高校化学 L01 第 52 講 滴定計算

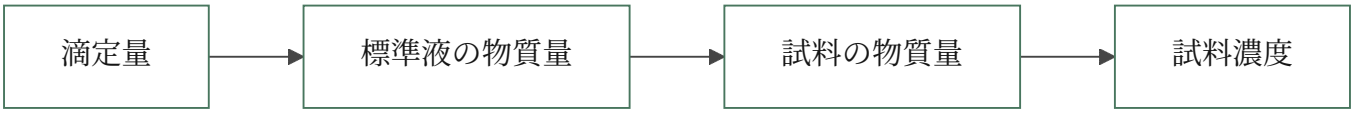
この講でできるようになること

- ビュレットの開始目盛と終了目盛から、滴定に使った標準溶液の体積を求められる。
- 標準溶液の濃度と滴定量から、反応した物質量を求められる。
- 反応式の係数比から、試料中の酸・塩基の物質量を求められる。
- 希釈された試料について、希釈後の濃度から元の溶液の濃度へ戻せる。

滴定計算は 4 段階で考える

どの体積を何のために使うかを区別する

本講では、濃度が正確に分かっている標準溶液を用い、指定された反応式どおりに酸と塩基が完全に反応するものとする。
NaOH 水溶液を標準溶液として使う場合は、標定済みで正確な濃度が分かっているものとする。また、指示薬で観測する終点と当量点のずれは無視できるものとして計算する。



4 つの段階

1. **滴定量を求める**。 ビュレットでは、終了目盛から開始目盛を引く。
2. **標準溶液の物質量を求める**。 $n = cV$を使い、体積は L に直す。
3. **反応式の係数比を使う**。 標準物質の物質量から、試料中の酸・塩基の物質量を求める。
4. **試料濃度を求める**。 求めた試料の物質量を、滴定前に採取した試料体積で割る。

酸・塩基の強弱ではなく、指定された反応式の係数比に従って物質量を対応させる。

体積の意味を区別する

体積	計算での役割
ビュレットの終了目盛−開始目盛	加えた標準溶液の体積として$n = cV$に使う
ホールピペットなどで採取した試料体積	元の試料濃度$c = \frac{n}{V}$を求める分母に使う
滴定後の混合液全体積	滴定前の元試料濃度を求める分母には使わない

mL をそのまま$n = cV$へ入れない

モル濃度の単位が$\mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、$n = cV$で物質量を求めるとき、体積は L に直す。
たとえば$12.20\ \mathrm{mL} = 0.01220\ \mathrm{L}$である。
ビュレットでは目盛の数値が下ほど大きくなるため、滴定量は「終了目盛−開始目盛」で求める。

1 : 1 でない反応では係数比を使う

酸と塩基の mol をそのまま等しくしない

HCl と NaOH では反応比が 1 : 1 なので、当量点では HCl と NaOH の物質量が等しい。
一方、H_2SO_4と NaOH の完全中和では次のように反応する。

$$\mathrm{H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O}$$

この場合、H_2SO_4 1 mol に対して NaOH 2 mol が必要である。
したがって、NaOH の物質量からH_2SO_4の物質量を求めるときは、NaOH の物質量を 2 で割る。

©ミライコーチング

希釈した試料を滴定するとき

まず希釈後の濃度を求める

元の溶液を希釈してから、その一部を滴定する場合、滴定によって直接求められるのは**希釈後の溶液の濃度**である。
そのあと、希釈倍率を使って元の溶液の濃度へ戻す。
たとえば元の溶液10.00 mLをメスフラスコに取り、溶液全体を100.0 mLにした場合、10 倍に希釈したことになる。
希釈では、元の溶液から取った部分に含まれる溶質の物質量は保たれる。

段階	体積	意味
元の溶液から取る	10.00 mL	希釈前の元溶液の一部
メスフラスコで調製	全体100.0 mL	10 倍に希釈された溶液
希釈液から滴定用に取る	25.00 mL	滴定で直接調べる試料

元の濃度へ戻す

10 倍希釈した溶液の濃度が0.0660 $\mathrm{mol\,L^{-1}}$なら、元の溶液の濃度は$0.0660 \times 10 = 0.660$ $\mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
「水を100.0 mL加えた」のではなく、**溶液全体を100.0 mLにした**ことに注意する。

例題

例題 1

未知濃度の HCl 水溶液10.00 mLを、標定済み0.100 mol L^{-1}の NaOH 水溶液で滴定した。
反応式はHCl + NaOH → NaCl + H_2Oであり、HCl と NaOH は 1 : 1 で反応する。終点と当量点のずれは無視できるものとする。
ビュレットの開始目盛は1.35 mL、終了目盛は13.55 mLだった。

1. NaOH 水溶液の滴定量と、加えた NaOH の物質量を求めよ。
2. HCl 水溶液のモル濃度を求めよ。

解答・解説

1.
滴定量は$13.55 - 1.35 = 12.20$ mLである。
12.20 mL = 0.01220 Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01220 = 1.22 \times 10^{-3}$ molである。
したがって、滴定量は**12.20 mL**、NaOH の物質量は$\mathbf{1.22 \times 10^{-3}}$ **mol**である。

2.
HCl と NaOH は 1 : 1 で反応するため、HCl 試料に含まれる HCl も1.22×10^{-3} molである。
HCl 試料の体積は10.00 mL = 0.01000 Lなので、濃度は$\frac{1.22 \times 10^{-3}}{0.01000} = 0.122$ mol L^{-1}である。
したがって、HCl 水溶液のモル濃度は$\mathbf{0.122\ mol\,L^{-1}}$である。

例題 2

未知濃度の H_2SO_4水溶液20.00 mLを、標定済み0.100 mol L^{-1}の NaOH 水溶液で滴定したところ、完全中和に16.00 mL必要だった。
反応式は次のとおりであり、終点と当量点のずれは無視できるものとする。

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

1. 加えた NaOH の物質量と、試料中の H_2SO_4の物質量を求めよ。
2. H_2SO_4水溶液のモル濃度を求めよ。

解答・解説

1.
16.00 mL = 0.01600 Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01600 = 1.60 \times 10^{-3}$ molである。
反応式より H_2SO_4と NaOH の係数比は 1 : 2 なので、H_2SO_4の物質量は$\frac{1.60 \times 10^{-3}}{2} = 8.00 \times 10^{-4}$ molである。
したがって、NaOH は$\mathbf{1.60 \times 10^{-3}}$ **mol**、H_2SO_4は$\mathbf{8.00 \times 10^{-4}}$ **mol**である。

2.
H_2SO_4試料の体積は20.00 mL = 0.02000 Lである。
したがって、濃度は$\frac{8.00 \times 10^{-4}}{0.02000} = 0.0400$ mol L^{-1}である。
H_2SO_4水溶液のモル濃度は$\mathbf{0.0400\ mol\,L^{-1}}$である。

©ミライコーチング

例題 3

食酢中の酸は酢酸 CH_3COOH だけとみなす。
元の食酢10.00 mLを取り、メスフラスコで溶液全体を100.0 mLにした。その希釈液から25.00 mLを取り、標定済み0.100 $\mathrm{mol\,L^{-1}}$の NaOH 水溶液で滴定したところ、当量点までに16.50 mL必要だった。
反応式は$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$であり、1 : 1 で反応する。終点と当量点のずれは無視できるものとする。
1. 希釈後の食酢中の CH_3COOH のモル濃度を求めよ。
2. 元の食酢中の CH_3COOH のモル濃度を求めよ。

解答・解説

1.
16.50 mL $= 0.01650$ Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01650 = 1.65 \times 10^{-3}$ molである。
CH_3COOH と NaOH は 1 : 1 で反応するため、採取した希釈液25.00 mL中の CH_3COOH も1.65×10^{-3} molである。
25.00 mL $= 0.02500$ Lなので、希釈後の濃度は$\frac{1.65\times10^{-3}}{0.02500} = 0.0660$ $\mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、希釈後の CH_3COOH 濃度は$\mathbf{0.0660\ \ mol\,L^{-1}}$である。
2.
元の食酢10.00 mLを全体100.0 mLにしているので、10 倍に希釈している。
したがって、元の食酢の濃度は$0.0660 \times 10 = 0.660$ $\mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
元の食酢中の CH_3COOH のモル濃度は$\mathbf{0.660\ \ mol\,L^{-1}}$である。

演習問題

演習 1

未知濃度の HCl 水溶液20.00 mLを、標定済み0.100 $\mathrm{mol\,L^{-1}}$の NaOH 水溶液で滴定した。
HCl と NaOH は 1 : 1 で反応し、終点と当量点のずれは無視できるものとする。ビュレットの開始目盛は2.10 mL、終了目盛は17.10 mLだった。
1. NaOH 水溶液の滴定量を求めよ。
2. HCl 水溶液のモル濃度を求めよ。

演習 2

未知濃度の H_2SO_4水溶液10.00 mLを、標定済み0.100 $\mathrm{mol\,L^{-1}}$の NaOH 水溶液で滴定したところ、完全中和に12.00 mL必要だった。
反応式は次のとおりであり、終点と当量点のずれは無視できるものとする。

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

1. 試料中の H_2SO_4の物質量を求めよ。
2. H_2SO_4水溶液のモル濃度を求めよ。

演習 3

0.0500 mol L^{-1}のシュウ酸 $H_2C_2O_4$水溶液10.00 mLを用いて、濃度未知の NaOH 水溶液20.00 mLを完全中和した。
反応式は次のとおりとする。

$$H_2C_2O_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2C_2O_4 + 2H_2O$$

1. $H_2C_2O_4$と NaOH の物質量をそれぞれ求めよ。
2. NaOH 水溶液のモル濃度を求めよ。

演習 4

食酢中の酸は酢酸 CH_3COOH だけとみなす。
元の食酢10.00 mLを取り、メスフラスコで溶液全体を100.0 mLにした。その希釈液20.00 mLを、標定済み0.100 mol L^{-1}の NaOH 水溶液で滴定したところ、完全中和に14.40 mL必要だった。
CH_3COOH と NaOH は 1 : 1 で反応し、終点と当量点のずれは無視できるものとする。
1. 希釈後の食酢中の CH_3COOH のモル濃度を求めよ。
2. 元の食酢中の CH_3COOH のモル濃度を求めよ。

演習 5

同じ HCl 水溶液を毎回10.00 mLずつ採取し、標定済み0.100 mol L^{-1}の NaOH 水溶液で 3 回滴定した。
HCl と NaOH は 1 : 1 で反応し、3 回とも終点判定は良好だった。次の値はすでにビュレットの開始目盛と終了目盛の差から求めた滴定量であり、この 3 回の平均値を用いるものとする。

- 1 回目：12.20 mL
- 2 回目：12.18 mL
- 3 回目：12.22 mL

1. 平均滴定量を小数第 2 位まで求めよ。
2. HCl 水溶液のモル濃度を有効数字 3 桁で求めよ。

演習 6

HCl 水溶液10.00 mLを、標定済み0.100 mol L^{-1}の NaOH 水溶液12.00 mLでちょうど中和した。HCl と NaOH は 1 : 1 で反応するものとする。
ある生徒は、HCl の物質量を0.00120 molと求めた後、それを滴定後の混合液全体の体積22.00 mLで割って、元の HCl 水溶液の濃度を求めようとした。
1. 元の HCl 水溶液の濃度を求めるとき、分母に用いるべき体積と、正しいモル濃度を求めよ。
2. 混合液全体の体積22.00 mLを分母に用いない理由を、求めたい濃度が滴定前の試料の濃度であることに注目して説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

滴定量は$17.10 - 2.10 = 15.00$ mLである。
したがって、NaOH 水溶液の滴定量は**15.00 mL**である。

2.

15.00 mL $= 0.01500$ Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01500 = 1.50 \times 10^{-3}$ molである。
HCl と NaOH は 1 : 1 で反応するため、HCl の物質量も1.50×10^{-3} molである。
HCl 試料の体積は20.00 mL $= 0.02000$ Lなので、濃度は$\frac{1.50 \times 10^{-3}}{0.02000} = 0.0750$ mol L^{-1}である。
したがって、HCl 水溶液のモル濃度は**0.0750 mol L^{-1}**である。

解答 2

1.

12.00 mL $= 0.01200$ Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01200 = 1.20 \times 10^{-3}$ molである。
反応式より H_2SO_4 と NaOH の物質量比は 1 : 2 なので、H_2SO_4の物質量は$\frac{1.20 \times 10^{-3}}{2} = 6.00 \times 10^{-4}$ molである。
したがって、H_2SO_4の物質量は**6.00×10^{-4} mol**である。

2.

H_2SO_4試料の体積は10.00 mL $= 0.01000$ Lである。
濃度は$\frac{6.00 \times 10^{-4}}{0.01000} = 0.0600$ mol L^{-1}である。
したがって、H_2SO_4水溶液のモル濃度は**0.0600 mol L^{-1}**である。

解答 3

1.

$H_2C_2O_4$水溶液の体積は10.00 mL $= 0.01000$ Lなので、$H_2C_2O_4$の物質量は$0.0500 \times 0.01000 = 5.00 \times 10^{-4}$ molである。
反応式より $H_2C_2O_4$ と NaOH の係数比は 1 : 2 なので、NaOH の物質量は$2 \times 5.00 \times 10^{-4} = 1.00 \times 10^{-3}$ molである。
したがって、$H_2C_2O_4$は**5.00×10^{-4} mol**、NaOH は**1.00×10^{-3} mol**である。

2.

NaOH 水溶液の体積は20.00 mL $= 0.02000$ Lである。
濃度は$\frac{1.00 \times 10^{-3}}{0.02000} = 0.0500$ mol L^{-1}である。
したがって、NaOH 水溶液のモル濃度は**0.0500 mol L^{-1}**である。

©ミライコーチング

解答 4

1.

14.40 mL = 0.01440 Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01440 = 1.44 \times 10^{-3}$ molである。
CH_3COOH と NaOH は 1 : 1 で反応するため、希釈液20.00 mL中の CH_3COOH も1.44×10^{-3} molである。
20.00 mL = 0.02000 Lなので、希釈後の濃度は$\frac{1.44 \times 10^{-3}}{0.02000} = 0.0720$ mol L^{-1}である。
したがって、希釈後の CH_3COOH 濃度は**0.0720 mol L^{-1}**である。

2.

元の食酢10.00 mLを全体100.0 mLにしているので、10 倍に希釈している。
したがって、元の食酢中の CH_3COOH 濃度は$0.0720 \times 10 = 0.720$ mol L^{-1}である。
答えは**0.720 mol L^{-1}**である。

解答 5

1.

平均滴定量は$\frac{12.20 + 12.18 + 12.22}{3} = 12.20$ mLである。
したがって、平均滴定量は**12.20 mL**である。

2.

12.20 mL = 0.01220 Lなので、NaOH の物質量は$0.100 \times 0.01220 = 1.22 \times 10^{-3}$ molである。
HCl と NaOH は 1 : 1 で反応するため、HCl 試料の物質量も1.22×10^{-3} molである。
HCl 試料は10.00 mL = 0.01000 Lなので、濃度は$\frac{1.22 \times 10^{-3}}{0.01000} = 0.122$ mol L^{-1}である。
したがって、有効数字 3 桁で**0.122 mol L^{-1}**である。

解答 6

1.

求めたいのは、滴定前の HCl 試料10.00 mLの濃度である。
したがって、分母に用いる体積は10.00 mL = 0.01000 Lである。
HCl の物質量は0.00120 molなので、濃度は$\frac{0.00120}{0.01000} = 0.120$ mol L^{-1}である。
したがって、分母に用いる体積は**10.00 mL**、正しい HCl 濃度は**0.120 mol L^{-1}**である。

2.

求めたいのは、NaOH を加える前の HCl 水溶液のモル濃度である。
そのため、HCl の物質量を割る体積には、滴定前に採取した HCl 試料10.00 mLを用いる。
22.00 mLは HCl 水溶液と NaOH 水溶液を混ぜた後の全体積であり、元の HCl 試料の体積ではない。
さらに、滴定後には HCl は NaOH と反応しているため、0.00120 molを22.00 mLで割った値を「混合後の HCl 濃度」と考えることもできない。