

2020年度

専攻科入学者選抜試験
学力検査問題

専門(物質化学工学専攻)

(配点)

	出題分野	配点
①	無機化学	40点
②	有機化学	40点
③	物理化学	40点
④	化学工学	80点
⑤	生物工学	80点

[注 意]

1. 問題は、指示があるまで開かないこと。
2. 問題用紙は、1ページから7ページまでである。
検査開始の合図のあとで確かめること。
3. 出題分野「無機化学」、「有機化学」、「物理化学」は必ず解答し、出題分野「化学工学」、「生物工学」については2分野のうち1分野を選択して解答すること。
4. 答えは、すべて解答用紙に記入すること。

1 (無機化学)

問1 次の物質を化学式で答えよ。

- (1) 銅に濃硝酸を加えたときに発生する気体
- (2) 硝酸銀の水溶液に、塩酸を加えたときに生じる白色沈殿
- (3) 硫酸鉄(II)の水溶液に、水酸化ナトリウム水溶液を加えたときに生じる緑白色沈殿
- (4) 炭酸水素ナトリウムを強熱したときに発生する気体

問2 元素の性質について答えよ。

- (1) マグネシウムの原子半径が、ナトリウムの原子半径より小さい理由を述べよ。
- (2) 化合物中における、鉛の安定な酸化数を2つ答えよ。
- (3) 鉛の安定な酸化数が、複数ある理由を述べよ。

問3 電子の軌道と量子数について答えよ。

- (1) 主量子数 2, 方位量子数 1 の軌道は、何軌道であるか。
- (2) 方位量子数が 1 の軌道の、電子雲の形を図示せよ。
- (3) 主量子数が 3 のとき、方位量子数は何種類あるか。

問4 アンモニアの分子構造について答えよ。

- (1) 分子構造を立体構造がわかるように図示せよ。
- (2) (1) で答えた構造になる理由を、VSEPR 理論を用いて説明せよ。

2 (有機化学)

問1 次の問に答えよ。

- (1) methane, ethylene, acetylene は、それぞれ異なる混成軌道を持つ化合物である。
それぞれの立体構造が明確になるように構造式を書き、混成軌道を示せ。
- (2) (1) の3つの有機化合物の中には臭素水と反応する化合物があるが、
どのような電子が、どのような試薬と、どんな反応を起こすことに起因するか20文字以内で説明せよ。
- (3) (2) の臭素水の色の変化は、何色から何色に変化するか答えよ。
- (4) (2) の反応式をすべて示せ。2段階が考えられる場合は、中間体の構造も書け。
ただし、臭素水は $\text{Br}_2(\text{aq})$ とし、原料系から生成系への矢印の上を書くこと。
また、電子の動きを示す矢印は省略してよい。
- (5) (1) の化合物のうち最も酸性度が高いものを選び、カルボン酸 ($\text{R}-\text{COOH}$) ,
アルコール ($\text{R}-\text{OH}$) と比較して酸性度が高くなる順に名称を並べよ。

問2 下の (a)–(e) から記号を3つ選んで解答欄に示し、対で示した化合物の構造式を各々書け。

また、対で示した化合物を目視で識別できる化学的方法について、必要な試薬を示しながら、
試薬や反応後の色・状態変化について簡潔に説明せよ。

ただし、識別する方法には機器分析を用いてはならない。

長鎖アルキルは、メチレン部位を $-(\text{CH}_2)_n-$ と略し、幾何異性がある場合は明確に書くこと。

- (a) 2-propanol と 1-propanol
- (b) phenol と cyclohexanol
- (c) aniline と acetanilide
- (d) stearic acid (octadecanoic acid) と
linoleic acid ((9Z,12Z)-octadeca-9,12-dienoic acid)
- (e) benzene と cyclohexene

3 (物理化学)

問1 1.50 atm, 100 Kの理想気体1.00 molについて次の間に答えよ。

- (1) この気体を温度一定(100 K)で, 3.00 atmまで圧縮したときのエントロピー変化を求めよ。
- (2) (1)の操作後, 圧力一定 (3.00 atm) で300 Kまで温度を上げたときのエントロピー変化を求めよ。
- (3) この理想気体を1.50 atm, 100 Kから3.00 atm, 300 Kまで直接変化させたときのエントロピー変化を求めよ。

ただし, 気体定数は $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, 3.00 atmにおける理想気体の等圧熱容量は $C_p = (7/2)R$, で温度に依存しないとする。また, $\ln 2 = 0.690$, $\ln 3 = 1.10$ とする。

ヒント

等温体積変化では, $dS = PdV / T$, 等圧温度変化では, $dS = C_p dT / T$ とし, 理想気体の状態方程式は, $PV = nRT$ とする。

問2 図3-1に成分AとBからなる二成分系の融点図 (1.00 atm) を示す。相平衡において, 平衡連結線から共存する2相の相対量を知ることができる。いま, P'点の溶液を冷却してP点に達したとする。全体の重量を300 gとし, P点で存在する各相の組成, 重量を求めよ。

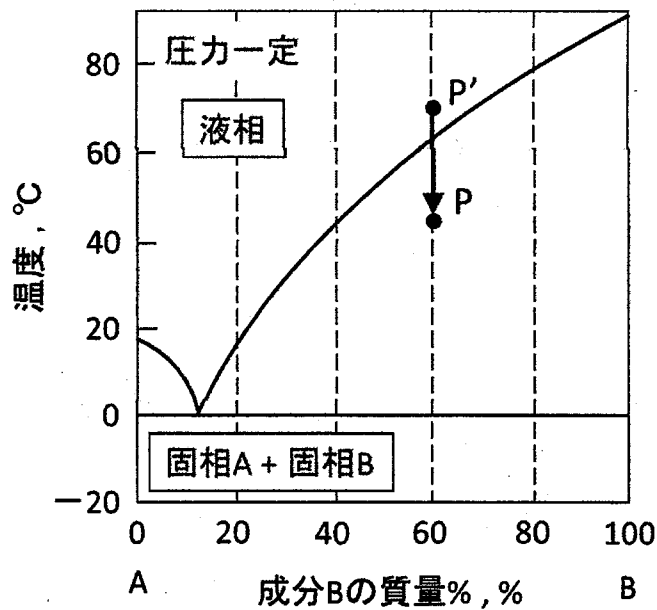


図3-1 A-B 二成分系の融点図

問3 次の語句について説明せよ。

- (1) 熱力学第一法則
- (2) ル・シャトリエの原理

4 (化学工学)

問1 内径 D の円管内を密度 ρ の液体が質量流量 w で流れている。以下の (1)~(2) に答えよ。

- (1) 液体の平均流速 \bar{u} を式で表せ。なお、円周率は π を使うこと。
- (2) 円管内径が 5.00 cm であり、液体は平均流速 120 cm min^{-1} 、密度 1.00 g cm^{-3} 、粘度 $5.00 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ とする。この場合について、無次元数である Re 数を有効数字2桁で答えよ。なお、 $Re = D \bar{u} \rho / \mu$ であり、 μ は液体の粘度である。

問2 流通反応器で液相化学反応 $A \rightarrow C$ を行わせる場合について、以下の (1)~(2) に答えよ。ただし、この反応の速度は $r_A = -kC_A [\text{mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}]$ で表される。ここで、 k は反応速度定数、 C_A は A 成分の濃度である。なお、 $k = 0.030 \text{ s}^{-1}$ であり、反応器体積を $V = 0.50 \text{ m}^3$ 、体積流量を $v = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、反応器入口での A 成分濃度を $C_{AI} = 2.0 \text{ mol m}^{-3}$ とする。また、必要に応じて表4-1の値を使っても良い。

- (1) 栓流管型反応器を用いた場合の反応器出口での A 成分濃度 C_{AE} を有効数字2桁で答えよ。なお、この反応器の設計方程式は次式で与えられる。

$$\frac{V}{v} = \int_{C_{AI}}^{C_{AE}} \frac{dC_A}{r_A}$$

- (2) 完全混合流槽型反応器を用いた場合の反応器出口での A 成分濃度 C_{AE} を有効数字2桁で答えよ。なお、この反応器の設計方程式は次式で与えられる。

$$\frac{V}{v} = \frac{C_{AI} - C_{AE}}{-r_A}$$

表 4-1 数値表 (1)

e	2.71828	$\log_{10} 2$	0.301030
e^{-1}	0.367879	$\log_e 2$	0.693147
e^{-2}	0.135335	$\log_{10} 3$	0.477121
e^{-3}	0.0497871	$\log_e 3$	1.09861

問3 図4-1 に示す二重管式熱交換器を用い、高温の油の熱で水を加熱する場合について、以下の (1)~(2) に答えよ。水は入口温度を 15°C 、流量を 50 kg s^{-1} とし、油は入口温度を 90°C とする。また、水の比熱を $4.0 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、油の比熱を $2.0 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ とする。なお、外部への熱損失は無視できるものとする。

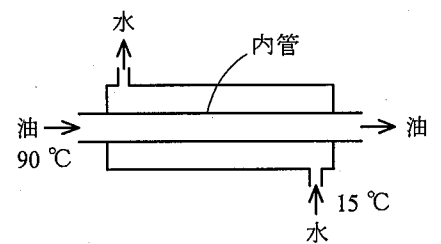


図 4-1 二重管式熱交換器

- (1) 油の出口温度が 50°C の場合、水の出口温度を 65°C にするには、油の流量をいくらにすべきか有効数字2桁で答えよ。
- (2) 内管外面積基準の総括伝熱係数 (U_0) が $5.0 \times 10^3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ であり、油の流量を 100 kg s^{-1} とする。この場合、油から水への伝熱速度を $5.0 \times 10^6 \text{ W}$ とするのに必要な内管外面積を、有効数字2桁で答えよ。なお計算の際、伝熱の駆動力である温度差は以下の対数平均温度差 (Δt_{lm}) を使う。

$$\Delta t_{lm} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log_e(\Delta t_1 / \Delta t_2)}$$

ここで、 $\Delta t_1 = (\text{油の入口温度} - \text{水の出口温度})$ 、 $\Delta t_2 = (\text{油の出口温度} - \text{水の入口温度})$ である。 Δt_1 と Δt_2 が等しい場合は、 $\Delta t_{lm} = \Delta t_1 = \Delta t_2$ である。

5 (生物学)

問1 真核生物の代表的な代謝系(経路)及び代謝回路を図5-1に示す。なお、各代謝反応は簡略化しており、主要な代謝物のみを示している。関連する次の問に答えよ。

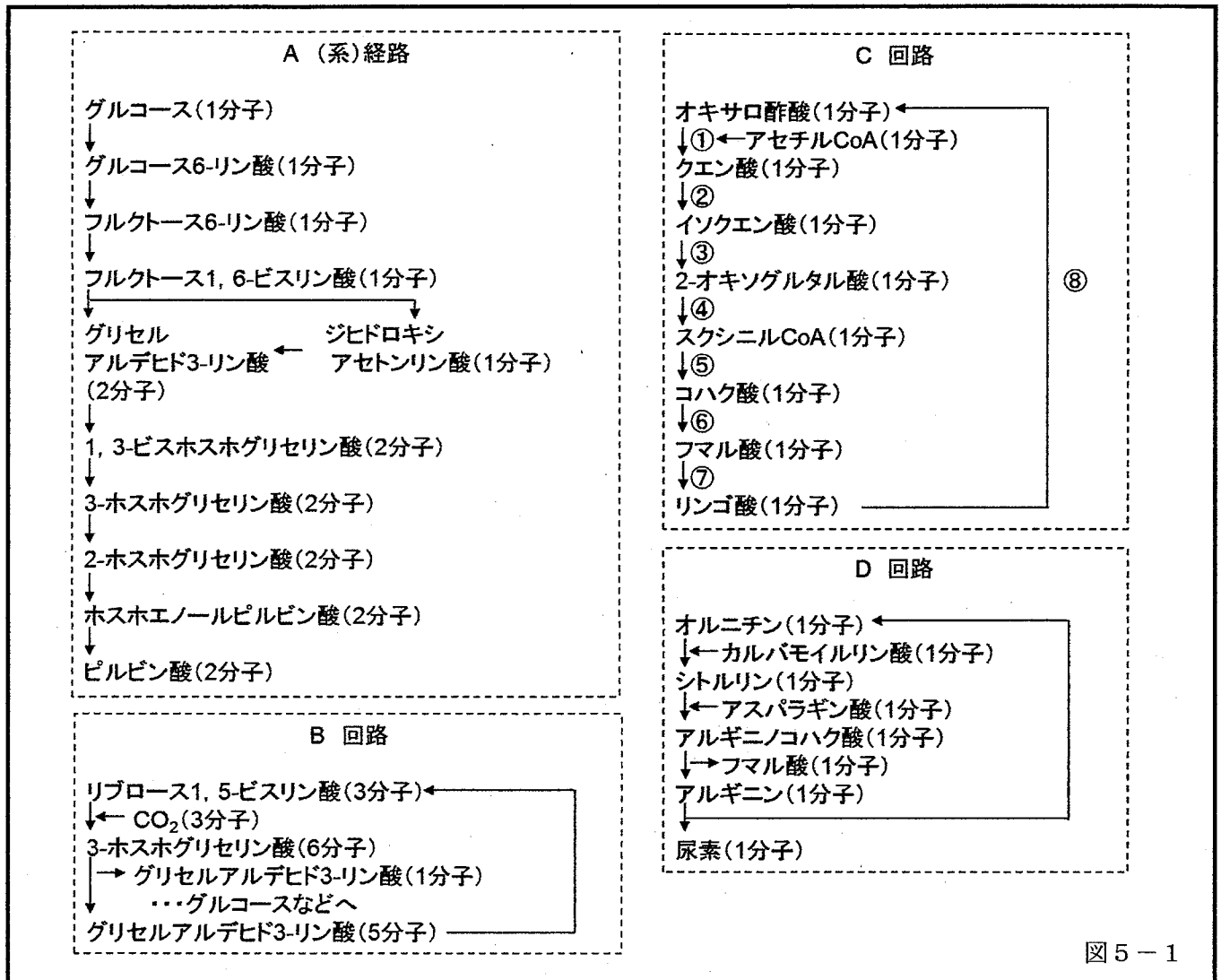


図5-1

- (1) A~Dの代謝系(経路), 代謝回路名を答えよ。
- (2) A~Dの代謝系(経路), 代謝回路のうち,
 - (ア) ATPを消費する反応が含まれるもの
 - (イ) GTPを生成する反応が含まれるもの
 - (ウ) 高還元分子(NADH, NADPH, またはFADH₂)を消費する反応が含まれるもの
 - (エ) 高還元分子(NADH, NADPH, またはFADH₂)を生成する反応が含まれるもの
 - (オ) ミトコンドリア内で起こる反応が含まれるもの

は各々どれか。記号(A~D)で答えよ(注:答えは1つとは限らない)。

(3) A~Dの代謝系(経路), 代謝回路に登場する代謝物の多くは, 他の代謝の出発物質, 代謝中間体, 最終産物にもなっている。

(ア) アラニン異化の最初の反応(アミノ基転移反応)により生成するケト酸

(イ) アスパラギン酸異化の最初の反応(アミノ基転移反応)により生成するケト酸

(ウ) ペントースリン酸経路の出発物質

(エ) 偶数炭素数の飽和脂肪酸の β -酸化で得られる最終産物

(オ) グリセロール異化のリン酸化, 酸化反応によって生成する物質

(カ) オロト酸(ピリミジン環の前駆体)合成の材料(2つ)

以上の(ア)~(カ)について, 該当する代謝物を図5-1から選びなさい。

(4) D回路にある尿素の直接の前駆体であるアミノ酸, アルギニンについて, (ア)側鎖の構造式, (イ)三文字略号, (ウ)一文字略号を示せ。なお, 構造式は生理的pHにおける主要な電荷状態で示すこと。

(5) マロン酸はC回路にある酵素反応の阻害剤として有名である。

(ア) マロン酸はどの酵素反応を阻害するか。図5-1のC回路にある①~⑧の番号で答えよ。

(イ) この阻害剤の結合特異性は次の(a), (b), (c)のどれか。(a)~(c)で答えよ。

(a) 遊離の酵素に結合し, 酵素-基質複合体には結合しない

(b) 遊離の酵素, 酵素-基質複合体の両方に結合する

(c) 酵素-基質複合体に結合し, 遊離の酵素には結合しない

(ウ) マロン酸があると, マロン酸がない場合と比べ K_m , V_{max} の値は各々どうなるか。高くなる, 低くなる, 変わらない, のいずれかを選択し答えよ。

問2 ある架空のmRNAが翻訳されると, 以下のN末端部分のアミノ酸配列からなるペプチド(野生株)ができる。左側がN末端である。

リシン-バリン-アスパラギン酸-セリン-ロイシン-グリシン-アスパラギン-スレオニン-システイン-セリン・・・
(野生株)

(1) このmRNAの大元のDNAがある変異を受け, 次のmRNA配列となった。なお, 左側が5'末端である。

AAGGUUGACUAUUAGGGAAUACGUGCAGUA・・・

変異株としてどんなアミノ酸配列からなるペプチドができるか。アミノ酸配列の決定には表5-1のコードン表を参考にし, 野生株にならってN末端側から順にアミノ酸1-アミノ酸2・・・と示し答えること。なお, 翻訳はmRNA配列の一番左端から起こるものとする。

(2) どのような変異が遺伝子レベルで起こったと考えられるか。正解を (a) ~ (c) から1つ選択せよ。

- (a) 1つの塩基が欠失されたことによるフレームシフト変異が起こった
- (b) 1つの塩基が挿入されたことによるフレームシフト変異が起こった
- (c) 1つの塩基が入れ替わったことによる変異が起こった

(3) 野生株と変異株のペプチドを分離する方法として (a) ~ (e) のどのカラムが最も効果的か。(a) ~ (e) から1つ選択せよ。

- (a) 陽イオン交換カラム
- (b) 陰イオン交換カラム
- (c) ゲルろ過カラム
- (d) アフィニティカラム
- (e) 疎水性カラム

表5-1 コドン表

1文字目の塩基	2文字目の塩基				3文字目の塩基
	U	C	A	G	
U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U
	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	C
	ロイシン	セリン	終止	終止	A
	ロイシン	セリン	終止	トリプトファン	G
C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U
	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	C
	ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	A
	ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	G
A	イソロイシン	スレオニン	アスパラギン	セリン	U
	イソロイシン	スレオニン	アスパラギン	セリン	C
	イソロイシン	スレオニン	リシン	アルギニン	A
	メチオニン	スレオニン	リシン	アルギニン	G
G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	U
	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	C
	バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	A
	バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	G