非圧縮性のニュートン流体が定常状態で円管内を満たした状態で流れている。断面1までの直管部は十分な長さがあり流路直径を  $0.30 \text{ m}$  とする。断面2以降の直管部も十分な長さがあり、流路直径を  $0.10 \text{ m}$  とする。管内を流れる流体粘度を  $1.0 \text{ mPa s}$  として、以下の問い (1), (2) に答えよ。



- (1) 断面1までの流体の平均速度を  $0.10 \text{ m s}^{-1}$  とする場合、断面2以降の流体の平均速度を求めよ。
- (2) 断面1まで流れてくる流体、および断面2の十分下流を流れる流体についてレイノルズ数をそれぞれ計算し、流体の流れが層流か乱流かそれぞれ答えよ。

[B] 回分反応器を用いて、液相で反応  $A \rightarrow B$  を行う。成分Aのモル濃度が  $C_{A0}$  で成分Bを含まない溶液を原料として反応器に仕込んだ。体積  $V$  の液相は等温で定容系とみなせ、反応器内は完全混合流れが仮定できる。原料を反応器に全量仕込んだ直後に反応を開始して、成分Aの反応率  $x_A$  が  $0.80$  となった直後に反応混合物を取り出した。この反応の反応速度 ( $-r_A$ ) は、 $C_A$  を液相における成分Aのモル濃度、 $k$  を反応速度定数とすると、次の式(a)で表される。

$$-r_A = kC_A \quad (\text{a})$$

また、反応時間  $t$  と反応率  $x_A$  の関係は、次の設計方程式で表される。

$$t = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \quad (\text{b})$$

$C_{A0} = 100 \text{ mol m}^{-3}$ 、 $k = 0.20 \text{ h}^{-1}$  の場合において、原料の仕込みと反応混合物の取り出しに要する時間を考慮しないとき、反応器の設計(大きさの決定)に関する以下の問い (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) 反応混合物を取り出したときの成分Bのモル濃度  $C_B$  [ $\text{mol m}^{-3}$ ] を求めよ。
- (2) 反応時間  $t$  [h] を求めよ。なお、必要なら  $\ln(0.2) = -1.6$ 、 $\ln(0.8) = -0.22$  を使うこと。
- (3) 1回の回分操作で成分Bを  $1.6 \text{ kmol}$  生産するのに必要な反応液体積  $V$  [ $\text{m}^3$ ] を求めよ。

【問題は次のページに続きます】

[C] 液体中に分散した粒子を分離したい。分離対象とする粒子は非常に小さいので、重力沈降では分離が不十分であると考え、遠心分離機を用いて分離する。粒子は球形であると仮定して、以下の問い(1)～(4)に答えよ。ここで、本問題では粒子の沈降方向に沿った一次元の運動のみを考えるものとする。本問題で使用される記号は以下の通りである。

$m$ : 粒子の質量

$v$ : 粒子の沈降方向の速度

$t$ : 時間

$D_p$ : 粒子径

$\rho_p$ : 粒子の密度

$\rho_f$ : 流体の密度

$G$ : 遠心効果

$g$ : 重力加速度( $9.8 \text{ m s}^{-2}$ とする)

$\mu$ : 流体の粘度

(1) 粒子の沈降方向の運動方程式は次の式(c)で表される。右辺第1項および第2項の物理的意味を答えよ。

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\pi D_p^3}{6} (\rho_p - \rho_f) G g - 3\pi\mu D_p v \quad (\text{c})$$

(2) 粒子が存在する位置における遠心加速度は一定とみなす。粒子が速やかに終末遠心沈降速度 $v_t$ に達すると仮定し、式(c)を変形して $v_t$ を記号を用いて示せ。

(3) 分離したい粒子は、 $D_p = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$ 、密度は $\rho_p = 1800 \text{ kg m}^{-3}$ で液体の密度は $\rho_f = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ 、粘度は $\mu = 0.98 \text{ mPa s}$ である。長さ2 cmの遠沈管内を300 sで沈降させるには、遠心効果 $G$ をいくらにすればよいか示せ。

(4) 上の問い(1)～(3)はStokesの流体抵抗則が成り立つことを前提としている。問い(3)で設定した遠心沈降速度の場合、Stokesの流体抵抗則が成り立つか根拠を明らかにして示せ。

[A-1] 物理化学

[ 1 ]

【出題意図】

原子・イオンの構造に関する知識を問う。

【解答例】

(1)  $Z$

(2)  $B - Z$

(3)  $Z + 1$

(4)  $\left(\frac{p}{p+q+r}\right)M + \left(\frac{q}{p+q+r}\right)\frac{B}{A}M + \left(\frac{r}{p+q+r}\right)\frac{C}{A}M = \left(\frac{M}{p+q+r}\right)\left(p + q\frac{B}{A} + r\frac{C}{A}\right) = \left(\frac{1}{p+q+r}\right)\frac{M}{A}(Ap + Bq + Cr)$

(5)  $(\frac{A}{Z}X)_2$ 、 $(\frac{B}{Z}X)_2$ 、 $(\frac{C}{Z}X)_2$ 、 $\frac{A}{Z}X\frac{B}{Z}X$ 、 $\frac{A}{Z}X\frac{C}{Z}X$ 、 $\frac{B}{Z}X\frac{C}{Z}X$ 、合計 6 種類が存在する。

[ 2 ]

【出題意図】

化学反応の反応エンタルピーに関する知識を問う。

【解答例】

(1)  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

(2)  $\Delta_r H^\circ = \{\Delta_f H^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) + 2 \times \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))\} - \{\Delta_f H^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) + 2 \times \Delta_f H^\circ(\text{O}_2(\text{g}))\}$

(3) 0

(4)  $\Delta_r H^\circ = \{-393 + 2 \times (-241)\} - \{-72 + 2 \times 0\} = -801 \text{ kJ mol}^{-1}$

[A-2] 無機分析化学

[1]

【出題意図】

硫黄化合物の化学的性質に関する基礎的な知識を問う

【解答例】

(1) ①16, ②-2, ③+6, ④SO<sub>2</sub>, ⑤S, ⑥sp<sup>3</sup>, ⑦正四面体, ⑧Pt, ⑨SO<sub>3</sub>, ⑩NH<sub>3</sub>

(2) H<sub>2</sub>S を構成する S には 2 つの非共有電子対が存在し, これらの非共有電子対同士が強く反発する.

そのため, 孤立電子対-S-孤立電子対からなる角度は 109.5°よりも大きくなる. 一方で, 共有電子対同士でも反発は起こるが, 非共有電子対同士の場合よりもその反発力は弱い. そのため, 相対的に反発力が小さい H-S-H 側の角度は 109.5°よりも小さくなる.

(3) (a)

[2]

【出題意図】

弱酸の化学平衡に関する基礎的な知識を問う

【解答例】

(1) H<sub>2</sub>A ⇌ H<sup>+</sup> + HA<sup>-</sup>

HA<sup>-</sup> ⇌ H<sup>+</sup> + A<sup>2-</sup>

(2) K<sub>a1</sub> = [H<sup>+</sup>][HA<sup>-</sup>]/[H<sub>2</sub>A]

K<sub>a2</sub> = [H<sup>+</sup>][A<sup>2-</sup>]/[HA<sup>-</sup>]

(3) 「K<sub>a1</sub> が K<sub>a2</sub> よりも十分に大きい」もしくは「K<sub>a1</sub> >> K<sub>a2</sub>」

[A-3] 有機化学

[ 1 ]

【出題意図】

有機化合物の構造と結合，混成状態の理解を問う．

【解答例】

( 1 ) (i) A, G (ii) B, F (iii) C, E ( 2 )  $a > b > c$

[ 2 ]

【出題意図】

有機化合物の構造と極性に対する理解を問う．

【解答例】

D

[ 3 ]

【出題意図】

有機化合物の立体化学に関する理解を問う．

【解答例】

( 1 ) (i) R (ii) R

( 2 ) A, B

( 3 ) C

( 4 ) C

[ 4 ]

【出題意図】

有機化合物の形式電荷に関する理解を問う．

【解答例】

a: +1 b: 0

[ 5 ]

【出題意図】

有機化合物の共鳴構造に関する理解を問う．

【解答例】

D

[A-4] 生物化学

[1]

【出題意図】

アミノ酸とタンパク質に関する基本的知識を問う。

【解答例】

- ( A ) 等電点 または pI
- ( B ) 塩基性
- ( C ) ペプチド
- ( D ) アミノ酸配列 または アミノ酸の結合順序
- ( E ) 変性
- ( F ) 50

[2]

【出題意図】

核酸に関する基本的知識を問う。

【解答例】

- ( A ) GUCAUGCAUU
- ( B ) 40
- ( C ) 60
- ( D )  $\beta$

[3]

【出題意図】

糖質に関する基本的知識を問う。

【解答例】

- ( A ) グリコシド
- ( B ) デンプン
- ( C ) アミロース
- ( D ) アミロペクチン
- ( E ) グリコーゲン

[A-5] 生物工学

[1]

【出題意図】

セントラルドグマに関する基礎的な理解を問う。

【解答例】

- (1) (ア) アミノ酸配列 (イ) mRNA (ウ) インترون  
(エ) 核内 (オ) 細胞質 (カ) リボソーム  
(キ) tRNA
- (2) DNA 鎖 5'-AAG-CAT-AAG-CAT-3'  
mRNA 鎖 5'-AUG-CUU-AUG-CUU-3'  
(タンパク質 Met-Leu-Met-Leu)

[2]

【出題意図】

細胞周期について基礎的な理解を問う。

【解答例】

- (1) (ク) 複製 (ケ) 娘 (コ) 分配  
(サ) G2 (シ) G1 (ス) 間  
(セ) G0

[3]

【出題意図】

酵素反応について基礎的な理解を問う。

【解答例】

②

酵素反応の競合的阻害剤が存在すると、基質と阻害剤の間で同一の酵素に対して競合現象が生じ、基質と酵素の親和性が低下するため、見かけの  $K_m$  は増大する。

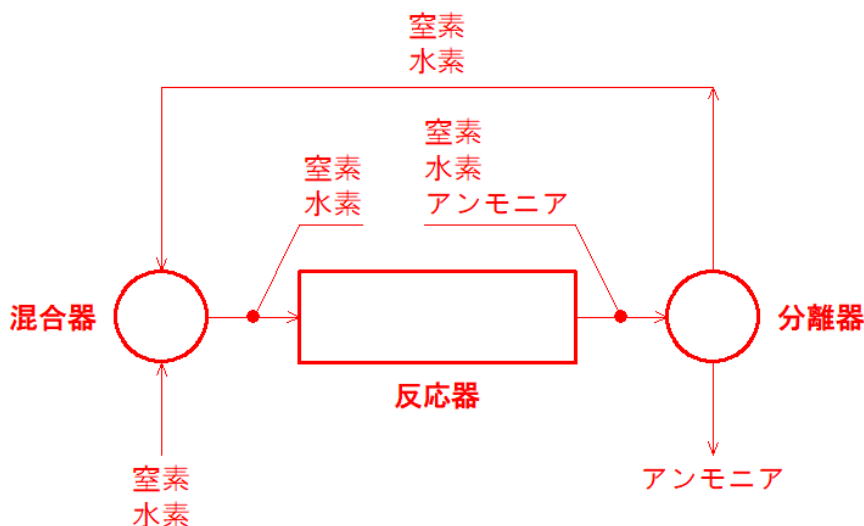
[A-6] プロセス工学

【出題意図】

化学工業生産における化学プロセスの概略的な理解と、プロセス計算の基礎である物質収支への知識の適用を問う。

【解答例】

(1)



(2)

$$[ F (\text{kmol h}^{-1}) 28 (\text{kg kmol}^{-1}) + 3F (\text{kmol h}^{-1}) 2 (\text{kg kmol}^{-1}) ] - 680 (\text{kg h}^{-1}) + 0 = 0$$

(3)

窒素 :  $F = 20 \text{ kmol h}^{-1}$

水素 :  $3F = 60 \text{ kmol h}^{-1}$

(4)

窒素 :  $100 - 20 = 80 \text{ kmol h}^{-1}$

水素 :  $300 - 60 = 240 \text{ kmol h}^{-1}$

(5)

$$100 - 80 - x = 0 (\text{kmol h}^{-1})$$

(6)

$$x (\text{kmol h}^{-1}) / 100 (\text{kmol h}^{-1}) = 20/100 = 0.2 = 20 \%$$

(7)

$$x (\text{kmol h}^{-1}) / 20 (\text{kmol h}^{-1}) = 20/20 = 1.0 = 100 \%$$

[B-1] 物理化学

[ 1 ]

【出題意図】

反応速度に関する知識を問う。

【解答例】

(1)  $\ln\left(\frac{[X]_t}{[X]_0}\right) = -k_1 t$  より

$$k_1 = -\left[\ln\left(\frac{[X]_t}{[X]_0}\right)\right]/t = -\left[\ln\left(\frac{4.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}{8.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}\right)\right]/(20 \text{ min}) = \frac{\ln 2}{20 \text{ min}} = 3.47 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

$$\text{また、} t_1 = -\frac{1}{k_1} \ln\left(\frac{[X]_{t_1}}{[X]_0}\right) = -\frac{1}{3.47 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}} \ln\left(\frac{2.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}{8.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}\right) = -\frac{-2 \times \ln 2.00}{3.47 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}} = 40.0 \text{ min}$$

(2)  $\frac{1}{[X]_t} - \frac{1}{[X]_0} = k_2 t$  より

$$k_2 = \left(\frac{1}{[X]_{20}} - \frac{1}{[X]_0}\right)/20.0 \text{ min} = \left(\frac{1}{4.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} - \frac{1}{8.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}\right)/20.0 \text{ min}$$

$$= 6.25 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{また、} t_2 = \left(\frac{1}{[X]_{t_2}} - \frac{1}{[X]_0}\right)/k_2 = \left(\frac{1}{2.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} - \frac{1}{8.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}\right)/6.25 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$$

$$= 60.0 \text{ min}$$

[ 2 ]

【出題意図】

希薄溶液の束一的性質に関する知識を問う。

【解答例】

(1) 溶液の濃度を  $C \text{ mol kg}^{-1}$  とすると凝固点降下  $\Delta T_f = K_f \times C$  より

$$C = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{(-23.58 + 25.08) \text{ K}}{30.0 \text{ K kg mol}^{-1}} = 5.00 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$$

(2) 沸点上昇  $\Delta T_b = K_b \times C = 4.00 \text{ K kg mol}^{-1} \times 5.00 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1} = 0.200 \text{ K}$

よって沸点は  $76.83 + 0.200 = 77.03 \text{ }^\circ\text{C}$

(3) Z のモル質量を  $M \text{ g mol}^{-1}$  とすると,  $C = \frac{(1.28 \text{ g/M g mol}^{-1})}{0.200 \text{ kg}} = 5.00 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1}$

$$\text{よって } M = \frac{1.28 \text{ g}}{5.00 \times 10^{-2} \text{ mol kg}^{-1} \times 0.200 \text{ kg}} = 128 \text{ g mol}^{-1}$$

[ 3 ]

【出題意図】

混合ギブズエネルギーならびにラウールの法則に関する知識を問う。

【解答例】

$$\begin{aligned} (1) \quad \Delta G_{\text{mix}} &= nRT\{X_{\text{BE}} \ln X_{\text{BE}} + X_{\text{TO}} \ln X_{\text{TO}}\} \\ &= 2.00 \text{ mol} \times 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 315 \text{ K} \times \{0.500 \ln 0.500 + 0.500 \ln 0.500\} \\ &= 2.00 \text{ mol} \times 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 315 \text{ K} \times (-\ln 2) = -3.63 \times 10^3 \text{ J} = -3.63 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(2) 全蒸気圧 $p_{\text{total}}$ とすると,

$$\begin{aligned} p_{\text{total}} &= P_{\text{BE}} + P_{\text{TO}} = X_{\text{BE}}P_{\text{BE}}^* + (1 - X_{\text{BE}})P_{\text{TO}}^* \\ &= 0.500 \times 26.4 \text{ kPa} + 0.500 \times 8.65 \text{ kPa} = 17.5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

(3) この混合気体中の BE の分圧を  $P_{\text{BE}}$  とすると BE の気相中の組成  $Y_{\text{BE}}$  は

$$Y_{\text{BE}} = \frac{P_{\text{BE}}}{p_{\text{total}}} = 0.500 \times 26.4 \text{ kPa} / 17.5 \text{ kPa} = 0.754$$

[B-2] 無機分析化学

[1]

【出題意図】

第2族・12族元素の系統分離，炎色反応，錯生成，沈殿平衡等の基礎知識に基づき，実験事実から論理的に元素を特定し，その化学的性質を記述する能力を問う．

【解答例】

(1) W : Mg    X : Ba    Y : Sr    Z : Zn

(2) (I)  $\text{Zn(OH)}_2$     (II)  $[\text{Zn(NH}_3)_4]^{2+}$

(3) 溶けやすくなる

(4)  $\text{SrCO}_3 \rightarrow \text{SrO} + \text{CO}_2$

[2]

【出題意図】

結晶構造の幾何学的把握や半導体の物性，シュウ酸塩を用いた間接滴定の原理と定量計算など，無機材料化学と分析化学にわたる統合的な理解と計算能力を問う．

【解答例】

(1) M : Ti    D : Zn

(2) n型半導体

(3) (i) 4個    (ii) 4個 (4配位など同義であれば可)

(4)  $0.080 \text{ mol L}^{-1}$

DはZn

沈殿反応： $\text{D}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{DC}_2\text{O}_4$

溶解反応： $\text{DC}_2\text{O}_4 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{D}^{2+} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

したがって溶解したシュウ酸の濃度とDイオンの濃度は等しいため，シュウ酸の濃度を滴定で求めることでDイオンの濃度を求めることができる（間接滴定）．

滴定における反応： $2\text{MnO}_4^- + 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 16\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 10\text{CO}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$

[B-3] 有機化学

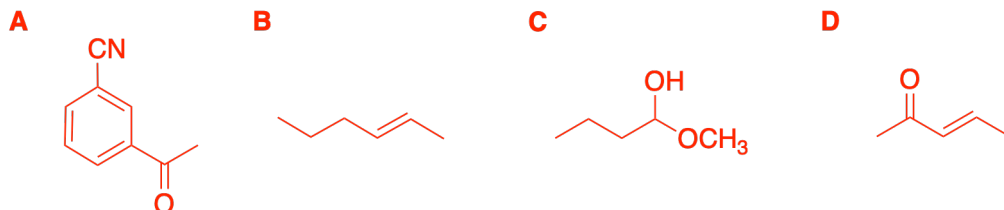
[1]

【出題意図】

反応試薬から有機化学の各種反応を判別し、正しい生成物を描くことができるかを問う。

- (1) Friedel-Crafts 反応, *m* 配向性 (2) アルキンの立体選択的還元(Birch 還元)  
(3) アルデヒドのヘミアセタール化 (4) アルドール縮合

【解答例】



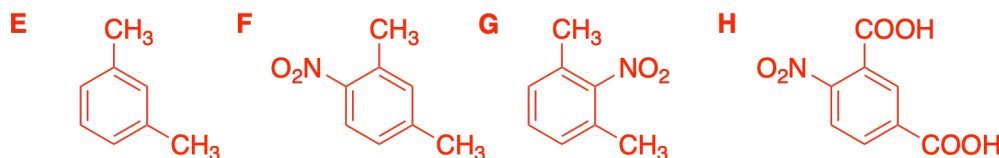
[2]

【出題意図】

典型的な置換芳香族の化学

- (1)  $^1\text{H}$ NMR スペクトルの特徴から、異性体の区別ができるかどうかを問う問題。  
(2) E, G: 二置換ベンゼンのニトロ化で配向性を問う問題。2つの置換基の配向性と立体障害を問う。H: 芳香族のベンジル位の過マンガン酸カリウムによる酸化反応。

【解答例】



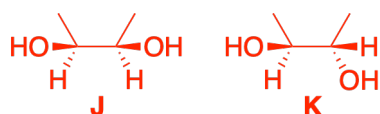
[3]

【出題意図】

アルケンからの直接またはエポキシ開環による 1,2-ジオール合成と立体化学。S<sub>N</sub>2 型開環反応の反応機構を問う。

【解答例】

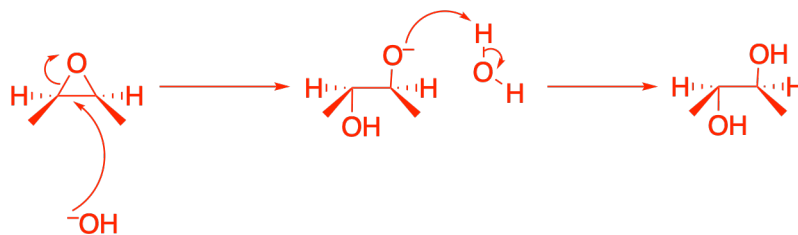
(1)



メソ

ラセミ

(2)



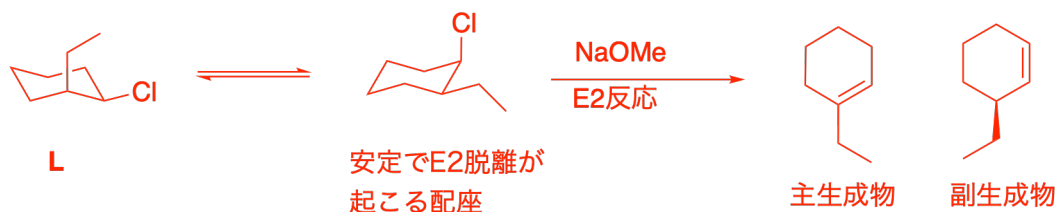
[4]

【出題意図】

E2 脱離反応での立体配座 (椅子型) + アンチペリプラナー E2 脱離の立体要求を問う  
Zaitsev 則だけではなく用いる試薬と基質の立体的要因で生成物が制限することの理解を問う。  
Cahn-Ingold-Prelog 則による *R/S* 判定ができるかを問う。  
環状化合物におけるエナンチオマーの理解を問う。

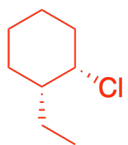
【解答例】

(1)



(2) a: *R* 配置

(3)



**L** のエナンチオマー

[5]

【出題意図】

カルボン酸誘導体の相互の化学変換に重要な、反応性の違いとその理由、アミドの窒素の共役効果について問う問題。

【解答例】

(1) 酸塩化物 > 酸無水物 > エステル > アミド

(2) アミドは、窒素の孤立電子対が  $\text{C}=\text{O}$  に強く共鳴供与するため、大きな共鳴安定化エネルギーをもつ。それにより、炭素-窒素結合は部分的に二重結合性を示し、切断されにくい。また、 $-\text{NH}_2$  や  $-\text{NR}_2$  は脱離基として脱離能が悪い。そのため、アミドはカルボン酸誘導体の中でも最も反応性が低い。

[B-4] 生物化学

[1]

【出題意図】

酵素の構造と機能について問う問題

【解答例】

(以下は解答の一例、語句が正しく使用されているかどうかで正誤を判断する.)

酵素は、特有の立体構造をもつ活性部位に特定の基質のみが結合するという基質特異性をもつため、特定の反応だけが進行する「反応特異性」が高く、副産物が生じにくい。

[2]

【出題意図】

脂質と生体膜に関する知識を問う問題

【解答例】

(1) 単純脂質は、脂肪酸とアルコール（多くはグリセロール）から構成される脂質である。一方、複合脂質は、脂肪酸とアルコールに加え、リン酸や糖などを分子内に含み、より複雑な構造をもつ。

(2) 単純脂質：トリアシルグリセロール、ワックス  
複合脂質：リン脂質、糖脂質

(3)

A	キ	B	セ	C	ア	D	サ	E	ツ
F	エ	G	テ	H	ト	I	ク	J	タ

[3]

【出題意図】

生体内で起こる代謝反応とその名称について問う問題

【解答例】

- A：解糖系
- B：クエン酸回路（TCA 回路，Krebs 回路）
- C：β酸化
- D：オルニチン回路（尿素回路）
- E：ペントースリン酸経路

[4]

【出題意図】

光合成の明反応と暗反応について問う問題

【解答例】

(以下は解答の一例，語句が正しく使用されているかどうかで正誤を判断する.)

光合成は葉緑体内のチラコイド膜で起こる明反応と，ストロマで起こる暗反応からなる．明反応では，光エネルギーによって H<sub>2</sub>O が分解され，電子が取り出される過程で O<sub>2</sub>が発生する．このとき電子伝達系により ATP が合成され，同時に電子は NADP<sup>+</sup>を還元して NADPHを生じる．暗反応では，明反応で得られた ATPと NADPHを用いて CO<sub>2</sub>を還元し，グリセルアルデヒド-3-リン酸が合成される．

[ 5 ]

【出題意図】

生体内情報伝達について問う問題

【解答例】

(以下から 3 つを回答すれば満点)

- cAMP (サイクリック AMP)
- cGMP (サイクリック GMP)
- Ca<sup>2+</sup> (カルシウムイオン)
- イノシトール三リン酸 (IP<sub>3</sub>)
- ジアシルグリセロール (DAG、DG)
- NO (一酸化窒素)

## [B-5] 生物工学

[1]

### 【出題意図】

遺伝子組み換え技術に関する基礎知識を問う。

### 【解答例】

(1) 大腸菌

(2) プラスミドを保持している菌 (Amp 耐性遺伝子をもつ菌) のみを選択するため

(3) X-gal :  $\beta$ -ガラクトシダーゼの発色基質 (分解されると青色となる) であり, lacZ 活性の有無 (青白) を判定するため.

IPTG : lac オペロンの誘導物質であり, lacZ ( $\beta$ -ガラクトシダーゼ) 発現を誘導して X-gal 分解 (呈色) が起こる条件を作るため.

(4) 白色コロニー

理由: 目的断片が lacZ $\alpha$  領域 (MCS) に挿入されると lacZ $\alpha$  が不活化され, DH5 $\alpha$  (lacZ $\Delta$ M15) との  $\alpha$  補完が成立せず  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性が出ない. そのため X-gal が分解されず白色となる.

(5)

白色コロニーを鋳型にして MCS 周辺をはさむプライマーで PCR し, 目的遺伝子断片と同じ分子量の増幅産物が得られるかを電気泳動で確認する.

その他: プラスミドを単離後, 制限酵素で切断を行い目的遺伝子断片が挿入されているかどうか調べる.

[2]

### 【出題意図】

微生物の培養に関する知識を問う。

### 【解答例】

A : 偏性嫌気性細菌

B : 通性嫌気性細菌

C : 好気性細菌

[3]

### 【出題意図】

DNA 複製に関する基礎知識を問う。

### 【解答例】

(1) ① 5' ② 3' ③ ラギング ④ 不連続 ⑤ DNA

(2) DNA リガーゼ (DNA ligase)

(3) RNA プライマー (短い RNA)

[4]

【出題意図】

微生物による発酵に関する知識を問う。

【解答例】

あ：*Aspergillus oryzae*

い：*Aspergillus sojae*

う：タンパク質

え：ブドウ糖

お：耐塩性

か：*Tetragenococcus halophilus*

き：*Zygosaccharomyces rouxii*

く：*Candida versatilis*

け：乳酸

こ：酢酸

さ：pH

[B-6] プロセス工学

[A]

【出題意図】

非圧縮性流体の連続の式およびレイノルズ数と流動状態について問う。

【解答例】

(1) 非圧縮性流体であるから、連続の式は (速度) × (断面積) = 一定となる。よって、断面 2 以降の平均速度は  $(0.10 \text{ m s}^{-1})(0.30 \text{ m}/0.10 \text{ m})^2 = 0.90 \text{ m s}^{-1}$  である。

(2) レイノルズ数は (代表長さ) (代表速度) (流体密度) / (流体粘度) で求められる。円管内の流れでは代表長さとして管径、代表速度として平均速度を用いる。

断面 1 までのレイノルズ数を求めると、

$$(0.30 \text{ m})(0.10 \text{ m s}^{-1})(1.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}) / (1.0 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}) = 3.0 \times 10^4$$

である。レイノルズ数が 3000 を超えているため乱流である。

断面 2 以降のレイノルズ数を求めると、

$$(0.10 \text{ m})(0.90 \text{ m s}^{-1})(1.0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}) / (1.0 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}) = 9.0 \times 10^4$$

である。レイノルズ数が 3000 を超えているため乱流である。

[B]

【出題意図】

反応器内の完全混合流れや回分反応器の設計について問う。

【解答例】

(1) 定容系なので、成分 B の濃度は  $C_B = C_{A0} \cdot x_A = 80 \text{ mol m}^{-3}$

(2) 定容系であり、完全混合流れなので、成分 A の濃度は、 $C_A = C_{A0}(1 - x_A)$  で表される。したがって成分 A の反応速度は式(a)を用いて、 $-r_A = kC_A = kC_{A0}(1 - x_A)$  と表される。これを式(b)回分反応器の設計方程式に代入して、

$$t = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kC_{A0}(1 - x_A)} = -\frac{\ln(1 - x_A)}{k} = -\frac{\ln(0.2)}{0.20 \text{ h}^{-1}} = 8.0 \text{ h}$$

(3) 1 回の回分操作で成分 B は  $C_B V$  [mol] 得られる。1.6 kmol 生産したいので、 $C_B V = 1600$  より  $V = 20 \text{ m}^3$ 。

[C]

【出題意図】

粒子の遠心分離における粒子の運動と分離速度について問う。

【解答例】

(1) 右辺第 1 項は粒子が運動する方向へ受ける正味の力(遠心力-浮力)  
右辺第 2 項は粒子の運動に逆向きに作用する(Stokes の)流体抵抗力

(2) 粒子が速やかに終末沈降速度に達すると仮定すると、 $\frac{dv}{dt} = 0$  より、

$$\frac{\pi D_p^3}{6}(\rho_p - \rho_f)Gg = 3\pi\mu D_p v_t$$

$$\text{整理して, } v_t = \frac{(\rho_p - \rho_f)D_p^2 Gg}{18\mu}$$

$$(3) \text{ 式を変形して, } G = \frac{18\mu v_t}{(\rho_p - \rho_f)D_p^2 g}$$

$$\text{代入すると, } G = \frac{18 \times 0.98 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \times \frac{0.02 \text{ m}}{300 \text{ s}}}{(1800 - 1000) \text{ kg m}^{-3} \times (0.5 \times 10^{-6} \text{ m})^2 \times 9.8 \text{ m s}^{-2}} = 600$$

(3) 粒子レイノルズ数を求める。粒子レイノルズ数は粒子径を代表長さ、流体に対する粒子の相対速度を代表速度とするので、遠沈管内では終末遠心沈降速度を用いる。

$$Re_p = \frac{\rho_f v_t D_p}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{0.02 \text{ m}}{300 \text{ s}} \times 5.00 \times 10^{-7} \text{ m}}{0.98 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}} = 3.40 \times 10^{-5} \ll 6 \text{ であるので, Stokes の流体抵抗則が成り立つ。}$$