

理 科

15：00～17：30

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は55ページある。このうち、「物理」は2～10ページ、「化学」は11～28ページ、「生物」は29～47ページ、「地学」は48～55ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

科目	総合入試					学部別入試					歯学部	獣医学部	水産学部	
	理系					医学部								
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医学科	保健学科							
							看護学専攻	放射線技術科学専攻	検査技術科学専攻	理学療法学専攻				作業療法学専攻
物理	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○
化学	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
生物	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
地学	○	○	○	○	○									○

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督者の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

化 学

解答はすべて各問題の指示にしたがって解答用紙の該当欄に記入せよ。必要があれば次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0, Na = 23.0, Si = 28.1,

S = 32.0

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

1 mol の理想気体の標準状態における体積：22.4 L

1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

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

1

I, II に答えよ。

I 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

水は生命活動の維持に欠かせない物質であり、温度や圧力を変えることにより姿を変える。図1は、温度と圧力を変えたときの水の状態変化を示した図である。大気圧(1 atm)で温度を室温から下げていくと、0℃以下で水は氷になる。温度を上げていくと、100℃以上で水蒸気になる。図1のA点より圧力が低いとき、氷の温度を上げていくと直接水蒸気になる。

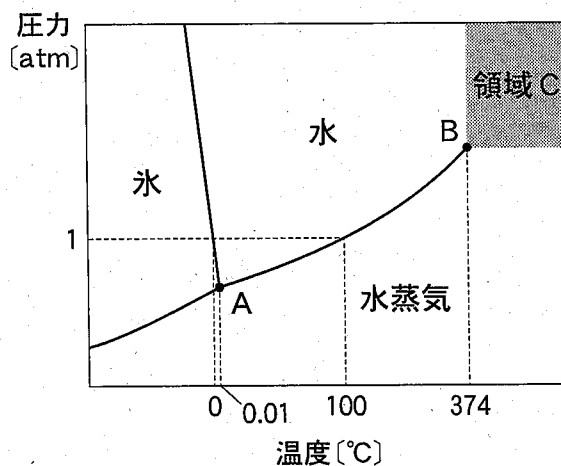


図1

問 1 水から氷への状態変化の名称を答えよ。

問 2 図 1 の A 点および B 点の名称を答えよ。また、B 点より温度と圧力がともに高い領域 C について説明したもっとも適切な記述を、次の (あ) ~ (え) から選び記号で記せ。

(あ) 水蒸気とも液体の水とも区別のつかない状態。

(い) 水分子が激しく運動している水蒸気の状態。

(う) 水分子が酸素原子と水素原子に分解した状態。

(え) B 点より温度と圧力がともに高い状態は存在しない。

問 3 1 atm で 0°C の氷 27 g を、圧力一定の下で温度が 100°C になるまで加熱し、すべてを水蒸気にするために必要な熱量を 単位をつけて有効数字 2 桁 で答えよ。ただし、氷の融解熱を 6.0 kJ/mol 、水の比熱を $4.2 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}$ 、水の蒸発熱を 41 kJ/mol とする。

問 4 水蒸気では水分子がさまざまな速さで運動している。 200°C の水蒸気と 500°C の水蒸気について、横軸に水分子の速さ、縦軸にその速さの分子の数の割合を取り、違いが分かるようにグラフを描け。なお、分子の運動エネルギーはその速さの二乗に比例し、水蒸気の圧力は両温度ともに 1 atm とする。

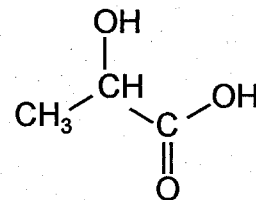
問 5 酸性水溶液では、一部の水分子はオキソニウムイオンとなる。オキソニウムイオンの電子式を示せ。

問 6 氷では、水分子と水分子の間に水素結合が形成され強固な構造が作られる。1 atm における氷の中で、一つの水分子と水素結合を形成している水分子の個数を答えよ。

II 次の問1, 問2に答えよ。

問1 次の文章を読み, (1)~(3)に答えよ。

ヒドロキシ酸の一種である乳酸 $C_3H_6O_3$ は, グルコース $C_6H_{12}O_6$ の発酵により合成できる。乳酸は酢酸などの一般的なカルボン酸と同様に弱酸であり, 25℃における電離定数は $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ である。これより, 0.50 mol/L 乳酸水溶液中での乳酸の電離度は , 水素イオン濃度 $[H^+]$ は mol/L である。



乳酸の構造式

天然から得られるグルコース原料には不純物が含まれている。不純物を含むグルコース原料 174 g を水に溶解し, 発酵によって 1.2 L の乳酸水溶液を得た。この乳酸水溶液 10 mL に蒸留水 40 mL を加え, その溶液を 0.50 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液で滴定したところ, 中和に 28 mL を要した。

(1) , にあてはまる数値を有効数字2桁で答えよ。

(2) 下線部(i)のグルコース原料の純度(グルコースの質量百分率)を有効数字2桁で答えよ。なお, 原料に含まれるグルコースはすべて乳酸へと変化し, グルコース1分子から2分子の乳酸が生成したものとする。また, 不純物からは乳酸は生成せず, 不純物は中和には関与しない。

(3) 下線部(ii)について, 弱酸の水溶液を NaOH 水溶液で中和滴定する際の中和点の判定には, 変色域が $pH =$ の指示薬が最も適している。 にあてはまる適切なものを次の(ア)~(オ)から選び記号で答えよ。

- (ア) 1.2~2.8 (イ) 3.1~4.4 (ウ) 5.0~6.2
(エ) 8.0~9.6 (オ) 10.5~11.6

問 2 次の文章を読み, (1)~(3)に答えよ。

水酸化ナトリウム NaOH と炭酸ナトリウム Na_2CO_3 の混合水溶液
(iii)
25 mL を, $5.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 塩酸 HCl を使って中和滴定したところ, 図
2 の滴定曲線が得られた。

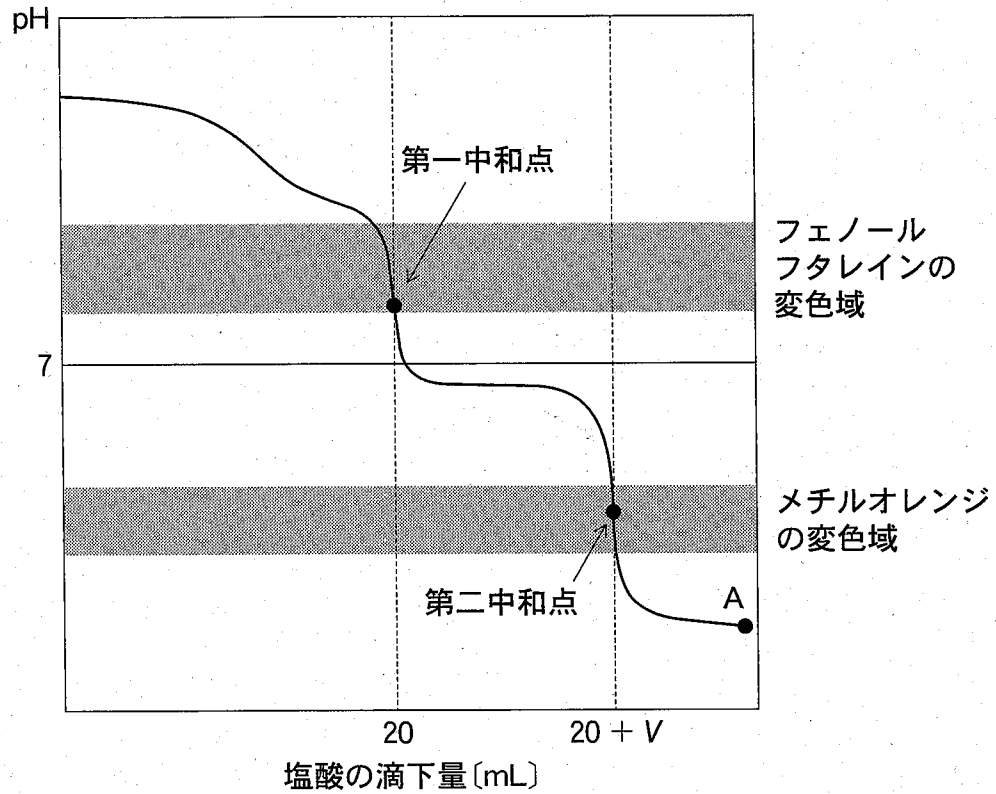
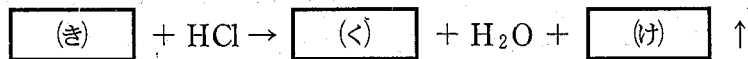


図 2

第一中和点はフェノールフタレインで判別することができ、塩酸 20.0 mL を滴下したところで水溶液が 色から 色へと変化した。第二中和点を判別するために混合水溶液にメチルオレンジを加えてさらに V [mL] の 5.00×10^{-2} mol/L 塩酸を滴下したところ、水溶液が黄色から 色へと変化した。第一中和点から第二中和点までに起こる反応は下記のように表される。



- (1) ~ にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (2) ~ に入る適切な化学式を答えよ。
- (3) 図 2 の滴定操作の途中で気体となった と、図 2 の A の溶液に大過剰の濃塩酸を加えて気体となった の体積の合計は標準状態で 5.6 mL であった。下線部(iii)の混合水溶液の NaOH および Na_2CO_3 のモル濃度を、それぞれ有効数字 2 桁で答えよ。なお、気体は理想気体として取り扱えるものとする。

2

I, IIに答えよ。

I 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

原子番号20までの典型元素から、ベリリウムを除く金属元素A～Fの6種類を選びこれらの反応と性質を調べた。A, B, C, Dの単体は常温の水と反応して水素を発生し、強塩基性の水酸化物を生じた。E, Fの単体は常温の水とはほとんど反応しなかったが、Fの単体は熱水とは徐々に反応して、水にほとんど溶けない弱塩基性の水酸化物を生成した。⁽ⁱ⁾ Eの単体は酸、強塩基のいずれの水溶液にも溶けて水素を発生したが、濃硝酸には溶解しなかった。A, B, C, Dは炎色反応を示したが、EとFは炎色反応を示さなかった。

A～Fは、常温・常圧下において原子が金属結合によって規則的に配列し結晶として存在した。A～Fの原子半径 r 、希ガスと同じ電子配置を取ったときのイオン半径 r_i 、常温・常圧での単位格子の構造および密度 d を調べたところ、表1のようになった。同族元素であるA, B, CではCが最も原子半径、イオン半径が大きく、同一周期にあるBとFではBの原子半径とイオン半径はFのそれより大きかった。A, B, Cは単位格子の体積に占める金属原子の体積の割合(充填率)が68%の(ア)立方格子を、D, Eは充填率が74%で単位格子中に4個の原子が含まれる(イ)立方格子を、Fは六方最密構造をとっていた。

表1

元素	原子半径 r [cm]	イオン半径 r_i [cm]	単位格子の構造	密度 d [g/cm ³]
A	1.52×10^{-8}	0.90×10^{-8}	(ア) 立方格子	0.53
B	1.86×10^{-8}	1.16×10^{-8}	(ア) 立方格子	0.97
C	2.31×10^{-8}	1.52×10^{-8}	(ア) 立方格子	0.86
D	1.97×10^{-8}	1.14×10^{-8}	(イ) 立方格子	1.55
E	1.43×10^{-8}	0.68×10^{-8}	(イ) 立方格子	2.70
F	1.60×10^{-8}	0.86×10^{-8}	六方最密構造	1.74

問 1 空欄 ア , イ にあてはまる語句を答えよ。

問 2 A~F の元素を元素記号で答えよ。

問 3 下線部(i)の反応を化学反応式で示せ。

問 4 典型元素の金属イオンに関する以下の記述のうち、誤りを含むものをすべて選び、番号で答えよ。

- ① 原子が電子を 1 個取り込んで 1 価の陰イオンになるために必要なエネルギーをイオン化エネルギーという。
- ② 同じ希ガス型電子配置を持つ陽イオンにおいて、原子番号が大きくなるほどイオン半径が小さくなるのは、原子核の正電荷が大きくなり電子がより強く引きつけられるためである。
- ③ 金属原子が電子を失って陽イオンになるときに放出されるエネルギーを電子親和力という。電子親和力が大きい原子ほど陽イオンになりやすい。
- ④ イオン化傾向の大きい金属元素の単体は、電子を失って陽イオンになりやすい、すなわち還元されやすく、強い酸化剤としてはたらく。
- ⑤ 同族の金属元素において、原子番号が大きいほどイオン半径が大きくなるのは、電子がより外側の電子殻に入るためである。

問 5 原子は半径 r の球であり、なおかつ結晶内で最も近くにある原子同士が接しているとする。次の(1), (2)に答えよ。

(1) ア 立方格子をとる金属元素の原子量は、原子半径 r [cm], 密度 d [g/cm³], アボガドロ定数 N_A [/mol] を用いてどのように表されるか、以下から選び記号で答えよ。

(あ) $2\sqrt{2} N_A d r^3$ (い) $2\sqrt{3} N_A d r^3$ (う) $2\sqrt{5} N_A d r^3$

(え) $\frac{16\sqrt{2}}{9} N_A d r^3$ (お) $\frac{32\sqrt{2}}{9} N_A d r^3$ (か) $\frac{16\sqrt{3}}{9} N_A d r^3$

(き) $\frac{32\sqrt{3}}{9} N_A d r^3$ (く) $\frac{16\sqrt{5}}{9} N_A d r^3$ (け) $\frac{32\sqrt{5}}{9} N_A d r^3$

(2) A, B, C のなかには、イオン化傾向が大きく高い起電力が得られるため、携帯電話や電気自動車の電池に使われる金属が含まれる。この金属を元素記号で答え、原子量を小数点以下第1位まで求めよ。

II 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

結晶では、原子、イオンまたは分子などの粒子が三次元的に規則正しく配列している。この結果、結晶は一定の融点をもつとともに、決まった外形を示す場合が多い。これに対して、ガラスにおいては、構成粒子の空間的な配列に規則性が見られない。このため、⁽ⁱ⁾ガラスは決まった融点をもたず、加熱すると徐々に軟化し、任意の形に加工・成形することが容易である。最も一般的なガラスは、 SiO_2 、 Na_2CO_3 および CaCO_3 を主原料とした、いわゆるソーダ石灰ガラスである。 SiO_2 および CaCO_3 は天然に存在するが、 Na_2CO_3 は天然には存在せず、アンモニアソーダ法により工業的に製造されている。この方法における主反応は、塩化ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアと二酸化炭素を吹き込み、比較的溶解度の小さい炭酸水素ナトリウムの沈殿を生成させた後、この沈殿を焼くことによって Na_2CO_3 を生成させる二段階からなる。⁽ⁱⁱⁱ⁾しかし、 CaCO_3 を原料として生成した水酸化カルシウムを下線部(ii)の反応による生成物のひとつと反応させ、アンモニアを回収する工程なども含むことから、全体としては多くの反応から成り立っている。^(iv)

問1 下線部(i)のガラスのような構造的特徴をもつ物質の総称を答えよ。

問2 下線部(ii)～(iv)の工程におけるそれぞれの化学反応式を記せ。

問3 次の(ア)～(オ)の中から、水に溶けたときに塩基性を示す化合物のみからなる組み合わせを一つ選び、記号で記せ。

(ア) CaO 、 CaCl_2 、 NaHCO_3 (イ) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaCl 、 NH_3

(ウ) CaCl_2 、 NH_3 、 Na_2CO_3 (エ) CaO 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaHCO_3

(オ) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaCl 、 Na_2CO_3

問4 SiO_2 と Na_2CO_3 の2種類の原料だけを用いて、SiとNaを原子の数の比で7:6で含んだガラスを実験的に作りたい。原料全体の質量を100gとするとき、必要となる各原料の質量[g]を有効数字2桁で求めよ。

問 5 CaCO_3 は多くの種類の結晶構造をとるが、いずれも Ca^{2+} と CO_3^{2-} からなるイオン結晶であり、なかでも常温・常圧で最も安定な方解石型の CaCO_3 の結晶構造は図 1 に示すようになっている。(a) は単位格子を表わしている。一方、(b) は単位格子ではないが、このような構造単位を考えると、方解石型 CaCO_3 の結晶構造を理解しやすい。(a) も (b) も、それぞれ合同な菱形の面からなる平行六面体である。また、 CO_3^{2-} では炭素を中心とした正三角形の頂点に酸素が位置しているが、図中では酸素原子を省略し、炭素原子のみが示されている。方解石型 CaCO_3 の結晶構造に関して、次の(1)、(2)に答えよ。

- (1) 図 1 (b) の構造単位中に含まれる炭素原子の数を答えよ。
- (2) 図 1 (b) の構造単位の体積は単位格子の体積の何倍であるか、答えよ。

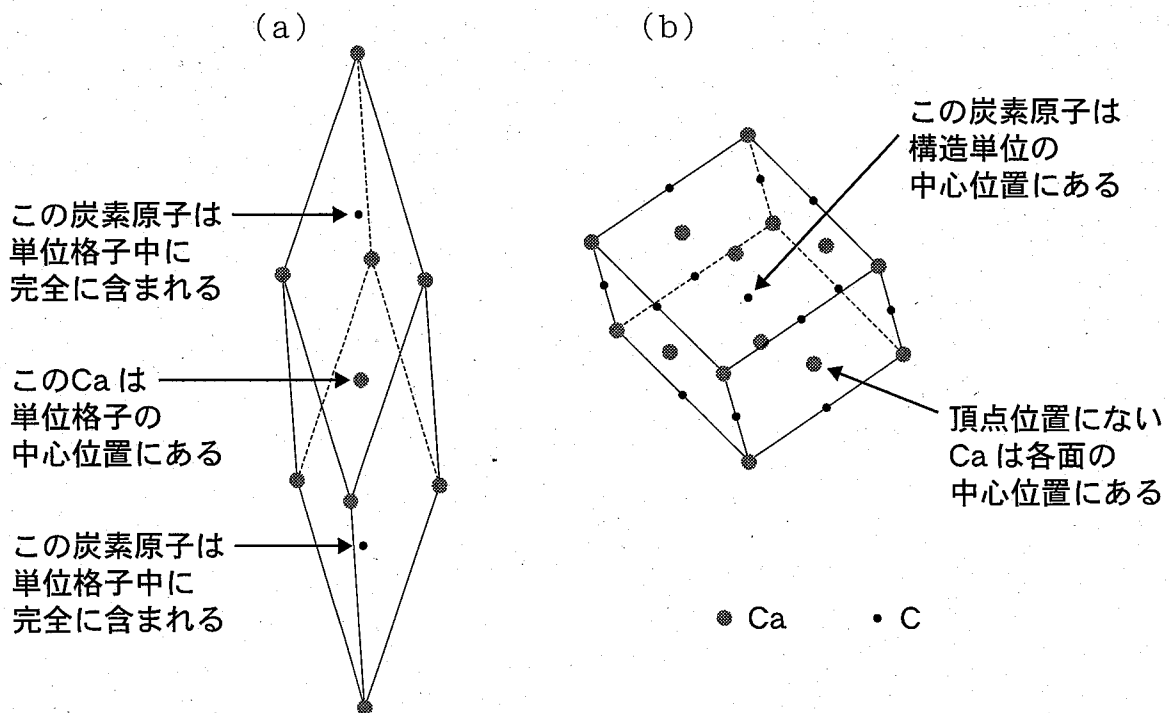
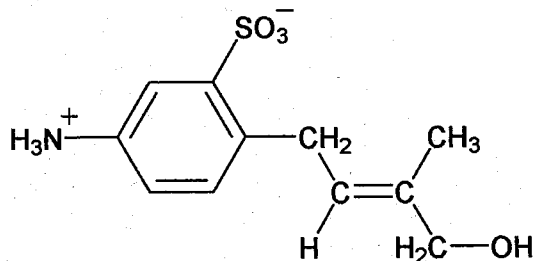


図 1

3

I, IIに答えよ。なお、構造式は記入例にならって記せ。

(記入例)



I 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

香料とは、好ましい香りを加えるために用いられる有機化合物である。その香気成分は、自然界の動植物から抽出した天然香料と化学的に合成された合成香料であり、実際に製品として使用する際には、数種の香気成分を目的に応じて適度な割合で混合(調香)して用いられることが多い。ある製品Xに含まれている香料の成分を分析したところ、4種類の有機化合物が含まれていた。それぞれの化合物はすべてベンゼン環を含んでおり、分子式は以下のとおりであった。

化合物A	化合物B	化合物C	化合物D
$C_8H_8O_3$	$C_8H_8O_3$	$C_8H_{10}O$	$C_{10}H_{12}O_2$

さらに、詳細な構造を調査するために行った実験・分析の結果は以下のとおりであった。

(実験1)

Xのジエチルエーテル溶液に対して図1の操作を行い、A, B, C, Dをそれぞれ分離した。

(実験2)

分離したA, B, C, Dそれぞれ0.1 mmolに対して、過剰量の金属ナトリウムを反応させたところ、AおよびBからはそれぞれ0.05 mmolの水素が発生したが、CおよびDからは水素の発生は見られなかった。

(実験 3)

B にアンモニア性硝酸銀水溶液を加えて穏やかに加熱したところ、容器の壁⁽ⁱ⁾
面に銀が生じた。

(実験 4)

D に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後、希塩酸を加えて酸性にし
たところ、酢酸と化合物 E が得られた。

(実験 5)

E に水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を加えて加熱したところ、黄色の沈殿
が生じた。

(分析 1)

A のベンゼン環は、ポリエチレンテレフタレート (PET) 中に含まれるベンゼ
ン環と同じ位置で置換されていた。

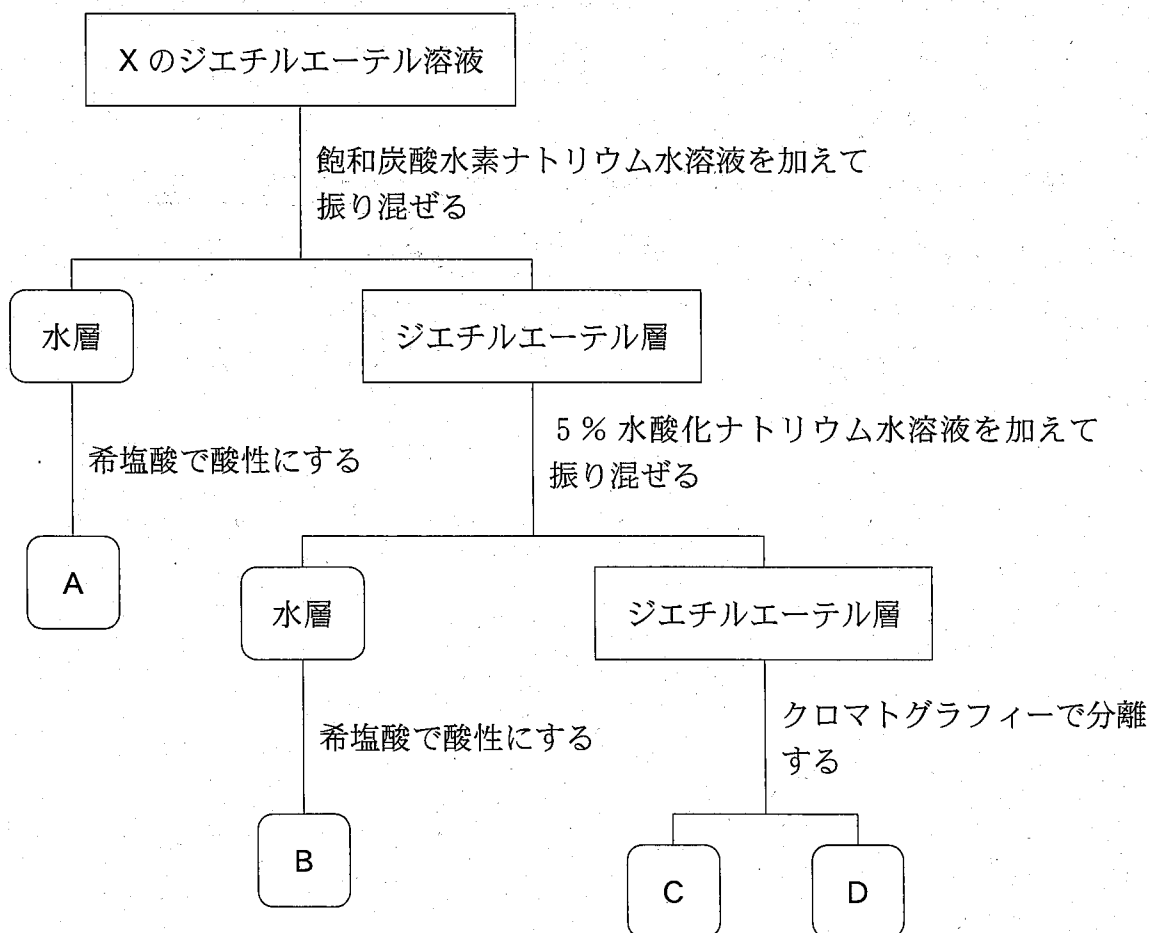


図 1

問 1 物質の分離と精製に関する次の記述(あ)～(お)のうち、誤っているものを一つ選び、記号で記せ。

- (あ) 石油(原油)を蒸留によって沸点の異なる成分(ガソリン, 灯油, 軽油など)として分離する操作を分留という。
- (い) ナフタレンが混ざったグルコースを精製したいときは, 混合物に水を加えてろ過すると, ろ紙上にナフタレンが残り, グルコース水溶液はろ紙を通過する。
- (う) 塩酸とアニリンは塩を形成するので, アニリンとニトロベンゼンのジエチルエーテル溶液を希塩酸で抽出するとアニリンが塩として水層に抽出される。
- (え) ナフタレンに塩化ナトリウムが混ざっている場合, 穏やかに加熱するとナフタレンのみが昇華する。
- (お) ある温度における溶質の溶媒に対する溶解度の違いを利用して固体物質を精製する操作を透析という。

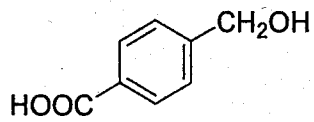
問 2 下線部(i)について, その水溶液が銀鏡反応を示さない化合物を次の

(か)～(こ)の中から一つ選び, 記号で記せ。

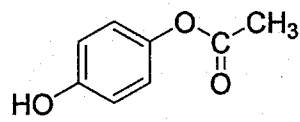
- (か) グルコース
- (き) フルクトース
- (く) ガラクトース
- (け) マルトース
- (こ) スクロース

問 3 A および B の構造式として最も適切なものを次の(さ)～(と)からそれぞれ一つ選び、記号で記せ。

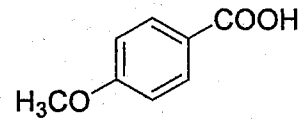
(さ)



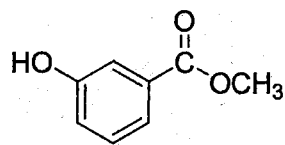
(し)



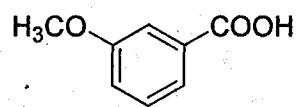
(す)



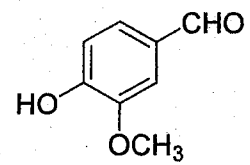
(せ)



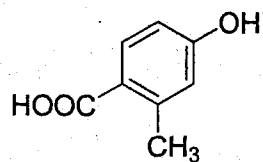
(そ)



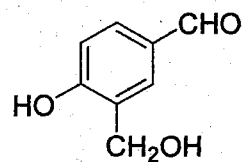
(た)



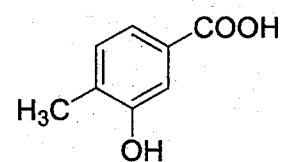
(ち)



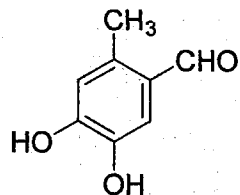
(つ)



(て)



(と)



問 4 C として考えられる化合物は全部で何種類あるか、数字で答えよ。

問 5 E の構造式を記せ。

II 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

スルホ基(-SO₃H)をもつ化合物はさまざまなものが知られている。例えば、自然界に存在する化合物としては生体内物質であるタウリンが挙げられる。また、人工的に合成される化合物としては、芳香族スルホン酸がよく利用されている。

ベンゼンスルホン酸はベンゼンからフェノールを工業的に合成する際の間体としても使われていた。ベンゼンを **A** とともに加熱してベンゼンスルホン酸とした後、ナトリウム塩のアルカリ融解によりナトリウムフェノキシドとする。最後に酸性にすることでフェノールが合成できるが、この方法では大量の副生成物を生じる。したがって、現在はフェノールはクメン法によって工業的に合成される。

アルキルベンゼンをスルホン化して得られるアルキルベンゼンスルホン酸は、そのナトリウム塩が合成洗剤として利用される。**B** と *p*-ジビニルベンゼンの共重合体にスルホ基を導入したのもアルキルベンゼンスルホン酸の一種であり、陽イオン交換樹脂として利用される。

p-アミノベンゼンスルホン酸は合成染料の原料として利用される。例えば、氷冷した *p*-アミノベンゼンスルホン酸ナトリウムと **C** の水溶液にゆっくりと希塩酸を加えジアゾニウム塩とした後、*N,N*-ジメチルアニリンとのジアゾカップリングによりメチルオレンジが得られる。また、**D** 基がアミノ基との脱水反応によりアミドを形成するのと同様に、スルホ基はスルホンアミドを形成することができる。*p*-アミノベンゼンスルホン酸からできるスルファニルアミドは抗菌剤として知られ、合成染料プロントジルの分解物として発見された。

問1 下線部(i)について、タウリンは分子式 C₂H₇NO₃S であり、スルホ基とアミノ基をもち、不斉炭素原子をもたない化合物である。タウリンの双性イオンの構造式を記せ。

問 2 空欄 ~ にあてはまる最も適切な語句を次の(ア)~

(タ)から選び、記号で記せ。

- | | | |
|---------------------|------------|---------------------|
| (ア) 希硫酸 | (イ) 濃硫酸 | (ウ) 亜硫酸 |
| (エ) 硫酸ナトリウム | (オ) レーヨン | (カ) メラミン |
| (キ) スチレン | (ク) テレフタル酸 | (ケ) HNO_3 |
| (コ) NaNO_2 | (サ) さらし粉 | (シ) KMnO_4 |
| (ス) アルデヒド | (セ) ヒドロキシ | (ソ) ニトロ |
| (タ) カルボキシ | | |

問 3 下線部(ii)に関する以下の記述について、空欄 および

にあてはまる炭素数 3 の化合物の構造式を記せ。

クメン法は、適切な触媒下でベンゼンと炭化水素 を反応させて得られたクメンを、酸素で酸化してクメンヒドロペルオキシドとした後、酸で分解することによってフェノールを得るものであり、同時に有用な も得られる。

問 4 ある直鎖のアルキル基を一つもつアルキルベンゼンをスルホン化し、アルキルベンゼンスルホン酸 **G** を得た。**G** を元素分析したところ、成分元素の質量百分率は炭素 67.8 %、水素 9.6 %、硫黄 9.0 % であった。**G** のアルキル基の炭素数はいくつか、数字で答えよ。なお、スルホン化はベンゼン環上のアルキル基のパラ位でのみ進行する。

問 5 下線部(iii)について、アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウムに関する記述として最も適切なものを、次の(チ)～(ナ)から一つ選び、記号で記せ。

(チ) 植物プランクトンの栄養源となるため、河川・湖水で赤潮やアオコが発生する富栄養化の原因とされている。

(ツ) 弱酸と強塩基からなる塩であり、その水溶液は弱塩基性になるため、動物性繊維の洗濯には使用できない。

(テ) 直鎖のアルキル基は親水性であり、スルホン酸イオンは疎水性であるため、希薄水溶液中ではアルキル基を外側に向けて集まり、ミセルを形成する。

(ト) Na^+ のかわりに Ca^{2+} や Mg^{2+} と塩を形成しても水に溶けるので、硬水や海水でも洗浄に用いることができる。

(ナ) タンパク質や脂質を分解する働きがあるため、汚れを直接分解したり、繊維の奥に浸透した汚れを落としやすくしたりできる。