

令和5年度入学者選抜試験問題
山形大学大学院理工学研究科博士前期課程
【4月入学】
(令和4年8月実施)

【化学・バイオ工学専攻】

専門科目：化学・バイオ工学
(分野：「化学工学」，「物理化学」，「無機化学」，
「有機化学」，「バイオ化学」)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. この問題冊子の本文は1ページから10ページまでです。
3. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの乱丁・落丁およ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てください。
4. 監督者の指示に従って、解答用紙に受験番号を正しく記入してください。受験番号が正しく記入されていない場合は、採点できないことがあります。
5. 「化学工学」，「物理化学」，「無機化学」，「有機化学」，「バイオ化学」の各分野から各1問出題、第1～第5問中の**3問**を選択して解答してください。
6. 解答用紙は全部で3枚あります。大問1問につき裏表1枚以内に解答してください。それぞれの解答用紙の大問番号欄に選択した大問番号（第1問，第2問・・・）を記入してください。白紙の場合でも3枚すべて提出してください。
7. 試験終了後、問題冊子および草案用紙は持ち帰ってください。

令和4年度入学者選抜試験問題
山形大学大学院理工学研究科博士前期課程
【10月入学】
(令和4年8月実施)

【化学・バイオ工学専攻】

専門科目：化学・バイオ工学
(分野：「化学工学」，「物理化学」，「無機化学」，
「有機化学」，「バイオ化学」)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
2. この問題冊子の本文は1ページから10ページまでです。
3. 試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの乱丁・落丁およ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てください。
4. 監督者の指示に従って，解答用紙に受験番号を正しく記入してください。受験番号が正しく記入されていない場合は，採点できないことがあります。
5. 「化学工学」，「物理化学」，「無機化学」，「有機化学」，「バイオ化学」の各分野から各1問出題，第1～第5問中の**3問**を選択して解答してください。
6. 解答用紙は全部で3枚あります。大問1問につき裏表1枚以内に解答してください。それぞれの解答用紙の大問番号欄に選択した大問番号（第1問，第2問・・・）を記入してください。白紙の場合でも3枚すべて提出してください。
7. 試験終了後，問題冊子および草案用紙は持ち帰ってください。

第 1 問 (化学工学)

次の問 1 ～問 4 に答えなさい。

問 1

温度 $T_{in} = 90.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の水が長さ 1.00 m で内径 $D_i = 16.0\text{ mm}$ 、肉厚 2.00 mm の銅円管内を体積流量 $V = 1.00 \times 10^{-3}\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ で流れている。銅円管の熱抵抗が小さいので銅円管の外表面温度が $T_w = 90.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 一定と見なしてよく、銅管の周囲は $T_{\infty} = 20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の空気に覆われており、銅管表面から自然対流で放熱している。この時、次の問いに答えなさい。ただし、水の密度 $\rho_w = 996\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、水の動粘度 $\nu_w = 0.803 \times 10^{-6}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 、空気の密度 $\rho_a = 1.05\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、空気の動粘度 $\nu_a = 1.85 \times 10^{-5}\text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 、空気の熱伝導度 $\lambda_a = 0.0278\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、空気の体膨張係数 $\beta = 1/(T_{\infty} + 273)\text{ K}^{-1}$ 、プラントル数 $Pr = 0.709$ 、重力加速度 $g = 9.81\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ とする。

- (1) 管内の平均流速を求めなさい。
- (2) 管内のレイノルズ数 Re を求めなさい。
- (3) ヌッセルト数 Nu を $Nu = 0.53 (Gr \cdot Pr)^{0.25}$ から求め、熱伝達係数を求めなさい。

ただしグラスホフ数 $Gr = g\beta D_o^3 (T_w - T_{\infty}) / \nu_a^2$ である。(D_o は管の外径)

- (4) 円管からの 1 m 当たりの放熱速度 $Q/L [\text{W} \cdot \text{m}^{-1}]$ を求めなさい。

問 2

次の文章を読み、(1) ～ (4) の質量流量 $[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ を求めなさい。プロセスフロー図を用いて解答することが望ましい。

20.0 wt% の NaCl 水溶液 $1.00 \times 10^3\text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ がリサイクル流れと合流し蒸発器に供給される。そこで水 (1) が蒸発し、蒸発器から 50.0 wt% の NaCl 水溶液 (2) が得られ、それを分離器に供給して 90.0 wt% の NaCl 水溶液 (3) が得られる。分離器からは 40.0 wt% の NaCl 水溶液 (4) が蒸発器前にリサイクルされる。

問 3

温度 25 °C の静止水面に平行に、完全に乾燥した 101.3 kPa, 25 °C の空気が流れている。この条件下での水の蒸発速度は $9.30 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。

(1) ガス側のモル濃度基準の物質移動係数 $k_c [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ を求めなさい。

(2) 蒸発はガス側境膜内の拡散によるものとして有効境膜厚さを求めなさい。

なお、101.3 kPa, 25 °C での空気中における水蒸気の拡散係数は $0.260 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 25 °C での水の飽和蒸気圧は 3.17 kPa とし、ガス側境膜内での水蒸気の濃度分布は直線と仮定する。

問 4

次の文章内の (1) ~ (5) について答えなさい。なお、必要に応じて計算過程も示しなさい。

$A + 2B \rightarrow 2C$ で表される液相反応を反応器内が完全混合されていると見なせる連続槽型反応器で行う。この反応の限定反応成分である A の反応速度は $-r_A = kC_A C_B$ で表され、反応速度定数 k は $1.20 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ である。反応器入口における A および B の初濃度 C_{A0}, C_{B0} をそれぞれ、 $2.00 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ および $5.00 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ とし、原料溶液の体積流量 v_0 を $0.500 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ にすると、反応器出口における A の濃度 C_A は $0.400 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$ であった。これより反応器出口における A の反応率 x_A は (1) [-] と計算される。反応器内の A の濃度 C_A は C_{A0} と x_A を用いて $C_A =$ (2) と表される。一方、B の濃度 C_B は C_{A0} , $\theta_B (= C_{B0} / C_{A0})$, b (A に対する B の量論係数) および x_A を用いて $C_B =$ (3) と表される。この反応器の空間時間 $\tau =$ (4) min となる。 τ の値から反応器体積 $V =$ (5) m^3 である。なお、連続槽型反応器の設計方程式は以下の Eq.(1), Eq.(2) のいずれかである。

$$\tau = C_{A0} \frac{x_A}{-r_A} \quad \text{Eq.(1)}$$

$$\tau = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \quad \text{Eq.(2)}$$

第 2 問 (物理化学)

次の問 1 ～ 問 3 に答えなさい。答えにはアンダーラインを引くこと。なお、必要な場合には必ず単位を付けること。また、気体定数 R を $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

問 1

次の文章を読み、(1) ～ (2) に答えなさい。なお、 N_2 の定圧モル熱容量は $29.4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ で一定であるとする。

- (1) 1.0 mol の $\text{N}_2(\text{g})$ を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の一定圧力の下で加熱したところ、その温度が 260 K から 285 K まで上昇した。この過程における熱量 q , エンタルピー変化 ΔH , 内部エネルギー変化 ΔU をそれぞれ求めよ。なお、 N_2 は完全気体としてよい。
- (2) 1.0 mol の $\text{N}_2(\text{g})$ を定圧で $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 300 K から $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 400 K に加熱したときのエントロピー変化を求めよ。つぎに、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 300 K の状態から一定温度のままで、上記と同じエントロピー変化を起こすために圧力をどれだけにすればいいか求めよ。

問 2

次の文章を読み、(1) ～ (2) に答えなさい。

- (1) アルゴンの温度 40°C , 圧力 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ における平均自由行程を求めなさい。ただし、ボルツマン定数は $1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$, 衝突断面積は 0.36 nm^2 とする。
- (2) 波長 154 pm の X 線を結晶に照射したところ、視射角 12.0° で強い反射が観察された。この反射がある結晶面における干渉によるものとして、結晶面の面間隔 d を求めなさい。なお、視射角 12.0° 以下では、強い反射は観察されなかった。

問 3

次の文章を読み、(1) ～ (2) に答えなさい。

- (1) アレニウスの式に従うある反応の活性化エネルギーは 56 kJ mol^{-1} である。
反応速度定数が 280 K における反応速度定数の 5.0 倍となる温度を求めよ。
- (2) 反応物 A から生成物 B が生じる一次反応における速度定数は、 $5.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ である。反応物 A の濃度が 1.0 mol dm^{-3} から 0.20 mol dm^{-3} に減少するのにかかる時間を求めよ。

第 3 問 (無機化学)

次の問 1 ～ 問 5 に答えなさい。

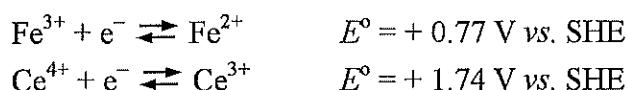
問 1 原子番号 7 から 9 の各元素からなる等核二原子分子について、次の問い (1) ～ (5) に答えなさい。

- (1) 分子式をそれぞれ記しなさい。
- (2) 不対電子の数をそれぞれ記しなさい。
- (3) 分子内結合の結合次数をそれぞれ記しなさい。
- (4) 原子番号 8 の元素の等核二原子分子に電子を 1 つ付与してできるイオンと、等核二原子分子から電子を 1 つ取り去ってできるイオンをそれぞれイオン式で記しなさい。
- (5) 問い (4) で対象とした 2 つのイオンのうち、より原子間距離が長いイオンはどちらか。イオン式で記しなさい。

問 2 次の文章を読み、下の問い (1) ～ (4) に答えなさい。

25°C において、(a)鉄(II)イオンを含む水溶液 50 mL とセリウム(IV)イオンを含む水溶液 50 mL とを混合する。このとき、鉄(II)イオンの一部は【 A 】されるとともに、セリウム(IV)イオンの一部が【 B 】される。(b)反応が平衡に達したとき水溶液中には、鉄、セリウム共に複数の酸化状態のイオンが共存した状態となる。

- (1) 下線部(a)のイオンの基底状態における 3d 電子数を記しなさい。
- (2) 【 A 】、【 B 】には「酸化」または「還元」のいずれかが入る。どちらがふさわしいかそれぞれ記しなさい。ただし、次の標準酸化還元電位を参考にする。



- (3) 酸化還元を伴う鉄(II)イオンとセリウム(IV)イオンの平衡反応を、電子を含まないイオン反応式で記しなさい。ただし、左辺に鉄(II)イオンが含まれる反応式としてあらわすこと。

- (4) 混合する前の鉄(II)イオンおよびセリウム(IV)イオンの水溶液の濃度 $[\text{Fe}^{2+}]$ および $[\text{Ce}^{4+}]$ がともに $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ であった場合、下線部(b)の状態における $[\text{Fe}^{2+}]$ および $[\text{Ce}^{4+}]$ を求めなさい。計算過程も記しなさい。ただし、問い(3)の反応式であらわされる酸化還元反応の平衡定数は $K = 8.9 \times 10^{12}$ 、各イオンの活量係数は1とする。

問3 錯体の配位子置換反応に関する次の操作1および2の文章を読み、下の問い(1)、(2)に答えなさい。

操作1 (a)テトラクロリド白金(II)酸イオン中の二つの配位子をアンモニア分子と配位子置換して錯体【ア】を得た。

操作2 錯体【ア】中の二つの配位子を亜硝酸イオンと配位子置換して錯体【イ】を得た。

- (1) 下線部(a)であらわされる錯体の構造を、中心金属イオンと配位子の位置関係がわかるように図示しなさい。
- (2) 【ア】、【イ】にあてはまる錯体の構造を、中心金属イオンと配位子の位置関係がわかるようにそれぞれ図示しなさい。また各錯体の名称も記しなさい。ただし、ここでは連結異性体について問わないこととする。

問4 NaCl型の結晶構造をとる化合物中の陰イオン(半径 r^-)どうしが互いに接し、さらに陽イオン(半径 r^+)が陰イオンの6配位サイトにちょうど内接するとき、半径比 r^+/r^- を小数第3位まで求めなさい。計算過程も記しなさい。

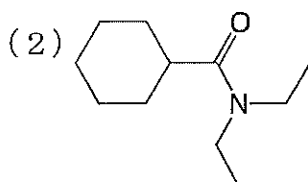
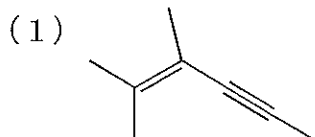
問5 次の(a)～(e)の説明文のうち、誤りを含むものをすべて選び、記号で記しなさい。また、誤りである箇所をそれぞれ明示し、正しい記述に直しなさい。

- (a) 多段階解離する酸では、解離が進むほど強い酸になる。
- (b) ヨウ素分子のHOMOとLUMOのエネルギー差は、フッ素分子のそれと比べて大きいので、より長い波長の光を吸収する。
- (c) 周期表の第二周期の元素は超原子価化合物の中心原子になりやすい。
- (d) SnO_2 と SiO_2 はいずれも両性酸化物である。
- (e) ニッケル(0)のカルボニル錯体は単核錯体として安定に存在し、六配位八面体型構造をとる。

第 4 問 (有機化学)

次の問 1 ～ 問 5 に答えなさい。

問 1. 以下の化合物を命名しなさい。

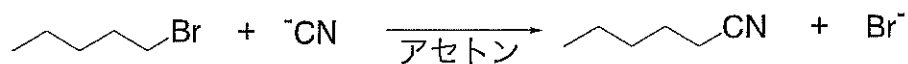


問 2. 以下の名称に対応する構造を書きなさい。

(1) (3E, 5Z)-2,6-ジメチル-1,3,5,7-オクタテトラエン

(2) 1-イソプロピルチオ-2-メチルシクロヘキサン

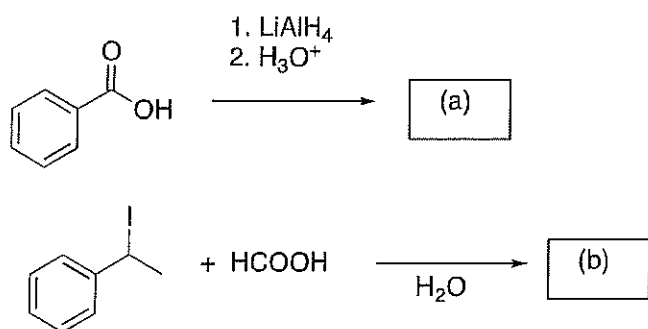
問 3. 次の S_N2 反応について答えなさい。



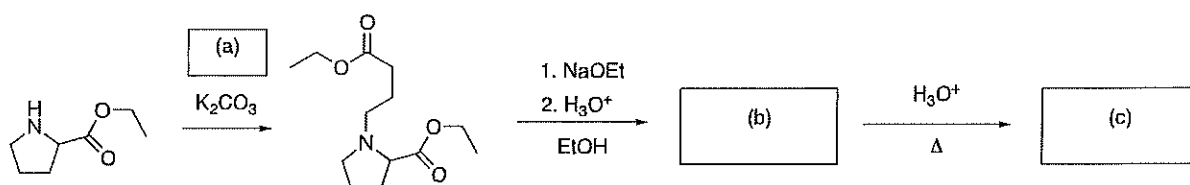
- (1) 曲がった矢印を使って反応機構を書きなさい。
- (2) 遷移状態の構造を書きなさい。
- (3) 速度定数を k として速度式を書きなさい。
- (4) 次の変化により反応速度にどのような影響があらわれるか、理由も含めて書きなさい。
 - (a) 溶媒がアセトンからエタノールに変わる
 - (b) ハロゲン化アルキルが $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{Br}$ から $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{Br})\text{CH}_3$ に変わる。
 - (c) ^-CN の濃度が 5 倍になる。
 - (d) ハロゲン化アルキルと ^-CN の濃度がともに 5 倍になる。

問4. カルボン酸について以下の問いに答えなさい。

- (1) *p*-メトキシ安息香酸と *m*-メトキシ安息香酸に対するメトキシ基の酸性度への影響の違いを説明しなさい。
- (2) カルボン酸とアルコールではどちらがより酸性か、理由とともに答えなさい。
- (3) 以下の反応の生成物を答えなさい。



問5. 以下はあるアルカロイドを合成する際の中間体の合成段階である。以下の問いに答えなさい。



- (1) 原料はアミノ酸のエステルである。そのアミノ酸の名称を答えなさい。
- (2) (a)に適切な化合物を答えなさい。
- (3) (b)は分子内での環化反応で生成する。適切な化合物を答えなさい。
- (4) (c)の合成では脱炭酸が起きる。生成物である(c)を答えなさい。

第 5 問 (バイオ化学)

次の問 1 ～ 問 7 に答えなさい。

問 1. 真核細胞がもつ (1) ～ (3) の細胞小器官について、構造の特徴と細胞活動における役割を説明しなさい。

- (1) ミトコンドリア
- (2) ゴルジ体
- (3) 粗面小胞体

問 2. 真核細胞において、DNA が染色体として濃縮される仕組みについて説明しなさい。

問 3. 細胞内には、細胞骨格の線維に沿って移動するタンパク質が存在している。このような、細胞内輸送に関連したタンパク質の総称を答えなさい。また、微小管に関連するタンパク質を 2 つ挙げ、それらの特徴と機能を記しなさい。

問 4. 動物細胞にみられる (1) ～ (3) の細胞間結合について、構造的な特徴と細胞接着における役割を説明しなさい。

- (1) 密着結合
- (2) 接着結合
- (3) ギャップ結合

問5. D-フルクトースの環状構造を、ハース構造式で表しなさい。

問6. アミノ酸の一種であるバリン (Val) の pK_1 値と pK_2 値は、それぞれ 2.32 と 9.62 である。次の (1) と (2) の問いに答えなさい。

(1) バリンの等電点 (pI) を求めなさい。途中の計算過程も示すこと。

(2) バリンを含む溶液の pH が 1, 12, あるいは, (1) で求めた pI と同値の場合の, バリンの構造をそれぞれ記しなさい。また, そのときの実効電荷を記しなさい。

問7. 酵素は触媒する化学反応のタイプによって, 酸化還元酵素, 転移酵素, 加水分解酵素, 脱離酵素, 異性化酵素, 連結酵素 (合成酵素) の 6 種類に分類される。次の (1) と (2) の酵素は, 6 種類のどれに分類されるか答えなさい。また, どのような反応を触媒するのか説明しなさい。

(1) ホスホグルコースイソメラーゼ

(2) アルコールデヒドロゲナーゼ