


令和4年度 次世代の科学技術を担う人材育成事業

 **福岡県**
高校生科学技術コンテスト
ファーストステージ
化学

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、挙手をして監督者に知らせなさい。ただし、問題内容にかかわる質問は、受け付けません。
- 3 解答用紙には、解答欄以外に次の記入欄があるので、監督者の指示に従って正しく記入しなさい。
 - (1) 受験番号欄…受験票に記入されている受験番号を記入しなさい。
 - (2) 氏名欄…氏名を楷書で記入しなさい。
 - (3) 所属校名欄…受験票に記入されている所属校名を記入しなさい。
- 4 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。

受験番号	
氏名	
所属校名	

福岡県教育委員会

第1問

あとの問い(問1～5)に答えよ。必要ならば、次の値を用いよ。

気体定数： $R=8.31\times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

問1 次の文を読み、下の(1)、(2)に答えよ。

冬のある日、Aさんが家で料理をしようとガスコンロに火をつけたところ、炎の色が正常な青色ではなく橙赤色になっていた。不完全燃焼を起こしているのではないかと疑ったAさんは、すぐにガス業者を呼び、点検してもらったが、コンロに異常はなく、不完全燃焼によるものではないことがわかった。

業者はキッチンのすぐ隣に置いてある加湿器が原因であると指摘した。Aさんの置いた加湿器は、超音波式の加湿器(超音波による振動で水道水を細かい水滴にし、空気中に放出する仕組みのもの)である。つまり、水道水中に含まれる金属イオンが水とともに空気中に放出され、水滴に含まれる金属イオンが炎に触れることで、炎色反応を示していると考えられる。

(1) 各家庭に供給される都市ガス(液化天然ガス)の主成分はメタン(CH_4)である。メタンの不完全燃焼が起こると有毒な気体が発生する。この反応を化学反応式で記せ。

(2) 水道水中に含まれるイオンの中で、ガスコンロの炎の色が青色から橙赤色に変化した原因だと考えられるものとして最も適切なものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

ア Na^+ イ Ag^+ ウ Ca^{2+} エ Mg^{2+}

問2 次の文を読み、下の(1)~(3)に答えよ。

20世紀初頭、イギリスのソディ (F. Soddy) は、「ひとつの元素は、A化学的性質は同じだが、B物理的性質の異なるいくつかの原子の混合物である」と提唱した。そして、それらが周期表のある一箇所を占める、すなわち同じ原子番号をもっていることから、それらの原子をその元素の同位体 (アイソトープ, isotope) とよんだ。この言葉は、ギリシャ語の isos (同じ) と topos (場所) からとったものである。ソディはこの業績で、1921年のノーベル化学賞を受賞している。

1913年、真空放電装置を用いて陽極線の研究をしていたイギリスのトムソン (J. J. Thomson) は、質量数20のネオン ^{20}Ne に質量数22のネオン ^{22}Ne が混ざっていることを発見した。それまでに、放射能をもった放射性同位体は発見されていたが、このとき初めて安定同位体の存在が確認されたのである。

1919年、彼の助手を務めたアストン (F. W. Aston) がトムソンの装置を改良した質量分析器を開発したことで、 ^{22}Ne の存在が受け入れられるようになった。アストンは、この質量分析器の開発などで1922年のノーベル化学賞を受賞している。その後、ネオンには ^{20}Ne , ^{21}Ne , ^{22}Ne の3種類の安定同位体があることが発見され、そのほかの元素についても、同位体の存在が次々に明らかになった。

(1) 下線部AおよびBについて、次の①~③の下線部はそれぞれ化学的性質と物理的性質のどちらについての記述であるか。化学的性質についての記述にはA、物理的性質についての記述にはBの記号で答えよ。

- ① 水酸化カリウムは、水に溶けて塩基性を示す。
- ② 沸点の違いを利用して、水とエタノールを分離することができる。
- ③ 質量パーセント濃度が20%の水酸化ナトリウム水溶液の密度は、1.2 g/mLである。

(2) 1913年の当時、既知であったネオンの原子量が20.2であったことから、トムソンは「ネオンは ^{20}Ne と ^{22}Ne の2種類の原子の混合物である」と考えた。ネオンの原子量が20.2であるとして、 ^{20}Ne と ^{22}Ne の存在比をもっとも簡単な整数の比で求めよ。ただし、 ^{20}Ne と ^{22}Ne の相対質量はそれぞれ20.0と22.0であり、 ^{21}Ne や放射性同位体の存在比は十分に小さく、無視できるものとする。

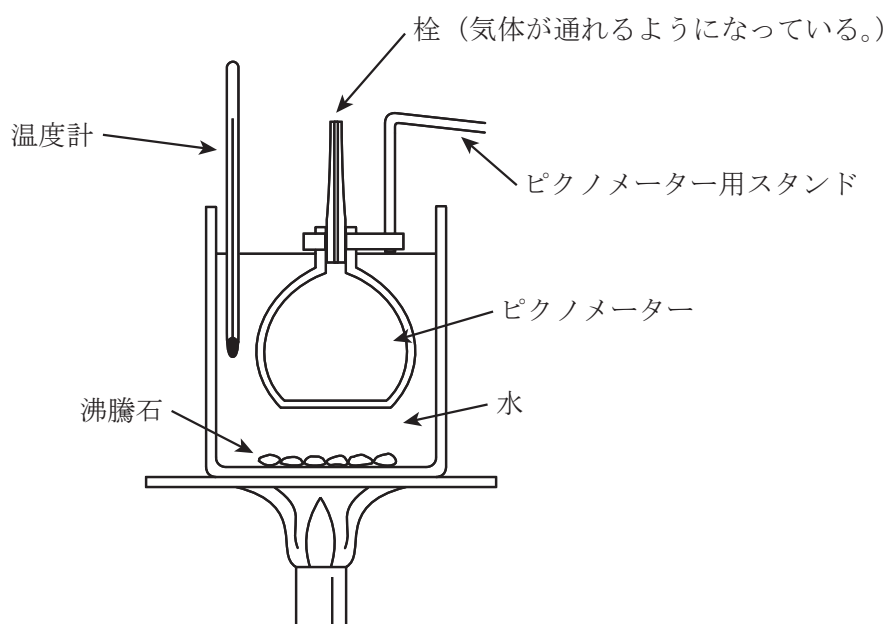
(3) 銅粉31.8 gを加熱し完全に酸化したところ、黒色の酸化銅(II) 39.8 gが生成した。この酸化銅(II)に含まれる ^{63}Cu と ^{65}Cu の物質量の比は、1 : となる。

空欄に当てはまる数値を、有効数字2桁で求めよ。ただし、 ^{63}Cu と ^{65}Cu の相対質量はそれぞれ63.0と65.0であり、酸素Oの原子量は16.0であるとする。また、銅の安定同位体として ^{63}Cu と ^{65}Cu のみを考慮するものとし、放射性同位体や酸素の同位体の存在は無視できるものとする。

問3 次の文を読み、下の(1)~(4)に答えよ。

ある揮発性液体の分子量を測定するために、下図のような装置を組み立てた。この装置を用いると、液体が蒸発した前後の質量、および理想気体の状態方程式から液体試料の分子量を求めることができる。液体試料の分子量を求めるために、次の(操作1)~(操作4)を行った。なお、この実験は、すべて27℃、 1.00×10^5 Paの大気中で行うものとし、容器中の液体への気体の溶解は無視できるものとする。また、ピクノメーターの質量は、容器内の空気の質量も含んでいることに注意せよ。

- (操作1) 乾燥した内容積50.0 mLのピクノメーター(比重瓶)を用意し、栓をつけた状態で質量を測定したところ、質量は30.000 gであった。
- (操作2) 次に、約1 gの液体試料をピクノメーターに入れ、97℃に保った湯浴に、下図のように浸した。
- (操作3) 液体試料がすべて蒸発してから、そのまましばらく放置した。その後、ピクノメーターを湯から取り出し、室温まで手早く冷やした。
- (操作4) 容器のまわりの水をよくふき取り、栓をつけてからピクノメーターの質量を測定したところ、質量は30.247 gであった。



(1) この実験に関する記述として、適切でないものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

ア 実験室内では、窓を開けたり、ドラフトチャンバーを使用したりするなど、十分に換気をして実験を行う。

イ 湯浴を行わない場合は、ピクノメーターを直接ガスバーナーで熱する。

ウ 試料がすべて蒸発してしばらく経ったとき、ピクノメーター内の気体の全圧は大気圧と等しくなる。

エ 室温まで冷やしたとき、ピクノメーター内には空気が入ってくる。

(2) ある気体の分子量を M 、分圧を P [Pa]、温度を T [K]、気体定数を R [Pa·L / (mol·K)] とするとき、気体の密度 d [g/L] を M 、 P 、 T 、 R を用いて表せ。

(3) この実験における、液体試料の分子量を有効数字3桁で求めよ。ただし、室温での液体の蒸気圧および液体部分の体積は無視できるものとする。

(4) 27℃に冷却したとき、本来は液体試料の蒸気圧の分だけ容器内から空気が追い出されているため、追い出された空気の質量の分だけ液体試料の質量を補正する必要がある。この実験において、容器から出ていった空気の質量を求めると、 g である。よって、補正された質量から液体試料の分子量を求めると、 となる。

空欄 、 にあてはまる数値をそれぞれ有効数字3桁で求めよ。ただし、27℃におけるこの液体試料の飽和蒸気圧を 1.20×10^4 Pa とし、液体部分の体積は無視できるものとする。また、27℃、 1.00×10^5 Pa での空気の密度を 1.10 g/L とする。

問4 銀は、紀元前 3000 年ごろから人間に利用され始めた金属である。当初は、金よりも価値が高かったと言われており、古代エジプトでは金の表面に銀めっきを施した宝飾品が存在したほどである。これは、銀は金と比べて、自然界では単体として存在することが少なかったためだと考えられている。やがて、製錬技術が発達すると、銀を含む鉱物である銀鉱石から純度の高い銀が得られるようになり、銀の生産量が増加したことで、銀の価値は下がっていった。次の(1)、(2)に答えよ。

(1) 下線部の理由として最も適切なものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

- ア 銀は金と比べて融点が低いから。
- イ 銀は金と比べて展性・延性が小さいから。
- ウ 銀は金と比べてイオン化傾向が大きいから。
- エ 銀は金と比べて電気伝導性が大きいから。

(2) 次の文中の空欄 **あ**、**う**、**き** には当てはまる語句を、**い**、**え**、**か** には当てはまる化学式を、**お** には当てはまるイオン式を答えよ。ただし、同じ記号の空欄には、同じ語句、化学式、またはイオン式が入る。

金属イオンとして、銀イオンのみを含む試料溶液がある。この溶液に希塩酸を加えると、**あ** 色の **い** が沈殿する。この沈殿を取り出し、アンモニア水を加えると、はじめに **う** 色の **え** が沈殿する。さらにアンモニア水を加えていくと、やがて沈殿が溶け、水溶液中には **お** が生成する。

アンモニア性硝酸銀水溶液には **お** が含まれており、この溶液にアルデヒドを加えると、**お** が還元されて **か** が生成する。この反応を **き** 反応という。

問5 次の文を読み、下の(1)~(3)に答えよ。

ろ紙に垂らした黒色水性インクに水を数滴滴下すると、水がろ紙に吸収されて広がるにつれ、さまざまな色の色素が分かれて現れてくる。これは、インクに含まれる色素が、ろ紙への吸着のしやすさの違いなどによって分離されたことによるものである。このように、吸着剤に吸着される強さの違いなどを利用し、混合物から各成分を分離する操作を、一般にクロマトグラフィーという。クロマトグラフィーに用いられる吸着剤のことを固定相、混合物を溶かした溶媒や混合物を含む気体のことを移動相と呼び、固定相がろ紙の場合は、この操作をペーパークロマトグラフィーと呼ぶ。

有機化合物の合成を行った際に、目的の物質が得られたかどうかを確認するための手法として、薄層クロマトグラフィー (TLC : Thin layer chromatography) がある。この手法では、ガラス板の表面に、ごく薄いシリカゲル ($(\text{SiO}_2)_n(\text{H}_2\text{O})_m$) の層を吸着させたもの (TLC プレート) (図1) を吸着剤として使用する。固定相はシリカゲルであり、シリカゲルの極性が **あ** ため、化合物との間に水素結合を形成する (図1)。移動相には一般に、酢酸エチルとヘキサンを混合した溶媒やジクロロメタンなど、比較的極性が **い** 有機溶媒が用いられる。

TLC の操作は次のようになる。まず、試料である有機化合物を有機溶媒に溶かし、少量の溶液を、細いガラスの筒 (キャピラリー) などできとり、TLC プレートの下端につける。プレートを有機溶媒 (移動相) の入った密閉容器内に立てかけると、移動相はプレート上を毛細管現象により上向きに移動していく。その後、溶媒がプレートの一番上に達したら、プレートを密閉容器から取り出して乾燥させる。試料中の成分は、固定相と移動相に対する極性の違いにより、異なる距離を移動し、プレート上にスポット (点) として現れる。溶媒と各成分の移動距離の比 (Rf 値: retardation factor value) を計算し、目的の物質が合成できたかどうかを判断する。(図2)

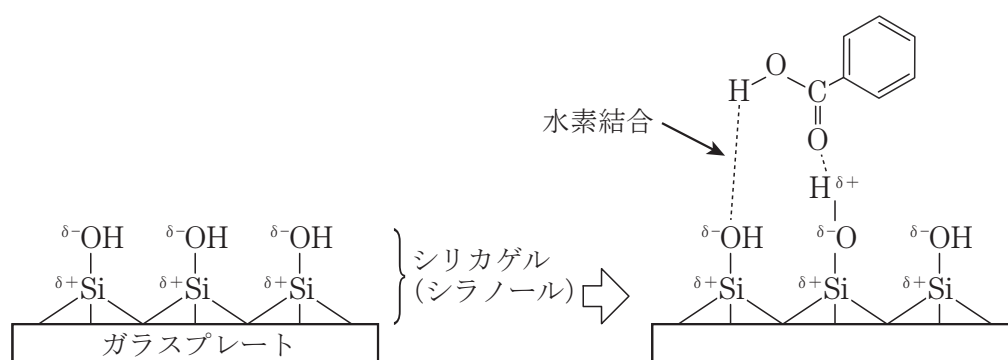


図1

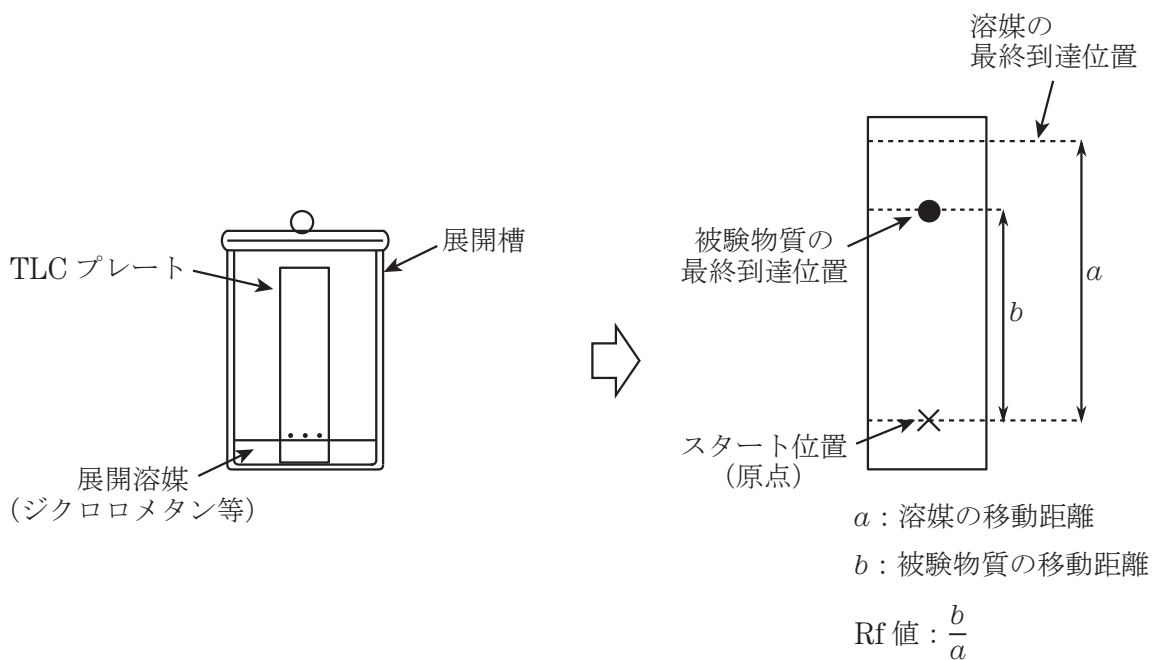
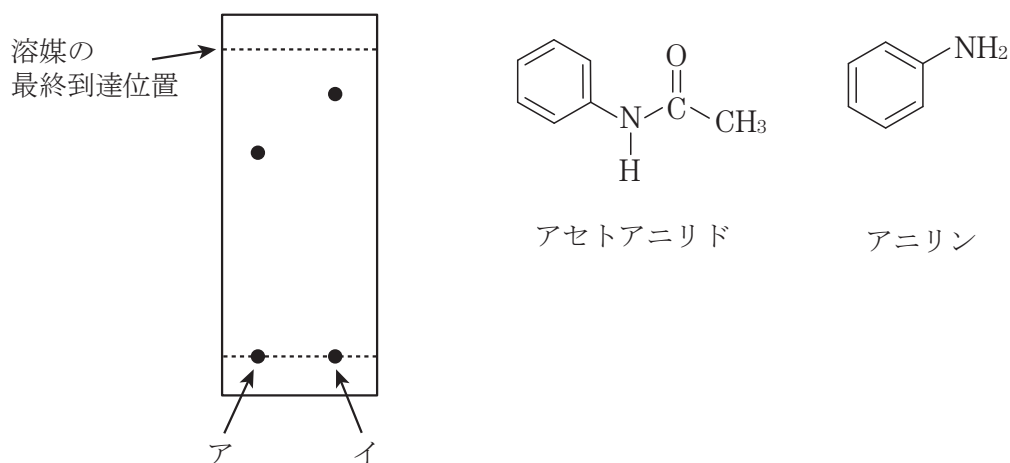


図 2

- (1) 空欄 , にあてはまる語句として最も適切なものを一つずつ選び、それぞれアまたはイの記号で答えよ。

ア 大きい イ 小さい

- (2) 大学生のAさんはアセトアニリドを加水分解しアニリンを生成する実験を行い、反応物と生成物のそれぞれについて TLC を行った。TLC プレート上で、最初にアニリンをおいた点として適切なものを下図のア、イから一つ選べ。なお、反応は完全に進行し、生成物の精製は十分に行ったものとする。



第2問

あとの問い(問1～3)に答えよ。必要ならば、次の値を用いよ。

原子量：H=1.0, C=12, O=16, Na=23, Cl=35.5, K=39.1

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

$\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.24$

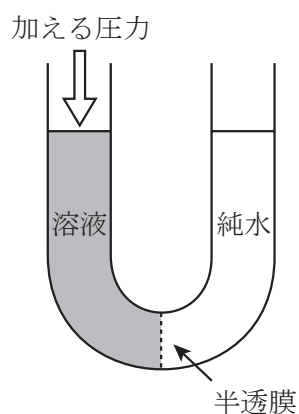
$\log_e 2 = 0.693$, $\log_e 3 = 1.10$, $\log_e 5 = 1.61$ (e は自然対数の底)

問1 溶媒に溶質分子がわずかに溶けている希薄溶液では、溶質の種類に関係なく、溶液の濃度で決まる共通の性質がある。この性質に関する次のA～Cの文を読み、下の(1)～(3)に答えよ。

A 純溶媒の入った容器を一定圧力、一定温度のもとに置き、この純溶媒に不揮発性物質を溶かして溶液にすると、液体表面から蒸発する溶媒分子の数が、同じ温度の純溶媒のときと比べて なり、溶液の蒸気圧の値は、純溶媒の蒸気圧の値よりも なる。

B 純水 1.00 kg に塩化ナトリウム NaCl を 17.55 g 溶かした水溶液がある。この水溶液を $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ の大気中で加熱したら、 $100.31 \text{ }^\circ\text{C}$ で沸騰した。また、純水をある実験室で加熱したところ、 $99.57 \text{ }^\circ\text{C}$ で沸騰した。なお、 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ における純水の沸点は $100.00 \text{ }^\circ\text{C}$ とする。

C 純水と NaCl 水溶液を水分子のみを通す半透膜で仕切っておくと、水分子だけが半透膜を通して NaCl 水溶液の方に拡散する。この水分子の移動が起こらないようにするには、下図のように圧力を溶液側に余分に加える必要がある。



- (1) Aの文中の空欄 **あ**， **い** に当てはまる語句の組み合わせとして最も適切なものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

	あ	い
ア	少なく	小さく
イ	少なく	大きく
ウ	多く	小さく
エ	多く	大きく

- (2) Bについて、次の①、②に答えよ。ただし、NaClは水溶液中で完全に電離するものとする。

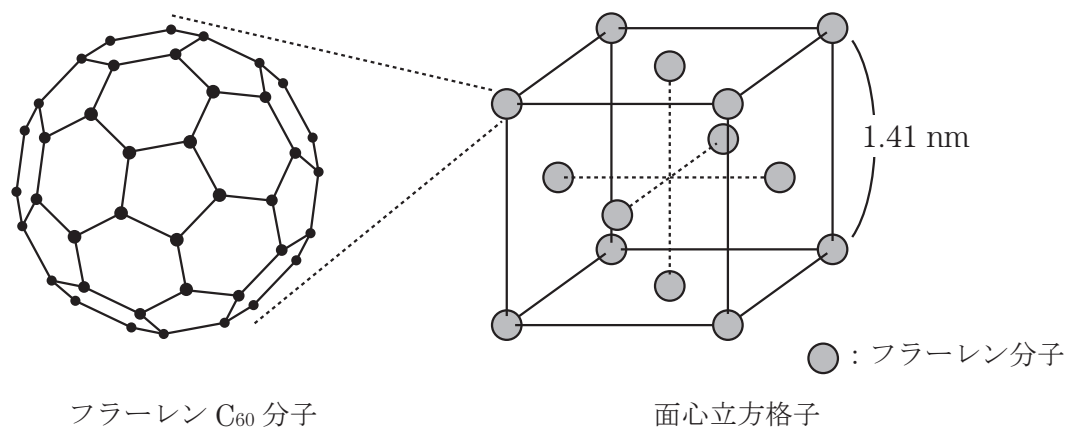
- ① 溶液の質量モル濃度が 1 mol/kg のときの沸点上昇度を、モル沸点上昇 $[K \cdot \text{kg/mol}]$ という。 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ での水のモル沸点上昇はいくらか。有効数字2桁で求めよ。
- ② この実験室の中でNaCl水溶液の沸点を $100.00 \text{ }^\circ\text{C}$ にするにはNaClの質量モル濃度 $[\text{mol/kg}]$ はいくらにすればよいか。有効数字2桁で求めよ。ただし、水およびNaCl水溶液の飽和蒸気圧と温度の関係が1次関数で表され、水のモル沸点上昇がこの実験室内の圧力と $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで同じであるとする。

- (3) Cについて、次の①、②に答えよ。ただし、NaClは水溶液中で完全に電離するものとする。

- ① 余分に加える圧力 $\Pi [\text{Pa}]$ ，溶液の体積 $V [\text{L}]$ ，溶液中の溶質粒子の物質質量 $n [\text{mol}]$ ，絶対温度 $T [\text{K}]$ の間に成り立つ関係式を答えよ。ただし、気体定数は $R [\text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})]$ とせよ。また、この法則名を答えよ。
- ② 圧力 $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ の大気圧の下、温度 $17 \text{ }^\circ\text{C}$ で図のようにU字管を水分子のみを通す半透膜で仕切り、半透膜の左側に 5.85 g の塩化ナトリウムを 2.00 kg の純水に溶かした塩化ナトリウム水溶液を入れ、右側に純水を液面が同じ高さになるまで入れた。図に示した溶液側に余分に加える圧力 $[\text{Pa}]$ はいくらか。有効数字2桁で求めよ。ただし、塩化ナトリウムを水に溶かした際の体積変化は無視できるものとし、 $17 \text{ }^\circ\text{C}$ の水の密度は 1.00 g/cm^3 とする。

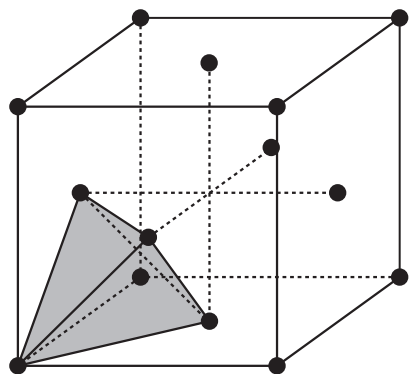
問2 フラーレンに関する次の文を読み、下の(1)~(4)に答えよ。

炭素の同素体のうち、 C_{60} 、 C_{70} 、 C_{76} のような分子式をもった球状の炭素分子をフラーレンとよぶ。ここでは、 C_{60} について考えることにする。 C_{60} 分子は、次に示すような構造をもつ60個の炭素原子が、それぞれ隣り合う3つの炭素原子と結合した分子である。この分子は結晶状態において、面心立方格子の結晶構造をとっており、結晶を形成する単位格子一辺の長さは1.41 nmである。

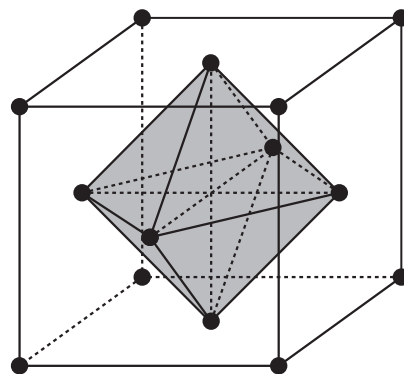


- (1) フラーレン C_{60} 分子の単位結晶中に含まれる炭素原子の数を答えよ。
- (2) 各フラーレン C_{60} 分子が球であるとみなし、結晶状態で互いに接していると仮定するとき、フラーレン C_{60} 分子の直径[nm]を有効数字1桁で求めよ。

- (3) フラーレン C_{60} の結晶には 4 個の C_{60} に囲まれた空間 I と、6 個の C_{60} に囲まれた空間 II の 2 種類の大きさの異なる隙間が存在しており、アルカリ金属原子などが 1 つずつ入り込むことができる。このようにアルカリ金属などを挿入した構造の中には、超電導を示すものが存在している。フルーレン C_{60} の結晶 8.64 g の隙間にカリウムを挿入した。結晶の空間 I および II と同等なすべての空間にカリウム K 原子が取り込まれているとき、カリウムを取り込んだ結晶の質量 [g] を有効数字 2 桁で求めよ。



空間 I



空間 II

- (4) フラーレン C_{60} 中の炭素原子間の結合エネルギーがすべて等しいとみなしたとき、フルーレン C_{60} の燃焼熱 [kJ/mol] を求めよ。ただし、 C_{60} 分子中の C-C 結合の結合エネルギーは 450 kJ/mol, O_2 分子中の O=O 結合の結合エネルギーは 500 kJ/mol, CO_2 分子中の C=O 結合の結合エネルギーは 800 kJ/mol とする。

問3 次の文を読み、下の(1)~(7)に答えよ。

(i) 式に示すように、水溶液中の過酸化水素 H_2O_2 は水 H_2O と酸素 O_2 に分解する。



このときの反応速度 v は、過酸化水素のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ に比例しており、両者の関係は、

$$v = k[\text{H}_2\text{O}_2] \cdots \cdots (\text{ii})$$

と表すことができる。ここで、 k は反応速度定数とよばれる。

この反応は常温で非常にゆっくりと進行するが、酸化マンガン(IV)粉末を少量加えると反応が促進される。(i) 式の反応では、加えた酸化マンガン(IV)は反応の前後で変化しない。このような物質を **あ** という。**あ** は、**い** を下げて反応速度を増大させる。このときの反応熱の大きさは、**う**。

質量パーセント濃度 2.72 % の過酸化水素水 250 mL (密度 1.00 g/cm^3) に酸化マンガン(IV)を加え、一定温度で反応させた。このときの実験結果として、反応時間[分]と発生した酸素の体積[L]を次の表に示した。ただし、この実験を行った温度において、1 mol の酸素が占める体積は、25.0 L であり、反応によって溶液の体積は変化しないものとする。

反応時間[分]	発生した酸素の体積[L]
0	0
10	1.00
32	2.00

(1) 文中の **あ**、**い** に適する語句を答えよ。

(2) 文中の **う** にあてはまる最も適切な語句を一つ選び、ア~ウの記号で答えよ。

ア 大きくなる イ 小さくなる ウ 変化しない

(3) 反応時間 10 分における過酸化水素の濃度 $[\text{mol/L}]$ はいくつか。**有効数字 2 桁** で求めよ。

(4) 反応時間 10 分における反応速度は、反応時間 32 分における反応速度の何倍であるか。**有効数字 2 桁** で求めよ。

- (5) 反応時間 t_1 , t_2 における反応速度をそれぞれ v_1 , v_2 とすると, (ii) 式から次の関係が導かれる。ただし, e は自然対数の底である。反応速度定数 k [1/分] の値はいくらか。有効数字 2 桁で求めよ。

$$\log_e \frac{v_1}{v_2} = -k(t_1 - t_2)$$

- (6) 一般に, 温度が高くなると反応速度は急速に大きくなる。反応速度式の反応速度定数 k と絶対温度 T との間には, A : 頻度因子, E : , R : 気体定数のとき, (iii) 式が成り立つ。

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}} \cdots \cdots \text{(iii)}$$

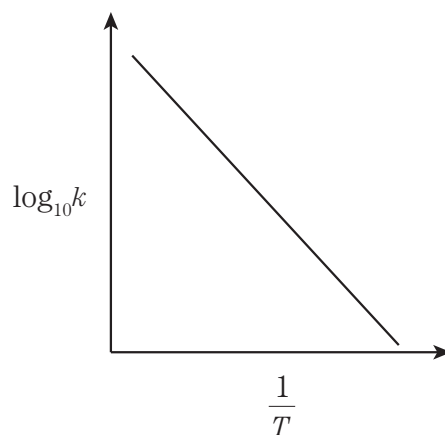
温度 T_1 と T_2 における反応速度定数をそれぞれ k_1 , k_2 とすると, 反応速度定数の相対比 $\frac{k_2}{k_1}$ は次のように表される。次の (iv) 式中の空欄 にあてはまる最も適切な式を, E , R , T_1 , T_2 を用いて表せ。

$$\frac{k_2}{k_1} = e^x, \quad x = \text{} \cdots \cdots \text{(iv)}$$

- (7) (iii) 式は常用対数を用いて次のように変形できる。

$$\log_{10} k = -\frac{E}{2.3RT} + \log_{10} A \cdots \cdots \text{(v)}$$

この式はアレニウスの式と呼ばれ, A と E を用いて反応速度定数 k の温度依存性を表現した式である。 E の値が異なる 2 つの反応について, 温度の上昇による反応速度の変化および, 十分に低い温度における反応速度の違いについて簡潔に説明せよ。なお, (v) 式から $\log_{10} k$ と $\frac{1}{T}$ の関係をグラフにすると, 以下のような関係が得られる。



第3問

あとの問い(問1～2)に答えよ。必要ならば、次の値を用いよ。

原子量 : C=12, Fe=56, Cu=64

気体定数 : $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

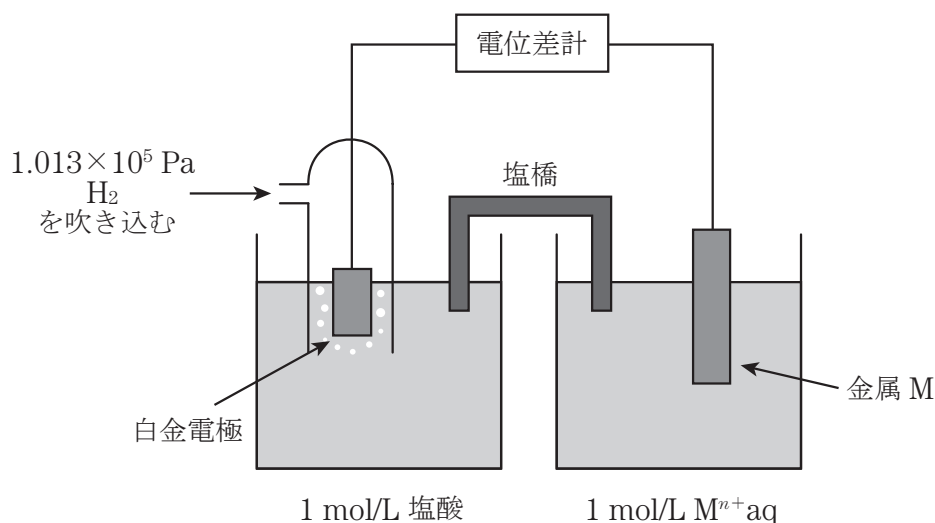
$\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$

問1 次の文を読み、下の(1)～(5)に答えよ。

金属板をその金属イオンを含む溶液に浸すと、金属板と水溶液の間に電位差が生じる。一般に、金属板とその金属イオンを含む溶液からなる半電池の電極の電位は、その金属のイオン化傾向およびイオン濃度によって決まるため、金属板と水溶液との間の電位差は金属のイオン化傾向の大きさの指標になる。しかし、その電位差を測定するために、金属板とその金属イオンを含む水溶液に電位差計の電極を取り付けると、金属板と電位差計の電極との間にも電位差が生じるため金属板の電位を測ることは難しい。そこで、目的の金属の電極電位は、次のような水素電極を基準として決められる。

水素電極は、水素イオン濃度が 1 mol/L の塩酸に多孔質の白金電極を浸し、その表面に $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ の水素 H_2 を吹き込んだもので、白金電極の表面では、水素の平衡が成立している。この水素電極を標準水素電極とよび、この電極の電位を正確に 0 V とみなすことで、目的の金属の電極電位を測定することができる。この電位を、標準電極電位 $E^0[\text{V}]$ という。

次の図は、ある金属 M をその金属イオンの 1 mol/L 水溶液 M^{n+}aq に浸し、塩橋によって標準水素電極と接続したものを表している。



電極の反応が自発的に右向きに進む場合には E^0 に正、自発的に左向きに進む場合には E^0 の値に負の符号をつける。つまり、 E^0 の値が小さいものほど、電子を放出する方向に反応が進みやすく、大きいものほど電子を受け取る方向に反応が進みやすい。したがって、イオン化傾向のより大きな金属は、 E^0 の値が なり、電池の になる。25℃における E^0 を表1に示す。イオン化列はこの表に基づいてつくられている。

表 1

反 応 式	E^0 [V]
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.68
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0.34
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+0.54
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0.77
<input type="text" value="う"/>	0.00
$\text{MnO}_4^- + 5\text{e}^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1.51
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76

- (1) 文中の下線部の平衡に関して、水素イオンの還元反応は、上表中の空欄 に相当する。この反応をイオン反応式で記せ。
- (2) 文中の , にあてはまる語句の組み合わせとして最も適切なものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

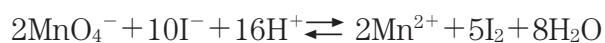
	<input type="text" value="あ"/>	<input type="text" value="い"/>
ア	小さく	負極
イ	小さく	正極
ウ	大きく	負極
エ	大きく	正極

- (3) 同じ元素でも価数や生成物が異なる反応では、 E^0 の値は異なる。次の2つの反応では、どちらが進みにくい反応か。アまたはイの記号で答えよ。

ア Fe^{3+} が Fe^{2+} となる反応

イ Fe^{2+} が Fe となる反応

(4) 次の反応が自発的に進む向きと、その向きに反応が進む理由について簡潔に説明せよ。



(5) ネルンストの式について、次の①、②に答えよ。

- ① 金属 M と金属イオン M^{n+} からなる電極の電位 $E_{\text{M}}[\text{V}]$ は、 25°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき、金属 M の E^0 の値を $E^0_{\text{M}}[\text{V}]$ とすると次の式で表される。この式をネルンストの式とよぶ。

$$E_{\text{M}} = E^0_{\text{M}} + \frac{0.0591}{n} \log_{10}[\text{M}^{n+}]$$

25°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、濃度のわからないアルミニウムイオン水溶液のアルミニウム電極の電位を測定してみると、 -1.81 V であった。この水溶液のアルミニウムイオン濃度 $[\text{mol/L}]$ はいくつか。**有効数字 2 桁** で求めよ。ただし、 $10^{0.2} = 1.58$ とする。

- ② ダニエル電池は、亜鉛板を浸した硫酸亜鉛水溶液と、銅板を浸した硫酸銅(Ⅱ)水溶液からなる電池であり、ダニエル電池の起電力は、各電極の電位 $E_{\text{M}}[\text{V}]$ の差になる。硫酸亜鉛水溶液の濃度を $M_{\text{Zn}}[\text{mol/L}]$ 、硫酸銅(Ⅱ)水溶液の濃度を $M_{\text{Cu}}[\text{mol/L}]$ とするとき、ダニエル電池の起電力 $E[\text{V}]$ を、 M_{Zn} 、 M_{Cu} を用いて表し、ダニエル電池の起電力を決定する要因について簡潔に説明せよ。

問2 次の文を読み、下の(1)~(4)に答えよ。

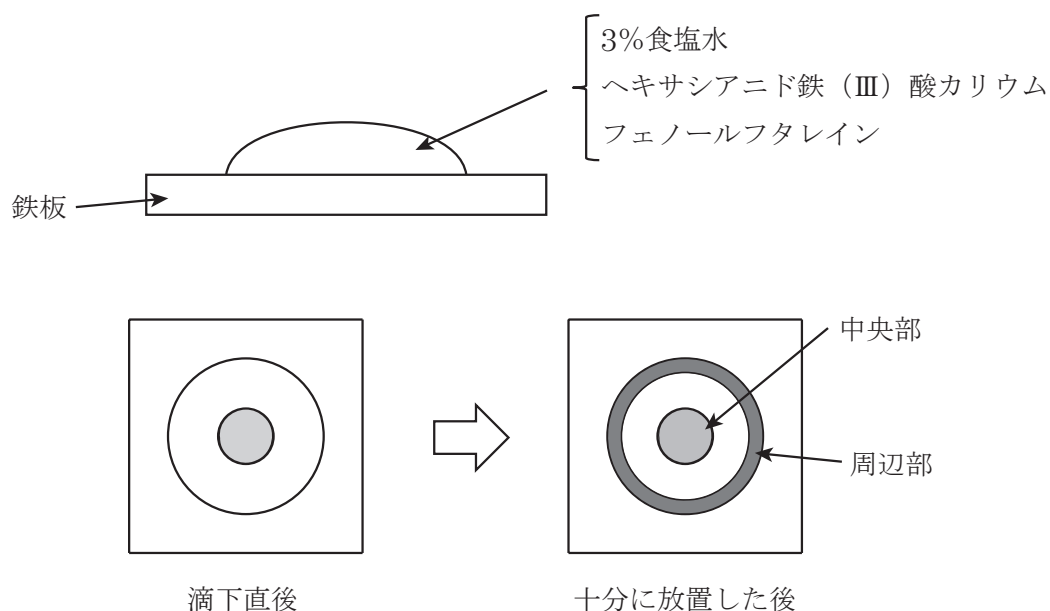
鉄は **あ** に次いで地球上に多く存在する金属元素である。人類は鉄を古くから利用していて、現代でも建築物や自動車、鉄道用レールなどとして広い分野で使用され、身近な金属の中で使用率は90%以上を占めるといわれている。工業的には **い** を主成分とする赤鉄鉱を溶鉱炉でコークスを用いて還元することによって製造される。すなわち、溶鉱炉の上部から赤鉄鉱、コークス(主成分炭素)、および石灰石を入れ、炉の下部から酸素を含んだ熱風を吹き込むと、コークスが熱風によって燃焼し、**う** を生じる。生じた **う** によって、鉄鉱石が還元され鉄が生じる。石灰石は加熱すると分解して **え** となり、鉄鉱石に含まれていた二酸化ケイ素などの不純物と反応してスラグを形成する。このとき得られる銑鉄と呼ばれる鉄は、炭素の含有量が質量の約4%程度であり、硬いがもろい。銑鉄を転炉に移し、酸素によって燃焼して不純物を除去することで、炭素の含有量が質量の0.04~1.7%である、鋼が得られる。

- (1) 文中の空欄 **あ** ~ **え** に当てはまる物質を化学式で答えよ。
- (2) 文中の手順で鉄鉱石(赤鉄鉱)を還元し、銑鉄1000 kgを得た。銑鉄1000 kg中に炭素が質量パーセントで4.0%含まれている場合、鉄鉱石を還元するのに必要な炭素と銑鉄中に含まれる炭素との質量の和は何[kg]か、**有効数字2桁**で求めよ。ただし、銑鉄は鉄と炭素の混合物であり、他の不純物の質量は無視できるものとする。
- (3) 鉄は911℃になると、体心立方格子から面心立方格子に結晶構造が変化する。この変化に伴って鉄の密度は何倍になるか、**有効数字2桁**で求めよ。ただし、各原子は最も近い距離にある原子と互いに接しているものとし、結晶構造の変化に伴って鉄原子1個の半径は変わらないものとする。

(4) 鉄は、乾燥した空気中ではほとんどさびないが、水分を含んだ空気中では、さび(赤さび)が発生する。このことから、鉄は空気中の酸素と直接反応するのではないことがわかる。日常生活で利用される鉄の多くは、炭素を含んだ鋼である。鉄板の表面に水分子が吸着すると、溶存酸素を含んだ水が電解液となり、炭素が正極、鉄が負極となった局部電池が形成され鉄の腐食が進む。そのため、多くの場合、鉄の表面を他の金属でめっきして利用されている。次の①、②に答えよ。

① 鉄の腐食を調べるために、下図のように、3%食塩水にヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムとフェノールフタレインを溶解し、よく磨いた鉄板の表面に垂らした。滴下直後から、液滴の中央部は変色した。しばらく放置すると、液滴の周辺部も徐々に変色した。この実験中、鉄板上の液滴からは気体の発生はみられなかった。

下線部について、十分な時間が経過した後の液滴の周辺部の色を答えよ。



② 鉄板を陰極、銅板を陽極に用いて、硫酸と硫酸銅(Ⅱ)の混合水溶液を電気分解すると、鉄の表面に銅の薄膜(めっき層)が形成される。このように、めっきする手法を電気めっきと呼ぶ。

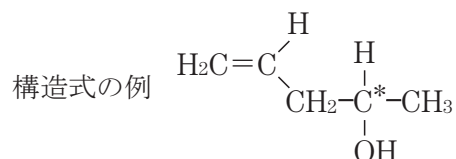
片面に電気絶縁性のコーティングを施した、幅2.00 cmの鉄板と銅板を硫酸と硫酸銅(Ⅱ)の混合水溶液に5.00 cmだけ浸し、1.50 Aの電流を193秒間流して、電気めっきを行った。流れた電流のすべてが銅の析出に用いられたとすると、鉄板に析出した銅のめっき層の厚さ[cm]を有効数字2桁で求めよ。なお、銅のめっき層は、2.00 cm×5.00 cmの範囲に一様に析出し、電極の厚さは無視できるものとする。また、ファラデー定数を 9.65×10^4 C/mol、銅の密度を 8.96 g/cm³とする。

「問題は次のページに続く。」

第4問

あとの問い(問1～7)に答えよ。必要ならば、次の値を用いよ。

原子量：H=1.0, C=12, O=16



ただし、*のついた炭素原子は、4種の異なる原子や原子団と結合しており、不斉炭素原子とよばれる。

昨今、新型コロナウイルスの感染拡大防止策として、消毒用アルコールを用いて手指を消毒することや、プラスチック板の設置によってソーシャルディスタンスをとることなどが徹底されている。これらの実施に欠かせないアルコールおよびプラスチックの化学的な性質について考えてみよう。

一般に、消毒薬として用いられている消毒用アルコールは、エタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ を主成分とする水溶液である。エタノールは工業的にはリン酸を触媒としてエチレンに水を付加させて製造されているが、(a)グルコース ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) に酵母を作用させると二酸化炭素とともに得ることができる。エタノールに濃硫酸を加えて $160\sim 170^\circ\text{C}$ まで加熱すると、主にエチレンが得られるが、一方で同様の操作を $^\circ\text{C}$ の下で行うと、主に が得られることが知られている。このような反応を (b)アルコールの脱水反応 とよぶ。

問1 文中の空欄 , に当てはまるものの組み合わせとして最も適切なものを一つ選び、ア～エの記号で答えよ。

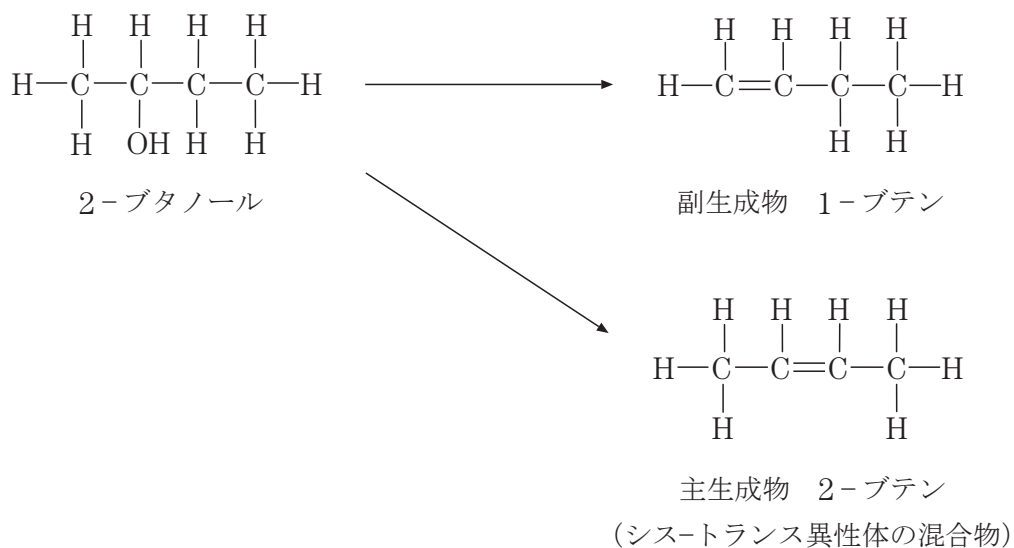
	<input type="text" value="あ"/>	<input type="text" value="い"/>
ア	130～140	ジエチルエーテル
イ	130～140	エタン
ウ	190～200	ジエチルエーテル
エ	190～200	エタン

問2 下線部 (a) について、次の(1)、(2)に答えよ。

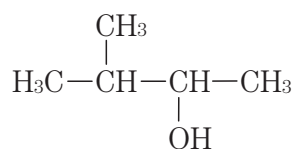
(1) このときに起こった反応を化学反応式で記せ。

(2) グルコース 8.1 g を完全に反応させたとき、生じるエタノールの質量[g]を有効数字2桁で求めよ。

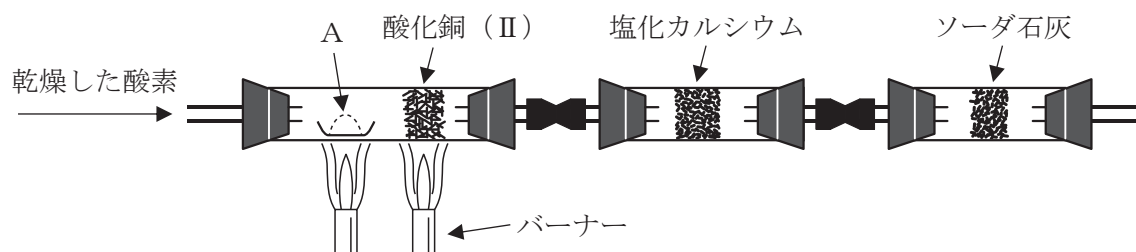
問3 下線部 (b) について、アルコールの分子内脱水反応においては、一般にヒドロキシ基(-OH)が結合している炭素原子の隣の炭素原子のうち、結合している水素原子の数がより少ない炭素原子から水素原子が失われたアルケンの方が生成しやすい。このような経験則をザイツェフの法則という。たとえば、下に示すように、2-ブタノールの分子内脱水反応では、左から1番目の炭素原子から水素原子が失われた1-ブテンよりも、左から3番目の炭素原子から水素原子が失われた2-ブテンの方がより多く生じる。



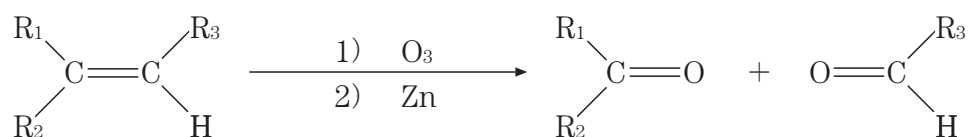
次のアルコールを脱水したとき、ザイツェフの法則が成立するとした場合、主生成物の構造式を構造式の例にならって記せ。



問4 炭素，水素，酸素だけからなるアルコールAがある。Aは不斉炭素原子を一つもっていた。下図に示した装置を用いて10.2 mgのAを完全燃焼したところ，塩化カルシウム管の質量が12.6 mg，ソーダ石灰管の質量が26.4 mg増加した。また，Aの分子量を測定したところ， 100 ± 3 の範囲に入る値を得た。次の(1)~(4)に答えよ。

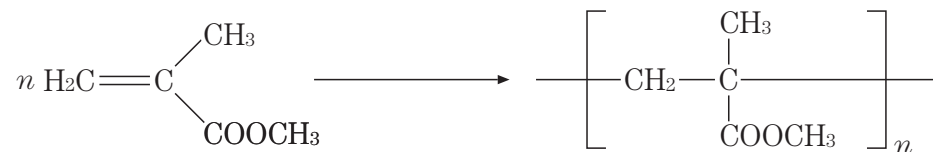


- (1) 上の実験装置について，塩化カルシウム管とソーダ石灰管の順序を逆にすることはできない。その理由について簡潔に説明せよ。
- (2) Aの分子式を記せ。
- (3) 化合物Aを脱水したところ，ザイツェフの法則にしたがって主生成物Bと副生成物のCが少量得られた。Bに対しオゾンを作用させて炭素間二重結合C=Cを完全に酸化したところ， B_1 と B_2 が等しい質量得られた。Bの構造式を例にならって記せ。なお， B_1 と B_2 は異なる化合物であり，オゾンによるC=Cの酸化とは以下のような反応のことを指すものとする。



- (4) Aの構造式を構造式の例にならって記せ。

仕切りとして用いられるプラスチック板には、透明度の高いアクリル板が用いられることが多い。アクリル板には以下に示すようなメタクリル酸メチルの **あ** によって得られるポリメタクリル酸メチルが用いられている。



アクリル板はガラス板と同程度の透明度をもつほか、ガラスに比べて機械的強度が強く、^(a)リサイクルすることができる優れた物質である。

問5 空欄 **あ** に当てはまる語句を答えよ。

問6 あるポリメタクリル酸メチルの平均分子量を測定したところ、 4.50×10^4 であった。このポリメタクリル酸メチルの平均重合度 n を有効数字3桁で求めよ。

問7 下線部 (a) について、プラスチックのリサイクル方法の一つにサーマルリサイクルとよばれるものがある。サーマルリサイクルについて簡潔に説明せよ。

