

令和4年度

理工学群化学類 推薦入試

小論文 試験問題

注意事項

- ① 問題Ⅰ～Ⅲは別々の解答用紙に解答し、各用紙の上方の横長の欄内に問題番号を記入すること。なお、問題Ⅲに関しては、問ごとに別々の解答用紙に解答を記入すること。
- ② 問題Ⅰ 問5，問題Ⅱ 問2（4），問題Ⅱ 問3（4）は、それぞれ所定の解答用紙に解答を記入すること。
- ③ 下書き用紙も回収する。各下書き用紙にも上方の横長の欄内に問題番号を記入すること。
- ④ 試験時間は120分とする。

字数を指定している設問の解答では、数字、アルファベット、句読点、括弧、記号も、すべて1字として記入せよ。なお、解答に必要なならば、次の数値を用いよ。

原子量： H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Cl = 35.5,
Ca = 40.0, Fe = 56.0, Sr = 88.0

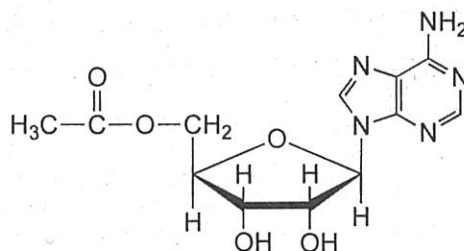
アボガドロ定数： $N_A = 6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

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

$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

溶解度積 (25 $^\circ\text{C}$)： 水酸化カルシウム $5.5 \times 10^{-6} \text{ mol}^3/\text{L}^3$,
炭酸カルシウム $4.8 \times 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$,
水酸化鉄 (III) $1.3 \times 10^{-38} \text{ mol}^4/\text{L}^4$,
炭酸鉄 (II) $3.5 \times 10^{-11} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

必要であれば、有機化合物の構造式は次の記入例にならって示せ。



問題 I

テルピネオール (terpineol) に関する次の英文を読み、以下の問 1～問 5 に答えよ。

[Blurred text block]

[Blurred text block]

[Blurred text block]

distill 蒸留する, fraction 画分, turpentine テレピン油, composition 組成, volatile 揮発性の, terpene テルペン, mevalonic acid biochemical pathway メバロン酸経路, monoterpene モノテルペン, commodity 商品, hone 磨く, perfumery 香水製造業, flourish 栄える, organic synthesis 有機合成, burgeon 成長する, coveted あこがれの, fierce 強力な, vie 争う, paper 論文, dehydration 脱水, lilac ライラック (花の名前)

(K. C. Nicolaou, T. Montagnon, "Molecules That Changed the World" Wiley-VCH (2007) より抜粋 (一部改変))

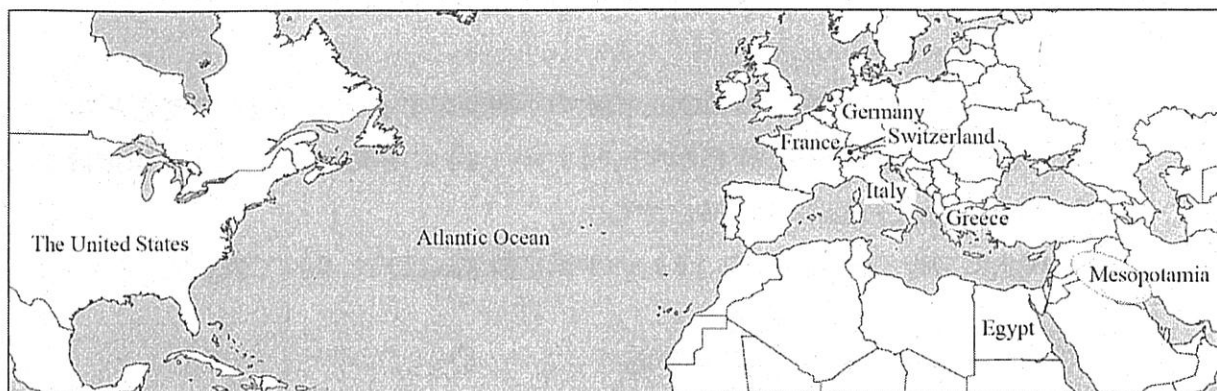


Figure 1

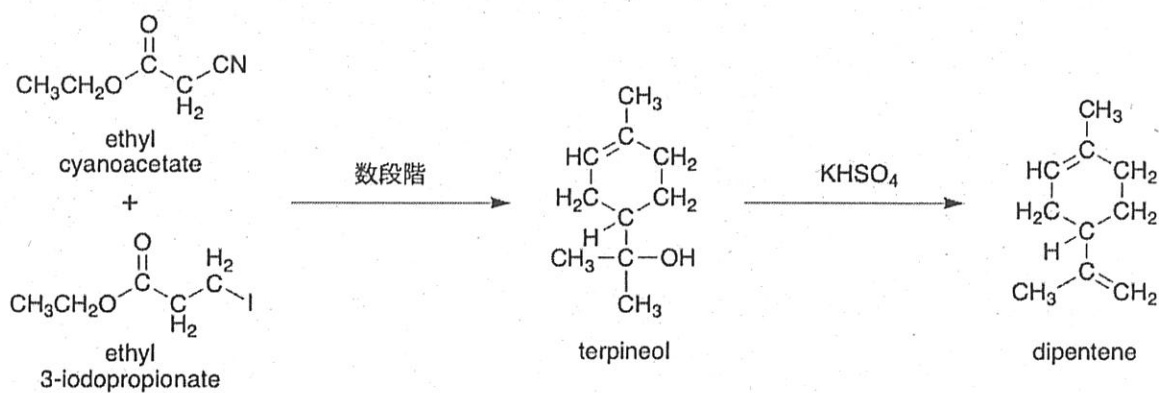


Figure 2

- 問1 下線部 (a) を和訳せよ。
- 問2 香水がたどった歴史的経緯と地理的伝播, またそれらに影響を与えた要因について, 簡潔にまとめよ。
- 問3 テルピネオールとジペンテン (dipentene) を実験で区別する方法を考え, 簡潔に説明せよ。
- 問4 リモネン (limonene) の構造について, 英文からわかる範囲で説明せよ。解答には構造式をあわせて用いてもよい。
- 問5 下線部 (b) の内容について, 120 字以内で説明せよ。

問題 II

(a)大気中の CO_2 を含んだ雨水が石灰岩を侵食してできた鍾乳洞では、石筍や鍾乳石ができる。これらは、炭酸カルシウムを主成分とし、微量のストロンチウムや鉄などを不純物としてとりこみながら、成長している。以下の問1～問3に答えよ。

問1 下線部(a)について、大気中の CO_2 と雨水の平衡反応を CO_2 と純水の反応とみなし、雨水の pH を計算する過程を以下に示す。(1)～(4)に答えよ。ただし、温度は 25°C 、大気中の CO_2 分圧 P_{CO_2} は $10^{1.53}$ Pa とする。

CO_2 が純水に溶ける化学反応式 (I) の平衡定数 K_{CO_2} は式 (II) で表される。



$$K_{\text{CO}_2} = \frac{[\boxed{\text{イ}}]}{P_{\text{CO}_2}} = 10^{-6.47} \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{Pa}) \quad (\text{II})$$

$\boxed{\text{イ}}$ は式 (III) の電離平衡を示し、平衡定数 K_1 は式 (IV) で表される。



$$K_1 = \frac{[\boxed{\text{ウ}}][\boxed{\text{エ}}]}{[\boxed{\text{イ}}]} = 10^{-6.36} \text{ mol}/\text{L} \quad (\text{IV})$$

さらに、 $\boxed{\text{ウ}}$ は式 (V) の電離平衡を示し、平衡定数 K_2 は式 (VI) で表される。



$$K_2 = \frac{[\boxed{\text{オ}}][\boxed{\text{エ}}]}{[\boxed{\text{ウ}}]} = 10^{-10.33} \text{ mol}/\text{L} \quad (\text{VI})$$

また、水のイオン積 K_w は、式 (VII) で表される。

$$K_w = 10^{-14.0} \text{ mol}^2/\text{L}^2 \quad (\text{VII})$$

ここで、水溶液は電氣的に中性なので、以下の式 (VIII) が成り立つ。

$$[\boxed{\text{エ}}] = [\boxed{\text{カ}}] + 2[\boxed{\text{オ}}] + [\boxed{\text{ウ}}] \quad (\text{VIII})$$

(II) より $[\boxed{\text{イ}}] = 10^{\boxed{\text{キ}}}$ mol/L

上記 $[\boxed{\text{イ}}]$ の値を式 (IV) に代入すると $[\boxed{\text{ウ}}][\boxed{\text{エ}}] = 10^{\boxed{\text{ク}}}$ mol²/L²

式 (VIII) から、 $[\boxed{\text{エ}}][\boxed{\text{ケ}}][\boxed{\text{カ}}]$ なので溶液は $\boxed{\text{コ}}$ である。

式 (VIII) において, [オ] が無視できるくらい小さいとして [エ] のみで表すと以下の式 (IX) を得る。

$$[\text{エ}] \doteq \frac{10^{-14.0}}{[\text{エ}]} + \frac{10^{\text{ク}}}{[\text{エ}]} \quad (\text{mol/L}) \quad (\text{IX})$$

ここで, $10^{-14.0} \ll 10^{\text{ク}}$ を考慮すると, 式 (X) を得る。

$$[\text{エ}]^2 \doteq 10^{\text{ク}} \quad \text{mol}^2/\text{L}^2 \quad (\text{X})$$

したがって, 大気中の CO_2 と平衡状態にある雨水の pH は [サ] と求められる。

- (1) [ア] ~ [カ] に当てはまる化学式を答えよ。
- (2) [キ], [ク], [サ] に当てはまる数値を, 小数点以下 1 桁まで求めよ。
- (3) [ケ] に当てはまる不等号を答えよ。
- (4) [コ] に当てはまる語句を酸性, 中性, 塩基性から選んで答えよ。

問2 下線部(b)について、石筍に含まれる炭酸カルシウムの質量や、微量の不純物として含まれているストロンチウムイオンの濃度を求めるため、[操作1]～[操作4]の手順で実験を行った。(1)～(4)に答えよ。

[操作1] 質量パーセント濃度が36.5%、密度が1.18 g/mLの塩酸を蒸留水で希釈し、2.00 mol/Lの塩酸を100 mL調製した。

[操作2] 石筍1.00 gをとり、[操作1]で調製した塩酸100 mLに完全に溶かした(溶液A)。

[操作3] ストロンチウムイオンを全く含まない溶液(標準溶液1)と、ストロンチウムイオンの濃度が 2.50×10^{-5} mol/Lと 5.00×10^{-5} mol/Lの溶液(標準溶液2および標準溶液3)を調製した。

[操作4] 炎光光度法^{注1}で、[操作2]により得た溶液(溶液A)と[操作3]で調製した標準溶液1～3に含まれるストロンチウムイオンに由来する発光をそれぞれ測定した。

注1: 溶液中に含まれる分析対象元素のモル濃度[mol/L]と、その分析対象元素の原子から発する光の強度(発光強度)に比例関係があることを利用して、元素の濃度を求める方法。

- (1) [操作1]で使用した36.5%の塩酸の体積[mL]を有効数字2桁で求めよ。
- (2) [操作2]で塩酸の代わりに希硫酸を用いるのは不適當である。その理由を40字程度で説明せよ。
- (3) [操作2]により、標準状態で220 mLの二酸化炭素が発生した。石筍1.00 gに含まれる炭酸カルシウムの質量[g]を有効数字2桁で求めよ。
- (4) [操作4]で得られた結果を、表1に示す。横軸を標準溶液1～3中のストロンチウムイオンの濃度、縦軸を発光強度として、表1の値を所定のグラフ用のマス目に記入せよ。得られた比例関係から、溶液A中のストロンチウムイオンのモル濃度[mol/L]と、石筍1.00 g中に含まれるストロンチウムイオンの物質量[mol]を有効数字2桁で求め、所定の解答欄に記入せよ。なお、[操作2]における体積変化は無視できるものとする。

表1 ストロンチウムイオンのモル濃度[mol/L]と発光強度

	ストロンチウムイオン 濃度 [10^{-5} mol/L]	発光強度
標準溶液1	0.00	0
標準溶液2	2.50	2.00
標準溶液3	5.00	4.00
溶液A		2.40

問3 下線部(c)について、以下の(1)～(4)に答えよ。

炭酸カルシウムと炭酸鉄(II)からなる試料B 1.0 gについて、それに含まれる炭酸鉄(II)の質量を求める実験を行った。試料Bに、2.0 mol/Lの塩酸100 mLを加えて完全に溶解させた。(d)この溶液に、10%の過酸化水素水を10 mL加え、溶液に含まれる鉄(II)イオンを完全に酸化した。未反応の過酸化水素を適切な方法で取り除いたのち、(e)過剰のアンモニア水を加えてpH 9.0としたところ、赤褐色の沈殿が生じた。ろ過して取ったその赤褐色沈殿を加熱すると、0.16 gの鉄の酸化物が得られた。

- (1) 下線部(d)の反応をイオン反応式で表せ。
- (2) 下線部(e)の反応をイオン反応式で表せ。
- (3) 試料Bに含まれていた鉄(II)イオンはすべて鉄の酸化物になったものとして、試料B 1.0 gに含まれる炭酸鉄(II)の質量[g]を有効数字2桁で求めよ。
- (4) 下線部(e)の操作において、さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えてpH 13にすると、炭酸鉄(II)の質量を求めるにあたって好ましくないことが起こる。その理由を溶解度積という用語を用いて100字程度で記せ。

問題Ⅲ

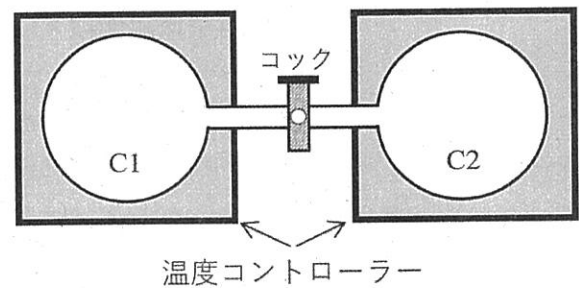
以下の問1～問3に答えよ。ただし、解答に至る導出過程も解答用紙に記すこと。なお、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

問1 容積 8.3×10^3 L の容器の中に理想気体 A と B を入れ、温度を 27°C にしたところ、全体の圧力は 3.0×10^3 Pa となった。次にこの容器を容積一定のまま 77°C にしたところ、圧力は 2.1×10^3 Pa となった。ただし、気体 A と B は 77°C になると、以下のような反応を起こし、理想気体 C となることが分かっている。この反応は、 77°C では気体 A または B どちらかが完全に消費されるまで進むものとし、 27°C では起こらないものとする。



このとき、最初に容器に入れた気体 A および B の物質質量 [mol] を求めよ。ただし、可能な解答が複数考えられる場合には、それらをすべて記せ。

問2 図1に示すように、温度を調節することができる装置（温度コントローラー）に、容積がそれぞれ 1.0 L の容器 C1 と C2 を入れ、開閉器具（コック）のついた配管で接続した。なお、実験温度範囲内ではこれらの容積は変化しないものとする。また、C1 と C2 を接続する配管



およびコックの容積は無視できるものとする。各容器は、はじめに 27°C で 3.42×10^3 Pa の窒素ガスによって満たされているとして、次の(1)、(2)に答えよ。

- (1) コックを閉じたのち、C1 と C2 をそれぞれ 0°C と 60°C に設定した。各容器内にある窒素ガスの圧力 [Pa] を有効数字2桁で求めよ。
- (2) コックを閉じたまま、C2 は 60°C のままで C1 だけを 97°C になるまで加熱した。続いて、コックを開けてそれぞれの温度を保ったまま十分に時間をおいた。このときの容器内にある窒素ガスの圧力 [Pa] を有効数字2桁で求めよ。

問3 図2に示すように、温度が調節できる装置（温度コントローラー）に容積 V [L] の試験管を入れ、温度を $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ に設定した。次に、 a [g] のシクロヘキサンをこの試験管に入れて、空気が入り出す小さな穴の開いたアルミホイルでフタをした。ここで、大気中におけるアルミホイルのフタと試験管の合計の重さを w_0 [g] とする。つづいて、試験管をゆっくりと加熱して $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ にしたところ、シクロヘキサンはすべて気化し、その分圧が p [Pa] となった。このとき、分圧 p と大気圧 p_0 [Pa] との間には $p < p_0$ が成り立つとする。また、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ におけるシクロヘキサンと空気の密度をそれぞれ d_A [g/L] および d_B [g/L] とする。

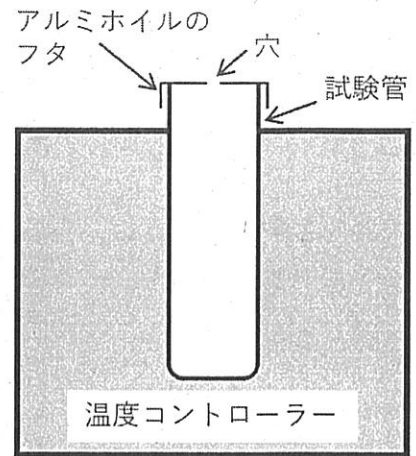


図2

$60\text{ }^{\circ}\text{C}$ のとき、大気中におけるシクロヘキサンとフタを含んだ試験管の重さ w [g] を、 V , a , w_0 , p , p_0 , d_A , d_B のうち、必要な記号を用いて表せ。なお、試験管の容積は温度によって変化せず、試験管のフタの穴からもれ出るシクロヘキサンの質量は無視できるものとする。