

令和 2 年度

前期日程

理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 14 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 15 \text{ ページから } 25 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 26 \text{ ページから } 44 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

化学問題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

Hの原子量 = 1.0

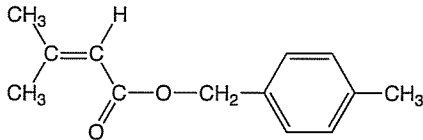
Cの原子量 = 12.0

Nの原子量 = 14.0

Oの原子量 = 16.0

2. 特にことわらない限り、構造式は以下の例にならって示すこと。

(例)



3. 体積の単位記号Lは、リットルを表す。

4. 文字制限のある解答は、下に示す例にならって書くこと。

(例)

α	—	グ	ル	コ	ー	ス	を	5	.	0	×	1	0	-	²	g	/	L	の
N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。						

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

【I】

ハロゲン化水素(HF, HCl, HBr, HI)の沸点は、ア<イ<ウ<エの順に^①高い。ハロゲン化水素の水溶液のうちフッ化水素酸のみが弱酸であるが、皮膚に付着すると体内に侵入しやすく、重大な害を引き起こす。その害は、カルボン酸のカルシウム塩を用いて処置することで抑制することができる。^②

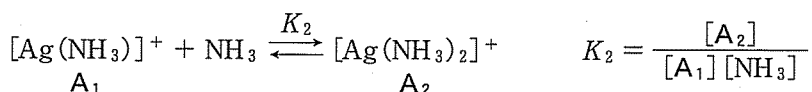
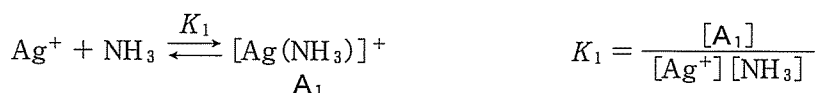
問1 下線部①のア～エにあてはまるハロゲン化水素を記せ。

問2 下線部①のようになる理由を50字以内で記せ。

問3 下線部②に関して、カルボン酸のカルシウム塩が有効である理由を40字以内で記せ。

【II】

アンモニア水溶液中における, Ag^+ , $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の3種類のイオンの平衡状態を考える。なお, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$ を A_1 , $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ を A_2 と表記することとする。



ここで K_1 , K_2 はそれぞれの反応の平衡定数であり, $[X]$ は物質 X の濃度を表す。なお, 水溶液中の NH_4^+ および NH_3 の濃度の和は, 銀イオンおよびアンモニアを含む銀の錯イオンの濃度の総和 $A_T (= [\text{Ag}^+] + [A_1] + [A_2])$ に比べはるかに大きく, アンモニウムイオンおよびアンモニアの濃度の総和 N_T に関して以下の近似が成り立つものとする。

$$N_T = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] + [A_1] + 2[A_2] \approx [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]$$

問 4 溶液の pH を大きくすると $[\text{Ag}^+]$ は小さくなる。その理由を 50 字以内で記せ。

問 5 平衡状態における $[\text{Ag}^+]$ を, K_1 , K_2 , A_T , および $[\text{NH}_3]$ を用いて表せ。

問 6 平衡状態において $[A_1]$ と $[A_2]$ が等しくなる時の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を, K_1 , K_2 , N_T , 水のイオン積 K_w , およびアンモニアの電離定数 K_b のうち必要なものを用いて表せ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

窒素酸化物である NO_2 と N_2O_4 は、気体状態において両者の平衡混合物(以下 $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ と表す)として存在する。その熱化学方程式は次のように表される。



この化学平衡を調べるために、質量 w [g] の $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ を容器に封入し、温度 T [K] と圧力 P [Pa] の関係のグラフを作成した。容器内の気体の温度は任意の値に設定可能である。また、可動ピストンにより容器の容積を変更することができ、ピストンは反応が平衡状態に達するのに要する時間よりも速く操作できる。ここで NO_2 と N_2O_4 は、それぞれ理想気体として扱えるものとする。気体定数を $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 、 N_2O_4 のモル質量を $M = 92.0 \text{ g/mol}$ とする。

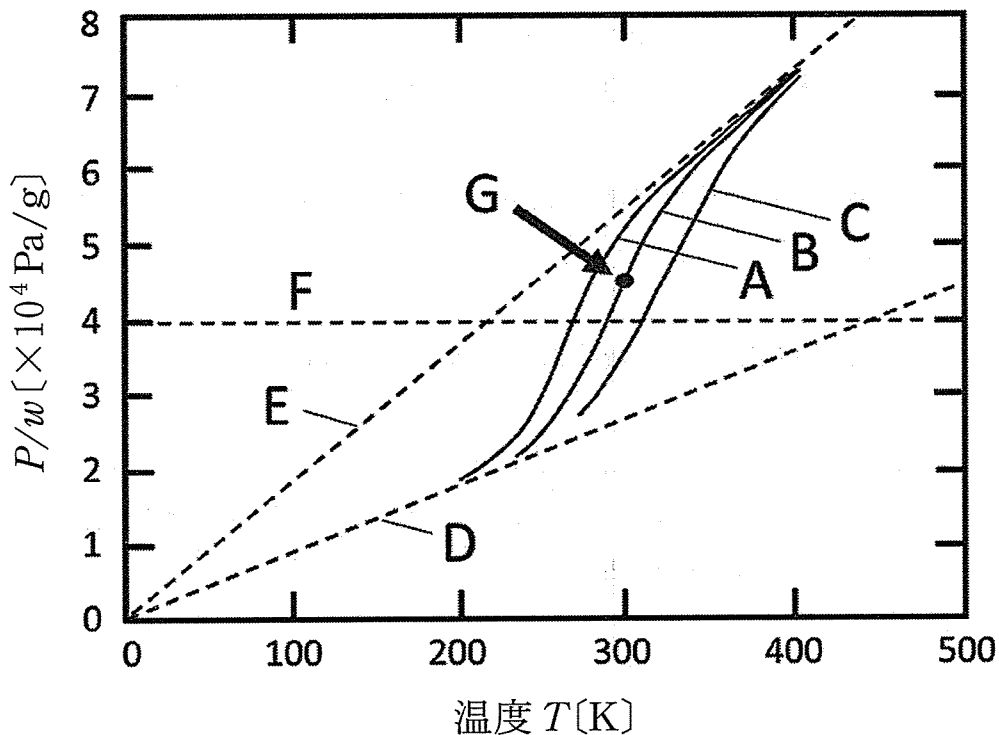


図1 P/w と温度 T の関係

実験 1

容積 1.0 L に設定した容器に $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ を w [g] 封入し、圧力を質量で割った値 P/w [Pa/g] を縦軸、温度 T [K] を横軸にプロットした。ここで、用いる $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ の封入量を w_A, w_B, w_C と変えて、異なる 3 つの実験 A, B, C を行い、図 1 に示した曲線 A, B, C をそれぞれ得た。これらの曲線が $P/w = 4.0 \times 10^4$ Pa/g を示す破線 F を横切る温度は、曲線 $A < B < C$ の順に高くなり、各交点における N_2O_4 の分圧に対する NO_2 の分圧の比の大小関係は であった。また、これらの曲線は低温側では原点を通る直線 D に、高温側では原点を通る直線 E にそれぞれ漸近した。ここで、直線 E の傾きは Pa/(g \cdot K) である。

問 1 $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ の封入量 w_A, w_B, w_C および における分圧比の大小関係の正しい組み合わせを、下の表の①～④から選び番号で答えよ。

番号	封入量 w [mg]			各交点における分圧比の大小関係
	w_A	w_B	w_C	
①	9.2	92	920	曲線 $A < B < C$
②	9.2	92	920	曲線 $C < B < A$
③	920	92	9.2	曲線 $A < B < C$
④	920	92	9.2	曲線 $C < B < A$

問 2 下線部のようになる理由を 100 字以内で答えよ。

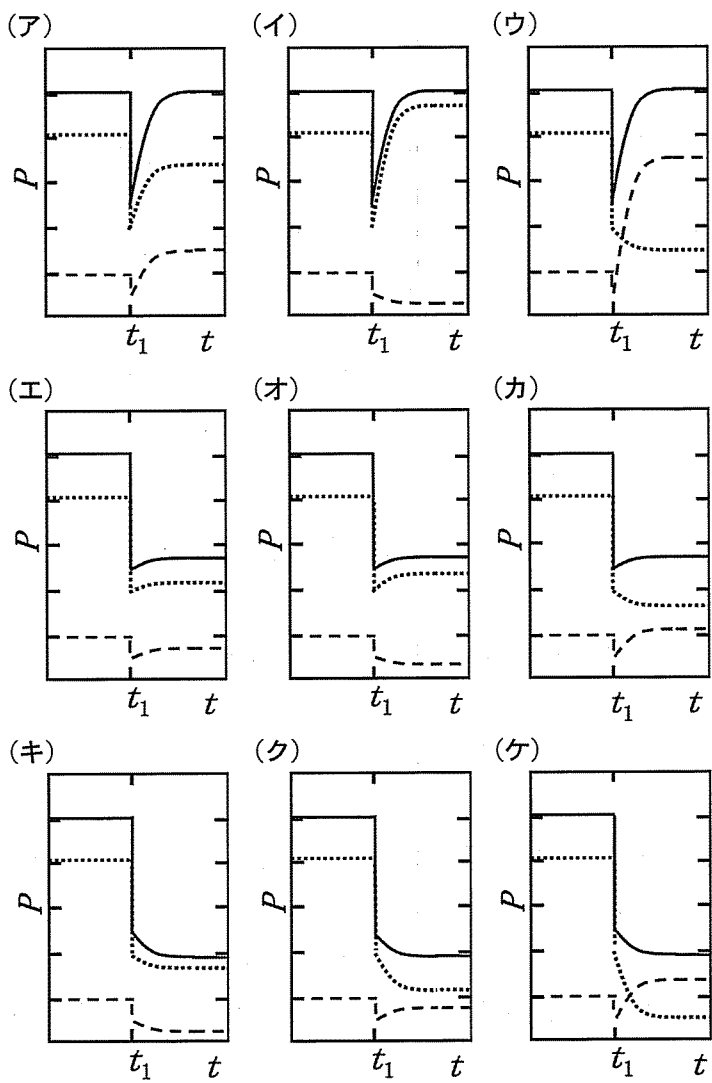
問 3 に入る適切な値を有効数字 2 桁で求めよ。

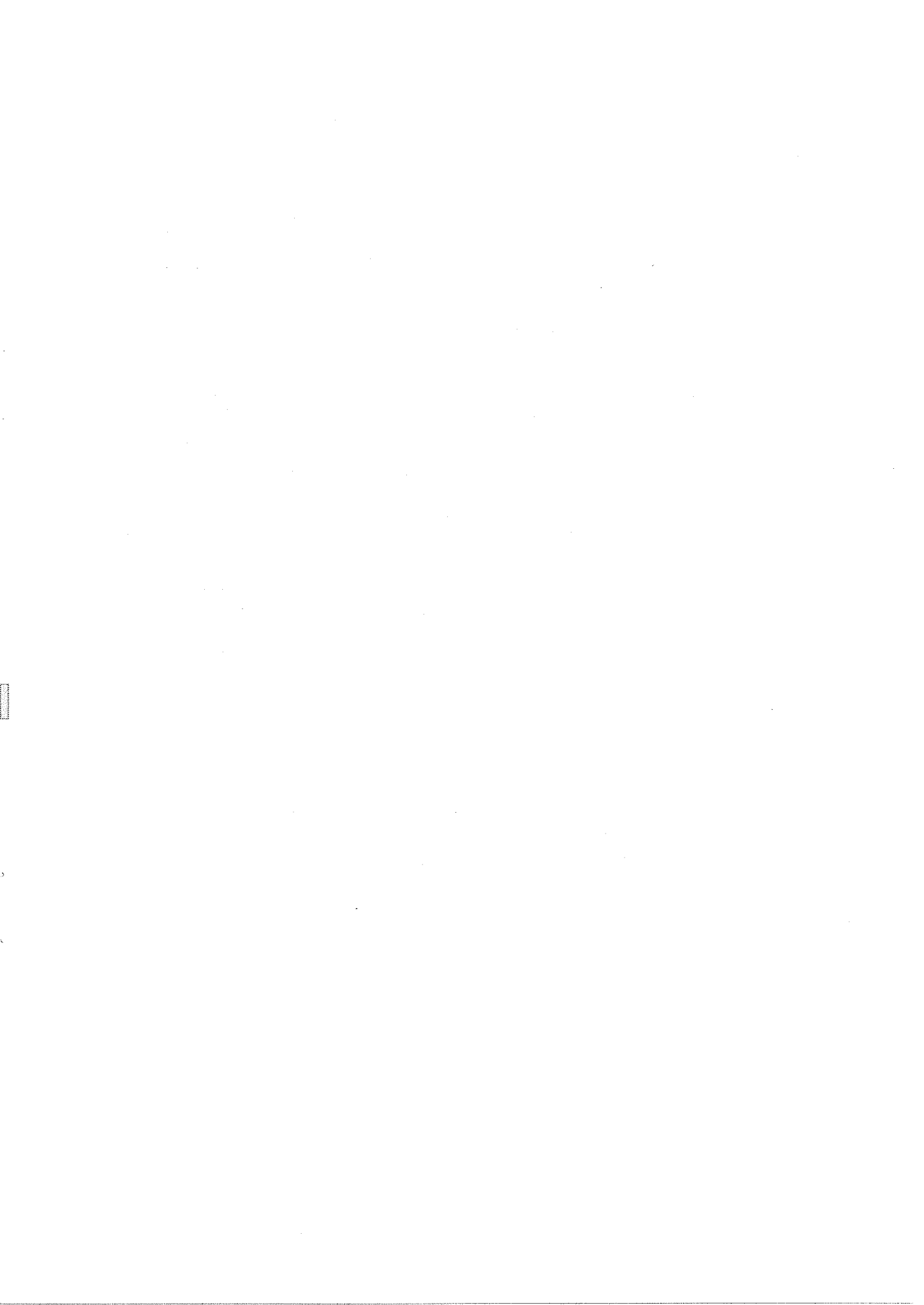
問 4 NO_2 と N_2O_4 の平衡において、 N_2O_4 の解離度を α と定義する。仮に、 N_2O_4 が解離していない場合は $\alpha = 0$ 、全ての N_2O_4 が解離して NO_2 となったときは $\alpha = 1$ である。点 G ($T = 300$ K, $P/w = 4.53 \times 10^4$ Pa/g) における解離度 α を有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

実験 2

図 1 に示した曲線 B 上の点 G において、容器内の気体温度を 300 K に維持した状態で時刻 t_1 に素早くピストンを操作して容積を 1.0 L から 2.0 L に変化させた。

問 5 時刻 t_1 の前後において、全圧、 NO_2 の分圧、 N_2O_4 の分圧の時間変化をそれぞれ実線(—), 点線(.....), 破線(---)でプロットした。3つの圧力の変化の様子を正しく示したものを(ア)~(ケ)から選べ。





〔3〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

分子式 C_5H_8 で表される炭化水素の構造異性体を、二重結合を2つ含むもの(グループA)、二重結合を1つだけ含むもの(グループB)、二重結合を含まないもの(グループC)の3つのグループに分類した。それぞれのグループに属する化合物のうち、いくつかの構造式を図1に示した。

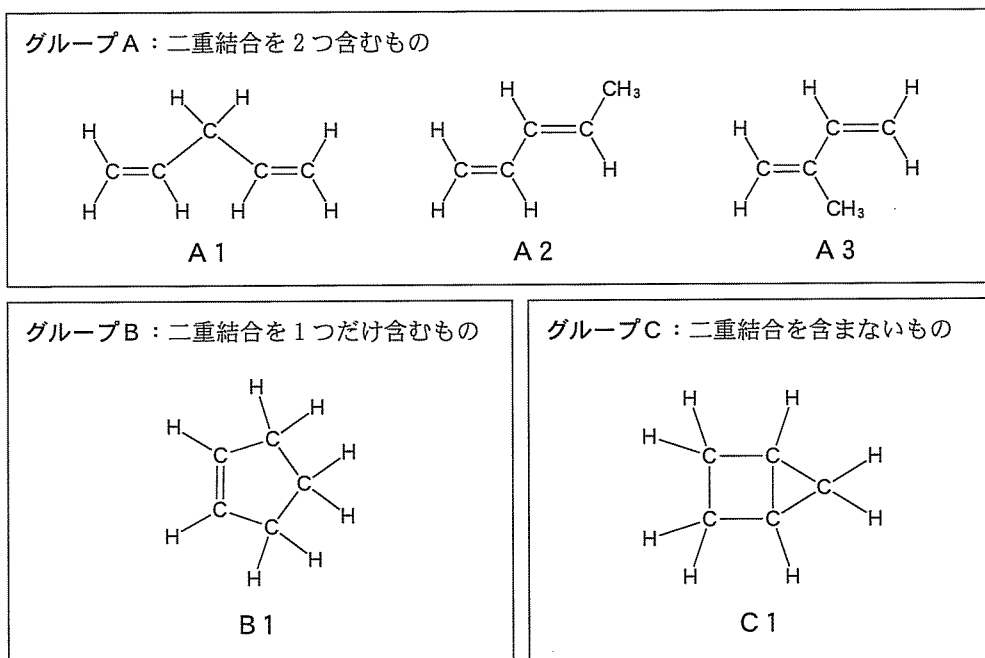


図1 分子式 C_5H_8 で表される化合物の分類
(それぞれのグループに属する化合物を全て示しているわけではない)

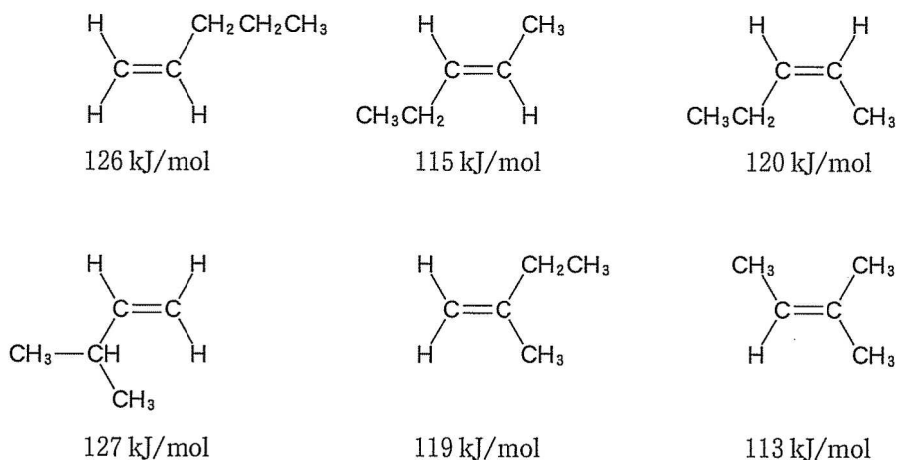


図2 5つの炭素からなる鎖状アルケン1 molに水素を付加したときに発生する熱量

問1 以下の文章について、下線部①に示した選択肢の中から適切なものを選ぶとともに、空欄ア、イにあてはまる数値を答えよ。なお、熱量の計算には、図2に示した水素化熱(アルケン1 molに対して水素を付加させたときに発生する熱量)の値を用いよ。

炭素原子のつながり方が同じであるアルケンの異性体間の相対的な安定性は、水素化熱を比較することにより理解できる。例えば、図2に示した水素化熱の値から、1-ペンテンとトランス-2-ペンテンでは、(1-ペンテンの方が安定である/トランス-2-ペンテンの方が安定である/安定性に差はない)①ことがわかる。グループAに属するA1は1-ペンテンと構造の類似した二重結合を2つ含むので、その水素化熱は $126 \times 2 = 252$ kJ/molと見積もられる。この値は実測値253 kJ/molとほぼ同じ値である。一方、A2の水素化熱は、A2に含まれるそれぞれの二重結合と最も構造の類似した2つのアルケンの水素化熱の値の和により(ア) kJ/molと見積もられる。しかし、A2の水素化熱の実測値は223 kJ/molであり、アの値とは大きく異なる。これは、A2の二重結合を形成する電子の一部が2つの特定の炭素原子上に局在化するのではなく、二重結合に関与する4つの炭素原子上のすべてに非局在化することにより安定化されているためである。A3の水素化熱を同様に計算し、実測値229 kJ/molとの差を求めることで、A3は二重結合上の電子の非局在化により(イ) kJ/mol安定化していると見積もられる。

問 2 A1 を 5 つの炭素からなる 2 価アルコールの脱水反応により合成したい。
A1 を選択的に得るために最も適切と考えられる 2 価アルコールの構造式を
答えよ。

問 3 B1 を水素化して生成するシクロペンタンと、それよりも 1 つ炭素数が多い
シクロヘキサンの持つひずみについて考える。ある原子の二つの結合のな
す角度を結合角という。結合角がメタンの結合角である 109.5° からずれる
ことにより生じるひずみのことを角ひずみといい、その角度のずれが大きくな
るほど角ひずみが大きくなる。正五角形、正六角形の一つの角度がそれぞ
れ 108° 、 120° であることをもとにすると(図 3)、シクロヘキサンはシクロ
ペンタンよりも角ひずみが大きいと予想される。しかし実際には、シクロヘ
キサンは角ひずみをほとんど持たない。この理由を 40 字程度で記せ。

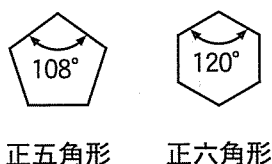
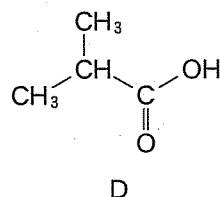


図 3

問 4 B1 以外でグループ B に属する化合物を水素化したときに生成する分子式
 C_5H_{10} の化合物は 4 種類ある。それぞれの構造式を答えよ。ただし、互いに
立体異性体の関係にある化合物は 1 種類の化合物とみなし、水素化の条件下
では炭素—炭素単結合の開裂は起こらないものとする。

問 5 グループ C に属する化合物 C2 に硫酸水銀(II)を触媒
として水を反応させた。そこで得られた化合物にヨウ素
と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、黄色沈殿
が生じるとともに、カルボン酸 D のナトリウム塩が生
成した。化合物 C2 の構造式を答えよ。



〔4〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

【I】

分子式が $C_{18}H_{16}O_4$ である化合物 A を酸性条件下でおだやかに加水分解したところ、3種類の化合物(B, C, D)が得られた。BとCは同じ分子式をもち、ともにベンゼン環を含んでいた。また、Dは水溶性の化合物であり、その組成式はCHO(原子数の比C:H:O = 1:1:1)であった。これらの化合物を用いて以下の実験を行った。

実験(a) 化合物B(108 mg)を完全燃焼させると、308 mgの二酸化炭素と72 mgの水が得られた。

実験(b) 化合物Bを塩化鉄(III)水溶液と反応させると、青色を呈した。一方、化合物Cを塩化鉄(III)水溶液に加えても、呈色しなかった。

実験(c) 化合物Bを過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると、サリチル酸が得られた。

実験(d) 化合物D(116 mg)を160℃に加熱すると、18 mgの水が発生するとともに五員環構造を含む化合物Eが98 mg得られた。

問1 化合物BとCの構造式を書け。

問2 加水分解後にBとCは混合物として得られる。BとCを分液漏斗を使って確実に分離するには水層に何を加えればよいか、物質名を答えよ。

問3 化合物DとEの構造式を書け。

問4 化合物Aの構造式を書け。

【II】

デンプンやセルロースは、分子式が $(C_6H_{10}O_5)_n$ で表される天然高分子化合物である。

デンプン水溶液にヨウ素溶液を加えると青～青紫色に呈色する。そこにアミラーゼを加えて $35\text{ }^\circ\text{C}$ に保つと、時間の経過とともに褐色を経て次第に薄い色へと変化していく。^①

一方、セルロースに希酸を加えて長時間熱すると、加水分解されてグルコースになる。また、セルロースに少量の濃硫酸存在下で無水酢酸を反応させて、全てのヒドロキシ基をアセチル化した後におだやかに加水分解すると、ジアセチルセルロースが得られる。^②ジアセチルセルロースをアセトンに溶かして紡糸したものは、アセテート繊維として利用されている。

問 5 下線部①について、アミラーゼの役割やデンプンの特徴的な分子構造を考慮して、色が薄くなる理由を 30 字程度で記せ。

問 6 セルロースを構成するグルコース単位の分子構造を、各置換基の立体的な配置がわかるように記せ。

問 7 下線部②の操作で、 123 g のジアセチルセルロースを得るためには、無水酢酸 $(CH_3CO)_2O$ が何グラム必要であるか、答えよ。ただし、用いたセルロースの各ヒドロキシ基と無水酢酸は $1 : 1$ の比で完全に反応するものとする。