

### 解答上の注意

- ・必要に応じて、以下の値を使いなさい。

原子量： H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, S = 32

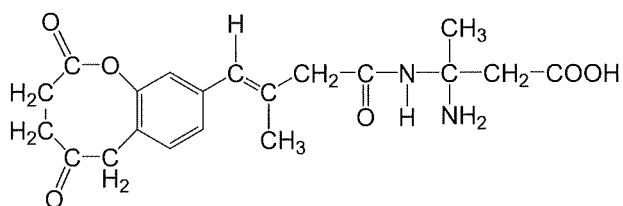
標準状態： 0℃,  $1.0 \times 10^5$  Pa

気体定数：  $8.31 \times 10^3$  [Pa・L/(K・mol)], あるいは  $8.31$  [J/(K・mol)]

0℃ = 273 K

$\log_{10} 2 = 0.30$ ,  $\log_{10} 3 = 0.48$ ,  $\log_e 10 = 2.30$

- ・計算結果は、四捨五入して、指定した桁で答えなさい。
- ・マス目に文章を記入するときは、英字、数字、記号、句読点も、それぞれ1マスを用いて書きなさい。
- ・構造式は右図の例にならって記入しなさい。



1. 次の文章を読み、問に答えなさい。

銅は黄銅鉱（主成分  $\text{CuFeS}_2$ ）などとして産出され、これを精錬して得られる。溶鉱炉に①黄銅鉱とケイ砂、石灰石を入れて強熱すると、硫化銅（Ⅰ）と酸化鉄（Ⅲ）、二酸化硫黄が生成する。②この硫化銅（Ⅰ）を含む生成物を転炉に移して空気を吹き込みながら加熱すると、純度 99% 程度の粗銅が得られる。黄銅鉱には銅や鉄以外に銀、ニッケル、亜鉛などの金属も含まれている。粗銅にも不純物としてこれらの金属が含まれているため、純度 99.99% の純銅を得るには、粗銅を電解精錬しなければならない。③粗銅の電解精錬では、不純物である銀は陽極泥として沈殿する。このため、粗銅の電解精錬で生成した陽極泥から銀を単体として取り出すことができる。

銀は金属の中で [ア] に次いで延性・展性が大きく、④電気伝導性や熱伝導性は金属の中で最も高い。銀の単体は銀白色の光沢をもった金属であるが、火山地帯では空気中に長時間放置すると黒色になることがある。これは銀が空気中に微量に含まれる [イ] と反応して、表面に [ウ] が生成するためである。⑤銀は塩酸や希硫酸とは反応しないが、酸化作用が強い硝酸には反応して溶ける。

銀イオンを含む水溶液に塩化ナトリウム水溶液を加えると [（１）] の塩化銀が沈殿し、⑥これにチオ硫酸ナトリウム（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ）水溶液を加えるとビス（チオスルファト）銀（Ⅰ）酸イオンとなって溶ける。銀イオンを含む水溶液に少量のアンモニア水を加えると [エ] が沈殿し、さらにアンモニア水を加えると錯イオンである [オ] となって溶ける。また、銀イオンを含む水溶液にクロム酸カリウムを加えると [（２）] のクロム酸銀が生じる。

臭化銀には光によって分解して銀を遊離する [（３）] があるため、写真のフィルムなどに用いられる。

問 1 [ア] ～ [オ] に入る物質を、元素記号、化学式またはイオン式で解答用紙に書きなさい。

問 2 [（１）]、[（２）] に入る最も近い色を下記からそれぞれ 1 つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。ただし、同じ色を選んでも良い。

- |       |      |      |       |
|-------|------|------|-------|
| 1 黄色  | 2 銀色 | 3 黒色 | 4 青紫色 |
| 5 赤褐色 | 6 白色 | 7 緑色 |       |

問 3 [（３）] に入る適切な語を下記から 1 つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- |        |        |         |         |
|--------|--------|---------|---------|
| 1 感光性  | 2 緩衝作用 | 3 旋光性   | 4 電気伝導性 |
| 5 乳化作用 | 6 熱伝導性 | 7 光触媒作用 |         |

問 4 下線部①、②、⑥の反応式を解答用紙に書きなさい。

問5 下線部③について、銀が陽極泥として沈殿する理由を25字以内で解答用紙に書きなさい。

問6 下線部④の電気伝導性は、金属が高温になるほど小さくなる。この理由を、次の2つの語を用いて30字以内で解答用紙に書きなさい。

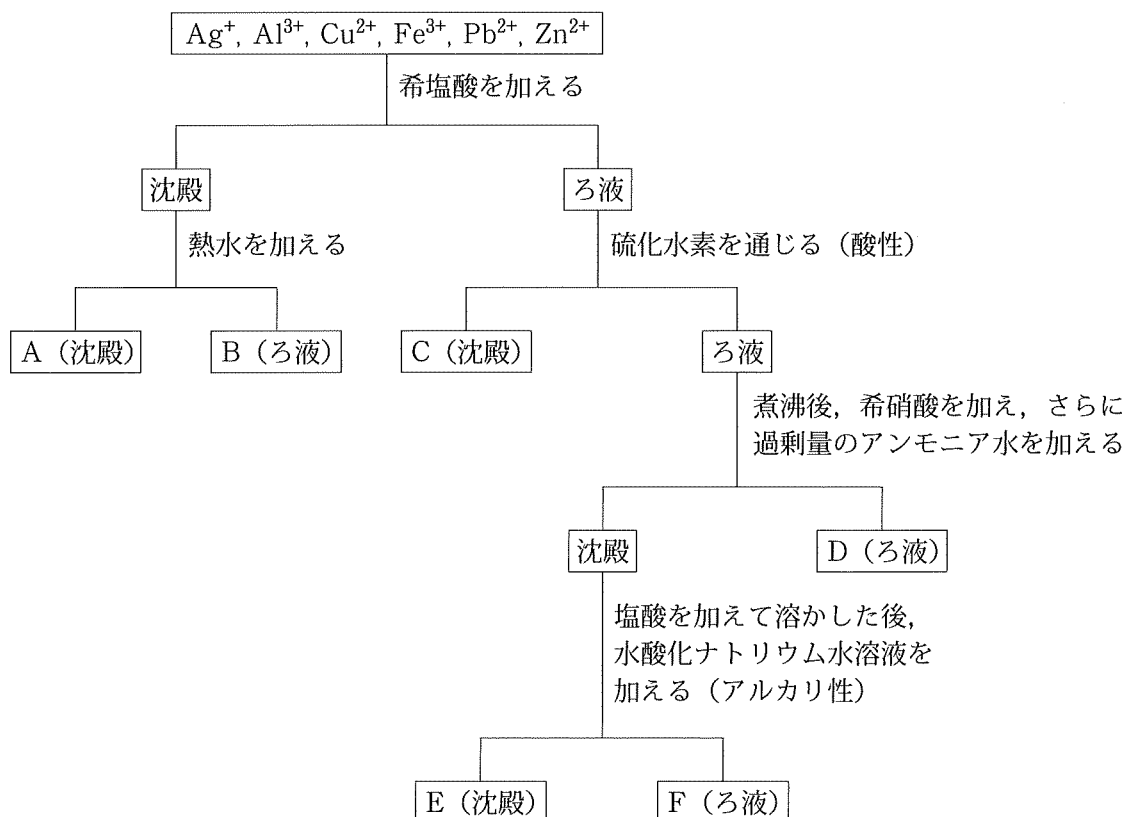
[自由電子, 振動]

問7 下線部⑤について、銀と希硝酸との反応式および銀と濃硝酸との反応式をそれぞれ解答用紙に書きなさい。

問8 下の図に示す6種類の金属イオンを含む水溶液の系統分析を行った。A～Fに含まれる金属イオンの元素記号を下記からそれぞれ1つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

1 Ag      2 Al      3 Cu      4 Fe      5 Pb      6 Zn

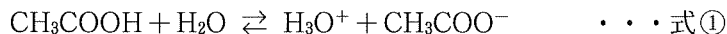
A (沈殿)	(4)	B (ろ液)	(5)	C (沈殿)	(6)
D (ろ液)	(7)	E (沈殿)	(8)	F (ろ液)	(9)



2. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔I〕

25℃,  $1.0 \times 10^5$  Pa において, モル濃度  $c_1$  の酢酸水溶液がある。酢酸は水中で,



という電離平衡にある。酢酸の電離度を  $\alpha$  とすると, 酢酸の電離定数  $K_a$  は,  $c_1$  と  $\alpha$  を用いて,

$$K_a = \boxed{\text{ア}}$$

と表される。酢酸の電離度  $\alpha$  は 1 に比べて十分に小さいので  $1 - \alpha \doteq 1$  と近似すると, 酢酸水溶液の pH は,  $K_a$  と  $c_1$  を用いて,

$$\text{pH} = \boxed{\text{イ}}$$

と表される。

酢酸と水酸化ナトリウムが中和してできる塩である酢酸ナトリウムの水溶液は, アルカリ性を示す。これは, 水中では酢酸ナトリウムはほぼ完全に電離してナトリウムイオンと酢酸イオンが生じるが, 酢酸イオンは以下の式②の電離平衡により一部が酢酸となるとともに水酸化物イオンを生じるからである。



式②の平衡に化学平衡の法則(平衡定数  $K$ ) を用い, 水のモル濃度  $[\text{H}_2\text{O}]$  を一定として整理すると, 加水分解定数  $K_h$  が得られる。

$$K_h = K [\text{H}_2\text{O}]$$

この加水分解定数  $K_h$  は, 酢酸の電離定数  $K_a$  と水のイオン積  $K_w$  を用いて,

$$K_h = \boxed{\text{ウ}}$$

と表される。

酢酸ナトリウムのモル濃度を  $c_2$ , 式②の反応によって生じた水酸化物イオンのモル濃度を  $x$  とすると, 加水分解定数  $K_h$  は,  $c_2$  と  $x$  を用いて,

$$K_h = \boxed{\text{エ}}$$

と表される。式②で水と反応して生成する酢酸の量は, 酢酸イオンの量に比べてきわめて少ないので  $c_2 - x \doteq c_2$  と近似すると, 水酸化物イオンのモル濃度  $x$ , および, この酢酸ナトリウム水溶液の pH は, それぞれ  $c_2$ ,  $K_a$ ,  $K_w$  を用いて,

$$x = \boxed{\text{オ}}$$

$$\text{pH} = \boxed{\text{カ}}$$

と表される。

問 1  $\boxed{\text{ア}} \sim \boxed{\text{カ}}$  に当てはまる式を, 解答用紙に書きなさい。

〔Ⅱ〕

弱酸とその塩，または弱塩基とその塩の混合水溶液は，外部から少量の酸や塩基が加えられても，pH の変化はほとんど起こらない。このような作用を緩衝作用といい，生体内でも，安定した生命活動を維持する上で重要な役割を担っている。

以下に，酢酸と酢酸ナトリウムからなる緩衝液の緩衝作用を示す。実験はすべて  $25^{\circ}\text{C}$ ， $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で行った。酢酸の電離定数を  $K_{\text{a}} = 2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ，水のイオン積を  $K_{\text{w}} = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$  とする。

まず，① 0.20 mol/L 酢酸水溶液 0.60 L と，② 0.20 mol/L 酢酸ナトリウム水溶液 0.40 L を混合して 1.0 L の③ 溶液（これを溶液 A とする） を調製し pH を測定した。次に④ 1.0 L の溶液 A に 1.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を 20 mL 加え混合した溶液 の pH を測定したところ，pH の変化はごくわずかであり，緩衝作用が確認された。

問 2 下線部①～④の水溶液の pH を求め，小数点以下 1 桁で解答用紙に書きなさい。

3. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔I〕

【実験Ⅰ】図1に示すように恒温槽 A と B は細いコック付連結管で接続されており、コックは閉じている。恒温槽 A には  $27^{\circ}\text{C}$  で圧力  $3.00 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、恒温槽 B には  $57^{\circ}\text{C}$  で圧力  $1.65 \times 10^4 \text{ Pa}$  の水蒸気のみが入っている。恒温槽 A と B の内容積は  $1.25 \text{ L}$  で等しく、連結管の体積は無視できるものとする。なお、水の飽和水蒸気圧は  $27^{\circ}\text{C}$  で  $3.60 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、 $57^{\circ}\text{C}$  で  $1.70 \times 10^4 \text{ Pa}$  とする。

このとき、恒温槽 A 内の水の物質量は、 $\boxed{(10).(11)} \times 10^{-\boxed{(12)}} \text{ mol}$ 、恒温槽 B 内の水の物質量は、 $\boxed{(13).(14)} \times 10^{-\boxed{(15)}} \text{ mol}$  である。

恒温槽 A, B の温度をそれぞれ  $27^{\circ}\text{C}$ 、 $57^{\circ}\text{C}$  に保ったまま、コックを開いて十分な時間放置すると、最終的に平衡状態になった。平衡状態に到達した後も、恒温槽 A, B はそれぞれ  $27^{\circ}\text{C}$ 、 $57^{\circ}\text{C}$  に保たれている。このとき恒温槽 B 内の圧力は、 $\boxed{(16).(17)} \times 10^{\boxed{(18)}} \text{ Pa}$ 、恒温槽 B 内の水蒸気の物質量は、 $\boxed{(19).(20)} \times 10^{-\boxed{(21)}} \text{ mol}$  であり、恒温槽  $\boxed{\text{ア}}$  で水（液体）が生成した。生成した水（液体）の物質量は、 $\boxed{(22).(23)} \times 10^{-\boxed{(24)}} \text{ mol}$  であった。

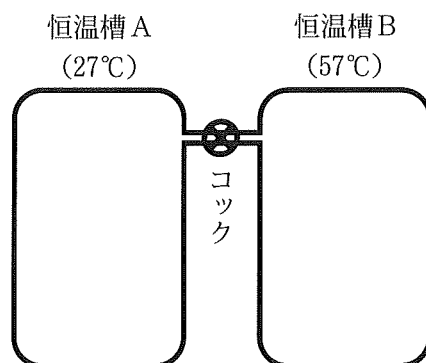


図1

問1  $\boxed{(10)} \sim \boxed{(24)}$  に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 $\boxed{(10)}$ 、 $\boxed{(13)}$ 、 $\boxed{(16)}$ 、 $\boxed{(19)}$ 、 $\boxed{(22)}$  に入る数値は 0 ではない。

問2  $\boxed{\text{ア}}$  に入る適切な語句を下記から選び、その番号をマークシートの  $\boxed{(25)}$  にマークしなさい。

- 1 A のみ                      2 B のみ                      3 A と B の両方

〔Ⅱ〕

【実験Ⅱ-1】図2に示すように内容積が1.25 Lの恒温槽AとBが両者とも同じ27℃に保たれている。恒温槽Aには水250 gにグルコース3.60 gを溶解した水溶液aを入れ、恒温槽Bには水250 gにスクロース5.13 gを溶解した水溶液bを入れた。次に①コックを開いて十分な時間放置すると、平衡状態に到達した。

【実験Ⅱ-2】実験Ⅱ-1で連結管のコックを開く前に、恒温槽Bに少量のインベルターゼの粉末を加えよく混合した後、コックを開き、十分な時間放置した。このとき②水溶液bでは  
イ と ウ が生成する酵素反応が完全に進行し、水蒸気が移動して最終的に  
 ③平衡状態に到達したものとする。

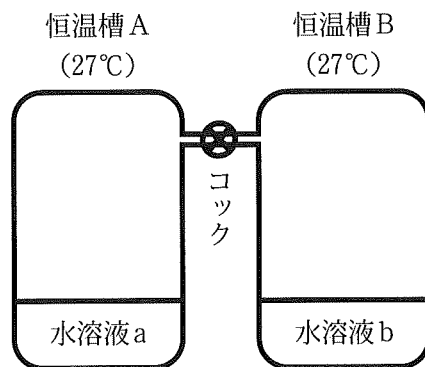


図2

問3 下線部①の状態となったところで連結管のコックを閉じた。このときの恒温槽A内の物質の質量〔g〕を求め、有効数字3桁で解答用紙に書きなさい。

問4 イ，ウに入る適切な化合物名を解答用紙に書きなさい。

問5 下線部②に示した水溶液bで起こっている変化の反応式を解答用紙に書きなさい。

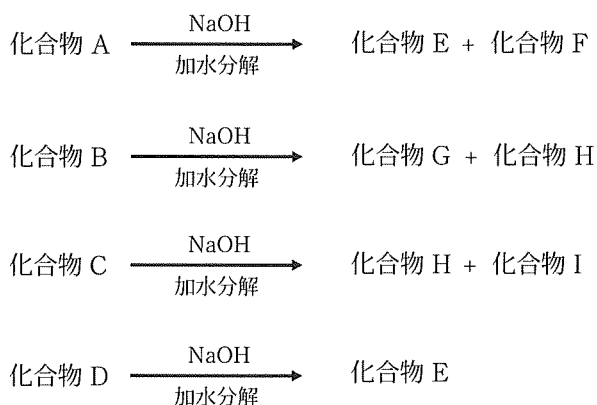
問6 下線部③の状態となったところで連結管のコックを閉じた。このときの恒温槽A内の物質の質量〔g〕を求め、有効数字3桁で解答用紙に書きなさい。ただし、加えたインベルターゼの量は十分に少なく、溶質としての水の蒸気圧への影響は無視できるものとする。

4. 次の文章を読み、問に答えなさい。

化合物 A, B, C および D は、水素原子、炭素原子、窒素原子、酸素原子のみから構成される分子量 300 以下の化合物であり、すべて 8 員環の構造（結合する 8 原子が環状になっている構造）を持つ。化合物 A および B は窒素原子を 1 つ含み、互いに異性体の関係にある。また、化合物 C および D は窒素原子を 2 つ含み、互いに異性体の関係にある。

79.5 mg の化合物 A を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 205 mg と水 27.0 mg を生じた。また、59.5 mg の化合物 C を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 154 mg と水 22.5 mg を生じた。

化合物 A ~ D の溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加え十分に反応させたところ加水分解され、それぞれ以下の化合物あるいはそのナトリウム塩が得られた。化合物 E, F, G, H および I は、すべてベンゼン環を 1 つ持つ化合物である。



なお、化合物 A を加水分解した後の反応液に希塩酸を加え酸性にし、ジエチルエーテルで抽出すると、エーテル層から化合物 F を得ることができた。また、化合物 B を加水分解した後の反応液に希塩酸を加え酸性にし、ジエチルエーテルで抽出すると、エーテル層から化合物 H を得ることができた。

① 化合物 E に塩酸と亜硝酸ナトリウムを加え反応させ、その後 *N, N*-ジメチルアニリンを加えると、pH 指示薬として用いられるメチルレッドが得られた。また、化合物 E に塩酸と亜硝酸ナトリウムを加えた後、*N, N*-ジメチルアニリンを加えずに水溶液を温めると化合物 F が生成した。

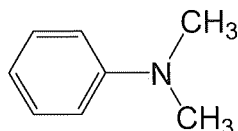
一方、化合物 H を加熱すると、脱水反応が起こり、化合物 J が生成した。化合物 J を酸性条件下でフェノールと縮合すると、pH 指示薬として用いられる ア が得られた。ア は pH 9 ~ 12 の間で赤紫色を示す。



問1 化合物 A および C の分子量を求め、整数で解答用紙に書きなさい。

問2 化合物 A, B, C および D の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

問3 下線部①の記述を参考にメチルレッドの構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。なお、*N,N*-ジメチルアニリンの構造式を以下に示す。



問4 ア に当てはまる化合物名を解答用紙に書きなさい。

問5 化合物Jは、以下の化合物のいずれかを触媒を用いて酸化することでも得られる。当てはまる化合物を下記からすべて選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

- |                   |                  |                  |                   |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1 安息香酸            | 2 <i>o</i> -キシレン | 3 <i>p</i> -キシレン | 4 <i>o</i> -クレゾール |
| 5 <i>p</i> -クレゾール | 6 トルエン           | 7 ナフタレン          | 8 フェノール           |

問6 化合物 E ~ I のうち、無水酢酸と濃硫酸を加えて反応させることによって、解熱鎮痛剤として用いられる医薬品を合成できるのはどれか。1つ選び、その記号を解答用紙に書きなさい。

問7 化合物 E ~ I のうち、炭酸水素ナトリウム水溶液に入れると気泡を発生して溶けるのはどれか。すべて選び、その記号を解答用紙に書きなさい。

5. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔I〕

$\alpha$ -アミノ酸（以下、アミノ酸）は、図1に示すように、分子内にアミノ基とカルボキシ基を持つ化合物の総称である。アミノ酸は、置換基（R）の違いによってそれぞれ固有の名称がつけられている。生体のタンパク質は種々のアミノ酸が縮合してできており、タンパク質の種類によって縮合するアミノ酸の数や配列順序が異なる。

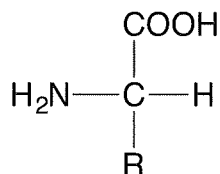


図1

アミノ酸にアルコールを反応させると、カルボキシ基部分は〔26〕され、酸としての性質を失う。一方、アミノ酸に無水酢酸を反応させると、アミノ基部分は〔27〕され、塩基としての性質を失う。

表1に示すアミノ酸1～6が1つずつ縮合したペプチドXについて、以下の実験を行った。ペプチドXの水溶液に濃硝酸を加えて加熱したところ、黄色を呈した。また、ペプチドXの水溶液に①水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後、酢酸鉛（Ⅱ）水溶液を加えたところ、黒色の沈殿が生じた。

表1

アミノ酸	アミノ酸の特徴	アミノ酸名
1	分子量は75である	〔29〕
2	置換基（R）は $-\text{C}_7\text{H}_7$ である	〔30〕
3	分子内に2つのアミノ基を持つ	〔31〕
4	置換基（R）は $-\text{C}_4\text{H}_9$ である	ロイシン
5	毛髪や爪に含まれる〔28〕に多く存在し、酸化剤を用いて穏やかに酸化するとアミノ酸5同士で共有結合を形成する	〔32〕
6	置換基（R）は $-\text{C}_4\text{H}_9$ であり、置換基（R）内に不斉炭素原子を1つ持つ	イソロイシン

問 1 (26), (27) に入る適切な語を下記からそれぞれ 1 つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- |          |         |         |
|----------|---------|---------|
| 1 アセタール化 | 2 アセチル化 | 3 エステル化 |
| 4 水酸化    | 5 スルホン化 |         |

問 2 (28) に入る適切な語を下記から 1 つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- |         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 1 アルブミン | 2 カゼイン  | 3 グロブリン |
| 4 ケラチン  | 5 コラーゲン |         |

問 3 (29) ～ (32) に入る適切な語を下記からそれぞれ 1 つ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- |            |         |        |
|------------|---------|--------|
| 1 アスパラギン酸  | 2 アラニン  | 3 グリシン |
| 4 グルタミン酸   | 5 システイン | 6 セリン  |
| 7 フェニルアラニン | 8 リシン   |        |

問 4 表 1 のアミノ酸 6 (イソロイシン) の置換基 (R) 部分の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

問 5 下線部①で生じた黒色沈殿の化学式を解答用紙に書きなさい。また、この黒色沈殿を生じる原因となるアミノ酸はアミノ酸 1 ～ 6 のどれか。適切なアミノ酸を 1 つ選び、その番号をマークシートの (33) にマークしなさい。

〔Ⅱ〕

酵素は、生体内で起こる化学反応に対し触媒として働く。酵素が作用する物質を  といい、 は酵素の  に特異的に結合し触媒作用を受ける。酵素の反応速度は温度条件によって異なる。多くの場合、温度が上がると反応速度も大きくなるが、ある温度以上では逆に反応速度は低下し始め、②さらに温度を上げると酵素が失活し、反応は全く進行しなくなる。

問6  と  に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問7 下線部②の理由を、25字以内で解答用紙に書きなさい。

問8 下の文章のうち、誤っているものをすべて選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

- 1 酵素の立体構造中には、 $\alpha$ -ヘリックスや $\beta$ -シートとよばれる二次構造がみられる
- 2 酵素は水溶液中で疎水コロイドとして分散している
- 3 酵素水溶液に水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅（Ⅱ）水溶液を加えると、赤紫色を呈する
- 4 だ液に含まれるアミラーゼは、デンプンを加水分解してマルトースを生成する酵素である
- 5 加水分解酵素であるペプシンの最適pHは7付近である

問9 化学反応における反応速度定数 $k$ は、活性化エネルギーを $E_a$  [J/mol]、絶対温度を $T$  [K]、気体定数を $R$  [J/(K・mol)] としたとき、次式で表すことができる。

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (A \text{ は頻度因子とよばれる比例定数})$$

図2は、酵素Yを用いたときと用いなかったときの、ある反応の進行に伴うエネルギー変化とそれぞれの活性化エネルギーを示している。

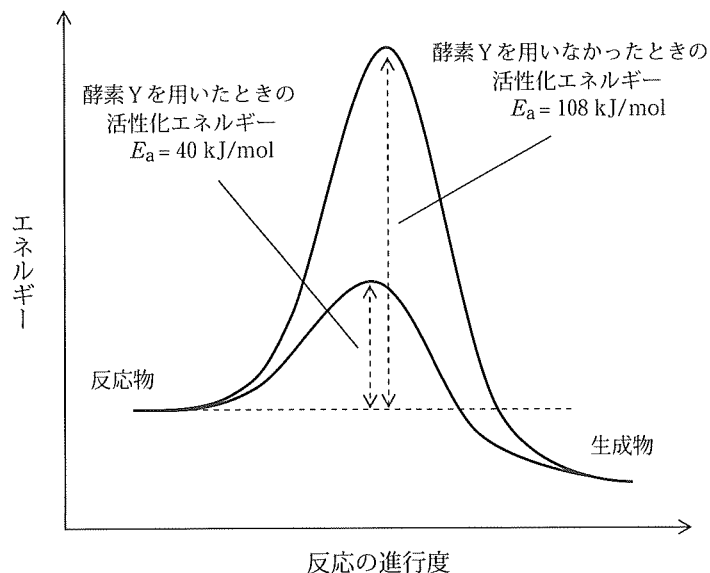


図2

酵素Yを用いたときの活性化エネルギーを40 kJ/mol、酵素Yを用いなかったときの活性化エネルギーを108 kJ/mol、反応温度を37℃としたとき、酵素Yを用いたときの反応速度定数は、酵素Yを用いなかったときと比較して、(34) 倍となる。(34) に入る一番近い数値を下記から選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- |                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 1.0                  | 2 2.7                  | 3 9.8                  |
| 4 $5.0 \times 10^2$    | 5 $2.7 \times 10^6$    | 6 $5.8 \times 10^9$    |
| 7 $3.0 \times 10^{11}$ | 8 $1.7 \times 10^{18}$ | 9 $2.5 \times 10^{26}$ |