高校化学 L01 第 151 講 カルボン酸

この講でできるようになること

- カルボン酸に共通するカルボキシ基の構造を説明できる。
- ギ酸・酢酸・プロピオン酸の構造式を比較し、カルボン酸としての共通点を説明できる。
- カルボン酸が弱酸として水中で電離する理由を理解し、中和反応や炭酸塩との反応式を表せる。
- 炭酸塩・炭酸水素塩との反応で発生する二酸化炭素の物質量比を判断できる。

概念解説

カルボン酸とは

カルボン酸は、分子内にカルボキシ基 $-\mathrm{C}(=\mathrm{O})-\mathrm{OH}$ をもつ有機化合物である。カルボキシ基は、カルボニル基 $\mathrm{C}=\mathrm{O}$ とヒドロキシ基 $-\mathrm{OH}$ が同じ炭素原子に結び付いた構造であり、この部分がカルボン酸の酸性を生み出す。

©ミライコーチング

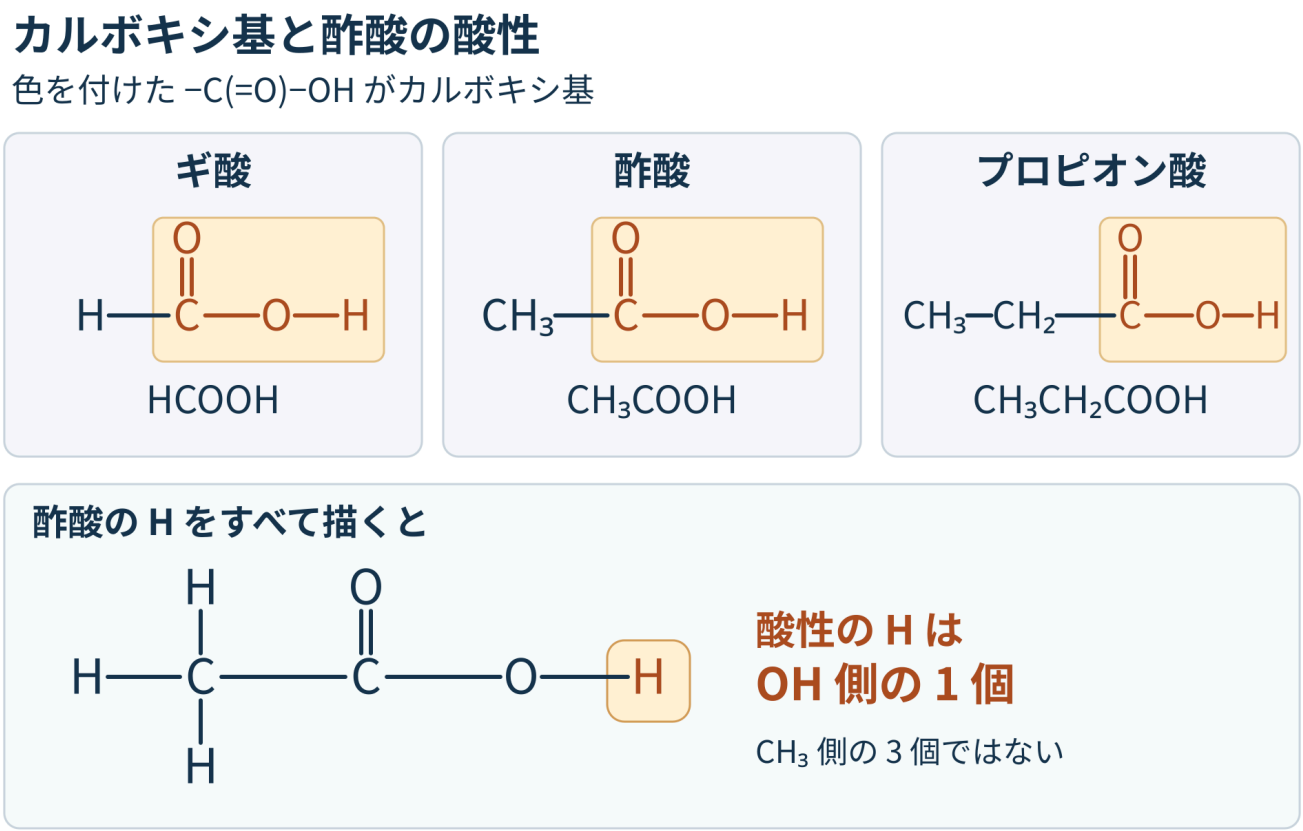

図 1　カルボキシ基と酸性水素に注目し、水中での電離と結び付ける。

代表的なカルボン酸には、ギ酸・酢酸・プロピオン酸がある。いずれもカルボキシ基をもつ点が共通しており、カルボキシ基を含む炭素原子の数などによって名称や性質が変化する。

物質名	構造式	特徴
ギ酸	$\mathrm{H-C(=O)-OH}$	最も単純なカルボン酸
酢酸	$\mathrm{CH_3-C(=O)-OH}$	食酢の酸味の主な成分として知られる
プロピオン酸	$\mathrm{CH_3CH_2-C(=O)-OH}$	酢酸より炭素鎖が 1 つ長い

カルボン酸かどうかを判断するときは、単に酸素原子や水素原子の数を見るのではなく、カルボキシ基の形に注目する。カルボニル基 $\mathrm{C=O}$ だけをもつ物質や、アルコールのように $-\mathrm{OH}$ だけをもつ物質はカルボン酸ではない。

©ミライコーチング

酸性を示す水素

酢酸 CH_3COOH には水素原子が 4 個あるが、通常の酸塩基反応で酸性を示す水素はカルボキシ基の $-OH$ にある 1 個だけである。

炭素に結合した水素まで放出するわけではないため、水素原子の数が多いことと酸性の強さは直接関係しない。また、酸性の強さは溶液の濃さとも別の概念である。濃い弱酸も存在し、薄い強酸も存在する。

カルボン酸の水中での電離

カルボン酸は水に溶けると、一部が電離して水素イオンを生じる。

$$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$$

簡略化して

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

と表す場合もある。

この反応では、酢酸分子の一部だけが電離し、電離した粒子と電離していない分子が平衡状態で共存する。酢酸は水中で一部しか電離しないため、弱酸に分類される。

一方で、弱酸であることは「反応しない」という意味ではない。十分な量の塩基が存在すれば、酸として水素イオンを渡し、完全に中和できる。

酢酸イオンと酢酸塩

酢酸が水素イオンを失うと、酢酸イオン CH_3COO^- になる。酢酸イオン全体の電荷は -1 であり、酢酸ナトリウム CH_3COONa はナトリウムイオン Na^+ と酢酸イオンが 1:1 の個数比で構成する塩である。水溶液中では、主にこれらのイオンとして存在する。

このとき、ナトリウム原子と酸素原子が共有結合しているわけではない。ナトリウム塩は、陽イオンである Na^+ と陰イオンである CH_3COO^- が静電気的に組み合わさったものである。

カルボン酸の中和反応

カルボン酸は水酸化ナトリウムなどの水酸化物と中和すると、カルボン酸塩と水を生じる。

酢酸と水酸化ナトリウムの反応では、

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

となる。

酢酸 1 mol に対して水酸化ナトリウム 1 mol が反応する。酢酸は弱酸であるが、塩基との反応では酸として働くため、十分な塩基があれば 1 価の酸として 1 mol 対 1 mol で中和する。

ここで重要なのは、「弱酸」と「1 価酸」は別の分類であることである。弱酸とは電離しにくさを表し、1 価とは 1 分子が放出できる水素イオンの数を表す。

分類	意味	酢酸の場合
酸の強弱	電離しやすさ	弱酸
酸の価数	放出できる酸性水素の数	1 価酸

炭酸塩・炭酸水素塩との反応

カルボン酸は炭酸塩や炭酸水素塩とも反応する。ここでは、水溶液中で炭酸塩・炭酸水素塩に十分な量の酢酸を加え、二酸化炭素が生じるまで完全に反応させる場合を扱う。二酸化炭素の発生は気泡として観察できる。

酢酸の中和と CO_2 の発生

水溶液中の反応（炭酸塩・炭酸水素塩には酢酸を十分に加える）

水酸化ナトリウムとの中和

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

酢酸：NaOH = 1：1（mol 比）

炭酸ナトリウムとの反応

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

酢酸 2 mol から CO_2 1 mol　→　mol 比 2：1

炭酸水素ナトリウムとの反応

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

酢酸 1 mol から CO_2 1 mol　→　mol 比 1：1

酢酸ナトリウムは Na^+ と CH_3COO^- の塩

イオンの個数比は 1：1

右の気泡は観察を示す模式図



CO_2 は無色

図 2　中和と炭酸塩の反応を、酢酸の量と二酸化炭素の量で比べる。

炭酸ナトリウムとの反応

炭酸ナトリウム 1 mol に含まれる炭酸イオンが合計 2 mol の水素イオンを受け取るため、酢酸 2 mol と反応する。

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

この反応では、**酢酸**：**二酸化炭素** $= 2:1$の物質量比になる。

炭酸水素ナトリウムとの反応

炭酸水素ナトリウムでは、

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

となる。

この場合、酢酸：二酸化炭素 $= 1:1$である。

反応物	反応式	酢酸と二酸化炭素の物質量比
炭酸ナトリウム	$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$	2 : 1
炭酸水素ナトリウム	$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$	1 : 1

二酸化炭素の体積を求める場合でも、気体の条件を確認する必要がある。標準状態以外では、常に $22.4\,\mathrm{L\,mol^{-1}}$ を使えるわけではない。

例題

例題 1

次の構造式で表される物質について考える。

- ギ酸：$\mathrm{H-C(=O)-OH}$
- 酢酸：$\mathrm{CH_3-C(=O)-OH}$
- エタノール：$\mathrm{CH_3CH_2-OH}$

(1) カルボキシ基をもつ物質をすべて選び、その理由を説明せよ。

(2) 酢酸 $\mathrm{CH_3COOH}$ に含まれる 4 個の水素原子と、酢酸が 1 価酸であることの関係を説明し、水中での電離を化学反応式で示せ。

解答・解説

(1)

カルボキシ基 $\mathrm{-C(=O)-OH}$ をもつ物質を探す。

物質	構造の注目点	判定
ギ酸	$\mathrm{-C(=O)-OH}$ をもつ	カルボン酸
酢酸	$\mathrm{-C(=O)-OH}$ をもつ	カルボン酸
エタノール	$\mathrm{-OH}$ のみをもつ	カルボン酸ではない

したがって、カルボキシ基をもつ物質はギ酸と酢酸である。

カルボン酸かどうかは、酸素や水素の数ではなく、カルボキシ基の形をもつかで判断する。エタノールも $\mathrm{-OH}$ をもつが、カルボニル基 $\mathrm{C=O}$ と組み合わさったカルボキシ基ではないためカルボン酸ではない。

(2)

酢酸 $\mathrm{CH_3COOH}$ の水素原子 4 個のうち、酸として放出される水素はカルボキシ基の水素 1 個だけである。

注目する部分	内容
$\mathrm{CH_3}$ の水素 3 個	通常の酸塩基反応で放出されない
$\mathrm{-COOH}$ の水素 1 個	$\mathrm{H^+}$ として放出される酸性水素

したがって、酢酸は酸性水素を 1 個放出できる 1 価酸である。

水中では一部が電離し、次の平衡になる。

$$\mathrm{CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+}$$

酢酸は弱酸であるため、すべての酢酸分子が電離するのではなく、電離した粒子と酢酸分子が共存する。

©ミライコーチング

例題 2

濃度 $0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ の酢酸水溶液 $20.0\,\mathrm{mL}$ を、濃度 $0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ の水酸化ナトリウム水溶液で完全に中和する。

(1) 酢酸と水酸化ナトリウムの分子反応式を示し、反応する物質量比を答えよ。

(2) 完全中和に必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積を求めよ。また、酢酸が弱酸であっても 1:1 で計算できる理由を説明せよ。

解答・解説

(1)

中和反応では、酢酸の酸性水素と水酸化物イオンの水素・酸素が反応し、水が生じる。

$$\mathrm{CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O}$$

反応式の係数から、

物質	係数	物質量比
酢酸 $\mathrm{CH_3COOH}$	1	1
水酸化ナトリウム NaOH	1	1

となる。

(2)

まず酢酸の物質量を求める。

$$n(\mathrm{CH_3COOH}) = 0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}} \times 0.0200\,\mathrm{L} = 0.00200\,\mathrm{mol}$$

$20.0\,\mathrm{mL}$ を $0.0200\,\mathrm{L}$ に変換して計算する。

反応比は 1:1 なので、必要な水酸化ナトリウムの物質量も、$n(\mathrm{NaOH}) = 0.00200\,\mathrm{mol}$である。

したがって必要な体積は、

$$V = \frac{0.00200\,\mathrm{mol}}{0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}} = 0.0200\,\mathrm{L}$$

よって、$20.0\,\mathrm{mL}$である。

酢酸は弱酸であり、水中では一部しか電離しない。しかし中和では、電離している $\mathrm{H^+}$ だけでなく、平衡が移動して新たに電離した酢酸も反応する。そのため十分な量の水酸化ナトリウムがあれば、酢酸全体が反応し、反応式の係数比 1:1 で計算できる。

反応で対応する粒子	関係
酢酸 1 mol の酸性水素	$\mathrm{OH^-}$ 1 mol と反応
NaOH 1 mol	$\mathrm{OH^-}$ 1 mol を供給

「弱酸だから反応量が小さい」と考えるのは誤りであり、弱酸とは電離しやすさの違いを表す。

例題 3

それぞれ 0.0100 mol の炭酸ナトリウム Na_2CO_3 と炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$ に、十分な量の酢酸水溶液を加えて完全に反応させる。

(1) それぞれの反応で二酸化炭素が発生するまでの化学反応式を示せ。

(2) それぞれの場合について、消費される酢酸の物質量と発生する二酸化炭素の物質量を求め、違いを説明せよ。

解答・解説

(1)

炭酸ナトリウム 1 mol に含まれる炭酸イオンが合計 2 mol の水素イオンを受け取るため、炭酸ナトリウム 1 mol あたり酢酸 2 mol が必要になる。

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

炭酸水素ナトリウムでは、1 mol の酢酸で二酸化炭素が 1 mol 生じる。

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

どちらも反応式の左右で原子数が保存されていることを確認する。

(2)

炭酸ナトリウムの場合、$2CH_3COOH : 1Na_2CO_3 : 1CO_2$の比で反応する。

Na_2CO_3 は 0.0100 mol なので、酢酸 $= 0.0200$ mol、$CO_2 = 0.0100$ molとなる。

炭酸水素ナトリウムの場合、$CH_3COOH : 1NaHCO_3 : 1CO_2$の比で反応する。

$NaHCO_3$ は 0.0100 mol なので、酢酸 $= 0.0100$ mol、$CO_2 = 0.0100$ molとなる。

反応する物質	酢酸と二酸化炭素の比	酢酸消費量	CO_2生成量
Na_2CO_3	酢酸 2 : CO_2 1	0.0200 mol	0.0100 mol
$NaHCO_3$	酢酸 1 : CO_2 1	0.0100 mol	0.0100 mol

炭酸ナトリウムでは、炭酸イオンが 2 個の水素イオンを受け取るため、必要な酢酸が 2 倍になる。一方、炭酸水素ナトリウムでは 1 個の水素イオンで二酸化炭素が発生するため、酢酸と二酸化炭素は 1:1 で対応する。

演習問題

演習 1

次の物質について考える。

- 酢酸：CH_3COOH
- プロピオン酸：CH_3CH_2COOH
- エタノール：CH_3CH_2OH
- アセトン：CH_3COCH_3

(1) 上の物質のうち、カルボン酸に分類されるものをすべて選び、その構造上の理由を説明せよ。

(2) (1)で選んだ各物質について、酸の価数と酸性を示す水素の位置を答えよ。

演習 2

酢酸 CH_3COOH の水溶液について考える。

(1) 水を含めた酢酸の電離を化学反応式で表し、酢酸イオンの電荷を答えよ。

(2) 次の 2 つの断定について、誤りを修正して説明せよ。

「酢酸には水素原子が 4 個あるので 4 価酸である」「酢酸は弱酸なので、酢酸 1 mol は水酸化ナトリウム 1 mol とは中和できない」

演習 3

濃度 $0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ の酢酸水溶液 25.0 mL を、濃度 $0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}}$ の水酸化ナトリウム水溶液で完全に中和する。

(1) 中和反応式を示し、反応する酢酸の物質量を求めよ。

(2) 完全中和に必要な水酸化ナトリウム水溶液の体積を求めよ。

演習 4

水溶液中で、次の物質を十分な量の酢酸水溶液と反応させ、二酸化炭素が発生するまで完全反応させる。

- Na_2CO_3：$0.0200\,\mathrm{mol}$
- $NaHCO_3$：$0.0200\,\mathrm{mol}$

(1) それぞれの場合について、二酸化炭素が発生するまでの化学反応式を示せ。

(2) それぞれの場合で必要な酢酸の物質量と生成する二酸化炭素の物質量を求め、反応比の違いを比較せよ。

©ミライコーチング

演習 5

酢酸 CH_3COOH 3.00 g に、十分な量の炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$ を加えて完全反応させた。

(1) 発生した二酸化炭素の体積を求めよ。

ただし、原子量は $C = 12$、$H = 1$、$O = 16$ とする。気体は標準状態（0℃、1.013×10^5 Pa）にあるものとし、モル体積は $22.4\,\mathrm{L\,mol^{-1}}$ とする。

演習 6

(1) 酢酸水溶液が弱酸であるにもかかわらず、炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$ と反応すると二酸化炭素の気泡を生じる理由を説明せよ。

また、「水素原子を含む有機物はすべて炭酸水素ナトリウムと反応して同じように気泡を出す」という考えが誤りである理由を説明せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

(1)

カルボン酸に分類されるのは、酢酸 CH_3COOH とプロピオン酸 CH_3CH_2COOH である。

判断の基準は、分子中にカルボキシ基 $-C(=O)-OH$ が存在するかどうかである。

物質	構造上の特徴	判定
CH_3COOH	$-C(=O)-OH$ をもつ	カルボン酸
CH_3CH_2COOH	$-C(=O)-OH$ をもつ	カルボン酸
CH_3CH_2OH	$-OH$ のみ	カルボン酸ではない
CH_3COCH_3	$C=O$ のみ	カルボン酸ではない

カルボニル基 $C=O$ やヒドロキシ基 $-OH$ が単独で存在してもカルボン酸にはならず、両方が同じ炭素についたカルボキシ基が必要である。

(2)

酢酸とプロピオン酸はいずれも 1 価酸である。

物質	酸性水素の位置	価数
酢酸 CH_3COOH	$-COOH$ の OH の水素	1 価
プロピオン酸 CH_3CH_2COOH	$-COOH$ の OH の水素	1 価

炭素鎖部分の水素は通常の酸塩基反応で放出される酸性水素ではない。カルボン酸では、カルボキシ基の水素が酸として働く。

解答 2

(1)

酢酸は水中で一部電離する。

$$\mathrm{CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+}$$

酢酸が水素イオンを 1 個失うことで、酢酸イオン $\mathrm{CH_3COO^-}$ が生じる。

粒子	電荷
$\mathrm{CH_3COOH}$	0
$\mathrm{CH_3COO^-}$	-1
$\mathrm{H_3O^+}$	$+1$

左右で電荷の合計は 0 であり、電荷も保存されている。

(2)

「酢酸には水素原子が 4 個あるので 4 価酸である」という考えは誤りである。

酢酸 $\mathrm{CH_3COOH}$ の水素 4 個のうち、酸性を示すのはカルボキシ基の水素 1 個だけである。

水素の位置	酸性を示すか
$\mathrm{CH_3}$ の 3 個の水素	示さない
$-\mathrm{COOH}$ の 1 個の水素	示す

したがって酢酸は 1 価酸である。

また、「弱酸なので酢酸 1 mol は NaOH 1 mol と中和できない」という考えも誤りである。

弱酸とは水中で一部だけが電離する酸である。中和に十分な量の塩基を加えると、電離平衡が移動しながら酢酸全体が反応する。

$$\mathrm{CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O}$$

反応比は酢酸：NaOH $= 1 : 1$ である。

解答 3

(1)

酢酸と水酸化ナトリウムの中和反応は、

$$\mathrm{CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O}$$

である。

反応式の係数から、

物質	物質量比
$\mathrm{CH_3COOH}$	1
NaOH	1

となる。

酢酸水溶液の体積を L に直す。

$25.0\,\mathrm{mL} = 0.0250\,\mathrm{L}$

したがって酢酸の物質量は、$n = 0.200\,\mathrm{mol\,L^{-1}} \times 0.0250\,\mathrm{L} = 0.00500\,\mathrm{mol}$である。

(2)

反応比が 1:1 なので、必要な NaOH の物質量も、$0.00500\,\mathrm{mol}$である。

NaOH 水溶液の体積を V とすると、$0.100\,\mathrm{mol\,L^{-1}} \times V = 0.00500\,\mathrm{mol}$

より、$V = 0.0500\,\mathrm{L}$となる。

mL へ変換すると、$0.0500\,\mathrm{L} = 50.0\,\mathrm{mL}$

したがって必要な NaOH 水溶液は、$50.0\,\mathrm{mL}$である。

弱酸であっても、完全中和条件では酸性水素 1 個と $\mathrm{OH^-}$ 1 個が対応するため、1:1 で計算できる。

解答 4

(1)

炭酸ナトリウムの場合、

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

である。

炭酸水素ナトリウムの場合、

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

である。

どちらも反応前後で C、H、O、Na の原子数が一致していることを確認する。

(2)

炭酸ナトリウムでは反応式より、$CH_3COOH : CO_2 = 2 : 1$である。

Na_2CO_3 は 0.0200 mol なので、**酢酸** $= 0.0400\,\mathrm{mol}$、$CO_2 = 0.0200\,\mathrm{mol}$となる。

炭酸水素ナトリウムでは、$CH_3COOH : CO_2 = 1 : 1$である。

$NaHCO_3$ は 0.0200 mol なので、**酢酸** $= 0.0200\,\mathrm{mol}$、$CO_2 = 0.0200\,\mathrm{mol}$となる。

反応物	酢酸の必要量	CO_2生成量
Na_2CO_3	$0.0400\,\mathrm{mol}$	$0.0200\,\mathrm{mol}$
$NaHCO_3$	$0.0200\,\mathrm{mol}$	$0.0200\,\mathrm{mol}$

炭酸イオン CO_3^{2-} 1 個は 2 個の水素イオンを受け取るため、炭酸ナトリウム 1 mol あたり酢酸 2 mol が必要になる。一方、炭酸水素イオン HCO_3^- は 1 個の水素イオンで二酸化炭素を生じる。

解答 5

(1)

酢酸と炭酸水素ナトリウムの反応は、

$$\mathrm{CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2}$$

であり、酢酸と二酸化炭素の物質量比は 1 : 1 である。

まず酢酸のモル質量を求める。

$\mathrm{CH_3COOH}$は、

- C：2 個
- H：4 個
- O：2 個

からなるため、$M = 12 \times 2 + 1 \times 4 + 16 \times 2 = 60\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$である。

酢酸 3.00 g の物質量は、

$$n = \frac{3.00}{60} = 0.0500\,\mathrm{mol}$$

である。

反応比が 1:1 なので、$n(\mathrm{CO_2}) = 0.0500\,\mathrm{mol}$となる。

標準状態では 1 mol の気体体積が 22.4 L なので、$V = 0.0500 \times 22.4 = 1.12\,\mathrm{L}$

したがって、1.12 Lである。

解答 6

(1)

酢酸は弱酸であるが、炭酸水素ナトリウムとは反応して二酸化炭素を生じる。

酢酸の酸性水素が炭酸水素イオンに渡されることで、炭酸が生じ、その後二酸化炭素と水に変化する。

全体の反応式は、

$$\mathrm{CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2}$$

である。

弱酸とは「水中で電離しにくい」という意味であり、「酸として反応できない」という意味ではない。反応によって水素イオンが消費されると、酢酸の電離平衡が右へ移動し、未電離の酢酸も順次反応する。

一方、「水素原子を含む有機物はすべて炭酸水素ナトリウムと反応して気泡を出す」という判断は誤りである。

気泡が発生するには、炭酸水素イオンへ渡せる酸性水素をもつ必要がある。エタノールなど、水素原子を含んでいても通常の酸塩基反応で酸性水素を渡さない物質では、同じ反応は起こらない。

©ミライコーチング