

令和7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6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11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間につき表裏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。

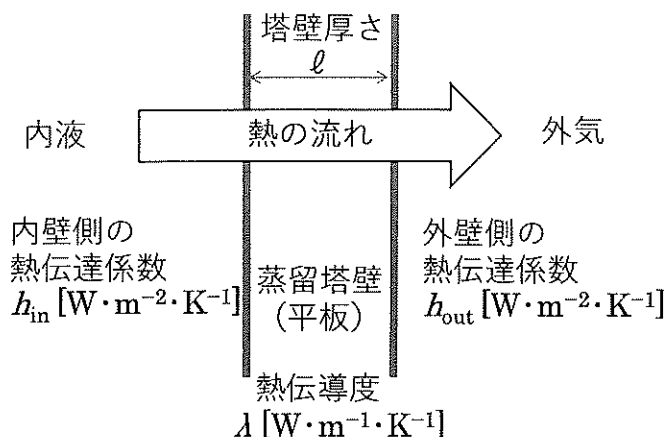
第 1 問 (化学工学)

次の問題 1 と 2 に答えなさい。

1.

エタノール 35.0 wt%を含む水が 20.0 °Cに保たれた状態で 2000 kg·h⁻¹で予熱器に流入し、60.0 °Cまで加熱されて濃縮塔（蒸留塔）に入り、塔頂からエタノール 85.0 wt%の液が、また塔底からエタノール 5.00 wt%の液が流出した。この時、次の問いに答えなさい。ただし、各物性値には以下の値を用いなさい。原料エタノール水溶液の密度 $\rho_w = 944.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，粘度 $\mu = 2.810 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，比熱 $C_p = 4.56 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- (1) 予熱器に入るまでのパイプ内径が 6.00 cm の場合，管内の平均流速 $V [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$ とレイノルズ数 Re を求めなさい。
- (2) 予熱器出口までに原料流体が単位時間当たりに受け取った熱量 $Q [\text{W}]$ を求めなさい。
- (3) 下図のように、蒸留塔の内液から側壁を介して外気までの熱通過率を $K [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ とし、 K を内壁側の熱伝達係数 $h_{in} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ ，外壁側の熱伝達係数 $h_{out} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ ，塔壁の熱伝導度 $\lambda [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ ，塔壁の厚さ $\ell [\text{m}]$ を用いて表しなさい。ただし，蒸留塔の内径が大きいので，塔壁は曲率を持たない平板と考えて良い。
- (4) 塔頂液流量 $P [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ と塔底液流量 $D [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$ を求めなさい。



2.

液相一次反応 $A \rightarrow C$ において、反応速度 r_A [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$] は、原料成分 A の濃度 C_A [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$] を用いて $-r_A = k C_A$ で表せる。反応速度定数 k が 1.50 h^{-1} であるとき、以下の問いに答えなさい。

- (1) 上記の液相反応を、連続槽型反応器を用いて行う。反応器出口の A の反応率を 60% ($x_A = 0.60$) とするために必要な空間時間 τ [h] を求めなさい。
- (2) 同じ液相反応を、体積 V が 0.50 m^3 の管型反応器を用いて(1)で求めた空間時間で行う。このときの体積流量 v_0 [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$] と反応器出口の反応率 x_A [-] を求めなさい。
なお、各反応器の設計方程式は以下のいずれかである。

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

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

ここで、 C_{A0} [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$] は原料成分 A の初濃度である。

第 2 問 (物理化学)

次の問題 1 ～ 3 に答えなさい。計算過程も示し，答えにはアンダーラインを引くこと。また，必要な場合には必ず単位を付けること。なお，気体定数 R は $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ，絶対温度は 0 K を -273.15°C とする。

※下線部の出題時誤記を修正済み

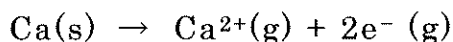
1.

次の文章を読み，(1)と(2)に答えなさい。

- (1) 完全気体 5.00 mol を，温度 20.0°C 一定で 20.0 dm^3 から 50.0 dm^3 に膨張させた。このとき完全気体が外界に行った仕事について，下記(a)～(c)の問いに答えよ。解答する仕事の単位は J (ジュール) とする。また，系が外界に対して仕事をしたとき、これにより移動したエネルギーは負の量として表す。

- (a) 可逆膨張させたときの仕事を求めよ。
(b) 2.00 bar の一定外圧に対抗して膨張させたときの仕事を求めよ。
(c) 外圧 0 で自由膨張させたときの仕事を求めよ。

- (2) 一定の圧力下， 25°C で次の反応式のエネルギーを求めよ。ただし，反応に用いるカルシウムは 1.00 g である。



ここで，カルシウムの標準昇華エンタルピーは 178 kJ mol^{-1} ，第一イオン化エンタルピーは 590 kJ mol^{-1} ，第二イオン化エンタルピーは 1145 kJ mol^{-1} であり，カルシウムのモル質量は 40.08 g mol^{-1} である。

2.

次の文章を読み，(1)と(2)に答えなさい。

- (1) 7.40 mol の完全気体 A と 5.60 mol の完全気体 B を温度 25.0°C で混合した。このときの混合ギブズエネルギーと混合エントロピーを求めよ。
- (2) 平衡に到達した反応において， 30.0°C での平衡定数が 0.551 であった。このときの反応ギブズエネルギーと標準反応ギブズエネルギー

を求めよ。

3.

次の文章を読み、(1)と(2)に答えなさい。

- (1) アレニウスの式に従うある反応の反応速度定数が、293 K で $2.81 \times 10^{-4} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 、312 K では $4.21 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。この反応の活性化エネルギー E_a と頻度因子 A をそれぞれ求めよ。
- (2) 反応物 X から生成物 Y が生じる 2 次反応の反応速度定数は、ある温度で $7.28 \times 10^4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ である。反応物 X の初期濃度が $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ であるとき、10 秒後の反応物 X の濃度を求めよ。

第 3 問（無機化学）

次の問題 1 と 2 に答えなさい。

1 .

金属銅粉末から硫酸銅(Ⅱ)五水和物を合成する実験【実験 A】と、銅(Ⅱ)錯体水溶液の吸収スペクトルを測定する実験【実験 B】について記された次の文章を読み、以下の問（1）～（9）に答えなさい。

【実験 A】 (a)希硫酸の入ったビーカーに銅粉末を加えた。ここに過酸化水素水を少しずつ滴下し、ビーカーごと弱火で加熱した。銅粉末がすべて溶解し、細かい気泡の発生が見られなくなった時点で加熱を終え、室温付近まで冷却した。ビーカー内に生成した硫酸銅(Ⅱ)五水和物の結晶を吸引ろ過により回収し、エタノールで洗浄後十分に乾燥した。

【実験 B】 実験 A で得られた硫酸銅(Ⅱ)五水和物 0.250 g を 10 mL の純水に溶解した。この水溶液にさらに純水を加えて体積を 25 mL に合わせた（水溶液①）。水溶液①を 4.0 mL 分取し、これに濃アンモニア水を 1.0 mL 加えた（水溶液②）。水溶液②に純水を加えて体積を 25 mL に合わせた（水溶液③）。水溶液③の一部を光路長 1.0 cm のセルに入れ、紫外-可視吸光光度計にセットし吸収スペクトルを測定した。

- （1） 金属銅と銅(Ⅱ)イオンの電子配置を、以下の例にならって構成原理がわかるようにそれぞれ記しなさい。

（例）ナトリウムイオン： $1s^2 2s^2 2p^6$

- （2） 硫酸イオンの立体構造を図示しなさい。ただし、非共有電子対は構造の一部に含めないものとする。
- （3） 硫酸銅(Ⅱ)五水和物の英語名を記しなさい。
- （4） 下線部(a)について、希硫酸に金属銅を加えただけでは化学反応

は起こらない。その理由を、「銅」、「水素イオン」、「電子」、「半反応」、「標準酸化還元電位」の語をすべて用いて説明しなさい。

- (5) 実験 A の結果、金属銅と希硫酸と過酸化水素から硫酸銅(Ⅱ)と水が生成する。この反応を化学反応式で記しなさい。
- (6) 水溶液①中に含まれる銅(Ⅱ)錯体の化学式と日本語名をそれぞれ記しなさい。
- (7) 水溶液②は濃青色であった。この溶液中に最も高濃度で存在すると考えられる銅(Ⅱ)錯体の化学式と日本語名をそれぞれ記しなさい。
- (8) 水溶液③について紫外-可視吸収スペクトルを測定したところ、波長 600 nm において吸光度が 0.327 となる吸収極大が観測された。この水溶液中に存在する銅(Ⅱ)錯体のモル吸光係数を有効数字 2 桁で求めなさい。計算過程と単位も記すこと。ただし、硫酸銅(Ⅱ)五水和物の式量は 250 とする。
- (9) 上記問(8)の吸収波長における銅(Ⅱ)錯体水溶液の透過率を有効数字 2 桁で求めなさい。計算過程も記すこと。

2.

次の文(1)～(8)のうち、誤りを含むものをすべて選び、番号で記しなさい。さらに例に従い、選んだ誤文中の誤っている箇所を正しい内容にそれぞれ書き換えなさい。

(誤文例) 二つの原子の s 軌道どうしが重なりあうと π 結合が形成される。

(書換例) 誤「 π 結合」→ 正「 σ 結合」

- (1) 「一本の原子軌道には、スピン量子数の等しい電子が 2 個まで入る」という規則を、パウリの排他原理という。
- (2) 水素イオンが解離したあとに、負電荷の空間的な広がりのできるほど強いブレンステッド酸になる。
- (3) 17 族元素の単体の酸化力は、フッ素 < 塩素 < 臭素 < ヨウ素 の順に高くなる。

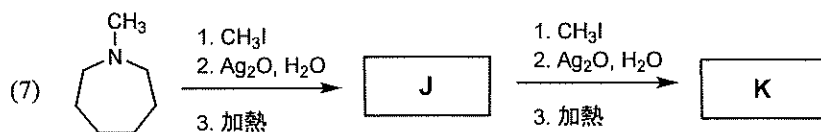
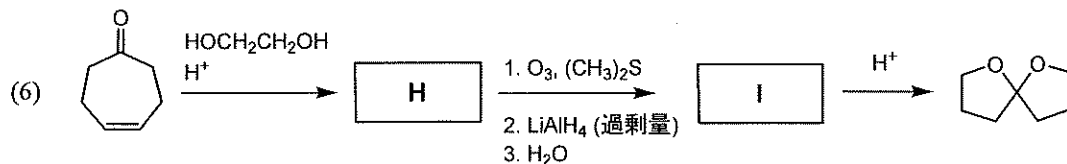
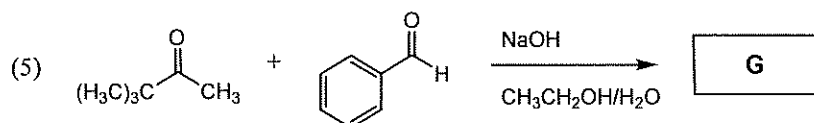
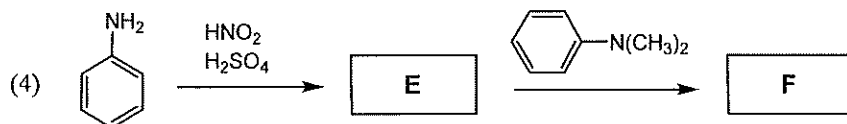
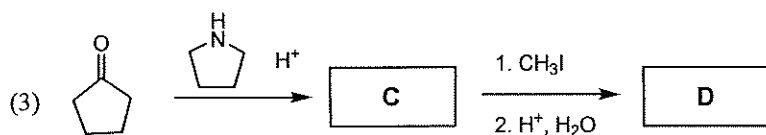
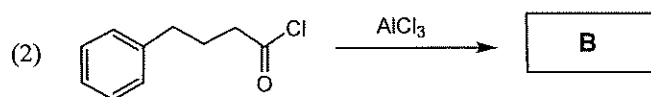
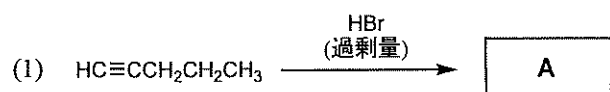
- (4) 二フッ化硫黄は直線型の分子である。
- (5) 硝酸イオンは炭酸イオンと等電子的である。
- (6) 一酸化窒素分子と酸素分子はともに常磁性を示す。
- (7) クロムの酸化物は、クロムの酸化数が高いほど塩基性酸化物になりやすい。
- (8) 銅(II)イオンは、テトラヒドリドホウ酸イオンによって金属銅に還元される。

第 4 問 (有機化学)

次の問題 1 ～ 4 に答えなさい。

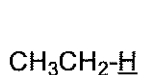
1.

次に示した反応(1)～(7)の生成物 **A**～**K** の構造式を記しなさい。なお、反応によりラセミ体を生じる場合、生成物の立体化学を考慮する必要はない。

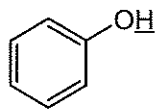


2.

次の7種類の化合物 **A**～**G** の下線を引いた水素の酸性度について，酸性度の高い順に左から **A**～**G** の記号を用いて記しなさい。



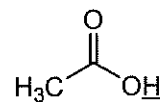
A



B



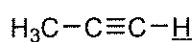
C



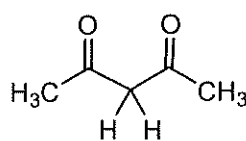
D



E



F



G

3.

(2*R*,3*R*)-2-ブロモ-3-メチルヘキサンについて，以下の(1)～(3)の間に答えなさい。なお，光学活性な化合物については，立体化学が分かるようにくさび形線，実線，破線を用いて構造式を記しなさい。

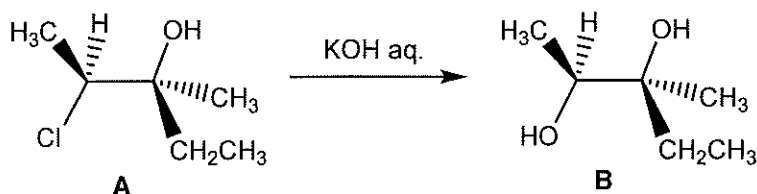
(1) (2*R*,3*R*)-2-ブロモ-3-メチルヘキサンの構造式を記しなさい。

(2) (2*R*,3*R*)-2-ブロモ-3-メチルヘキサンとナトリウムメトキシドとの反応により，熱力学的に安定な E2 反応生成物が主生成物として得られた。この生成物の構造式を記しなさい。

(3) (2*R*,3*R*)-2-ブロモ-3-メチルヘキサンとナトリウム *tert*-ブトキシドとの反応により得られる主生成物の構造式を記しなさい。

4.

化合物 **A** を水酸化カリウムで処理したところ，立体保持されたジオール誘導体 **B** が得られた。この反応の反応機構を電子対の矢印を用いて記しなさい。



第 5 問 (バイオ化学)

次の問題 1 ～ 4 に答えなさい。

1.

細胞がゲノムを読み取る仕組みに関する次の文章を読み、下の (1) ～ (6) の問いに答えなさい。

細胞の遺伝情報 (DNA) がタンパク合成を指令する。あるタンパク質 X が細胞で必要になると、遺伝情報は DNA 分子中からタンパク質 X の合成に必要なヌクレオチド配列 (RNA) に写し取られる (転写)。この写し取られた RNA (mRNA) がタンパク質合成 (翻訳) の指令となる。このように①DNA からタンパク質への遺伝情報の流れは細菌からヒトに至るまであらゆる細胞で行われている基本原理である。しかし、DNA 分子中から RNA に遺伝情報が写し取られる方法は、細菌とヒトのような真核生物とは大きく異なる。真核生物では、DNA の転写は核内で起こるため、翻訳の始まる前に mRNA を核膜の小孔を通して核外に運び出す必要があり、そのために、mRNA は細胞質へ運ばれる前に②RNA スプライシングなどの加工処理を受ける。mRNA が加工処理を受けると③成熟 mRNA となり、核から細胞質へ運び出される (選択的輸送)。細胞質に運び出された成熟 mRNA の指令は④リボソームによって解読される。この時、⑤運搬 RNA (tRNA) がアダプター分子となって働き、mRNA の 3 つの塩基配列を読み取り、1 つのアミノ酸を指定する。タンパク合成開始は特定の 3 つの塩基配列の合成から開始され、その後、タンパク合成の終了を指定する 3 つの塩基配列に到達するまで合成される。

(1) DNA と RNA のヌクレオチドを構成する糖と塩基をそれぞれ記しなさい。

(2) 下線部①の基本原理の名称を記しなさい。

(3) 下線部②の RNA スプライシング以外の 2 つの加工処理の名称を記

し、それぞれの加工法について説明しなさい。

(4) 下線部③で核膜の小孔を通過する際、巨大分子の選択的輸送に関わる網目状の構造物の名称を記しなさい。

(5) 下線部④のリボソームの構造を、以下の用語を全て用いて説明しなさい。

用語：mRNA, tRNA, rRNA, サブユニット

(6) 下線部⑤について、問 (a) と (b) に答えなさい。

(a) mRNA の 3 つの塩基配列を読み取るための tRNA の領域の名称を記しなさい。

(b) mRNA の 3 つの塩基配列の名称を記しなさい。

2.

アミノ酸であるロイシン(Leu)に関する次の問い(1)、(2)および(3)に答えなさい。ただし、 pK_1 値と pK_2 値は、それぞれ 2.36 と 9.60 である。

(1) ロイシンの等電点 (pI) を答えなさい。途中の計算過程も示すこと。

(2) ロイシンを含む溶液の pH が 1, 12, および(1)で計算した pI と同じ時、ロイシンの構造をそれぞれ示しなさい。また、そのときの実効電荷も記しなさい。

(3) 次のアミノ酸のなかで、ロイシンと同様に非極性であるアミノ酸を 2 つ選び、その名前と構造を記しなさい。

グルタミン酸, アラニン, セリン, アルギニン, バリン, アスパラギン

3.

α -D-グルコースと α -D-フルクトースの環状構造を、Haworth(ハース)構造式でそれぞれ表しなさい。また、 α -D-グルコースと α -D-フルクトースの構造的違いを説明しなさい。