

解答に際して

**I** ~ **VI** の解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。

**I**

問1～問7に答えなさい。【配点54】

問1 (1), (2)に答えなさい。

(1) 次の物質の結晶のうち、イオン結晶であるものを2つ選び番号で答えなさい。

- ① 酸化銅(Ⅱ)                      ② 二酸化炭素                      ③ 黒鉛  
④ 二酸化ケイ素                      ⑤ 塩化セシウム

(2) イオン結晶やイオンに関する記述として誤りを含むものはどれか、2つ選び番号で答えなさい。

- ① イオン化エネルギーの小さい原子は、陽イオンになりやすい。  
② ナトリウムイオンのイオン半径は、ナトリウムの原子半径より小さい。  
③ イオン結晶では、陽イオンの正電荷と陰イオンの負電荷の総和がゼロとなる。  
④ イオン結晶の物質を溶解した水溶液の電気分解において、電極で反応するものは、イオンのみである。  
⑤ イオン結晶は固体状態において電気を通しやすい。

問2 (1)～(3)の実験操作を行った際に発生する気体をそれぞれ化学式で答えなさい。また、発生した気体の性質として適切なものを①～⑥からそれぞれ1つ選び、番号で答えなさい。

(1) ギ酸に濃硫酸を加えて加熱する。

(2) 亜硫酸ナトリウムに希硫酸を加える。

(3) 塩素酸カリウムに少量の酸化マンガン(IV)を加えて加熱する。

【発生した気体の性質】

- ① 腐卵臭のある有毒な気体である。
- ② 黄緑色の有毒気体であり、酸化力がある。
- ③ 無色の気体で水によく溶け、水溶液は強酸性を示す。
- ④ 還元作用があり、紙や繊維などの漂白剤に用いられる。
- ⑤ 無色無臭の気体で血液中のヘモグロビンと結合するため有毒である。
- ⑥ 無色無臭の気体で水素との混合気体に点火すると爆発的に反応する。

問3 , に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。また, に適切な語句を入れなさい。ただし, 塩化銀の溶解度積を  $1.0 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$  とし, 塩化ナトリウムの溶解による水溶液の体積変化を無視できるものとする。

ハロゲン化銀は水に溶けにくいものが多い。例えば, 塩化銀を純水に溶解して飽和水溶液を調製したとき, 水溶液中の銀イオンのモル濃度  $[\text{Ag}^+]$  は,  mol/L とわずかに溶解するだけである。この飽和水溶液 1 L に  $4.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$  の塩化ナトリウムを溶解すると, 塩化銀の白色沈殿が生じ, 水溶液中の  $[\text{Ag}^+]$  は  mol/L まで減少する。このように電解質水溶液に, その電解質を構成するイオンを含む別の電解質を加えると, 元の電解質の溶解度が小さくなる現象を  効果という。

問4 (1), (2) の各水溶液の pH を求め, 小数第 1 位まで答えなさい。ただし, アンモニアの電離定数  $K_b$  を  $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ , 水のイオン積  $K_w$  を  $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$  とし, 必要なら  $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$  を用いなさい。強酸, 強塩基の電離度は 1.0 とする。

(1) pH = 2.0 の塩酸 100 mL と pH = 3.0 の塩酸 200 mL の混合液

(2) 0.18 mol/L のアンモニア水溶液

問5 次の文章を読み、(1)～(3)に答えなさい。

0.200 mol/L アミド硫酸水溶液 200 mL を正確に調製するために、次の手順1～3にしたがって操作を行った。アミド硫酸の分子量を97.1とする。

手順1 アミド硫酸  g をビーカーに入れ、純水を加えよくかき混ぜて溶かした。

手順2 この溶液を 200 mL の  に移した。ビーカーを少量の純水で洗い、この溶液も  に入れた。

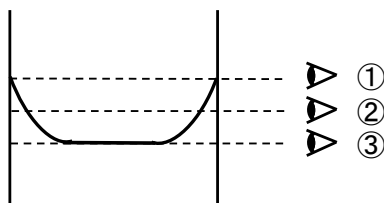
手順3 駒込ピペットを用いてゆっくりと標線まで純水を加え、よく振って均一にした。

(1)  に入る数値を求め、有効数字3桁で答えなさい。

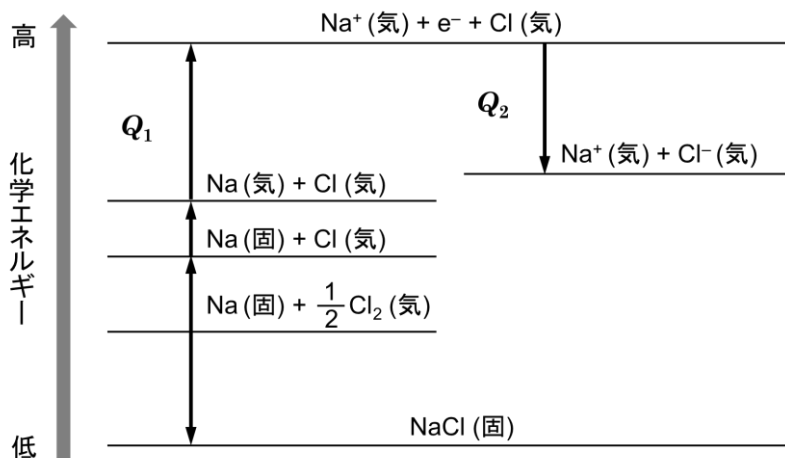
(2)  に入るガラス器具として最も適切なものをア～オから選び、記号で答えなさい。

- ア メスシリンダー      イ メスフラスコ      ウ ビーカー  
エ 三角フラスコ      オ ホールピペット

(3) 下図は手順3において、標線まで純水を入れるときの、目盛りを読む視線を表している。正しいものを①～③から選び、番号で答えなさい。



問6 結晶を、その構成粒子である原子・分子・イオンにまで、ばらばらにするのに必要なエネルギーを格子エネルギーという。塩化ナトリウムの結晶の格子エネルギーを求めるために、次に示すエネルギー図を作成した。(1),(2)に答えなさい。必要に応じて表の数値を用いなさい。



$Q_1$	496 kJ/mol
$Q_2$	349 kJ/mol
NaCl(固)の生成熱	411 kJ/mol
Cl <sub>2</sub> (気)の結合エネルギー	244 kJ/mol
Na(固)の昇華熱	92 kJ/mol

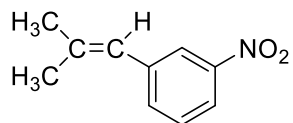
(1) エネルギー図の  $Q_2$  に相当するエネルギーは何とよばれるか、答えなさい。

(2) 塩化ナトリウムの結晶の格子エネルギー [kJ/mol] を求め、整数で答えなさい。

問7 分子式  $C_5H_{10}O$  で表される有機化合物のうちで、以下の性質をもつ分子の構造式を(例)にしたがって書きなさい。

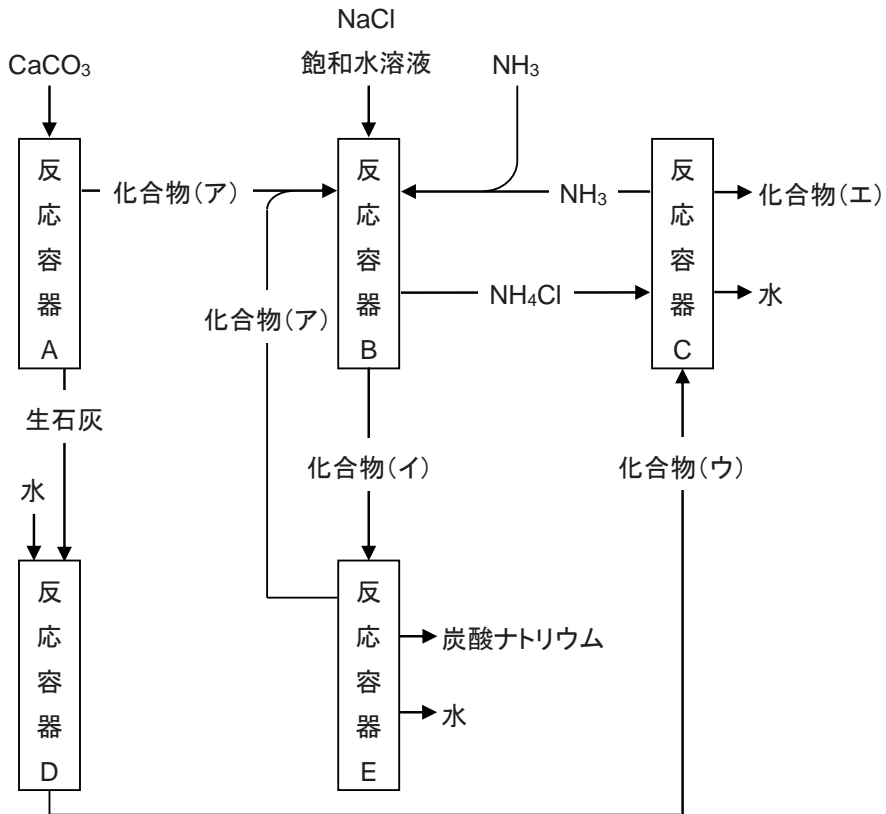
- (1) アルコールであり、化学的に最も安定な環状構造をもつ化合物。
- (2) ヨードホルム反応、銀鏡反応のいずれも起こらないカルボニル化合物。
- (3) 分子の末端ではない位置に二重結合をもち、シス-トランス異性体が存在しないアルコールのうち、より安定な化合物。

(例)



## II

下図は炭酸ナトリウムの工業的製法の概略を示したものである。この図において例えば反応容器 A では、原料の 1 つである  $\text{CaCO}_3$  を反応させて生石灰と化合物 (ア) が得られることを示している。間に答えなさい。【配点 18】





問1 このような炭酸ナトリウムの工業的製法は何法とよばれているか、名称を答えなさい。

問2 次の文中の(ア)～(ウ)に適切な化学式を入れなさい。

反応容器 B において、飽和食塩水にアンモニアと化合物(ア)を作用させると、溶解度の小さい化合物(イ)が析出し、同時に多量の塩化アンモニウムが生成する。化合物(イ)は反応容器 E に送られて、加熱され、目的化合物である炭酸ナトリウムに変換される。この際、同時に生成する化合物(ア)は再び反応容器 B に送られて利用される。反応容器 D において、生石灰に水を作用させると化合物(ウ)が生成する。

問3 反応容器 C で起こる反応を化学反応式で示しなさい。

問4 化合物(エ)の性質に関する次の記述①～⑤のうち正しいものを2つ選び、番号で答えなさい。

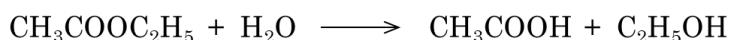
- ① 空気中で風解する。
- ② 無水塩は空気中で潮解する。
- ③ 水溶液は強い酸性を示す。
- ④ 水溶液は強い塩基性を示す。
- ⑤ 水溶液をつけた白金線をバーナーの外炎に挿入すると、炎の色が橙赤色を示す。

### III

次の文章を読み、間に答えなさい。ただし、加水分解反応の進行に伴う体積変化、塩酸の濃度変化、および逆反応は無視できるものとする。また、滴定中に酢酸エチルの加水分解反応は進行しないものとする。

【配点 12】

酢酸エチルは酸触媒により、次式のように加水分解する。



この反応では、酢酸エチルに対して水を多量に存在させておくと、加水分解反応の速度は酢酸エチルの濃度に比例するとみなせる。このときの比例定数は、反応速度定数とよばれる。そこで、反応速度定数を求めるために以下の実験を行った。

#### 実験

1.00 mol/L の塩酸 100 mL が入ったフラスコ内に少量の酢酸エチルを加え、素早く混合し、均一な反応溶液とした。酢酸エチルを加えたことによる体積変化は無視できるものとする。

この反応溶液を一定温度に保ちながら、混合した時点（反応時間 0 分）、20 分後、40 分後、60 分後、および十分な時間経過した時点（反応時間∞分）にそれぞれ反応溶液 2.00 mL を取り出した。これらの溶液を 0.200 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を用いてすみやかに滴定した。

中和までに要した水酸化ナトリウム水溶液の滴下量[mL]と、そこから計算された酢酸エチルの濃度[mol/L]を下表に示す。反応時間∞分では、最初に加えた酢酸エチルがすべて加水分解されている。

反応時間[ <b>min</b> ]	0	20	40	60	∞
水酸化ナトリウム水溶液の滴下量[mL]	<b>x</b>	10.8	11.4	11.9	15.2
酢酸エチルの濃度[mol/L]	<b>y</b>	0.44	0.38	0.33	0.00

- 問 1 反応時間 0 分では，酢酸エチルの加水分解反応は起きていない。表中の，反応時間 0 分における水酸化ナトリウム水溶液の滴下量  $x$  [mL] を求め，有効数字 3 桁で答えなさい。
- 問 2 表中の，反応時間 0 分における酢酸エチルの濃度  $y$  [mol/L] を求め，有効数字 2 桁で答えなさい。
- 問 3 反応時間 20～40 分の酢酸エチルの平均分解速度 [mol/(L・min)] を求め，有効数字 2 桁で答えなさい。
- 問 4 反応時間 20～40 分の酢酸エチルの平均分解速度と平均濃度を用いて，反応速度定数 [/min] を求め，有効数字 2 桁で答えなさい。

# IV

次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、酢酸の電離定数  $K_a$  を  $2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、水のイオン積  $K_w$  を  $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$  とし、必要なら  $\log_{10}2 = 0.30$ 、 $\log_{10}3 = 0.48$  を用いなさい。【配点 24】

酢酸ナトリウムを水に溶かすと式①のとおり完全に電離する。



式①で生じた酢酸イオンは式②の加水分解を受ける。



この可逆反応の平衡定数を水の濃度を一定とみなして整理すると、式③の加水分解定数  $K_h$  が得られる。ただし、酢酸、酢酸イオン、水酸化物イオンのモル濃度をそれぞれ  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 、 $[\text{OH}^-]$  で表す。

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \dots\dots\dots \text{③}$$

$K_h$  は、酢酸の電離定数  $K_a$  と水のイオン積  $K_w$  を用いて式④のように表される。

$$K_h = \{ \quad \quad \quad \text{B} \quad \quad \quad \} \quad \dots\dots\dots \text{④}$$

ここで、酢酸ナトリウム水溶液の初めの濃度を  $C \text{ mol/L}$ 、加水分解する割合を  $h$  として式③の各モル濃度は次のように表される。

$$\begin{aligned} [\text{CH}_3\text{COOH}] &= [\text{OH}^-] = \boxed{\text{a}} \text{ mol/L} \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-] &= \boxed{\text{b}} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$h$  の値は 1 に比べて非常に小さく、 $1-h \cong 1$  と近似できるため、 $K_h$  は  $C$  と  $h$  を用いて  $\boxed{\text{c}}$  と表される。よって、 $h$  は  $\boxed{\text{d}}$  となり、式③の平衡状態における  $[\text{OH}^-]$  は  $C$ 、 $K_a$ 、 $K_w$  を用いて  $\boxed{\text{e}}$  と表される。

問1 { A }に入るイオン反応式②を答えなさい。

問2 式④の{ B }を  $K_w$  と  $K_a$  を用いて表しなさい。

問3  ~  に入る式を,  $C$ ,  $h$ ,  $K_h$ ,  $K_a$ ,  $K_w$  のうち必要なものを用いて表しなさい。

問4 0.27 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液の pH を求め, 小数第1位まで答えなさい。

V

次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、原子量は  $H = 1.00$ ,  $O = 16.0$ ,  $S = 32.0$ ,  $Pb = 207$ , ファラデー定数は  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ , 気体定数は  $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$  とする。【配点 21】

酸化還元反応によって、化学エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出す装置が電池であり、2種類のイオン化傾向の異なる金属を電解質水溶液に浸して両極を導線でつなぐことで電流が流れる。電池から電流を取り出すことを  といい、このとき、 反応が起こる電極を正極、 反応が起こる電極を負極という。

一次電池である①マンガン乾電池は、 を続けると起電力が低下し回復することができないが、自動車のバッテリーに使用される②鉛蓄電池やスマートフォンなどに利用されているリチウムイオン電池などの二次電池は、充電により起電力を回復させることで繰り返し使用できる。

③水素と酸素の反応を利用した燃料電池は、電気エネルギーへの変換効率が高く、水だけが生成する環境にやさしい電池として注目されている。

問1  ～  に適切な語句を入れなさい。

問2 下線部①のマンガン乾電池では、 $Zn$  が負極活物質となる。正極活物質となる物質は何か、化学式で答えなさい。

問3 下線部②の鉛蓄電池は、正極に酸化鉛(IV)、負極に鉛、電解液に約38%の硫酸が用いられる。(1)～(3)に答えなさい。

- (1) 電流を取り出すときに、正極で起こる反応を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で示しなさい。
- (2) 電流を取り出したとき、正極の質量が 4.8 g 変化した。このとき流れた電子の物質量 [mol] はいくらか、有効数字 2 桁で答えなさい。
- (3) 鉛蓄電池の充電に関する(a)～(d)の記述のうち、正しいものを2つ選び、記号で答えなさい。
  - (a) 充電するときは、外部電源の負極と正極をそれぞれ鉛蓄電池の負極と正極に接続する。
  - (b) 充電中は、負極の質量が増加する。
  - (c) 充電中は、正極から水素が発生する。
  - (d) 充電すると、硫酸の密度は大きくなる。

問4 下線部③に関して、電解液にリン酸水溶液を用いた燃料電池を 3860 秒間、5.0 A の一定電流を流したとき、正極での反応で生成する水蒸気の体積は、温度 177°C、圧力  $1.00 \times 10^5$  Pa の条件で何 L か求め、有効数字 2 桁で答えなさい。

## VI

次の文章を読み、問に答えなさい。なお、有機化合物はすべて構造式を用いて表すこととし、構造式は（例）にしたがって書きなさい。

【配点 21】

分子式  $C_8H_{10}O$  で表され、いずれもベンゼン環を持つ芳香族化合物 A, B, C, D がある。D は不斉炭素原子を持っている。A~D の構造を決定するために、以下の実験 1~3 を行った。

実験 1 単体のナトリウムを加えると B, C, D では①気体が発生したが、A では発生しなかった。

実験 2 塩化鉄(Ⅲ)水溶液に加えたところ、A, B, C, D はいずれも呈色しなかった。

実験 3 B を過マンガン酸カリウムで酸化して生成した (ア) E は、加熱すると分子内で脱水反応が起こった。一方、C を過マンガン酸カリウムで酸化すると E の構造異性体である F が生成した。F とエチレングリコールは②高分子化合物の原料となる。

問 1 下線部①の気体は何か、名称で答えなさい。

問 2 下線部②の高分子化合物は何か、名称で答えなさい。

問 3 A として考えられる化合物は何種類か、数字で答えなさい。

問 4 下線部 (ア) の反応を化学反応式で書きなさい。

問 5 B と C の構造式をそれぞれ書きなさい。



問6 Dの構造式を書き、不斉炭素原子に「\*」をつけなさい。

(例)

