

## 第 I 問 (50 点満点)

問題 1 と問題 2 については、1 つまたは 2 つの正解がある。答案用紙の所定の枠の中に、正解の番号を記入せよ。問題 3 と問題 5 については、所定の枠の中に、0 から 9 までの適当な数字を 1 枠に 1 つ記入せよ。問題 4 については、指示にしたがって所定の枠の中に適切な数値を記せ。

1 金属イオン  $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  をそれぞれ別に含む 6 種類の水溶液に関するつぎの記述のうち、正しいものはどれか。

1. 炎色反応を示す金属イオンを含むものは 2 種類である。
2. 有色のものは 2 種類である。
3. 常温で酸性にしたのち硫化水素を吹き込んだときに、黒色沈殿を生じるものは 2 種類である。
4. 常温で希硫酸を加えたときに、沈殿を生じるものは 2 種類である。
5. 常温で過剰量のアンモニア水を加えたときに、沈殿が残るものは 2 種類である。
6. 常温で過剰量の水酸化ナトリウム水溶液を加えたときに、沈殿が残るものは 2 種類である。
7. 常温でクロム酸カリウム水溶液を加えたときに、沈殿を生じるものは 2 種類である。

2 標準状態で気体であり、互いに異なる物質 A ~ G に関するつぎの記述ア ~ カを読み、下の問に答えよ。

- ア. A は銅と熱濃硫酸の反応によって発生する。
- イ. 天然に存在する気体のうち、B は最も軽く、C は 2 番目に軽い。
- ウ. D は単体であり、D を構成する元素の同族元素の単体のうち、標準状態で気体として存在するものは D だけである。
- エ. 白金電極を用いた希硫酸の電気分解により B と E が発生する。
- オ. F は、四酸化三鉄を主成分とした触媒の存在下で、B と D を高温・高圧で反応させると発生する。
- カ. G は塩化ナトリウムに濃硫酸を加えると発生する。

問 つぎの記述のうち、誤っているものはどれか。

1. A ~ G の気体はすべて無色である。
2. A ~ G をモル質量の大きいものから順に並べたとき、4 番目は D である。
3. A と硫化水素を反応させると、A は酸化剤としてはたらく。
4. A の高濃度の水溶液は強い酸性を示す。
5. C, D, E の沸点をそれぞれ  $T_C$ ,  $T_D$ ,  $T_E$  とすると、 $T_C < T_D < T_E$  である。
6. F と G の反応によって生じる塩は酸性塩である。

3 白金電極を挿入した3つの電解槽①, ②, ③にそれぞれ硫酸ニッケル水溶液, 硝酸銀水溶液, 水酸化ナトリウム水溶液が入れている。これらの電解槽を下図のように接続し, 一定電流で200分間電気分解を行った。電気分解後, 電解槽①の電極上に析出した金属の質量は7.30 gであった。この電気分解において, 電解槽①と②の陰極では気体の発生はなかった。この電気分解に関するつぎの問に答えよ。ただし, 各元素の原子量は, Ni = 58.7, Ag = 108, ファラデー定数は,  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  とする。

問 i 電解槽②の電極上に析出した金属の質量はいくらか。解答は小数点以下第1位を四捨五入して, 下の形式により示せ。

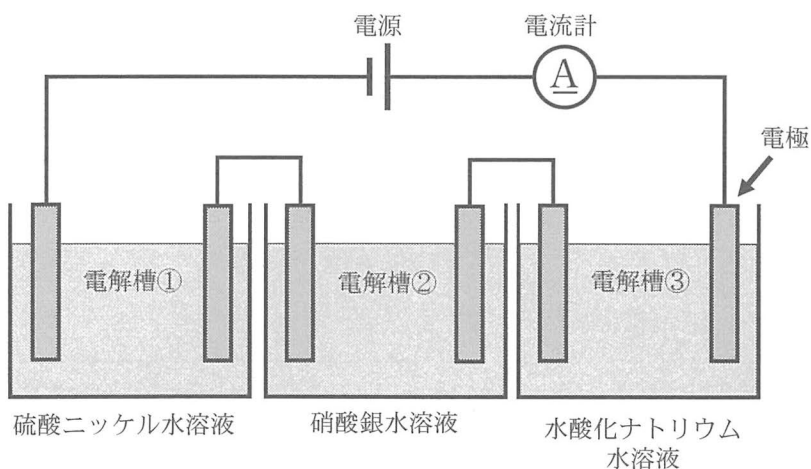
--	--

g

問 ii 電気分解によって電解槽③で発生した気体の体積の総和は, 標準状態でいくらか。解答は小数点以下第2位を四捨五入して, 下の形式により示せ。ただし, 発生した気体は水溶液に溶解せず, 理想気体としてふるまうものとする。

--	--

L



- 4 一定温度で塩化銀の飽和水溶液に塩化ナトリウムを溶解させ、ナトリウムイオン濃度を  $1.0 \times 10^{-5}$  mol/L にした。このとき水溶液中の銀イオンの濃度 (mol/L) はいくらか。解答は下の形式により示せ。ただし、この温度での塩化銀の溶解度積は  $2.00 \times 10^{-10}$  (mol/L)<sup>2</sup> とする。また、 $\sqrt{2} = 1.41$  とする。

	mol/L
--	-------

5 陽イオン  $M^+$  と陰イオン  $X^-$  からなるイオン結晶 A は塩化セシウム型の構造をもつ。結晶 A の単位格子は立方体で各頂点に  $X^-$  が位置し、単位格子の中心に  $M^+$  が位置する。つぎの問に答えよ。ただし、結晶中の  $M^+$  と  $X^-$  はすべて球とみなし、最も近い  $M^+$  と  $X^-$  は互いに接しているものとする。また、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$  とする。

問 i 結晶 A の単位格子の一辺の長さを  $a$  とし、 $M^+$  のイオン半径と  $X^-$  のイオン半径の和を  $d$  とするとき、 $d/a$  はいくらか。解答は小数点以下第 3 位を四捨五入して、下の形式により示せ。

0. 

--	--

問 ii 結晶 A の単位格子の一辺の長さは 0.422 nm である。 $M^+$  のイオン半径  $r^+$  は 0.082 nm, 0.139 nm, 0.172 nm のいずれかであり、 $X^-$  のイオン半径  $r^-$  は 0.183 nm, 0.193 nm, 0.216 nm のいずれかである。結晶 A の  $r^+/r^-$  はいくらか。解答は小数点以下第 3 位を四捨五入して、下の形式により示せ。

0. 

--	--

## 第Ⅱ問 (50 点満点)

問題 6, 問題 7 と問題 8 については, 1 つまたは 2 つの正解がある。答案用紙の所定の枠の中に, 正解の番号を記入せよ。問題 9 については, 所定の枠の中に, 0 から 9 までの適当な数字を 1 枠に 1 つ記入せよ。問題 10 については, 指示にしたがって所定の枠の中に適切な式を記せ。

6 つぎの記述のうち, 誤っているものはどれか。

1. 化学反応の速さは, 単位時間当たりの反応物の濃度の減少量で表すことができる。
2.  $\text{H}_2$  と  $\text{I}_2$  から  $\text{HI}$  が生成する発熱反応の反応熱を  $9 \text{ kJ/mol}$  とすると, 逆反応の活性化エネルギーは正反応の活性化エネルギーよりも  $9 \text{ kJ/mol}$  大きい。
3. 容積一定の容器に  $1.0 \text{ mol}$  の  $\text{H}_2$  と  $1.0 \text{ mol}$  の  $\text{I}_2$  を入れて温度を一定に保ったところ,  $\text{I}_2$  はすべて気体となり,  $\text{H}_2(\text{気}) + \text{I}_2(\text{気}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(\text{気})$  の反応が起こり,  $\text{H}_2$  が  $0.20 \text{ mol}$  に減少して平衡に達した。この温度における平衡定数は 40 である。
4. 密閉容器内で  $\text{N}_2\text{O}_4$  から  $\text{NO}_2$  が生じる気体反応が平衡状態にあるとき, 温度一定で容器の体積を増加させると  $\text{NO}_2$  の分子数が増加する方向に平衡が移動する。
5. 温度を上げて反応速度が大きくなるのは, 主に活性化エネルギーを超えるエネルギーをもつ分子の割合が増えるためである。
6. 反応速度が反応物の濃度の何乗に比例するかは, 化学反応式の係数で決まる。
7. ある 2 つの発熱反応のうち, 反応速度が大きい方が反応熱も大きいとは限らない。

7 つぎの記述のうち、誤っているものはどれか。

1. 第6周期までの同一周期の元素と比較すると、第1イオン化エネルギーが最も大きいのは貴ガスである。
2. 第6周期までの遷移元素はすべて金属元素である。
3. 圧力一定の条件下で液体の温度を徐々に下げていくと、凝固点よりも低い温度で凝固しないことがある。
4.  $\text{SiH}_4$  と  $\text{H}_2\text{S}$  は分子量がほぼ同じであるが、沸点は  $\text{SiH}_4$  よりも  $\text{H}_2\text{S}$  のほうが高い。
5. 密閉容器内に入れた液体がある温度で気液平衡の状態にあるとき、液体の量が多いほど蒸気圧は高い。
6. 温度一定の条件下で圧力が増加すると、固体から液体に変化する物質がある。
7. 液体とも気体とも明確に区別できない状態になる物質がある。

8 つぎの記述のうち、誤っているものはどれか。

1. 物質は、光を吸収して元の状態よりエネルギーの高い状態になることや、エネルギーの高い状態から光を放出してエネルギーの低い状態になることがある。
2. NaCl の水への溶解熱は吸熱であるが、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  の水への溶解熱は発熱である。
3.  $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $1 \times 10^5\text{ Pa}$  において、メタンとプロパンでは、プロパンの燃焼熱の方が大きい。
4. 室温において銅と水とでは、水の比熱の方が大きい。
5. 黒鉛の燃焼熱は  $394\text{ kJ/mol}$ 、一方、ダイヤモンドの燃焼熱は  $395\text{ kJ/mol}$  である。黒鉛  $1\text{ mol}$  からダイヤモンド  $1\text{ mol}$  ができるときの反応は発熱反応である。
6.  $\text{H}-\text{H}$ 、 $\text{O}=\text{O}$ 、 $\text{H}-\text{O}$  の結合エネルギーがそれぞれ  $440\text{ kJ/mol}$ 、 $500\text{ kJ/mol}$ 、 $460\text{ kJ/mol}$  とすると、気体の水の生成熱は  $230\text{ kJ/mol}$  である。
7.  $25\text{ }^\circ\text{C}$  において強酸と強塩基の希薄溶液どうしの中和熱は、酸や塩基の種類によらずほぼ一定である。



9 つぎの文を読み、下の問に答えよ。

水素イオン  $H^+$  と陰イオン  $A^-$  からなる化合物  $HA$  は水溶液中では単量体として存在し、その水溶液は酸性を示す。 $HA$  をベンゼンに溶解すると、 $HA$  は電離せず、すべての分子が二量体を形成する。



ベンゼン 100 g に 2.20 g の  $HA$  を完全に溶解したところ、その溶液の凝固点は  $4.890^\circ C$  であった。水 100 g に 0.500 g の  $HA$  を完全に溶解したところ、その水溶液の凝固点は  $-0.185^\circ C$  であった。ただし、ベンゼンの凝固点は  $5.530^\circ C$  であり、ベンゼンおよび水のモル凝固点降下はそれぞれ  $5.12 K \cdot kg/mol$ 、および  $1.85 K \cdot kg/mol$  とする。また、すべての溶液は希薄溶液としてふるまうものとする。

問 i  $HA$  の分子量はいくらか。解答は小数点以下第 1 位を四捨五入して、下の形式により示せ。

--	--

問 ii  $HA$  水溶液について、凝固点における  $HA$  の電離度はいくらか。解答は小数点以下第 3 位を四捨五入して、下の形式により示せ。

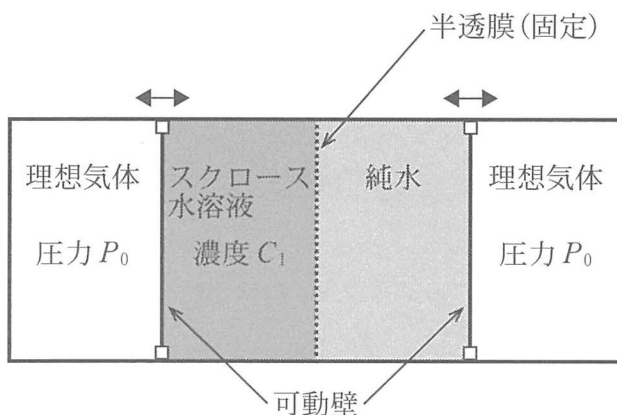
0. 

--	--

10 図のような固定された半透膜と2つの左右に動く可動壁で4つの部屋に仕切られた容器がある。それぞれの部屋の体積がすべて  $V_0$  [L] になるように可動壁を固定した上で、半透膜と可動壁の間の2つの部屋を図のようにモル濃度  $C_1$  [mol/L] のスクロース水溶液と純水で満たし、両端の部屋は圧力  $P_0$  [Pa] の理想気体で満たした。可動壁を自由に動けるようにしたところ、体積  $\Delta V$  [L] ( $> 0$ ) の水が半透膜を透過して平衡状態に達し、左端の部屋の圧力は  $P_1$  [Pa]、右端の部屋の圧力は  $P_2$  [Pa] となった。つぎの問に答えよ。ただし、すべての実験を通じて温度は  $T$  [K] で一定であり、気体定数を  $R$  [Pa·L/(mol·K)] とする。半透膜は水のみを透過させ、浸透圧はファンツホッフの法則に従う。スクロース水溶液と純水の変化した体積は透過した水の体積に等しく、圧力には依存しないものとする。

問 i  $\frac{\Delta V}{V_0} = X$  とするとき、 $\frac{P_1 - P_2}{P_0}$  を  $X$  のみを用いて示せ。

問 ii  $\frac{P_0}{RT} = C_0$  とするとき、 $X$  を  $C_0$  および  $C_1$  を用いて示せ。



### 第Ⅲ問 (50点満点)

問題 11, 問題 12 と問題 13 については, 1つまたは2つの正解がある。答案用紙の所定の枠の中に, 正解の番号を記入せよ。問題 14 については, 所定の枠の中に, 0 から 9 までの適当な数字を 1 枠に 1 つ記入せよ。問題 15 については, 指示にしたがって所定の枠の中に適切な構造を記せ。

11 有機化合物 A ~ F に関するつぎの記述ア ~ カを読み, 下の問に答えよ。

- ア. 炭化カルシウムに水を加えると A が生じる。
- イ. A に塩化水素が付加すると高分子化合物の原料となる B が生じる。
- ウ. A を赤熱した鉄に触れさせると化合物 C が生じる。
- エ. C に鉄触媒の存在下, 塩素を反応させると D が生じる。
- オ. D と水酸化ナトリウム水溶液を高温で反応させたのち, 酸性にすると E が生じる。
- カ. F は C の水素原子のうちの 2 つがメチル基で置換された化合物である。F を酸化すると, 飲料容器などに使われる高分子化合物の原料となる 2 価カルボン酸が得られる。

問 つぎの記述のうち, 誤っているものはどれか。

1. A ~ F のうち, もっとも短い炭素-炭素結合をもつ化合物は C である。
2. B には幾何異性体が存在しない。
3. A ~ F のうち, もっとも強い酸は E である。
4. E の水溶液に十分な量の臭素水を加えると, ただちに白色沈殿が生じる。
5. A ~ F のうち, 無極性分子は 3 つである。
6. A ~ F のいずれも, 水素以外のすべての原子が同一平面上にある。

12 高分子化合物A～Dに関するつぎの記述ア～エを読み，下の問に答えよ。

- ア．プロピレンを付加重合させるとAが得られる。
- イ．スチレンを付加重合させるとBが得られる。
- ウ．同じ物質量のアジピン酸とヘキサメチレンジアミンを縮合重合させるとCが得られる。
- エ． $\epsilon$ -カプロラクタムを開環重合させるとDが得られる。

問 つぎの記述のうち，誤っているものはどれか。

1. Aの固体では，結晶部分の割合が多くなると密度が大きくなる。
2. Bは断熱材として用いることができる。
3. Bの平均分子量を測定したところ， $1.04 \times 10^4$ であった。このBは，すべて重合度100以上の高分子化合物からなる。
4. ウの反応で，アミノ基とカルボキシ基がすべてなくなるまで重合させると，得られる高分子化合物は必ず環状になる。
5. CとDのそれぞれに含まれる繰り返し単位中の窒素の含有率は，同じである。
6. A～Dは，すべて熱可塑性を示す。

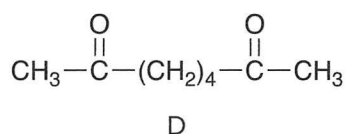
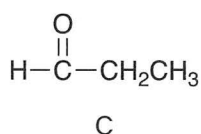
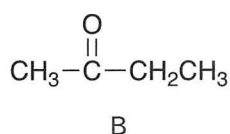
13 単糖 A ~ C に関するつぎの記述ア ~ ウを読み、下の問に答えよ。ただし、各元素の原子量は、 $O = 16$ ,  $Cu = 64$  とする。

- ア. マルトースを加水分解すると A が得られる。
- イ. スクロースを加水分解すると A と B が得られる。
- ウ. ラクトースを加水分解すると A と C が得られる。

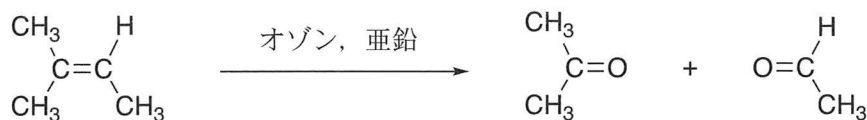
問 つぎの記述のうち、誤っているものはどれか。

1. A と B は互いに構造異性体である。
2. 数千個の A が脱水縮合した多糖であるデンプンとグリコーゲンは、いずれもヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加えると呈色する。
3. A の 1 位の炭素に結合しているヒドロキシ基どうしで脱水縮合した二糖は、ヘミアセタール構造をもたない。
4. アミロース、セロピオース、セルロース、アミロペクチンをそれぞれ完全に加水分解したときに得られる単糖は A のみである。
5. 水溶液中で A は複数の異性体が平衡状態にある混合物となっているが、そのうち還元性を示すものは 1 種類のみである。
6. B を 1.80 g 含む水溶液に過剰なフェーリング液を加え完全に反応させた。この反応で生じた銅の酸化物は 0.80 g である。
7. マルトース、スクロース、ラクトースの混合物に希硫酸を加えて加熱し、完全に加水分解したところ、A, B, C の物質量の比が 7 : 3 : 2 となった。この混合物中のスクロースのモル分率は 0.5 である。

14 炭素-炭素三重結合をもたない炭化水素Aに対し、オゾンを反応させた後に亜鉛を加えたところ、下に示すカルボニル化合物B、C、Dの混合物Xが得られた。AはすべてB、C、Dに変換されてその他の生成物は生じなかった。この混合物X 8.46 g に対して、十分な量の水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を反応させると、ヨードホルムが45.31 g 生成した。また、混合物X 8.46 g に対して十分な量のアンモニア性硝酸銀水溶液を反応させると、銀が1.08 g 析出した。Aの分子式を例にならって示せ。



ただし、炭素-炭素二重結合をもつ化合物に対し、オゾンを反応させた後に亜鉛を加えると、つぎの反応式のように炭素-炭素二重結合の切断が起こり、カルボニル化合物が生成する。また、各元素の原子量は、H = 1, C = 12, O = 16, Ag = 108, I = 127 とする。



(例)  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$  の分子式：



15 分子式  $C_{10}H_{16}O_2$  で表されるカルボン酸 A に関するつぎの記述ア～オを読み，下の間に答えよ。

- ア. 炭素-炭素二重結合を 1 つと，環構造を 1 つもつ。
- イ. 不斉炭素原子を 2 つもち，そのうちの 1 つはカルボキシ基と結合している。
- ウ. 炭素-炭素二重結合に，臭素が付加すると不斉炭素原子が 1 つ増えるが，水素が付加しても不斉炭素原子の数は変わらない。
- エ. 結合している水素原子の数が 2 である炭素原子をもたない。
- オ. 環構造を構成する炭素原子の 1 つには，同じ置換基が 2 つ結合している。

問 A の構造を例にならって示せ。

(例)

