高校化学 L01 第 46 講 水素イオン濃度と pH

この講でできるようになること

- 水素イオン濃度[H^+]と pH の関係を説明できる。
- 10の整数乗で表された水素イオン濃度から pH を求められる。
- pH から水素イオン濃度を求められる。
- pH の差から、水素イオン濃度が何倍異なるか判断できる。

水素イオン濃度とは

水素イオン濃度

溶液中の H^+のモル濃度を**水素イオン濃度**といい、[H^+]で表す。
単位は$\mathrm{mol\,L^{-1}}$である。

物質量ではなく濃度を表す

[H^+]は、溶液全体に H^+が何 mol あるかという総量ではなく、**溶液 1 L あたりにどれだけ H^+が存在するか**を表す。
水溶液中で H^+と書くとき、実際には H_3O^+など水分子と結び付いた形で存在しているが、本講では水素イオン濃度を[H^+]と表す。

pH は水素イオン濃度を指数で表す尺度

非常に小さな濃度を扱いやすくする

水素イオン濃度は、1.0×10^{-3} $\mathrm{mol\,L^{-1}}$や1.0×10^{-7} $\mathrm{mol\,L^{-1}}$のような小さな値になることが多い。
そこで、水素イオン濃度を簡潔に表すために **pH** を用いる。
本講では希薄な水溶液について、水素イオン濃度から pH を近似的に考える。

pH

pH は次の式で定義する。

$$\mathrm{pH} = -\log_{10}[\mathrm{H^+}]$$

この式に代入する[H^+]には、$\mathrm{mol\,L^{-1}}$で表した水素イオン濃度の数値を用いる。
pH には単位を付けない。

10 の指数と常用対数

指数が 1 変わると 10 倍変わる

10の負の整数乗は、次のように表せる。

- $10^{-2} = 0.01$
- $10^{-3} = 0.001$
- $10^{-4} = 0.0001$

指数が 1 小さくなるごとに、値は$\frac{1}{10}$になる。

©ミライコーチング

常用対数

$\log_{10} x$は、「10 を何乗するとxになるか」を表す。
たとえば、$\log_{10}(10^a) = a$である。

10 の整数乗なら pH をすぐ読める

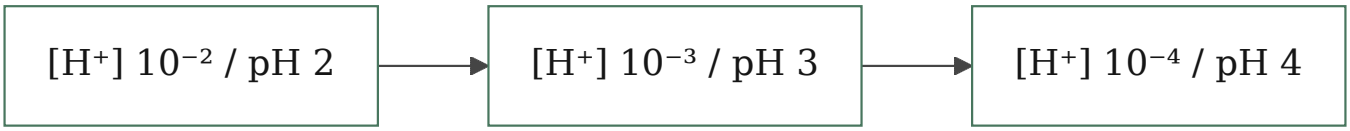
$[H^+] = 1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なら、
$\log_{10}(10^{-3}) = -3$なので、$\mathrm{pH} = 3$となる。
一般に、$[H^+] = 10^{-n}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なら、$\mathrm{pH} = n$となる。
反対に、pH がnなら、$[H^+] = 10^{-n}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$と読める。

pH と水素イオン濃度の対応

$[H^+]$	pH	25℃での分類
$1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	2	酸性
$1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	3	酸性
$1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	4	酸性
$1.0 \times 10^{-7}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	7	中性
$1.0 \times 10^{-10}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$	10	塩基性

pH が大きいほど水素イオン濃度は小さい

pH が 1 大きくなると、$[H^+]$は$\frac{1}{10}$になる。
したがって、右へ進むと$[H^+]$は 10 分の 1 になり、pH は 1 増える。



pH 差は濃度の倍率に対応する

pH が 1 違えば、水素イオン濃度は 10 倍異なる。
pH が 2 違えば、水素イオン濃度は 100 倍異なる。
たとえば pH 4 の水溶液は、pH 6 の水溶液より$[H^+]$が$10^2 = 100$倍大きい。

25℃での酸性・中性・塩基性

pH 7 を基準に分類する

25℃では、pH と水溶液の性質を次のように分類する。

pH	分類
pH < 7	酸性
pH = 7	中性
pH > 7	塩基性

この分類は 25℃という条件で考える。
また、pH だけから酸そのものの強弱や危険性を直接決めるものではない。

©ミライコーチング

10 の整数乗以外の濃度

積の対数を使う

水素イオン濃度が$2.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$のような形になる場合は、常用対数の性質を使う。

$$\log_{10}(ab) = \log_{10} a + \log_{10} b$$

したがって、$\log_{10}(2.0 \times 10^{-3}) = \log_{10} 2.0 - 3$となる。
たとえば$\log_{10} 2.0 = 0.30$なら、pH は$-(0.30 - 3) = 2.70$と求められる。

希釈と pH

強酸を薄めると水素イオン濃度が下がる

HCl が完全に電離し、水自身の電離の寄与を無視できる範囲では、HCl のモル濃度をそのまま$[\mathrm{H^+}]$として扱える。
たとえば HCl 水溶液を 10 倍の体積まで薄めれば、溶質の物質量は変わらず、$[\mathrm{H^+}]$は$\frac{1}{10}$になる。
その結果、$[\mathrm{H^+}]$が10^{-2}から$10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$へ変化すれば、pH は 2 から 3 へ 1 増える。

例題

例題 1

25℃で、2 つの水溶液 A、B の水素イオン濃度が次のように与えられている。
- A：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$
- B：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$

1. A、B の pH をそれぞれ求めよ。
2. A、B をそれぞれ酸性・中性・塩基性のどれに分類するか、理由とともに答えよ。

解答・解説

1.
A では$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、**pH 3** である。
B では$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-7}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、**pH 7** である。
2.
25℃では pH 7 未満が酸性、pH 7 が中性である。
したがって、A は**酸性**、B は**中性**である。

例題 2

水溶液 A の pH は 2、水溶液 B の pH は 5 である。
1. A、B の水素イオン濃度をそれぞれ求めよ。
2. A の水素イオン濃度は B の何倍か求めよ。

解答・解説

1.
pH 2 なら、$[H^+] = 1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
pH 5 なら、$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
したがって、A は$\mathbf{1.0 \times 10^{-2}\ \ mol\,L^{-1}}$、B は$\mathbf{1.0 \times 10^{-5}\ \ mol\,L^{-1}}$である。
2.
濃度比は$\frac{10^{-2}}{10^{-5}} = 10^3 = 1000$である。
したがって、A の水素イオン濃度は B の **1000 倍**である。

例題 3

同じ温度の希薄な塩酸について考える。HCl は完全に電離し、水自身の電離の寄与は無視できるものとする。
$1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$の塩酸10.0 mLを水で薄め、最終体積を100.0 mLにした。
1. 希釈後の水素イオン濃度を求めよ。
2. 希釈前後の pH を求め、変化を説明せよ。

解答・解説

1.
希釈では HCl の物質量は変わらない。
最終体積は初めの 10 倍なので、濃度は$\frac{1}{10}$になる。
したがって、希釈後の$[H^+]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-3}\ \ mol\,L^{-1}}$である。
2.
希釈前は$[H^+] = 1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので pH 2 である。
希釈後は$[H^+] = 1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので pH 3 である。
したがって、pH は **2 から 3 へ 1 増える**。
pH は水素イオン濃度そのものではなく、その常用対数を使った尺度なので、濃度が 10 分の 1 になったから pH を 10 倍するという考え方ではない。

演習問題

演習 1

10 の負の整数乗と pH について答えよ。
1. 10^{-4}と10^{-6}を、それぞれ小数で表せ。
2. 水素イオン濃度がそれぞれ$1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$、$1.0 \times 10^{-6}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$のとき、pH をそれぞれ求めよ。

©ミライコーチング

演習 2

25℃で、水溶液 A、B の水素イオン濃度が次のように与えられている。

- A：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-5}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$
- B：$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-9}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$

1. A、B の pH をそれぞれ求めよ。
2. A、B を酸性・中性・塩基性のどれに分類するか答えよ。

演習 3

2 つの水溶液 A、B について、A の pH は 3、B の pH は 8 である。

1. A、B の水素イオン濃度をそれぞれ求めよ。
2. A の水素イオン濃度は B の何倍か求めよ。

演習 4

ある水溶液の水素イオン濃度が$1.0 \times 10^{-2}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$から$1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$へ変化した。

1. 変化後の水素イオン濃度は、変化前の何倍か答えよ。
2. pH はどのように変化するか。また、「pH が 2 倍になったので水素イオン濃度も 2 倍になった」と考えてよいか説明せよ。

演習 5

同じ温度の希薄な塩酸について考える。HCl は完全に電離し、水自身の電離の寄与は無視できるものとする。

$1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$の塩酸$20.0\ \ \mathrm{mL}$を水で薄め、最終体積を$200.0\ \ \mathrm{mL}$にした。

1. 希釈後の水素イオン濃度を求めよ。
2. 希釈前後の pH をそれぞれ求めよ。

演習 6

$\log_{10} 2.0 = 0.30$としてよいものとする。ある水溶液の水素イオン濃度は$2.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。

1. $\log_{10}(2.0 \times 10^{-3}) = \log_{10} 2.0 - 3$を用いて、この水溶液の pH を求めよ。
2. $[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$で pH 3.00 の水溶液と比べ、水素イオン濃度が 2 倍になると pH がどれだけ変化するか説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

1.

$10^{-4} = 0.0001$、$10^{-6} = 0.000001$である。

2.

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-4}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なら **pH 4** である。
$[H^+] = 1.0 \times 10^{-6}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なら **pH 6** である。

解答 2

1.

A では$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、**pH 5** である。
B では$[H^+] = 1.0 \times 10^{-9}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので、**pH 9** である。

2.

25℃では pH 7 未満が酸性、pH 7 より大きいと塩基性である。
したがって、A は**酸性**、B は**塩基性**である。

解答 3

1.

pH 3 では$[H^+] = 1.0 \times 10^{-3}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。
pH 8 では$[H^+] = 1.0 \times 10^{-8}\ \ \mathrm{mol\,L^{-1}}$である。

2.

濃度比は$\frac{10^{-3}}{10^{-8}} = 10^5$である。
したがって、pH 3 の水溶液の水素イオン濃度は、pH 8 の水溶液の**10^5倍**である。

解答 4

1.

変化後と変化前の濃度比は$\frac{10^{-4}}{10^{-2}} = 10^{-2} = \frac{1}{100}$である。
したがって、水素イオン濃度は**元の$\frac{1}{100}$**になった。

2.

変化前は pH 2、変化後は pH 4 なので、pH は **2 増加した**。
しかし、pH は水素イオン濃度をそのまま表す数値ではなく、常用対数を使った尺度である。
したがって、pH が 2 から 4 になったことを「pH が 2 倍だから水素イオン濃度も 2 倍」と解釈することはできない。

©ミライコーチング

解答 5

1.

最終体積200.0 mLは初めの20.0 mLの 10 倍なので、水素イオン濃度は 10 分の 1 になる。
したがって、希釈後の$[\mathrm{H^+}]$は$\mathbf{1.0 \times 10^{-4}\ mol\,L^{-1}}$である。

2.

希釈前は$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので **pH 3** である。
希釈後は$[\mathrm{H^+}] = 1.0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$なので **pH 4** である。

解答 6

1.

$\log_{10}(2.0 \times 10^{-3}) = \log_{10} 2.0 - 3 = 0.30 - 3 = -2.70$である。
pH はその符号を反転した値なので、**pH 2.70** である。

2.

$1.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$の水溶液は pH 3.00 である。
水素イオン濃度を 2 倍にして$2.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$にすると、pH は 2.70 になる。
したがって、水素イオン濃度が 2 倍になると、この場合 pH は$\mathbf{3.00 - 2.70 = 0.30}$**小さくなる**。