

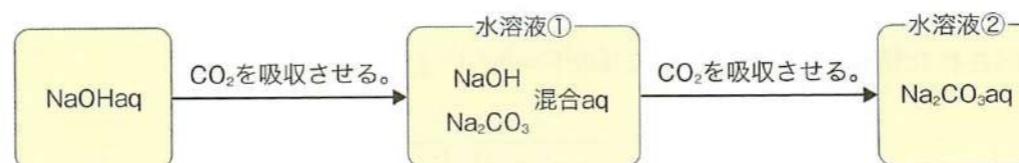
1 二段階滴定

●二段階中和(二段階滴定)が起こる水溶液の例

水酸化ナトリウム NaOH 水溶液に二酸化炭素 CO_2 を吸収させていくと、



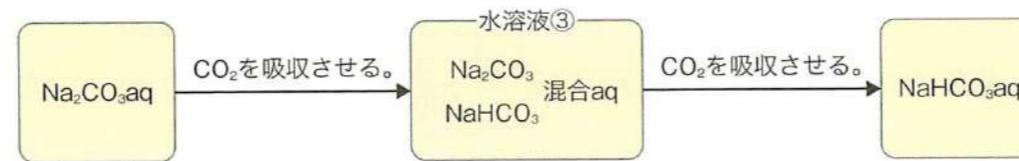
という反応が起こり、徐々に NaOH が炭酸ナトリウム Na_2CO_3 に変化していきます。その結果、 NaOH 水溶液は、まずは、 NaOH , Na_2CO_3 混合水溶液になり、やがて、 Na_2CO_3 水溶液に変わっていきます。



Na_2CO_3 水溶液に、さらに、 CO_2 を吸収させていくと、



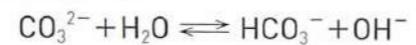
という反応が起こり、徐々に Na_2CO_3 が炭酸水素ナトリウム NaHCO_3 に変化していきます。その結果、 Na_2CO_3 水溶液は、まずは、 Na_2CO_3 , NaHCO_3 混合水溶液になり、やがて、 NaHCO_3 水溶液に変わっていきます。



強塩基である NaOH の水溶液はもちろんのこと、これらの水溶液は、いずれも、塩基性を示します。

例えば、 Na_2CO_3 水溶液は、 $\text{pH}=11 \sim 12$ (0.1 mol/L のとき、 $\text{pH}=11.7$) といった、比較的強い塩基性を示します。

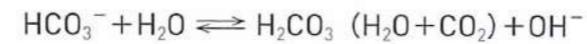
Na_2CO_3 は、水溶液中で、 Na^+ と CO_3^{2-} にはほぼ完全に電離し、生じた CO_3^{2-} は、水溶液中で、



のように加水分解します。この加水分解は比較的起こりやすく、その結果、 Na_2CO_3 水溶液は比較的強い塩基性を示すのです。

NaHCO_3 水溶液は、 $\text{pH}=8.5$ 程度 (0.1 mol/L のとき、 $\text{pH}=8.4$) といった、弱い塩基性を示します。

NaHCO_3 は、水溶液中で、 Na^+ と HCO_3^- にはほぼ完全に電離し、生じた HCO_3^- は、水溶液中で、



のように加水分解します。 HCO_3^- の加水分解は CO_3^{2-} の加水分解より起こりにくく、その結果、 NaHCO_3 水溶液は弱い塩基性を示すのです。

よって、これらの水溶液は、いずれも塩酸と中和反応します。特に、水溶液①、②、③の中和反応は、その滴定曲線（図1～3）中に、 pH が急激に変化する部分（中和点）を2か所もつという特徴をもっています。このような中和反応（滴定）は、**二段階中和（二段階滴定）** と呼ばれます。

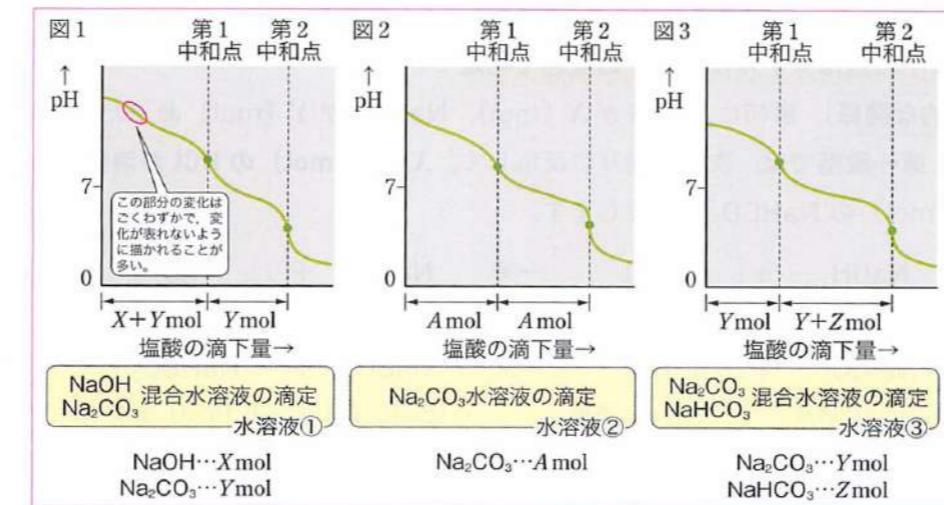
二段階中和（二段階滴定）が起こる水溶液の例には、

水溶液①： $\text{NaOH}, \text{Na}_2\text{CO}_3$ 混合水溶液

水溶液②： Na_2CO_3 水溶液

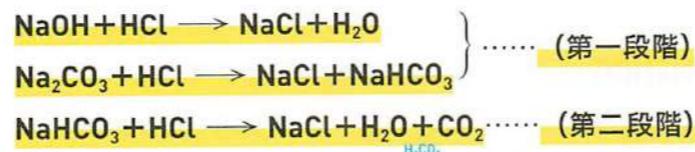
水溶液③： $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3$ 混合水溶液

などがあります。



●二段階滴定(その1) NaOHとNa₂CO₃混合水溶液の滴定

塩酸との反応 水酸化ナトリウム NaOH は1価の強塙基です。炭酸ナトリウム Na₂CO₃ は塙ですが、その水溶液は比較的強い塙基性を示します。よって、これらの混合水溶液は塩酸などの強酸と中和反応しますが、この混合水溶液と塩酸の中和反応は、次式の通り、2段階で起こります。2段階というのは、第一段階の反応がほぼ終了してから、第二段階の反応が始まるという意味です。これは、NaOH(OH⁻) 水溶液や Na₂CO₃(CO₃²⁻) 水溶液の方が、NaHCO₃(HCO₃⁻) 水溶液より強い塙基性を示し、H⁺を受け取りやすいためです。

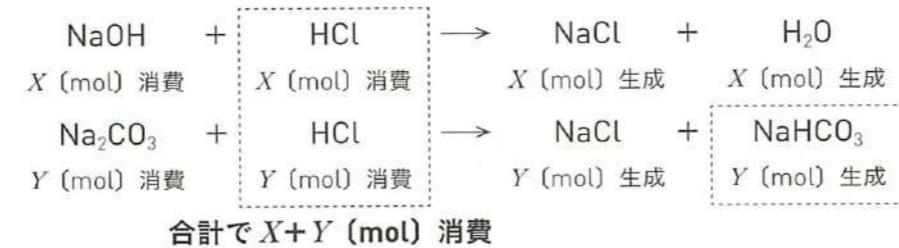


ちなみに、第一段階においても、NaOH の反応がほぼ終了してから、Na₂CO₃ の反応が始まりますが、前者の反応の終了時点では、pH の変化はごくわずかで、その変化が滴定曲線上に描かれることはありません。

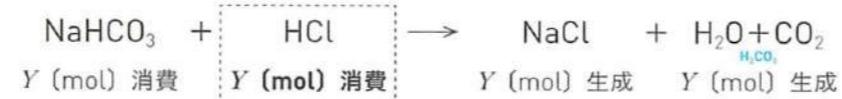
滴定曲線 NaOH、Na₂CO₃ 混合水溶液－塩酸滴定の滴定曲線は、p133 の図 1 または p135 の図の通りです。これらの図を見れば分かる通り、この中和反応の滴定曲線には、pH が急激に変化する部分（中和点）が 2 か所（第 1 中和点と第 2 中和点）に現れます。第 1 中和点は上記の第一段階の反応の終了点、また、第 2 中和点は上記の第二段階の反応の終了点です。

指示薬 第一中和点は、フェノールフタレンの変色で判定できます。また、第二中和点はメチルオレンジの変色で判定できます。

量的な関係 最初に NaOH が X (mol)、Na₂CO₃ が Y (mol) あったとする
と、第一段階では、次式の通りに反応して、X+Y (mol) の HCl が消費され、
Y (mol) の NaHCO₃ が生成します。



第二段階では、第一段階で生成した Y (mol) の NaHCO_3 が次式の通りに反応して、 Y (mol) の HCl が消費されます。

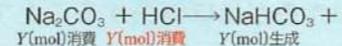
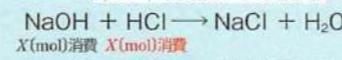


すなわち、最初にあった NaOH の物質量 (X (mol)) は、第1中和点までに用いた HCl の物質量 ($X+Y$ (mol)) と、第1中和点から第2中和点までに用いた HCl の物質量 (Y (mol)) の差に等しいということです。また、最初にあった Na_2CO_3 の物質量 (Y (mol)) は、第1中和点から第2中和点までに用いた HCl の物質量 (Y (mol)) に等しいということです。言い換えれば、**第1中和点までに用いた HCl の物質量 ($X+Y$ (mol))**、および、**第1中和点から第2中和点までに用いた HCl の物質量 (Y (mol))** を調べれば、最初にあった NaOH の物質量 (X (mol)) や Na_2CO_3 の物質量 (Y (mol)) が分かる！ということです。

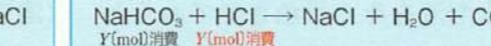
NaOH, Na_2CO_3 混合水溶液を塩酸で滴定すると？

以下は、 X (mol) の NaOH を含む混合水溶液に塩酸を加えていったときの概略である。

第1中和点までの反応



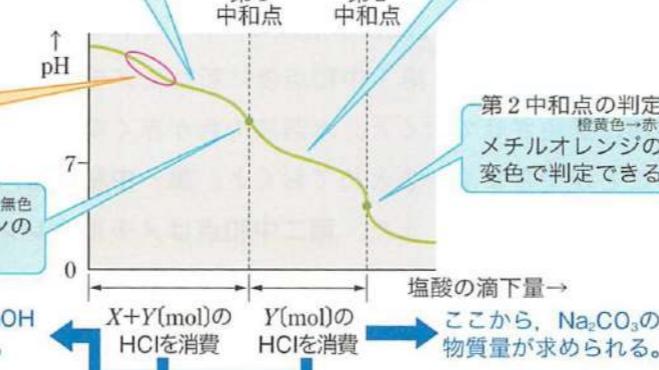
第1中和点から第2中和点までの反応



この部分（ NaOH の反応が終了したところ）の変化はごくわずかで、変化が表れないように描かれることが多い。

第1中和点の判定
フェノールフタレンの変色で判定できる。

この両者の差から、 NaOH の物質量が求められる。

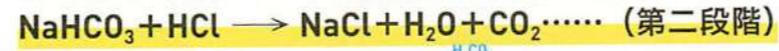
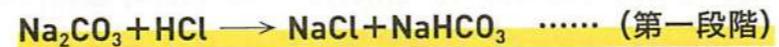


第2中和点の判定
橙黄色→赤色
メチルオレンジの変色で判定できる。

第一段階の塩酸の消費量は第二段階の塩酸の消費量より多い！

●二段階滴定(その2) Na_2CO_3 水溶液の滴定

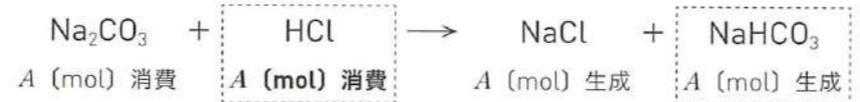
塩酸との反応 炭酸ナトリウム Na_2CO_3 は、1価の強塩基である水酸化ナトリウムと2価の弱酸である炭酸の正塩で、その水溶液は比較的強い塩基性を示します。よって、この水溶液は塩酸などの強酸と中和反応しますが、この Na_2CO_3 水溶液と塩酸の中和反応は、次式の通り、2段階で起こります。Na₂CO₃は塩であるが、酸と反応するので、この反応は中和に含まれる。 2段階というのは、この2つの反応は、同時にではなく、第一段階の反応がほぼ終了してから、第二段階の反応が始まるという意味です。これは、 $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{CO}_3^{2-})$ 水溶液の方が、 $\text{NaHCO}_3(\text{HCO}_3^-)$ 水溶液より強い塩基性を示し、 H^+ を受け取りやすいためです。



滴定曲線 Na_2CO_3 水溶液－塩酸滴定の滴定曲線は、p133の図2またはp137の下の図の通りです。これらの図を見れば分かる通り、この中和反応の滴定曲線には、pHが急激に変化する部分（中和点）が2か所（第1中和点と第2中和点）に現れます。**第1中和点は上記の第一段階の反応の終了点、また、第2中和点は上記の第二段階の反応の終了点です。**

指示薬 第1中和点（＝第一段階の反応の終了点＝ NaCl , NaHCO_3 混合水溶液）のpHは8.5程度です。よって、滴定開始前にフェノールフタレンを加えて水溶液を赤く呈色させておくと、水溶液の赤色がほぼ消失することで、第一中和点を知ることができます。第2中和点（＝第二段階の反応の終了点＝実質的に、 NaCl , H_2CO_3 混合水溶液に、わずかに塩酸が加わった状態）のpHは3程度です。よって、第1中和点後に新たにメチルオレンジを加えて水溶液をとう橙黄色に呈色させておくと、水溶液の色が赤く変色することで、第二中和点を知ることができます。まとめておくと、**第一中和点は、フェノールフタレンの変色で判定できる、また、第二中和点はメチルオレンジの変色で判定できる**ということです。

量的な関係 最初に Na_2CO_3 が A (mol) あったとすると、第一段階では、次式の通りに反応して、 A (mol) の HCl が消費され、 A (mol) の NaHCO_3 が生成します。



第二段階では、第一段階で生成した A (mol) の NaHCO_3 が次式の通りに反応して、 A (mol) の HCl が消費されます。

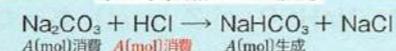


すなわち、最初にあった Na_2CO_3 の物質量 (A (mol)) は、第 1 中和点までに用いた HCl の物質量 (A (mol)), または、第 1 中和点から第 2 中和点までに用いた HCl の物質量 (A (mol)) と等しいということです。言い換えれば、**第 1 中和点までに用いた HCl の物質量 (A (mol)) 量, または、第 1 中和点から第 2 中和点までに用いた HCl の物質量 (A (mol)) を調べれば、最初にあった Na_2CO_3 の物質量 (A (mol)) が分かる!** ということです。

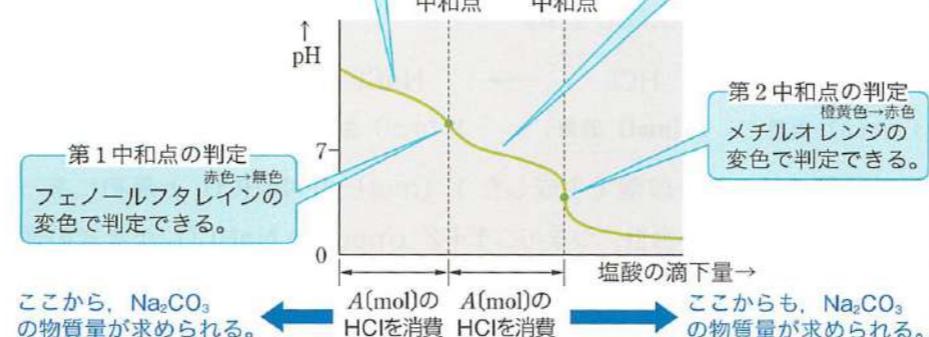
Na₂CO₃ 水溶液を塩酸で滴定すると?

以下は、 A (mol) の Na_2CO_3 を含む水溶液に塩酸を加えていったときの概略である。

第 1 中和点までの反応



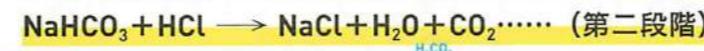
第 1 中和点から第 2 中和点までの反応



第一段階の塩酸の消費量と第二段階の塩酸の消費量は等しい!

●二段階滴定(その3) Na₂CO₃とNaHCO₃混合水溶液の滴定

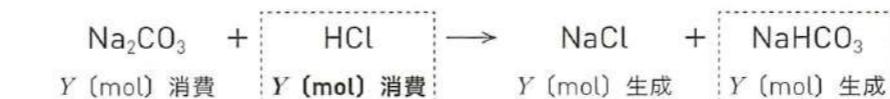
塩酸との反応 炭酸ナトリウム Na₂CO₃ は塩ですが、その水溶液は比較的強い塩基性を示します。炭酸水素ナトリウム NaHCO₃ も塩ですが、その水溶液は弱い塩基性を示します。当然、これらの混合水溶液も塩酸などの強酸と中和反応しますが、この混合水溶液と塩酸の中和反応は、次式の通り、2段階で起こります。2段階というのはこの2つの反応は、同時にではなく、第一段階の反応がほぼ終了してから、第二段階の反応が始まるという意味です。これは、Na₂CO₃(CO₃²⁻) 水溶液の方が、NaHCO₃(HCO₃⁻) 水溶液より強い塩基性を示し、H⁺を受け取りやすいためです。



滴定曲線 Na₂CO₃, NaHCO₃ 混合水溶液—塩酸滴定の滴定曲線は、p133の図3またはp139の図の通りです。これらの図を見れば分かる通り、この中和反応の滴定曲線には、pHが急激に変化する部分（中和点）が2か所（第1中和点と第2中和点）に現れます。**第1中和点は上記の第一段階の反応の終了点**、また、**第2中和点は上記の第二段階の反応の終了点**です。

指示薬 第一中和点は、フェノールフタレンの変色で判定できます。また、第二中和点はメチルオレンジの変色で判定できます。

量的な関係 最初に Na₂CO₃ が Y (mol), NaHCO₃ が Z (mol) あったとすると、第一段階では、次式の通りに反応して、Y (mol) の HCl が消費され、Y (mol) の NaHCO₃ が生成します。



第二段階では、第一段階で生成した Y (mol) の NaHCO₃ と最初にあった Z (mol) の NaHCO₃ の合計、つまり、Y+Z (mol) の NaHCO₃ が次式の通りに反応して、Y+Z (mol) の HCl が消費されます。

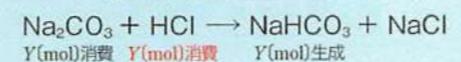


すなわち、最初にあった Na_2CO_3 の物質量 ($Y \text{ (mol)}$) は、第1中和点までに用いた HCl の物質量 ($Y \text{ (mol)}$) に等しいということです。また、最初にあった NaHCO_3 の物質量 ($Z \text{ (mol)}$) は、第1中和点までに用いた HCl の物質量 ($Y \text{ (mol)}$) と、第1中和点から第2中和点までに用いた HCl の物質量 ($Y+Z \text{ (mol)}$) の差に等しいということです。言い換えれば、**第1中和点までに用いた HCl の物質量 ($Y \text{ (mol)}$)**、および、**第1中和点から第2中和点までに用いた HCl の物質量 ($Y+Z \text{ (mol)}$)** を調べれば、最初にあった Na_2CO_3 の物質量 ($Y \text{ (mol)}$) や NaHCO_3 の物質量 ($Z \text{ (mol)}$) が分かる！ということです。

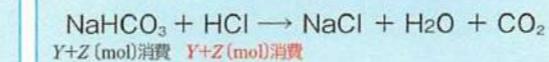
Na_2CO_3 , NaHCO_3 混合水溶液を塩酸で滴定すると？

以下は、 $Y \text{ (mol)}$ の Na_2CO_3 、 $Z \text{ (mol)}$ の NaHCO_3 を含む水溶液の混合水溶液に塩酸を加えていったときの概略である。

第1中和点までの反応



第1中和点から第2中和点までの反応



第1中和点の判定
赤色→無色
フェノールフタレンの
変色で判定できる。

ここから、 Na_2CO_3 の
物質量が求められる。

第2中和点の判定
橙黄色→赤色
メチルオレンジの
変色で判定できる。

この両者の差から、
 NaHCO_3 の物質量が
求められる。

第二段階の塩酸の消費量は第一段階の塩酸の消費量より多い！

4-1

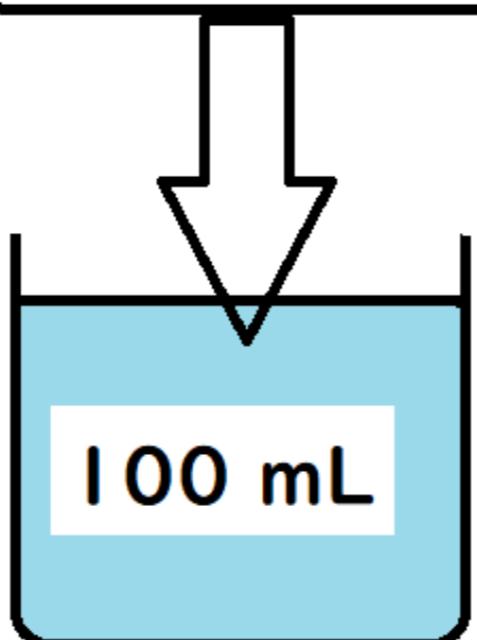
試料

5.00 g

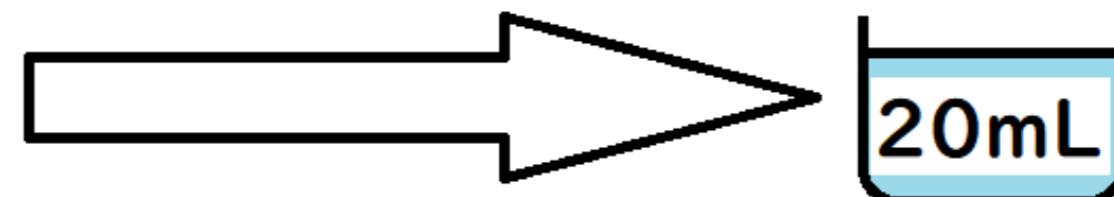
NaOH····· x mol

Na₂CO₃····· y mol

H₂O·····5.00-40 x -106 y [g]



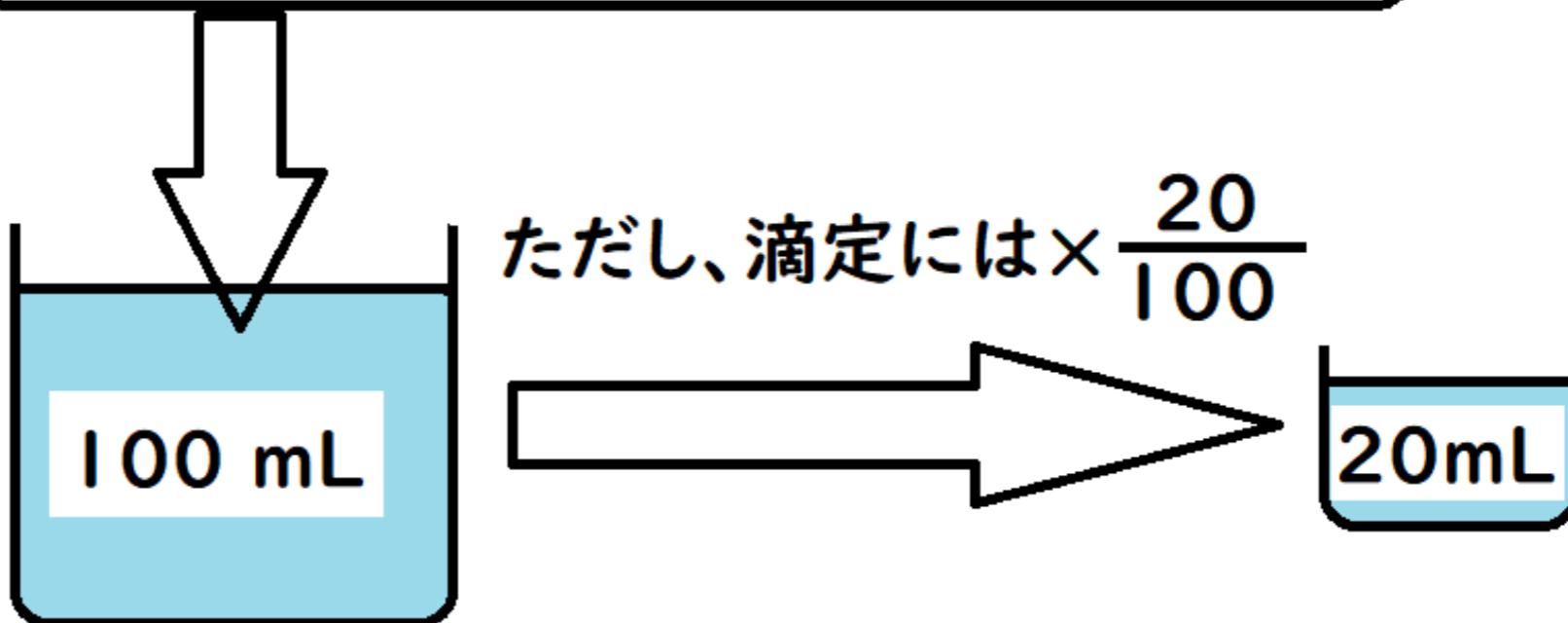
ただし、滴定には× $\frac{20}{100}$



4-1 試料

5.00 g

NaOH····· x mol
Na₂CO₃····· y mol
H₂O·····5.00-40 x -106 y [g]



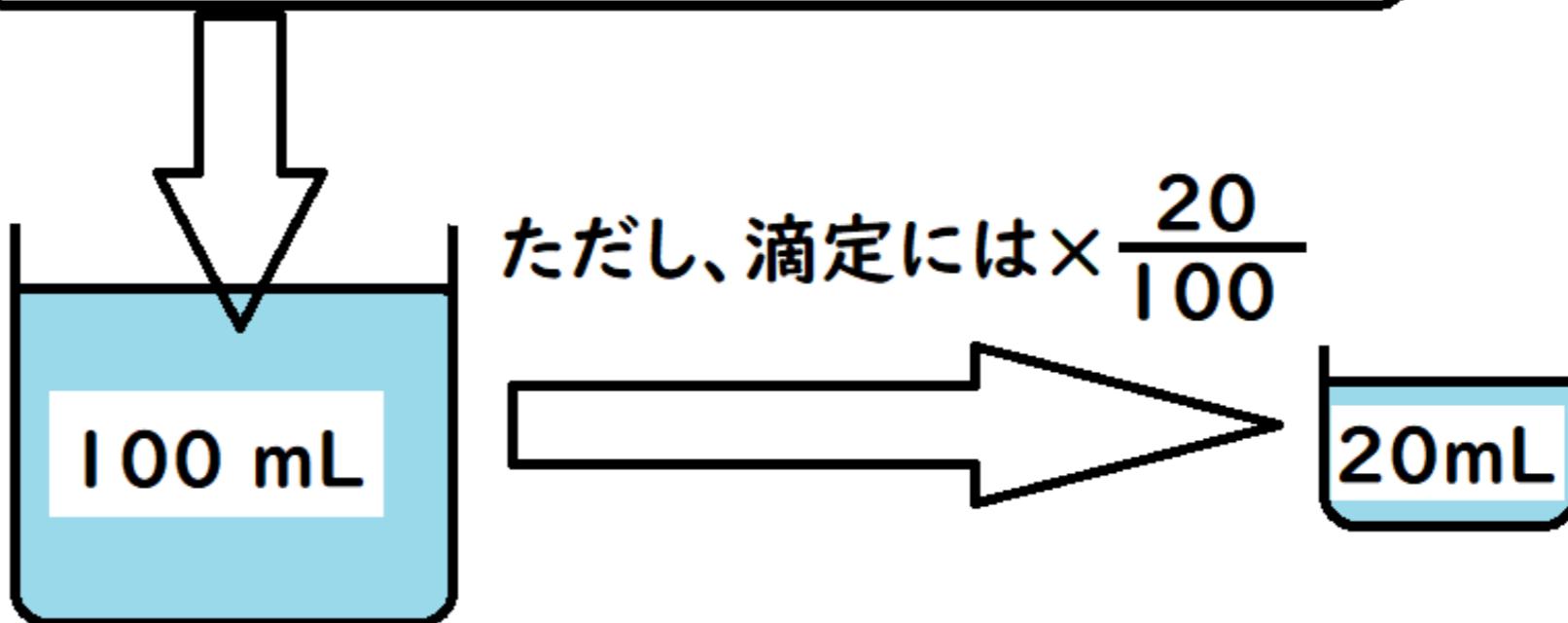
4-1 試料

5.00 g

NaOH ····· x mol

Na₂CO₃ ····· y mol

H₂O ······ 5.00 - 40 x - 106 y [g]



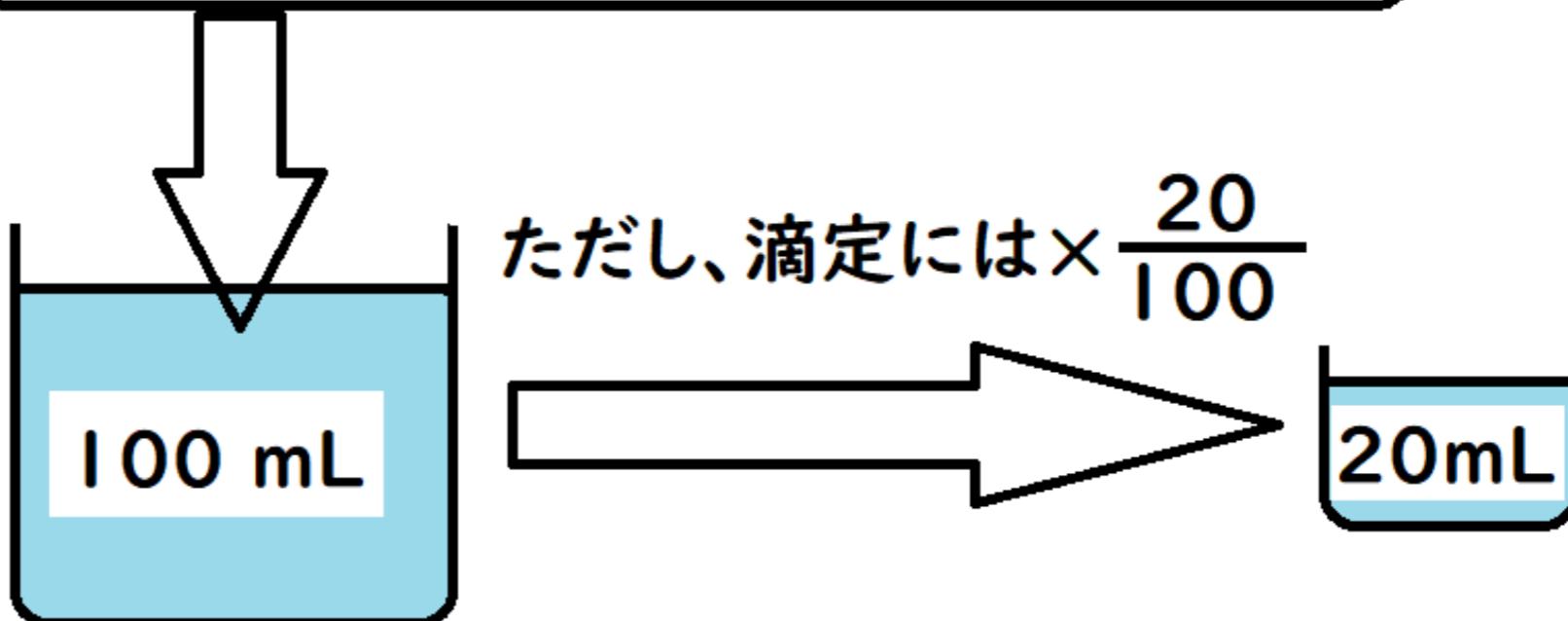
4-1 試料

5.00 g

NaOH ····· x mol

Na₂CO₃ ····· y mol

H₂O ······ 5.00 - 40 x - 106 y [g]



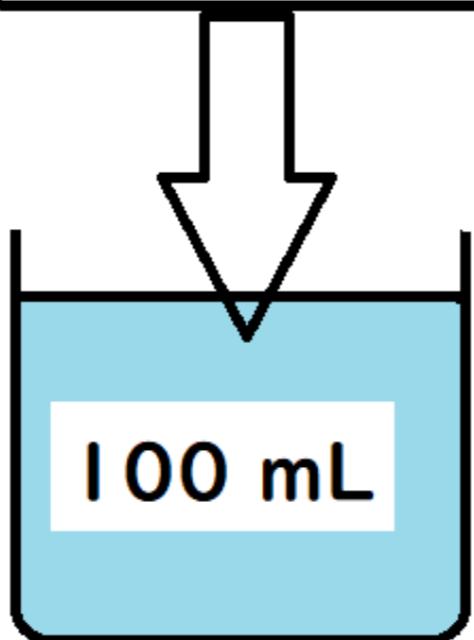
4-1 試料

5.00 g

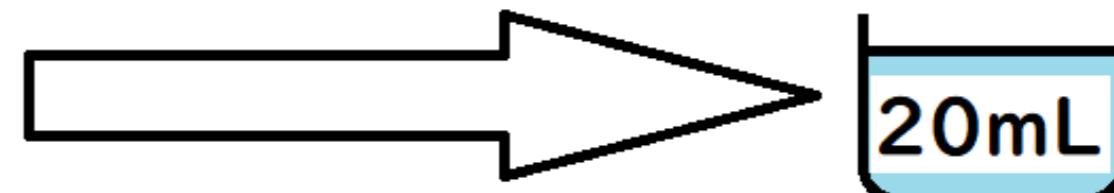
NaOH····· x mol

Na₂CO₃····· y mol

H₂O·····5.00-40 x -106 y [g]



ただし、滴定には× $\frac{20}{100}$



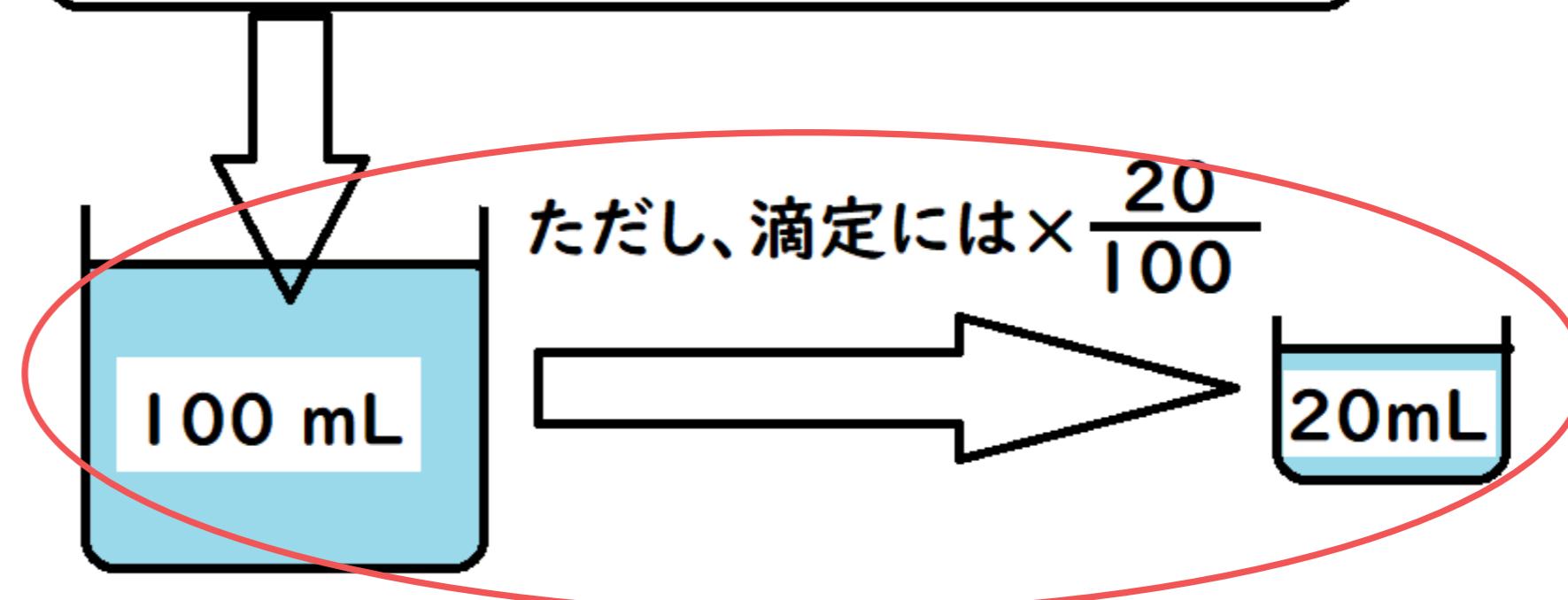
4-1 試料

5.00 g

NaOH····· x mol

Na₂CO₃····· y mol

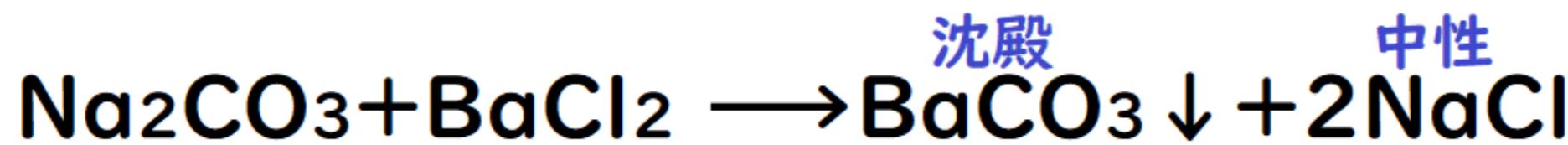
H₂O·····5.00-40 x -106 y [g]



(A)の操作



つまり、 NaOH は BaCl_2 を加えても残存する。



つまり、 Na_2CO_3 は BaCl_2 で取り除かれる。

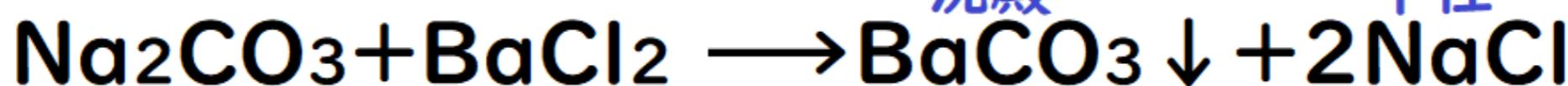
よってHClでの滴定は次の反応のみ。



(A)の操作



つまり、 NaOH は BaCl_2 を加えても残存する。



つまり、 Na_2CO_3 は BaCl_2 で取り除かれる。

沈殿

中性

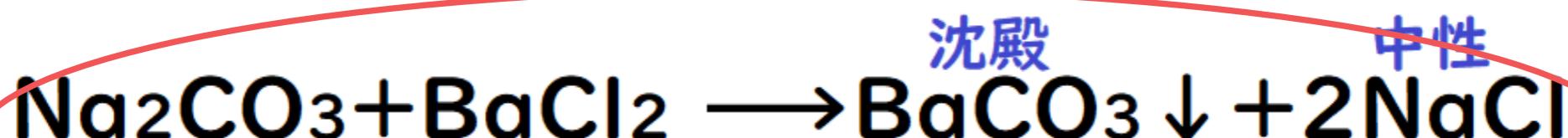
よってHClでの滴定は次の反応のみ。



(A)の操作



つまり、 NaOH は BaCl_2 を加えても残存する。



つまり、 Na_2CO_3 は BaCl_2 で取り除かれる。

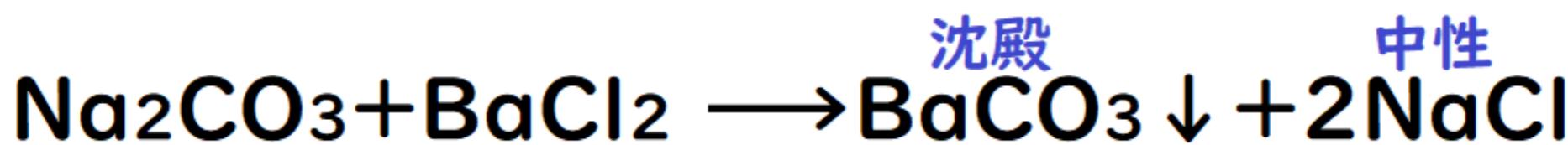
よってHClでの滴定は次の反応のみ。



(A)の操作



つまり、 NaOH は BaCl_2 を加えても残存する。



つまり、 Na_2CO_3 は BaCl_2 で取り除かれる。

よってHClでの滴定は次の反応のみ。



(A)の操作



つまり、 NaOH は BaCl_2 を加えても残存する。



問I(ア)

よってHClでの滴定は次の反応のみ。



問I(イ)

(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM.O.を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM.O.を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(B)の操作

HClでの滴定は次の三段階



よってM. O. を用いたHClでの滴定は次の2つの反応。



(A)の操作

HClでの滴定は



(B)の操作

HClでの滴定は



問2【解説】・・・水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムについて
5.00g 中の NaOH を x [mol], Na_2CO_3 を y [mol] とする。

実験操作(A) 塩化バリウムを加えることによって、炭酸ナトリウムを沈殿させて除去し、水酸化ナトリウムのみの水溶液としている。
よって、この操作では、水酸化ナトリウムと同一物質量の
塩酸が消費される。

操作(A)では、

$$x \times \frac{20}{100} = 1.00 \times \frac{12.2}{1000} \quad \cdots \textcircled{1}$$

(A)の操作

HClでの滴定は



NaOHの物質量 = 滴定に用いられたHClの物質量

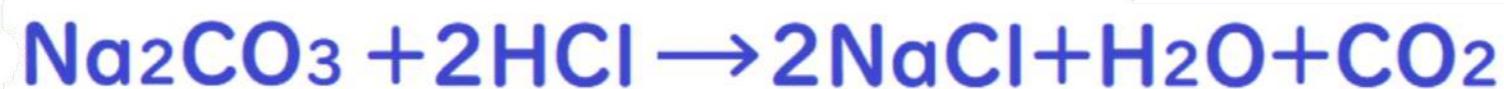
実験操作(B) メチルオレンジを指示薬として滴定すると、水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムのすべてが塩酸と反応する。よって、この操作では、水酸化ナトリウムと同一物質量の塩酸に加えて、炭酸ナトリウムの物質量の2倍の物質量の塩酸が消費される。

操作(B)では、

$$x \times \frac{20}{100} + 2 \times y \times \frac{20}{100} = 1.00 \times \frac{18.2}{1000} \quad \cdots ②$$

(B)の操作

HClでの滴定は：



NaOHの物質量 + 2×Na₂CO₃の物質量

=滴定に用いられたHClの物質量

問2【解説】・・・水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムについて
5.00g 中の NaOH を x [mol], Na_2CO_3 を y [mol] とする。

実験操作(A) 塩化バリウムを加えることによって、炭酸ナトリウムを沈殿させて除去し、水酸化ナトリウムのみの水溶液としている。よって、この操作では、水酸化ナトリウムと同一物質量の塩酸が消費される。

操作(A)では、

$$x \times \frac{20}{100} = 1.00 \times \frac{12.2}{1000} \quad \cdots \textcircled{1}$$

実験操作(B) メチルオレンジを指示薬として滴定すると、水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムのすべてが塩酸と反応する。よって、この操作では、水酸化ナトリウムと同一物質量の塩酸に加えて、炭酸ナトリウムの物質量の2倍の物質量の塩酸が消費される。

操作(B)では、

$$x \times \frac{20}{100} + 2 \times y \times \frac{20}{100} = 1.00 \times \frac{18.2}{1000} \quad \cdots \textcircled{2}$$

①, ②より、

$$x = 6.10 \times 10^{-2} \text{ mol}, y = 1.50 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

~~問2【解説】~~

~~5.00 g 中の NaOH (モル質量 40.0g/mol) の質量は,~~

$$40.0 \times 6.10 \times 10^{-2} = 2.44 (\text{g})$$

~~問2【解答】~~

~~5.00 g 中の Na₂CO₃ (モル質量 106g/mol) の質量は,~~

~~問2【解答】~~

問2【解説】

5.00 g 中の NaOH (モル質量 40.0g/mol) の質量は,

$$40.0 \times 6.10 \times 10^{-2} = 2.44 \text{ (g)}$$

問2【解答】

5.00 g 中の Na₂CO₃ (モル質量 106g/mol) の質量は,

$$106 \times 1.50 \times 10^{-2} = 1.59 \text{ (g)}$$

問2【解答】

問2【解説】

5.00 g 中の NaOH (モル質量 40.0g/mol) の質量は,

$$40.0 \times 6.10 \times 10^{-2} = 2.44 \text{ (g)}$$

問2【解答】

5.00 g 中の Na₂CO₃ (モル質量 106g/mol) の質量は,

$$106 \times 1.50 \times 10^{-2} = 1.59 \text{ (g)}$$

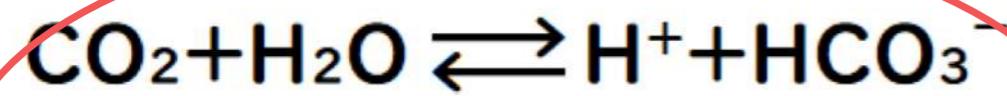
問2【解答】

補足

すなわち、5.00 g 中の H₂O (モル質量 18.0 g/mol) の物質量は,

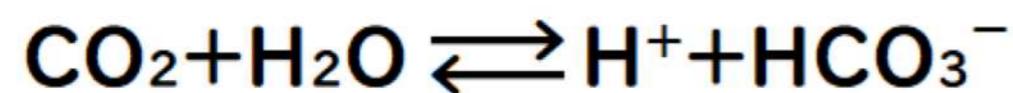
$$\frac{5.00 - 2.44 - 1.59}{18} = 5.38 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

4-2の概略

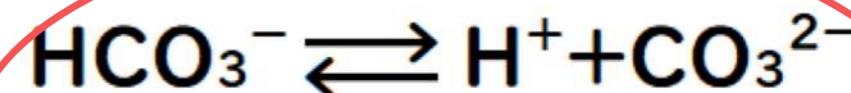


$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

4-2の概略

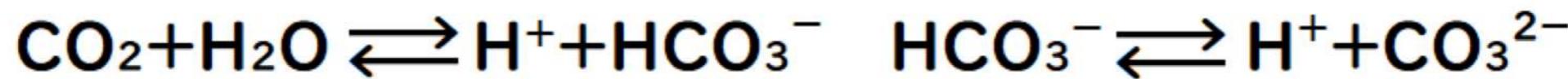


$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$



$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

4-2の概略

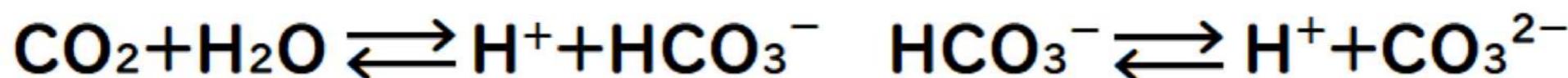


$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$K_1 \gg K_2$ なので、 K_1 （第一電離）を考えるとき
 K_2 （第二電離）を考慮する必要はない。

4-2の概略



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

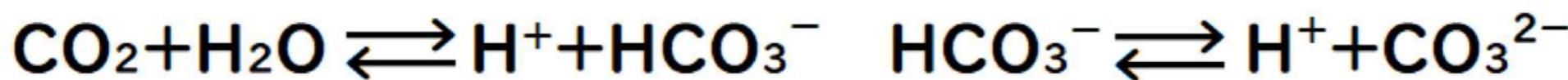
$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$K_1 \gg K_2$ なので、 K_1 （第一電離）を考えるとき

K_2 （第二電離）を考慮する必要はない。

すなわち、 $[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-]$ $\left[\begin{array}{ccc} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} & \rightleftharpoons & \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \\ -x & & +x & +x \end{array} \right]$

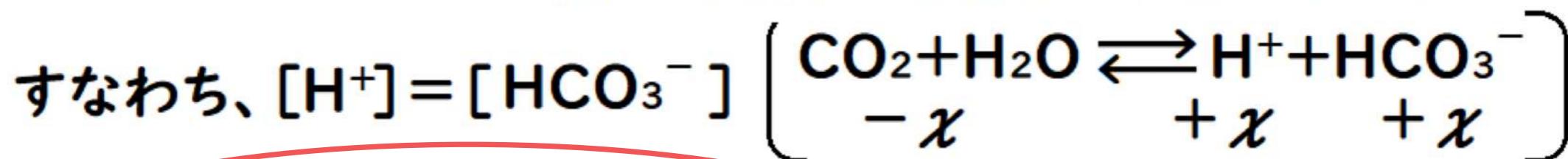
4-2の概略



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

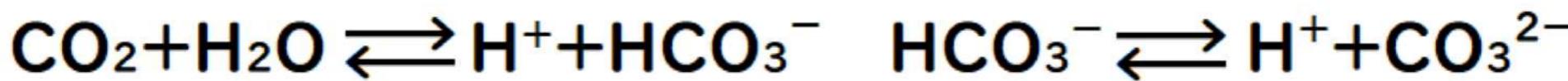
$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$K_1 \gg K_2$ なので、 K_1 （第一電離）を考えるとき
 K_2 （第二電離）を考慮する必要はない。



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CO}_2]}$$

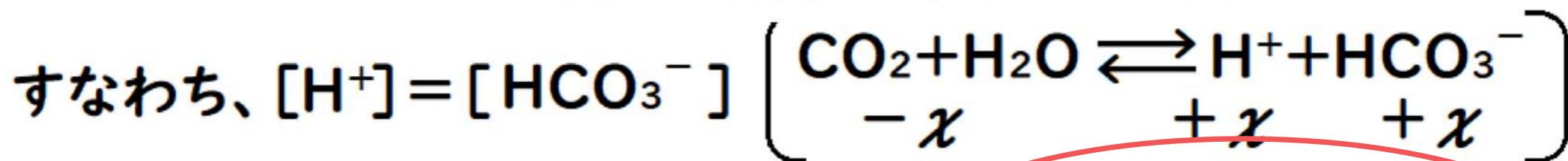
4-2の概略



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

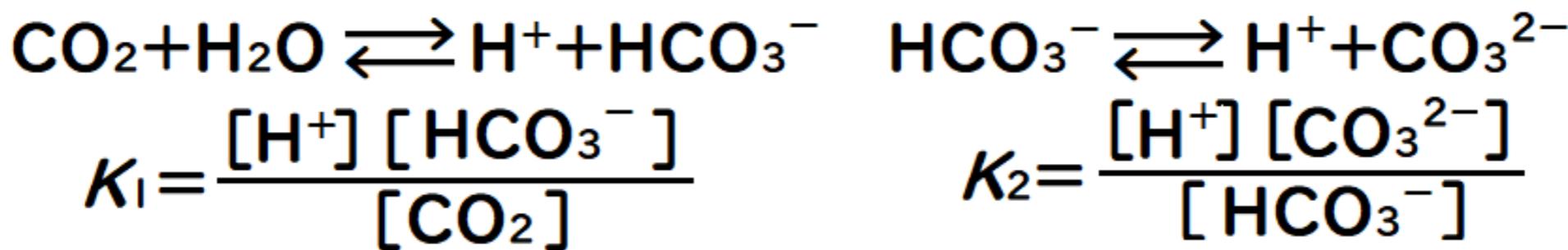
$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$K_1 \gg K_2$ なので、 K_1 （第一電離）を考えるとき
 K_2 （第二電離）を考慮する必要はない。

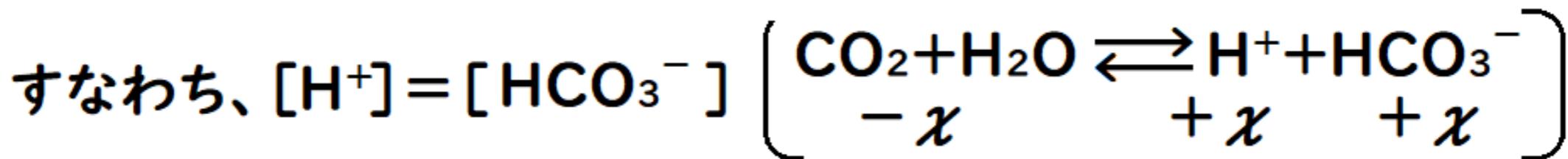


$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CO}_2]} \quad \therefore [\text{H}^+] = \sqrt{K_1 [\text{CO}_2]}$$

4-2の概略



$K_1 \gg K_2$ なので、 K_1 （第一電離）を考えるとき
 K_2 （第二電離）を考慮する必要はない。



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{CO}_2]} \quad \therefore [\text{H}^+] = \sqrt{K_1 [\text{CO}_2]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = [\text{CO}_3^{2-}]$$

4-2 灰酸の電離平衡

(1) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad \dots \text{(1)式}$$

(2) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

... (2)式

題意 (式(1)による電離のみを考えればよい。) を解釈すると、

... (3)式

すなわち、(1)式に(3)式をあてはめると、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = \text{よって, } [H^+] = \dots \text{(4)式}$$

すなわち、(2)式に(3)式をあてはめると、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \dots \text{(5)式}$$

4-2 灰酸の電離平衡

（1）の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad \dots (1) \text{式}$$

（2）の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad \dots (2) \text{式}$$

題意（式（1）による電離のみを考えればよい。）を解釈すると、

（3）式

すなわち、（1）式に（3）式をあてはめると、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = \text{よって, } [H^+] = \dots (4) \text{式}$$

すなわち、（2）式に（3）式をあてはめると、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \dots (5) \text{式}$$

4-2 灰酸の電離平衡

(1) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、――――――

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \quad \cdots \text{ (1) 式}$$

(2) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、――――――

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad \cdots \text{ (2) 式}$$

題意 (式(1)による電離のみを考えればよい。) を解釈すると、――――――

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] \quad \cdots \text{ (3) 式}$$

すなわち、(1) 式に (3) 式をあてはめると、――――――

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \text{よって, } [\text{H}^+] = \cdots \text{ (4) 式}$$

すなわち、(2) 式に (3) 式をあてはめると、――――――

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = \cdots \text{ (5) 式}$$

4-2 灰酸の電離平衡

(1) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad \dots (1) \text{式}$$

(2) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad \dots (2) \text{式}$$

題意 (式(1)による電離のみを考えればよい。) を解釈すると、

$$[HCO_3^-] \rightleftharpoons [H^+] \quad \dots (3) \text{式}$$

すなわち、(1)式に(3)式をあてはめると、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = \frac{[H^+]^2}{[CO_2]} \quad \text{よって, } [H^+] = \dots (4) \text{式}$$

すなわち、(2)式に(3)式をあてはめると、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \dots \quad \dots (5) \text{式}$$

4-2 炭酸の電離平衡

(1) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad \dots \text{ (1) 式}$$

(2) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad \dots \text{ (2) 式}$$

題意 (式(1)による電離のみを考えればよい。) を解釈すると、

$$[HCO_3^-] \doteq [H^+] \quad \dots \text{ (3) 式}$$

すなわち、(1) 式に (3) 式をあてはめると、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = \frac{[H^+]^2}{[CO_2]} \text{ よって, } [H^+] = \sqrt{K_1 [CO_2]} \quad \dots \text{ (4) 式}$$

すなわち、(2) 式に (3) 式をあてはめると、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \dots \text{ (5) 式}$$

4-2 炭酸の電離平衡

(1) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} \quad \dots \text{ (1) 式}$$

(2) の電離平衡に関する化学平衡の法則は、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad \dots \text{ (2) 式}$$

題意 (式(1)による電離のみを考えればよい。) を解釈すると、

$$[HCO_3^-] \doteq [H^+] \quad \dots \text{ (3) 式}$$

すなわち、(1) 式に (3) 式をあてはめると、

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2]} = \frac{[H^+]^2}{[CO_2]} \quad \text{よって, } [H^+] = \sqrt{[CO_2]K_1} \quad \dots \text{ (4) 式}$$

すなわち、(2) 式に (3) 式をあてはめると、

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = [CO_3^{2-}] \quad \dots \text{ (5) 式}$$

問1 ア、イ【解答】 ア… HCO_3^- イ… $\sqrt{[\text{CO}_2]K_1}$

$C \text{ mol/L}$ の $\text{H}_2\text{CO}_3\text{aq}$ の $[\text{H}^+]$ は?

近似的には, $[\text{H}^+] (= [\text{HCO}_3^-]) = \sqrt{CK_1}$

問1 ア、イ【解答】 ア… HCO_3^- イ… $\sqrt{[\text{CO}_2]K_1}$

$C \text{ mol/L}$ の $\text{H}_2\text{CO}_3\text{aq}$ の $[\text{H}^+]$ は?

近似的には,

$$[\text{H}^+] (= [\text{HCO}_3^-]) = \sqrt{CK_1}$$

$$\text{気体の溶解量(mol)} = \frac{1.01 \times 10^5 \text{ Pa}}{\text{下で, } 1\text{ L の溶媒に溶ける気体の物質量(mol)}} \times \frac{\text{気体の圧力(Pa)}}{1.01 \times 10^5} \times \text{溶媒の体積(L)}$$

問2 ウ【解説】

ヘンリーの法則より、

$$3.0 \times 10^{-2} \times \frac{1.01 \times 10^5 \times \frac{0.040}{100}}{1.01 \times 10^5} = 1.20 \times 10^{-5} (\text{mol/L})$$

問2ウ【解答】 1.2×10^{-5}

問2 エ【解説】

(4)式より、

$$[\text{H}^+] = \sqrt{[\text{CO}_2]K_1} =$$

問2エ【解答】 2.3×10^{-6}

(5)式より、

$$[\text{CO}_3^{2-}] = K_2 = 5.0 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

問2 ウ【解説】

ヘンリーの法則より、

$$3.0 \times 10^{-2} \times \frac{1.01 \times 10^5 \times \frac{0.040}{100}}{1.01 \times 10^5} = 1.20 \times 10^{-5} (\text{mol/L})$$

問2ウ【解答】 1.2×10^{-5}

問2 エ【解説】

(4)式より、

$$\begin{aligned}[H^+] &= \sqrt{[CO_2]K_1} = \sqrt{1.20 \times 10^{-5} \times 4.5 \times 10^{-7}} \\ &= 6 \times \sqrt{3} \times \sqrt{5} \times 10^{-7} = 2.32 \times 10^{-6} (\text{mol/L})\end{aligned}$$

問2エ【解答】 2.3×10^{-6}

(5)式より、

$$[CO_3^{2-}] = K_2 = 5.0 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

問2 ウ【解説】

ヘンリーの法則より、

$$3.0 \times 10^{-2} \times \frac{1.01 \times 10^5 \times \frac{0.040}{100}}{1.01 \times 10^5} = 1.20 \times 10^{-5} (\text{mol/L})$$

問2ウ【解答】 1.2×10^{-5}

問2 エ【解説】

(4)式より、

$$\begin{aligned}[H^+] &= \sqrt{[CO_2]K_1} = \sqrt{1.20 \times 10^{-5} \times 4.5 \times 10^{-7}} \\ &= 6 \times \sqrt{3} \times \sqrt{5} \times 10^{-7} = 2.32 \times 10^{-6} (\text{mol/L})\end{aligned}$$

問2エ【解答】 2.3×10^{-6}

記入済み

(5)式より、

$$[CO_3^{2-}] = K_2 = 5.0 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

一方、 $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$ より、

また、 $K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ より、

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

$$=$$

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

$$\text{一方}, K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \text{ より, }$$

$$\text{また}, K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \text{ より, }$$



溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

何を求めるのか？

=



問3【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

一方、 $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$ より、

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

また、 $K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ より、

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] &= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2] \\ &= \end{aligned}$$

既知

水中の $[\text{CO}_2]$ は、 CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

一方、 $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$ より、

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

また、 $K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ より、

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times [\text{HCO}_3^-]$$

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

既知 $[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

=

水中の $[\text{CO}_2]$ は、 CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

$$\text{一方}, K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \text{ より,}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

$$\text{また}, K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \text{ より,}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times [\text{HCO}_3^-] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] = \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

$$=$$

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2 ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

一方、 $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$ より、

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

また、 $K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ より、

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times [\text{HCO}_3^-] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] = \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

$$= \left(1 + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \right) [\text{CO}_2]$$

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2 ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

一方、 $K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$ より、

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

また、 $K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$ より、

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times [\text{HCO}_3^-] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] = \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$= [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

$$= \left(1 + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \right) [\text{CO}_2]$$

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = \left(1 + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \right) [\text{CO}_2]$$

~~具体的に数値を代入すると~~

水溶液の pH は 10.0 だから,

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = \left(1 + \frac{4.5 \times 10^{-7}}{1.0 \times 10^{-10}} + \frac{4.5 \times 10^{-7} \times 5.0 \times 10^{-11}}{(1.0 \times 10^{-10})^2} \right) \times 1.2 \times 10^{-5}$$

$$= (1 + 4.5 \times 10^3 + 2.25 \times 10^3) \times 1.2 \times 10^{-5} \doteq 6.75 \times 10^3 \times 1.2 \times 10^{-5} = 8.1 \times 10^{-2} (\text{mol/L})$$

水溶液の体積は 1.0 L だから, 溶解した CO_2 の総物質量は,

水溶液の pH は 10.0 だから、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = \left(1 + \frac{4.5 \times 10^{-7}}{1.0 \times 10^{-10}} + \frac{4.5 \times 10^{-7} \times 5.0 \times 10^{-11}}{(1.0 \times 10^{-10})^2} \right) \times 1.2 \times 10^{-5}$$

$$= (1 + 4.5 \times 10^3 + 2.25 \times 10^3) \times 1.2 \times 10^{-5} \doteq 6.75 \times 10^3 \times 1.2 \times 10^{-5} = 8.1 \times 10^{-2} (\text{mol/L})$$

水溶液の体積は 1.0 L だから、溶解した CO_2 の総物質量は、

$$8.1 \times 10^{-2} \times 1.0 = 8.1 \times 10^{-2} (\text{mol})$$

問3 【解答】 $8.1 \times 10^{-2} \text{ mol}$

【解説】水中の $[\text{CO}_2]$ は、水溶液の pH によらず水面に接している

CO_2 の圧力に比例するから、 $[\text{CO}_2]$ は問2ウと等しく、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。

$$\text{一方}, K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \text{ より,}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2]$$

$$\text{また}, K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \text{ より,}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times [\text{HCO}_3^-] = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} \times \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] = \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

溶解した CO_2 は、水溶液中において CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} のいずれかのかたちで存在するから、そのモル濃度の合計は、

$$[\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = [\text{CO}_2] + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} \times [\text{CO}_2] + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \times [\text{CO}_2]$$

$$= \left(1 + \frac{K_1}{[\text{H}^+]} + \frac{K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2} \right) [\text{CO}_2]$$

水溶液の pH は 10.0 だから、

$$\begin{aligned} [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] &= \left(1 + \frac{4.5 \times 10^{-7}}{1.0 \times 10^{-10}} + \frac{4.5 \times 10^{-7} \times 5.0 \times 10^{-11}}{(1.0 \times 10^{-10})^2} \right) \times 1.2 \times 10^{-5} \\ &= (1 + 4.5 \times 10^3 + 2.25 \times 10^3) \times 1.2 \times 10^{-5} \doteq 6.75 \times 10^3 \times 1.2 \times 10^{-5} = 8.1 \times 10^{-2} (\text{mol/L}) \end{aligned}$$

水溶液の体積は 1.0 L だから、溶解した CO_2 の総物質量は、

$$8.1 \times 10^{-2} \times 1.0 = 8.1 \times 10^{-2} (\text{mol})$$

4-3 固体の溶解度、溶解度積

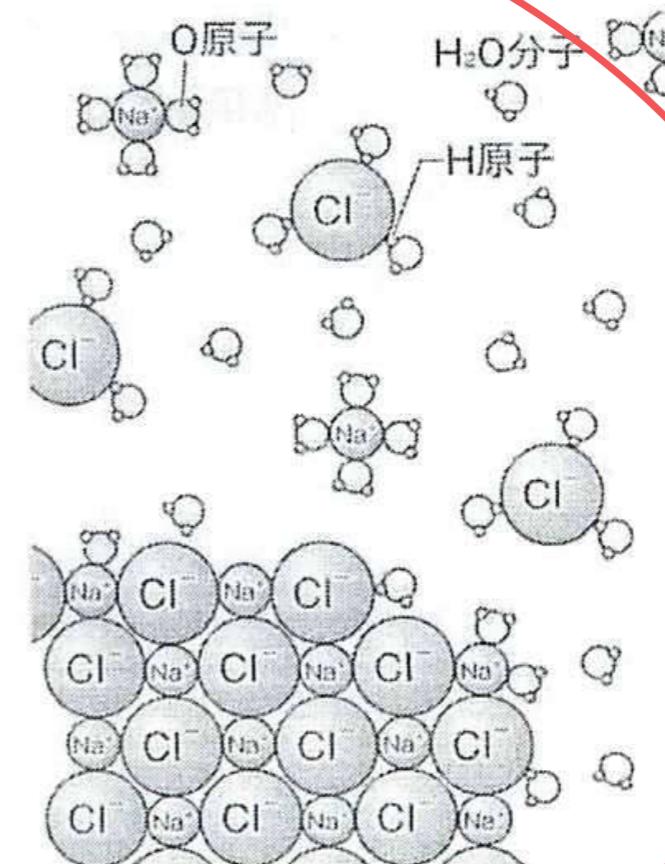
イオン結晶の溶解

NaClのようなイオン結晶は、一般に、^{polar solvent}水（極性溶媒）に溶けやすいので、ここでは、NaClを例に、イオン結晶の水への溶解について考えてみましょう。少量のNaClを水に入れると、

① Na⁺やCl⁻が、周囲のいくつかの水分子に取り囲まれ、静電気的な引力で引き合って安定化される。

② 水和したNa⁺やCl⁻が、熱運動により、水中に拡散していく。

という現象が起こります。これが、イオン結晶が水に溶解するしくみです。

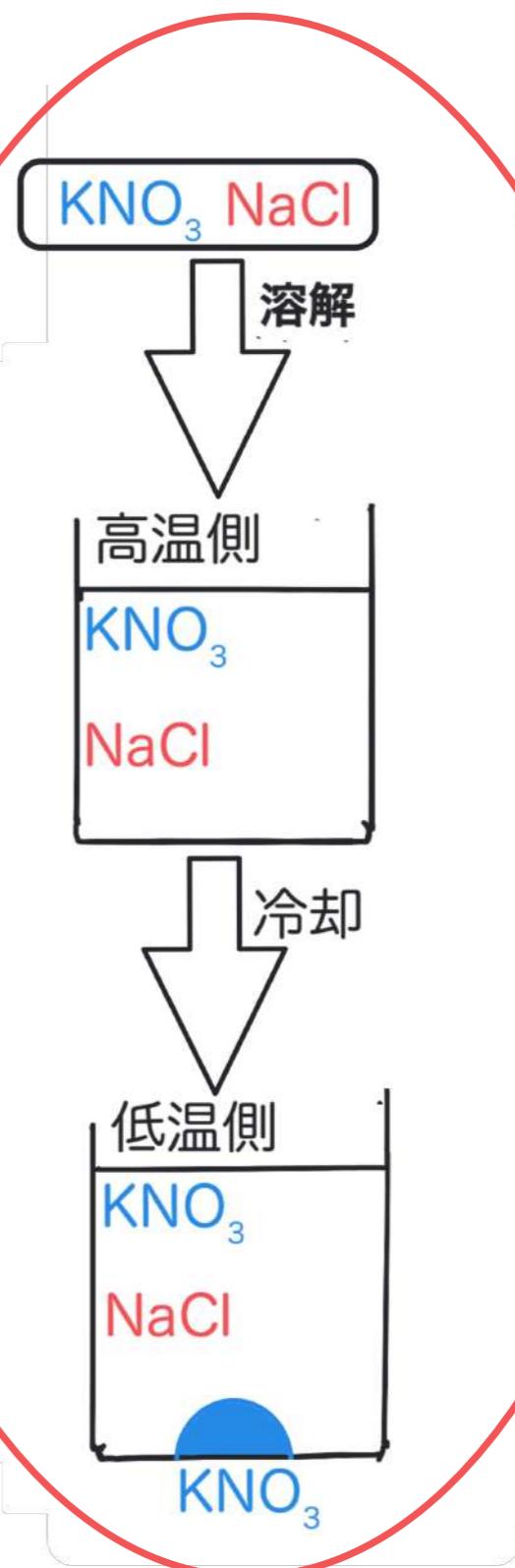
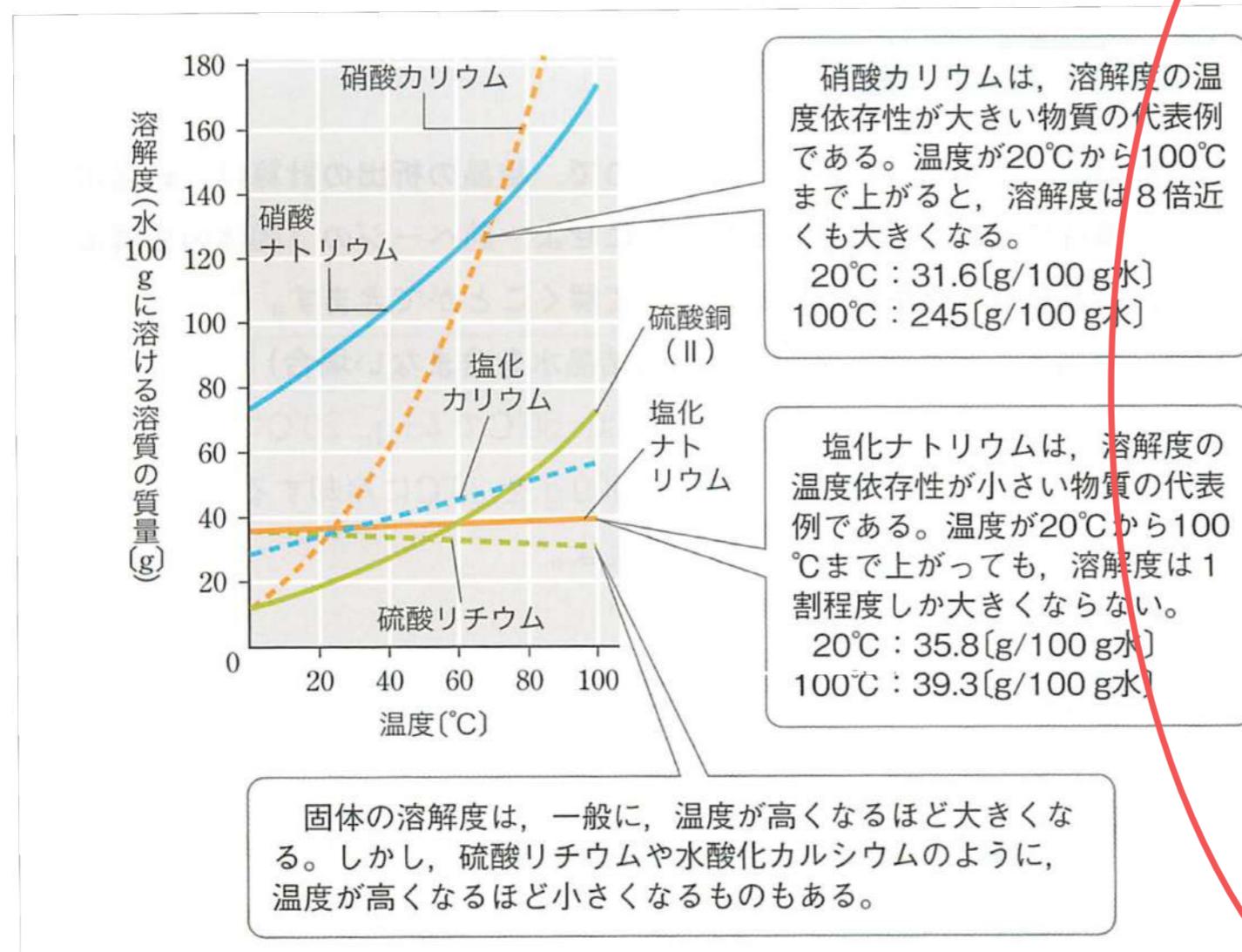


Na⁺は、いくらか負の電荷(δ-)を帯びたH₂O分子中のO原子と結び付き、Cl⁻は、いくらか正の電荷(δ+)を帯びたH原子と結び付く。

溶解という現象の理解

再結晶による固体物質の精製の理解

[1行目～7行目：再結晶]



再結晶による固体物質の精製の理解(具体的な計算の例)

[1行目～7行目:再結晶]

再結晶でできることは?

2種類以上の固体の混合物から、溶解度の差を利用して、各成分を分離できる。

例: 塩化カリウムを取り除き、硝酸カリウムを精製できる!

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
KNO ₃	13.3	22.0	31.6	45.6	63.9	85.2	109.2	168.8	244.8
NaCl	35.7	35.7	35.8	36.1	36.3	36.7	37.1	38.0	39.3

step 1

硝酸カリウム
の純度は90%

不純物として塩化ナトリウムを含む、硝酸カリウムが100.0gある。

硝酸
カリウム
90.0g ある。
塩化
ナトリウム
10.0g 含まれる。

step 2

60°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム90.0gが溶解する。
塩化ナトリウム10.0gが溶解する。

溶解

step 3

30°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム45.6gが溶解する。
塩化ナトリウム10.0gが溶解する。

冷却

step 4

不純物を含まない
純度100%の硝酸
カリウムが得られた。

硝酸
カリウム
44.4g 得られる。

硝酸
カリウム
44.4g ある。
塩化
ナトリウム
含まれない。

析出し
た沈殿
を回収

【1行目～7行目：再結晶】

再結晶でできることは？

2種類以上の固体の混合物から、溶解度の差を利用して、各成分を分離できる。

例：塩化カリウムを取り除き、硝酸カリウムを精製できる！

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
KNO ₃	13.3	22.0	31.6	45.6	63.9	85.2	109.2	168.8	244.8
NaCl	35.7	35.7	35.8	36.1	36.3	36.7	37.1	38.0	39.3

step 1

硝酸カリウム
の純度は90%

不純物として塩化ナトリウムを含む、硝酸カリウムが100.0gある。

硝酸
カリウム
90.0g ある。
塩化
ナトリウム
10.0g 含まれる。

step 2

60°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム90.0gが溶解する。
塩化ナトリウム10.0gが溶解する。

溶解

step 3

30°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム45.6gが溶解する。
塩化ナトリウム10.0gが溶解する。

冷却

step 4

不純物を含まない
純度100%の硝酸
カリウムが得られた。

硝酸カリウムが
44.4g 得られる。

硝酸
カリウム
44.4g ある。
塩化
ナトリウム
含まれない。

【1行目～7行目：再結晶】

再結晶でできることは？

2種類以上の固体の混合物から、溶解度の差を利用して、各成分を分離できる。

例：塩化カリウムを取り除き、硝酸カリウムを精製できる！

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
KNO ₃	13.3	22.0	31.6	45.6	63.9	85.2	109.2	168.8	244.8
NaCl	35.7	35.7	35.8	36.1	36.3	36.7	37.1	38.0	39.3

step 1

硝酸カリウム
の純度は90%

不純物として塩化ナトリウムを含む、硝酸カリウムが100.0gある。

硝酸
カリウム
90.0g ある。
塩化
ナトリウム
10.0g 含まれる。

step 2

60°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム90.0gが溶解する。
塩化ナトリウム10.0gが溶解する。

溶解

30°Cでは、100gの水に、
硝酸カリウム45.6gが溶解する。

塩化ナトリウム
10.0gが溶解する。

冷却

硝酸
カリウム
44.4gが析出する。
塩化
ナトリウム
析出しない。

不純物を含まない
純度100%の硝酸
カリウムが得られた。

硝酸カリウムが
44.4g得られる。

硝酸
カリウム
44.4g ある。
塩化
ナトリウム
含まれない。

不純物を含まない
純度100%の硝酸
カリウムが得られた。

硝酸カリウムが
44.4g得られる。

硝酸
カリウム
44.4g ある。
塩化
ナトリウム
含まれない。

【1行目～7行目：再結晶】

再結晶でできることは？

2種類以上の固体の混合物から、溶解度の差を利用して、各成分を分離できる。

例：塩化カリウムを取り除き、硝酸カリウムを精製できる！

	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C
KNO ₃	13.3	22.0	31.6	45.6	63.9	85.2	109.2	168.8	244.8
NaCl	35.7	35.7	35.8	36.1	36.3	36.7	37.1	38.0	39.3

step 1

硝酸カリウム
の純度は 90%

不純物として塩化ナトリウムを含む、硝酸カリウムが 100.0g ある。

硝酸
カリウム
90.0g ある。
塩化
ナトリウム
10.0g 含まれる。

溶解

step 2

60°Cでは、100g の水に、
硝酸カリウム 90.0g が溶解する。
塩化ナトリウム 10.0g が溶解する。

冷却

step 3

30°Cでは、100g の水に、
硝酸カリウム 45.6g が溶解する。
塩化ナトリウム 10.0g が溶解する。

硝酸
カリウム
44.4g が析出する。
塩化
ナトリウム
析出しない。

step 4

不純物を含まない
純度 100% の硝酸
カリウムが得られた。

硝酸カリウムが
44.4g 得られる。

硝酸
カリウム
44.4g ある。
塩化
ナトリウム
含まれない。

問1(A)【解説】

— A100g を80°C ですべて溶解させるために必要な水の質量は, —

問1(A)【解答】 400

問1(B)【解説】

(物質A)

— 25°C で、水 400g に溶解する物質B の最大の質量は, —

問1(B)【解答】 20

問1(C)【解説】²⁵

— 80°C から ~~20~~ °Cへの冷却で 析出する物質A の質量は, —

問1(C)【解答】 80

混合物

物質A 物質B
100g x [g]

↓ すべて溶かす

80°C
物質A 物質B
100g x [g]

↓ 冷却

25°C
物質A 物質B
一部析出 x [g]

問1(A)【解説】

—A100gを80℃ですべて溶解させるために必要な水の質量は、—

問1(A)【解答】 400

問1(B)【解説】

(物質A)

—25℃で、水400gに溶解する物質Bの最大の質量は、—

問1(B)【解答】 20

問1(C)【解説】²⁵

—80℃から~~25~~0℃への冷却で析出する物質Aの質量は、—

問1(C)【解答】 80

混合物

物質A 物質B
100g x [g]

↓ すべて溶かす

80℃
物質A 物質B
100g x [g]

↓ 冷却

25℃
物質A 物質B
一部析出 x [g]

問1 (A)【解説】

A100gを80℃ですべて溶解させるために必要な水の質量は、

$$100 \times \frac{100}{25} = 400 \text{ (g)}$$

物質Aも物質Bも
4倍溶かすには

溶解度: 25g / 100g水

問1(A)【解答】 400

問1 (B)【解説】

(物質A)

25℃で、水400gに溶解する物質Bの最大の質量は、

問1(B)【解答】 20

問1 (C)【解説】 25

80℃から~~20~~℃への冷却で析出する物質Aの質量は、

問1(C)【解答】 80

混合物

物質A	物質B
100g	x [g]

↓ すべて溶かす

80℃	物質A	物質B
100g	x [g]	

↓ 冷却

25℃	物質A	物質B
一部析出	x [g]	

問1 (A)【解説】

A100gを80℃ですべて溶解させるために必要な水の質量は、

$$100 \times \frac{100}{25} = 400 \text{ (g)} \quad \text{物質Aも物質Bも} \\ \text{4倍溶かすには} \quad \text{溶解度: } 25\text{g}/100\text{g水}$$

問1(A)【解答】 400

問1 (B)【解説】

(物質A)

25℃で、水400gに溶解する物質Bの最大の質量は、

$$5 \times \frac{400}{100} = 20 \text{ (g)} \quad \text{物質Aも物質Bも} \\ \text{4倍の水には} \quad \text{溶解度: } 5\text{g}/100\text{g水}$$

問1(B)【解答】 20

問1 (C)【解説】

25

80℃から~~20~~℃への冷却で析出する物質Aの質量は、

問1(C)【解答】 80

混合物

物質A	物質B
100g	x [g]

↓ すべて溶かす

80℃	400g水
物質A	物質B

↓ 冷却

25℃	400g水
物質A	物質B

一部析出 x [g]

問1 (A)【解説】

A100gを80℃ですべて溶解させるために必要な水の質量は、

$$100 \times \frac{100}{25} = 400 \text{ (g)} \quad \begin{array}{l} \text{物質Aも物質Bも} \\ \text{4倍溶かすには} \end{array}$$

問1 (A)【解答】 400

問1 (B)【解説】

(物質A)

25℃で、水400gに溶解する物質Bの最大の質量は、

$$5 \times \frac{400}{100} = 20 \text{ (g)} \quad \begin{array}{l} \text{物質Aも物質Bも} \\ \text{4倍の水には} \end{array}$$

問1 (B)【解答】 20

問1 (C)【解説】

25

80℃から25℃への冷却で析出する物質Aの質量は、

$$100 - 20 = 80 \text{ (g)}$$

問1 (C)【解答】 80

混合物

物質A	物質B
100g	χ [g]

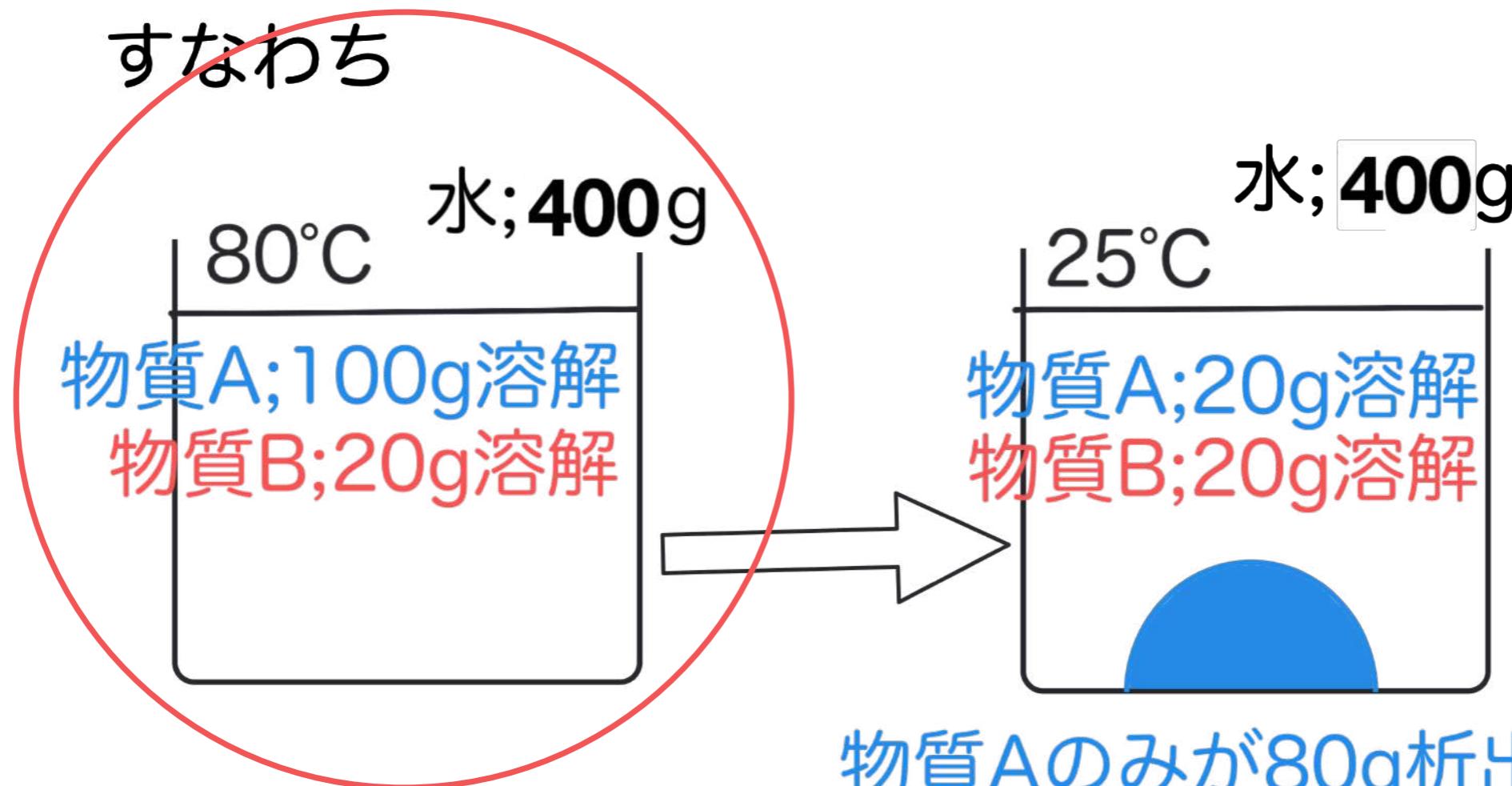
↓ すべて溶かす

80℃	400g水
物質A	物質B

↓ 冷却

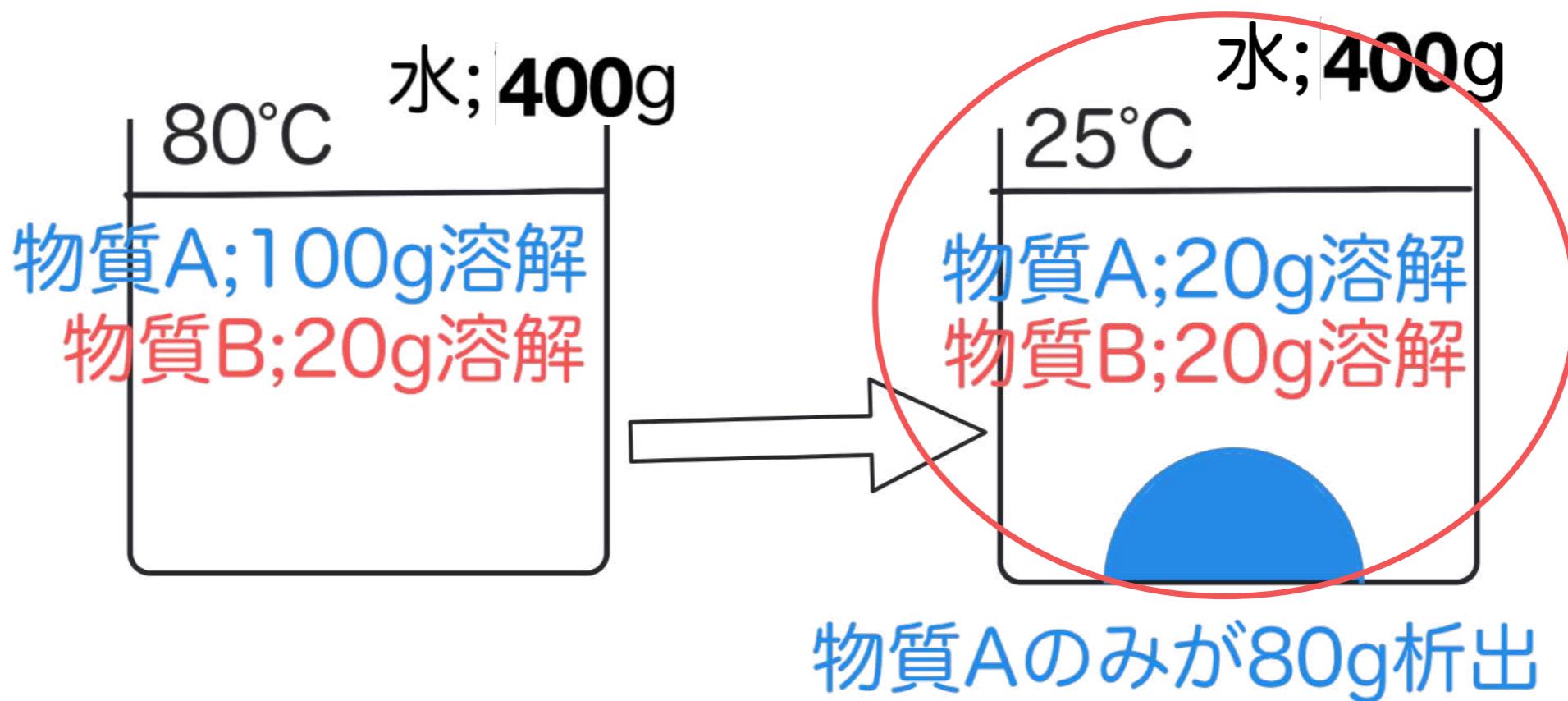
25℃	400g水
物質A	物質B

20g溶解 20g溶解



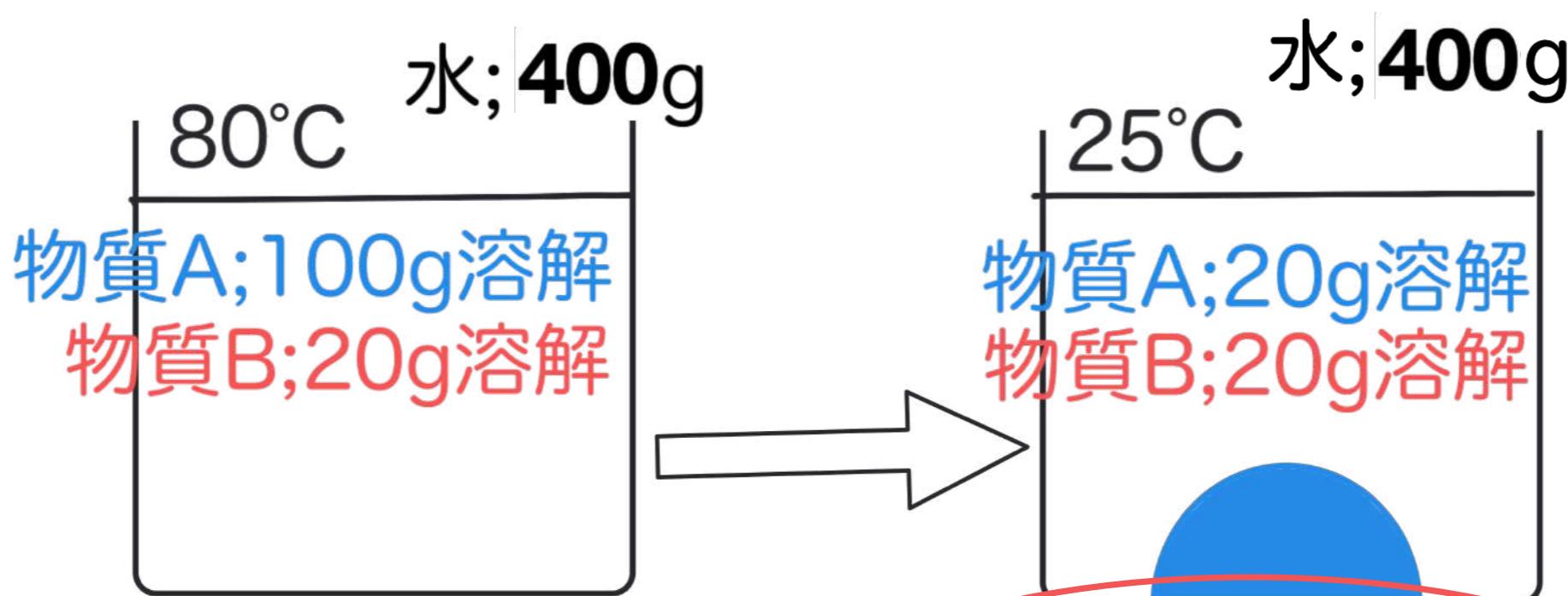
ということ(再結晶)ですよね。

すなわち



ということ(再結晶)ですよね。

すなわち



物質Aのみが80g析出

ということ(再結晶)ですよね。

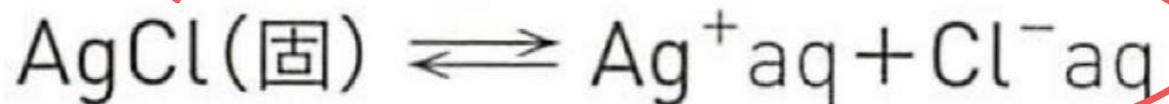
最後は、難溶性塩の溶解平衡の話です。

難溶性塩の溶解平衡

沈殿が存在するということは？

● 難溶性塩の溶解平衡と溶解度積

水溶液中で次の溶解平衡が成立します。



化学平衡の法則を適用すると、

$$K = \frac{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl(固)}]}$$

$$K [\text{AgCl(固)}] = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

$[\text{AgCl(固)}]$ を、つまりは、 $K \cdot [\text{AgCl(固)}]$ を一定であると考えて、

$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

沈殿が存在するということは？

● 難溶性塩の溶解平衡と溶解度積

水溶液中で次の溶解平衡が成立します。



化学平衡の法則を適用すると、

$$K = \frac{[\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl(固)}]}$$

$$K [\text{AgCl(固)}] = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$$

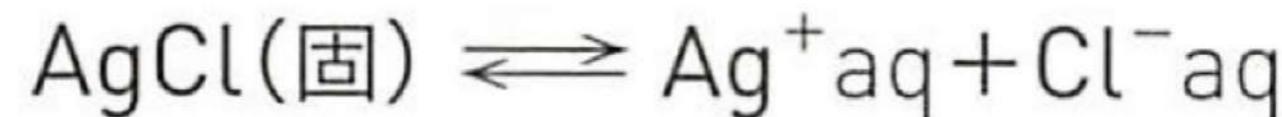
$[\text{AgCl(固)}]$ を、つまりは、 $K \cdot [\text{AgCl(固)}]$ を一定であると考えて、

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$$

沈殿が存在するということは？

● 難溶性塩の溶解平衡と溶解度積

水溶液中で次の溶解平衡が成立します。



化学平衡の法則を適用すると、

$$K = \frac{[\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl(固)}]}$$

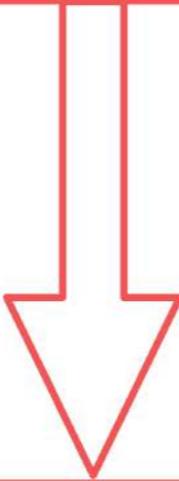
$$K [\text{AgCl(固)}] = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$$

$[\text{AgCl(固)}]$ を、つまりは、 $K \cdot [\text{AgCl(固)}]$ を一定であると考えて、

$$K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$$

沈殿が存在するということは？

AgCl(固)



溶解度積の式が成立する！

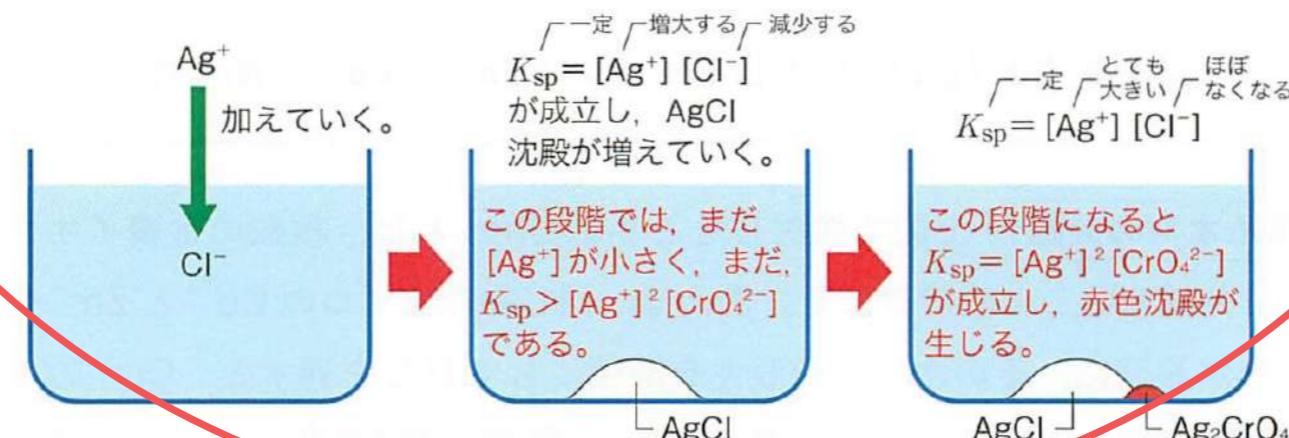
$$K_{sp} = [Ag^+] [Cl^-]$$

モール法

モール法(クロム酸イオンを指示薬として用いる
量法)が頻出です。

沈殿滴定と滴定の指示薬

水溶液中の塩化物イオン Cl^- の量を定量したいとき、濃度既知の硝酸銀 AgNO_3 水溶液を少しづつ加え、ほぼすべての Cl^- を沈殿させる ($\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \xrightarrow{\text{沈殿}} \text{AgCl}$) までに加えた AgNO_3 水溶液の体積を測定すれば、水溶液中の Cl^- の物質量と加えた銀イオン Ag^+ の物質量は互いに等しいので、 Cl^- の量を求めることができます。しかし、この場合、ほぼすべての Cl^- を沈殿させたことを知らせてくれる、指示薬が必要です。具体的には、適当な濃度のクロム酸カリウムを指示薬として用います。ほぼすべての Cl^- が沈殿して $[\text{Cl}^-]$ が小さくなると、 $K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-]$ からわかるように、 $[\text{Ag}^+]$ が大きくなります。そのときになって、 $K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}]$ が成立し、赤色の Ag_2CrO_4 の沈殿が生じるように調整しておけば、この赤色沈殿が **沈殿滴定** の終点を知らせてくれます。この組合せの滴定は **モール法** とも呼ばれます。



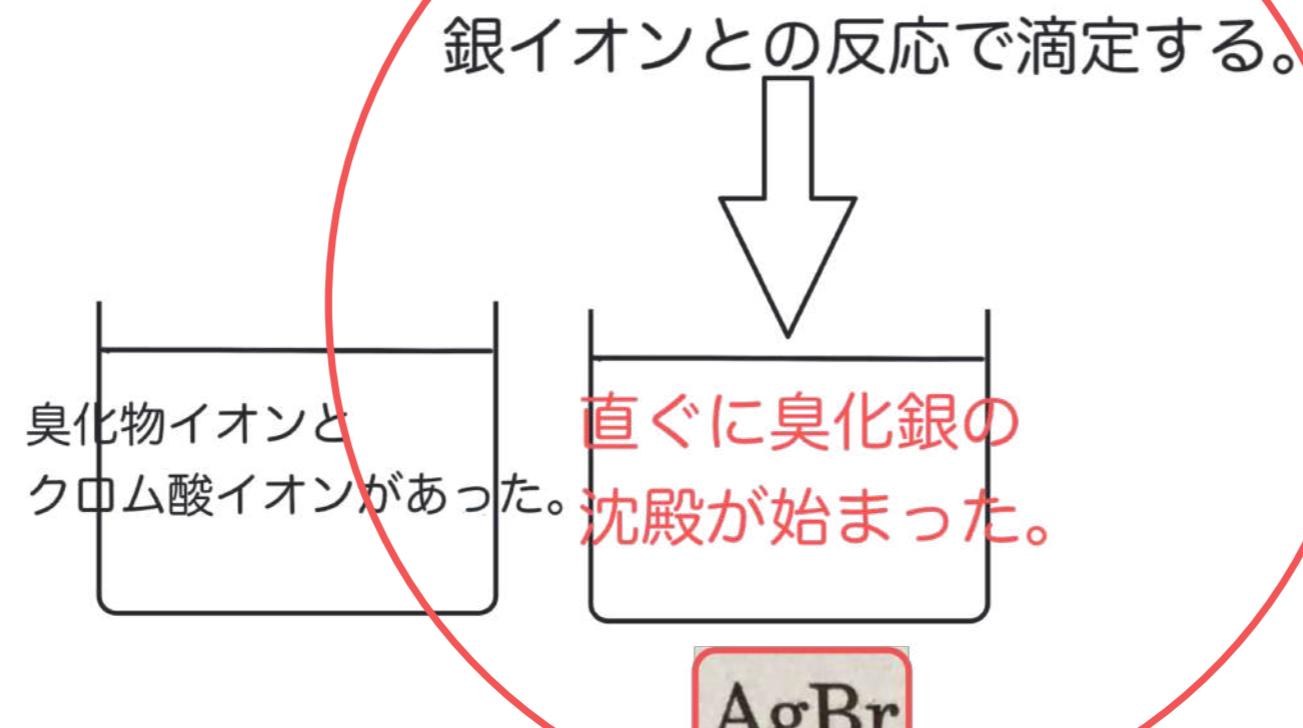
本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあった。



5

本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略



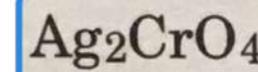
本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

銀イオンとの反応で滴定する。

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあった。

直ぐに臭化銀の
沈殿が始まった。

臭化銀の沈殿形成で
臭化物イオンが
ほぼ無くなったころ、
クロム酸銀の沈殿が
生じ始める。



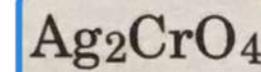
本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

銀イオンとの反応で滴定する。

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあった。

直ぐに臭化銀の
沈殿が始まった。

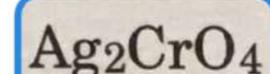
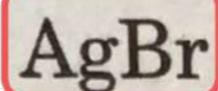
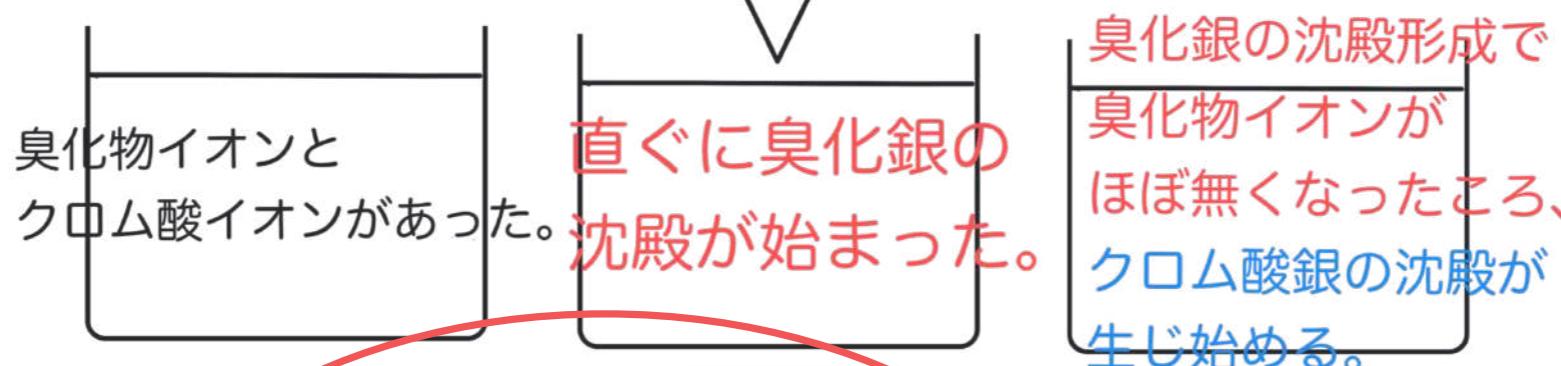
臭化銀の沈殿形成で
臭化物イオンが
ほぼ無くなったころ、
クロム酸銀の沈殿が
生じ始める。



すなわち、クロム酸イオンは、
銀イオンによる臭化物イオンの滴定における
指示薬として機能しています。

本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

銀イオンとの反応で滴定する。



用いる計算式

$$K_{\text{sp}, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-]$$

が成立する。

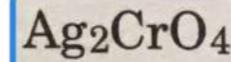
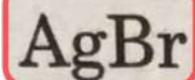
本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

銀イオンとの反応で滴定する。

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあつた。

直ぐに臭化銀の
沈殿が始まった。

臭化銀の沈殿形成で
臭化物イオンが
ほぼ無くなつたころ、
クロム酸銀の沈殿が
生じ始める。



用いる計算式

$$K_{\text{sp}, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-]$$

が成立する。

$$K_{\text{sp}, \text{Ag}_2\text{CrO}_4} = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}] \text{ も}$$

$K_{\text{sp}, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-]$ も成立する。

本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

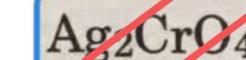
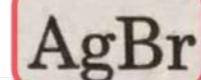
銀イオンとの反応で滴定する。

これを使って解く！

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあつた。

直ぐに臭化銀の
沈殿が始まった。

臭化銀の沈殿形成で
臭化物イオンが
ほぼ無くなつたころ、
クロム酸銀の沈殿が
生じ始める。



$$K_{\text{sp}, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-]$$

が成立する。

$$K_{\text{sp}, \text{Ag}_2\text{CrO}_4} = [\text{Ag}^+]^2 [\text{CrO}_4^{2-}]$$

も成立する。

$$K_{\text{sp}, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] [\text{Br}^-]$$

本題(モール法による臭化物イオンの定量)の概略

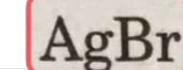
銀イオンとの反応で滴定する。

これを使って解く！

臭化物イオンと
クロム酸イオンがあつた。

直ぐに臭化銀の
沈殿が始まった。

臭化銀の沈殿形成で
臭化物イオンが
ほぼ無くなつたころ、
クロム酸銀の沈殿が
生じ始める。



$$K_{sp, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-]$$

が成立する。

$$K_{sp, \text{Ag}_2\text{CrO}_4} = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}]$$

も

既知

既知

$$K_{sp, \text{AgBr}} = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-] \text{ も成立する。}$$

問2(あ), (D)【解説】

溶解度積より、 AgBr の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$5.1 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+] \times 0.10 \quad \text{よって} \quad [\text{Ag}^+] = 5.1 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$$

溶解度積より、 Ag_2CrO_4 の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

以上より、先に沈殿が生じるのは AgBr と判断できる。

問2(あ)【解答】 Br^-

以上より、別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

問2(D)【解答】 3.0×10^{-6}

問2(あ), (D)【解説】

溶解度積より、 AgBr の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$5.1 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+] \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 5.1 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$$

溶解度積より、 Ag_2CrO_4 の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$9.0 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+]^2 \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

以上より、先に沈殿が生じるのは AgBr と判断できる。

問2(あ)【解答】 Br^-

以上より、別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

問2(D)【解答】 3.0×10^{-6}

問2(あ), (D)【解説】

溶解度積より、 AgBr の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$5.1 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+] \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 5.1 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$$

溶解度積より、 Ag_2CrO_4 の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$9.0 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+]^2 \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

記入済み

以上より、先に沈殿が生じるのは AgBr と判断できる。

問2(あ)【解答】 Br^-

以上より、別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

問2(D)【解答】 3.0×10^{-6}

問2(あ), (D)【解説】

溶解度積より、 AgBr の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$5.1 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+] \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 5.1 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$$

溶解度積より、 Ag_2CrO_4 の沈殿が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$9.0 \times 10^{-13} = [\text{Ag}^+]^2 \times 0.10 \quad \text{よって}, [\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

以上より、先に沈殿が生じるのは

AgBr と判断できる。

問2(あ)【解答】 Br^-

以上より、別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

記入済み

問2(D)【解答】 3.0×10^{-6}

以上より、別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるときの $[\text{Ag}^+]$ は、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$

問2 (D) 【解答】 3.0×10^{-6}

問2 (E) 【解説】

別の沈殿 (Ag_2CrO_4 の沈殿) が生じはじめるとき、すなわち、

$$[\text{Ag}^+] = 3.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$$
 であるときにも、

AgBr に関する溶解度積の式は成立している。

Ag_2CrO_4 の沈殿 が生じはじめるときの $[\text{Br}^-]$ は、 AgBr の溶解度積より、

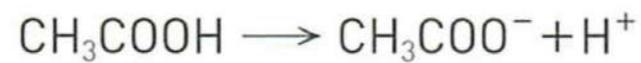
$$5.1 \times 10^{-13} = 3.0 \times 10^{-6} \times [\text{Br}^-] \quad \text{よって}, [\text{Br}^-] = 1.7 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

問2 (E) 【解答】 1.7×10^{-7}

日々の努力を
忘れないでね。

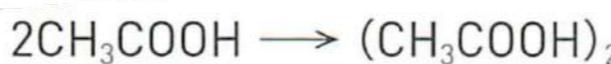


水中における酢酸の電離



電離前	c	0	0
変化量	$-c\alpha$	$+c\alpha$	$+c\alpha$
電離後	$c(1-\alpha)$	$c\alpha$	$c\alpha$ 合計 $c(1+\alpha)$ (mol/kg)

ベンゼン中における酢酸の会合



会合前	d	0
変化量	$-d\beta$	$+\frac{1}{2}d\beta$
会合後	$d(1-\beta)$	$+\frac{1}{2}d\beta$ 合計 $d\left(1 - \frac{1}{2}\beta\right)$ (mol/kg)

酢酸の 2 分子会合



水素結合

● アミノ酸の水溶液 参考

平衡状態 中性アミノ酸の水溶液中では、次のような電離平衡が成立し、陽イオン (A^+)、双性イオン (B^\pm)、陰イオン (C^-) が共存しています（分子内に正・負の両電荷があるとき、これを双性イオン（または、両性イオン）と呼びます）。



より具体的には、次の 2 つの電離平衡が成立しています。また、これらの平衡において、それぞれの電離定数 K_1 , K_2 は、次式で表されます。

$$\text{陽イオン } A^+ \rightleftharpoons \text{双性イオン } B^\pm + H^+ \quad K_1 = \frac{[B^\pm][H^+]}{[A^+]} \quad \dots \dots \quad (I)$$

$$\text{双性イオン } B^\pm \rightleftharpoons \text{陰イオン } C^- + H^+ \quad K_2 = \frac{[C^-][H^+]}{[B^\pm]} \quad \dots \dots \quad (II)$$

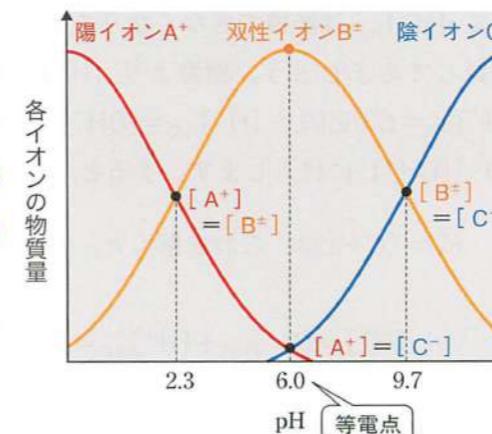
イオンの比 上述の平衡混合物 (A^+ , B^\pm , C^-) の比は、溶液の pH によって変化します。酸性が強くなる (pH が小さくなる) ほど A^+ の割合が増え、塩基性が強くなる (pH が大きくなる) ほど C^- の割合が増えます。次図はアラニンの水溶液における、pH による各イオンの物質量の変化を示したものです。

【① : pH=6.0】 B^\pm が大半を占め、
 $[A^+]$ と $[C^-]$ はごくわずかで、ほぼ $[A^+] = [C^-]$ であり、電気的に中性となります。このように、
平衡混合物の電荷が全体として 0 になると
isoelectric point
きの pH を、等電点といいます。

【② : pH=2.3】 $[A^+] = [B^\pm]$ であり、これより酸性側では、最も多く存在するイオンは A^+ となります。

【③ : pH=9.7】 $[B^\pm] = [C^-]$ であり、これより塩基性側では、最も多く存在するイオンは C^- となります。

上記の①～③では、各 pH において、どのような状況であるかをまとめまし



た。次は、逆に、各状況において、pH はどのような値かを計算しましょう。

左頁の①：等電点 (Ⅰ) 式、(Ⅱ) 式より、 $K_1 \times K_2 = \frac{[B^\pm][H^+]}{[A^+]} \times \frac{[C^-][H^+]}{[B^\pm]}$ で
す。さらに、 $[A^+] = [C^-]$ であることを考慮すると、 $K_1 \times K_2 = [H^+]^2$
 $\therefore [H^+] = \sqrt{K_1 K_2}$ となり、等電点は次の通りに求められます。

等電点の計算式って？

等電点の計算式は、 $-\log_{10} \sqrt{K_1 K_2}$ である。

等電点とは、 $[A^+] = [C^-]$ であるときの pH のこと！

例：アラニンの場合、 $K_1 = 1.0 \times 10^{-2.3} \text{ mol/L}$ 、 $K_2 = 1.0 \times 10^{-9.7} \text{ mol/L}$ です。

よって、アラニンの等電点は、次の通りです。

$$-\log_{10} \sqrt{1.0 \times 10^{-2.3} \times 1.0 \times 10^{-9.7}} = 6.0$$

左頁の②： $[A^+] = [B^\pm]$ での pH (Ⅰ) 式より、 $K_1 = \frac{[B^\pm][H^+]}{[A^+]}$ です。さらに、

$[A^+] = [B^\pm]$ であることを考慮すると、 $[H^+] = K_1$ となります。

例：アラニンの場合、 $\text{pH} = -\log_{10} K_1 = -\log_{10}(1.0 \times 10^{-2.3}) = 2.3$

左頁の③： $[B^\pm] = [C^-]$ での pH (Ⅱ) 式より、 $K_2 = \frac{[C^-][H^+]}{[B^\pm]}$ です。さら

に、 $[B^\pm] = [C^-]$ であることを考慮すると、 $[H^+] = K_2$ となります。

例：アラニンの場合、 $\text{pH} = -\log_{10} K_2 = -\log_{10}(1.0 \times 10^{-9.7}) = 9.7$

アラニン塩酸塩の滴定曲線 陽イオンに同物質量の OH^- を加えると双性イオ
ンになり、双性イオンに同物
質量の OH^- を加えると陰イ
オンになります。つまり、例
えばアラニンの陽イオン（ア
ラニン塩酸塩）は 2 倍の酸と
みなせるので、その NaOH_{aq}
による滴定曲線を描くと、右
図の通りになります。
図は、第 2 中和点の手前まで。

