

'23

前期日程

# 化 学

(理 工 学 部)

## 注 意 事 項

問題(①～⑤)の全てに解答してください。

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は1冊(23頁)、解答用紙は5枚、下書用紙は1枚です。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。



問題を解くにあたって、必要ならば次の値を用いよ。

原子量	<b>C</b> = 12	<b>Cl</b> = 35.5	<b>Fe</b> = 56	<b>H</b> = 1.0
	<b>N</b> = 14	<b>Na</b> = 23	<b>O</b> = 16	<b>S</b> = 32

理想気体のモル体積 22.4 L/mol (0 °C,  $1.01 \times 10^5$  Pa)

気体定数  $8.3 \times 10^3$  Pa·L/(K·mol)

アボガドロ定数  $6.02 \times 10^{23}$ /mol

ファラデー定数  $9.65 \times 10^4$  C/mol

1

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

物質には、固体、液体、気体の3つの状態がある。その状態にかかわらず、物質を構成する粒子は常に  をしている。物質の状態は、物質を構成する粒子間にはたらく引力と  との大小関係によって決まる。例えば、分子からなる物質では、分子の間に互いに引き合う力がはたらき、分子どうしは集合しようとする。一方、物質を加熱し、その温度を高くすると、分子の  は激しくなり、分子どうしはバラバラになろうとする。温度の上昇に伴い、この傾向が大きくなることによって、物質は固体から液体や気体へと状態変化する。

問1 空欄  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 下線部の力を2つに分類するとき、それら2つの力の名称を記せ。

問3 物質の状態およびその変化に関する①～⑦の文章のうち、正しいものを3つ選び、その番号を記せ。

- ① 固体が液体を経ずに直接気体になる変化を昇華という。
- ② 気体1 molが液体になるときに吸収する熱量を凝縮熱という。
- ③ 固体と液体と気体が共存している状態を超臨界状態という。
- ④ 分子量が同じであれば、異なる物質でもそれらの沸点は同じになる。
- ⑤ 一般に、圧力一定のもとでは純物質の沸点と凝固点は等しい。
- ⑥ 一般に、圧力一定のもとでは物質の蒸発熱は融解熱よりも大きい。
- ⑦ 一般に、分子結晶に比べてイオン結晶のほうが大きい融解熱をもつ。

問 4 次の水素化合物①～④を沸点の高い順に並べ、番号を記せ。

① HBr

② HCl

③ HF

④ HI

問 5 1気圧のもとで60℃の水10gが120℃の水蒸気になるのに吸収される熱量は何Jか、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。ただし、1gの液体の水の温度を1K上昇させるために必要な熱量は4.2J、1gの水蒸気の温度を1K上昇させるために必要な熱量は2.1J、水の100℃での蒸発熱を41kJ/molとする。

(2) 次の文章を読んで、問1～問7の答を解答欄に記入せよ。

物質が液体に均一に混じりあうことを溶解といい、溶けている物質のことを  
[ ア ] ，溶かしている液体を [ イ ] ，溶解によってできた混合物を溶液という。水が [ イ ] の場合は、水溶液という。塩化ナトリウムや硫酸ナトリウムのような [ ウ ] は水に溶けやすい。固体の塩化ナトリウムを水に溶解させると、ナトリウムイオンと塩化物イオンに [ エ ] する。このとき、ナトリウムイオンや塩化物イオンは、水分子によって取り囲まれている。

一方、シヨ糖やエタノールは [ オ ] であり、塩化ナトリウムのように [ エ ] しないが、水によく溶ける。これはシヨ糖やエタノール分子にある [ カ ] 基が、水分子によって取り囲まれるためである。

問1 空欄 [ ア ] ～ [ オ ] に当てはまる最も適切な語句を次の①～⑧からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。ただし、同じ番号を複数回選んではならない。

- |       |        |      |      |
|-------|--------|------|------|
| ① 極性  | ② 無極性  | ③ 溶媒 | ④ 溶質 |
| ⑤ 電解質 | ⑥ 非電解質 | ⑦ 電離 | ⑧ 潮解 |

問2 下線部の現象を何と呼ぶか答えよ。

問3 空欄 [ カ ] に当てはまる官能基の名称を記せ。

問4 固体の塩化ナトリウムを水に溶かしていくと、ある一定量以上は溶けなくなり、一部が固体のまま残った状態になる。この状態の溶液を何と呼ぶか答えよ。

問 5 同じ質量モル濃度の硫酸ナトリウム，塩化ナトリウムおよびシヨ糖の希薄な水溶液において，凝固点降下度の大きいものから順に並んでいるものを，次の①～⑥から1つ選び，その番号を記せ。

- ① 硫酸ナトリウム > シヨ糖 > 塩化ナトリウム
- ② シヨ糖 > 硫酸ナトリウム > 塩化ナトリウム
- ③ 塩化ナトリウム > シヨ糖 > 硫酸ナトリウム
- ④ シヨ糖 > 塩化ナトリウム > 硫酸ナトリウム
- ⑤ 硫酸ナトリウム > 塩化ナトリウム > シヨ糖
- ⑥ 塩化ナトリウム > 硫酸ナトリウム > シヨ糖

問 6 1.000 mol/Lの塩化ナトリウム水溶液の作り方を説明した文章として，最も適切なものを，次の①～④から1つ選び，その番号を記せ。

- ① 1.000 molの塩化ナトリウムをビーカーにはかり取り，適量の水で完全に溶かした後に，1000 mLのメスシリンダーにすべて移す。1000 mLの目盛りまで水を加え，よく混ぜる。
- ② 1000 mLのメスフラスコの標線まで水を加えた後に，1.000 molの塩化ナトリウムを2回に分けて加え，栓をして完全に溶けるまで混ぜる。
- ③ 1.000 molの塩化ナトリウムをビーカーにはかり取り，適量の水で完全に溶かした後に，1000 mLのメスフラスコにすべて移す。標線まで水を加え，栓をして混ぜる。
- ④ 1.000 molの塩化ナトリウムをビーカーにはかり取り，メスフラスコではかり取った1000 mLの水を加え，塩化ナトリウムが完全に溶けるまで混ぜる。

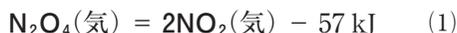
問 7 ショ糖 3.42 g を水 6.84 g に溶解して得られたショ糖水溶液の質量パーセント濃度を求め、有効数字 3 桁で答えよ。また、この溶液中の水分子の数はショ糖分子の数の何倍になるか求め、整数で答えよ。ただし、ショ糖の分子量は 342 とする。



2

(1) 次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。

気体の四酸化二窒素  $\text{N}_2\text{O}_4$  から二酸化窒素  $\text{NO}_2$  が生じる反応の熱化学方程式は次の(1)式で表される。



この反応は  反応である。密閉容器に  $\text{N}_2\text{O}_4$  を入れ、温度を 313 K に保つと  $\text{N}_2\text{O}_4$  の一部が解離して  $\text{NO}_2$  が生じて平衡状態となる。



(2)式の反応の濃度平衡定数を  $K_c$  とする。温度を一定に保ったまま、この密閉容器を圧縮して体積を半分にすると  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は  。このとき  $K_c$  の値は圧縮前に比べて  。次に、温度を一定に保ったまま容器の体積をもとに戻したのち、圧力を変えずに加熱すると  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は加熱する前に比べて  。このとき  $K_c$  の値は加熱する前に比べて  。温度を 313 K に戻し、全圧一定のまま Ar ガスを容器内に加えると、容器の体積は Ar ガスを加える前に比べて増加する。このとき  $\text{N}_2\text{O}_4$  の分子の数は  。また  $K_c$  の値は  。

体積  $V[\text{L}]$  の密閉容器に  $\text{N}_2\text{O}_4$  を 1.0 mol 入れた。  $\text{N}_2\text{O}_4$  のモル濃度を  $[\text{N}_2\text{O}_4]$ 、  $\text{NO}_2$  のモル濃度を  $[\text{NO}_2]$  で表すと、(2)式の反応の濃度平衡定数は

$$K_c = \text{  }$$

と表すことができる。  $\text{N}_2\text{O}_4$  の  $x[\text{mol}]$  が反応したとすると

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = \text{  }, [\text{NO}_2] = \text{  }, K_c = \text{  } \text{ と表される。}$$

問 1 空欄  に当てはまる最も適切な語句を次の①～④から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 置換                      ② 付加                      ③ 発熱                      ④ 吸熱

問 2 空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を次の①～③からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。なお、同じ番号を複数回選んでもよい。

- ① 増える(大きくなる)                      ② 変わらない  
③ 減る(小さくなる)

問 3 空欄  に入る式を記せ。また、空欄  ～  に入る式を  $x$  と  $V$  を用いて記せ。

問 4 313 Kにおける濃度平衡定数は  $K_c = 1.6 \times 10^{-2}$  mol/Lである。体積  $V = 25$  Lのとき、平衡状態にある  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  および  $[\text{NO}_2]$  を求め、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。必要であれば、 $\sqrt{41} = 6.4$  の値を用いよ。

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

過酸化水素は、反応する相手によって酸化剤としてはたらいたり、還元剤としてはたらいたりする。<sup>a</sup> 硫酸で酸性にした過酸化水素水にヨウ化カリウムの水溶液を加えると、ヨウ素が生じ、水溶液は無色から  に変わる。一方、過酸化水素水に硫酸で酸性にした過マンガン酸カリウムの水溶液を加えると、<sup>b</sup> 気体の  が発生する。この酸化還元反応でマンガン原子の酸化数は、  から  に変化する。

酸化還元反応を利用すると、濃度がわからない酸化剤または還元剤の濃度を求めることができる。<sup>c</sup> 濃度不明の過酸化水素水をコニカルビーカーに20.0 mL入れ、硫酸を加えて酸性にした。この水溶液に $2.00 \times 10^{-2}$  mol/Lの過マンガン酸カリウムの水溶液を、ビュレットを用いて滴下したところ、12.0 mL加えたところで、過酸化水素と過マンガン酸カリウムは過不足なく反応した。

問1 空欄  ,  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 空欄  ,  に当てはまる酸化数を記せ。

問3 下線部 a について、過酸化水素が酸化剤としてはたらくときの反応と、ヨウ化カリウムが還元剤としてはたらくときの反応を、電子  $e^-$  を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。

問 4 下線部 b について，発生した気体を水上置換で捕集した。捕集された気体は，温度  $27^{\circ}\text{C}$ ，圧力  $1.04 \times 10^5 \text{ Pa}$  で体積  $16.6 \text{ mL}$  であった。発生した気体の物質量は何 mol か，有効数字 2 桁で答えよ。また，計算過程も示せ。ただし，捕集された気体には発生した気体と飽和した水蒸気のみが含まれており，これらの気体はいずれも理想気体とみなし，発生した気体の水への溶解は無視できるものとする。

なお，気体定数は  $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$  とし， $27^{\circ}\text{C}$  における水の飽和蒸気圧は  $4.0 \times 10^3 \text{ Pa}$  とする。

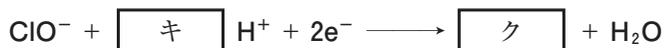
問 5 下線部 c について，濃度不明の過酸化水素水のモル濃度を求め，有効数字 3 桁で答えよ。また，計算過程も示せ。

3

(1) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

ハロゲンの単体は二原子分子からなり、有色で強い毒性をもつ。塩素は常温で光により水素と爆発的に反応する気体であるが、は低温・暗所でも水素と爆発的に反応する気体である。また常温において、は赤褐色の液体であり、は昇華性のある黒紫色の固体である。ハロゲンの単体は他の物質から電子を奪う力、すなわち力が大きい。

塩素のオキソ酸が複数知られているが、その酸の強さはオキソ酸中のほど強く、またオキソ酸1分子中のほど強い。塩素のオキソ酸の1つである次亜塩素酸のナトリウム塩は、漂白や殺菌消毒に用いられている。これは水溶液中で次のように次亜塩素酸イオンが作用を示すためである。



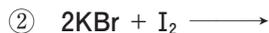
問1 空欄～に当てはまる物質の名称を記せ。また、空欄に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 空欄, に当てはまる語句を①～④からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。

- |              |              |
|--------------|--------------|
| ① 塩素の酸化数が小さい | ② 塩素の酸化数が大きい |
| ③ 酸素の酸化数が小さい | ④ 酸素の酸化数が大きい |

- |              |            |
|--------------|------------|
| ① 水素原子の数が少ない | ② 水素原子の数が多 |
| ③ 酸素原子の数が少ない | ④ 酸素原子の数が多 |

問 3 次の①, ②について, 水溶液中で反応が起こるものは右辺の式を, 反応が起こらないものは「反応しない」と記せ。



問 4 空欄  に当てはまる係数の数値を記せ。ただし, 係数が 1 の場合は 1 と記せ。また, 空欄  には当てはまる化学式を記せ。

問 5 次の①, ②の操作により, 沈殿があらたに生じる場合には生じる沈殿の色を, 生じない場合には「生じない」と答えよ。また, それぞれ沈殿が生じるか判断した根拠を溶解度積を用いて説明せよ。ただし,  $\text{AgCl}$  の溶解度積は  $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}(\text{mol/L})^2$ ,  $\text{AgI}$  の溶解度積は  $K_{\text{sp}}(\text{AgI}) = 2.1 \times 10^{-14}(\text{mol/L})^2$  とする。

①  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  の  $\text{NaCl}$  水溶液 1.0 mL に  $2.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  の  $\text{AgNO}_3$  水溶液 1.0 mL を加えて混合した。

② ①の混合液にさらに  $4.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  の  $\text{KI}$  水溶液 2.0 mL を加えて混合した。

(2) 次の文章を読んで、問1～問5の答を解答欄に記入せよ。

鉄は人類が最も多く利用している金属である。日本においても、近年、年間に約1億トンの鉄が生産されている。鉄は溶鉱炉で、赤鉄鉱や磁鉄鉱などの鉄鉱石に含まれる 鉄の酸化物をコークスから生じた一酸化炭素により還元して 製造される。溶鉱炉から得られる鉄は  と呼ばれ、炭素を約4%含み、硬くてもろい。溶融した  は、転炉で酸素を吹き込んで炭素の含有量が0.02～2%に低減された  に変えられる。 は、硬くて粘り強く、建築材や機械など多方面に利用される。鉄は湿った空気中では酸化されやすいが、鉄に  と  を加えてつくられる合金はさびにくく、調理器具などに用いられている。

鉄を希硫酸と反応させると気体の  が発生し、淡緑色の硫酸鉄の水溶液が得られる。鉄のイオンを含む水溶液に種々の試薬を加えると、酸化数に応じて特有の反応を示す。例えば、 $\text{b}$ 鉄(II)イオンを含む水溶液に  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の水溶液を加えると沈殿が生じる。

問1 空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

問2 下線部aについて、酸化鉄(III)が一酸化炭素により還元され、鉄になる反応の化学反応式を記せ。

問3 問2の反応によって0.98億トンの鉄ができるとする。このときに発生する二酸化炭素は何億トンか、有効数字2桁で答えよ。ただし、生成する鉄は炭素を含まないものとする。

問4 下線部bについて、化合物  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  の名称を記せ。また、生じる沈殿の色を記せ。

問 5 一定量の水和水を含む硫酸鉄水和物  $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  の粉末試料がある。

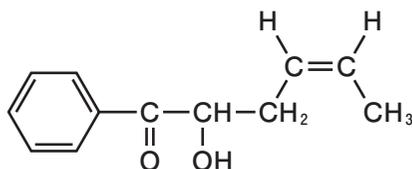
この試料 1.39 g を溶かして得られる水溶液に、アンモニア水を加えて塩基性にしたのち硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  を通じたところ、 $\text{FeS}$  の黒色沈殿が 0.44 g 得られた。次の問に答えよ。ただし、 $\text{FeSO}_4$  および  $\text{FeS}$  の式量はそれぞれ 152 および 88 とし、また、水溶液中に含まれる鉄はすべて  $\text{FeS}$  に変化するものとする。

- 1) 水溶液中に含まれていた鉄の物質量を有効数字 2 桁で答えよ。
- 2) この硫酸鉄水和物試料に含まれる水和水の量を表す係数  $n$  はいくつか、整数で答えよ。また、計算過程も示せ。

## 4

- (1) 次の文章を読んで、問1～問4の答を解答欄に記入せよ。なお、構造式は下の例にならって記せ。

(例)



分子式  $C_5H_{10}O_2$  で表される2種類のエステル **A**、**B**がある。エステル **A** に希硫酸を加えて加水分解すると、酸性物質 **C** と中性物質 **D** が生成した。同様にエステル **B** を加水分解すると、酸性物質 **E** と中性物質 **F** が生成した。化合物 **C** ～ **F** の構造を調べるために次の①～④の実験を行った。

- ① 酸性物質 **C** 22.5 mg を酸素中で完全燃焼させたところ、水が 13.5 mg、二酸化炭素が 33.0 mg 得られた。
- ② 硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を加えて加熱すると、中性物質 **D** は中性物質 **G** に、中性物質 **F** は中性物質 **H** に変化した。なお、中性物質 **G** は、クメン法でフェノールと同時に生成する化合物である。
- ③ 酸性物質 **E** をアンモニア性硝酸銀水溶液と反応させると銀が析出したが、中性物質 **G**、**H** に同じ操作を行っても銀は析出しなかった。
- ④ 中性物質 **F** と濃硫酸を反応させると分子内脱水反応が進み、3種類のアルケンが生成した。

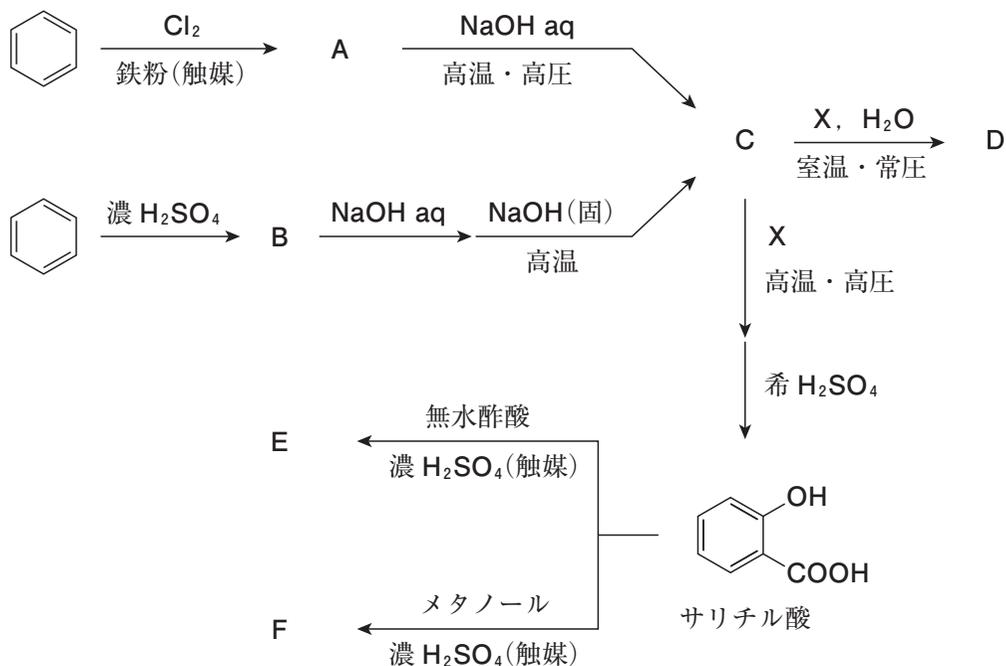
問1 ①の結果から酸性物質 **C** の組成式を求めよ。また、計算過程も示せ。

問2 化合物 **C**、**D**、**G** の構造式を記せ。

問 3 ④について、この3種類のアルケンの構造式を記せ。なお、シス-トランス異性体が存在する場合には、それらの異性体も別の構造とし、その違いがわかるように描くこと。

問 4 化合物E, Fの構造式を記せ。

(2) 次の図は、医薬品として用いられる芳香族化合物 E, F をベンゼンから合成する経路である。これに関する以下の問 1～問 3 の答を解答欄に記入せよ。



問 1 合成経路中の A～F に当てはまる芳香族化合物の構造式をそれぞれ記せ。

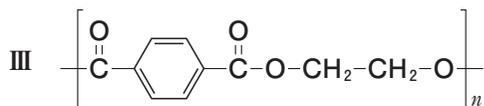
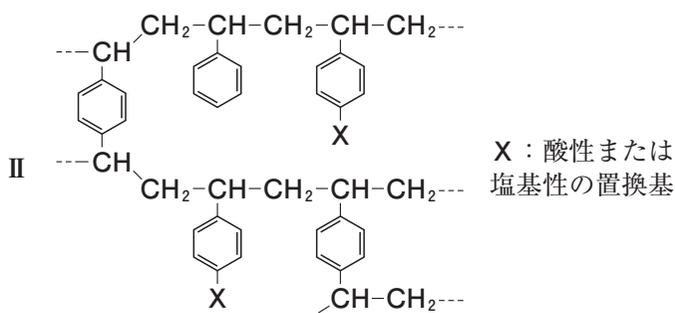
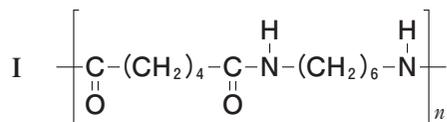
問 2 A～F のうち、炭酸水素ナトリウム水溶液に加えると気体を発生するものを 2 つ選び、その化合物の名称を記せ。

問 3 合成経路中の X に当てはまる化合物の名称を記せ。



5

(1) 次に構造式を示す高分子化合物Ⅰ～Ⅲに関する以下の問1～問4の答を解答欄に記入せよ。



問1 高分子化合物Ⅰ～Ⅲの性質や用途として当てはまるものを、次の①～⑤の中からそれぞれ1つ選び、その番号を記せ。

- ① ビニル基をもつ2種類のモノマーの共重合体を母体とした樹脂であり、工業用途や研究用途の脱イオン水の製造などに用いられる。
- ② 生体内において最終的に水と二酸化炭素に分解されるため、手術後に摘出の必要がない縫合糸や骨接合材料として用いられる。
- ③ ヨウ素を添加することで金属に匹敵する電気伝導性を示す。これを改良した合成高分子が電池やコンデンサーなどへ応用されている。
- ④ 絹に似た感触と光沢をもつ丈夫な合成繊維として、ストッキングやスポーツウェアなどの衣類に用いられる。
- ⑤ 洗濯してもしわになりにくく乾きやすい合成繊維として衣類に用いられるほか、透明で軽量の合成樹脂として飲料容器にも利用される。

問 2 高分子化合物Ⅰの工業的な合成に用いられる重合反応を、次の①～④から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 付加重合      ② 開環重合      ③ 縮合重合      ④ 付加縮合

問 3 高分子化合物Ⅱに関する次の文を読んで、空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

置換基Xとして  $-\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{OH}^-$  をもつ高分子化合物Ⅱをカラム(円筒容器)につめ、それに塩化ナトリウム水溶液を通すと、塩化ナトリウム水溶液の  と高分子化合物中の  が交換され、カラムから  水溶液が流出してくる。

問 4 高分子化合物Ⅲの平均分子量が  $9.6 \times 10^5$  の場合、1分子中には平均して何個のエステル結合が含まれるか、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。

(2) タンパク質に関する次の問1, 問2の答を解答欄に記入せよ。

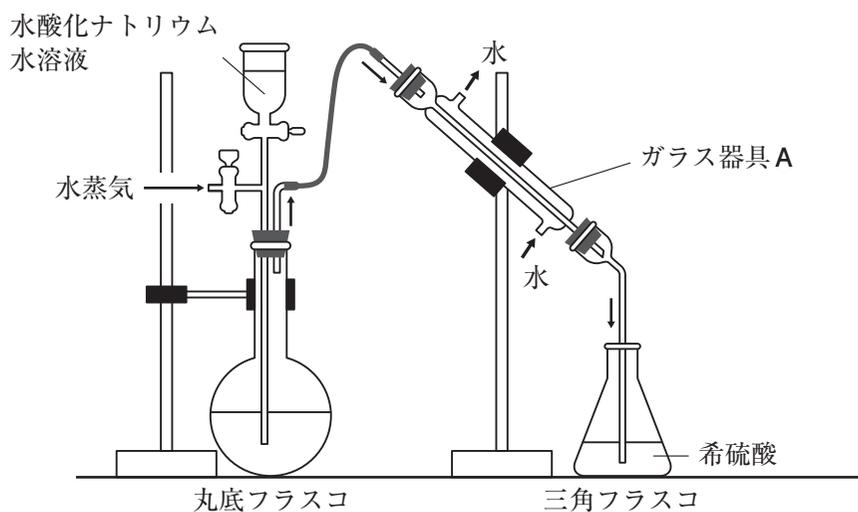
問1 次の文章を読んで、空欄  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

タンパク質は全ての生体に存在する高分子化合物である。生物は約20種類のアミノ酸をタンパク質の合成に使用する。アミノ酸は、共通の構造として、塩基性を示す  基と、酸性を示す  基を有している。タンパク質は多数のアミノ酸が  基と  基で脱水縮合することで合成されるが、このアミノ酸どうしのアミド結合を特に  結合という。タンパク質を構成するアミノ酸の配列順序をタンパク質の  という。

タンパク質は、生体内の化学反応・運動・免疫・遺伝などさまざまな生命活動を支える重要な物質である。このうち、化学反応の触媒としてはたらくタンパク質を  という。

問2 次の実験により、ある食品中に含まれるタンパク質の量を求めた。以下の間に答えよ。

ある食品 1.00 g に濃硫酸を加えて加熱し、食品中のタンパク質に含まれる窒素をすべてアンモニウムイオンに変換した。その反応液の全量を図の丸底フラスコに移した。その反応液に、水酸化ナトリウム水溶液を加え、アンモニアを発生させた。発生したアンモニアを水蒸気とともにガラス器具Aを通過させ、三角フラスコ中の 0.100 mol/L の希硫酸 100 mL にすべて吸収させた。アンモニアの発生と吸収が完了した後、三角フラスコ中の溶液を 1.00 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、残った硫酸を中和するのに 18.4 mL を要した。



- 1) 下線部の反応を化学反応式で記せ。
- 2) 図のガラス器具Aの名称を記せ。
- 3) この食品 1.00 g から生じたアンモニアの物質量を有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。
- 4) この食品 1.00 g 中に含まれるタンパク質の質量は何 g か、有効数字2桁で答えよ。また、計算過程も示せ。ただし、タンパク質には窒素が質量パーセント濃度で 16 % 含まれるものとし、タンパク質以外の物質からのアンモニアの発生は無視できるものとする。