

解答上の注意

- 必要に応じて、以下の値を使いなさい。

原子量： H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.1

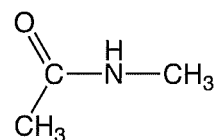
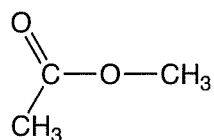
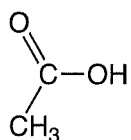
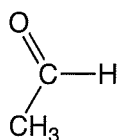
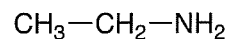
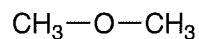
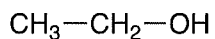
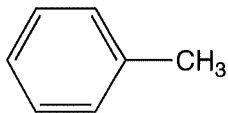
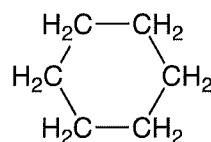
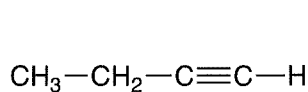
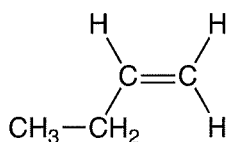
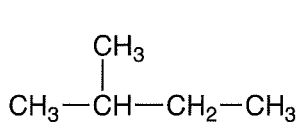
Cl = 35.5, Ar = 39.9, Ca = 40.1, Cu = 63.5, Zn = 65.4

標準状態： 0℃, 1.01×10^5 Pa

気体定数： 8.31×10^3 Pa·L/(K·mol)

0℃ = 273 K

- 計算結果は、四捨五入して、指定された桁で答えなさい。
- マス目に文章を記述するときは、英字、数字、記号、句読点も、それぞれ1マスを用いて書きなさい。
- 構造式は下図の例にならって記入しなさい。



1. 次の文章を読み、問に答えなさい。

銅は、周期表の第〔1〕周期〔2〕〔3〕族に属する。銅の単体は、赤色の光沢をもつ金属であり、〔ア〕色の炎色反応を示す。銅の多くは、自然界では硫化物や酸化物として存在している。単体の銅を空气中で加熱すると酸化銅(II)になり、さらに1000℃以上の高温で加熱すると①酸化銅(I)になる。銅は塩酸や②希硫酸には溶けないが、硝酸や熱濃硫酸に溶ける。③硫酸銅(II)水溶液に、過剰のアンモニア水を加えると④錯イオンを形成し、深青色の水溶液になる。

銅の単体は、工業的には黄銅鉱(主成分 CuFeS_2) から得られた粗銅の電気分解を利用して作られる。⑤薄い純銅板を陰極、粗銅板を陽極に用いて硫酸酸性の硫酸銅(II)水溶液中で電気分解すると、陰極に純銅が析出する。このようにして金属の単体を得る操作を〔イ〕という。

金属と電解液による酸化還元反応を利用して、化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置を電池という。電池の両極間の電位差(電圧)の最大値を〔ウ〕といい、金属と電解液の組み合わせによって変化する。希硫酸に亜鉛板と銅板を浸して回路を形成した電池は、開発者の名前より〔エ〕電池と呼ばれる。〔エ〕電池は電極上で発生した気体により、電極表面が覆われすぐに電圧が低下する。一方、〔オ〕電池は、亜鉛板を浸した硫酸亜鉛(II)水溶液と、銅板を浸した硫酸銅(II)水溶液を素焼き板で仕切った構造をしている。この電池の電池式は、次の(I)式のように表せる。



〔オ〕電池を組み立てしばらく放電したところ、負極の金属板の質量が0.530 g 減少した。この際、正極には金属が〔(4)〕〔(5)〕 $\times 10^{-〔(6)〕}$ g 析出した。

問1 〔(1)〕～〔(6)〕に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、〔(4)〕に入る数字は0ではない。

問2 〔ア〕～〔オ〕にあてはまる適切な語を解答用紙に書きなさい。

問3 下線部①について、化合物の化学式と色を解答用紙に書きなさい。

問4 下線部②について、実験室で希硫酸を安全に調製するためには、濃硫酸と水をどのように混合すればよいか。濃硫酸は水と混合すると発熱することをふまえて、25字以内で解答用紙に書きなさい。

問 5 下線部③について、硫酸銅 (II) 水溶液に以下の 1～3 の操作をそれぞれ行った。沈殿が生じる場合、その化合物の化学式を解答用紙に書き、完全に溶解して沈殿を生じない場合は「生じない」と解答用紙に書きなさい。

- 1 水酸化ナトリウム水溶液を加えた。
- 2 少量のアンモニア水を加え、加熱をした。
- 3 硫化水素を通気させた。

問 6 下線部④について、この水溶液に含まれる鉛イオンの名称、およびイオン式を解答用紙に書きなさい。

問 7 下線部⑤について、この操作に用いた粗銅板には不純物として金、鉄、ニッケル、鉛のみが少量含まれているものとする。電気分解をすることで生じた沈殿に含まれる全ての物質の化学式を解答用紙に書きなさい。

問 8 以下の 1～4 に示す金属板と水溶液の組み合わせからなる電極を用意した。これらのうちの二つの電極と素焼き板を組み合わせる電池を作製したときに、一番 が高くなるものの電池式を (I) 式にならって解答用紙に書きなさい。

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1 スズ板と硫酸スズ (II) 水溶液 | 2 鉄板と硫酸鉄 (II) 水溶液 |
| 3 銅板と硫酸銅 (II) 水溶液 | 4 ニッケル板と硫酸ニッケル (II) 水溶液 |

問 9 電池の電極板を変えずに、以下の 1～5 の操作をそれぞれ行った。この電池が流すことができる電気量をより多くするためにはどの操作が適切か。正しいものをすべて選び、その数字を解答用紙に書きなさい。

- 1 硫酸銅 (II) 水溶液の濃度を濃くした
- 2 硫酸亜鉛 (II) 水溶液の濃度を濃くした
- 3 素焼き板をガラス板に変更した
- 4 素焼き板をセロハンに変更した
- 5 素焼き板をイオン交換膜に変更した

2. 次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、すべての気体は理想気体とし、水素と酸素は水に溶解しないものとする。すべての液体と固体の体積は無視してよい。また、 87°C の水の飽和蒸気圧は $6.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ とする。

図 1 に示す容器は、容器内部の圧力、体積、温度を自由に調節することができる。この容器を用いて以下の実験 1、実験 2 をそれぞれ行った。以下の記述において、圧力、体積、温度は容器内部のものを指す。

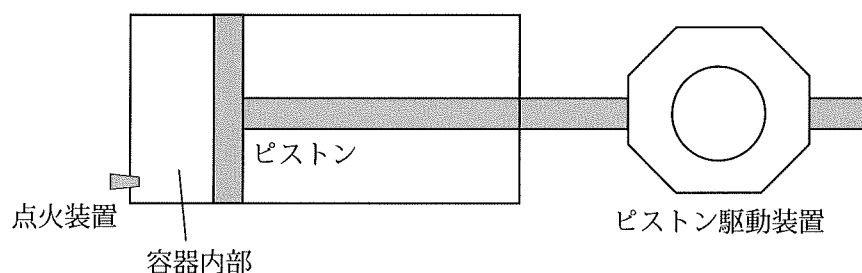


図 1

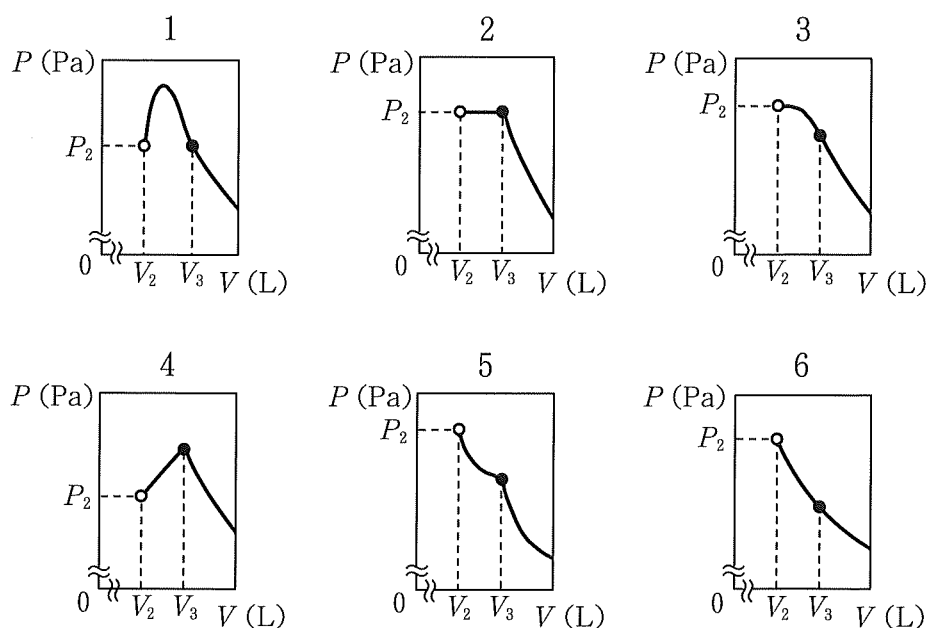
実験 1

- 操作 1 容器に 2.0 mol の H_2 と 0.80 mol の O_2 を入れ、温度を 27°C 、圧力を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ にした。十分に時間が経つと体積は $V_1(\text{L})$ で一定になった。
- 操作 2 体積を一定に保ったまま、容器内部の気体に点火して完全燃焼させた後、温度を 87°C とした。十分に時間が経つと、燃焼反応により生じた H_2O は気体と液体が共存した気液平衡になり、圧力は $P_1(\text{Pa})$ で一定になった。
- 操作 3 温度一定のまま、体積をすばやく $V_2 = 1.7 \times V_1(\text{L})$ とした。①体積変化の直後は容器内の液体の H_2O は沸騰していたが、②やがて H_2O の沸騰は止まった。その後、新たな平衡状態に達し、そのときの圧力は $P_2(\text{Pa})$ であった。
- 操作 4 温度一定のまま、ゆっくりと体積を増加させたところ、体積が $V_3(\text{L})$ 以上で容器内の H_2O はすべて気体になった。

実験 2

- 操作 1 容器に $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の NaCl を入れた。その後、実験 1 の操作 1 と同じ操作を行った。十分に時間が経つと体積は $V_1(\text{L})$ で一定になった。
- 操作 2 実験 1 の操作 2 と同じ操作を行った。十分に時間が経つと、燃焼反応により生じた H_2O は気体と液体が共存した気液平衡になり、圧力は $P_3(\text{Pa})$ で一定になった。このとき、容器内の NaCl は H_2O に完全に溶解していた。

- 問1 実験1の操作1において、体積 V_1 は $(7).(8) \times 10^{(9)}$ Lであった。 $(7) \sim (9)$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 (7) に入る数字は0ではない。
- 問2 実験1の操作2において、十分に時間が経ったとき、容器内の H_2 の物質量は $(10).(11) \times 10^{-(12)}$ mol, 分圧は $(13).(14) \times 10^{(15)}$ Paであった。また、容器内の液体の H_2O の物質量は $(16).(17) \times 10^{-(18)}$ molであった。 $(10) \sim (18)$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 (10) , (13) , (16) に入る数字は0ではない。
- 問3 実験1の操作3において、下線部①, ②のようになった理由をそれぞれ45字以内で解答用紙に書きなさい。
- 問4 実験1の操作4において、 $V_3 = V_1 \times (19).(20) \times 10^{(21)}$ であった。 $(19) \sim (21)$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 (19) に入る数字は0ではない。
- 問5 グラフ (22) は、実験1の操作4において V を $V_2(\text{L})$ から増加させたときの圧力 P の変化を、x軸を V , y軸を P として表したものである。グラフ中の○印は $V = V_2(\text{L})$ のときの圧力を、●印は $V = V_3(\text{L})$ のときの圧力をそれぞれ示している。 (22) に入る最も適切なグラフの番号を下記から選び、マークシートにマークしなさい。



問6 以下の1)～2)について答えなさい。

- 1) 実験2の操作2における $P_3(\text{Pa})$ と、実験1の操作2における $P_1(\text{Pa})$ の大小関係を下記から選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

1 $P_3 > P_1$

2 $P_3 = P_1$

3 $P_3 < P_1$

- 2) 1)の解答の理由を30字以内で解答用紙に書きなさい。

3. 次の文章を読み、問に答えなさい。

窒素酸化物のうち、大気汚染の原因となるものを総称してNO_xと呼ぶ。NO_xは、工場のボイラーや自動車のエンジンなどで生じ、光化学スモッグや酸性雨、呼吸器系の疾患を引き起こすとされている。例えば、実験室では銅に濃硝酸を反応させることで発生する気体である① ア は、酸性雨の原因の一つとされる。一方、NO_xの中でも実験室では銅に希硝酸を反応させると発生する イ は、生体内でもつくられ、血管を拡張させるなどの作用があるため、体内で イ を生成する物質が医薬品として用いられている。

図1に示す容器A (2.0 L) と容器B (7.0 L) はコック1によって連結されており、容器Aと容器Bの容積は変化しない。また、容器Aと容器Bにはコック2とコック3がそれぞれ付いており、コック2からは気体の注入が、コック3からは気体の排出が可能である。いずれの容器も最初は真空状態であり、すべてのコックは閉じられている。

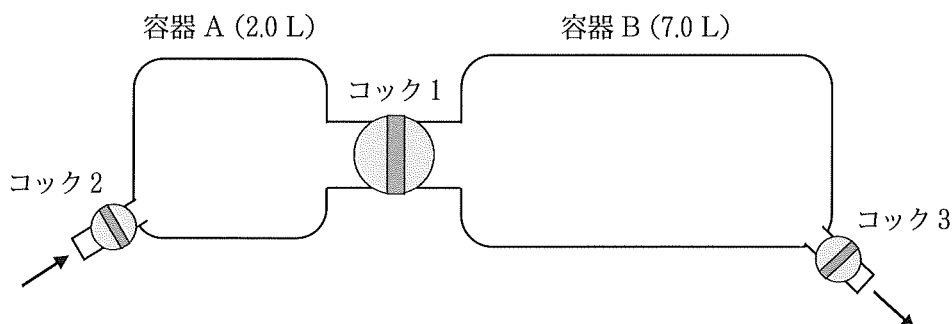
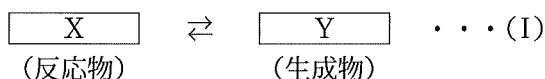


図1

このような容器Aと容器Bを用いて、以下の実験を行った。ただし、いずれの物質も常に気体として存在する。化学反応によって発生させた ア の気体を (a) 置換で捕集し、1.5 mol の ア をコック2から容器Aに入れた。しばらくすると (23) 色である反応物 ア から無色の生成物 ウ が生成し、② (I) 式で表される平衡状態になった。このときの平衡定数は $0.50 \text{ (mol/L)}^{-1}$ であった。



温度一定のまま、この平衡状態にある混合気体に、コック2から③ ア をさらに 2.5 mol 加え、しばらくすると、容器内の気体は平衡状態になった。次に、④ コック1を開き、しばらくした後に、容器内の気体は再び平衡状態に達した。 さらに、温度一定のままで、コック2から

1.5 mol のアルゴン (Ar) を容器に注入し均一な混合気体とした。その後、温度一定のまま、コック 3 を開き混合気体の一部を容器外に素早く排出し、容器内の気体の圧力を、Ar を注入する前の圧力に戻した。最後に、容器の温度を変え、しばらくすると⑤容器内の混合気体が平衡状態になった。このとき、ア のモル濃度は 0.20 mol/L であった。

問 1 ア ～ ウ にあてはまる適切な物質名を解答用紙に書きなさい。

問 2 下線部①について、ア と水との反応式を解答用紙に書きなさい。

問 3 (a) に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。また、(a) 置換が適切な捕集方法である気体を下記からすべて選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

1 H₂ 2 HCl 3 H₂S 4 N₂ 5 NH₃

問 4 (23) に入る適切な語を下記から選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

1 青紫 2 赤紫 3 赤褐 4 黒 5 緑

問 5 X , Y に入る式を解答用紙に書きなさい。

問 6 以下の 1) ～ 3) について答えなさい。

1) (I) 式で表される化学反応の熱化学方程式は以下の式で表される。



ア (気) の生成熱を -34.0 kJ/mol , ウ (気) の生成熱を -8.50 kJ/mol としたときの Q を求め、解答用紙に書きなさい。なお、小数点以下 1 桁で表しなさい。

2) 下線部②の平衡状態から、この気体の入った容器全体を温め、気体の温度を上昇させると、気体の色はどのように変化するかを下記から選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

1 色が濃くなる 2 色が薄くなる 3 色は変化しない

3) 2) の解答の理由を下記の語のいずれかを用いて、60 字以内で解答用紙に書きなさい。

発熱反応

吸熱反応

問 7 下線部③について、この前後で ア のモル濃度は (24) した。その変化量は (25).(26) $\times 10^{-\text{(27)}}$ mol/L であった。(24) に入る適切な語を下記から選び、その番号をマークシートにマークしなさい。また、(25) \sim (27) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(25) に入る数字は 0 ではない。

1 増加 2 減少

問 8 下線部④について、平衡状態に達した後、ア のモル濃度は (28).(29) $\times 10^{-\text{(30)}}$ mol/L になった。(28) \sim (30) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(28) に入る数字は 0 ではない。

問 9 下線部⑤のときの (I) 式で表される化学平衡の平衡定数は、(31).(32) $\times 10^{\text{(33)}}$ (mol/L)⁻¹ であった。(31) \sim (33) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(31) に入る数字は 0 ではない。なお、コック 3 を開き混合気体の一部を容器外に排出している間は、(I) 式で表される化学平衡は変化しないものとする。

4. 次の文章を読み、問に答えなさい。なお、本問においては不斉炭素原子の存在によって生じる立体異性体は区別しない。

化合物 A は水素原子，炭素原子，酸素原子，窒素原子から構成され，その分子量は 500 以下である。化合物 A の化学構造を決定するために実験を行ったところ，以下に示す (1) ～ (9) の結果が得られた。

- (1) 607 mg の化合物 A を完全燃焼させたところ，二酸化炭素 1760 mg，水 347 mg が生じた。また，別の分析手法によって 607 mg の化合物 A に含まれる窒素の質量は 20 mg であることがわかった。
- (2) 化合物 A に塩酸を加え，加熱して加水分解したところ，化合物 B，C，D が同じ物質質量ずつ得られた。化合物 B，C，D はいずれもその構造中にベンゼン環を 1 個含んでいた。
- (3) 化合物 A に水酸化ナトリウム水溶液を加え，加熱して加水分解したところ，化合物 C，E が同じ物質質量ずつ得られた。
- (4) 化合物 A，B，C，D，E にそれぞれ水酸化ナトリウム水溶液，炭酸水素ナトリウム水溶液，または希塩酸を加えた。塩となって溶けた場合は ○，塩を形成せずほとんど溶けなかった場合は × として表 1 に記した。

表 1

加えた溶液	化合物 A	化合物 B	化合物 C	化合物 D	化合物 E
水酸化ナトリウム水溶液	×	○	○	○	○
炭酸水素ナトリウム水溶液	×	×	○	○	×
希塩酸	×	○	×	×	×

- (5) 化合物 B の分子量は 109 であり，そのベンゼン環の水素原子のいずれか 1 個を塩素原子に置き換えた場合，2 種類の異性体が考えられる。化合物 B に無水酢酸を作用させたところ，解熱鎮痛剤であるアセトアミノフェンが得られた。

- (6) アルケンを含む化合物にオゾンを作用させ、続けて過酸化水素水によって酸化すると二重結合が切断され、二重結合の置換基の数や位置の違いによって、図 1 に示すようにケトンやカルボン酸が生成する。

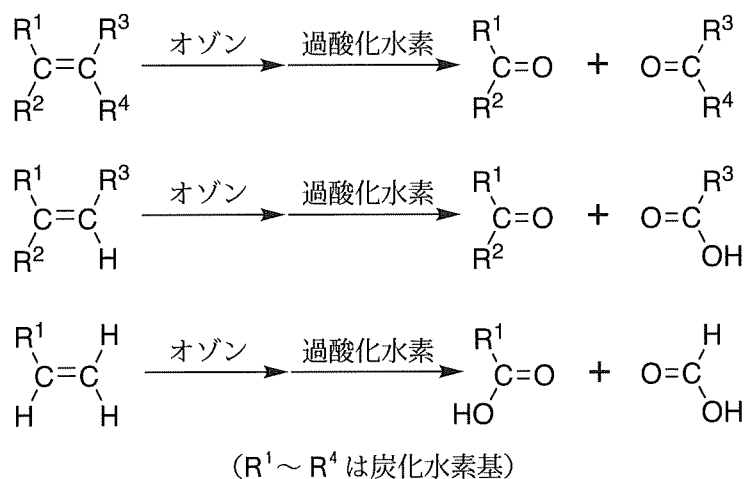


図 1

化合物 C にオゾンを作用させ、続けて過酸化水素水によって酸化したところ、ジカルボン酸 F とギ酸が同じ物質質量ずつ得られた。化合物 D にオゾンを作用させ、続けて過酸化水素水によって酸化したところ、ジカルボン酸 G とアセトンが同じ物質質量ずつ得られた。

- (7) ジカルボン酸 F を加熱したところ、分子内で脱水反応が起こり分子量 148 の化合物 H が得られた。
- (8) 化合物 D のベンゼン環の水素原子のいずれか 1 個を塩素原子に置き換えた場合、2 種類の異性体が考えられる。化合物 D に対して適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、化合物 D と同じ物質質量の水素が付加して解熱鎮痛剤であるイブプロフェンが得られた。
- (9) 化合物 D は不斉炭素原子を 1 個含んでいる。化合物 D に臭素を作用させたところ、化合物 D と同じ物質質量の臭素が付加して化合物 I が得られた。化合物 I は不斉炭素原子を 2 個含むが、その不斉炭素原子は互いに隣接していない。

- 問 1 化合物 A の分子式を解答用紙に書きなさい。
- 問 2 化合物 B および化合物 C の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。
- 問 3 化合物 D の分子式を解答用紙に書きなさい。
- 問 4 化合物 D および化合物 A の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。
- 問 5 ロキソプロフェンは解熱鎮痛剤として広く使用されている医薬品の一つである。ロキソプロフェンはその構造中に不斉炭素原子を 2 個含み、それらはベンゼン環の異なる置換基にそれぞれ含まれている。モノカルボン酸 X に対して適切な触媒を用いて水素を付加させたところ、モノカルボン酸 X と同じ物質量的水素が付加してロキソプロフェンが得られた。またモノカルボン酸 X を、(6) で示した反応と同様にオゾンを作用させ、続けて過酸化水素水によって酸化したところ、ジカルボン酸 G と図 2 に示す 1,2-シクロペンタンジオンが同じ物質量的に得られた。

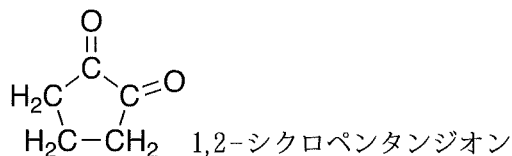


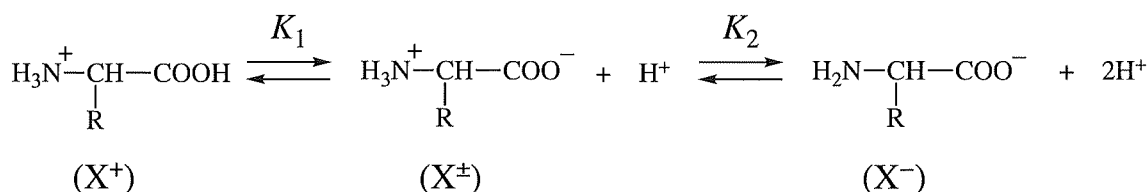
図 2

ロキソプロフェンの構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

5. 次の文章を読み、問に答えなさい。

スチレンは様々な合成高分子化合物の原料として使われる。例えば①熱可塑性樹脂のポリスチレンはスチレンの [ア] 重合により合成される。また、スチレンにブタジエンを混ぜて重合させると②スチレン-ブタジエンゴムが得られる。このように2種類以上の単量体を混ぜて重合を行うことを [イ] 重合という。スチレンと③*p*-ジビニルベンゼンを [イ] 重合させて得られた合成樹脂を濃硫酸で処理すると、ベンゼン環に [ウ] 基が導入された [エ] 樹脂が得られる。一方、 $-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ など塩基性の官能基をもつ樹脂を [オ] 樹脂と呼ぶ。

[エ] 樹脂や [オ] 樹脂はカラムクロマトグラフィーの吸着剤としてアミノ酸の分離などに用いられる。アミノ酸は、水溶液中では陽イオン (X^+)、双性イオン (X^\pm)、陰イオン (X^-) として存在し、電離定数を K_1 , K_2 とすると以下の電離平衡が成り立つ。 X^+ , X^\pm , X^- の割合は pH により変化する。



ここで、④水溶液中でアミノ酸のイオンの電荷が分子全体として0になるときの pH をアミノ酸の [カ] という。 [エ] 樹脂や [オ] 樹脂によるアミノ酸の分離は、アミノ酸の [カ] の違いを利用している。

問1 [ア] ～ [カ] にあてはまる適切な語を解答用紙に書きなさい。

問2 下線部①の熱可塑性とはどのような性質か。【軟化点】を用いて40字以内で解答用紙に書きなさい。

問3 下線部②について、スチレン-ブタジエンゴム 29.3 g に、適切な触媒を用いて水素を完全に付加したところ、標準状態で水素は 7.84 L 必要だった。この合成ゴムに含まれるスチレンとブタジエンの物質量の比は 1 : [(34). (35)] である。 [(34)] , [(35)] に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、スチレンのベンゼン環には水素が付加しないものとする。

問4 下線部③の *p*-ジビニルベンゼンの構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

問5 アラニンについて、下線部④で示す pH は 25℃ において 6.0 である。25℃ におけるアラニンの電離定数 K_2 を 2.0×10^{-10} mol/L とするとき、電離定数 K_1 は $\boxed{(36)}.\boxed{(37)} \times 10^{-\boxed{(38)}}$ mol/L である。 $\boxed{(36)} \sim \boxed{(38)}$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 $\boxed{(36)}$ に入る数値は 0 ではない。

問6 十分量の $\boxed{\text{エ}}$ 樹脂を希塩酸で処理後カラムに詰め、蒸留水を流して十分に洗浄した。その後、以下の操作を行った。

操作1： 1.0 g の塩化カルシウムを 10 mL の蒸留水に溶かし、そのうち 1.0 mL をカラムに通した。その後、十分量の蒸留水で洗浄した。

操作2： 0.20 mol/L の塩酸を 10 mL 流し、その後十分量の蒸留水で洗浄した。

操作2における流出液を全て集め、0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で中和したところ、 $\boxed{(39)}.\boxed{(40)} \times 10^{-\boxed{(41)}}$ L 必要だった。 $\boxed{(39)} \sim \boxed{(41)}$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 $\boxed{(39)}$ に入る数値は 0 ではない。なお、操作1でカルシウムイオンは全て吸着され、操作2でカルシウムイオンは全て流出したものとする。

問7 あるジペプチド X を塩酸に溶解して加熱すると、アミノ酸 A とアミノ酸 B に加水分解された。この溶液を $\boxed{\text{エ}}$ 樹脂を詰めたカラムに通し 2 種類のアミノ酸を吸着させた後、pH 4.0 の緩衝液を流したところアミノ酸 A が流出した。さらに pH 7.0 の緩衝液を流してもアミノ酸は流出しなかったが、pH 11 の緩衝液を流したところアミノ酸 B が流出した。次に、ジペプチド X と無水酢酸を反応させた後、ペプチド結合のみを加水分解できる酵素で反応させると、化合物 C と化合物 D の混合物が得られた。この混合物を緩衝液に溶かし pH 2.0 とした後、再び $\boxed{\text{エ}}$ 樹脂を詰めたカラムに通したところ、化合物 C は吸着されたが化合物 D は流出した。さらに pH 4.0 の緩衝液を流しても化合物 C は流出しなかったが、pH 7.0 の緩衝液を流したところ化合物 C が流出した。

1) アミノ酸 A およびアミノ酸 B は下記のうちいずれかである。最も適切なものをそれぞれ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

アミノ酸 A : $\boxed{(42)}$

アミノ酸 B : $\boxed{(43)}$

- | | | | |
|--------|------------|----------|---------|
| 1 アラニン | 2 グリシン | 3 グルタミン酸 | 4 システイン |
| 5 セリン | 6 フェニルアラニン | 7 メチオニン | 8 リシン |

2) 化合物 D の構造を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。なお、不斉炭素原子の存在によって生じる立体異性体は区別しない。