

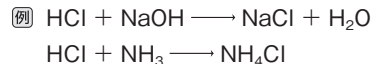
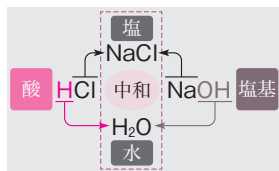
## 酸・塩基の中和と塩

解説動画  
アニメーションQR  
コード

## 1 中和と塩

## [1] 中和(中和反応)

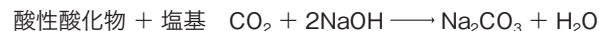
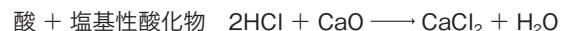
① 中和 酸と塩基が互いの性質を打ち消し合う反応。

① 気体の HCl と NH<sub>3</sub> の中和のように、水を生じないこともある。② 中和のイオン反応式  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ 

## [2] 塩

① 塩 酸の陰イオンと塩基の陽イオンが結びついた化合物。

塩は、酸と塩基の中和反応以外の反応でも生じる。



① 酸性酸化物…酸のはたらきをする酸化物。塩基性酸化物…塩基のはたらきをする酸化物。

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 酸性酸化物 (非金属元素の酸化物が多い)               | CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> |
| 塩基性酸化物 (金属元素の酸化物が多い)               | Na <sub>2</sub> O, MgO, CaO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| 両性酸化物 (酸と強塩基に反応) <small>化学</small> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnO   |

① 非金属元素の酸化物には酸性酸化物が多く、金属元素の酸化物には塩基性酸化物が多い。

② 塩の分類 (分類は、水溶液の性質を示すものではない。)

正塩…酸の H、塩基の OH が残っていない塩。 例 NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl酸性塩(水素塩)…酸の H が残っている塩。 例 NaHSO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>① 酸性塩のうち、NaHSO<sub>4</sub> 水溶液は酸性、NaHCO<sub>3</sub> 水溶液は塩基性を示す。

塩基性塩…塩基の OH が残っている塩。 例 CaCl(OH), MgCl(OH)

## 2 中和滴定

## [3] 中和滴定

① 中和点 酸と塩基が過不足なく中和する点。

② 中和反応の量的関係 酸と塩基が過不足なく中和するとき、次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{酸から生じる } \text{H}^+ \text{ の物質質量} &= \text{塩基から生じる } \text{OH}^- \text{ の物質質量} \\ (\text{酸の価数}) \times (\text{酸の物質質量}) &= (\text{塩基の価数}) \times (\text{塩基の物質質量}) \end{aligned}$$

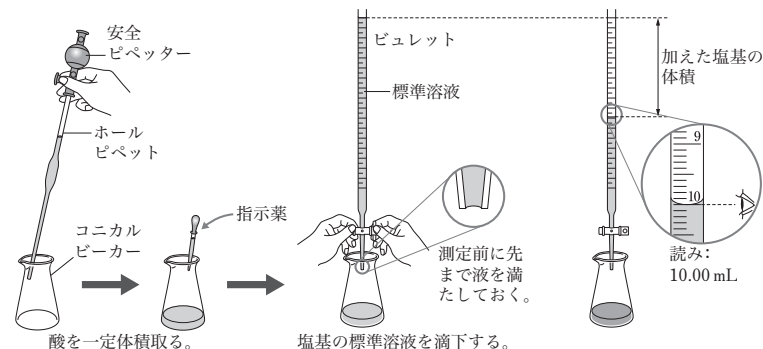
③ 中和滴定 中和点までに要した水溶液の体積を求める操作。

 $c$  [mol/L] の  $a$  価の酸  $V$  [L] と、 $c'$  [mol/L] の  $b$  価の塩基  $V'$  [L] が過不足なく中和するとき、

$$a \times c \times V = b \times c' \times V'$$

## [4] 中和滴定に用いる器具とその操作

- ① メスフラスコ 正確な濃度の溶液をつくることができる。
- ② 安全ピペット 口で吸い上げず、安全に溶液を取ることができる。
- ③ ホールピペット 一定体積の溶液を正確にはかり取ることができる。
- ④ ビュレット 溶液を滴下し、その体積を正確に読み取ることができる。
- ⑤ コニカルビーカー 中和反応を中に行わせる(三角フラスコでもよい)。



- ① ホールピペットとビュレットは、用いる溶液で内部を洗って(共洗い)使用する。コニカルビーカーやメスフラスコ(⇒ p.63)は、純粋な水で洗ってぬれたまま使用してもよい。
- ① pH の変化により特有の色を示す色素を指示薬といい、指示薬の色が変わる pH の範囲を変色域という。

## 3 滴定曲線

## [5] 滴定曲線

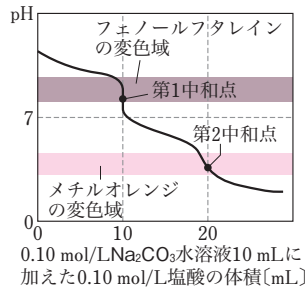
- ① 滴定曲線 中和滴定において、加えた酸や塩基の水溶液の体積と、混合溶液の pH との関係を表した曲線。
- ② 酸・塩基の組み合わせと滴定曲線(いずれも 0.10 mol/L の溶液 10 mL)

| 酸      | HCl 強酸 10 mL  | CH <sub>3</sub> COOH 弱酸 10 mL   | HCl 強酸   |
|--------|---|---|--|
| 塩基     | NaOH 強塩基  | NaOH 強塩基  | NH <sub>3</sub> 弱塩基 10 mL                        |
| 滴定曲線   | <p>pH フェノールフタレインの変色域(8.0~9.8)</p> <p>中和点</p> <p>0.10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液の体積(mL)</p> | <p>pH</p> <p>中和点</p> <p>メチルオレンジの変色域(3.1~4.4)</p> <p>0.10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液の体積(mL)</p> | <p>pH</p> <p>中和点</p> <p>0.10 mol/L 塩酸の体積(mL)</p> |
| 用いる指示薬 | フェノールフタレイン<br>メチルオレンジ   | フェノールフタレイン  | メチルオレンジ  |
| 中和点    | pH=7  | pH>7  | pH<7   |

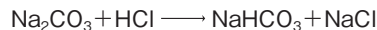
① 弱酸と弱塩基では、中和点における pH の変化が小さいので滴定に適した指示薬がない。

【6】二段階中和

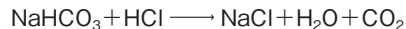
- ① 炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2 価の弱酸の炭酸の塩。水溶液にすると、比較的強い塩基性を示す。
- ② 二段階中和 炭酸ナトリウム水溶液に塩酸などの強酸を加えていくと、2 か所で pH が急に変化する(中和反応が2 段階で進む)。



第1 中和点(1 回目の中和点)



第2 中和点(2 回目の中和点)



- ①  $\text{CO}_3^{2-}$  は  $\text{HCO}_3^-$  よりも  $\text{H}^+$  を受け取りやすいので、第1 中和点における反応が完了しないと、第2 中和点における反応は起こらない。

【4】塩の反応

【7】正塩の水溶液の性質

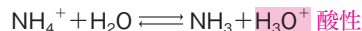
|                 | 水溶液の性質 | 塩の例                       | もとの酸・塩基                        |
|-----------------|--------|---------------------------|--------------------------------|
| 強酸 と 強塩基 からなる正塩 | 中性     | NaCl                      | HCl・NaOH                       |
| 強酸 と 弱塩基 からなる正塩 | 弱酸性    | $\text{NH}_4\text{Cl}$    | HCl・ $\text{NH}_3$             |
| 弱酸 と 強塩基 からなる正塩 | 弱塩基性   | $\text{CH}_3\text{COONa}$ | $\text{CH}_3\text{COOH}$ ・NaOH |

- ① 弱酸と弱塩基からなる正塩の性質は物質によって異なる。酸または塩基の比較的強いほうの性質が現れる。

化学【8】塩の加水分解

塩に含まれている弱酸の陰イオンや弱塩基の陽イオンが水と反応し、もとの弱酸や弱塩基を生じる変化を塩の加水分解という。

- ① 強酸と強塩基からなる塩は、もとの酸や塩基の電離度が大きいので、加水分解を起こさない。



【9】遊離

- ① 弱酸の遊離  $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{HCl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCl}$   
弱酸の塩      強酸      弱酸      強酸の塩
- ② 弱塩基の遊離  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$   
弱塩基の塩      強塩基      弱塩基      強塩基の塩
- ③ 揮発性の酸の遊離 ★揮発性の酸…塩酸・硝酸・酢酸。常温・常圧で気体になりやすい酸。  
 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}$   
揮発性の酸の塩      不揮発性の酸      不揮発性の酸の塩      揮発性の酸

【まとめのチェック】

- ① 酸と塩基が互いの性質を打ち消し合う反応を(1)反応という。この反応では、一般に、酸の  $\text{H}^+$  と塩基の  $\text{OH}^-$  が反応して(2)を生じる。また、酸の陰イオンと塩基の陽イオンが結びついた化合物を(3)という。
- ② 酸と塩基が過不足なく(1)するとき、酸から生じる  $\text{H}^+$  と塩基から生じる  $\text{OH}^-$  の(4)が等しい。
- ③ 濃度がわかっている塩基(または酸)の溶液を用いて、濃度が不明の酸(または塩基)の濃度を求める実験操作を(5)という。この実験操作では、一定体積の溶液を正確にはかり取る(6)、溶液を滴下してその体積を正確に読み取ることができる(7)、正確な濃度の溶液を調製する(8)、コニカルビーカーなどの器具が用いられる。

【ドリル】

- ① 次の酸・塩基の中和を化学反応式で表せ。  
(1) 酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  と水酸化カリウム  $\text{KOH}$  (2) 塩酸  $\text{HCl}$  と水酸化カルシウム  $\text{Ca}(\text{OH})_2$   
(3) 硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  とアンモニア  $\text{NH}_3$       ↳【1】
- ② 次の(a)~(f)の塩について、下の問いに答えよ。  
(a)  $\text{NaHSO}_4$       (b)  $\text{KNO}_3$       (c)  $\text{NaHCO}_3$   
(d)  $\text{CH}_3\text{COONa}$       (e)  $\text{NH}_4\text{Cl}$       (f)  $\text{CaCl}(\text{OH})$   
(1) (a)~(e)の水溶液の性質(酸性・中性・塩基性)を記せ。  
(2) それぞれの塩を、正塩・酸性塩(水素塩)・塩基性塩に分類せよ。      ↳【2】、【7】
- ③ 次の酸化物のうち、塩基性酸化物を2つ選び、化学式で答えよ。

二酸化炭素、酸化ナトリウム、二酸化硫黄、酸化カルシウム      ↳【2】

【まとめのチェック】の答え

- (1) 中和 (2) 水( $\text{H}_2\text{O}$ ) (3) 塩 (4) 物質質量 (5) 中和滴定 (6) ホールビベット (7) ビュレット (8) メスフラスコ

【ドリル】の答え

- ① (1)  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{KOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O}$  (2)  $2\text{HCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$   
(3)  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- ② (1) (a) 酸性 (b) 中性 (c) 塩基性 (d) 塩基性 (e) 酸性  
(2) 正塩…(b), (d), (e) 酸性塩…(a), (c) 塩基性塩…(f)      ③  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$

Step 1

→ 解答編 p.

解説動画  
アニメーション

QR  
コード

【1】次の問いに答えよ。

- (1) 0.10 mol/L の塩酸  $\text{HCl}$  10 mL を中和するのに必要な 0.050 mol/L 水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  水溶液の体積は何 mL か。
- (2) 0.050 mol のアンモニア  $\text{NH}_3$  を中和するのに必要な 0.10 mol/L 硫酸  $\text{H}_2\text{SO}_4$  は何 mL か。
- (3) 濃度が不明の酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  10 mL を中和するのに、0.10 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液  $\text{NaOH}$  7.8 mL を要した。酢酸の濃度は何 mol/L か。

## 基本例題 36 中和滴定

→ 141, 144 ~ 146

- ①メスフラスコを用いて 0.0500 mol/L のシュウ酸 (COOH)<sub>2</sub> 水溶液を正確に調製した。また、水酸化ナトリウム NaOH 約 0.8 g を純水 約 200 mL に溶かした水溶液をつくった。
- ②ホールピペットでコニカルビーカーにシュウ酸水溶液を 10.0 mL とり、フェノールフタレイン溶液を加えた後、③ビュレットに入れた水酸化ナトリウム水溶液で滴定すると、指示薬が変色するまでに 12.5 mL を要した。
- (1) 器具①～③が水でぬれているとき、使う前にする操作を次の(a)～(c)から 1 つずつ選ぶ。  
(a) シュウ酸水溶液で 2, 3 回洗う (b) 水酸化ナトリウム水溶液で 2, 3 回洗う  
(c) そのまま用いる
- (2) シュウ酸と水酸化ナトリウムの中和を化学反応式で表せ。
- (3) 水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。

📌 指針 中和点では、(酸の H<sup>+</sup> の物質量) = (塩基の OH<sup>-</sup> の物質量)

## ! センサー

## ● 中和点での量的関係

$$acV = bc'V'$$

- a : 酸の価数  
c : 酸のモル濃度 (mol/L)  
V : 酸の体積 (L)  
b : 塩基の価数  
c' : 塩基のモル濃度 (mol/L)  
V' : 塩基の体積 (L)

解説 (1) ①メスフラスコは、純水を加えて溶液をつくるのでそのまま用いる。また、②ホールピペット、③ビュレットは、純水ですまらぬように、使用する液で 2, 3 回洗浄(共洗い)する。

(3) 求める濃度を c [mol/L] とすると、

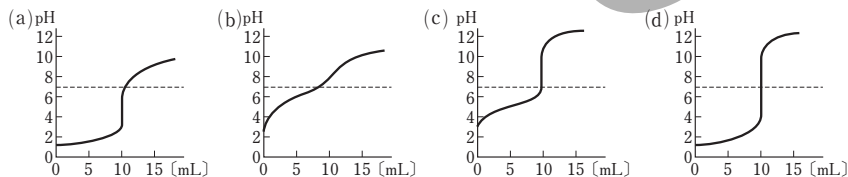
$$2 \times 0.0500 \text{ mol/L} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L} = 1 \times c \text{ [mol/L]} \times \frac{12.5}{1000} \text{ L}$$

- 答 (1) ①(c) ②(a) ③(b)  
(2)  $(\text{COOH})_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + (\text{COONa})_2$   
(3) 0.0800 mol/L (8.00 × 10<sup>-2</sup> mol/L)

## 基本例題 37 滴定曲線

→ 150

0.10 mol/L 塩酸を 0.10 mol/L の①水酸化ナトリウム水溶液、②アンモニア水で滴定した。このときの滴定曲線として適切なものを次の(a)～(d)からそれぞれ選べ。



📌 指針 滴定開始点, 中和点, 過剰に加えたときの pH に着目する。

## ! センサー

## ● 中和点の pH

- 強酸と強塩基 : pH = 7  
弱酸と強塩基 : pH > 7  
強酸と弱塩基 : pH < 7

解説 滴定開始時の HCl の [H<sup>+</sup>] = 0.10 mol/L pH は 1.0

- ① 中和点 (NaCl 水溶液) では pH = 7, 過剰では pH 約 12 になる  
② 中和点 (NH<sub>4</sub>Cl 水溶液) では pH < 7, 過剰では pH 約 10 になる  
(a) 強酸 + 弱塩基 (b) 弱酸 + 弱塩基 (c) 弱酸 + 強塩基  
(d) 強酸 + 強塩基

答 ① (d) ② (a)

## 知識

141 中和反応 次の中和反応を化学反応式で表せ。ただし、反応は完全に進むものとする。

- (1) 酢酸水溶液に水酸化カルシウム水溶液を反応させる。  
(2) リン酸水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加える。

## 知識

142 酸化物の性質 次の(a)～(d)の酸化物について、下の問いに答えよ。

- (a) CaO (b) CO<sub>2</sub> (c) SO<sub>3</sub> (d) Na<sub>2</sub>O

- (1) 水に溶けると酸性を示す酸化物をすべて選び、水との反応を化学反応式で表せ。  
(2) 水に溶けると塩基性を示す酸化物をすべて選び、水との反応を化学反応式で表せ。

## 思考

143 中和の量的関係

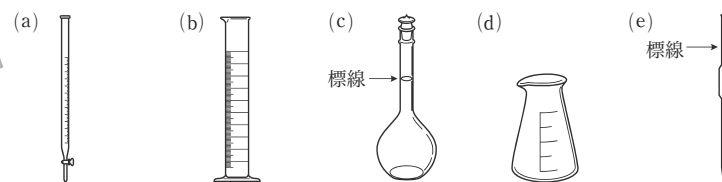
原子量 H=1.0, C=12, O=16, Na=23, Ca=40

- (1) 塩化水素 HCl 0.10 mol の中和に必要な水酸化カルシウム Ca(OH)<sub>2</sub> は何 g か。  
(2) 0.25 mol/L 硫酸 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 mL を中和するのに必要な 0.20 mol/L 水酸化カリウム KOH 水溶液は何 mL か。  
(3) 水酸化ナトリウム 0.80 g を中和するのに必要な 0.50 mol/L 塩酸は何 mL か。  
(4) 0 °C, 1.013 × 10<sup>5</sup> Pa で 0.28 L のアンモニア NH<sub>3</sub> を中和するのに必要な 0.010 mol/L 硫酸は何 mL か。

## 知識

📌 実験 144 中和滴定 シュウ酸二水和物 (COOH)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O ①  g を少量の純水に溶かし、これを器具 A に入れて純水を加え 100 mL とし 0.150 mol/L の水溶液をつくった。この水溶液 10.0 mL を器具 B ではかり取って器具 C に移し、指示薬を加えた。この水溶液に、器具 D に入れておいた 0.100 mol/L の水酸化カリウム水溶液を ②  mL 滴下したとき、水溶液が変色した。式量 (COOH)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O = 126

(1) 器具 A ~ D を、それぞれ次の(a)～(e)から選び、その器具の名称も答えよ。



- (2) 器具 A ~ D のうち、①共洗いして用いる器具、②純水で水洗いしただけで用いることのできる器具をそれぞれすべて選び、A ~ D の記号で答えよ。  
(3) この中和滴定の指示薬として最も適したものを次の(a)～(c)から選べ。  
(a) メチルオレンジ (変色域 pH 3.1 ~ 4.4)  
(b) フェノールフタレイン (変色域 pH 8.0 ~ 9.0) (c) メチルレッド (変色域 4.2 ~ 6.2)  
(4) 文中の  にあてはまる値を求めよ。

## 知識

145 中和と塩 次の塩の化学式を書け。また、それぞれの塩が中和反応で生じたとき、もとなる酸と塩基の化学式を答えよ。

- (1) 硫酸水素ナトリウム (2) 塩化アンモニウム (3) 塩化水酸化カルシウム

思考

146 中和と酸の体積 モル濃度がそれぞれ0.10 mol/Lの硫酸・硝酸・酢酸水溶液がある。

次の(1), (2)の関係について、それぞれ正しいものを、下の(a)~(h)より選べ。

- (1) pHの大小関係。
- (2) 0.10 mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液10 mLの中和に要する体積[mL]の関係。
  - (a) 硫酸>硝酸>酢酸 (b) 硫酸=硝酸>酢酸 (c) 硫酸>硝酸=酢酸
  - (d) 硝酸>酢酸>硫酸 (e) 硝酸=酢酸>硫酸 (f) 酢酸>硝酸>硫酸
  - (g) 酢酸>硝酸=硫酸 (h) 酢酸=硝酸=硫酸

知識

147 塩の水溶液の性質 次の塩について、下の問いに答えよ。

- (a) 炭酸水素ナトリウム (b) 硫酸水素ナトリウム (c) 塩化ナトリウム (d) 炭酸ナトリウム
- (1) 酸性塩をすべて選び記号で答えよ。
- (2) (a)~(d)の水溶液をpHが小さいものから順に化学式で示せ。(香川大 改)

思考

148 中和反応と塩の性質 同じモル濃度の酸と塩基の水溶液を(a)~(e)の組み合わせで同体積ずつ混合したとき、混合溶液が酸性を示すものをすべて選び、記号で答えよ。

- (a) HCl-NH<sub>3</sub> (b) HNO<sub>3</sub>-KOH (c) CH<sub>3</sub>COOH-NaOH
- (d) (COOH)<sub>2</sub>-NaOH (e) HCl-Ca(OH)<sub>2</sub>

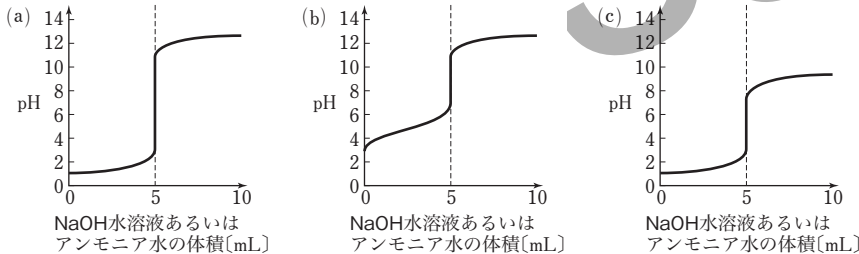
知識

149 弱酸・弱塩基の遊離 次の物質を混合したとき反応が起こるものをすべて選び、化学反応式を示せ。

- (a) 酢酸ナトリウム水溶液に硝酸を加える。 (b) 硫酸ナトリウム水溶液に酢酸を加える。
- (c) 炭酸カルシウムに塩酸を加える。 (d) 塩化カリウム水溶液にアンモニア水を加える。
- (e) 塩化アンモニウム水溶液に水酸化カリウム水溶液を加える。

思考

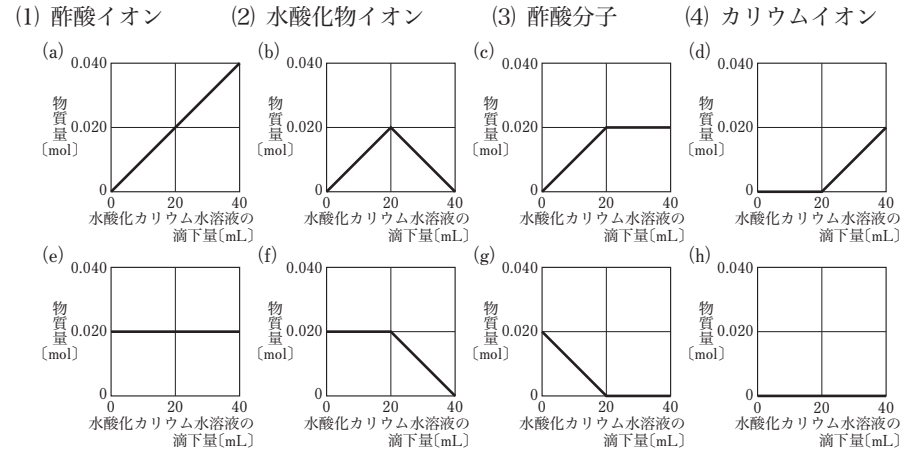
150 滴定曲線と指示薬 次の図は、濃度のわからない塩酸、硫酸、酢酸の各10.0 mLを0.050 mol/L水酸化ナトリウム水溶液あるいはアンモニア水で滴定したときの滴定曲線である。下の各問いに答えよ。



- (1) ①塩酸と水酸化ナトリウム、②硫酸とアンモニア、③酢酸と水酸化ナトリウムの組み合わせによる滴定曲線はどれか。図の(a)~(c)から1つずつ選べ。
- (2) (1)の①~③の滴定に使える指示薬はどれか。次の(a)~(c)から1つずつ選べ。
  - (a) フェノールフタレイン (b) メチルオレンジ
  - (c) フェノールフタレインとメチルオレンジのどちらも使える。
- (3) 硫酸のモル濃度は何 mol/Lか。

思考

151 中和と物質量的変化 1.0 mol/L酢酸水溶液(電離度0.0052)20 mLを1.0 mol/L水酸化カリウム水溶液で中和滴定した。水溶液中に含まれる次の(1)~(4)のイオンや分子の物質量的変化を表すグラフを、それぞれ下の(a)~(h)から1つずつ選べ。



思考

152 中和とpH・電離度 次の各問いに答えよ。

- (1) pH 3.0の塩酸0.10 Lを0.10 mol/L水酸化ナトリウム水溶液で中和するとき、中和に要する水酸化ナトリウム水溶液は何Lか。
- (2) pH 3.0の酢酸(電離度0.010)0.10 Lを0.10 mol/L水酸化ナトリウム水溶液で中和するとき、中和に要する水酸化ナトリウム水溶液は何Lか。

思考

153 中和点の溶液の性質 酢酸水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で中和したとき、中和点においては酢酸と水酸化ナトリウムは過不足なく反応し、正塩である①□の水溶液となっている。この水溶液では、①□は完全に電離し②□と③□を生じる。また、水はごくわずかに電離し④□と⑤□を生じている。酢酸は弱酸であり、電離度が小さいため、③□の一部は水から④□を受け取り⑥□となる。このため、この溶液中では⑦□となり、中和点での溶液は⑧□を示す。

- (1) ①~⑥にあてはまる化学式を答えよ。
- (2) ⑦にあてはまる式を次から選べ。
  - (a) [H<sup>+</sup>] > [OH<sup>-</sup>] (b) [H<sup>+</sup>] = [OH<sup>-</sup>] (c) [H<sup>+</sup>] < [OH<sup>-</sup>]
- (3) ⑧にあてはまる語句を次から選べ。
  - (a) 酸性 (b) 中性 (c) 塩基性

(関西学院大 改)

○次の文を読み、下の問いに答えよ。

水溶液 A～C の溶質は、それぞれアンモニア、硝酸アンモニウム、水酸化ナトリウム、水酸化バリウム、炭酸ナトリウムのうちのいずれかである。水溶液 A～C について、以下の実験を行った。

実験 I ガラス棒の先端に濃塩酸をつけて、1.0 mol/L の水溶液 A～C に近づけたところ、水溶液 A のみ白煙を生じた。

実験 II 0.10 mol/L の水溶液 A～C それぞれ 10 mL に 0.10 mol/L の硫酸水溶液を加えると、水溶液 C のみ白色沈殿が生じた。また、水溶液 B では気体が発生した。

実験 III 0.10 mol/L の水溶液 A を 10.0 mL 入れたコニカルビーカーに、0.10 mol/L の塩酸を滴下しながら溶液の pH を測定し、滴定曲線を作成した。

実験 IV 15.0 mL の水溶液 B を入れたコニカルビーカーに、0.10 mol/L の塩酸を滴下しながら溶液の pH を測定し、滴定曲線を作成すると、pH の急激な低下が 2 回観察された。2 回目の低下は、塩酸を 18.0 mL 滴下したときに起こった。

(1) 水溶液 A～C の溶質として、適切な物質を選び化学式で書け。

(2) 実験 I で白煙が生じた反応を化学反応式で表せ。

(3) 右図は、実験 III で作成した滴定曲線である。中和点に達するまでの曲線(ア)～(ウ)と、中和点に達した後の曲線(エ)～(カ)の組み合わせとして、最も適当なものを次の①～⑨から 1 つ選べ。

- ① アーエ ② アーオ ③ アーカ
- ④ イーエ ⑤ イーオ ⑥ イーカ
- ⑦ ウーエ ⑧ ウーオ ⑨ ウーカ

(4) 実験 IV における水溶液 B のモル濃度[mol/L]はいくらか。次の①～⑤から 1 つ選べ。

- ① 0.030 ② 0.060 ③ 0.12 ④ 0.24 ⑤ 0.48

(5) 実験 IV で、2 回目の pH の急激な変化を検出するのに適した指示薬を 1 つ書け。

(6) 0.20 mol/L の水溶液 C 10.0 mL に 0.30 mol/L の硫酸水溶液を 10.0 mL 加えて、よくかくはんした。この水溶液の pH は 25°C でいくらか。下の①～⑥から 1 つ選べ。ただし、沈殿生成に伴う溶液の体積変化はないものとする。

- ① 1 ② 2 ③ 7 ④ 12 ⑤ 13 ⑥ 14

(千葉大 改)

指針 (読み解きポイント)

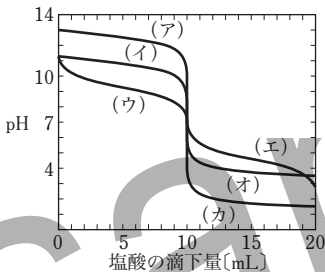
知識確認 この問題の基本となる知識をおさえよう

・中和の量的関係： $c$  [mol/L] の  $a$  価の酸  $V$  [L] と  $c'$  [mol/L] の  $b$  価の塩基  $V'$  [L] が過不足なく中和するとき、 $a \times c \times V = b \times c' \times V'$

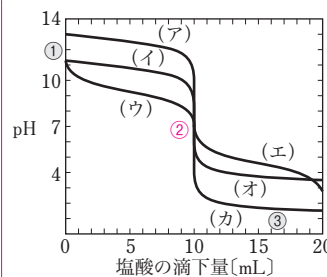
・炭酸ナトリウムと塩酸は、2 段階で中和する。

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaHCO}_3 \cdots (a)$  指示薬：フェノールフタレイン 赤→無色

$\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \cdots (b)$  指示薬：メチルオレンジ 黄→赤色



② 考えてみよう <グラフ問題> 全体像をつかみ、グラフの傾きや注目点を見る



滴定曲線は次の 3 点に注目する。

① 滴定前…用いた塩基の pH を示す

塩基の濃度が等しければ、NaOH のような強塩基は pH が大きく、NH<sub>3</sub> のような弱塩基は pH が小さい。

② 中和点…酸と塩基が過不足なく中和した点

中和点の pH 強酸+強塩基：pH=7

弱酸+強塩基：pH>7, 強酸+弱塩基：pH<7

③ 過剰に加えたとき…用いた酸の pH に近づく

酸の濃度が等しければ、HCl のような強酸は pH が小さく、酢酸 CH<sub>3</sub>COOH のような弱酸は pH が大きい。

(0.1 mol/L のときのおよその pH は、NaOH：pH 13, NH<sub>3</sub>：pH 11, HCl：pH 1, CH<sub>3</sub>COOH：pH 3)

② 考えてみよう <実験問題> 実験結果を簡条書きや表にしてみる

用いた溶質：NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NaOH, Ba(OH)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

| 実験            | 水溶液 A  | 水溶液 B         | 水溶液 C  |
|---------------|--------|---------------|--------|
| 実験 I 濃塩酸を近づける | 白煙     | (変化なし)        | (変化なし) |
| 実験 II 硫酸を加える  | (変化なし) | 気体が発生         | 白色沈殿   |
| 実験 III 滴定     | 塩酸で滴定  | —             | —      |
| 実験 IV 滴定      | —      | 塩酸で滴定(2段階で中和) | —      |

白煙：NH<sub>4</sub>Cl  
BaSO<sub>4</sub>  
溶質は Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

解説 (1) 水溶液 A はアンモニア水、水溶液 B は炭酸ナトリウム水溶液、実験 II で硫酸と反応して白色沈殿 BaSO<sub>4</sub> を生じるのは水酸化バリウム水溶液(水溶液 C)。なお、水溶液 B は硫酸と反応して気体が発生し、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  と表せる。

(3) アンモニアは弱塩基なので、滴定前の 0.10 mol/L のアンモニア水の pH は 13 ではなく 11 になる。また、0.10 mol/L 塩酸を過剰に加えたときの pH は 1 に近づく。

なお、中和点の pH は「弱塩基+強酸」なので 7 より小さくなる。

(4)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaHCO}_3 \cdots \textcircled{1}$   $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \cdots \textcircled{2}$

物質に注目すると、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が  $a$  [mol] のとき、式①で反応する HCl は  $a$  [mol]、生成する NaHCO<sub>3</sub> も  $a$  [mol] となり、式②で反応する HCl も  $a$  [mol] となる。実験では各段階で反応した塩酸は 9.0 mL ずつで、2 回目の低下で 18.0 mL であった。水溶液 B の濃度を  $x$  [mol/L] とすると、

$$x \text{ [mol/L]} \times \frac{15.0}{1000} \text{ L} = 0.10 \text{ mol/L} \times \frac{9.0}{1000} \text{ L} \quad x = 0.060 \text{ mol/L}$$

(6) 濃度が大きい硫酸が残る。混合溶液 20 mL 中の水素イオン H<sup>+</sup> の物質量は、

$$2 \times 0.30 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} - 2 \times 0.20 \text{ mol/L} \times \frac{10}{1000} \text{ L} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

よって、 $[\text{H}^+] = \frac{2.0 \times 10^{-3} \text{ mol}}{0.020 \text{ L}} = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$  よって、pH=1

答 (1) A：NH<sub>3</sub>, B：Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, C：Ba(OH)<sub>2</sub> (2) HCl+NH<sub>3</sub>→NH<sub>4</sub>Cl

(3) ⑨ (4) ② (5) メチルオレンジ (6) ①

## 応用例題 38 逆滴定

→ 156 ~ 158

ある量のアンモニアを 0.100 mol/L の希硫酸 25.0 mL に完全に吸収させた。この溶液を 0.200 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定すると、中和点までに 12.0 mL を要した。吸収されたアンモニアの体積は 0°C, 1.013×10<sup>5</sup> Pa で何 mL か。(日本大)

**指針** 逆滴定でも (H<sup>+</sup> の総物質質量) = (OH<sup>-</sup> の総物質質量) が成立する。

## センサー

## ●逆滴定

気体の酸(塩基)を定量するために過剰量の塩基(酸)を含む水溶液に吸収させ、未反応の塩基(酸)を別の酸(塩基)で中和滴定して気体の物質質量を求める方法。

**解説** 吸収されたアンモニアの物質質量を  $n$  [mol] とすると、

$$2 \times 0.100 \text{ mol/L} \times \frac{25.0}{1000} \text{ L} \\ \text{H}^+ \text{ の物質質量} \\ = 1 \times n \text{ [mol]} + 1 \times 0.200 \text{ mol/L} \times \frac{15.0}{1000} \text{ L} \\ \text{OH}^- \text{ の総物質質量}$$

$$n = 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \text{ より、} \\ 22.4 \text{ L/mol} \times 2.00 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 10^3 \text{ mL/L} = 44.8 \text{ mL}$$

**答** 89.6 mL

## 応用例題 39 二段階中和

→ 159

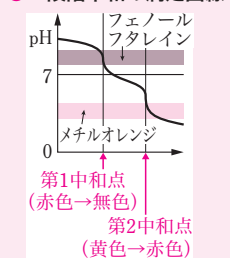
炭酸ナトリウム Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の水溶液に塩酸 HCl を加えると、二段階の中和反応が起こる。この反応について、次の各問いに答えよ。

- ①第1段階、②第2段階の中和反応を、それぞれ化学反応式で表せ。
- ①第1中和点、②第2中和点の判定に用いる指示薬を、それぞれ次の(a)~(c)から選べ。  
(a) フェノールフタレイン (b) メチルオレンジ (c) (a), (b)のどちらでもよい。
- 濃度未知の Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 水溶液 10.0 mL を 0.10 mol/L 塩酸で滴定したところ、第2中和点までの滴下量は 16.4 mL であった。この Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 水溶液のモル濃度はいくらか。

**指針** 二段階中和の第1中和点は塩基性、第2中和点は酸性。

## ≡ グラフを読み解く

## ●二段階中和の滴定曲線



**解説** (1) 第1段階の中和反応が完了後、第2段階が起こる。

(2) 第1中和点は pH 8.5 程度、第2中和点は pH 4 程度。

(3) 第1中和点までの HCl の滴下量は、第1中和点から第2中和点までの滴下量と等しいので、16.4 mL ÷ 2 = 8.2 mL。第1段階の中和では、HCl と Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の物質質量は等しいので、炭酸ナトリウム水溶液のモル濃度を  $x$  [mol/L] とすると、

$$0.10 \text{ mol/L} \times \frac{8.2}{1000} \text{ L} = x \text{ [mol/L]} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L} \quad x = 0.082 \text{ mol/L}$$

- 答** (1) ① Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + HCl → NaCl + NaHCO<sub>3</sub>  
② NaHCO<sub>3</sub> + HCl → NaCl + H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>  
(2) ①(a) ②(b) (3) 8.2×10<sup>-2</sup> mol/L (0.082 mol/L)

思考  
実験 154

**中和滴定** 食酢中の酢酸 CH<sub>3</sub>COOH の濃度を求めるため、次の(I)~(IV)の手順で実験を行った。ただし、食酢中の酸はすべて酢酸とし、食酢の密度は 1.00 g/mL とする。

分子量 CH<sub>3</sub>COOH=60.0, 式量 (COOH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O=126, NaOH=40.0

- 固体の水酸化ナトリウム NaOH 約 2 g をはかり取り、500 mL の水溶液とした。
- シュウ酸の結晶 1.26 g をはかり取って少量の純水に溶かし、容量  $x$  mL の器具 A に移して正確に 0.0500 mol/L 水溶液  $x$  mL をつくった。
- (II) の水溶液 10.0 mL を器具 B でコニカルビーカーに取り、指示薬を加え、器具 C に入れた(I)の水溶液で中和滴定すると、中和に要する(I)の水溶液の量は 10.0 mL であった。
- 水で 10 倍にうすめた食酢 10.0 mL をコニカルビーカーに取り、フェノールフタレインを加え、器具 C に入れた(I)の水溶液で中和滴定すると、下表の結果が得られた。

| 実験回数     | 1 回目 | 2 回目  | 3 回目  | 4 回目 |
|----------|------|-------|-------|------|
| はじめ (mL) | 0.20 | 7.70  | 15.19 | 0.18 |
| 滴定後 (mL) | 7.70 | 15.19 | 22.84 | 7.69 |

- 器具 A ~ C の名称を答えよ。
- $x$  の値を求めよ。
- 操作(III)の結果から、水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度 [mol/L] を求めよ。
- 操作(IV)で用いる指示薬にメチルオレンジを用いた場合、中和までに必要な滴下量はどのように変化するか。滴定曲線を作図した上で説明せよ。
- 操作(IV)における中和反応をの化学反応式で表せ。
- 操作(III)を(IV)の前に行う理由を、「水酸化ナトリウム」の語を用いて句読点を含めて 50 字程度で説明せよ。
- 操作(IV)の結果から、10 倍にうすめた食酢中の酢酸のモル濃度は何 mol/L か。
- 食酢中の酢酸の質量パーセント濃度 (%) を求めよ。

## 思考

**155 混合物の含有量** 塩化ナトリウム NaCl と水酸化ナトリウム NaOH の混合物 1.00 g を水に溶かして 100 mL とした。その水溶液 10.0 mL を 0.100 mol/L 塩酸で滴定したところ、18.5 mL 加えたところでちょうど中和した。次の各問いに答えよ。式量 NaOH=40.0

- 混合物を溶かした水溶液中の水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。
- この混合物中の塩化ナトリウムは何 g か。

## 思考

**156 逆滴定** 濃度未知の水酸化ナトリウム水溶液 25 mL を中和しようとして、0.10 mol/L 硫酸を 40 mL 加えたところ、中和点を大きく過ぎてしまった。そこで、0.10 mol/L 水酸化カリウム水溶液を 20 mL 加えると中和点に達した。もとの水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何 mol/L か。

思考

**157 空気中の二酸化炭素**  $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$  の水酸化バリウム水溶液 100.0 mL に  $0^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  の空気 10.0 L を通じると、① 空気中に含まれる二酸化炭素がすべて水酸化バリウムと反応して水に溶けにくい炭酸バリウムが生成して白濁した。生じた沈殿をろ過して分離した後、ろ液 10.0 mL を取って② 残った塩基を  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  の塩酸で滴定したところ 7.0 mL を要した。ただし、実験中に溶液の体積変化はなかったものとする。

- 下線部①・②の反応を、それぞれ化学反応式で表せ。
- $0^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  において、空気中に含まれる二酸化炭素の体積百分率(%)を求めよ。  
(広島大 改)

思考

**158 逆滴定によるアンモニアの定量** 下の各問いに答えよ。ただし、アンモニアの吸収による溶液の体積変化はないものとする。また、数値は有効数字2桁で答えよ。

[操作1]  $0.45 \text{ mol/L}$  の硫酸 200 mL にアンモニアを吸収させた。(i) アンモニアを吸収させた後の溶液は酸性を示した。

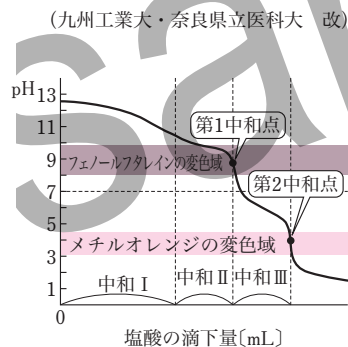
[操作2] 操作1で得られた溶液を、ホールピペットで 20.0 mL はかり取り、コニカルビーカーに入れ、指示薬を加えた。(ii) この溶液を、ビュレットに入れた  $0.20 \text{ mol/L}$  の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、中和に要した水酸化ナトリウム水溶液は 12.0 mL であった。

- 記述 (1) 操作1でアンモニアを蒸留水ではなく硫酸に吸収させる理由を答えよ。
- 下線部(ii)の中和反応を化学反応式で表せ。
  - 下線部(i)の溶液中のアンモニウムイオンのモル濃度  $[\text{mol/L}]$  はいくらか。
  - 硫酸に吸収されたアンモニアの体積は、 $0^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  で何 L か。
- 記述 (5) 「指示薬」としてフェノールフタレインではなくメチルオレンジを用いる理由を説明せよ。  
(九州工業大・奈良県立医科大 改)

思考

**159 二段階中和と混合物の定量** 図は、水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの混合物の水溶液に塩酸を加えていったときの滴定曲線を模式的に表したものである。

- この中和では、次の順に中和が起こる。各段階の中和反応を表す化学反応式を書け。  
中和I：水酸化ナトリウムと塩酸の中和  
中和II：炭酸ナトリウムの第1段階の中和  
中和III：炭酸ナトリウムの第2段階の中和
- 第1中和点、第2中和点における指示薬の色の変化を、それぞれ答えよ。
- 水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの混合物の水溶液を 2.00 mL 取り、水とフェノールフタレインを加え、 $0.10 \text{ mol/L}$  塩酸で滴定すると 6.00 mL を要した。さらに、メチルオレンジを加えて滴定を続けると 2.00 mL を要した。  
① 中和I～IIIに要した  $0.10 \text{ mol/L}$  塩酸の体積はそれぞれ何 mL か。  
② 混合物の水溶液中の水酸化ナトリウム、炭酸ナトリウムのモル濃度はそれぞれいくらか。  
(大阪大 改)



思考

**160 中和滴定による混合物の定量** 不純物として炭酸ナトリウム  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  を含む水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  の固体を水に溶かし 50 mL の溶液とした。この溶液から 10 mL ずつ 2 つ取り(溶液 A, B とする)、溶液 A を  $1.0 \text{ mol/L}$  の塩酸で滴定したところ、完全に中和するために 9.2 mL の塩酸を要した。また、溶液 B には、これ以上白色沈殿(炭酸バリウム  $\text{BaCO}_3$ )が生じなくなるまで塩化バリウム  $\text{BaCl}_2$  水溶液を加え、その沈殿を除いた後、 $1.0 \text{ mol/L}$  の塩酸で滴定したところ、中和するために 6.0 mL の塩酸を要した。(有効数字2桁)

- 溶液 B に  $\text{BaCl}_2$  水溶液を加えて白色沈殿が生じる反応を化学反応式で表せ。
- 白色沈殿が生じなくなるまで  $\text{BaCl}_2$  水溶液を加えた後の溶液 B 中の  $\text{NaOH}$  の物質量は何 mol か。
- 溶液 A 中の  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  の物質量は何 mol か。  
(立命館大)

思考

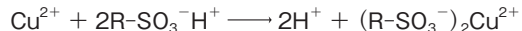
**161 揮発性の塩基の塩**  $\text{NH}_4\text{X}$  (X は元素記号) で表されるアンモニウム塩 4.35 g をある濃度の水酸化ナトリウム水溶液 40.0 mL に溶かした(水溶液 A)。水溶液 A を沸騰させてアンモニアを完全に追い出し、水を加えて 100 mL とした(水溶液 B)。水溶液 B 25.0 mL を中和するのに  $0.250 \text{ mol/L}$  の硫酸 15.0 mL が必要であった。また、はじめの水酸化ナトリウム水溶液 10.0 mL を中和するには同じ硫酸が 30.0 mL 必要であった。

- 水溶液 A を調製したときの反応をイオン反応式で書け。
- はじめの水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何  $\text{mol/L}$  か。
- X の原子量はいくらか。  
原子量  $\text{H}=1.0$ ,  $\text{N}=14$
- 下線部で発生したアンモニアを水に溶かして 600 mL にした。このアンモニア水の pH が 11 とすると、アンモニアの電離度はいくらか。ただし、このときの温度は  $25^\circ\text{C}$  であり、 $25^\circ\text{C}$  において、 $[\text{H}^+][\text{OH}^-]=1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$  である。  
(京都女子大 改)

思考

**162 陽イオン交換樹脂と中和滴定** 電解質の水溶液中の陽イオンを水素イオン  $\text{H}^+$  に変換する働きをもつ合成樹脂を陽イオン交換樹脂という。例えば、右図のように  $\text{NaCl}$  水溶液を通すと  $\text{Na}^+$  が  $\text{H}^+$  に交換され  $\text{HCl}$  (塩酸) が流出する。

濃度のわからない硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液(溶液 A とする)を正確に 10 mL とり、右図のように円筒形のガラス器具(コック付きカラム)に詰めた陽イオン交換樹脂  $\text{R-SO}_3^-\text{H}^+$  に通した。



さらに、純水を陽イオン交換樹脂に通した後、流出したすべての溶液を集め、さらに純水を加えてその容量を正確に 100 mL にした(溶液 B とする)。溶液 B を 10 mL とり、 $0.100 \text{ mol/L}$  水酸化ナトリウム水溶液で滴定すると、終点までに 12.2 mL を要した。イオン交換樹脂に通された陽イオンはすべて水素イオンに交換されたものとする。

- 下線部の中和反応を化学反応式で表せ。
- 流出した溶液 B の硫酸のモル濃度は何  $\text{mol/L}$  か。
- 溶液 A の銅(II)イオンの濃度は何  $\text{mol/L}$  か。
- 陽イオン交換樹脂のカラムに、次の化合物の  $0.100 \text{ mol/L}$  の水溶液を同じ体積だけ通したとき、流出液の pH の小さいものから順に並べよ。  
(a) 塩化カリウム (b) 塩化マグネシウム (c) 水酸化バリウム (d) 酢酸ナトリウム

