

# 化 学

## 注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまでこの冊子は開かないこと。
2. この冊子は表紙を除き，21 ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら，掲示または板書してある問題冊子ページ数・解答用紙枚数が，自分に配付された数と合っているか確認し，もし数が合わない場合は手を高く挙げて申し出ること。次に，解答用紙をミシン目に沿って落ち着いて丁寧に別々に切り離し，学部名・受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから，解答を始めること。
4. 解答は，必ず解答用紙の指定された箇所に，問題に指示してある方法で記入すること。
5. 1 ページに原子量・定数が記載してあるので，必要に応じて使用しなさい。
6. 文字，記号，数字などは誤読されないように正確に書くこと。

必要に応じて、次の原子量・定数を使用しなさい。

[原子量]

$$\begin{array}{l} \text{H} = 1.00 \quad \text{C} = 12.0 \quad \text{N} = 14.0 \quad \text{O} = 16.0 \quad \text{F} = 19.0 \\ \text{Na} = 23.0 \quad \text{S} = 32.0 \quad \text{Cl} = 35.5 \quad \text{K} = 39.0 \quad \text{Ag} = 108 \end{array}$$

[気体定数]

$$R = 8.31 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{mol}\cdot\text{K}) = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K}) = 8.31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$$

[アボガドロ定数]

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$$

[電気素量]

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

[ファラデー定数]

$$F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

[水のモル沸点上昇]

$$K_b = 0.515 \text{ K}\cdot\text{kg/mol}$$

[絶対温度]

$$T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273$$

1 以下の問 1～問 8 に答えなさい。

問 1 0.20 mol/kg 硫酸ナトリウム水溶液の沸点上昇[K]を求め、以下の(a)～(e)の中から選び記号で解答しなさい。

- (a) 0.15      (b) 0.21      (c) 0.26      (d) 0.31      (e) 0.36

問 2 密度が  $10 \text{ g/cm}^3$  のある架空の金属が、体心立方格子の結晶構造をとり、その単位格子一辺の長さが  $3.0 \times 10^{-8} \text{ cm}$  だったとする。単位格子中の原子の数は 2 個であることから、その金属の原子量を計算し、次の(a)～(e)の中から選び記号で解答しなさい。

- (a) 36      (b) 48      (c) 64      (d) 81      (e) 193

問 3 無極性分子の組み合わせを次の(a)～(e)の中から選び記号で答えなさい。

- (a)  $\text{NH}_3$  と  $\text{H}_2\text{O}$       (b)  $\text{Cl}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$       (c)  $\text{CO}_2$  と  $\text{Cl}_2$   
(d)  $\text{NH}_3$  と  $\text{Cl}_2$       (e)  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$

問 4 以下の(a)～(e)の文章を読み、正しいものを一つ選び記号で解答しなさい。

- (a) 自由電子による金属原子間の結合を金属結合といい、自由電子の存在により金属結晶には電気伝導性があるが、金属結合以外の結合によってできた結晶には電気伝導性はない。
- (b) イオンからなる物質は、全て水に溶解しやすい。
- (c) 水素化合物の沸点を同族で比較すると分子量が大きくなる程、沸点が高い。
- (d) アンモニウムイオンに含まれている一つの配位結合は、分子中の他の共有結合とできる仕組みが異なるが、できた結合の性質は他の共有結合と全く同じで区別できない。
- (e) 水分子中では、水素原子はヘリウム原子と同じ安定な電子配置に、酸素原子は、アルゴン原子と同じ安定な電子配置になっている。

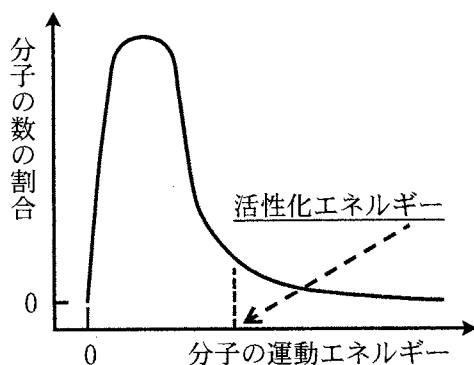
問 5 圧力  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  にて、窒素  $0.10 \text{ mol}$ 、 $2.5 \text{ L}$  が水に溶解した。ヘンリーの法則に基づくと、同じ温度で圧力を  $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  にした時、その圧力下で同量の水に溶解する窒素の物質質量と体積の組み合わせとして正しいものを次の(a)~(d)の中から選び記号で答えなさい。

- (a)  $0.10 \text{ mol}$  と  $2.5 \text{ L}$                       (b)  $0.20 \text{ mol}$  と  $5.0 \text{ L}$   
(c)  $0.20 \text{ mol}$  と  $2.5 \text{ L}$                       (d)  $0.10 \text{ mol}$  と  $5.0 \text{ L}$

問 6 溶質が不揮発性物質の希薄溶液では同じ温度の純溶媒よりも蒸気圧が低くなる。この「蒸気圧降下」に最も関係の深い原理もしくは法則を次の(a)~(d)の中から選び記号で答えなさい。

- (a) ヘスの法則                                      (b) ルシャトリエの原理  
(c) シャルルの法則                                (d) ラウールの法則

問 7 次の図はある温度におけるある気体分子の運動エネルギーの分布を模式的に表したものである。化学反応では一般に高温にしたり，触媒を用いたりすると反応速度が大きくなるが，その大きな理由として適切なものを，以下の(a)~(d)の中から選び記号で答えなさい。

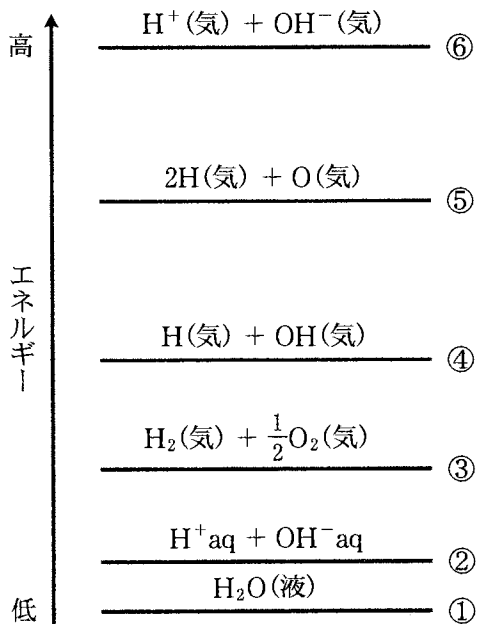


- (a) 高温にすると活性化エネルギーよりも運動エネルギーの大きい分子の割合が増え，また触媒を用いると活性化エネルギーが小さくなるため。
- (b) 高温にすると活性化エネルギーよりも運動エネルギーの小さい分子の割合が増え，また触媒を用いると活性化エネルギーが大きくなるため。
- (c) 高温にすると活性化エネルギーが小さくなり，また触媒を用いると活性化エネルギーよりも運動エネルギーの大きい分子の割合が増えるため。
- (d) 高温にすると活性化エネルギーが大きくなり，また触媒を用いると活性化エネルギーよりも運動エネルギーの小さい分子の割合が増えるため。

問 8 80.0℃で圧力 $1.00 \times 10^5$  Paの窒素の入った体積10.0 Lの容器に水を0.100 mol 加えて密閉した。その後、温度を保ったまま容器の体積を5.00 Lにゆっくり減少させた。この時の容器中の全圧を計算し、最も近いものを次の(a)~(d)の中から選び記号で答えなさい。ただし、水の飽和蒸気圧は80.0℃で $4.70 \times 10^4$  Pa、気体は理想気体とし、液体の体積および窒素の水への溶解は無視する。

- (a)  $1.29 \times 10^5$  Pa                      (b)  $1.47 \times 10^5$  Pa  
(c)  $2.47 \times 10^5$  Pa                      (d)  $2.59 \times 10^5$  Pa

- 2 次の図は、水素や酸素およびその化合物やイオンについて、六つの状態(図中の①～⑥)をエネルギーの高いものは上に、低いものは下に並べて表したものである。ただし、各化学式の前の係数(1は省略)はその物質量を表し、また状態間の間隔はエネルギーの差に必ずしも比例していない。図を参考にして、以下の問1～問3に答えなさい。



問 1 状態①と②に関して，以下の(1)~(2)に答えなさい。

- (1) 状態①と②のエネルギー差を見積もる実験を二つの水溶液を用いて行いたい。以下の(a)~(f)の中から最も適切なもの二つを選び記号で答え，併せてその理由を 50 字程度で説明しなさい。

選択肢

- |                                 |                               |                                  |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| (a) $\text{CH}_3\text{COOH aq}$ | (b) $\text{NaOH aq}$          | (c) $\text{NH}_3 \text{aq}$      |
| (d) $\text{HCl aq}$             | (e) $\text{NH}_4\text{Cl aq}$ | (f) $\text{CH}_3\text{COONa aq}$ |

- (2) 水中では， $\text{H}^+$  と  $\text{OH}^-$  はそれぞれ  $\text{H}_2\text{O}$  とどのように相互作用しているか 40 字程度で説明しなさい。



問 2 熱量やエネルギーの計算に関して、以下の(1)~(3)に答えなさい。

- (1) 以下に示す諸データを利用して、状態④と⑥のエネルギー差を計算して絶対値で答えなさい。ただし、全てのデータを用いるとは限らない。

データ(単位はすべて kJ/mol)			
(1) H(気)のイオン化エネルギー	1311	(2) OH(気)の電子親和力	176
(3) H(気)の電子親和力	72	(4) OH(気)のイオン化エネルギー	1252

- (2) 以下に示す結合エネルギーのデータを利用して、状態③と④のエネルギー差を計算して絶対値で答えなさい。計算過程も示しなさい。

結合エネルギー(単位はすべて kJ/mol)			
(1) H <sub>2</sub> (気)	432	(2) O <sub>2</sub> (気)	494
		(3) OH(気)	424

- (3) 圧力  $1.0 \times 10^5$  Pa の下で、H<sub>2</sub>(気)2.00 mol と O<sub>2</sub>(気)1.00 mol を 25.0 °C にて混合した後、完全に反応させた。反応終了後の生成物は H<sub>2</sub>O(気)で温度は 100.0 °C であった。以下に示す諸データ(生成熱および蒸発熱の単位は kJ/mol, 比熱の単位は kJ/(K·mol))を利用して発生した熱量を計算し、有効数字 3 桁で答えなさい。計算過程も示しなさい。ただし、全てのデータを用いるとは限らない。

データ(生成熱および蒸発熱の単位は kJ/mol, 比熱の単位は kJ/(K·mol), 括弧の中の温度はデータが使用できる温度範囲を示す)			
(1) H <sub>2</sub> O(液)の比熱(25 ~ 100 °C)	0.0750	(2) H <sub>2</sub> O(気)の比熱(25 ~ 100 °C)	0.0340
(3) H <sub>2</sub> O(気)の 25 °C での生成熱	242.0	(4) H <sub>2</sub> O(液)の 100 °C での蒸発熱	41.0
(5) H <sub>2</sub> O(液)の 25 °C での生成熱	286.0	(6) H <sub>2</sub> O(液)の 25 °C での蒸発熱	44.0

問 3 状態①, ②および③に関して, 以下の(1)~(4)に答えなさい。

(1) 次の文章中の㉑~㉔に最も適切な語句をそれぞれの選択肢の中から選び記号で答えなさい。

状態①と③の関わる燃料電池の全体の反応は(㉑) : (a) 水の電気分解, (b) 水素の燃焼反応, (c) 酸と塩基の反応, (d) 水の電離と同じであるが, 電流を取り出すために(㉒) : (a) 酸化, (b) 還元, (c) 酸化還元, (d) 中和)反応が(㉓) : (a) 同じ, (b) 別々の場所で起こるように工夫したものである。

(2) 水を電気分解したい。以下の(a)~(e)の中から水に加える物質として適切なものを選び記号で答えなさい。正解は一つとは限らない。

選択肢

- |                       |                                     |                       |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| (a) NaCl              | (b) NaOH                            | (c) AgNO <sub>3</sub> |
| (d) CuCl <sub>2</sub> | (e) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                       |

(3) 電流 0.50 A で 60 min, 水の電気分解を行った。このとき電気分解された水の物質量を計算し, 有効数字を考慮して答えなさい。計算過程も示しなさい。

(4) 以下の(a)~(d)の中から正しいものを一つ選び記号で答えなさい。

選択肢

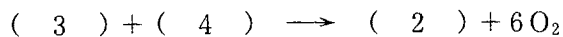
- (a) 水素を使う燃料電池では、状態①と③の化学エネルギー差以上の電気エネルギーを取り出すことができる。
- (b) 水の電気分解に必要な電気エネルギーは、状態①と③の化学エネルギー差より小さくできる。
- (c) 燃料電池の反応にはイオンは関与しない。
- (d) 希硫酸の電気分解では、陽極付近の水溶液の pH は小さくなる。

試験問題は次に続く。

**3** 以下の問1～問3に答えなさい。

問1 次の文章中の( 1 )～( 6 )には、当てはまる適切な分子式等を、必要な場合は係数をつけて答えなさい。( 7 )～( 12 )には語句を答えなさい。

糖類は、自然数  $m$  と  $n$  を用いると一般に( 1 )で表すことができる(例外もある)。糖類の一種であるグルコース( 2 )は、植物の光合成により作られ、その化学反応式は下記となる。



工業的にはデンプン( 5 ) <sub>$n$</sub> ( $n$ は自然数)から作られ、その化学反応式は下記となる。



グルコースの構造異性体には、最も甘味の強い糖で果物や蜂蜜に含まれる( 7 )があり、立体異性体にはラクトースが加水分解されて生じる( 8 )がある。水溶液中で( 7 )は、鎖状構造と( 9 )構造と( 10 )構造との平衡状態で存在し、鎖状構造を除く2つはそれぞれ( 11 )型と( 12 )型をとりえるため、計5種の構造が存在する。

問 2 次の文章中の( 1 )～( 13 )に当てはまる適切な化学式または語句を答えなさい。

あるタンパク質の溶液に、水酸化ナトリウム水溶液を加え塩基性にした後、硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると赤紫色を呈した。これを( 1 )反応といい、2個以上の( 2 )結合を持つ場合に見られる。

また、あるタンパク質の水溶液に、濃硝酸を加えて熱すると黄色になり、さらにアンモニア水などを加えて塩基性になると橙黄色になった。この反応を( 3 )反応といい、ベンゼン環が( 4 )化されて起こる。

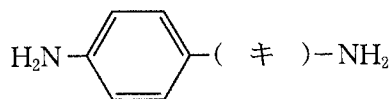
タンパク質やアミノ酸中の  $-NH_2$  は赤紫～青紫に呈色する( 5 )反応によって検出できる。

タンパク質を主成分とする生体内で働く触媒を( 6 )、それが作用する特定の物質を( 7 )といい、両者は複合体を形成し反応が進行する。( 6 )は熱の影響を受け、反応速度が最大となる温度を( 8 )といい、一般に、 $35 \sim 40^\circ\text{C}$  付近である。それより高温になると( 9 )することが多いが、それはタンパク質が( 10 )するからである。また( 6 )は pH の影響も受け、反応速度が最大となる pH を( 11 )といい、pH7 付近であることが多いが、胃液に含まれる( 12 )は pH2 付近、すい液に含まれる( 13 )は pH8 付近である。

問 3 次の文章を読み、下の(1)~(6)の問に答えなさい。

医薬品の中には体内に侵入した病原菌などに対して抗菌作用を持つものと、病気の症状を緩和するものがある。前者の例に、スルファニルアミドとその誘導体である(ア)剤と、ペニシリンに代表される(イ)物質がある。ペニシリンは(ウ)の周囲にブドウ球菌が生育しないことから発見され、(エ)の形成を妨げて抗菌作用を示すことが分かり(ウ)の学名にちなんで命名された。後者は(オ)療法薬といわれ、その代表例に解熱鎮痛薬があり、国内では(カ)などがその成分として使われている。

- (1) (ア)および(イ)に入る適切な語句を答えなさい。
- (2) (ウ)に入る適切な語句を次の選択肢より選び記号で答えなさい。
- (a) アカカビ (b) アオカビ (c) コウジカビ  
(d) ケカビ (e) クモノスカビ
- (3) (エ)に入る適切な語句を次の選択肢より選び記号で答えなさい。
- (a) 細胞壁 (b) 細胞膜 (c) 細胞質  
(d) リボソーム (e) 核酸
- (4) (オ)に入る適切な語句を次の選択肢より選び記号で答えなさい。
- (a) 化学 (b) 生物 (c) 対病  
(d) 対症 (e) 即応
- (5) (カ)に入る適切な語句を次の選択肢より選び記号で答えなさい。
- (a) エタノール (b) 酢酸カリウム (c) アスコルビン酸ナトリウム  
(d) 安息香酸ナトリウム (e) アセチルサリチル酸
- (6) 次の図はスルファニルアミドの構造式である。(キ)に入る適切な化学式を下の選択肢より選び記号で答えなさい。

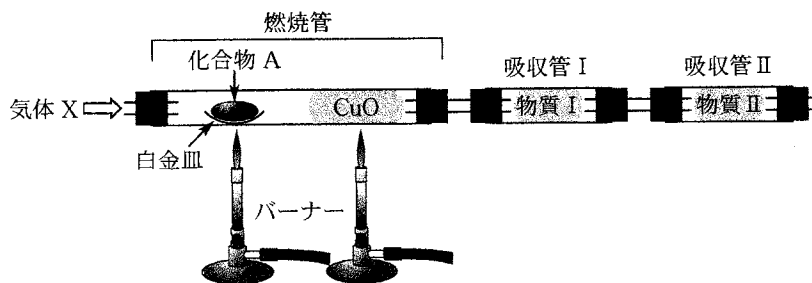


- (a) CO (b) CH<sub>2</sub> (c) SO (d) SO<sub>2</sub> (e) NO

試験問題は次に続く。



4 元素分析とは、物質を構成する元素の種類と割合を決定する操作である。図のような装置を利用して炭素・水素・酸素のみから成る有機化合物 A を燃焼させ、得られた各成分を吸収管に別々に吸収させることで元素分析を行った。以下の問 1～問 7 に答えなさい。



問 1 次の記述のうち正しいものをすべて選び記号で答えなさい。

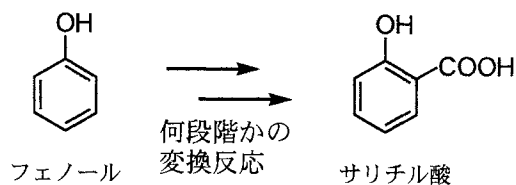
- (a) 燃焼管の中に酸化銅(II)  $\text{CuO}$  を入れるのは、試料中の炭素成分を完全燃焼させるためである。
- (b) 燃焼管の中に酸化銅(II)  $\text{CuO}$  を入れるのは、試料中に存在する炭素・酸素・水素以外の成分を除去するためである。
- (c) 燃焼管に通気する気体 X は酸素  $\text{O}_2$  であり、乾燥している必要がある。
- (d) 燃焼管に通気する気体 X は窒素  $\text{N}_2$  であり、乾燥している必要がある。
- (e) 燃焼管に通気する気体 X は空気であり、多少なら水分を含んでいてもよい。

問 2 吸収管 I および II にそれぞれ詰めるべき物質の名称と、それらの管で吸収される物質名を答えなさい。

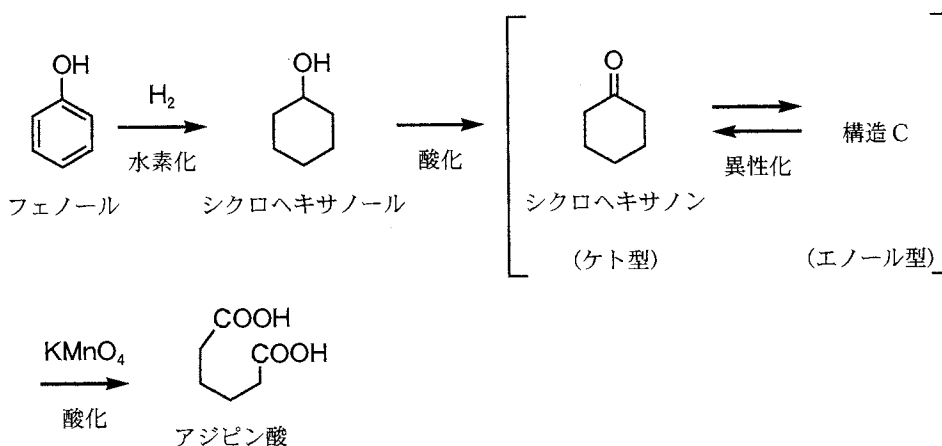
問 3 実験の結果、化合物 A の組成式は  $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$  であると分かった。A の分子量が 94.0 であり、実験に利用した試料の質量が 23.5 mg の時、吸収管 II の質量はどれだけ増加していたと予想されるか。有効数字を考慮して解答しなさい。計算過程も示しなさい。

問 4 化合物 A にはいくつかの候補構造が考えられるため、化合物の性質を調べる実験を行った。まず、化合物 A と金属ナトリウムを反応させたところ気体 Y が発生した。また、化合物 A に試薬 B の水溶液を添加したところ紫色に呈色した。これらのことから化合物 A はフェノールであると断定した。気体 Y および試薬 B の化学式を答えなさい。

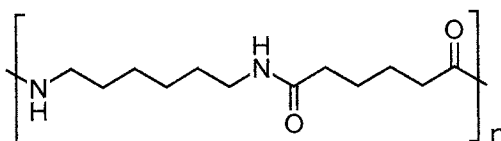
問 5 フェノールは、下の図に示すように、何段階かの反応を経てサリチル酸へと変換できる。サリチル酸にはヒドロキシ基とカルボキシ基の 2 種類の官能基が存在する。サリチル酸に炭酸水素ナトリウム水溶液を添加すると、二つの官能基のうち一方のみがイオン化して溶解する。二つの官能基と炭酸の酸性の強さの違いという視点から、このイオン化したサリチル酸の構造を予想し解答欄に示しなさい。



問 6 フェノールは、下の図に示すような経路によってアジピン酸へと変換することも可能である。具体的には、フェノールを水素化することによってシクロヘキサノールを得、これを酸化することでシクロヘキサノンが生成する。このシクロヘキサノンは一部がケト型からエノール型へと異性化した構造 C を取っており、このエノール型の構造 C が過マンガン酸カリウムによって酸化されると環構造が開裂し、アジピン酸へと変換されることとなる。シクロヘキサノンがケト型からエノール型へと変換した C の構造を予想し解答欄に示しなさい。



問 7 アジピン酸はヘキサメチレンジアミンと交互に連結した下の図のような繰り返し基本構造 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2$ ) が線状に高分子化することで、合成高分子の一種であるナイロン 66 へと変換される。今、ナイロン 66 の分子内に  $5.8 \times 10^2$  個のアミド結合が存在する時、この高分子の分子量はいくつになるか計算しなさい。解答欄にはその計算過程を記し、分子量は有効数字を考慮して解答しなさい。ただし、繰り返し基本構造の分子量は 226 であるとする。



ナイロン 66 の繰り返し基本構造

試験問題は次に続く。

- 5 次の文章を読み、下の問1～問4に解答しなさい。なお、計算にはCuの原子量として64、 $\text{CuSO}_4$ の式量として160、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の式量として250を用いなさい。

細かく切断した銅線12.8gを丸底フラスコに入れ、濃硫酸22mLを静かに注ぎ入れた。三脚にセラミック付き金網を乗せた上に、その丸底フラスコを設置した。丸底フラスコの口にはシリコン栓をし、そこからガラス管およびチューブを用いて、洗気びんに接続した。洗気びんにはあらかじめ10mol/L水酸化ナトリウム水溶液40mLを入れておき、丸底フラスコから導かれた気体が水酸化ナトリウム水溶液に吸収されるように実験器具を調節した。

ガスバーナーに点火し、緩やかに加熱したところ、丸底フラスコ内で反応が始まり、ガスが発生した。丸底フラスコ内の液体の殆どが反応してほぼ固体だけになったところで、加熱をやめ放冷した。丸底フラスコに蒸留水100mLを入れて温め、内容物をできるだけ溶解した後に速やかにろ過をして、青色の溶液を得た。その溶液を室温(20℃)まで放冷すると硫酸銅(Ⅱ)五水和物( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )の結晶が析出した。また、洗気びんの中を見ると透明な結晶が析出していた。

- 問1 丸底フラスコ内および洗気びん内で進行した反応をそれぞれ化学反応式で示しなさい。
- 問2 希硫酸ではなく濃硫酸を用いた理由、また、加熱によって丸底フラスコ内の反応が進行した理由を「イオン化傾向」、「酸化力」という語句を用いて60字程度で説明しなさい。
- 問3 実験に用いた銅の80.0%が硫酸銅(Ⅱ)( $\text{CuSO}_4$ )に変化したとする。ろ過操作中の損失などを考えない場合、析出した $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ は、何gと計算できるか。ただし、 $\text{CuSO}_4$ は、20℃の水100mLに20g溶けるものとする。解答欄には計算過程も記し、小数第1位まで答えなさい。

問 4 結晶を取り出した残りの硫酸銅(Ⅱ)水溶液を3本の試験管 a, b, c に分けとり, a と b には水酸化ナトリウム水溶液を加えて青白色の  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  を沈殿させた。以下の(1)~(4)の実験を行った時に, 試験管内で起こる反応を化学反応式または, イオン反応式で書きなさい。また, (1)と(4)は生じた沈殿の色として最も適切なものを, (2)と(3)は, 反応後の溶液の色として最も適切なものを下の選択肢(ア)~(キ)から選び記号で答えなさい。同じ選択肢を複数回用いてもよい。

- (1) a の試験管を穏やかに加熱した。
- (2) (1)の操作ののち, 希硫酸を加えた。
- (3) b の試験管にアンモニア水を過剰に加えた。
- (4) c の試験管に硫化水素を通じた。

選択肢

- |         |         |         |        |
|---------|---------|---------|--------|
| (ア) 黒色  | (イ) 赤色  | (ウ) 青色  | (エ) 白色 |
| (オ) 深青色 | (カ) 赤褐色 | (キ) 緑白色 |        |