

2021年度

理 科
【 化 学 】

R 2

2月25日(木)

【前期日程】

理 学 部 (数学科, 化学科, 地球科学科, 創造理学コース)

農 学 部

地域創造学環 (選抜方法A)

13:40~15:00

工 学 部 (電子物質科学科, 化学バイオ工学科,
数理システム工学科)

14:30~15:50

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで, 問題冊子, 解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い, 出願時に選択した科目の問題冊子, 解答用紙であるかどうかを確かめ, 全部の解答用紙(8枚)に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 この問題冊子は, 8ページあります。はじめに, 問題冊子, 解答用紙を確かめ, 枚数の不足や, 印刷の不鮮明なもの, ページの落丁・乱丁があった場合は, 手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 問題は, ~ の全てを解答しなさい。
- 6 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 7 問題は, 声を出して読んではいけません。
- 8 各問ごとの配点は, 比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 9 問題冊子は, 必ず持ち帰りなさい。

【注意】 必要ならば，次の数値を用いること。

原子量：H 1.0, C 12, N 14, O 16, Na 23.0, S 32, Cl 35.5, K 39, Cu 64,

Zn 65, Ag 108, Pb 207

ファラデー定数： 9.65×10^4 C/mol

1 次の文章を読み，下の問いに答えよ。(配点 25 %)

液体に他の物質が混合し，拡散によって均一な混合物になることを溶解といい，他の物質を溶かす液体を溶媒，溶媒に溶ける物質を溶質，溶解によってできた均一な混合物を溶液という。物質の溶媒に対する溶解性は，溶質と溶媒の性質に依存する。ある温度で一定量の溶媒に溶解する溶質の最大量を溶質の溶媒に対する溶解度といい，温度による溶解度の違いなどを利用し，溶解した物質を結晶として析出させて精製する操作を再結晶という。また，純溶媒に比べ，溶液では溶液全体の粒子に対する溶媒分子の割合が減少し，凝固する溶媒分子の数が減少する。そのため，溶液の凝固点は純溶媒の凝固点と異なる。

問 1 下線部(a)に関して，次の①～⑤の物質の溶解性について，下の(1)～(4)に答えよ。

- ① ヨウ素 ② 塩化カリウム ③ ナフタレン
④ 酢酸 ⑤ グルコース

- (1) 物質①～⑤のうち，水によく溶けるがベンゼンにはほとんど溶けない物質をすべて選び，番号で記せ。
(2) 物質①～⑤のうち，ベンゼンによく溶けるが水にはほとんど溶けない物質をすべて選び，番号で記せ。
(3) エタノールは，1分子中に2種類の異なる性質の基(原子団)を有しており，そのため水にもベンゼンにもよく溶ける。どのような性質の基を有しているか。簡潔に記せ。
(4) 物質①～⑤のうち，設問(3)のエタノールと同じように水にもベンゼンにもよく溶ける物質はあるか。ある場合はその物質の番号をすべて記し，ない場合は「なし」と記せ。

問 2 下線部(b)に関して，次の表は物質の水に対する溶解度[g/水 100 g]と温度[°C]の関係を示したものである。下の(1)～(3)に答えよ。

表 物質の水への溶解度[g/水 100 g]と温度の関係

溶質	20 °C	40 °C	60 °C
硫酸銅(Ⅱ) CuSO ₄	20	29	(あ)
塩化ナトリウム NaCl	38	38	39
硝酸カリウム KNO ₃	32	64	109

- (1) 硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ は 60°C で水 31 g に最大 25 g まで溶けた。表の空欄(あ)に当てはまる、硫酸銅(Ⅱ) CuSO_4 の水に対する溶解度 $[\text{g}/\text{水 } 100\text{ g}]$ を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 不純物として塩化ナトリウム NaCl を質量比で 20 % 含む硝酸カリウム KNO_3 の粉末 160 g がある。この粉末を 40°C の水にすべて溶解させた後、溶液を 20°C まで冷却し、純粋な硝酸カリウムをできるだけ多く析出させたい。硝酸カリウムを最も多く析出させるときに用いる水の質量 $[\text{g}]$ およびそのときの硝酸カリウムの析出量 $[\text{g}]$ を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、この実験では硝酸カリウムのみが析出するものとし、溶質の溶解度は他の溶質による影響を受けないものとする。
- (3) 塩化ナトリウムは温度によって溶解度がほとんど変化しないため、その飽和水溶液を冷却しても塩化ナトリウムはほとんど析出しない。一方、塩化ナトリウムの飽和水溶液に塩化水素の気体を吹き込むと、塩化ナトリウムは析出する。塩化水素によって塩化ナトリウムが析出する理由を、「ルシャトリエの原理」という語を用い、簡潔に説明せよ。

問 3 下線部(c)に関して、図の直線(ア)はベンゼンにトルエンを、直線(イ)はベンゼンに安息香酸を溶解して溶液の凝固点を測定し、得られた凝固点 $[\text{C}]$ と溶質の質量モル濃度 $[\text{mol}/\text{kg}]$ の関係を示したものである。次の(1)~(3)に答えよ。

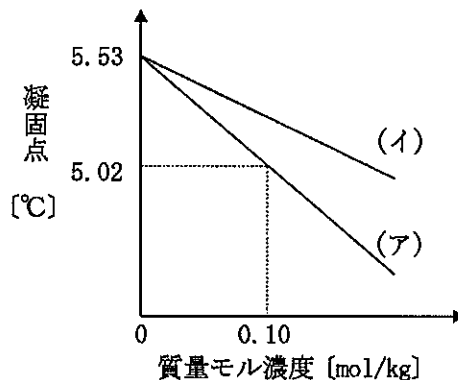


図 質量モル濃度と凝固点の関係

- (1) 直線(ア)より、ベンゼンのモル凝固点降下 $[\text{K} \cdot \text{kg}/\text{mol}]$ を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 直線(イ)の傾きが直線(ア)の傾きよりも小さいのは、ベンゼン中で安息香酸分子の多くがトルエン分子と異なる状態となっているからである。安息香酸分子の多くはどのような状態になっているか、簡潔に記せ。
- (3) 250 g のベンゼンに、ある物質 X を 6.4 g 溶解したとき、溶液の凝固点は 4.51°C であった。物質 X の分子量を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、溶液の凝固点と物質 X の質量モル濃度の関係は、直線(ア)に一致するとする。

2

次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

金属イオンを含む溶液に対して、いくつかの手法を用いることで、金属の単体や化合物を得たり、イオンの種類や量、濃度を求めたりすることができる。例えば、電気分解では条件により金属の単体を得ることができる。また、特定の試薬を添加することによる沈殿生成や呈色反応を利用して、金属イオンの確認および分離が可能となる。ここに、不純物として硝酸鉛(Ⅱ)および硝酸亜鉛を含む硝酸銀水溶液 A がある。この水溶液 A に含まれる亜鉛、鉛、銀の物質量を求めるため、次の実験 1 および実験 2 を行った。

【実験 1】

図に示すように、水溶液 A 100 mL を入れた電解槽に白金電極 I、II を浸し、鉛蓄電池の電極 III を白金電極 II に、電極 IV を電極 I に接続した。回路のスイッチを入れ、電解槽に 0.100 A の電流を 1930 秒間流して電気分解を行ったところ、電極 I 上に金属が析出し質量が増加したが、電極 II の質量は変化せず、気体の発生が見られた。さらに電流を流し続けると、ある時間の後に電極 I の質量が増加しなくなり、電極 I 上に気体が発生し始めた。これを確認し、回路のスイッチを切った。

その後、電解槽の水溶液を加熱し、十分に乾燥することで硝酸塩のみの粉末 0.260 g が得られた。

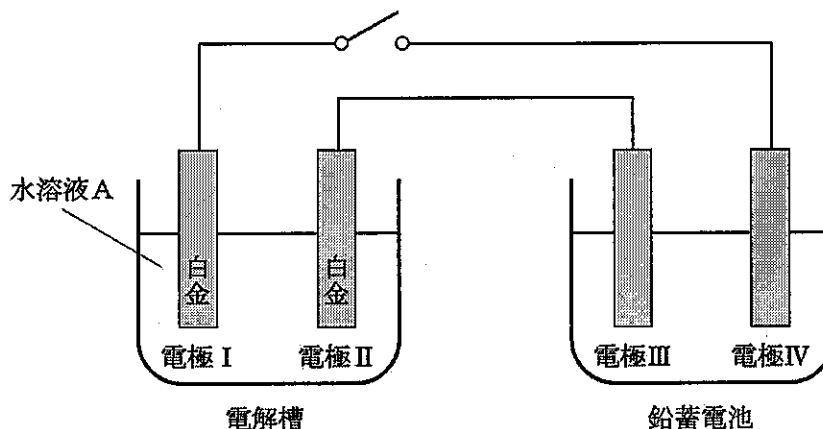


図 電気分解を行うための装置

【実験 2】

水溶液 A 100 mL に、0.100 mol/L の塩化ナトリウム水溶液を少しずつ加えたところ、加えた塩化ナトリウム水溶液の総量が 90.0 mL となるまで塩化銀の沈殿生成が確認され、その後にさらに 10.0 mL 加えても新たな沈殿の生成は確認できなかった。ここから塩化銀の沈殿を取り除き、水溶液に少量の硝酸を加えて硫化水素ガスを通じると、新たに黒色の化合物 B が沈殿した。化合物 B の沈殿生成が見られなくなるまで硫化水素ガスを通じたとき、得られた化合物 B の物質量は 5.0×10^{-4} mol であった。

問 1 実験 1 について、次の(1)~(5)に答えよ。

- (1) 鉛蓄電池の放電前の電極ⅢおよびⅣは、Pb あるいは PbO_2 のどちらであることを答えよ。
- (2) 鉛蓄電池の放電時の電池全体としての化学反応式を記せ。
- (3) 下線部(a)について、電極Ⅰの質量の増加量 [g] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 3 桁で答えよ。ただし、流れた電気量はすべて金属の析出に使われたものとする。
- (4) 下線部(b)について、電極Ⅱで起きた反応を、イオンと電子を含む反応式で記せ。
- (5) 下線部(c)の気体の化学式を記せ。

問 2 実験 2 の下線部(e)について、沈殿した塩化銀の物質質量 [mol] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、水溶液 A に含まれていた銀イオンはすべて沈殿し、水溶液中に溶解している塩化銀の物質質量は無視できるものとする。

問 3 実験 2 の下線部(f)について、このときの水溶液中の塩化物イオン濃度を $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ とし、塩化鉛(Ⅱ)の水に対する溶解度積を $1.7 \times 10^{-5} (\text{mol/L})^3$ とする。これらの情報のみから、この水溶液中の鉛(Ⅱ)イオンの濃度 [mol/L] の上限を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

問 4 実験 2 の下線部(g)について、化合物 B の化学式を記せ。

問 5 下線部(d)の硝酸塩に含まれる亜鉛イオンと鉛(Ⅱ)イオンについて、亜鉛イオンの物質質量は鉛(Ⅱ)イオンの物質質量の何倍であるか。下線部(d)および(h)に示された値を用いて求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、得られた硝酸塩は硝酸鉛(Ⅱ)と硝酸亜鉛であり、それぞれのモル質量を 331 g/mol および 189 g/mol とする。

3

次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

単体のナトリウムは天然には存在せず、塩化ナトリウムの溶融塩を電気分解することで工業的に製造されている。単体のナトリウムは反応性が高いため、ナトリウムと反応しない物質の中で保管する必要がある。^(a) ナトリウムの化合物は様々なかたちで幅広く利用されている。炭酸水素ナトリウムは重曹ともよばれ、胃薬やベーキングパウダー、入浴剤などに使用されている。炭酸水素ナトリウムは白色の固体で、水に少し溶け、その水溶液は弱い塩基性を示す。炭酸水素ナトリウムに塩酸を加えると、二酸化炭素が発生する。^(b) 炭酸ナトリウムはガラスやセッケンの原料として多量に使用されている。ナトリウムと塩素の化合物である塩化ナトリウムは海水中に多く含まれている。^(c) 塩化ナトリウムは同じ数の Na^+ と Cl^- が規則正しく配列したイオン結晶を形成し、これらのイオンが互いにクーロン力で引きあって安定な化合物となっている。^(e)

問 1 下線部(a)について、次の物質(あ)~(か)のうち、単体のナトリウムの保管に適しているものについては○を、適していないものについては、どのような反応が起こるかを化学反応式で記せ。

- | | | |
|-----------|--------|----------|
| (あ) 乾燥空気 | (い) 水 | (う) 灯油 |
| (え) エタノール | (お) 塩素 | (か) アルゴン |

問 2 下線部(b)の反応を表す化学反応式を記せ。

問 3 下線部(c)について、下の図に示すように酸化マンガン(IV) MnO_2 に濃塩酸を加えて加熱すると、単体の塩素 Cl_2 を発生させることができる。次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) フラスコ内で起こる反応を表す化学反応式を記せ。
- (2) 純粋な塩素を得るために、洗気ビン I および II には濃硫酸あるいは水のいずれかの液体を入れる。洗気ビン I および II に入れる液体をそれぞれ答えよ。またそれらを入れる理由を簡潔に記せ。

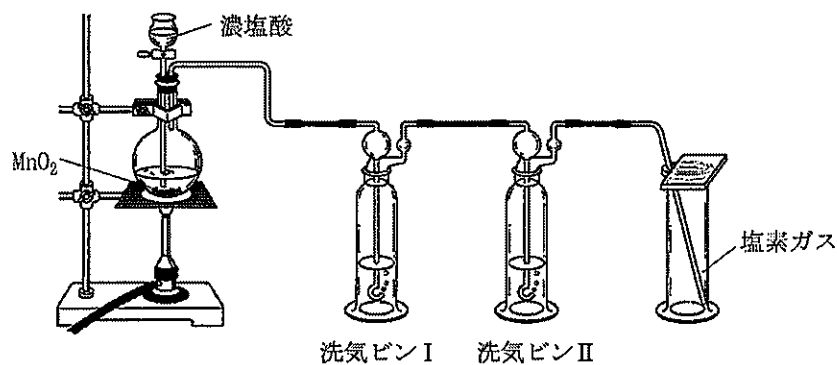
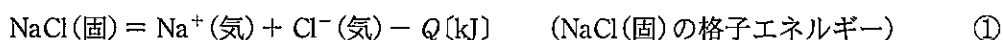


図 塩素ガスの製法

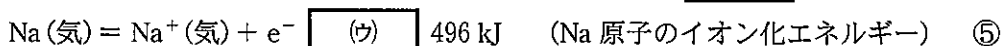
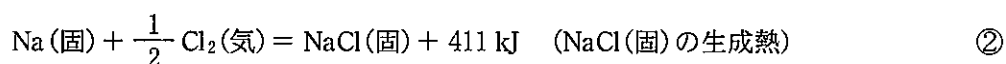
問 4 下線部(d)について、海水には多くの物質が溶けている。海水に水を加えて希釈し水溶液 A を調製した。水溶液 A 100 g から水を蒸発させたところ、固体 0.30 g が得られ、そのうち塩化ナトリウムの割合が質量比で 78 % であった。このとき水溶液 A に溶けているナトリウムイオンのモル濃度 [mol/L] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、得られた固体中には塩化ナトリウム以外にナトリウムイオンを含む物質はなかったものとし、この水溶液 A の密度を 1.00 g/cm^3 とみなしてよいものとする。

問 5 下線部(e)について、次の文章を読み、下の(1)~(4)に答えよ。

1 mol の結晶を構成する粒子(原子、分子、イオン)を、すべて気体状態のばらばらの粒子にするため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 1 mol をばらばらのイオンにするために必要なエネルギーを Q [kJ] とすると、次のように熱化学方程式で表すことができる。



格子エネルギーを実験によって直接求めることはできないが、次に示す熱化学方程式②~⑥と、ヘスの法則を用いることによって格子エネルギーを見積もることができる。

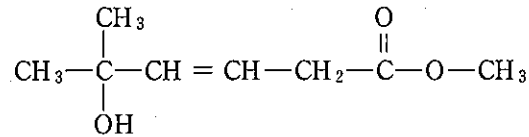


- (1) ヘスの法則の内容について簡潔に説明せよ。
- (2) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ および $\boxed{\text{イ}}$ に入る最も適切な語を記せ。
- (3) 空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ および $\boxed{\text{エ}}$ には+もしくは-の記号が入る。空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ および $\boxed{\text{エ}}$ に入る正しい記号を記せ。
- (4) 式①の Q [kJ] の値を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 3 桁で答えよ。

4

次の文章を読み、下の問いに答えよ。構造式は次の例にならって記せ。(配点 25%)

(例)



油田から採掘された原油にはさまざまな炭化水素が含まれており、分留することにより石油ガス、ナフサ(粗製ガソリン)、灯油、軽油、重油など沸点の異なる留出物に分けられる。これらの留出物の中には、すべて単結合からなる鎖状構造の飽和炭化水素が多く含まれており、これをアルカンとよぶ。この分子式は、炭素数を n として一般式 で表される。このように同じ一般式で表される、性質や構造がよく似た一群の化合物を という。アルカンは燃焼時に多量の熱を発生するため、燃料としてよく利用される。直鎖状構造のアルカンの沸点は、最も炭素数の少ないメタンで -161°C であるが、その炭素数が増えるにしたがって上昇する。一方、アルカンには枝分かれ状の構造をもつものもあり、同じ分子式をもつ構造異性体が多数存在する。自動車燃料のガソリンや軽油にはアルカンの構造異性体が多く含まれており、ガソリンに比べ、軽油のほうが炭素数の多いアルカンが多く含まれる。

炭素—炭素原子間に二重結合を一つ含む鎖式不飽和炭化水素(アルケン)は原油中にほとんど含まれないが、アルカンから工業的に合成される。アルケンには二重結合が存在するため、他の原子や原子団と反応しやすい。そのため、さまざまな化合物の合成原料として利用される。アルケンの一種であるエチレン(エテン)の場合、実験室では $160\sim 170^\circ\text{C}$ で濃硫酸を用いて を脱水すれば得られる。エチレンはさまざまな用途で利用される。特定の条件下で連続的にエチレンを反応させると重合反応が起こり、高分子化合物であるポリエチレンが生成される。これはゴミ袋などの材料となる。

また、炭素—炭素原子間に三重結合を一つ含む鎖式不飽和炭化水素(アルキン)も反応性が高いため、工業的に合成され利用されている。例えば、アセチレン(エチン)に酢酸を付加させることにより、高分子化合物の合成に利用可能な化合物を得ることができる。

問 1 文章中の空欄 に入る適切な式、および空欄 および に入る適切な語を記せ。

問 2 下線部(a)に関連して、実験室では酢酸ナトリウムを水酸化ナトリウムとともに加熱することでメタンを生成できる。この反応の化学反応式を記せ。

問 3 下線部(a)について、直鎖状構造のアルカンの沸点が炭素数が増えるにしたがって上昇する理由を簡潔に記せ。

問 4 下線部(b)に関して、炭素数が 6 のアルカンの構造式をすべて記せ。

問 5 モル質量が不明なアルケン A を用いて次に示した実験を行った。下の(1)および(2)に答えよ。

【実験】

触媒を用いてアルケン A 420 mg に水を付加させたところ、化合物 B と化合物 C があわせて 555 mg 得られた。化合物 B と化合物 C に二クロム酸カリウムの希硫酸溶液を加えておだやかに加温すると、化合物 B から化合物 D を経て酸性を示す化合物 E が得られ、化合物 C からヨードホルム反応を示す化合物 F が得られた。

- (1) アルケン A のモル質量(g/mol)を求めよ。ただし、アルケン A への水の付加は完全に進行したものとする。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) アルケン A の構造式を記せ。

問 6 下線部(c)に関連した次の文章を読んで、下の(1)~(3)に答えよ。

工業生産では、触媒を用いてアセチレンに酢酸を付加させると化合物 X が得られ、これを付加重合させると高分子化合物が得られる。この高分子化合物を水酸化ナトリウムにより加水分解すると、高分子化合物 Y が得られる。その後、高分子化合物 Y をホルムアルデヒドによりアセタール化すると、水に不溶なピニロンが合成される。

- (1) 化合物 X および高分子化合物 Y の物質名を記せ。
- (2) 触媒を用いてアセチレンに水を付加させると、不安定な化合物 G を経てただちにその異性体である化合物 H が生成する。このため、化合物 G を用いて高分子化合物 Y を合成することはできない。化合物 G および化合物 H のそれぞれの物質名と構造式を記せ。
- (3) 高分子化合物 Y 40 kg 中のヒドロキシ基のうち 40 % がアセタール化されたピニロンを合成した。この反応によるピニロンの生成量(kg)を求めよ。なお、アセタール化によりホルムアルデヒド 1 分子は高分子化合物 Y 中のヒドロキシ基 2 個と反応し、水 1 分子が脱離する。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。