

化 学

(解答番号 ~)

必要があれば，原子量は次の値を使うこと。

H	1.0	C	12	N	14	O	16
Na	23	S	32	Cl	35.5	Ca	40

気体は，実在気体とことわりがない限り，理想気体として扱うものとする。

また，必要があれば，次の値を使うこと。

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

第 1 問 次の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 20)

問 1 原子が L 殻に電子を 3 個もつ元素を，次の①~⑤のうちから一つ選べ。

- ① Al ② B ③ Li ④ Mg ⑤ N

問 2 表 1 に示した窒素化合物は肥料として用いられている。これらの化合物のうち、窒素の含有率(質量パーセント)が最も高いものを、後の①~④のうちから一つ選べ。 2

表 1 肥料として用いられる窒素化合物とそのモル質量

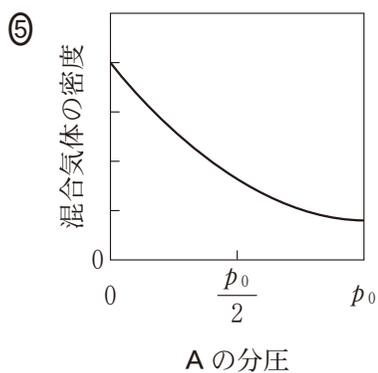
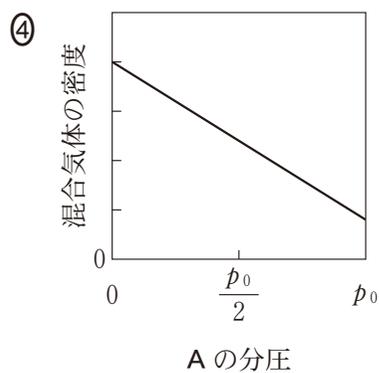
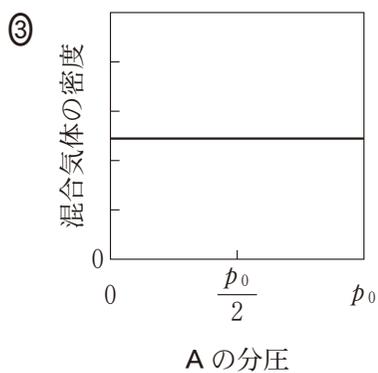
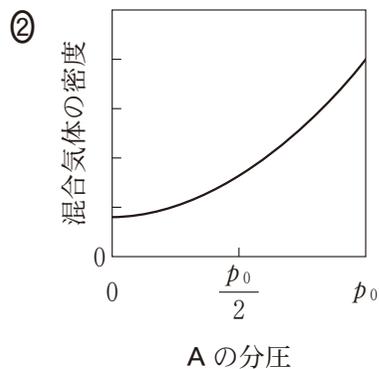
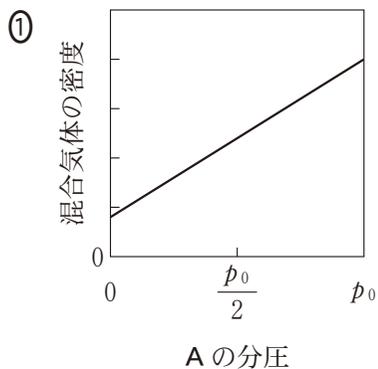
窒素化合物	モル質量(g/mol)
NH_4Cl	53.5
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	60
NH_4NO_3	80
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132



化学

問 3 2種類の貴ガス(希ガス)AとBをさまざまな割合で混合し、温度一定のもとで体積を変化させて、全圧が一定値 p_0 になるようにする。元素Aの原子量が元素Bの原子量より小さいとき、貴ガスAの分圧と混合気体の密度の関係を表すグラフはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

3



問 4 非晶質に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① ガラスは一定の融点を示さない。
- ② アモルファス金属やアモルファス合金は、高温で融解させた金属を急速に冷却してつくられる。
- ③ 非晶質の二酸化ケイ素は、光ファイバーに利用される。
- ④ ポリエチレンは、非晶質の部分(非結晶部分・無定形部分)の割合が増えるほどかたくなる。

化学

問 5 空気の水への溶解は、水中生物の呼吸(酸素の溶解)やダイバーの減圧症(溶解した窒素の遊離)などを理解するうえで重要である。 1.0×10^5 Pa の N_2 と O_2 の溶解度(水 1 L に溶ける気体の物質質量)の温度変化をそれぞれ図 1 に示す。 N_2 と O_2 の水への溶解に関する後の問い(a・b)に答えよ。ただし、 N_2 と O_2 の水への溶解は、ヘンリーの法則に従うものとする。

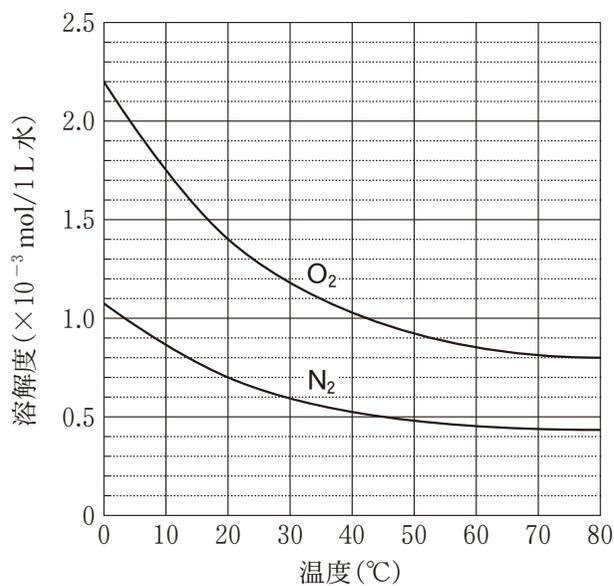


図 1 1.0×10^5 Pa の N_2 と O_2 の溶解度の温度変化

a $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ で O_2 が水 20 L に接している。同じ圧力で温度を 10°C から 20°C にすると、水に溶解している O_2 の物質量はどのように変化するか。最も適当な記述を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 5

- ① $3.5 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 減少する。 ② $7.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 減少する。
 ③ 変化しない。 ④ $3.5 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 増加する。
 ⑤ $7.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 増加する。

b 図2に示すように、ピストンの付いた密閉容器に水と空気(物質量比 $\text{N}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$)を入れ、ピストンに $5.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の圧力を加えると、 20°C で水および空気の体積はそれぞれ 1.0 L, 5.0 L になった。次に、温度を一定に保ったままピストンを引き上げ、圧力を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ にすると、水に溶解していた気体の一部が遊離した。このとき、遊離した N_2 の体積は 0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで何 mL か。最も近い数値を、後の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし、気体定数は $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ とする。また、密閉容器内の空気の N_2 と O_2 の物質量比の変化と水の蒸気圧は、いずれも無視できるものとする。 6 mL

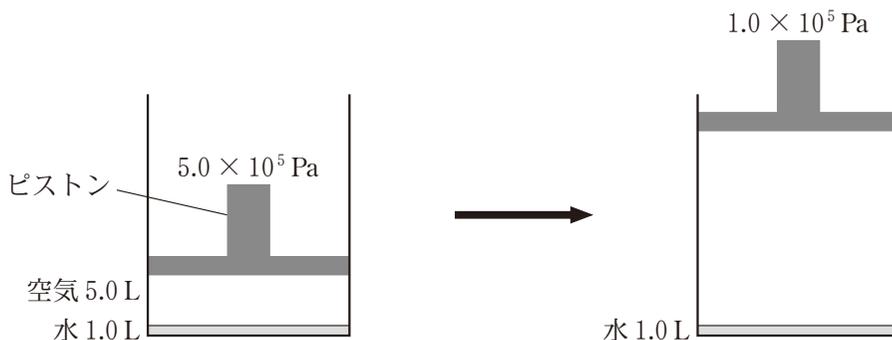


図2 水と空気を入れた密閉容器内の圧力を変化させたときの模式図

- ① 13 ② 16 ③ 50 ④ 63 ⑤ 78

化学

第2問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 化学反応や物質の状態の変化において、発熱の場合も吸熱の場合もあるものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 7

- ① 炭化水素が酸素の中で完全燃焼するとき。
- ② 強酸の希薄水溶液に強塩基の希薄水溶液を加えて中和するとき。
- ③ 電解質が多量の水に溶解するとき。
- ④ 常圧で純物質の液体が凝固して固体になるとき。

問2 0.060 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液 50 mL と 0.060 mol/L の塩酸 50 mL を混合して 100 mL の水溶液を得た。この水溶液中の水素イオン濃度は何 mol/L か。最も適当な数値を、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、酢酸の電離定数は 2.7×10^{-5} mol/L とする。 8 mol/L

- ① 8.1×10^{-7}
- ② 2.8×10^{-4}
- ③ 9.0×10^{-4}
- ④ 1.3×10^{-3}
- ⑤ 2.8×10^{-3}
- ⑥ 8.1×10^{-3}

問 3 溶液中での、次の式(1)で表される可逆反応



において、正反応の反応速度 v_1 と逆反応の反応速度 v_2 は、 $v_1 = k_1[A]$ 、 $v_2 = k_2[B][C]$ であった。ここで、 k_1 、 k_2 はそれぞれ正反応、逆反応の反応速度定数であり、 $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[C]$ はそれぞれ A、B、C のモル濃度である。反応開始時において、 $[A] = 1 \text{ mol/L}$ 、 $[B] = [C] = 0 \text{ mol/L}$ であり、反応中に温度が変わることはないとする。 $k_1 = 1 \times 10^{-6} / \text{s}$ 、 $k_2 = 6 \times 10^{-6} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$ であるとき、平衡状態での $[B]$ は何 mol/L か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。 mol/L

① $\frac{1}{3}$

② $\frac{1}{\sqrt{6}}$

③ $\frac{1}{2}$

④ $\frac{2}{3}$

化学

問 4 化石燃料に代わる新しいエネルギー源の一つとして水素 H_2 がある。 H_2 の貯蔵と利用に関する次の問い (a ~ c) に答えよ。

- a 水素吸蔵合金を利用すると、 H_2 を安全に貯蔵することができる。ある水素吸蔵合金 X は、 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で、X の体積の 1200 倍の H_2 を貯蔵することができる。この温度、圧力で 248 g の X に貯蔵できる H_2 は何 mol か。最も適当な数値を、次の①~⑤のうちから一つ選べ。ただし、X の密度は 6.2 g/cm^3 であり、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ とする。

mol

- ① 0.28 ② 0.47 ③ 1.1 ④ 2.1 ⑤ 11

- b リン酸型燃料電池を用いると、 H_2 を燃料として発電することができる。図 1 に外部回路に接続したリン酸型燃料電池の模式図を示す。この燃料電池を動作させるにあたり、供給する物質 (ア, イ) と排出される物質 (ウ, エ) の組合せとして最も適当なものを、後の①~⑥のうちから一つ選べ。ただし、排出される物質には未反応の物質も含まれるものとする。

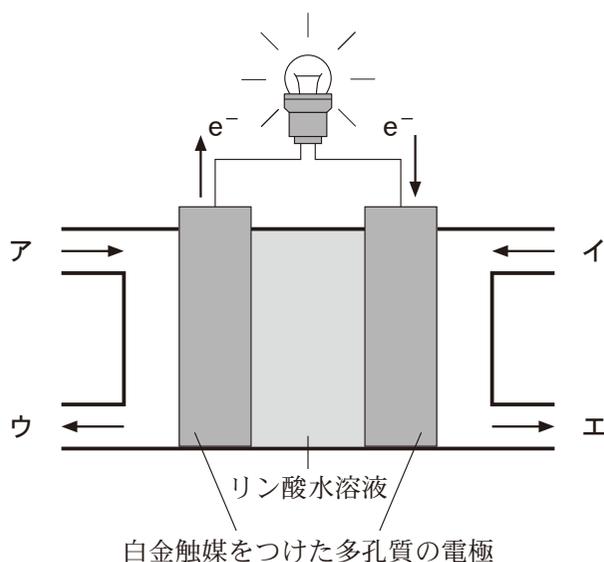


図 1 リン酸型燃料電池の模式図

	ア	イ	ウ	エ
①	O ₂	H ₂	O ₂	H ₂ , H ₂ O
②	O ₂	H ₂	O ₂ , H ₂ O	H ₂
③	O ₂	H ₂	O ₂ , H ₂ O	H ₂ , H ₂ O
④	H ₂	O ₂	H ₂	O ₂ , H ₂ O
⑤	H ₂	O ₂	H ₂ , H ₂ O	O ₂
⑥	H ₂	O ₂	H ₂ , H ₂ O	O ₂ , H ₂ O

- c 図1の燃料電池でH₂ 2.00 mol, O₂ 1.00 molが反応したとき, 外部回路に流れた電気量は何Cか。最も適当な数値を, 次の①~⑤のうちから一つ選べ。ただし, ファラデー定数は 9.65×10^4 C/molとし, 電極で生じた電子はすべて外部回路を流れたものとする。 12 C

- ① 1.93×10^4 ② 9.65×10^4 ③ 1.93×10^5
 ④ 3.86×10^5 ⑤ 7.72×10^5

化 学

第 3 問 次の問い(問 1～3)に答えよ。(配点 20)

問 1 $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ と NaCl はどちらも無色の試薬である。それぞれの水溶液に対して次の操作ア～エを行うとき、この二つの試薬を区別することができない操作はどれか。最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

13

操作

- ア アンモニア水を加える。
- イ 臭化カルシウム水溶液を加える。
- ウ フェノールフタレイン溶液を加える。
- エ 陽極と陰極に白金板を用いて電気分解を行う。

- ① ア ② イ ③ ウ ④ エ

問 2 ある金属元素 M が、その酸化物中での酸化数は一つである。この金属元素の単体 M と酸素 O_2 から生成する金属酸化物 M_xO_y の組成式を求めるために、次の実験を考えた。

実験 M の物質量と O_2 の物質量の和を $3.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$ に保ちながら、M の物質量を 0 から $3.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$ まで変化させ、それぞれにおいて M と O_2 を十分に反応させたのち、生成した M_xO_y の質量を測定する。

実験で生成する M_xO_y の質量は、用いる M の物質量によって変化する。図 1 は、生成する M_xO_y の質量について、その最大の測定値を 1 と表し、他の測定値を最大値に対する割合(相対値)として示している。図 1 の結果が得られる M_xO_y の組成式として最も適当なものを、後の①～⑤のうちから一つ選べ。

14

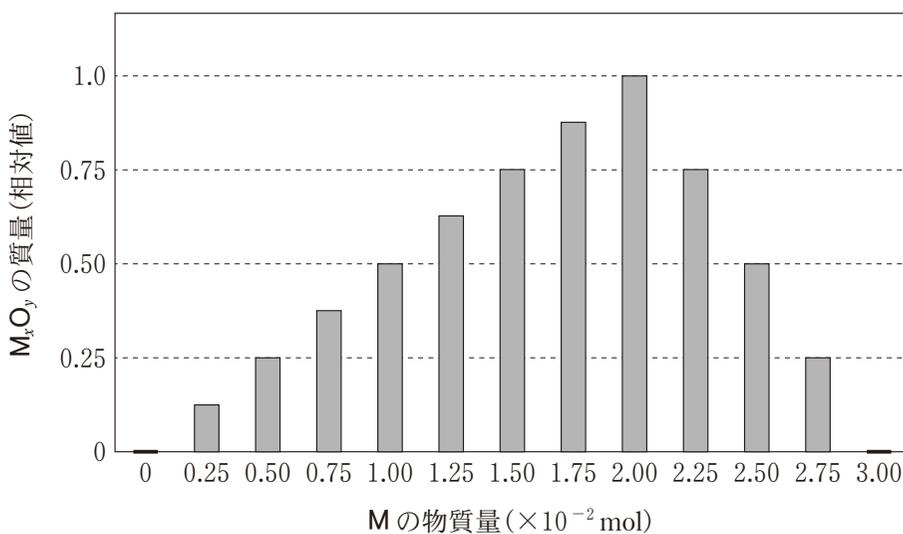


図 1 M の物質量と M_xO_y の質量(相対値)の関係

- ① MO ② MO_2 ③ M_2O ④ M_2O_3 ⑤ M_2O_5

化学

問 3 次の文章を読み、後の問い(a～c)に答えよ。

アンモニアソーダ法は、 Na_2CO_3 の代表的な製造法である。その製造過程を図2に示す。この方法には、 NaHCO_3 の熱分解で生じる CO_2 、および NH_4Cl と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の反応で生じる NH_3 をいずれも回収して、無駄なく再利用するという特徴がある。

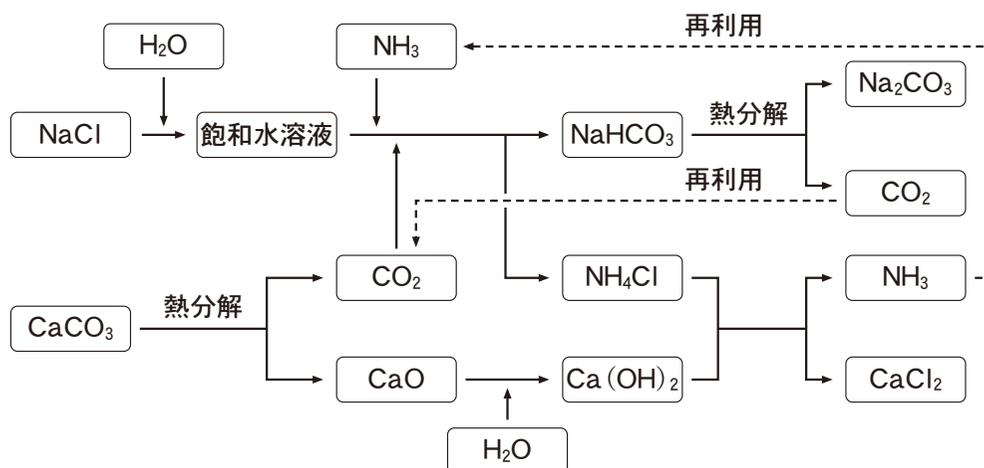


図2 アンモニアソーダ法による Na_2CO_3 の製造過程

- a CO_2 、 Na_2CO_3 、 NH_4Cl をそれぞれ水に溶かしたとき、水溶液が酸性を示すものはどれか。すべてを正しく選んでいるものを、次の①～⑦のうちから一つ選べ。

15

- | | | |
|---|--|---|
| ① CO_2 | ② Na_2CO_3 | ③ NH_4Cl |
| ④ CO_2 、 Na_2CO_3 | ⑤ CO_2 、 NH_4Cl | ⑥ Na_2CO_3 、 NH_4Cl |
| ⑦ CO_2 、 Na_2CO_3 、 NH_4Cl | | |

b アンモニアソーダ法に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① NaHCO_3 の水への溶解度は、 NH_4Cl より大きい。
- ② NaCl 飽和水溶液に NH_3 を吸収させたあとに CO_2 を通じるのは、 CO_2 を溶かしやすくするためである。
- ③ 図 2 のそれぞれの反応は、触媒を必要としない。
- ④ NaHCO_3 の熱分解により Na_2CO_3 が生成する過程では、 CO_2 のほかに水も生成する。

c NaCl 58.5 kg がすべて反応して Na_2CO_3 と CaCl_2 を生成するとき、最小限必要とされる CaCO_3 は何 kg か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、この製造過程で生じる NH_3 および CO_2 は、すべて再利用されるものとする。 kg

- ① 25.0
- ② 50.0
- ③ 100
- ④ 200

化学

第4問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 ハロゲン原子を含む有機化合物に関する記述として誤りを含むものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

18

- ① メタンに十分な量の塩素を混ぜて光(紫外線)をあてると、クロロメタン、ジクロロメタン、トリクロロメタン(クロロホルム)、テトラクロロメタン(四塩化炭素)が順次生成する。
- ② ブロモベンゼンの沸点は、ベンゼンの沸点より高い。
- ③ クロロプレン $\text{CH}_2=\text{CCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$ の重合体は、合成ゴムになる。
- ④ プロピン1分子に臭素2分子を付加して得られる生成物は、1,1,3,3-テトラブロモプロパン $\text{CHBr}_2\text{CH}_2\text{CHBr}_2$ である。

問2 フェノールを混酸(濃硝酸と濃硫酸の混合物)と反応させたところ、段階的にニトロ化が起こり、ニトロフェノールとジニトロフェノールを経由して2,4,6-トリニトロフェノールのみが得られた。この途中で経由したと考えられるニトロフェノールの異性体とジニトロフェノールの異性体はそれぞれ何種類か。最も適当な数を、次の①～⑥のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

ニトロフェノールの異性体

19

 種類

ジニトロフェノールの異性体

20

 種類

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5 ⑥ 6

問 3 天然高分子化合物および合成高分子化合物に関する記述として下線部に誤りを含むものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 21

- ① タンパク質は α -アミノ酸 $R-CH(NH_2)-COOH$ から構成され、その置換基 R 同士が相互にジスルフィド結合やイオン結合などを形成することで、各タンパク質に特有の三次構造に折りたたまれる。
- ② タンパク質が強酸や加熱によって変性するのは、高次構造が変化するためである。
- ③ アセテート繊維は、トリアセチルセルロースを部分的に加水分解した後、紡糸して得られる。
- ④ 天然ゴムを空气中に放置しておくと、分子中の二重結合が酸化されて弾性を失う。
- ⑤ ポリエチレンテレフタレートとポリ乳酸は、それぞれ完全に加水分解されると、いずれも 1 種類の化合物になる。

化学

問 4 カルボン酸を適当な試薬を用いて還元すると、第一級アルコールが生成することが知られている。カルボキシ基を2個もつジカルボン酸(2価カルボン酸)の還元反応に関する次の問い(a~c)に答えよ。

- a 示性式 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ のジカルボン酸を、ある試薬 X で還元した。反応を途中で止めると、生成物として図1に示すヒドロキシ酸と2価アルコールが得られた。ジカルボン酸、ヒドロキシ酸、2価アルコールの物質量の割合の時間変化を図2に示す。グラフ中のA~Cは、それぞれどの化合物に対応するか。組合せとして最も適当なものを、後の①~⑥のうちから一つ選べ。 22

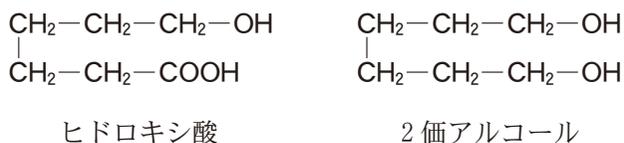


図1 ヒドロキシ酸と2価アルコールの構造式

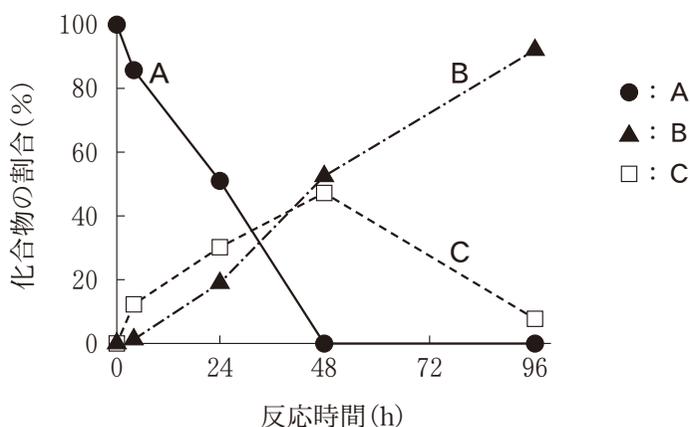
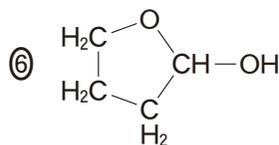
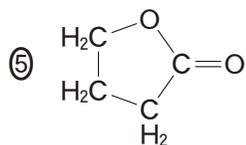
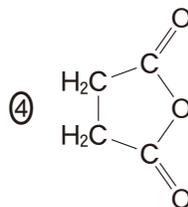
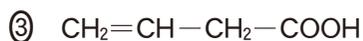
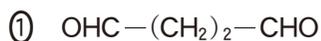


図2 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ の還元反応における反応時間と化合物の割合

	ジカルボン酸	ヒドロキシ酸	2 価アルコール
①	A	B	C
②	A	C	B
③	B	A	C
④	B	C	A
⑤	C	A	B
⑥	C	B	A

b 示性式 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ のジカルボン酸を試薬 X で還元すると、炭素原子を 4 個もつ化合物 Y が反応の途中に生成した。Y は銀鏡反応を示さず、 NaHCO_3 水溶液を加えても CO_2 を生じなかった。また、86 mg の Y を完全燃焼させると、 CO_2 176 mg と H_2O 54 mg が生成した。Y の構造式として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 23



化 学

- c 分子式 $C_5H_8O_4$ をもつジカルボン酸は、図 3 に示すように、立体異性体を区別しないで数えると 4 種類存在する。これら 4 種類のジカルボン酸を還元して生成するヒドロキシ酸 $C_5H_{10}O_3$ は、立体異性体を区別しないで数えると 種類あり、そのうち不斉炭素原子をもつものは 種類存在する。空欄 ・ に当てはまる数の組合せとして最も適当なものを、後の①～⑧のうちから一つ選べ。

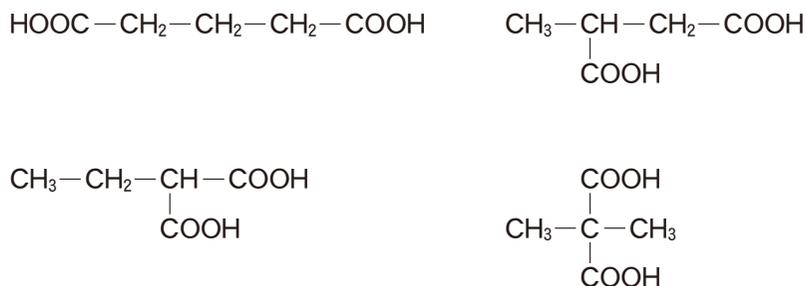


図 3 4 種類のジカルボン酸 $C_5H_8O_4$ の構造式

	ア	イ
①	4	0
②	4	1
③	5	2
④	5	3
⑤	6	4
⑥	6	5
⑦	8	6
⑧	8	7

化 学

第 5 問 大気中には、自動車の排ガスや植物などから放出されるアルケンが含まれている。大気中のアルケンは、地表近くのおゾンによる酸化反応で分解されて、健康に影響を及ぼすアルデヒドを生じる。アルケンを含む脂肪族不飽和炭化水素の構造と性質、およびおゾンとの反応に関する次の問い(問 1・2)に答えよ。

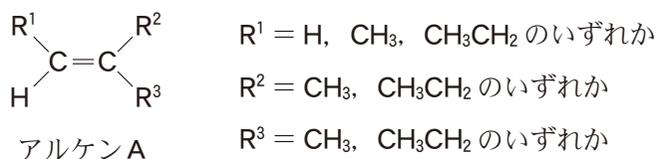
(配点 20)

問 1 脂肪族不飽和炭化水素とそれに関連する化合物の構造に関する記述として誤りを含むものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

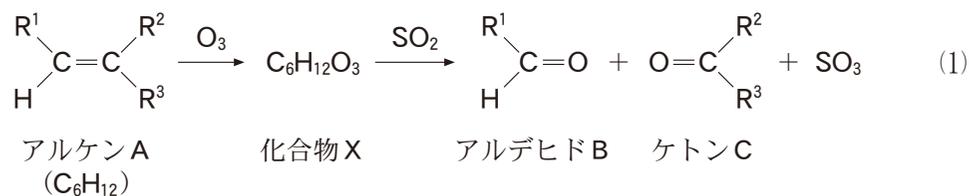
25

- ① エチレン(エテン)の炭素—炭素原子間の結合において、一方の炭素原子を固定したとき、他方の炭素原子は自由に回転できない。
- ② シクロアルケンの一般式は、炭素数を n とすると C_nH_{2n-2} で表される。
- ③ 1-ブチン $CH\equiv C-CH_2-CH_3$ の四つの炭素原子は、同一直線上にある。
- ④ ポリアセチレンは、分子中に二重結合をもつ。

問 2 次の構造をもつアルケン A (分子式 C_6H_{12}) のオゾン O_3 による酸化反応について調べた。



気体のアルケン A と O_3 を二酸化硫黄 SO_2 の存在下で反応させると、式(1)に示すように、最初に化合物 X (分子式 $C_6H_{12}O_3$) が生成し、続いてアルデヒド B とケトン C が生成した。式(1)の反応に関する後の問い (a ~ d) に答えよ。

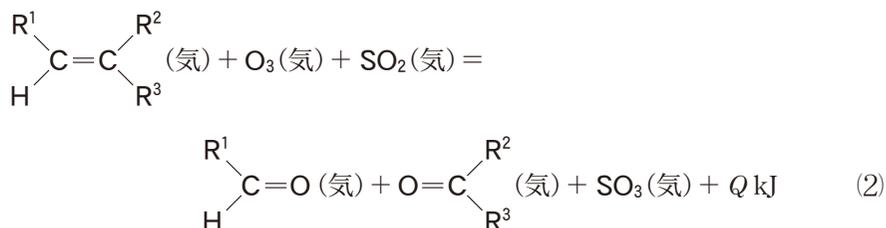


- a 式(1)の反応で生成したアルデヒド B はヨードホルム反応を示さず、ケトン C はヨードホルム反応を示した。 R^1, R^2, R^3 の組合せとして正しいものを、次の①~④のうちから一つ選べ。 26

	R^1	R^2	R^3
①	H	CH_3CH_2	CH_3CH_2
②	CH_3	CH_3	CH_3CH_2
③	CH_3	CH_3CH_2	CH_3
④	CH_3CH_2	CH_3	CH_3

化学

- b 式(1)の反応における反応熱を求めたい。式(1)の反応， SO_2 から SO_3 への酸化反応，および O_2 から O_3 が生成する反応の熱化学方程式は，それぞれ式(2)，(3)，(4)で表される。



各化合物の気体の生成熱が表1の値であるとき，式(2)の反応熱 Q は何 kJ か。最も適当な数値を，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 27 kJ

表1 各化合物の気体の生成熱

化合物	生成熱(kJ/mol)
$\begin{array}{c} \text{R}^1 \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \\ \text{H} \end{array} \begin{array}{c} \text{R}^2 \\ \diagup \\ \text{C} \\ \diagdown \\ \text{R}^3 \end{array}$	67
$\begin{array}{c} \text{R}^1 \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagup \\ \text{H} \end{array}$	186
$\text{O}=\begin{array}{c} \text{R}^2 \\ \diagup \\ \text{C} \\ \diagdown \\ \text{R}^3 \end{array}$	217

- ① 221 ② 229 ③ 578
 ④ 799 ⑤ 1020 ⑥ 1306

c 式(1)のアルケン A と O_3 から化合物 X が生成する反応の反応速度を考える。図 1 は、体積一定の容器に入っている $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ の気体のアルケン A と $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ の O_3 を、温度一定で反応させたときのアルケン A のモル濃度の時間変化である。反応開始後 1.0 秒から 6.0 秒の間に、アルケン A が減少する平均の反応速度は何 $\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ か。その数値を有効数字 2 桁の次の形式で表すとき、 ~ に当てはまる数字を、後の①~⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

アルケン A が減少する平均の反応速度

. $\times 10^{-\text{$ mol/(L·s)

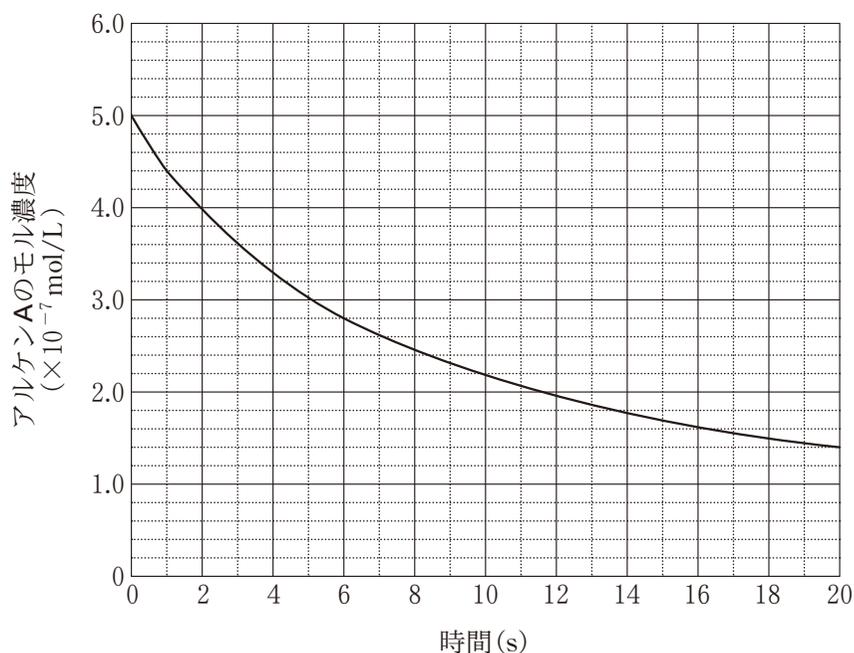


図 1 アルケン A のモル濃度の時間変化

- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| ① 1 | ② 2 | ③ 3 | ④ 4 | ⑤ 5 |
| ⑥ 6 | ⑦ 7 | ⑧ 8 | ⑨ 9 | ⑩ 0 |

化 学

- d アルケン A と O₃ から化合物 X が生成する式(1)の反応を、同じ温度でアルケン A のモル濃度 [A] と O₃ のモル濃度 [O₃] を変えて行った。反応開始直後の反応速度 v を測定した結果を表 2 に示す。

表 2 アルケン A と O₃ のモル濃度と反応速度の関係

実 験	[A] (mol/L)	[O ₃] (mol/L)	反応速度 v (mol/(L·s))
1	1.0×10^{-7}	2.0×10^{-7}	5.0×10^{-9}
2	4.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-8}
3	1.0×10^{-7}	6.0×10^{-7}	1.5×10^{-8}

この反応の反応速度式を $v = k[A]^a[O_3]^b$ (a, b は定数) の形で表すとき、反応速度定数 k は何 L/(mol·s) か。その数値を有効数字 2 桁の次の形式で表すとき、 ~ に当てはまる数字を、後の①~⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、同じものを繰り返し選んでもよい。

アルケン A と O₃ の反応の反応速度定数

$$k = \text{} . \text{} \times 10^{\text{}} \text{L/(mol}\cdot\text{s)}$$

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0