

# J 4 化 学

この冊子の問題は 1 ページから 15 ページまであります。

## [ 注 意 ]

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。  
また、解答用紙は机の上に裏返しておきなさい。
- (2) 解答は対応する解答欄に記入しなさい。
- (3) 試験開始の指示があったら、直ちに解答用紙の左下の記入欄に志望学科・受験番号を記入し、その後、問題冊子のページ数を確認しなさい。  
ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (4) 本問題冊子は、合計 150 点満点で作成しています。  
100 点満点の場合、150 点満点を 100 点満点に換算します。
- (5) 問題冊子の空白ページは、自由に使用しなさい。
- (6) 試験終了後に、問題冊子を持ち帰りなさい。





全ての問題【1】から【4】の解答を解答用紙に答えなさい。必要であれば次の値を使いなさい。原子量：O = 16, Cu = 63.5, Ca = 40, Cl = 35.5, C = 12, H = 1.0

## 【1】

次の文章を読み、設問(1)～(3)の解答を解答用紙に記入しなさい。(35点)  
必要であれば次の値を用いなさい。気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

(1) 次の文章の空欄(ア)～(カ)にあてはまる文字式を答え、設問(A)～(C)に答えなさい。

体積  $V$  [L] , 温度  $T$  [K] の容器内で、物質質量  $n$  [mol] の気体の圧力を  $p$  [Pa] とし、気体定数を  $R$  とするとき、 $pV =$  (ア) となり、この式を気体の状態方程式と呼ぶ。モル質量  $M$  [g/mol] の気体が  $w$  [g] あるとき、その気体の物質質量  $n$  [mol] は、 $n =$  (イ) となる。(イ) を(ア) に代入すると、 $pV =$  (ウ) となり、 $M =$  (エ) と表せる。気体の密度を  $d$  [g/L] とすると、 $d =$  (オ) となるため、 $M =$  (カ) と表せる。

(A) 27 °C で、容積 16.6 L の真空状態の容器に酸素  $\text{O}_2$  を 16.0 g 入れると、容器内の圧力は何 Pa になるか。有効数字 2 桁の数値で答えなさい。

(B) 27 °C,  $8.3 \times 10^4 \text{ Pa}$  の下で、ある気体 3.6 g の体積は 1.0 L であった。この気体の分子量を求めなさい。整数 (小数第 1 位の数字は四捨五入) で答えなさい。

(C) ある気体の密度を  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $2.40\times 10^5\text{ Pa}$  で測定したところ、 $11.2\text{ g/L}$  であったとき、この気体の分子量を求めなさい。また、 $77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $3.00\times 10^5\text{ Pa}$  でこの気体の密度は何  $\text{g/L}$  か。有効数字 3 桁の数値で答えなさい。

(2) 次の設問に答えなさい。

$25\text{ }^{\circ}\text{C}$  の  $0.400\text{ mol/L}$  のグルコース ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) 水溶液と同温で同じ浸透圧を示す塩化カルシウム ( $\text{CaCl}_2$ ) 水溶液を  $1.00\text{ L}$  つくるには、塩化カルシウムは何  $\text{g}$  必要か。ただし、塩化カルシウムは水溶液中で完全に電離しているものとする。有効数字 3 桁の数値で答えなさい。

(3) 次の設問に答えなさい。

ヘキサン ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )  $17.2\text{ g}$  を  $4.0\text{ L}$  の密閉容器に封入し、 $290\text{ K}$  に保った。このとき、ヘキサンの圧力は何  $\text{Pa}$  か。 $290\text{ K}$  でのヘキサンの飽和蒸気圧は  $2.0\times 10^4\text{ Pa}$  とする。有効数字 2 桁の数値で答えなさい。

## 【2】

次の文章を読み、設問(1)～(4)の解答を解答用紙に記入しなさい。(40点)

- (1) 下の5つの化合物は、すべて難溶性塩であり、かつ同じ溶解度積  $K_{sp}$  の値を持つものとする。それぞれの化合物 0.10 mol を完全に水に溶かす場合、最も多くの水を必要とするものを解答群1から1つ選びなさい。

### 解答群1

- ① AB                      ②  $A_2B$                       ③  $AB_2$                       ④  $AB_3$                       ⑤ ABC

- (2) 緩衝液に関する次の文章を読み、空欄(ア)～(ウ)にあてはまる最も近い値を解答群2から選びなさい。なお、同じ番号を繰り返し選んでもよい。

ある温度において、酢酸 ( $CH_3COOH$ ) の電離定数は  $1.0 \times 10^{-5}$  [mol/L] である。 $CH_3COOH$  とその塩である酢酸ナトリウム ( $CH_3COONa$ ) を純水にそれぞれ 1.0 mol 溶かし、全体の体積が 1.0 L となるように純水を加えて緩衝液を調製した。このときの pH は(ア)である。次に、この緩衝液に純水を加えて全体の体積を 2.0 L にすると、pH は(イ)となった。さらに、純水を加える前の 1.0 L の緩衝液に NaOH を 0.10 mol 加えたところ pH は(ウ)となった。なお、 $\log 8.2 = 0.91$  とする。

### 解答群2

- ① 5.1                      ② 6.8                      ③ 5.0                      ④ 3.2                      ⑤ 6.2

(3) 中和滴定に関する次の文章を読み、空欄(ア)~(ウ)にあてはまる最も近い値を解答群3から選びなさい。なお、同じ番号を繰り返し選んでもよい。

図1は、濃度不明の塩酸(HCl) 25.0 mLを0.10 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液(NaOH)で滴定したときに得られた滴定曲線である。A点におけるpHが(ア)である。NaOH水溶液を15.0 mL添加したとき、溶液中の $[H^+]$ (水素イオン濃度)は(イ)mol/Lとなった。NaOH水溶液を合計で55.0 mL添加したとき、溶液中の $[H^+]$ は(ウ)mol/Lとなった。なお、 $\log 2 = 0.3$ とする。

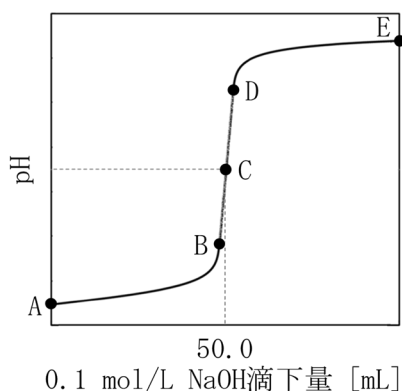


図1. 滴定曲線

解答群3

- ① 0.9      ② 0.8      ③ 0.7      ④ 0.5      ⑤  $8.75 \times 10^{-2}$   
 ⑥  $2.85 \times 10^{-4}$    ⑦  $7.91 \times 10^{-5}$    ⑧  $9.35 \times 10^{-8}$    ⑨  $3.26 \times 10^{-10}$    ⑩  $1.60 \times 10^{-12}$

- (4) 電気分解に関する次の文章を読み、空欄(ア)～(ス)にあてはまる最も適切なものを解答群から選びなさい。なお、同じ解答群から選択する場合には、同じ番号を繰り返し選んでもよい。

図2のように、炭素棒を電極として硫酸銅水溶液を電気分解する。電解槽では、炭素棒Pが(ア)、炭素棒Qが(イ)である。電解反応前の硫酸銅水溶液には(ウ)イオンが含まれており、その(ウ)イオンにより(エ)を呈している。硫酸銅は水中で次のように電離する。



電流を流すと、溶液中の(キ)イオンは陰極へ移動し、そこで(ク)されて金属銅となる。一方、陽極では水が(ケ)されて(コ)が発生する。電気分解が進むと、(サ)イオンが減少するため、溶液の色は薄くなる。電気分解後、陽極付近の溶液に青色リトマス紙を浸すと、(シ)に変わるから、その付近の溶液が(ス)であることがわかる。

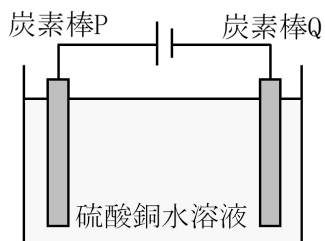


図2. 電解槽

(ア)と(イ)の解答群

- ① 抵抗      ② 電源      ③ 電解質      ④ 陽極      ⑤ 陰極

(ウ), (オ), (カ), (キ), (サ)の解答群

- ①  $\text{Cu}_2\text{SO}_4$       ②  $\text{SO}_4^{2-}$       ③  $\text{Cu}^{2+}$       ④  $\text{Cu}^+$       ⑤  $\text{CuSO}_4$

(エ)と(シ)の解答群

- ① 緑色      ② 赤色      ③ 黄色      ④ 青色      ⑤ 橙色

(ク)と(ケ)の解答群

- ① 中和      ② 電離      ③ 分解      ④ 酸化      ⑤ 還元

(コ)の解答群

- ① 水素      ② 窒素      ③ 酸素      ④ 塩素      ⑤ 炭素

(ス)の解答群

- ① 塩基性      ② 中性      ③ 酸性

### 【3】

次の設問(1)～(3)に答えなさい。

(40点)

(1) 次の文章を読み、設問(A)～(C)の解答を解答用紙に記入しなさい。

17族元素には、フッ素、塩素、臭素、ヨウ素などが含まれ、これらはまとめて(ア)と呼ばれる。17族元素のうち、常温常圧下で(イ)は気体で水と激しく反応して酸素を発生し、(ウ)は液体、(エ)は固体である。(ア)の単体は(オ)として存在し、同一周期の元素の中で最も(カ)電子親和力を示す。(ア)の原子は最外殻に(a)個の価電子を持つため、(b)価の陰イオンになりやすい電子構造をしており、これが反応性の高さや強い酸化力の原因となっている。(ア)は水素と結合して酸を形成するほか、さまざまな酸化物やオキソ酸も生成するなど、化学的性質は非常に多様である。

(A) 文章中の空欄(ア)～(カ)にあてはまる適切な語句を解答群から選びなさい。

(ア)の解答群

- ① ハロゲン      ② アルカリ金属      ③ 典型金属      ④ 遷移元素

(イ)～(エ)の解答群

- ① フッ素      ② 塩素      ③ 臭素      ④ ヨウ素

(オ)と(カ)の解答群

- ① 単原子分子      ② 二原子分子      ③ 多原子分子      ④ 大きい  
⑤ 小さい

(B) 文章中の空欄( a )と( b )にあてはまる適切な数字を記入しなさい。

(C) ハロゲンに関する記述として誤っているものを解答群からすべて選びなさい。

### 解答群

- ① イオン化エネルギーが大きい順  $F > Cl > Br > I$
- ② 酸化力が強い順 フッ素 > 塩素 > 臭素 > ヨウ素
- ③ 沸点の高さ フッ素 < 塩素 < 臭素 < ヨウ素
- ④ ハロゲン化水素の沸点の高さ  $HF < HCl < HBr < HI$
- ⑤ ハロゲン化水素の酸の強さ  $HF > HCl > HBr > HI$
- ⑥ ハロゲンは電子を受け取りやすく、酸化剤として働くことが多い
- ⑦ 塩化ナトリウムはイオン結合している
- ⑧ 塩化水素は共有結合であるが、水に溶けると電離してイオンになる

(2) 以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

18 族元素は、ヘリウム (He)、ネオン (Ne)、アルゴン (Ar)、クリプトン (Kr)、キセノン (Xe)、ラドン (Rn) が存在する。これら 6 種類は、いずれも ( ア ) の気体である。最外殻電子の数は He で ( a ) 個、Ne 以降の周期に属する元素では ( b ) 個であり、この電子配置の安定性が、これらの元素の化学的な不活性に寄与している。18 族元素は、各周期において最も ( イ ) が大きく、この値の大きさも安定した電子配置を反映している。こうした性質により、これらの元素は通常、( ア ) として存在する。しかし、Xe は酸素と同程度の ( イ ) を持つため、化合物を形成する可能性があるとして予測されていた。実際に現在では、Xe の化合物がいくつか合成されている。

(A) 空欄(ア)と(イ)にあてはまる適切な語句を解答群から選びなさい。

(ア)と(イ)の解答群

- ① 沸点                      ② 融点                      ③ 酸化作用              ④ 還元作用
- ⑤ 単原子分子              ⑥ 二原子分子              ⑦ 多原子分子              ⑧ 電子親和力
- ⑨ イオン化エネルギー      ⑩ ファンデルワールス力

(B) 空欄(a)と(b)にあてはまる適切な数字を記入しなさい。

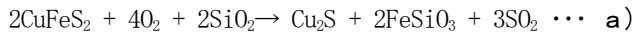
(C) 貴ガスに関する記述として誤っているものを解答群から選びなさい。

解答群

- ① Heは水素に次いで軽く、不燃性であるため、風船や飛行船に使われる
- ② Heは全ての物質の中で最も沸点が低い
- ③ 空気中にはArが約1%含まれている
- ④ Ne以降の周期に属する元素の価電子は8個である
- ⑤ Neを減圧下で放電管に封入し、放電すると赤い光を出す
- ⑥ 常温で無色・無臭の気体である
- ⑦ 安定した電子配置をとっているため、イオンになりにくい

(3) 以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

秋吉台の東に位置する長登銅山では、7世紀終わり頃から8世紀頃に銅の採掘と精錬が行われていたとされ、そこで産出された銅は奈良の大仏の鑄造にも使われたと考えられている。銅の主要な鉱石は黄銅鉱 ( $\text{CuFeS}_2$ ) であり、これにコークス、石灰石、ケイ砂などを加えて溶鉱炉で加熱すると、



の反応により、硫化銅 ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) が得られる。得られた  $\text{Cu}_2\text{S}$  を転炉で酸素を吹き込みながら加熱すると、単体の銅が生成する。このときに得られる銅は粗銅と呼ばれ、不純物を多く含むため、**b) 電解精錬によってさらに純度の高い純銅を得ることができる。**

銅の電解精錬では、陽極に(ア)板、陰極に(イ)板を用い、硫酸酸性の硫酸銅水溶液を電解液として電気分解を行う。このとき、(ウ)極では銅が析出する。一方、粗銅中に含まれる(エ)などの不純物は溶液中に溶け出し、(オ)などの不溶性の金属は(カ)極の下に沈殿する。

(A) 空欄(ア)～(カ)にあてはまる適切な語句を**解答群**から選びなさい。

(ア)と(イ)の解答群

- |      |      |      |      |
|------|------|------|------|
| ① 白金 | ② 炭素 | ③ 純銅 | ④ 粗銅 |
| ⑤ 硫酸 | ⑥ 鉛  |      |      |

(ウ)と(カ)の解答群

- |     |     |
|-----|-----|
| ① 陰 | ② 陽 |
|-----|-----|

(エ)と(オ)の解答群

- ① Ag, Au, Pt      ② Ag, Pt, Ni      ③ Ag, Pt, Fe      ④ Ag, Pt, Zn  
⑤ Fe, Ni, Zn      ⑥ Pt, Fe, Zn      ⑦ Au, Fe, Zn      ⑧ Ag, Fe, Zn

(B) 反応式 a) について、この反応で生じる  $\text{SO}_2$  は接触式硫酸製造法により硫酸を製造するときの原料となる。 $\text{SO}_2$  から硫酸が生じる反応は二段階で起こるが、この二段階の反応式を書きなさい。

(C) 下線部 b) について、5.00 A の電流を 2 時間 40 分 50 秒流したときに析出する銅の質量を求めなさい。有効数字 3 桁の数値で答えなさい。ただし、ファラデー定数は  $F = 96,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$  とする。

## 【4】

次の文章を読み、設問(1)～(7)の解答を解答用紙に記入しなさい。(35点)

トルエンは塗料やインクなどの溶媒として広く使われ、さまざまな産業で利用されている。しかし、多量のトルエンが体内に取り込まれると中毒を起こし、健康被害を生じるおそれがある。そのため、有害なトルエンを、体内でより無害な物質に変えて体外に排出する仕組み(解毒)を理解することがその予防や治療に重要となる。これまでの研究によると、体内に取り込まれたトルエンは主に馬尿酸へと変換され、最終的に体外へ排出されることが明らかになっている(図1)。

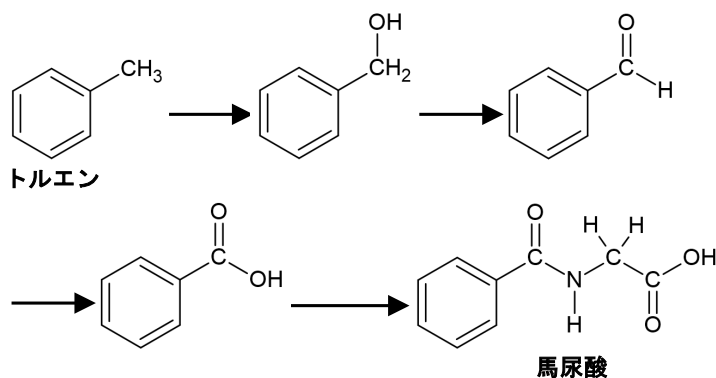


図1. 体内におけるトルエンから馬尿酸への変換経路の概略

一方、このトルエンから馬尿酸への合成を実験室で試みたところ、以下の手順で合成することができた(図2)。

- (ア) トルエンと過マンガン酸カリウム( $\text{KMnO}_4$ )を、塩基性下、 $80\sim 100\text{ }^\circ\text{C}$ で十分な時間反応させた。反応が完了した後、硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )を加えて酸性化した。
- (イ) 生成した[A]と塩化チオニル( $\text{SOCl}_2$ )を $70\text{ }^\circ\text{C}$ 付近で数時間かけて反応させた。
- (ウ) 生成した塩化ベンゾイルとグリシンを塩基性条件下で反応させ、最後に酸性化した。

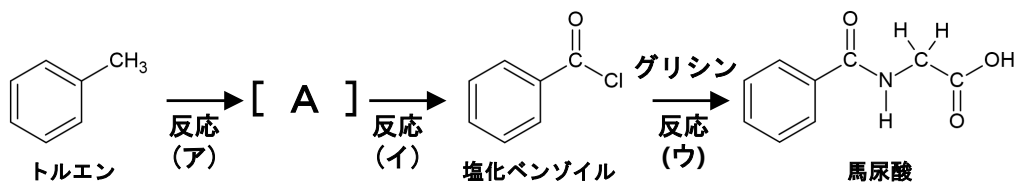
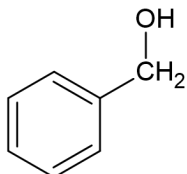


図2. 実験室でのトルエンから馬尿酸の合成経路の一例

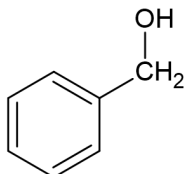
(1) (ア) の反応により得られる主要化合物 [ A ] の名称とその構造式の組み合わせとして、最も適切なものを解答群 1 から選択しなさい。

解答群 1

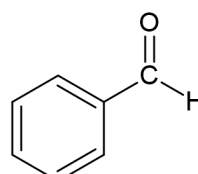
① フェニル酢酸



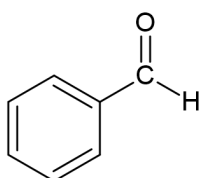
② 安息香酸



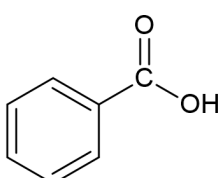
③ フェニル酢酸



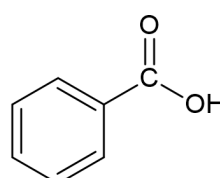
④ 安息香酸



⑤ フェニル酢酸



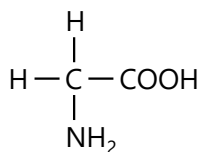
⑥ 安息香酸



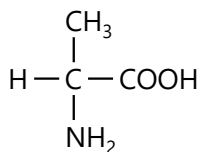
(2) (ウ) の反応で用いたグリシンの構造式 (部分構造式) として、適切なものを解答群 2 から選びなさい。

解答群 2

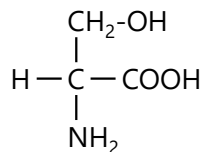
①



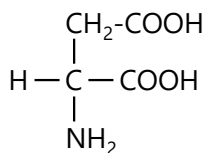
②



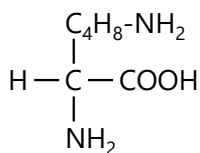
③



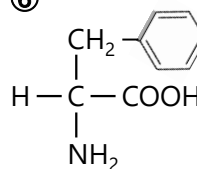
④



⑤



⑥



(3) グリシンに関する記述として適切なものを解答群3から2つ選びなさい。

### 解答群3

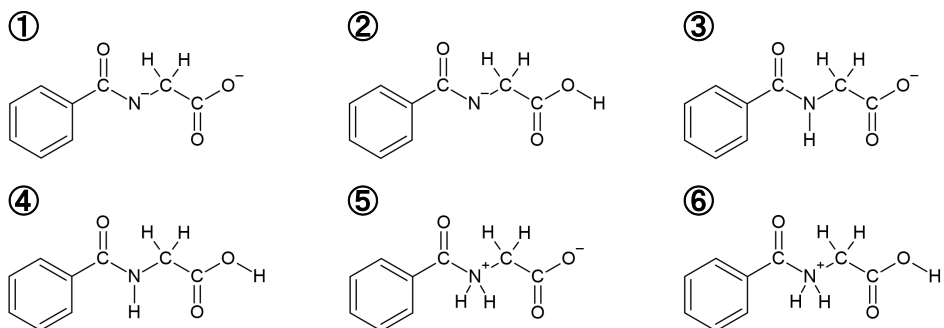
- ① 鏡像異性体が存在しない
- ② 双性（両性）イオンとなるアミノ酸ではない
- ③ グリシン同士で縮合反応が生じてもペプチドを形成しない
- ④ ニンヒドリン溶液を加えて温めても、赤紫～青紫色に変化しない
- ⑤ グリシンのみの溶液でキサントプロテイン反応を行っても、黄色にならない

(4) 解答用紙中の馬尿酸の構造で、アミド結合に相当する部分を囲みなさい。

(5) 反応(ア)～(ウ)にあるように、実験室でトルエンから馬尿酸を合成するには、強い酸化剤や高温条件、酸、塩基が必要となる。一方で、体内では常温・中性付近でも、反応がスムーズに進行する。このように生体内の穏やかな条件でも反応を進める働きをする触媒の総称を漢字2文字で答えなさい。

(6) 体内で生成した馬尿酸は、血液中に入り、最終的に尿中へ排出される。人体における血液のpHは約7.4であり、馬尿酸は約pH 3.7のときに電離度(α)が0.5となる。この事実から判断すると、血液中の馬尿酸はどのような状態となるか(どのような形態が優勢となるか)、最も適切なものを解答群4から選びなさい。

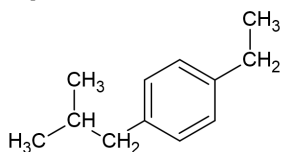
### 解答群4



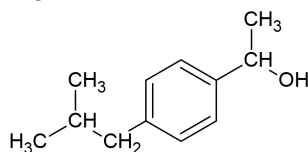
(7) トルエンは脂溶性（親油性）が高いため、体内に取り込まれると主に神経系に作用して有害な影響を及ぼすことが知られている。しかし、トルエンは体内で馬尿酸へと変化すると、水溶性（親水性）が高くなることで神経系への作用が低下し、血液中や尿中に排出されやすくなる。このように、生体は侵入した化学物質の水溶性を高めることで、毒性を下げ、排出を促していると考えられる。そのため、水溶性を指標にすることで、その物質の毒性をある程度予測することが可能といえる。この事実を踏まえ、**解答群5**の各物質を水溶性が高い順に並べ替えなさい。なお、想定する条件は血液中、37 °C、pH 7.4 とする。

### 解答群5

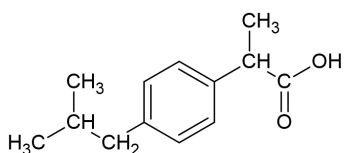
a)



b)



c)



d)

