

## 課題8. 硬水 — 簡単な滴定

試薬：

| 試薬  | 状態 | 備考   | GHS危険有害性情報  |
|---|----|--|---|
| 試料水W  | 液体 | Ca <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、HC<br>O <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> を含む。<br>メスフラスコに入<br>っている。500 mL | H319;<br>P264, P280, P305+P351+P3<br>38, P337+P313  |
| 0.010 M HCl<br>標準溶液   | 液体 | 瓶に入っている。<br>100 mL   | No 1272/2008の分類(EC)で<br>は該当なし   |
| 1.0 M HCl溶液   | 液体 | 腐食性<br>瓶に入っている。<br>50 mL   | H290;<br>P234, P390   |
| メチルオレンジ溶液<br>(10 g L <sup>-1</sup> EtOH溶液)                      | 液体 | 可燃性<br>バイアル瓶に入っ<br>ている。10 mL   | H225, H301, H319;<br>P210, P233, P240, P241, P2<br>42, P264, P270, P301+P310,<br>P305+P351+P338, P405, P5<br>01                           |
| 0.010 M EDTA<br>標準溶液  | 液体 | 瓶に入っている。<br>200 mL   | H332, H373, H412;<br>P260, P271, P273, P304+P3<br>40+P312, P314, P501   |
| 1.0 M NaOH溶液  | 液体 | 腐食性<br>瓶に入っている。<br>50 mL   | H290;<br>P234, P390   |
| 緩衝溶液<br>(pH = 10,<br>c <sub>HB+</sub> + c <sub>B</sub> = 8.8 M) | 液体 | NH <sub>4</sub> ClとNH <sub>3</sub> を含<br>む。瓶に入ってい<br>る。50 mL   | H302, H314, H319, H335, H<br>410;<br>P261, P264, P270, P271, P2<br>73, P280, P303+P361+P35<br>3, P305+P351+P338, P310+<br>P312, P337+P313 |
| エリオクロム®ブラック<br>T (1 wt%、<br>NaClとの混合物)                          | 固体 | バイアル瓶に入っ<br>ている。10mL   | H319, H441;<br>P264, P273, P280, P305+P3<br>51+P338, P337+P313, P391  |
| ムレキシド (1 wt%、<br>NaClとの混合物)                                     | 固体 | バイアル瓶に入っ<br>ている。10 mL  | No 1272/2008の分類(EC)で<br>は該当なし   |

## 課題8. 硬水 — 簡単な滴定

## 器具・装置：

| 器具・装置              | 数  |
|--------------------|----|
| 50 mLビーカー          | 1  |
| pH試験紙              | 10 |
| 25 mLビュレット         | 1  |
| ビュレットホルダー付き実験スタンド  | 1  |
| ビュレットに合う大きさの漏斗     | 1  |
| 250 mL三角フラスコ       | 3  |
| 25.00 mLホールピペット    | 1  |
| 安全ピペッター            | 1  |
| プラスチック製ピペット        | 3  |
| ホットプレート            | 1  |
| 温度計                | 1  |
| スパチュラ              | 1  |
| H <sub>2</sub> O洗瓶 | 1  |

## はじめに：

スイスの飲料水は高い基準を満たし、当局によって定期的に分析されている。そのため、スイスの水道水はすべて飲用に適し、ペットボトル入りの水よりも環境に優しい。

スイスの飲料水の大部分は、アルプスの川や湖から採取されるため、様々な溶解塩が含まれている。その中でも、Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>は最も多く含まれている陽イオンである。これらは人体には無害だが、水酸化物や炭酸塩として沈殿しインフラに影響を与えることがある。そのため、水道水の全硬度（Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>のモル濃度の合計）と炭酸塩硬度（HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>と釣り合うだけの量のCa<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>の濃度）を測定することは重要である。

滴定による水の硬度分析は世界で最初の錯滴定の一つであり、化学者でありスイス連邦工科大学（ETH）の元教授でもあるスイス人のシュヴァルツェンバッハ（Prof. Schwarzenbach; 1904–1978）により確立された。この課題では、チューリッヒの水道水を模した試料水を分析する。

## 課題8. 硬水 — 簡単な滴定

## 手順

## I. 炭酸塩硬度の測定：

1. 500 mLの「チューリッヒの水道水」(Wと表示)が与えられる。空気中のCO<sub>2</sub>の吸収を避けるため、容器は密閉しておき、この分析はなるべく素早く行うこと。
2. 50 mLビーカーにWを入れ、pHをpH試験紙で確認する。
3. 漏斗と50 mLビーカーを使い、25 mLビュレットを0.010 M HCl標準溶液で満たす。
4. 250 mL三角フラスコにW 50.00 mLをホールピペットで、メチルオレンジ数滴をプラスチック製ピペットで、それぞれ加える。
5. 溶液を常に攪拌しながら滴定する。当量点で溶液の色が黄色からオレンジ色に変わる。滴下量  $V_1$  を記録する。
6. 必要に応じて滴定を繰り返す(手順3-5)。

| 番号             | $V_1$ / mL |
|----------------|------------|
| 1              |            |
| 2              |            |
| 3              |            |
|                |            |
|                |            |
| 報告値 $V_1$ / mL |            |

## II. カルシウムとマグネシウムの総量の測定：

1. 漏斗と50 mLビーカーを使い、25 mLビュレットを0.010 M EDTA標準溶液で満たす。
2. 250 mL三角フラスコに、W 50.00 mLをホールピペットで、1.0 M HCl 溶液3.0 mLをプラスチック製ピペットで、それぞれ加える。
3. 90 °Cに設定したホットプレート上で溶液を10分間加熱する。
4. 溶液を室温まで冷却する。プラスチック製ピペットを用いて、1.0 M NaOH溶液約3.0 mLで溶液を中和する。最後の数滴は、pH試験紙で溶液のpHを確認しながらゆっくり加え、pH = 7になったことを確認する。
5. pH緩衝溶液1.0 mLをプラスチック製ピペットで加え、エリオクロム®ブラックTをスパチュラで少量加える。

## 課題8. 硬水 — 簡単な滴定

6. 溶液を常に攪拌しながら滴定を行う。溶液の色が赤色から青色へ変化する。赤色が完全に消えた時点で当量点に達する。滴定量  $V_2$  を記録する。
7. 必要に応じて滴定を繰り返す（手順1-6）。

| 番号                    | $V_2 / \text{mL}$ |
|-----------------------|-------------------|
| 1                     |                   |
| 2                     |                   |
| 3                     |                   |
|                       |                   |
|                       |                   |
| 報告値 $V_2 / \text{mL}$ |                   |

### III. カルシウム含有量の測定

1. 漏斗と50 mLビーカーを使い、25 mLビュレットを0.010 M EDTA標準溶液で満たす。
2. 250 mL三角フラスコに、**W** 50.00 mLをホールピペットで、1.0 M NaOH溶液5.0 mLをプラスチック製ピペットで、それぞれ加える。マグネシウム塩の沈殿を防ぐため、次の操作を素早く行う。
3. pH試験紙で溶液のpHを確認する。pHが12未満の場合は、1.0 M NaOH溶液をpHが12以上になるまで滴下する。
4. スパチュラでムレキシドを少量加える。
5. 溶液を常に攪拌しながら滴定を行う。溶液の色が赤色から紫色に変化する。赤色が完全に消えた時点で当量点に達する。滴下量  $V_3$  を記録する。
6. 必要に応じて滴定（手順1-5）を繰り返す。

| 番号                    | $V_3 / \text{mL}$ |
|-----------------------|-------------------|
| 1                     |                   |
| 2                     |                   |
| 3                     |                   |
|                       |                   |
|                       |                   |
| 報告値 $V_3 / \text{mL}$ |                   |

## 課題8. 硬水 — 簡単な滴定

課題：

8.1 パートIにおける滴定について、釣り合いのとれた化学反応式を書け。炭酸 ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) の  $\text{p}K_{\text{a}1}$  と  $\text{p}K_{\text{a}2}$  の値はそれぞれ3.5、10.5である。

8.2 Wの炭酸塩硬度をmM単位で計算せよ。

8.3 Wの全硬度をmM単位で計算せよ。

8.4 Wに含まれる  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Mg}^{2+}$  の比率を計算せよ。

8.5 どうすれば全硬度は小さくなるか。正しい答えをすべて選べ。

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を加える
- $\text{NaCl}$ で再生したイオン交換樹脂に通す
- 磁場を印加する
- $\text{HCl}$ を加える
- 沸騰させる