

令和 8（2026）年度
東北大学大学院工学研究科
応用化学専攻・化学工学専攻・バイオ工学専攻
東北大学大学院環境科学研究科
先端環境創成学専攻（化学・バイオ群）
〔博士課程前期 2 年の課程〕
一般選抜試験

〔基礎科目〕

【本学部化学・バイオ工学科卒業（見込）の者】

I 注意事項

1. ①無機・物理化学，②有機化学，③生物化学，④化学工学
以上 4 科目を全て解答すること。
2. 試験時間は 9：00～12：00 である。
3. 配布された問題冊子，解答用紙，および草案紙は，試験終了後すべて提出すること。

II 解答上の注意

1. 解答用紙は 1 科目につき 1 枚使用すること。ただし，解答用紙の裏面も使用してよい。
2. 解答用紙の「受験記号番号」記入欄に，受験記号番号を記入すること。解答用紙に名前を記入してはならない。
3. 解答用紙の「科目名」記入欄に，選択する科目名を記入すること。

無機・物理化学

【問1】酸・塩基に関する以下の文章を読み、設問に答えよ。

ブレンステッドの酸・塩基における $M-H$ の酸性度は、水素イオン (H^+) を遊離した際、原子あるいは原子団 M に残された負電荷の安定性に大きく依存する。そのため、電子を引き寄せる強さの相対的な尺度である電気陰性度は、酸性度の議論でも重要な役割を果たす。ア の電気陰性度のほか、マリケンは イ と ウ の平均として電気陰性度を定義した。しかし、これらの電気陰性度は、原子がその原子状態でのものである。そこで、化合物中の原子の電気陰性度を定義することで、その化合物の酸・塩基性をより精確に議論することが可能となる。化合物中の原子の電気陰性度に及ぼす効果には、“混成効果”と“電荷効果”の2つがある。始めに混成効果について、例えば、化合物中の炭素原子の電気陰性度は結合にあずかる混成軌道の種類で異なる。混成軌道の電気陰性度は、 $2s$ 軌道と $2p$ 軌道の電気陰性度の加重平均で与えられ、その大きさの順は_(A) $sp > sp^2 > sp^3$ である。これに対し、電荷効果は、例えば、金属の酸性酸化物では金属の酸化数が エ ほど pK_a が小さくなる。酸化数が エ と、金属原子（イオン）の電気陰性度が実効的に大きくなるためである。

一方、例えば、オキソ酸の酸性度については、中心原子に二重結合で結合している酸素原子 ($O=$) の数 (p) と pK_a の間には良い相関があり、一般に ア の規則として知られている。具体的には、_(B) 塩素のオキソ酸 を pK_a の値が オ 順に並べると、 $HClO_4$, $HClO_3$, $HClO_2$, $HClO$ となる。この傾向は、 p の値が増大すると、塩素原子の酸化数が大きくなり、電気陰性度が実効的に大きくなる効果の他に、共鳴効果を考慮することで、より良く説明される。

1) 文章中の ア ～ オ に入る最も適切な語句を答えよ。ただし、イ と ウ の語句は順序不同であり、エ と オ には、“大きい”または“小さい”のいずれかの語句が入る。

2) 下線部(A)について、以下の i), ii) に答えよ。

- i) これは、 $2s$ 軌道の電気陰性度が $2p$ 軌道のそれより大きいためである。
その理由を述べよ。

ii) C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 を, それらの水素の酸性度の強い順に並べよ。

3) 下線部(B)について, 以下の i)~iii) に答えよ。

i) 亜塩素酸イオン $[\text{ClO}_2]^-$ の最も支配的なルイス構造式を示せ。また, その2つの塩素-酸素の結合距離は等しい。その理由を述べよ。

ii) 臭素のオキソ酸 HBrO の $\text{p}K_a$ は, HClO のそれより大きい小さいか答えよ。

iii) 塩素のオキソ酸は強い酸化剤でもある。酸化剤として使用するとき, 酸性あるいは塩基性水溶液中のどちらがより強い酸化剤として作用するか答えよ。

【問2】次の文を読んで以下の設問に答えよ。表記記号、単位の関係、テイラー展開については末尾の表にまとめて示した。必要に応じて参照せよ。

浸透現象は純溶媒が自発的に半透膜を通過して、溶液へ流入する現象である。半透膜は溶媒を通すが溶質を通さない。浸透圧 Π は、溶媒の流入を阻止するために溶液にかかる必要のある圧力である。溶媒 A と溶質 B からなる溶液について、希薄条件下ではファントホッフの式 (式(1)) が成立する。

$$\Pi = [B]RT \quad (1)$$

以下に式(1)を導出する。温度 T が一定で、圧力 p の下で純溶媒の化学ポテンシャルは $\mu_A^*(p)$ である。一方、溶液については溶媒のモル分率は x_A であり、圧力 $p + \Pi$ の下での化学ポテンシャルは $\mu_A(x_A, p + \Pi)$ である。平衡では両者は等しく、

$$\mu_A^*(p) = \mu_A(x_A, p + \Pi) \quad (2)$$

となる。理想溶液であると仮定すると

$$\mu_A(x_A, p + \Pi) = \mu_A^*(p + \Pi) + \boxed{\text{ア}} \quad (3)$$

となる。つぎに $\mu_A^*(p + \Pi)$ を $\mu_A^*(p)$ と Π の関数とで表すことを考える。熱力学の基本式 (式(4))

$$dG = Vdp - \boxed{\text{イ}} dT \quad (4)$$

において、定温下であるから、 p_i から p_f まで圧力を変化させたときのモルギブズエネルギー $-G_m$ は

$$G_m(p_f) = G_m(p_i) + \boxed{\text{ウ}} \quad (5)$$

となる。これを用いれば、

$$\mu_A^*(p + \Pi) = \mu_A^*(p) + \boxed{\text{エ}} \quad (6)$$

となる。式(2), (3)および(6)を総合して、

$$-\boxed{\text{ア}} = \boxed{\text{エ}} \quad (7)$$

が得られる。希薄溶液では $x_B \ll 1$ であるから、

$$-\boxed{\text{ア}} \approx \boxed{\text{オ}} x_B \quad (8)$$

と近似できる。一方、 p から $p + \Pi$ への圧力変化は小さいので、その間、溶媒のモル体積 V_m は一定と仮定でき、

$$\boxed{\text{エ}} = \boxed{\text{カ}} V_m \quad (9)$$

となる。式(8)および(9)を(7)に代入すると

$$\boxed{\text{オ}} x_B = \boxed{\text{カ}} V_m \quad (10)$$

となる。溶液が希薄なので

$$x_B = n_B / (n_A + n_B) \approx \boxed{\text{キ}} \quad (11)$$

となる。さらに溶媒の体積 V は

$$V = \boxed{\text{ク}} V_m \quad (12)$$

である。希薄溶液であるので溶液の体積は V と等しいとみなせる。以上から

$$x_B / V_m = \boxed{\text{ケ}} \quad (13)$$

となる。これを式(10)にあてはめ、式(1)が得られる。

- 1) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ~ $\boxed{\text{ケ}}$ に入る文字式をそれぞれ答えよ。
- 2) スクロースの希薄水溶液について 298 K で浸透圧を測定したところ 47.6 kPa であった。ただし、この希薄水溶液は理想溶液とみなせるものとする。
 - i) スクロースの濃度 $[\text{mol dm}^{-3}]$ を求めよ。
 - ii) この水溶液の水蒸気圧は純水の水蒸気圧に比べて小さくなる。その理由を答えよ。
- 3) 2) の i) で求めた濃度と等しい濃度の塩化ナトリウム水溶液を調製した。この水溶液の浸透圧を求めよ。ただし、この塩化ナトリウム水溶液は理想溶液とする。

表 表記記号, 単位の関係, テイラー展開

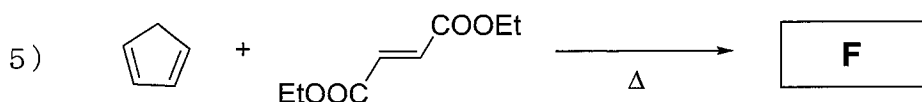
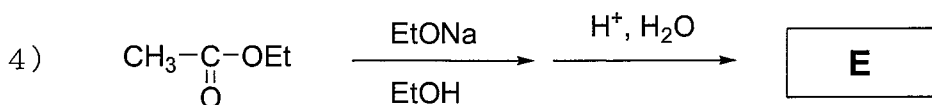
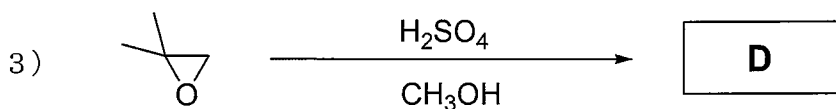
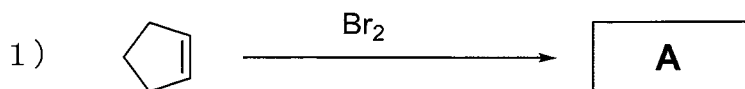
Π : 浸透圧	μ : 化学ポテンシャル	*: 純物質
$[X]$: 溶質 X のモル濃度	x_X : 成分 X のモル分率	i: 始状態
R : 気体定数, 8.31 J K ⁻¹ mol ⁻¹	n_X : 成分 X の物質質量	f: 終状態
T : 絶対温度	G : ギブズエネルギー	
p : 圧力	G_m : モルギブズエネルギー	
V : 体積	S : エントロピー	
V_m : モル体積		1 Pa = 1 kg m ⁻¹ s ⁻²
		1 J = 1 kg m ² s ⁻²

$$\ln(1+x) = x - (1/2)x^2 + (1/3)x^3 - \dots$$

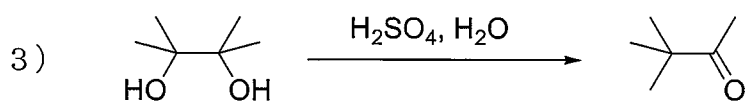
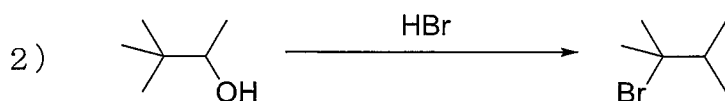
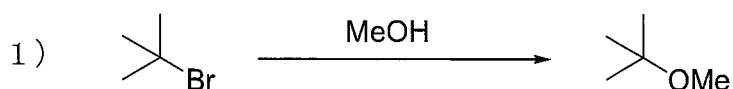
$$(1+x)^{-1} = 1 - x + x^2 - \dots$$

有機化学

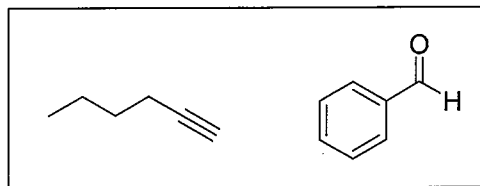
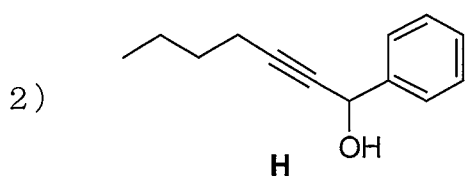
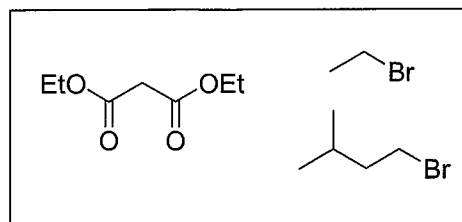
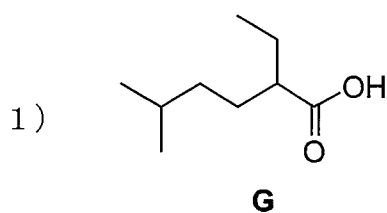
【問1】 1) ~ 5) の反応の主生成物 **A**~**F** を化学構造式で書け。シーストランス異性体のどちらかが選択的に生成する場合は、生成物の立体化学がわかるように書け。ただし、鏡像異性体は区別しなくてよい。



【問2】 1) ~ 3) の反応に関し、反応機構をそれぞれ書け。なお、反応中間体の構造を示し、電子の動きは巻矢印で示すこと。



【問3】 1), 2) に関して, 化合物 **G**, **H** をそれぞれの右の枠で囲まれた化合物から合成する合成経路を示せ。必要であれば適当な酸または塩基を用いてよい。



【問4】 以下の文章を読み, 1), 2) に答えよ。

分子式 $\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_3$ のエステルを水酸化ナトリウム水溶液で加水分解した後, 塩酸で中和すると化合物 **I** と化合物 **J** が得られた。**I** の分子式は $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$ であり, 図1の ^1H NMR スペクトルを示した。一方, **J** の分子式は $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ であり, 図2の ^1H NMR スペクトルを示した。

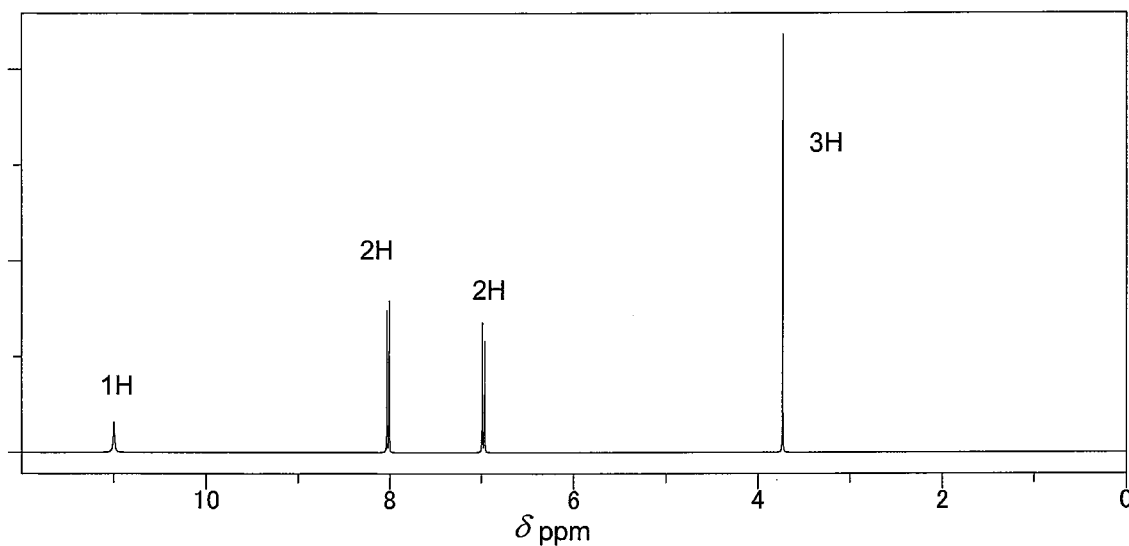


図1 化合物 **I** の ^1H NMR スペクトル (CDCl_3 溶媒中)

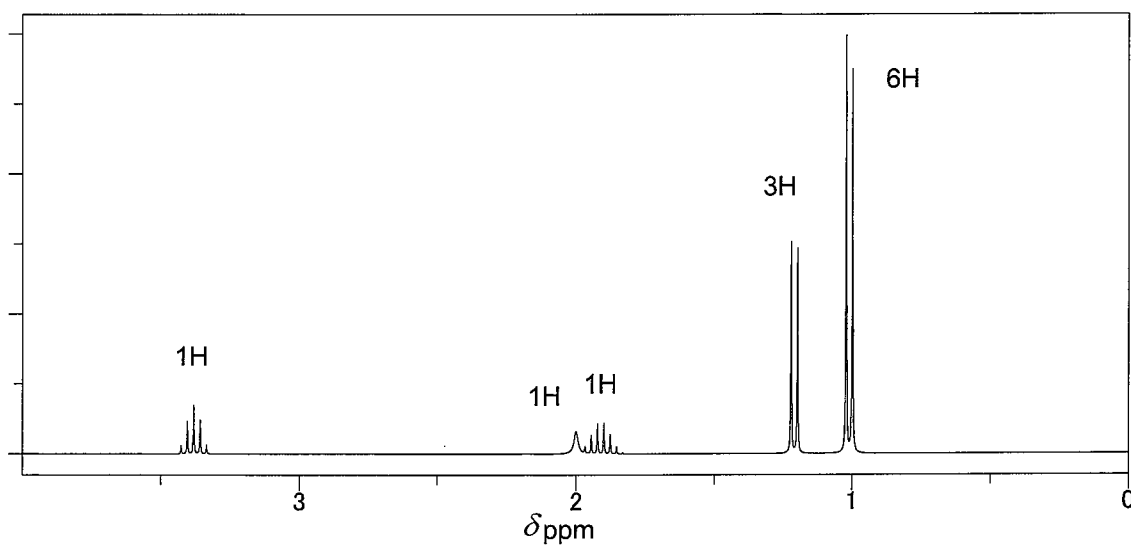


図2 化合物 **J** の ^1H NMR スペクトル (CDCl_3 溶媒中)

- 1) **I**, **J** を化学構造式で示せ。
- 2) 図2の化合物 **J** の5種類のピークを帰属し、その結果を示せ。ただし、左のピークから a~e とせよ。

生物化学

【問1】以下の文章を読み、設問に答えよ。

タンパク質の合成において、リボソームで合成された新生ポリペプチドは自発的に折りたたまれる。ここで、(i)ペプチド結合の C-N 結合の回転は自由ではなくペプチド原子団は平面性を示すため、折りたたまれたポリペプチドのアの大部分は、ペプチド原子団の両端のイ原子の2つの結合の回転角（ ϕ と ψ ）によって記述できる。この角度はポリペプチドを構成するアミノ酸残基の側鎖の性質と空間配置によって決まるため、タンパク質の立体構造は一次構造で規定されるといえる。折りたたまれたポリペプチドのアは、(ii)加熱、pH 変化、化学的処理などで容易に破壊される。これに関する実験例として、4 個の(iii)ジスルフィド結合を有するウシ由来リボヌクレアーゼ A を(iv) $8 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ の尿素および $10 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ の 2-メルカプトエタノールを含む溶液中で放置したところ、酵素の触媒活性が完全に失われた。次いで、(v)透析によりこの溶液から尿素と 2-メルカプトエタノールの両方を徐々に除去したところ、酵素の触媒活性はほぼ完全に回復した。

1) 空欄ア、イに入る最も適切な語句を、それぞれ対応する語群から選び答えよ。

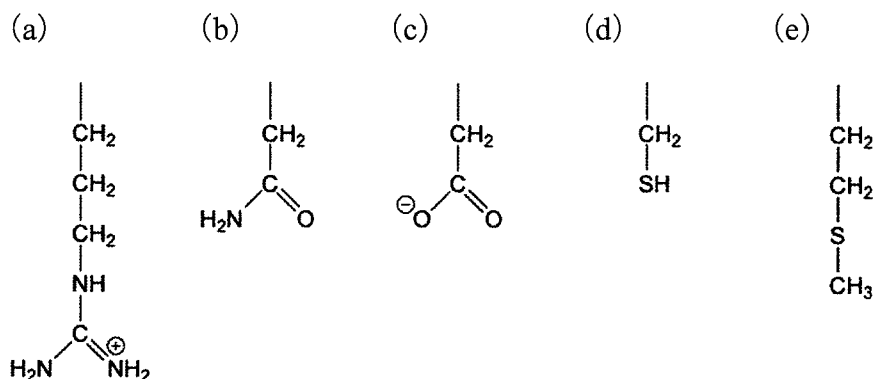
ア の語群：コンホメーション、コンポジション、コンフィグレーション、ランダムコイル

イ の語群：カルボニル酸素、カルボニル炭素、 α 炭素、アミド窒素

2) 下線部(i)について、C-N 結合の回転が自由ではなくペプチド原子団は平面性を示している理由を述べよ。

3) 下線部(ii)について、この状態変化を一般に何とよぶか答えよ。

4) 下線部(iii)について、この結合の形成に寄与するアミノ酸残基の側鎖の構造を次の選択肢から1つ選び答えよ。



- 5) 下線部(iv)について、この実験における尿素と 2-メルカプトエタノールの役割をそれぞれ答えよ。
- 6) 下線部(v)について、この操作の代わりに、まずこの溶液から 2-メルカプトエタノールのみを除去し、次に尿素を除去するという二段階の透析処理を行ったところ、酵素の活性はほとんど回復しなかった。この理由を述べよ。

【問2】以下の文章を読み、設問に答えよ。

酵素では、ポリペプチドが立体構造を形成することで、(i)触媒作用に必要なアミノ酸の側鎖が活性部位へ配置される。パパイヤの果実から単離されたプロテアーゼであるパパインの活性部位には、アミノ末端から(ii)25番目のシステイン残基(Cys-25)と159番目のヒスチジン残基(His-159)が含まれ、(iii)パパインの活性は溶液のpHに影響を受ける。また、(iv)パパインの活性はロイペプチンによって阻害される。

1) 下線部(i)について、活性部位に配置されるアミノ酸の側鎖の特性について述べよ。

2) 下線部(ii)について、システインとヒスチジンの側鎖の酸解離反応式を書け。ただし、電荷を持たないときのヒスチジン側鎖の化学構造は右図とする。

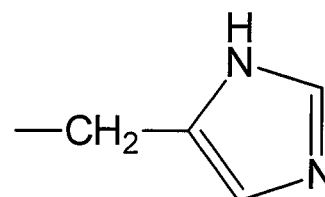


図 電荷を持たないときの
ヒスチジン側鎖の化学構造

3) 下線部(iii)について、パパインの活性部位における Cys-25 と His-159 の側鎖の酸解離定数 pK_a はそれぞれ 3.4 と 8.3 であり、求核攻撃による共有結合作用とプロトン供与による酸塩基触媒作用によって基質ペプチドが加水分解される。パパインが最も高い活性を示すときの Cys-25 と His-159 の側鎖のイオン化状態を書け。

4) 下線部(iv)について、下記を読んで、a), b)に答えよ。

パパインの酵素触媒反応の初速度は、基質濃度が増加するにつれて増加するが、ある基質濃度を超えるとほぼ変化せず一定値になる。パパインの活性部位に可逆的に結合して活性を阻害するロイペプチンを少量加えた場合も、(v)反応初速度は基質濃度が増加するにつれて増加し、最終的にほぼ変化しなくなり(vi)一定値になる。

a) 下線部(v)について、ロイペプチンを加えない場合と比較して、反応初速度の増加率はどうなっているか。下記の語群1から最も適切なものを1つ選び答えよ。

<語群1>増加, 減少, 変化なし

b) 下線部(vi)について、ロイペプチンを加えない場合と比較して、変化しなくなった反応初速度の一定値はどうなっているか。下記の語群2から最も適切なものを1つ選び答えよ。

<語群2>増加, 減少, 変化なし

【問3】以下の文章を読み、設問に答えよ。

単糖は $(\text{CH}_2\text{O})_n$ と表記できる。D-グルコースは六炭糖 ($n=6$) であり、1位の炭素原子のアルデヒド基と5位の炭素原子のヒドロキシ基が反応すると、六員環ができる。1位の炭素原子のヒドロキシ基の配置の違いにより(i) α -および β -アノマー体が 1:2 の割合で存在する。室温の水溶液中における平衡状態において、開環構造の存在割合は極めて低い(1%以下)、必ずヘミアセタール結合の切断を経由して α -および β -アノマー体の環状構造どうしの交換が起きている。

二糖は、単糖がグリコシド結合により連結された分子である。ラクトース(乳糖)の場合、単糖として ア と イ を含む。グリコシド結合によりアノマー炭素の立体配置が固定されるのは、ア のほうである。ラクターゼ(乳糖分解酵素)は、加水分解によりラクトースの ウ 結合を切断する。スクロース(ショ糖)は、自然界に最も豊富に存在する二糖であり、構成する単糖が2つのアノマー炭素どうしでグリコシド結合をつくる。この場合、両方のアノマー炭素の立体配置が固定される。このような糖質は エ に分類される。

- 1) 空欄 ア ～ エ に当てはまる最も適切な語句、または記号を以下の語群3から選び、答えよ。

<語群3> ガラクトース, グルコース, マンノース, リボース, 還元糖, 非還元糖,
 α -(1→1), α -(1→4), α -(1→6), β -(1→1), β -(1→4), β -(1→6)

- 2) 下線部(i)について、六員環構造のD-グルコースのうち、 β -アノマー体のほうが安定に存在する理由を簡潔に述べよ。
- 3) D-グリセルアルデヒドは三炭糖 ($n=3$) に分類される。この分子のカルボニル炭素が還元されてできたグリセロールは、どの糖誘導体に属するか。最も適切な語句を以下の語群4から選び、答えよ。

<語群4> アミノ糖, 糖アルコール, 糖酸, 糖脂質, 糖リン酸, デオキシ糖

- 4) 1分子のグリセロールに対して脂肪酸が3分子エステル結合した分子の名前を記せ。

【問4】以下の文章を読み、設問に答えよ。

血糖値が低下すると膵島細胞からグルカゴンが分泌されて、(i)肝細胞ではグリコーゲンの分解が生じる。このとき生産される (ii)グルコース 1-リン酸は解糖系によりピルビン酸に分解される。

1) グリコーゲンの分解に関与する酵素を下記の語群5から1つ選び答えよ。

＜語群5＞ グリコゲニン，グリコーゲンシンターゼ，
グリコーゲンホスホリラーゼ，グリコーゲンキナーゼ

2) 下線部(i)の肝細胞がグルカゴンを認識することができる理由を述べよ。

3) 下線部(ii)のグルコース 1-リン酸が，グルコースと比べてATP生産の点でどのような特徴があるのか，説明せよ。

4) 五炭糖を生産することを目的の1つにしている経路がある。その経路の名前を記せ。

化学工学

【問1】 内径 50.0 cm の円管内を 15.0℃の空気が $1.00 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ で流れている。空気は窒素 79.0 vol%, 酸素 21.0 vol%の理想気体として、管断面平均流速とレイノルズ数をそれぞれ求めよ。それらの導出過程も記せ。ただし、円管内の空気は大気圧であり、圧力損失は無視できる。なお、窒素の分子量は $28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、酸素の分子量は $32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ であり、空気の粘度は $18.0 \text{ } \mu\text{Pa} \cdot \text{s}$ とする。

【問2】 二重管型熱交換器に関する次の文を読んで、ア ～ ク に当てはまる適切な語句や数値を答えよ。ただし、有効数字は3桁とせよ。数値については導出過程も記せ。

高温流体と低温流体の流れの方向により、ア 型と イ 型に大別できる。ア 型では低温流体の流出温度を高温流体の流出温度よりも高い温度にすることはできないが、イ 型を用いると、低温流体の流出温度を高温流体の流入温度近くまで上昇させることができる。

80.0℃の温水を用いて、15.0℃の空気を 55.0℃まで加熱するための熱交換器を考える。空気流量を $0.500 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ とするとき、空気の比熱 $1.00 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ を用いると、空気の加熱に必要な熱量は、ウ kW になる。温水の流出温度が 65.0℃であるとき、イ 型の熱交換器では、熱交換器両端における温水と空気の温度差は、それぞれ エ K および オ K（温度差の記載順は問わない）になる。熱交換器内での高温流体と低温流体との間の平均的な温度差 ΔT_m には、通常、カ が用いられるが、この熱交換器では、 ΔT_m は キ K となるため、総括伝熱係数（熱通過率）を $25.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ とすれば、熱交換に必要な伝熱面積は ク m^2 である。その際、熱交換器からの熱損失は無視できるものとする。

【問3】熱風乾燥装置に関する次の文を読んで、ケ ～ タ に当てはまる適切な文字式を答えよ。

図に示す空気加熱器と乾燥機からなる熱風乾燥装置における物質収支および熱収支と熱効率を考える。図中の G , H , T , M , ϕ はそれぞれ熱風流量, 絶対湿度, 空気の温度, 被乾燥材料中の乾量重量の供給速度, 乾量基準の含水率であり, 添字 0, 1, 2 は熱風乾燥装置内の各位置を表す。設問中の Q_t は加熱器において空気に与えられる熱量を, Q_e は被乾燥材料の水分蒸発に必要な熱量を, Q_s は乾燥機出口において所定の含水率を達成するための材料温度まで加熱するのに必要な熱量を, Q_L は乾燥機における損失熱量を意味する。なお, 湿り比熱を c とし, 熱風乾燥装置内では一定とする。

- 1) Q_t は ケ で表される。
- 2) 乾燥機で空気が単位時間で得る水分の量を H を用いて表すと, コ である。
- 3) 設問2) の水分の量を ϕ を用いて表すと, サ である。
- 4) Q_e は, 水分の蒸発潜熱を L とし, ϕ を用いて表すと, シ である。
- 5) 熱風が乾燥機で失う熱量は, 空気温度の変化から ス である。
- 6) 乾燥機で消費される熱量は, Q_e , Q_s および Q_L を用いて表すと, セ である。
- 7) 加熱器で空気に与えられる熱量のうち, 乾燥に用いられる割合を熱効率 η と定義する。この熱効率を本問題で定義された熱量で表すと, ソ である。
- 8) 熱損失が発生しない場合の熱効率を η_{\max} とする。 η_{\max} を各位置の空気の温度を用いて表すと, タ となる。

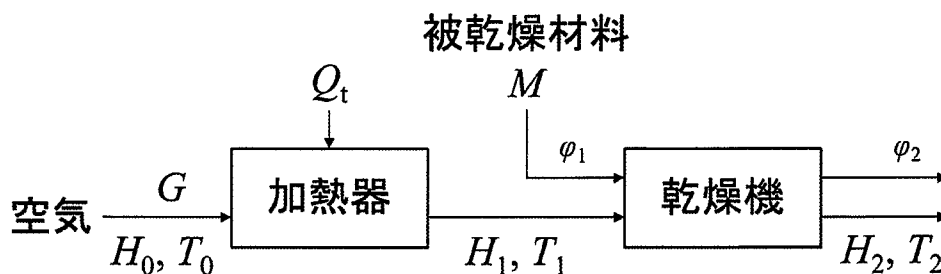


図 熱風乾燥装置のフロー