

2022年度

理 科  
【 化 学 】

R 2

2月25日(金)

【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 : 50 ~ 15 : 10

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 : 40 ~ 16 : 00

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、1 ~ 4 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。

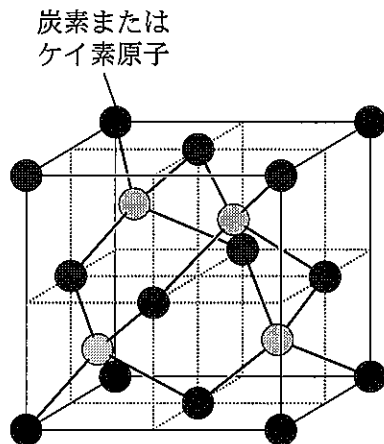
原子量：H 1.0, C 12, O 16, Na 23, Al 27, Si 28, S 32, K 39, Ba 137

アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ , ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

1 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

元素の周期表において14族に属する炭素は、原子1個あたり (ア) 個の価電子をもつ。同じ元素からなる単体で性質が異なるものどうしを互いに (イ) というが、炭素には、複数の (イ) が知られている。その一つであるダイヤモンドは、図で示すように、すべての炭素原子が隣接する (ア) 個の炭素原子と互いに電子を (ウ) することで形成された結晶であり、非常に硬く融点が高い。ダイヤモンドとは互いに (イ) であるグラファイトでは、すべての炭素原子が隣接する (エ) 個の炭素原子と互いに (ウ) 結合することで、正六角形を基本単位とする平面構造を形成している。この平面構造どうしが (オ) で結びつき、層状に積み重なることで、グラファイトを形成している。(オ) による結びつきは (ウ) 結合による結びつきよりも弱く、グラファイトは平面構造どうしの層に沿って薄くはがれやすい。また、ダイヤモンドは電気をほとんど通さないが、グラファイトは金属のように電気をよく通す。<sup>(a)</sup>

元素の周期表において炭素の一つ下に位置する同族元素のケイ素は、ダイヤモンドと同じ構造をもつ (ウ) 結合結晶を形成する。<sup>(b)</sup>ケイ素の結晶は、ダイヤモンドほどではないが、硬く融点が高い。硬さなどの結晶の性質は、構成粒子の結びつき方によって異なる。イオン結晶にも硬い物質が多いが、一般にイオン結晶は外部からの力に対してもろく割れやすい。一方、金属結晶は展性や延性を示す。<sup>(c)</sup><sup>(d)</sup>



- ・ 単位格子は立方体である。
- ・ すべての頂点およびすべての面の中心に原子(●)が配置されている。
- ・ 頂点および面の中心以外の原子(●)は、単位格子の内部に完全に含まれている。
- ・ ●と●は同じ種類の原子を表している。

図 ダイヤモンドおよびケイ素の結晶の単位格子

問 1 文章中の空欄 ア ~ オ に入る最も適切な数字または語を記せ。

問 2 下線部(a)について、グラファイトが電気をよく通す理由を簡潔に記せ。

問 3 下線部(b)のケイ素について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 結合していない単独のケイ素原子が最も安定な電子配置をとるとき、L 殻と M 殻に入る電子数をそれぞれ記せ。
- (2) ケイ素の同位体の一つである  $^{30}\text{Si}$  原子 1 個に含まれる中性子数を記せ。

問 4 下線部(c)について、イオン結晶が外部からの力に対してもろく割れやすい理由を、イオンの間に働く力にもとづいて簡潔に記せ。

問 5 下線部(d)について、金属結晶が展性や延性を示す理由を簡潔に記せ。

問 6 ダイヤモンドとケイ素の結晶について、次の(1)~(4)に答えよ。なお、原子は完全な球とし、最も近い原子どうしは互いに接しているとする。

- (1) 図の単位格子の頂点と面に配置されている原子は、それぞれ一部だけが単位格子の内側にあり、これら以外の原子は単位格子の内部に完全に含まれている。単位格子の内側に含まれる原子の数はいくつ分に相当するか求めよ。所定の欄に計算過程を示し、整数で答えよ。
- (2) 単位格子の体積に占める原子の体積の割合を充填率という。図の単位格子において、原子の半径は単位格子の一辺の長さの  $\frac{\sqrt{3}}{8}$  倍である。図の単位格子における充填率[%]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、円周率は 3.14、 $\sqrt{3}$  は 1.73 として計算せよ。
- (3) ケイ素の結晶における最も近い原子の中心どうしの距離は、ダイヤモンドにおける場合の 1.5 倍である。ダイヤモンドの単位格子の一辺の長さが  $3.6 \times 10^{-8}$  cm であるとき、ケイ素の結晶の単位格子の一辺の長さ [cm] 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。
- (4) ダイヤモンドの密度が  $3.5 \text{ g/cm}^3$  であるとき、ケイ素の結晶の密度 [ $\text{g/cm}^3$ ] 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

次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

酸と塩基が反応して互いにその性質を打ち消しあうことを中和という。ここに、濃度未知の酢酸水溶液がある。潮解性のある水酸化ナトリウムを塩基として用いて、中和滴定によりこの酢酸水溶液の濃度を求めるため、次の実験 1 および 2 を行った。

【実験 1】 実験 2 で用いる水酸化ナトリウム水溶液の濃度を求める実験

シュウ酸二水和物  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の結晶 6.3 g をビーカーにはかり取り、適量の純水に完全に溶かしてからメスフラスコに入れた。用いたビーカーに少量の純水を加え、この液をメスフラスコに入れる操作を何度か繰り返した。メスフラスコの標線まで純水を加えて 500 mL とし、よく振り混ぜることでシュウ酸標準溶液を調製した。シュウ酸標準溶液をホールピペットで 10.0 mL はかり取り、コニカルビーカーに入れ、フェノールフタレイン溶液を 2 滴加えた後、ビュレットに入れた水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ滴下した。滴下してはコニカルビーカーを振り、溶液がわずかに赤くなり、振り混ぜても色が消えなくなったところを中和点とした。

【実験 2】 酢酸水溶液の濃度を求める実験

濃度未知の酢酸水溶液をホールピペットで 10.0 mL はかり取り、メスフラスコに入れた。

標線まで純水を加えて 100 mL とし、よく振り混ぜた。この酢酸水溶液をホールピペットで 10.0 mL はかり取り、コニカルビーカーに入れ、フェノールフタレイン溶液を 2 滴加えた。実験 1 で濃度を求めた水酸化ナトリウム水溶液をビュレットに入れ、コニカルビーカーに少しずつ滴下した。滴下してはコニカルビーカーを振り、pH メータでコニカルビーカー内の水溶液の pH を測定した。水酸化ナトリウム水溶液の滴下量に対するコニカルビーカー内の水溶液の pH 変化を図に示す。実験 1 と同様、溶液がわずかに赤くなり、振り混ぜても色が消えなくなったところを中和点とした。

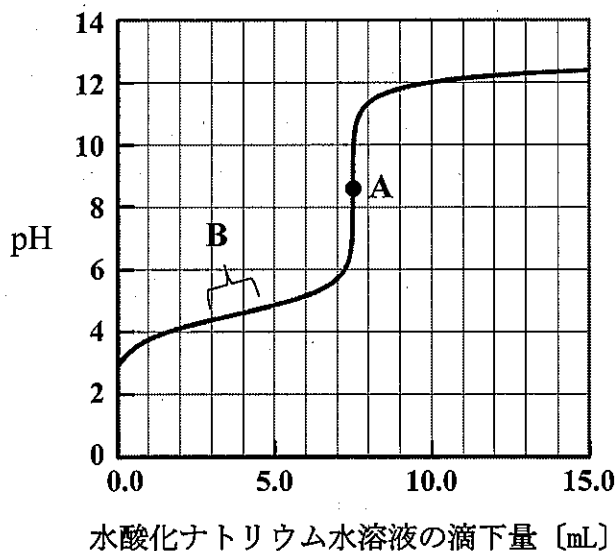


図 実験 2 における滴定曲線

問 1 実験 1 について、中和に必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積は 25.0 mL であった。水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度  $[\text{mol/L}]$  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。

問 2 実験 2 について、次の(1)~(4)に答えよ。

(1) 図の中和点 A におけるコニカルビーカー内の水溶液は、酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の水溶液である。酢酸ナトリウムの水溶液が塩基性を示す原因となる反応をイオン反応式で記せ。

(2) 次の(あ)~(お)の塩のうち、酢酸ナトリウムとは逆にその水溶液が酸性を示すものを一つ選び、記号で答えよ。また、その塩の水溶液が酸性を示す原因となる反応をイオン反応式で記せ。

(あ)  $\text{CaCl}_2$       (い)  $\text{NH}_4\text{Cl}$       (う)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$       (え)  $\text{KNO}_3$       (お)  $\text{NaHCO}_3$

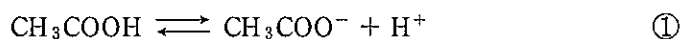
(3) 中和に必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積は 7.5 mL であった。希釈する前(メスフラスコに入れて純水を加える前)の酢酸水溶液の質量パーセント濃度 [%] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、希釈する前の酢酸水溶液の密度は  $1.00 \text{ g/cm}^3$  とせよ。

(4) 図の領域 B では、酢酸と酢酸イオンがほぼ等しい濃度で存在している。このような水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を少量加えても pH の変化は小さい。その原因となる反応を、イオン反応式で記せ。

問 3 緩衝液 C を調製するため、次の操作を行った。緩衝液 C に関する下の文章の空欄 (ア) ~ (イ) に入る数値を記せ。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、 $25^\circ\text{C}$  における酢酸の電離定数  $K_a$  は  $2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  とする。必要ならば  $\log_{10} 2.7 = 0.43$ ,  $\log_{10} 5.4 = 0.73$  を用いよ。

操作：酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の結晶 4.1 g をビーカーにはかり取り、適量の純水に完全に溶かしてからメスフラスコに入れた。同じビーカーに適量の純水と 0.100 mol の酢酸を加え、この酢酸水溶液もメスフラスコへ加えた。同じビーカーに少量の純水を加え、この液をメスフラスコに入れる操作を何度か繰り返した。標線まで純水を加えて 1.00 L とし、よく振り混ぜた。

この操作で調製した緩衝液 C において、酢酸は電離平衡の状態にある。酢酸の電離平衡は式①で、酢酸の電離定数  $K_a$  は式②でそれぞれ表される。式①と式②は緩衝液 C においても成り立っている。



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad \text{②}$$

ここで、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ ,  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  および  $[\text{H}^+]$  は、それぞれ酢酸、酢酸イオンおよび水素イオンのモル濃度 [mol/L] を表している。酢酸ナトリウムの電離度を 1.00 とし、酢酸の電離は無視できるとすると、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  は 0.100 mol/L,  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  は (ア) [mol/L] と近似できる。したがって、 $25^\circ\text{C}$  における  $[\text{H}^+]$  は (イ) [mol/L] となり、緩衝液 C の pH は (ウ) となる。

問 4 濃度が 0.100 mol/L の塩酸と 0.100 mol/L の酢酸水溶液をそれぞれ純水で体積が 10 倍になるまで希釈した。この希釈によって、塩酸では pH が 1.0 から 2.0 へと 1.0 大きくなったが、酢酸水溶液では pH が 2.8 から 3.3 へと 0.5 しか大きくならなかった。塩酸に比べて酢酸水溶液で希釈による pH 変化が小さい理由を、「電離度」および「水素イオン」という語を用いて説明せよ。ただし、塩酸と酢酸水溶液の温度は希釈前後で変化せず  $25^\circ\text{C}$  に保たれているものとする。

3 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(25%)

イオン化傾向が大きい金属は、そのイオンを含む水溶液の電気分解では単体を得ることができないため、その金属の酸化物などを高温で融解して液体にし、水を含まない状態で電気分解して単体を得ている。<sup>(a)</sup>工業的なアルミニウムの精錬では、原料となる鉱石から得た純度の高い酸化アルミニウム<sup>(b)</sup>を、加熱・融解した水晶石に加えて溶かし、これを図のように炭素電極を用いて電気分解<sup>(c)</sup>すると、熔融状態のアルミニウムの単体<sup>(d)</sup>が得られる。

単体のアルミニウムは酸の水溶液にも強塩基の水溶液にも溶ける。また、単体のアルミニウム<sup>(d)</sup>を濃硝酸と反応させると不動態になる。<sup>(e)</sup>一方、アルミニウムと酸化鉄(Ⅲ)の粉末を混ぜて点火すると、激しく反応して融解した鉄<sup>(f)</sup>が得られる。なお、硫酸アルミニウムと硫酸カリウムの混合水溶液を濃縮すると、<sup>(g)</sup>ミョウバンとよばれる正八面体の結晶が得られる。

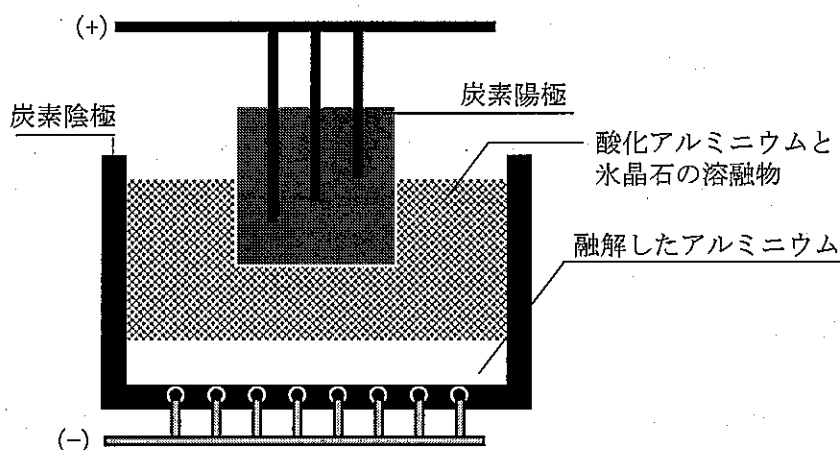


図 酸化アルミニウムの電気分解

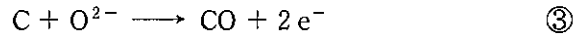
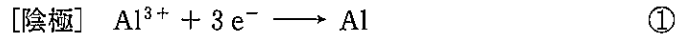
問 1 下線部(a)について、金属の酸化物などの固体を融解し、これを電気分解することによって金属の単体を得る方法を何というか。その名称を記せ。

問 2 下線部(b)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液との反応を化学反応式で記せ。
- (2) 酸化アルミニウムと塩酸との反応を化学反応式で記せ。



問 3 下線部(c)について、図の陰極では式①、陽極では式②および式③の反応がそれぞれ起こる。式①～③を参考に、下の(1)および(2)に答えよ。



- (1) 図に示すように、炭素電極を用いて、1.93 kA の電流を 10.0 時間流し、酸化アルミニウムと氷晶石の熔融物を電気分解した。このとき、陰極で生じるアルミニウムの質量 [kg] 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) アルミニウムを 630 g 析出させたとき、炭素陽極の質量は 300 g 減少した。このとき発生した二酸化炭素と一酸化炭素の物質質量 [mol] をそれぞれ求めよ。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、陽極で減少した炭素のすべてが電気分解によって二酸化炭素と一酸化炭素になったものとする。

問 4 下線部(d)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 酸の水溶液にも強塩基の水溶液にも溶ける性質をもつ金属を何というか。その名称を記せ。
- (2) 単体のアルミニウムは、酸の水溶液にも強塩基の水溶液にも、ある同じ気体を発生して溶ける。この気体の分子式を記せ。

問 5 下線部(e)について、アルミニウムが濃硝酸と反応し不動態になる理由を簡潔に記せ。

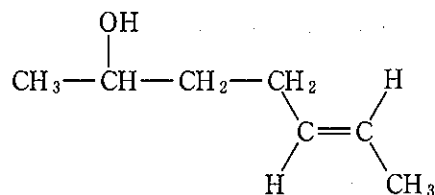
問 6 下線部(f)のアルミニウムと酸化鉄(III)との反応を化学反応式で記せ。

問 7 下線部(g)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) ミョウバン  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  の水溶液にアンモニア水を少量加えたところ、白色沈殿が生成した。この沈殿を構成する化合物の化学式を記せ。
- (2) ミョウバン  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  の固体 4.74 g を純水に完全に溶解させた。この水溶液に十分な量の塩化バリウム水溶液を加えると、硫酸バリウムの白色沈殿が生じた。その後、この沈殿をろ過、洗浄したのち、十分に乾燥させた。得られた硫酸バリウムの質量 [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、すべての硫酸イオンは硫酸バリウムとして沈殿し、洗浄による硫酸バリウムの水への溶解は無視できるものとする。

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)



分子中の炭素原子間に二重結合を1個もち、他はすべて単結合の鎖式炭化水素をアルケンという。炭素原子の数が2個であるエチレン(エテン)は、石油化学工業の基礎原料として広く利用されており、工業的には、の熱分解で得られる。は、原油の分留の際に得られる沸点範囲が30~180℃程度の部分であり、その主成分は炭素原子の数が5から11のアルカンである。リン酸を触媒としてエチレンに水を付加させるとエタノールが得られる。この方法で得られるエタノールは飲用には利用されず、飲用のエタノールはアルコール発酵によってグルコースなどから生産される。塩化パラジウムと塩化銅(II)を触媒に用いて、エチレンを酸素で酸化するとが得られる。エチレンは、ポリエチレンなどのさまざまな高分子化合物の合成にも利用される。炭素原子の数が3個のアルケンはであり、も高分子化合物の合成に利用される。炭素原子の数が4個以上のアルケンには異性体が存在する。炭素原子の数が4個のアルケンには4種類の鎖式の異性体、炭素原子の数が5個のアルケンには種類の鎖式の異性体が存在する。

問1 文章中の空欄~に入る適切な語、および空欄に入る適切な数字を記せ。

問2 下線部(a)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) グルコースの分子式を記せ。
- (2) グルコース50gがアルコール発酵によりすべてエタノールと二酸化炭素になったときのエタノールの質量(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。

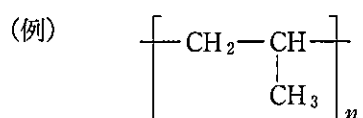
問3 下線部(b)に関する次の(あ)~(お)のうちで、間違っているものをすべて選び、記号で記せ。

- (あ) ポリエチレンとポリ塩化ビニルはどちらも熱可塑性樹脂である。
- (い) ポリエチレンのすべての水素がフッ素に置き換わった樹脂は、耐熱性に優れている。
- (う) 高密度ポリエチレンは、低密度ポリエチレンに比べ枝分かれが少なく結晶部分が少ないため、やわらかく透明である。
- (え) ポリエチレンは、エチレンの縮合重合によって生成する。
- (お) アセチレン(エチン)と塩素の反応によって生成する主な化合物は、ポリ塩化ビニルの原料となる塩化ビニルである。

問 4 生ゴム(天然ゴム)の主成分はイソプレンが重合した構造をもつ炭化水素であり、炭素原子間の二重結合を多く含む。生ゴムを乾留するとイソプレンが得られる。次の(1)~(3)に答えよ。

(1) イソプレンの構造式を記せ。

(2) 生ゴムの主成分の構造式を次の例にならって繰り返し単位がわかるように記せ。ただし、シス形かトランス形かわかるように記せ。



(3) 生ゴムが弾性を示す理由を構造式にもとづいて簡潔に記せ。

問 5 アルケンに水を付加させるとアルコールが生成するが、エチレン以外のアルケンの反応では、複数の構造異性体が生成することがある。次の文章中のアルコール D~G の構造式を記せ。

アルケン A~C はいずれも分子式  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}$  である直鎖状のトランス形アルケンである。アルケン A に水を付加させるとアルコール D およびアルコール E が得られた。アルケン B に水を付加させるとアルコール F およびアルコール G が得られた。アルコール F はヨードホルム反応を示した。アルケン C に水を付加させるとアルコール E のみが得られた。アルコール D~G は互いに構造異性体の関係にある。

問 6 炭素原子間の二重結合を複数含む炭化水素 H 74.8 mg を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 242 mg と水 79.2 mg が得られた。また、炭化水素 H のすべての二重結合に水素を付加させると、沸点  $174^\circ\text{C}$  の直鎖状のアルカンが得られた。炭化水素 H の分子式を記せ。また、所定の欄に求め方を記せ。

