



**化 学**

必要なら次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, Al = 27, S = 32, Cl = 35.5, Cu = 63.6, Ag = 108, アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$ , 気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ , ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 。全ての気体は理想気体として扱うものとする。なお、 $1 \text{ hPa} = 1 \times 10^2 \text{ Pa}$  である。

**I** 以下の問題(第1問から第3問)の答えをマークシートに記しなさい。

第1問 次の各問いに答えなさい。[解答番号  ~  ]

問 1 ある元素 X の原子量は 24.31 であり、質量数 24, 25, 26 の三種類の同位体が存在する。そのうち  $^{25}\text{X}$  の存在比は 10 % である。 $^{24}\text{X}$  の存在比は何%になるか。最も近い値を次の①~⑧の中から一つ選びなさい。ただし、それぞれの同位体の相対質量は質量数に等しいと仮定する。  %

- ① 70.5                      ② 72.5                      ③ 75.5                      ④ 77.5  
⑤ 79.5                      ⑥ 81.5                      ⑦ 83.5                      ⑧ 85.5

問 2 次に示した課題(i)~(iv)の答えを得るには(i)~(v)で示した法則のうちいずれを用いるのが最もふさわしいか。その組み合わせを①~⑧の中から一つ選びなさい。

[課題]

(i) 圧力 1013 hPa で 2 L の  $\text{H}_2$  と、圧力 2026 hPa で 2 L の  $\text{N}_2$  を混合して 2 L の容器に封入した時の混合気体の圧力を求める。ただし、温度は全て一定である。



問 4 次の5種類の金属イオンを一つずつ含む水溶液がある。以下の問い(a)～(c)に答えなさい。

[金属イオン]  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$

(a) 少量のアンモニア水を加えたところ沈殿が生じ、さらに過剰のアンモニア水を加えたが変化が見られなかった水溶液が2つあった。この金属イオンの組み合わせを次の①～⑩の中から一つ選びなさい。

4

①	$\text{Ag}^+$	$\text{Fe}^{3+}$	⑥	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Al}^{3+}$
②	$\text{Ag}^+$	$\text{Zn}^{2+}$	⑦	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+}$
③	$\text{Ag}^+$	$\text{Al}^{3+}$	⑧	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$
④	$\text{Ag}^+$	$\text{Cu}^{2+}$	⑨	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$
⑤	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Zn}^{2+}$	⑩	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+}$

(b) 少量のアンモニア水を加えたところ沈殿が生じ、さらに過剰の水酸化ナトリウム水溶液を加えると生じた沈殿が消えた水溶液が2つあった。この金属イオンの組み合わせを次の①～⑩の中から一つ選びなさい。

5

①	$\text{Ag}^+$	$\text{Fe}^{3+}$	⑥	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Al}^{3+}$
②	$\text{Ag}^+$	$\text{Zn}^{2+}$	⑦	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+}$
③	$\text{Ag}^+$	$\text{Al}^{3+}$	⑧	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$
④	$\text{Ag}^+$	$\text{Cu}^{2+}$	⑨	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$
⑤	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Zn}^{2+}$	⑩	$\text{Al}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+}$

(c) 少量のアンモニア水を加えたところ沈殿が生じ、さらに過剰のアンモニア水を加えると生じた沈殿が消えた水溶液があった。その時の水溶液の色は深青色であった。この時溶液中に存在する金属イオンを示すイオン式として最もふさわしいものを次の①～⑦の中から一つ選びなさい。金属イオンは $X^{n+}$ で表すとする。

- ①  $X^{n+}$                       ②  $[X(NH_3)_2]^{n+}$                       ③  $[X(NH_3)_4]^{n+}$   
④  $[X(NH_3)_6]^{n+}$                       ⑤  $[X(NH_4)_2]^{(n+2)+}$                       ⑥  $[X(NH_4)_4]^{(n+4)+}$   
⑦  $[X(NH_4)_6]^{(n+6)+}$

問 5 いくつかの気体の発生実験を行い、そこで得られた気体の性質を(a)～(e)に示す。それらの性質を示す気体を発生させる実験を①～⑥の中から一つずつ選びなさい。必要なら同じ番号を何度選んでも良い。

[発生した気体の性質]

- (a) 空気中の酸素とすみやかに反応し、有色の気体となる。   
(b) 水に溶けると塩基性を示す。   
(c) 気体に色がある。   
(d) 水に溶け、その水溶液は酸性を示し、なおかつ強い酸化作用を示すが還元作用は通常示さない。   
(e) 酸素とともに燃焼すると高温が得られる。

[気体発生実験]

- ① 銅に希硝酸を加える。  
② 石灰石に希塩酸を加える。  
③ 塩化アンモニウムと水酸化カルシウムの混合物を温める。  
④ 酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加え加熱する。  
⑤ 銅と熱濃硫酸を反応させる。  
⑥ 炭化カルシウムと水を反応させる。

第2問 次の各問いに答えなさい。[解答番号  ~  ]

問1 化合物 $XY_2$ は水に溶けて $X^{2+}$ イオンと $Y^-$ イオンに完全に電離する。

$XY_2$ 水溶液を白金電極を用いて電気分解すると陰極には $X$ が析出する。濃度 $c$ [g/L]の水溶液1Lを用いて $a$ [A]の電流で電気分解を行った。次の問い(a), (b)に答えなさい。ただし、電気分解中の溶液の体積は変化しないものとし、 $X$ ,  $Y$ のモル質量をそれぞれ $M_X$ [g/mol],  $M_Y$ [g/mol], ファラデー定数を $F$ [C/mol]とする。

(a)  $t$ 秒間電気分解したとき、陰極に析出した物質の質量 $m$ [g]を求める正しい式を①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ①  $m = \frac{atM_X}{2F}$       ②  $m = \frac{atM_X}{F}$       ③  $m = \frac{atF}{2M_X}$   
 ④  $m = \frac{2aM_X}{tF}$       ⑤  $m = \frac{tFM_X}{2a}$       ⑥  $m = \frac{2FM_X}{at}$

(b) 水溶液中の $X^{2+}$ イオンの濃度が電気分解前の濃度の $\frac{1}{2}$ になるときの時間 $t'$ [秒]を求める正しい式を①~⑥の中から一つ選びなさい。

- ①  $t' = \frac{Fc}{aM_X^2M_Y}$       ②  $t' = \frac{Fc}{aM_XM_Y^2}$   
 ③  $t' = \frac{a(M_X + 2M_Y)}{Fc}$       ④  $t' = \frac{Fc}{a(2M_X + M_Y)}$   
 ⑤  $t' = \frac{2Fc}{a(M_X + 2M_Y)}$       ⑥  $t' = \frac{Fc}{a(M_X + 2M_Y)}$

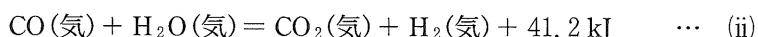
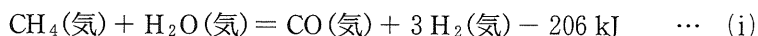
問2 電解液が100 mLの鉛蓄電池を電源として $CuCl_2$ 水溶液を白金電極で電気分解した。電気分解開始前に鉛蓄電池の電解液の密度は $1.24 \text{ g/cm}^3$ 、硫酸の質量パーセント濃度は32.3%であった。電気分解終了時には電解液の硫酸の質量パーセント濃度が18.3%に変化していた。銅は何g析出したか。

最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。  g

- ① 5.7      ② 6.6      ③ 6.9  
 ④ 11.4      ⑤ 13.2      ⑥ 13.8

問 3 燃料電池は負極活物質に燃料，正極活物質に酸素を用いる電池である。負極活物質に水素，電解液にリン酸水溶液を使った水素燃料電池は使用時に二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーとして実用段階に入っているが，現在，水素の大半は化石資源の炭化水素から得られている。

メタンを金属触媒を用いて水蒸気と反応させると一酸化炭素と水素が得られる(水蒸気改質反応)。この反応で生成した一酸化炭素を触媒を用いて水蒸気と反応させると水素と二酸化炭素が生成する(水性ガスシフト反応)。



次の問い(a)~(d)に答えなさい。ただし，水の蒸発熱を 44 kJ/mol，水(気体)の生成熱を 242 kJ/mol としなさい。

(a)  $\text{CH}_4(\text{気})$  が燃焼して  $\text{CO}_2(\text{気})$  と  $\text{H}_2\text{O}(\text{液})$  が生じる際の燃焼熱 [kJ/mol] を求めなさい。最も近い値を①~⑥の中から一つ選びなさい。

kJ/mol

① 685

② 803

③ 847

④ 891

⑤ 968

⑥ 1144

- (b) 水蒸気改質反応(i)と水性ガスシフト反応(ii)の平衡についての記述のうち、正しい記述の組み合わせを①～⑧の中から一つ選びなさい。

5

- (イ) 反応(i)で水素の生成率を大きくするには、温度を高くすればよい。  
 (ロ) 反応(ii)で水素の生成率を大きくするには、温度を高くすればよい。  
 (ハ) 反応(i)で水素の生成率を大きくするには温度を低くすればよいが、反応速度は小さくなる。  
 (ニ) 反応(ii)で水素の生成率を大きくするには温度を低くすればよいが、反応速度は小さくなる。  
 (ホ) 反応(i)で水素の生成率を大きくするには、圧力を高くすればよい。  
 (ヘ) 反応(i)で水素の生成率を大きくするには、圧力を低くすればよい。  
 (ト) 反応(ii)で水素の生成率を大きくするには、圧力を高くすればよい。  
 (フ) 反応(ii)で水素の生成率を大きくするには、圧力を低くすればよい。

【解答群】

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| ① (イ), (ニ), (ヘ) | ② (イ), (ニ), (ト) |
| ③ (イ), (ヘ), (フ) | ④ (ロ), (ホ), (ト) |
| ⑤ (ロ), (ヘ), (フ) | ⑥ (ハ), (ニ), (フ) |
| ⑦ (ハ), (ニ), (ホ) | ⑧ (ハ), (ホ), (ト) |

- (c) 反応(ii)の水性ガスシフト反応で、等しい物質量の CO (気) と H<sub>2</sub>O (気) を密閉容器に入れて一定温度で反応させた。平衡に達したとき、反応前の CO に対する反応した CO の物質量の割合を  $a$  とすると、平衡定数  $K$  はどのような式で表されるか。正しい式を①～⑥の中から一つ選べ。

6

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| ① $K = (1 - a^2)/a^2$ | ② $K = a^2/(1 - a)^2$ |
| ③ $K = 1/(1 - a)^2$   | ④ $K = a/(1 - a)$     |
| ⑤ $K = a^2/(1 - a)$   | ⑥ $K = (1 - a)/a$     |



(d) 電池は化学反応のエネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置である。電位差  $E$  [V] で電流を流す時に得られるエネルギー  $Q$  [J] は流れた電気量を  $q$  [C] とすると、

$$Q[\text{J}] = E[\text{V}] \times q[\text{C}]$$

となる。したがって、電池の起電力の理論値は電池全体の反応の反応エネルギーから求めることができる。

水素燃料電池、 $(-)\text{Pt}\cdot\text{H}_2 \mid \text{H}_3\text{PO}_4\text{aq} \mid \text{O}_2\cdot\text{Pt}(+)$  の起電力の理論値は、反応エネルギーが反応熱に等しいと考えると何 V になるか。最も近い値を①～⑥の中から一つ選びなさい。ただし、生成物はすべて液体として考えなさい。  V

① 0.7

② 1.3

③ 1.5

④ 1.8

⑤ 2.5

⑥ 3.0

第3問 次の各問いに答えなさい。[解答番号  ~  ]

問 1 次の問い(a)~(d)に答えなさい。

(a) 有機化合物の分子式が示されているが、原子価の観点から不合理なものがある。①~⑧の中から一つ選びなさい。

- ①  $C_2H_4O_2$       ②  $C_2H_6O$       ③  $C_2H_6O_2$       ④  $C_3H_8O$   
⑤  $C_4H_4O_4$       ⑥  $C_4H_6O_3$       ⑦  $C_4H_7O$       ⑧  $C_4H_8O_2$

(b) エタノールの構成原子が最も多く同一平面上にあるように立体配置をとったとき、その平面上にのらない原子の数は何個か。①~⑧の中から一つ選びなさい。

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

(c) エタン 25 %、エチレン 10 %、アセチレン 15 %、水素 50 % よりなる混合気体 100 L がある。体積が無視できる微量の触媒を入れ、水素の付加反応を完全に行った。反応後の体積は何 L になるか。ただし、反応の前後において温度、圧力は変わらないものとする。また、百分率は体積百分率である。①~⑧の中から一つ選びなさい。  L

- ① 10                  ② 20                  ③ 30                  ④ 40  
⑤ 50                  ⑥ 60                  ⑦ 70                  ⑧ 80

(d) 組成式 CHO で表される化合物 A は炭素—炭素間に二重結合を一つ有し、環状構造を持たない。二重結合に水素を付加させると、分子量は 1.72 % 増加する。

(イ) A の分子式で正しいものを①～⑧の中から一つ選びなさい。

4

- ①  $C_2H_2O_2$       ②  $C_3H_3O_3$       ③  $C_4H_4O_4$       ④  $C_5H_5O_5$   
⑤  $C_6H_6O_6$       ⑥  $C_7H_7O_7$       ⑦  $C_8H_8O_8$       ⑧  $C_9H_9O_9$

(ロ) A の水素原子を全て重水素原子で置き換えると、分子量は何%増加するか。①～⑧の中から最も近い値を一つ選びなさい。ただし、重水素原子の相対質量は 2.0 とする。 5 %

- ① 1.7              ② 2.6              ③ 3.4              ④ 4.3  
⑤ 4.7              ⑥ 5.1              ⑦ 5.5              ⑧ 5.8

問 2 次の文を読み下記の問い(a)～(e)に答えなさい。

A と B は互いに異性体で、その分子式は  $C_7H_{14}O_2$  である。塩酸を加えて温め、A を加水分解するとカルボン酸(A 1)とアルコール(A 2)が、B を加水分解するとカルボン酸(B 1)とアルコール(B 2)が得られる。適当な酸化剤を用いて B 2 を酸化すると A 1 が得られ、A 2 を酸化すると B 1 が得られる。

A 2 の異性体のうちアルコールに属する異性体は A 2 以外に一つだけ存在する。これを C とする。B 2 のアルキル基部分は枝別れの無い直鎖状である。光学異性体を考慮しないとすると、B 2 の異性体にはアルコールに属する三つの異性体 D, E, F が存在する。このうち D は不斉炭素原子を一つ有する。F は二クロム酸カリウムの硫酸酸性水溶液で酸化されない。

(a) A に該当するものはどれか。①～⑥の中から一つ選びなさい。

6

- |   |   |
|---|---|
| ① $\text{HCOOC}_6\text{H}_{13}$                 | ② $\text{CH}_3\text{COOC}_5\text{H}_{11}$       |
| ③ $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_4\text{H}_9$ | ④ $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOC}_3\text{H}_7$ |
| ⑤ $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOC}_2\text{H}_5$ | ⑥ $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOCH}_3$       |

(b) B1 に該当するものはどれか。①～⑥の中から一つ選びなさい。

7

- |  |   |
|--|---|
| ① $\text{CH}_3\text{COOH}$                       | ② $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$                       |
| ③ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ | ④ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ |
| ⑤ $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$                 | ⑥ $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$                 |

(c) A2 の異性体は C の他にいくつあるか。①～⑥の中から一つ選びなさい。

8

- |     |     |     |
|-----|-----|-----|
| ① 1 | ② 2 | ③ 3 |
| ④ 4 | ⑤ 5 | ⑥ 6 |

(d) C を二クロム酸カリウムの硫酸酸性水溶液を用いて酸化したときに得られる化合物は何か。①～⑤の中から一つ選びなさい。

9

- |              |            |
|--------------|------------|
| ① アセトン       | ② エタノール    |
| ③ エチルメチルエーテル | ④ アセトアルデヒド |
| ⑤ エチレングリコール  |            |

(e) 次の文のうちで正しいものはどれか。①～⑥の中から一つ選びなさい。

10

- ① D は第一級アルコールである。
- ② E を酸化するとケトンが得られる。
- ③ F は第一級アルコールである。
- ④ F は第三級アルコールである。
- ⑤ B2 は室温で固体である。
- ⑥ D はヨードホルム反応を起こさない。

**II** 図1に示すように体積 263 mL の容器 A に、酸素( $O_2$ )と二酸化硫黄( $SO_2$ )の物質量比が 1 : 1 の組成の混合気体を入れ、その圧力が 3324 hPa であった。容器 A は閉じたコック C を経て真空の容器 B と連結している。容器 A の温度は  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 、容器 B の温度は  $449\text{ }^\circ\text{C}$  に保たれており実験中は変化しない。容器中の固体、液体および連結部分の体積は無視するものとする。必要であれば図2および図3に示す  $O_2$  と  $SO_2$  の蒸気圧曲線を参考にしなさい。また、図1に示す容器の大きさは実際の大きさを反映していない。

次の各問いに答えなさい。解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。ただし、問1～問3は計算結果のみ記しなさい。

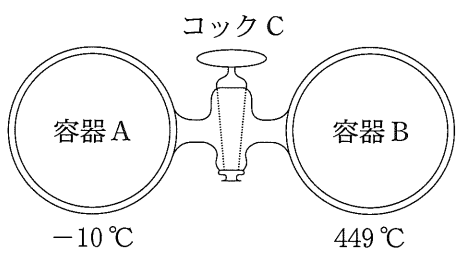
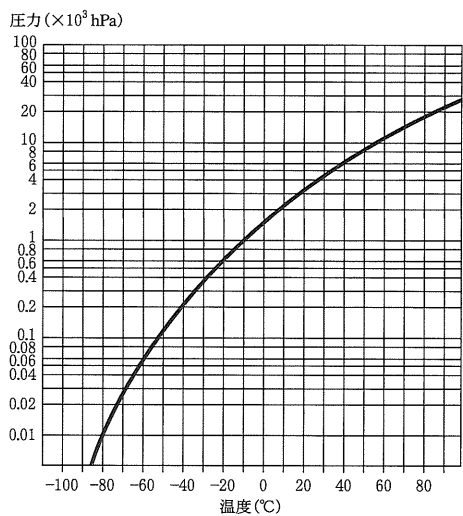
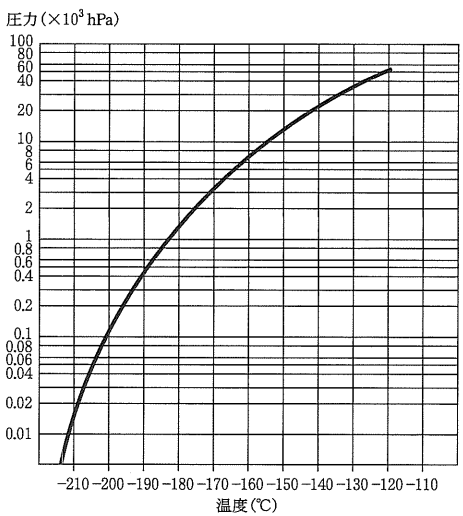


図 1



- 問 1 容器 A 内の  $O_2$  の物質量はいくつになるか。ただし、混合気体は反応していない。
- 問 2 コック C を開いて、容器 B に混合気体を移動させ、容器 A と容器 B の圧力が等しくなった後、コック C を閉じたところ、圧力は 1662 hPa となっていた。容器 B の体積は何 mL か。ただし、混合気体は反応していない。
- 問 3 コック C を閉じたまま容器 B で触媒を作用させ、一定時間反応後、容器 B 内の圧力を測定したところ、1523 hPa であった。この時容器 B 内の  $SO_2$  は何パーセント反応したか。ただし、反応後、容器 B 内では触媒以外の全ての物質は気体であるとする。
- 問 4 問 3 で生成した物質を水と反応させた後、生じた物質を水で希釈した。このとき誤って希釈した物質を木綿の白衣にかけてしまった。かけた直後には白衣に変化は認められなかったが、しばらくすると白衣が黒く焦げたようになり、穴が開いてしまった。この現象はどのような作用によるものか。黒い物体の正体を明記し、80 字以内で説明しなさい。