

●ヨウ素滴定



● ヨウ素滴定

iodometric titration

ヨウ素滴定には、例えば、次の枠内に示すように、**量が未知の還元剤を定量**するために、濃度が既知のヨウ素 I_2 溶液 (I_2-KI 溶液)、および、チオ硫酸ナトリウム $Na_2S_2O_3$ 水溶液を用いる滴定があります。

還元剤の定量



さらに、ヨウ素滴定には、次の枠内に示すように、**量が未知の酸化剤を定量**するために、酸化剤とヨウ化カリウム KI の反応によって遊離した I_2 を、濃度が既知の $Na_2S_2O_3$ 水溶液で滴定する例もあります。

酸化剤の定量



終点の判定 I_2 は、指示薬としてデンプン水溶液を加えておくと、かなり希薄な溶液においても明瞭な青紫色を示す一方で、酸化還元反応によってヨウ化物イオン I^- に変化すると無色になるため、この色の変化（青紫色 $\rightarrow$ 無色）を利用して終点の判定が行われます。

終点の判定 I_2 は、指示薬としてデンプン水溶液を加えておくと、かなり希薄な溶液においても明瞭な青紫色を示す一方で、酸化還元反応によってヨウ化物イオン I^- に変化すると無色になるため、この色の変化（青紫色→無色）を利用して終点の判定が行われます。

【ヨウ素滴定】

— 酸化剤の定量 —

さらに、ヨウ素滴定には、次の枠内に示すように、**量が未知の酸化剤を定量**
するために、酸化剤とヨウ化カリウム KI の反応によって遊離した I_2 を、濃度
が既知の $Na_2S_2O_3$ 水溶液で滴定する例もあります。

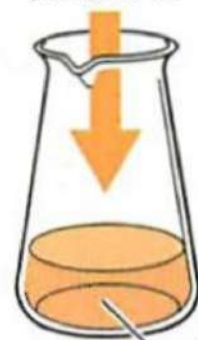
酸化剤の定量

①十分量のKI
を含む水溶液
を準備する。



②定量した
い酸化剤を
加え、反応
させる。

量が未知の
酸化剤



③デンプンを指示
薬に用い、生成し
た I_2 を $Na_2S_2O_3$ 標
準溶液で滴定する。



すると、 I_2 が生成する。

まとめと

② 酸化力のある気体（例； O_3 ）を通す。



O_3 を I_2 に置き換えた！

① 十分量の KI_{aq} を準備する。

③ 酸化剤である O_3 と同モル数の I_2 が生成した。

④ 生成した I_2 を $Na_2S_2O_3$ で滴定する。

② O_3 を通す。

↓ ① 十分量の KI

③ I_2 が生成する。

④ $Na_2S_2O_3$ で滴定する。

【ヨウ素滴定】

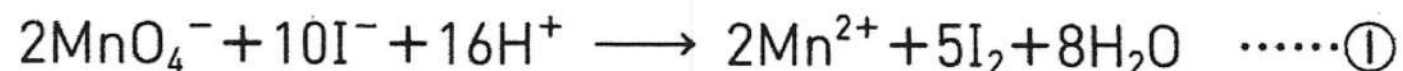
溶液 A 中に含まれる微量の過マンガン酸イオンのモル濃度を、次のような実験により決定した。

〔操作 1〕 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

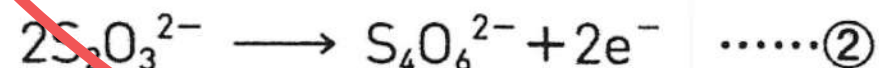
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液に室温でデンプン溶液を加えると、溶液の色は青紫色に変化した。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液を $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、溶液の青紫色が消えるまでに 10.4 mL を要した。

操作 1 において、溶液が淡黄色に変化したのは、次のような酸化還元反応が速やかに進行し、ヨウ素が生成したためである。



また、チオ硫酸イオンはヨウ素に対して、以下に示されるように還元剤として働く。



問 溶液 A 10.0 mL 中の過マンガン酸イオンのモル数を有効数字 2 桁で求めよ。

【ヨウ素滴定】

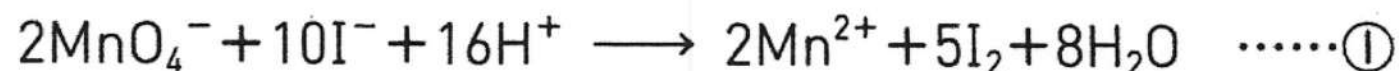
溶液 A 中に含まれる微量の過マンガン酸イオンのモル濃度を、次のような実験により決定した。

〔操作 1〕 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

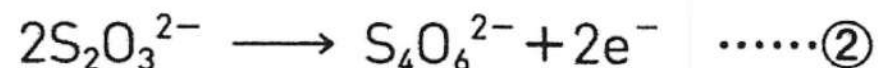
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液に室温でデンプン溶液を加えると、溶液の色は青紫色に変化した。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液を $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、溶液の青紫色が消えるまでに 10.4 mL を要した。

操作 1 において、溶液が淡黄色に変化したのは、次のような酸化還元反応が速やかに進行し、ヨウ素が生成したためである。



また、チオ硫酸イオンはヨウ素に対して、以下に示されるように還元剤として働く。



問 溶液 A 10.0 mL 中の過マンガン酸イオンのモル数を有効数字 2 桁で求めよ。

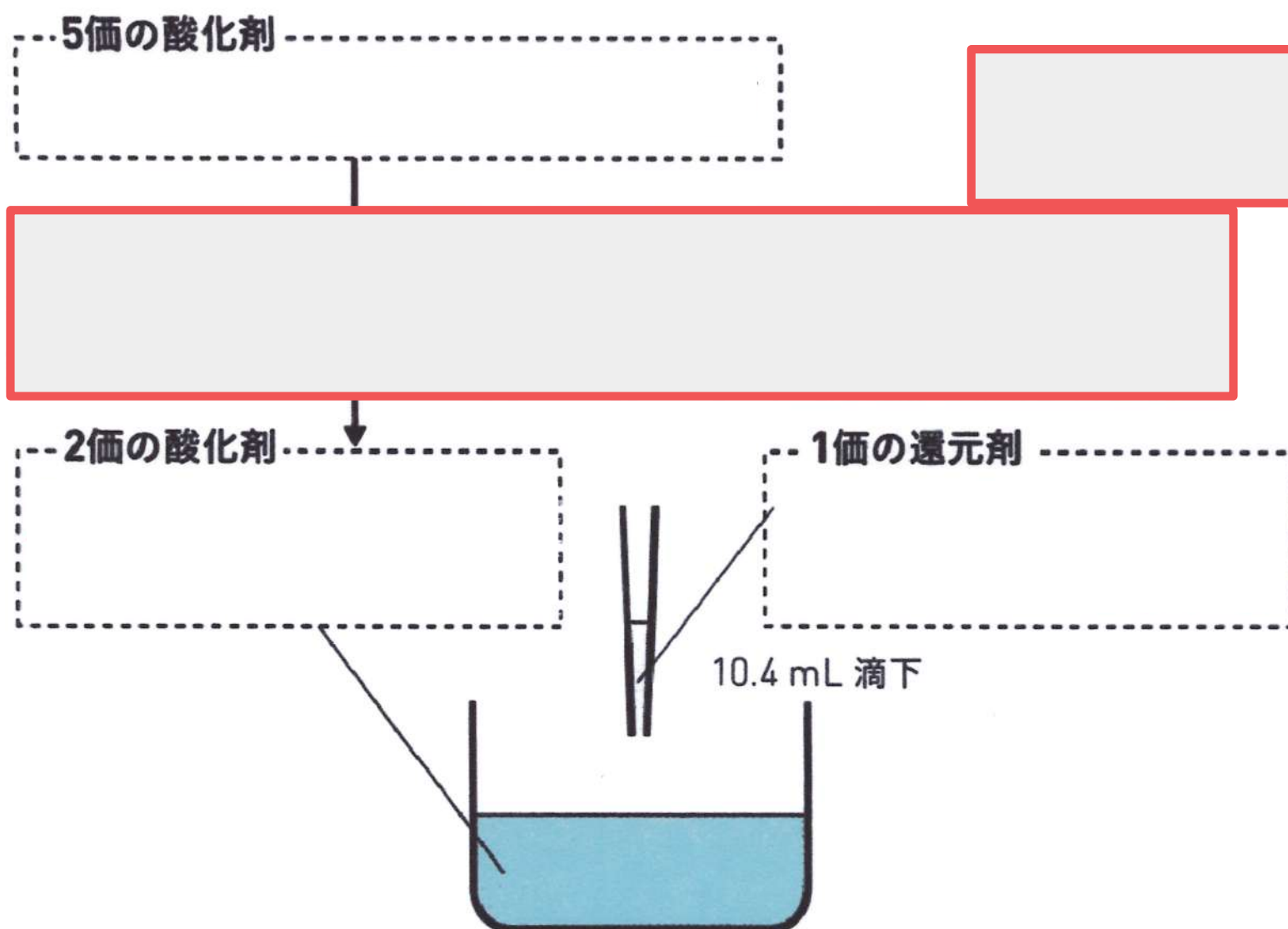
【操作 1】 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

【ヨウ素滴定】

step 1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

まず操作 1 で、過マンガン酸イオンを①式にしたがってヨウ素に置き換える。
次に操作 3 で、ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。



(操作 1) 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

【ヨウ素滴定】

step 1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

まず操作 1 で、過マンガン酸イオンを①式にしたがってヨウ素に置き換える。
次に操作 3 で、ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。

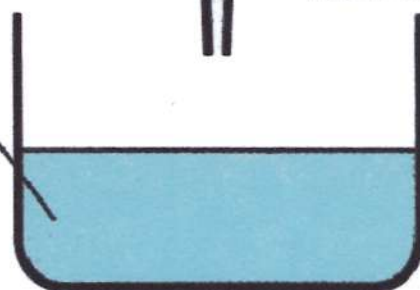
5価の酸化剤

$x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)

2価の酸化剤

1価の還元剤

10.4 mL 滴下



(操作 1) 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

【ヨウ素滴定】

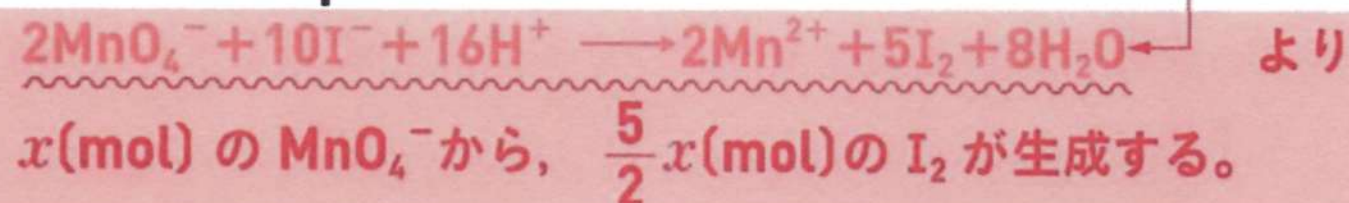
step 1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

まず操作 1 で、過マンガン酸イオンを①式にしたがってヨウ素に置き換える。
次に操作 3 で、ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。

5価の酸化剤

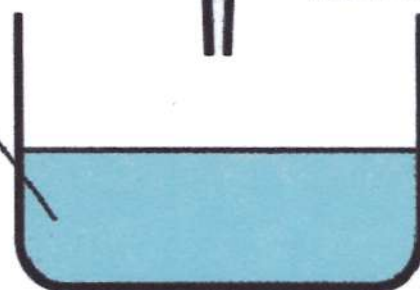
$x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)



2価の酸化剤

1価の還元剤

10.4 mL 滴下



【操作 1】 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

【ヨウ素滴定】

step 1 情報の整理

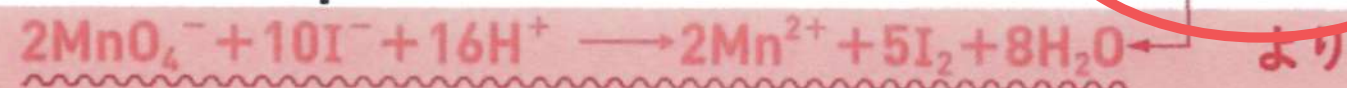
『滴定の内容を把握しよう』

まず操作 1 で、過マンガン酸イオンを①式にしたがってヨウ素に置き換える。
次に操作 3 で、ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。

---5価の酸化剤---

$x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)

MnO_4^- を I_2 に
置き換えた!

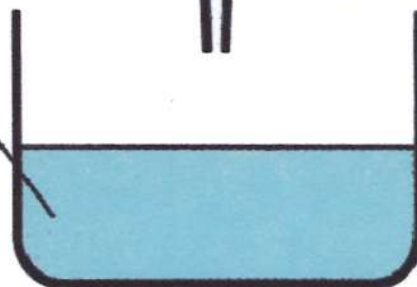


$x(\text{mol})$ の MnO_4^- から、 $\frac{5}{2}x(\text{mol})$ の I_2 が生成する。

---2価の酸化剤---

---1価の還元剤---

10.4 mL 滴下



【操作 1】 約 0.5 g のヨウ化カリウムを約 10 mL の希硫酸に溶解し、これに正確にはかり取った溶液 A を 10.0 mL 加え、ゆっくりと振り混ぜると溶液は淡黄色に変化した。

【ヨウ素滴定】

step 1 情報の整理

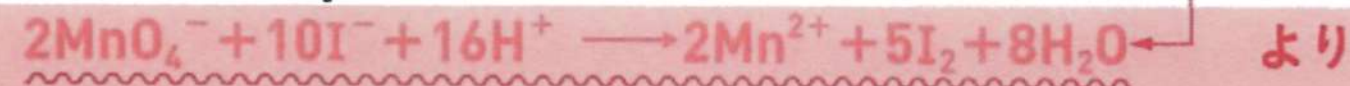
『滴定の内容を把握しよう』

まず操作 1 で、過マンガン酸イオンを①式にしたがってヨウ素に置き換える。
次に操作 3 で、ヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。

5価の酸化剤

$x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)

MnO_4^- を I_2 に
置き換えた!



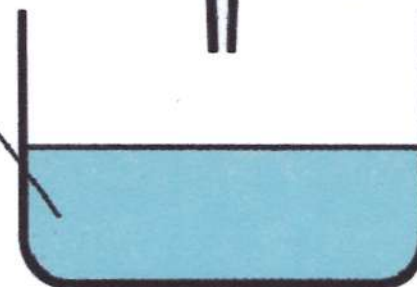
$x(\text{mol})$ の MnO_4^- から、 $\frac{5}{2}x(\text{mol})$ の I_2 が生成する。

2価の酸化剤

$\frac{5}{2}x(\text{mol}) \text{ I}_2$ (+デンプン)

1価の還元剤

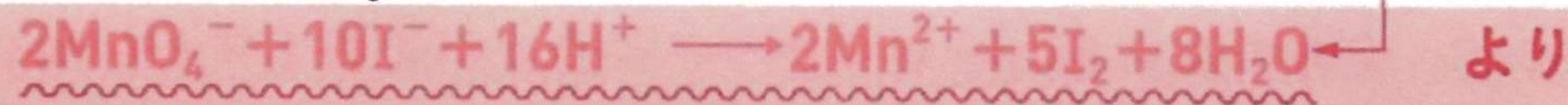
10.4 mL 滴下



〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液を $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、溶液の青紫色が消えるまでに 10.4 mL を要した。

--- 5価の酸化剤 ---
 $x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)

MnO_4^- を I_2 に
置き換えた!

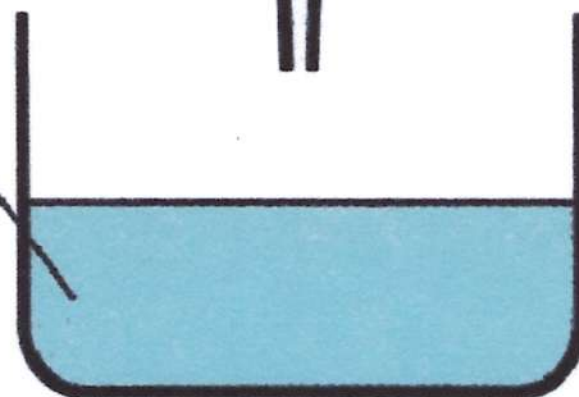


$x(\text{mol})$ の MnO_4^- から、 $\frac{5}{2}x(\text{mol})$ の I_2 が生成する。

--- 2価の酸化剤 ---
 $\frac{5}{2}x(\text{mol}) \text{ I}_2$ (+デンプン)

--- 1価の還元剤 ---

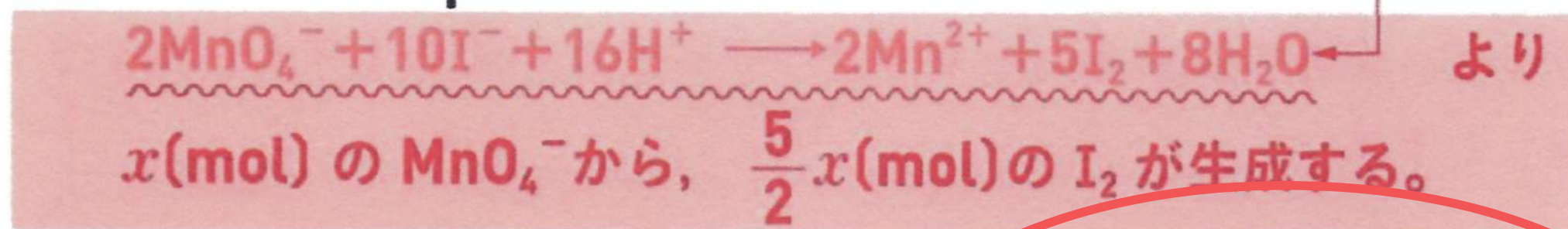
10.4 mL 滴下



〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液を $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、溶液の青紫色が消えるまでに 10.4 mL を要した。

--- 5価の酸化剤 ---
 $x(\text{mol}) \text{ MnO}_4^-$ (溶液 A 10.0 mL 中)

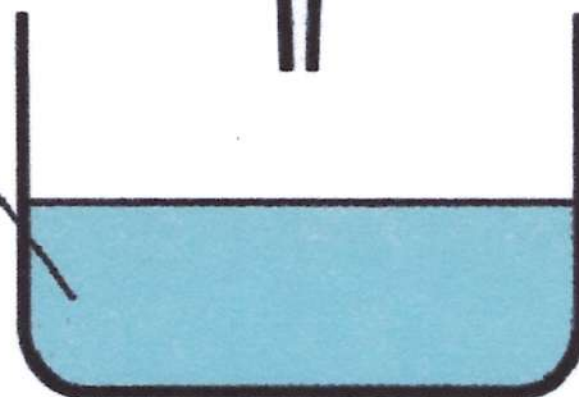
MnO_4^- を I_2 に
置き換えた!

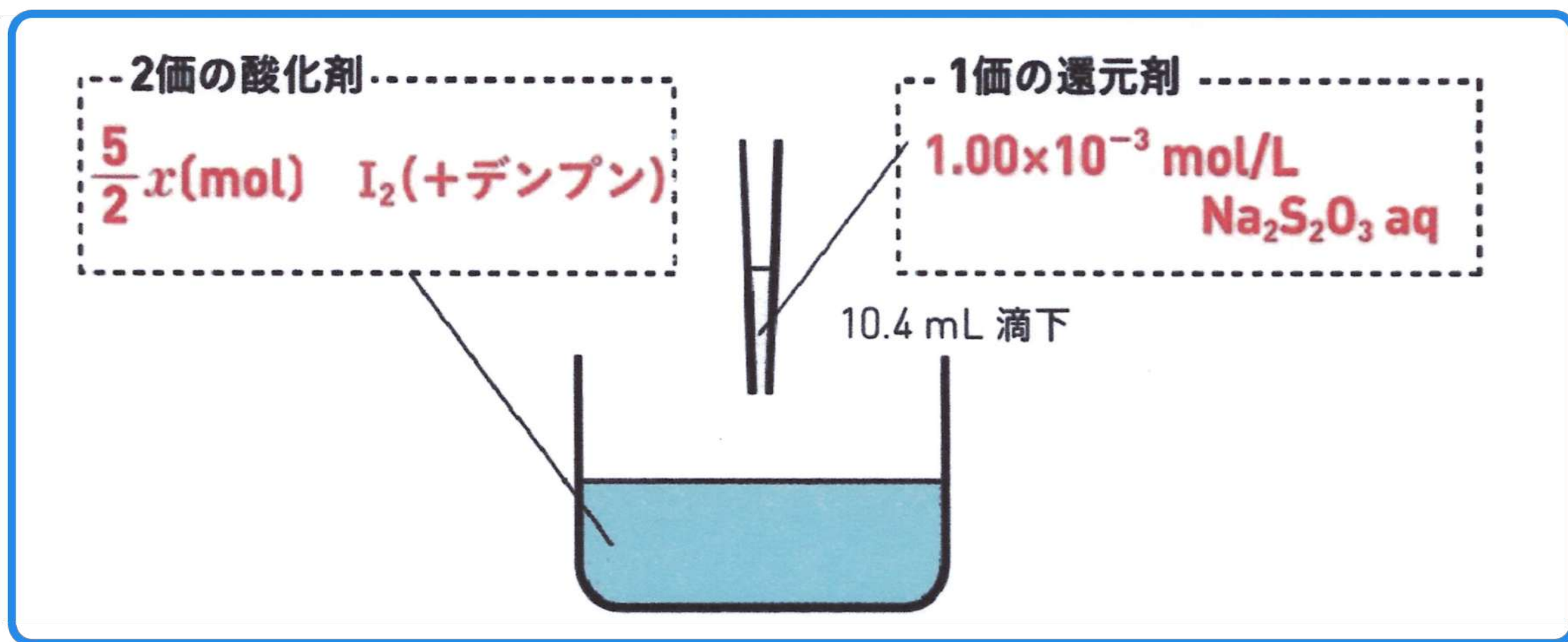


--- 2価の酸化剤 ---
 $\frac{5}{2}x(\text{mol}) \text{ I}_2$ (+デンプン)

--- 1価の還元剤 ---
 $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ aq}$

10.4 mL 滴下



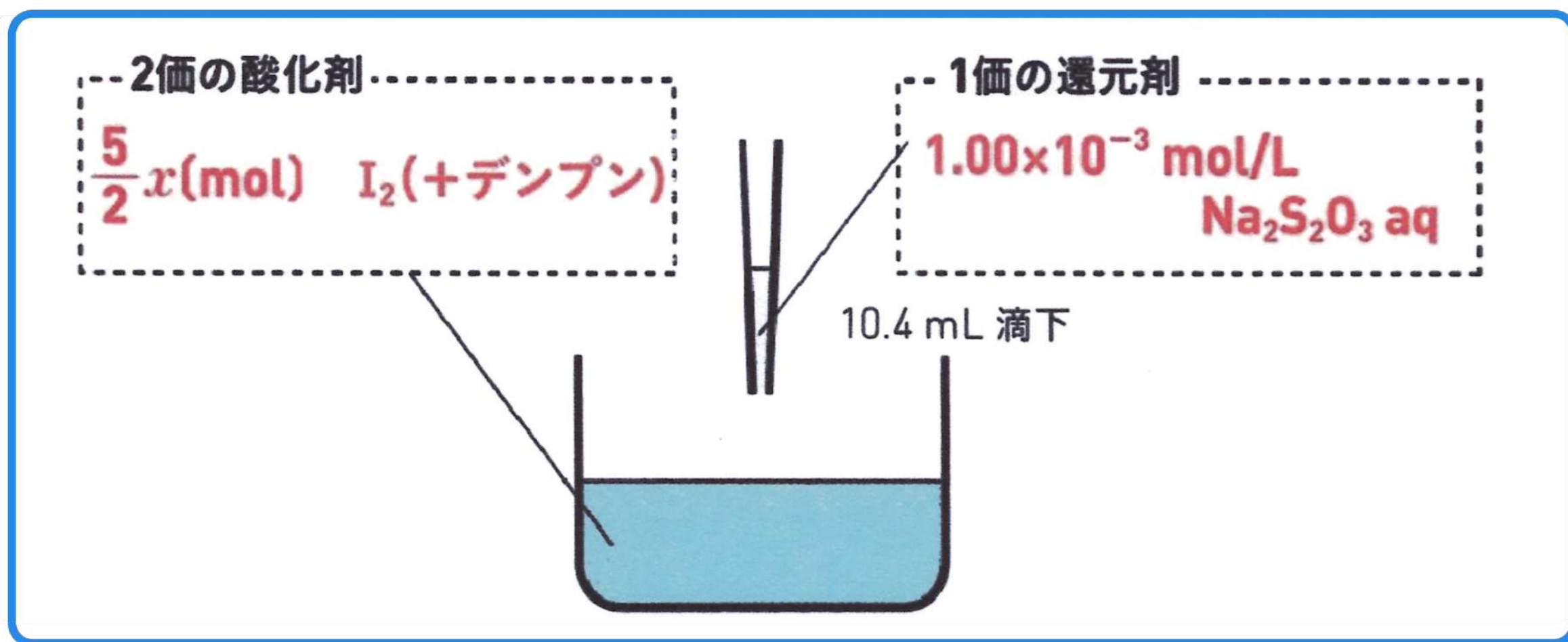


ただし、それぞれの水溶液中での反応と価数は以下の通りである。

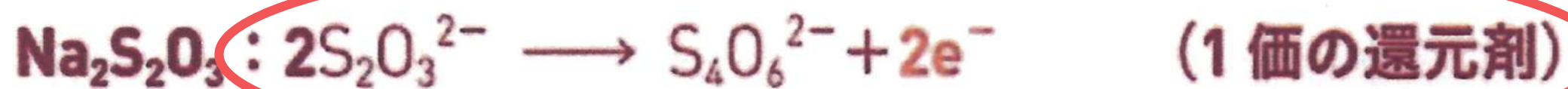
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:

I_2 :

【注】 上述のチオ硫酸ナトリウムは、 2 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ が 2 mol の電子 (1 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ あたり 1 mol の電子) を放出するので、**1 価の還元剤として働く。**

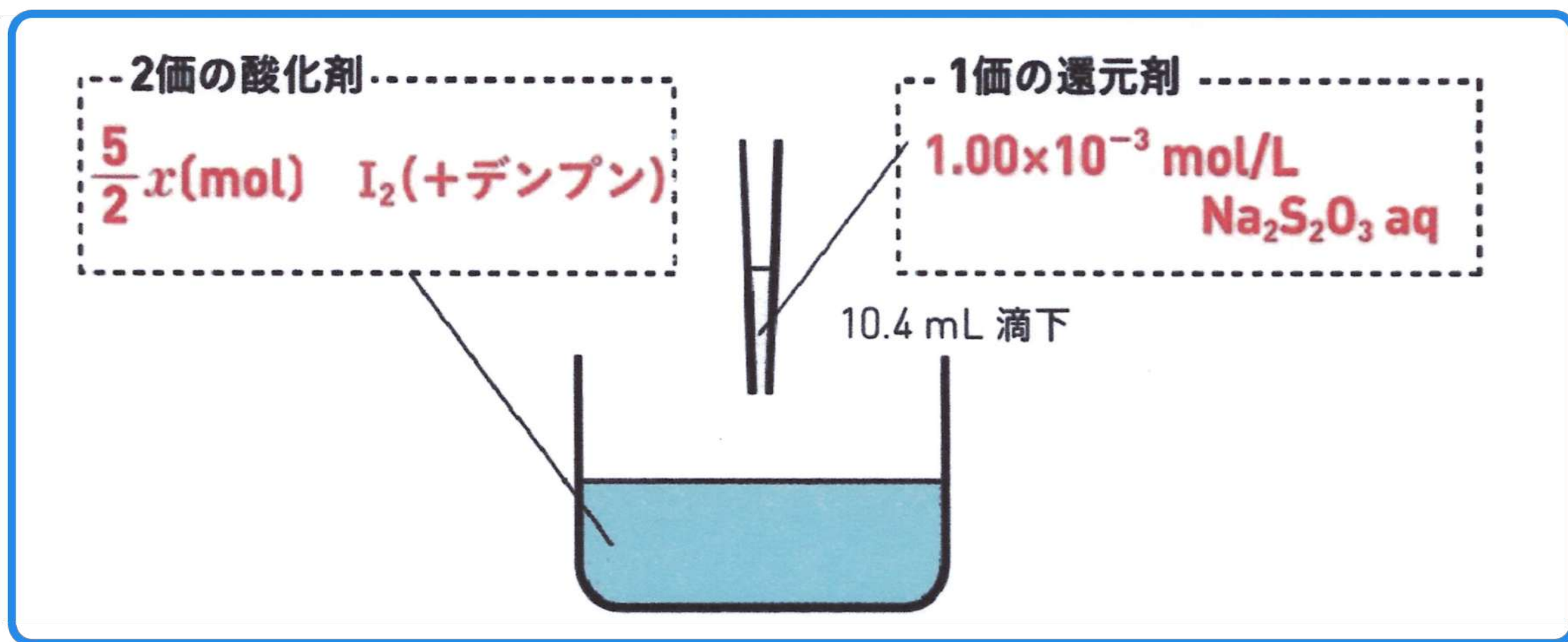


ただし、それぞれの水溶液中での反応と価数は以下の通りである。

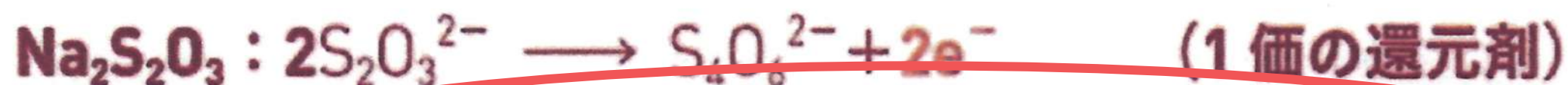


I_2 :

【注】 上述のチオ硫酸ナトリウムは、2 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ が 2 mol の電子 (1 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ あたり 1 mol の電子) を放出するので、**1 価の還元剤として働く。**



ただし、それぞれの水溶液中での反応と価数は以下の通りである。



【注】 上述のチオ硫酸ナトリウムは、2 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ が 2 mol の電子 (1 mol の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ あたり 1 mol の電子) を放出するので、**1 価の還元剤として働く。**

『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow$

『還元剤の物質量(mol)は?』

還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 1 価) $\Rightarrow$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より, $x = 2.08 \times 10^{-6} (\text{mol})$ が求められる。

解答 $2.1 \times 10^{-6} \text{ mol}$

『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow \frac{5}{2}x(\text{mol})$

『還元剤の物質量(mol)は?』

還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 1 価) $\Rightarrow$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より, $x=2.08 \times 10^{-6}(\text{mol})$ が求められる。

解答 $2.1 \times 10^{-6} \text{ mol}$

『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow \frac{5}{2}x(\text{mol})$

『還元剤の物質量(mol)は?』

還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 1 価) $\Rightarrow 1.00 \times 10^{-3} \times \frac{10.4}{1000} = 1.04 \times 10^{-5}(\text{mol})$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より, $x = 2.08 \times 10^{-6}(\text{mol})$ が求められる。

解答 $2.1 \times 10^{-6} \text{ mol}$

『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow \frac{5}{2}x(\text{mol})$

『還元剤の物質量(mol)は?』

還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 1 価) $\Rightarrow 1.00 \times 10^{-3} \times \frac{10.4}{1000} = 1.04 \times 10^{-5}(\text{mol})$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

$$2(\text{価}) \times \frac{5}{2}x(\text{mol}) = 1(\text{価}) \times 1.04 \times 10^{-5}(\text{mol})$$

より, $x = 2.08 \times 10^{-6}(\text{mol})$ が求められる。

解答 $2.1 \times 10^{-6} \text{ mol}$

『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow \frac{5}{2}x(\text{mol})$

『還元剤の物質量(mol)は?』

還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: 1 価) $\Rightarrow 1.00 \times 10^{-3} \times \frac{10.4}{1000} = 1.04 \times 10^{-5}(\text{mol})$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

$$2(\text{価}) \times \frac{5}{2}x(\text{mol}) = 1(\text{価}) \times 1.04 \times 10^{-5}(\text{mol})$$

より, $x = 2.08 \times 10^{-6}(\text{mol})$ が求められる。

解答 $2.1 \times 10^{-6} \text{ mol}$

●例2:ヨウ素滴定による酸化剤の定量

問題

濃度が不明 (x (mol/L) とおく) の過酸化水素 H_2O_2 水 V (mL) に, 硫酸酸性条件下で, 十分な量のヨウ化カリウム KI を加えた。反応によって生成したヨウ素 I_2 を y (mol/L) のチオ硫酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ, 終点までに $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液 V' (mL) が必要であった。 x , V , y , V' を含む, それらの関係式を示せ。

【前半の解釈】 過酸化水素 H_2O_2 をヨウ素 I_2 に置き換える。

- ① 濃度が不明 (x (mol/L) とおく) の H_2O_2 水を, ホールピペットを用いて, コニカルビーカーに V (mL) 量り取る。
- ② ビーカー内の H_2O_2 水に希硫酸を加え, 水溶液を酸性にする。
- ③ ビーカー内の水溶液に, 十分な量 (H_2O_2 の量に対して過剰な量) のヨウ化カリウム KI を加える。すると, H_2O_2 とヨウ化物イオン I^- の反応 ($\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{I}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$) が起こって I_2 が生成し, 水溶液が褐色になる。反応が完了すると H_2O_2 は消失し, 消失した H_2O_2 と同じ物質量の I_2 が生成する。

すなわち, ここまでの操作で, H_2O_2 という酸化剤を同物質量の I_2 という酸化剤に置き換えたことになります。

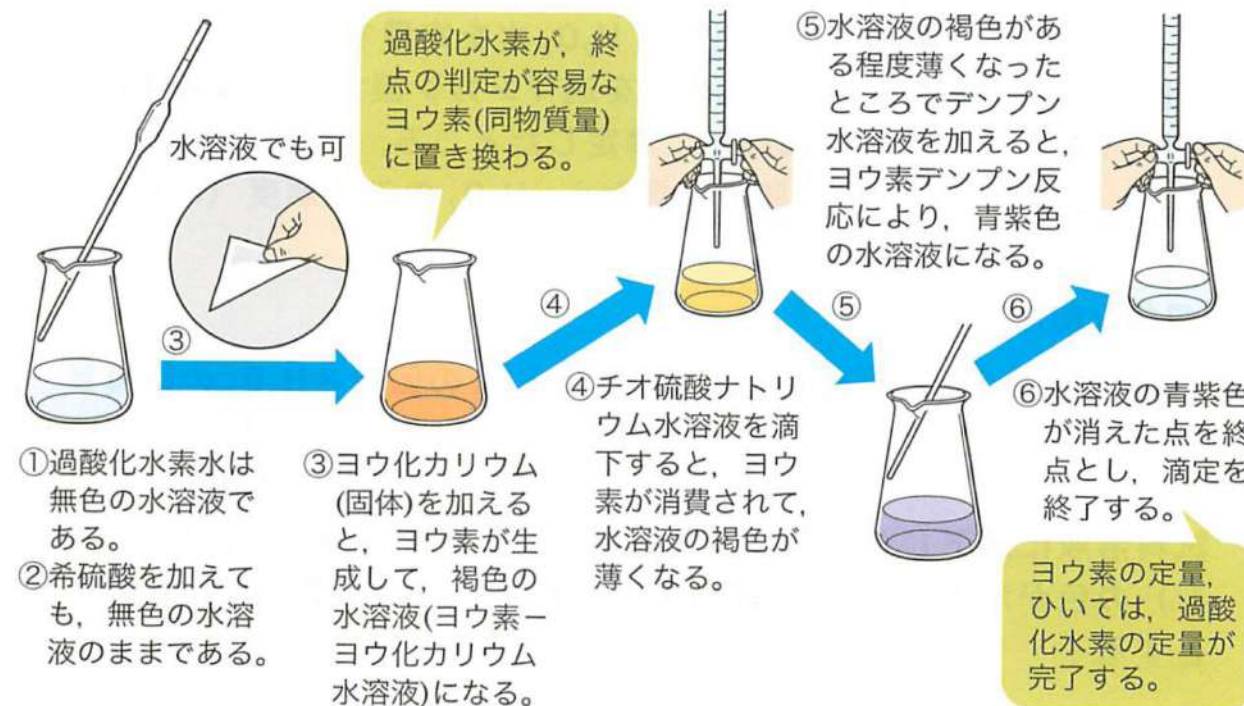
【後半の解釈】 生成した I_2 を $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定する。

- ④ コニカルビーカー内の水溶液に, 濃度既知 (y (mol/L)) の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液を加える。すると, I_2 とチオ硫酸イオン $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ の反応 ($\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$) が起こって I_2 が減少し, 水溶液の褐色が薄くなる。
- ⑤ 水溶液の褐色がある程度薄くなったところで, 指示薬として, デンプン水溶液を加える。すると, ヨウ素デンプン反応によって, 水溶液が青紫色になる。
- ⑥ I_2 がすべて反応すると, ヨウ素デンプン反応による呈色はなくなる。よって, V' (mL) の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液を加えたところで水溶液の青紫色が消えたとすれば, その点をこの滴定の終点とする。

すなわち, ここまでの操作で, I_2 の定量, ひいては, H_2O_2 の定量ができたことになります。

【操作の流れのまとめ】

次の図は、操作の流れをまとめたものです。



【量的な関係】

$$a \times \frac{cV}{1000} = b \times \frac{c'V'}{1000} \text{ という関係式を用いると、} \text{I}_2 \text{ (酸化剤) と}$$

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (還元剤) の量的な関係は次の通りです。この x , V , y , V' を含む関係式から、結果的に、 H_2O_2 水の濃度 (x [mol/L]) が求まります。

I_2 は、その 1 mol が 2 mol の電子を受け取る ($\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$) ので、2 価の酸化剤である。

H_2O_2 の物質質量であり、同時に、 I_2 の物質質量でもある。

ヨウ素デンプン反応の青紫色が消えた点を終点とする。

$$2 \times x \times \frac{V}{1000} = 1 \times y \times \frac{V'}{1000}$$

$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ はその 2 (1) mol が 2 (1) mol の電子を放出する ($2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e}^-$) ので、1 価の還元剤である。

【ヨウ素滴定②】

— 還元剤の定量 —

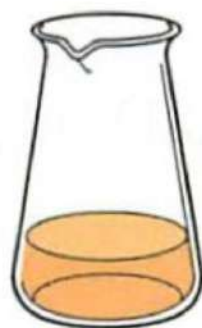
●ヨウ素滴定

iodometric titration

ヨウ素滴定には、例えば、次の枠内に示すように、**量が未知の還元剤を定量**するために、濃度が既知のヨウ素 I_2 溶液 (I_2 -KI 溶液)、および、チオ硫酸ナトリウム $Na_2S_2O_3$ 水溶液を用いる滴定があります。

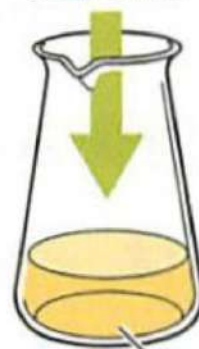
還元剤の定量

①濃度が既知の I_2 溶液を一定体積だけ量り取り、一定量の I_2 を準備する。



②定量した還元剤を加え、反応させる。

量が未知の還元剤



すると、 I_2 の一部が残存する。

③デンプンを指示薬として、残存している I_2 を $Na_2S_2O_3$ 標準溶液で滴定する。

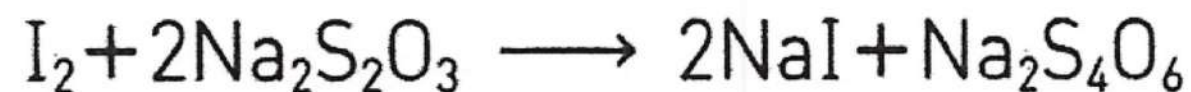


【ヨウ素滴定②】

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。

I_2 と $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は次の反応式にしたがって反応するとして、以下の問いに答えよ。



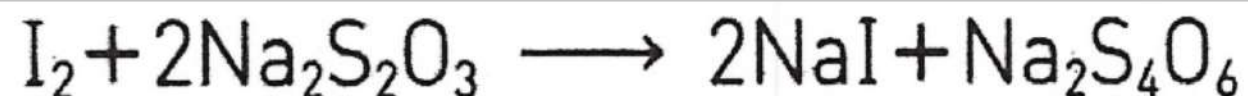
問 排ガス 10 L に含まれていた二酸化硫黄は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。

【ヨウ素滴定②】

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。

I_2 と $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は次の反応式にしたがって反応するとして、以下の問いに答えよ。



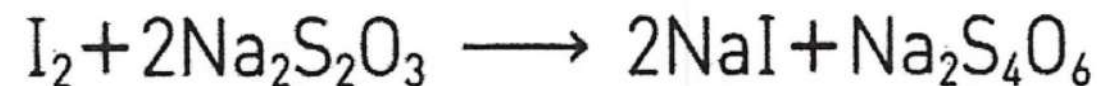
問 排ガス 10 L に含まれていた二酸化硫黄は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。

【ヨウ素滴定②】

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。

I_2 と $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は次の反応式にしたがって反応するとして、以下の問いに答えよ。



問 排ガス 10 L に含まれていた二酸化硫黄は何 mol か。有効数字 2 桁で答えよ。

〈前半の操作〉

〈後半の滴定〉

二酸化硫黄

チオ硫酸ナトリウム

ヨウ素

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



【ヨウ素滴定②】

step1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

〈前半の操作〉

二酸化硫黄(ここでは 2 価の還元剤)

ヨウ素(2 価の酸化剤)

〈後半の滴定〉

チオ硫酸ナトリウム(ここでは 1 価の還元剤)

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



【ヨウ素滴定②】

step1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

〈前半の操作〉

二酸化硫黄(ここでは 2 価の還元剤) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

ヨウ素(2 価の酸化剤)

〈後半の滴定〉

チオ硫酸ナトリウム(ここでは 1 価の還元剤)

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



【ヨウ素滴定②】

step1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

〈前半の操作〉

二酸化硫黄(ここでは 2 価の還元剤) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

ヨウ素(2 価の酸化剤) $\text{I}_2 + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{I}^-$

〈後半の滴定〉

チオ硫酸ナトリウム(ここでは 1 価の還元剤)

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



【ヨウ素滴定②】

step 1 情報の整理

『滴定の内容を把握しよう』

〈前半の操作〉

二酸化硫黄(ここでは 2 価の還元剤) $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

ヨウ素(2 価の酸化剤) $\text{I}_2 + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{I}^-$

〈後半の滴定〉

チオ硫酸ナトリウム(ここでは 1 価の還元剤) $2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \longrightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e}^-$

排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

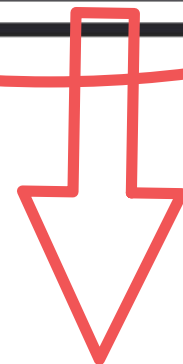
〈前半の操作〉

〈後半の滴定〉

二酸化硫黄

チオ硫酸ナトリウム

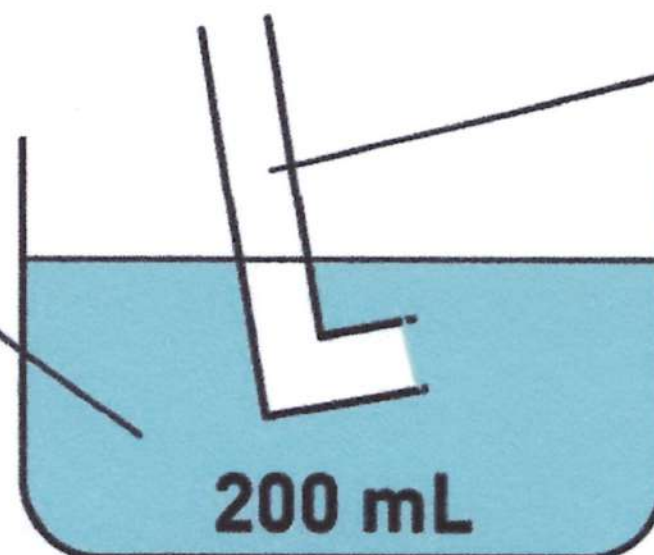
ヨウ素



〈前半の操作〉

-- 2 価の酸化剤 --

-- 2 価の還元剤 --



排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

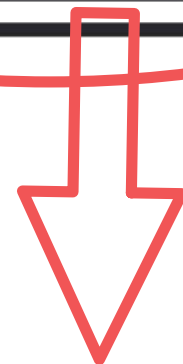
〈前半の操作〉

〈後半の滴定〉

二酸化硫黄

チオ硫酸ナトリウム

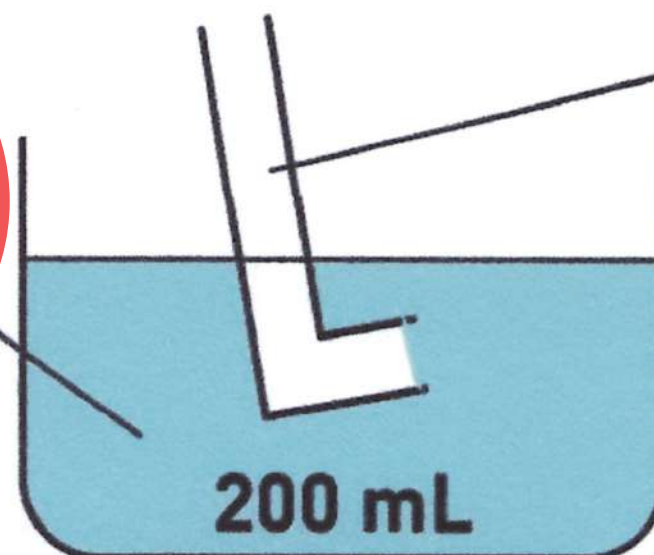
ヨウ素



〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2

2 価の還元剤



排ガス中に含まれる二酸化硫黄の濃度を測定するために、まず水蒸気を除去した排ガス 10 L を 0.10 mol/L のヨウ素溶液 200 mL に通すことにより、すべての二酸化硫黄を硫酸まで完全に酸化し、吸収させた。

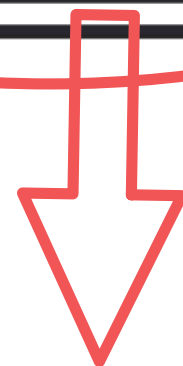
〈前半の操作〉

〈後半の滴定〉

二酸化硫黄

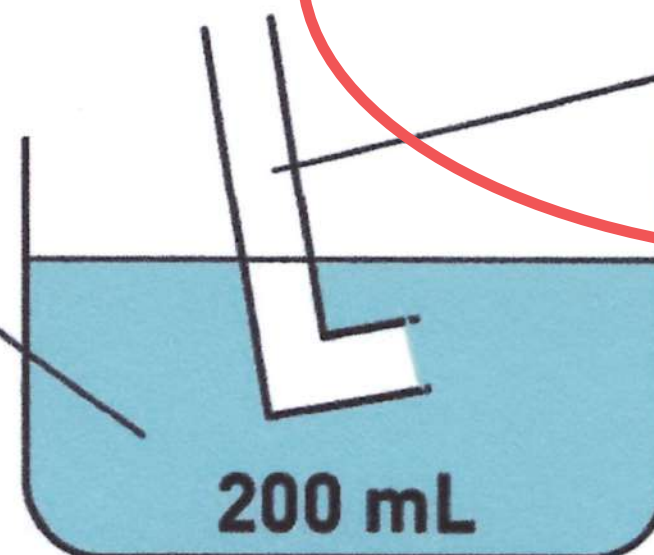
チオ硫酸ナトリウム

ヨウ素



〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

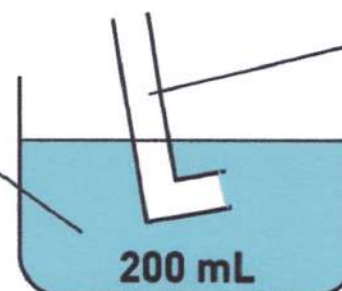
2 価の還元剤
 $x(\text{mol})SO_2$

次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



前半の操作

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



200 mL

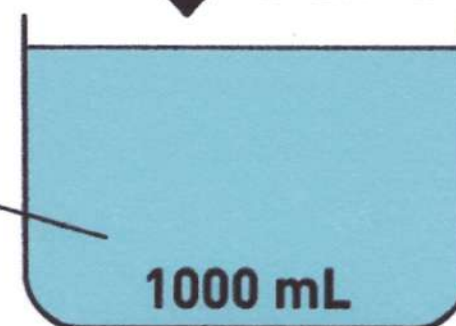
排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

2 価の還元剤
 $x(\text{mol})\text{SO}_2$

水を加えて正確に 1 L とした。

後半の滴定

2 価の酸化剤



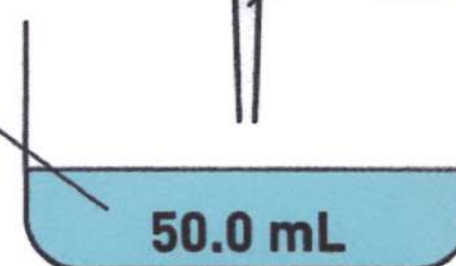
1000 mL

50.0 mL をとり滴定した。

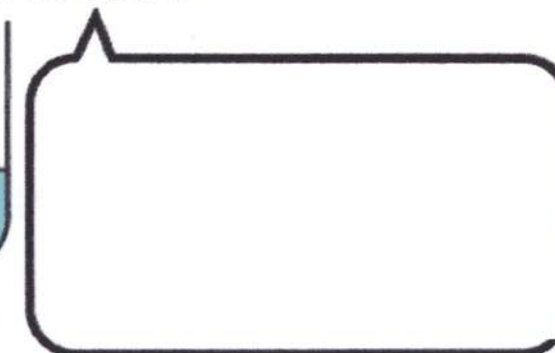
1 価の還元剤

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤



50.0 mL

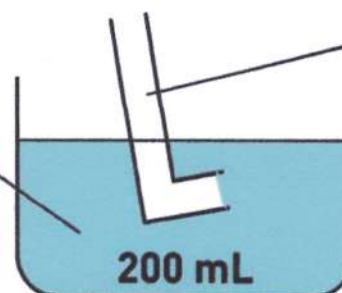


次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



前半の操作

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



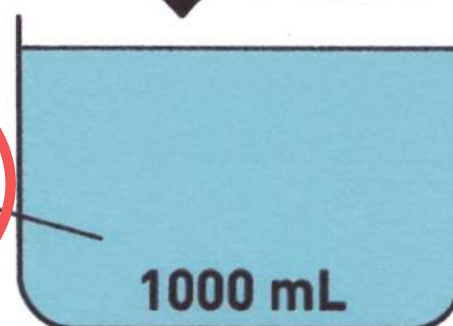
排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

2 価の還元剤
 $x(\text{mol}) \text{SO}_2$

↓ 水を加えて正確に 1 L とした。

後半の滴定

2 価の酸化剤
残存した I_2

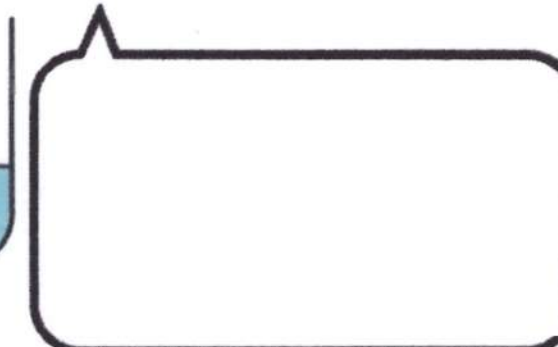
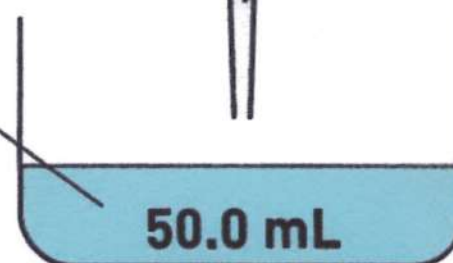


↓ 50.0 mL をとり滴定した。

1 価の還元剤

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤

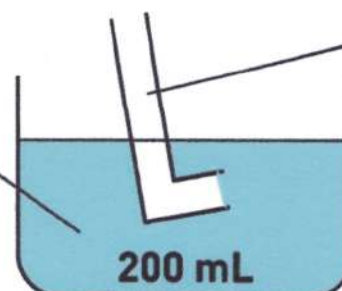


次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

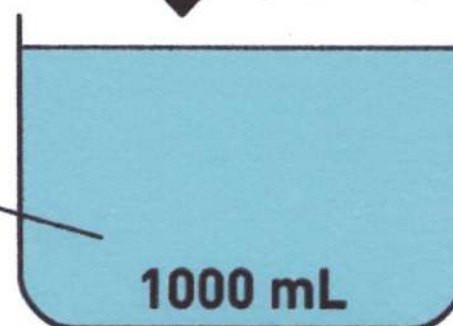
2 価の還元剤
 $x(\text{mol}) \text{SO}_2$

200 mL

↓ 水を加えて正確に 1 L とした。

〈後半の滴定〉

2 価の酸化剤
残存した I_2



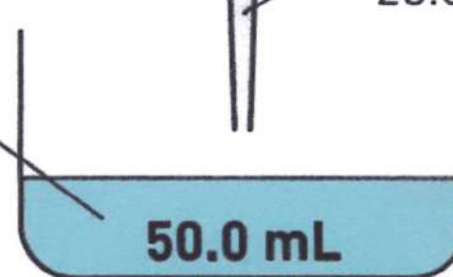
1000 mL

↓ 50.0 mL をとり滴定した。

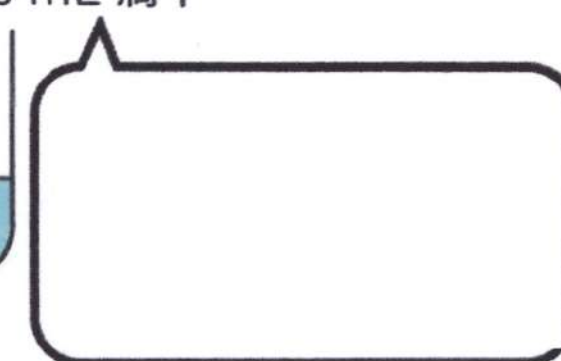
1 価の還元剤

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤
残存した I_2



50.0 mL



次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。

〈前半の操作〉

二酸化硫黄

〈後半の滴定〉

チオ硫酸ナトリウム

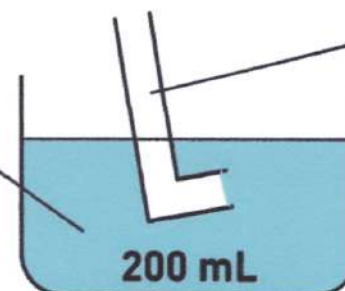
ヨウ素

〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2

排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

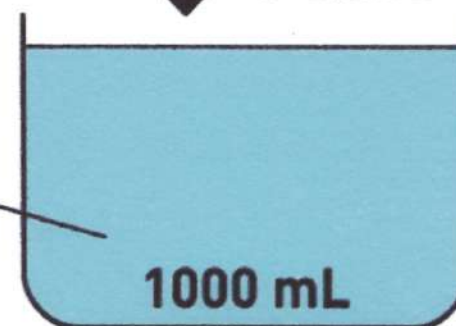
2 価の還元剤
 $x(\text{mol})\text{SO}_2$



↓ 水を加えて正確に 1 L とした。

〈後半の滴定〉

2 価の酸化剤
残存した I_2

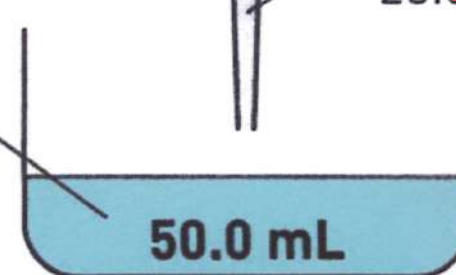


↓ 50.0 mL をとり滴定した。

1 価の還元剤
0.020 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ aq

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤
残存した I_2

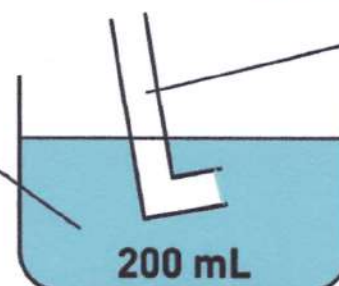


次に、二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし、この溶液の 50.0 mL について、デンプンを指示薬として 0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした。



〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



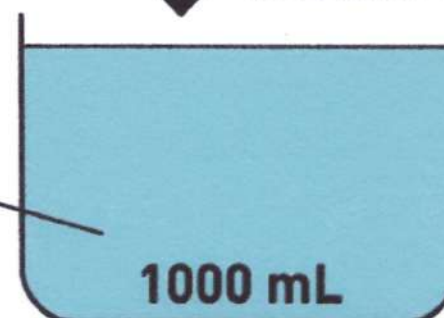
排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

2 価の還元剤
 $x(\text{mol})\text{SO}_2$

↓ 水を加えて正確に 1 L とした。

〈後半の滴定〉

2 価の酸化剤
残存した I_2

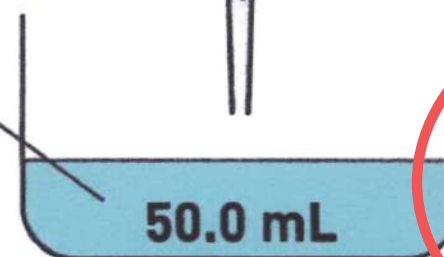


↓ 50.0 mL をとり滴定した。

1 価の還元剤
0.020 mol/L $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ aq

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤
残存した I_2



前の 1000 mL (元の 200 mL)
に対しては、
 $25.0 \times \frac{1000}{50.0}$ mL
滴下したことになる。

〈前半の操作〉

〈後半の滴定〉

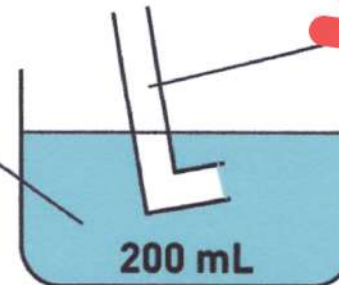
二酸化硫黄

チオ硫酸ナトリウム

ヨウ素

〈前半の操作〉

2 価の酸化剤
0.10 mol/L
200 mL
 I_2



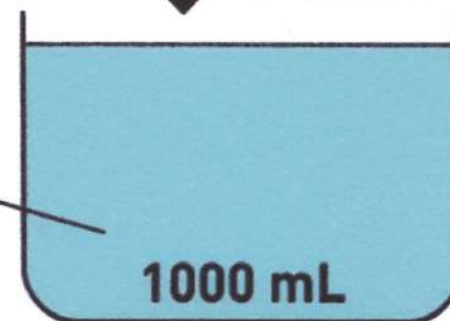
排ガス 10 L に含まれていた
二酸化硫黄を $x(\text{mol})$ とする。

2 価の還元剤
 $x(\text{mol})SO_2$

↓ 水を加えて正確に 1 L とした

〈後半の滴定〉

2 価の酸化剤
残存した I_2

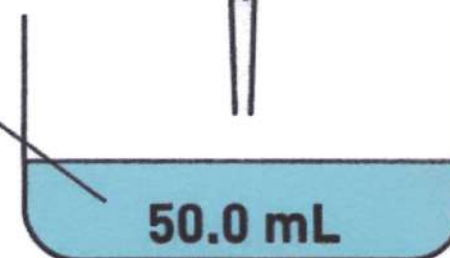


↓ 50.0 mL をとり滴定した。

1 価の還元剤
0.020 mol/L $Na_2S_2O_3$ a.c.

25.0 mL 滴下

2 価の酸化剤
残存した I_2



前の 1000 mL (元の 200 mL)
に対しては、
 $25.0 \times \frac{1000}{50.0} \text{ mL}$
滴下したことになる。



『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow$

『還元剤の物質量(mol)は?』

第 1 の還元剤(SO_2 : 2 価) $\Rightarrow$

さらに、『0.020 mol/L の $Na_2S_2O_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な $Na_2S_2O_3$ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

第 2 の還元剤($Na_2S_2O_3$: 1 価) $\Rightarrow$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2} \text{ (mol)}$ が求められる。 解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$



『酸化剤の物質量(mol)は?』

酸化剤(I_2 : 2 価) $\Rightarrow 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020(\text{mol})$

『還元剤の物質量(mol)は?』

第 1 の還元剤(SO_2 : 2 価) $\Rightarrow$

さらに、『0.020 mol/L の $Na_2S_2O_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な $Na_2S_2O_3$ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

第 2 の還元剤($Na_2S_2O_3$: 1 価) $\Rightarrow$

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2}(\text{mol})$ が求められる。 解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$



『酸化剤の物質量(mol)は?』

$$\text{酸化剤 (I}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020 (\text{mol})$$

『還元剤の物質量(mol)は?』

$$\text{第 1 の還元剤 (SO}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow x (\text{mol})$$

さらに、『0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

$$\text{第 2 の還元剤 (Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 : 1 \text{ 価)} \Rightarrow$$

step2 式への代入

$$\text{酸化剤の価数} \times \text{その物質量(mol)} = \text{還元剤の価数} \times \text{その物質量(mol)}$$

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2} (\text{mol})$ が求められる。 解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$

〈前半の操作〉	〈後半の滴定〉
二酸化硫黄	チオ硫酸ナトリウム
ヨウ素	

『酸化剤の物質量(mol)は?』

$$\text{酸化剤 (I}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020 (\text{mol})$$

『還元剤の物質量(mol)は?』

$$\text{第 1 の還元剤 (SO}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow x (\text{mol})$$

さらに、『0.020 mol/L の Na₂S₂O₃ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な Na₂S₂O₃ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

$$\text{第 2 の還元剤 (Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 : 1 \text{ 価)} \Rightarrow 0.020 \times \frac{25.0}{1000} \times \frac{1000}{50.0} = 0.010 (\text{mol})$$

step2 式への代入

$$\text{酸化剤の価数} \times \text{その物質量(mol)} = \text{還元剤の価数} \times \text{その物質量(mol)}$$

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2} (\text{mol})$ が求められる。 解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$



『酸化剤の物質量(mol)は?』

$$\text{酸化剤 (I}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020 (\text{mol})$$

『還元剤の物質量(mol)は?』

$$\text{第 1 の還元剤 (SO}_2 : 2 \text{ 価)} \Rightarrow x (\text{mol})$$

さらに、『0.020 mol/L の Na₂S₂O₃ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な Na₂S₂O₃ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

$$\text{第 2 の還元剤 (Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 : 1 \text{ 価)} \Rightarrow 0.020 \times \frac{25.0}{1000} \times \frac{1000}{50.0} = 0.010 (\text{mol})$$

step2 式への代入

$$\text{酸化剤の価数} \times \text{その物質量(mol)} = \text{還元剤の価数} \times \text{その物質量(mol)}$$

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

$$\underbrace{2(\text{価}) \times 0.020 (\text{mol})}_{\text{I}_2} = \underbrace{2(\text{価}) \times x (\text{mol})}_{\text{SO}_2} + \underbrace{1(\text{価}) \times 0.010 (\text{mol})}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$$

この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2} (\text{mol})$ が求められる。解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$

『酸化剤の物質量(mol)は?』

$$\text{酸化剤}(\text{I}_2 : 2 \text{ 価}) \Rightarrow 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.020(\text{mol})$$

『還元剤の物質量(mol)は?』

$$\text{第 1 の還元剤}(\text{SO}_2 : 2 \text{ 価}) \Rightarrow x(\text{mol})$$

さらに、『0.020 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、25.0 mL を必要とした』が、これは、『二酸化硫黄を吸収させた溶液 200 mL に水を加えて正確に 1 L とし(この段階では滴定に必要な $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の物質量は変化しない)、この溶液の 50.0 mL について』行った結果であるから、元の溶液 200 mL に対しては、

$$\text{第 2 の還元剤}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 : 1 \text{ 価}) \Rightarrow 0.020 \times \frac{25.0}{1000} \times \frac{1000}{50.0} = 0.010(\text{mol})$$

step2 式への代入

$$\text{酸化剤の価数} \times \text{その物質量(mol)} = \text{還元剤の価数} \times \text{その物質量(mol)}$$

〈前半の操作と後半の滴定とを合わせて〉

$$2(\text{価}) \times 0.020(\text{mol}) = 2(\text{価}) \times x(\text{mol}) + 1(\text{価}) \times 0.010(\text{mol})$$



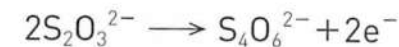
この等式を解くと、 $x = 1.5 \times 10^{-2}(\text{mol})$ が求められる。

解答 $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$

●例1:ヨウ素滴定による還元剤の定量

問題

ある量の硫化水素 H_2S のすべてを、 0.10 mol/L のヨウ素 I_2 溶液 1.0 L に吸収させた。吸収液 100 mL を別のコニカルビーカーにとって、反応せずに残った I_2 を 0.20 mol/L のチオ硫酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定をしたところ、終点までに $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液 85 mL が必要であった。吸収させた H_2S の物質量 (mol) を求め、有効数字2桁で答えよ。ただし、チオ硫酸イオン $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ の働きを示す式は、



であるものとする。

生徒 『酸化剤ですが、酸化剤は I_2 だけで、用いられた物質量は、 $0.10 \times 1.0 = 0.10 \text{ (mol)}$ です。ちなみに、 I_2 は2価の酸化剤 ($\text{I}_2 + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{I}^-$) です。還元剤ですが、還元剤は H_2S と $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の2つで、 H_2S の物質量は $x \text{ (mol)}$ とおくことにします。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の物質量は、「吸収液 100 mL 」に「 85 mL 」の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液を加えた、つまり、「吸収液 1.0 L 」には「 $85 \times 10 \text{ mL}$ 」加えたと考えると、 $0.20 \times \frac{85 \times 10}{1000} = 0.17 \text{ (mol)}$ です。ちなみに、 H_2S は2価の還元剤 ($\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{S} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$)、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は1価の還元剤 ($2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \longrightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e}^-$) です。全体のイメージは次の通りです。



先生 『そうだね、それらの数値を、操作全体のイメージを意識しながら、
酸化剤が受け取る e^- の物質量^{mol} = 還元剤が放出する e^- の物質量^{mol}
より導かれる次式に代入しよう。

$$\text{酸化剤の価数} \times \text{その物質量}^{\text{mol}} = \text{還元剤の価数} \times \text{その物質量}^{\text{mol}}$$

生徒 『 $2 \times 0.10 = 2 \times x + 1 \times 0.17$ $\therefore x = 1.5 \times 10^{-2} \text{ (mol)}$ ですね』
 I_2 H_2S $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

例題

溶存酸素

有機汚濁水では、有機物が好気性微生物によって分解されると同時に微生物によって酸素が消費され、水中の酸素量が低下する。このため水質試験法の中に、化学的酸素要求量 COD などと並び、^{Dissolved Oxygen} 溶存酸素 DO という項目がある。DO とは「水中に存在する酸素 O_2 の量を mg/L で表したもの」であり、その測定は次のように行われる。水酸化ナトリウムと硫酸マンガンにより生じる水酸化マンガンが、試料中の酸素と反応して亜マンガン酸 H_2MnO_3 となり沈殿する。この亜マンガン酸が硫酸酸性下、ヨウ化カリウムと反応して生じたヨウ素をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定する。これらの反応を反応式で示すと以下のようになる。



本測定法によりある池の水 (100 mL) の DO を測定したところ、滴定に 0.025 mol/L チオ硫酸ナトリウム水溶液が 5.5 mL 必要であった。この池の水の DO (mg/L) を求め、有効数字 2 桁で答えよ。原子量は $O=16$ とする。

解答・解説

100 mL の試料水中に溶存する O_2 が x (mol) であったとすると、上述の測定手順に従えば、 x (mol) の O_2 は、まず、(イ) 式より $2x$ (mol) の H_2MnO_3 に、さらに、(ウ) 式より $2x$ (mol) の I_2 に変化することが分かる。そして、この $2x$ (mol) の I_2 の滴定に、(エ) 式より $4x$ (mol) の $Na_2S_2O_3$ が必要であることが分かる。すなわち、 $4x = 0.025 \times \frac{5.5}{1000}$ が成立する。よって、 $x = 3.4375 \times 10^{-5}$ (mol) と求まり、求める試料水 1 L 中の O_2 の mg 数は、 $32 \times 10^3 \times 3.4375 \times 10^{-5} \times \frac{1000}{100} = 1.1 \times 10$ (mg/L) 答となる。

ちなみに、化学的酸素要求量 COD は値が大きいほど、一方で、本問題で示されている通り、溶存酸素 DO は値が小さいほど、水質が好ましくない状況にあることを示す。

【ヨウ素滴定(ブランクテスト)】

【ヨウ素滴定(ブランクテスト)】

ブランクテストは空試験とも呼ばれます。試料を分析するときに、不純物による誤差を補正するために、試料を用いなくて同様な操作をすることです。

酸化還元滴定では、滴定に用いる試薬中や水中の不純物、容器の汚れ等が酸化還元反応を起こし、試料の滴定値に誤差を生じることがあります。また、試薬によっては光や熱で分解し、濃度が減少していくことも考えられます。そこで、分析目的の成分だけを除いた滴定(ブランクテスト)を行って、**滴定値の差を求めることで上記のような誤差をキャンセル**し、この差から試料の正しい濃度を求めます(滴定実験を開始する以前の試料に最初から不純物が含まれていた場合には、それについては補正できません)。

【ヨウ素滴定(ブランクテスト)】

ブランクテストは空試験とも呼ばれます。試料を分析するときに、不純物による誤差を補正するために、試料を用いなくて同様な操作をすることです。

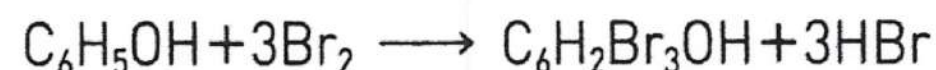
酸化還元滴定では、滴定に用いる試薬中や水中の不純物、容器の汚れ等が酸化還元反応を起こし、試料の滴定値に誤差を生じることがあります。また、試薬によっては光や熱で分解し、濃度が減少していくことも考えられます。

そこで、分析目的の成分だけを除いた滴定(ブランクテスト)を行って、**滴定値**の差を求めることで上記のような誤差をキャンセルし、この差から試料の正しい濃度を求めます(滴定実験を開始する以前の試料に最初から不純物が含まれていた場合には、それについては補正できません)。

【ヨウ素滴定(ブランクテスト)】

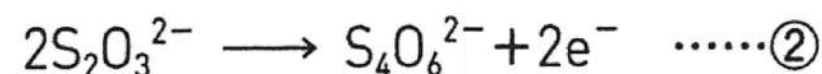
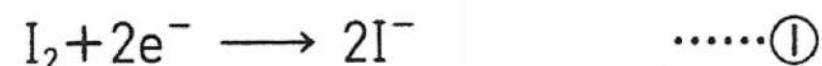
フェノールと臭素との反応を利用して、以下の操作により、水溶液中のフェノール濃度が求められる。

【操作 1】 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



【操作 2】 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

【操作 3】 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

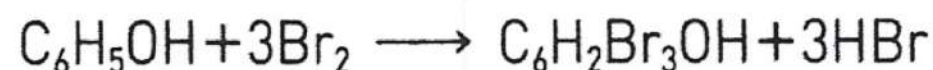
【操作 4】 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

問 フェノール水溶液のモル濃度はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。

【ヨウ素滴定(ブランクテスト)】

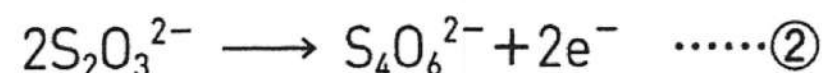
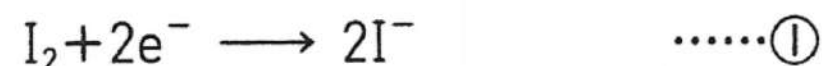
フェノールと臭素との反応を利用して、以下の操作により、水溶液中のフェノール濃度が求められる。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。

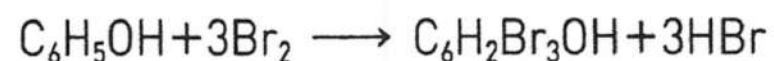


ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

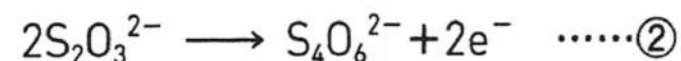
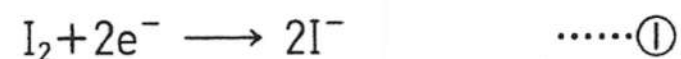
問 フェノール水溶液のモル濃度はいくらか。有効数字 2 桁で答えよ。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

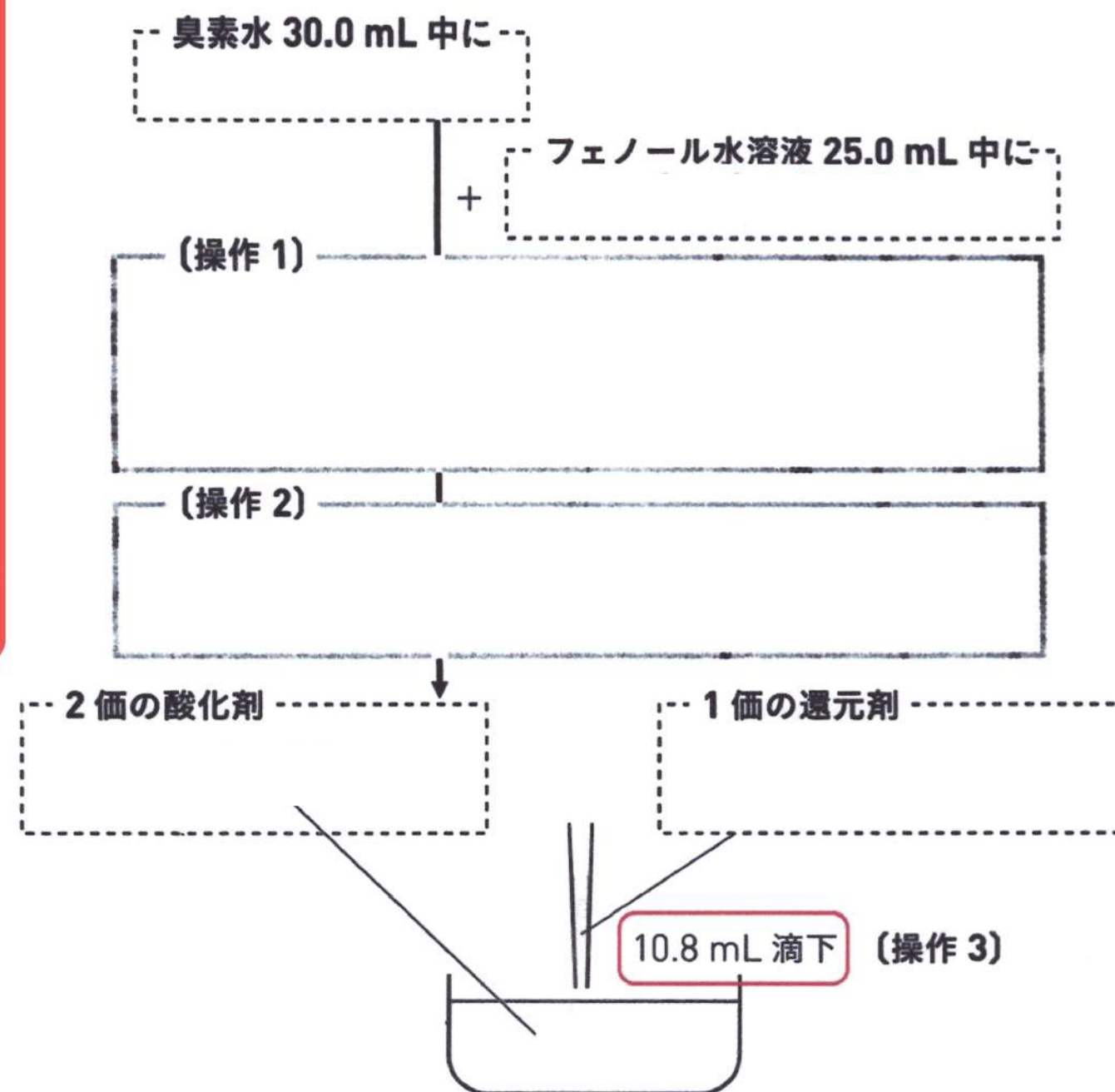
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



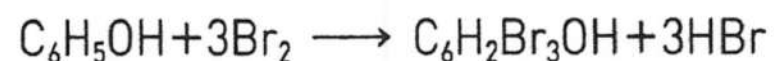
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step I 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

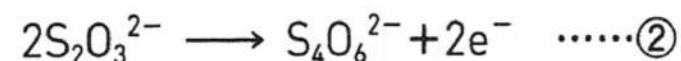
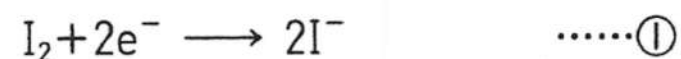


〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

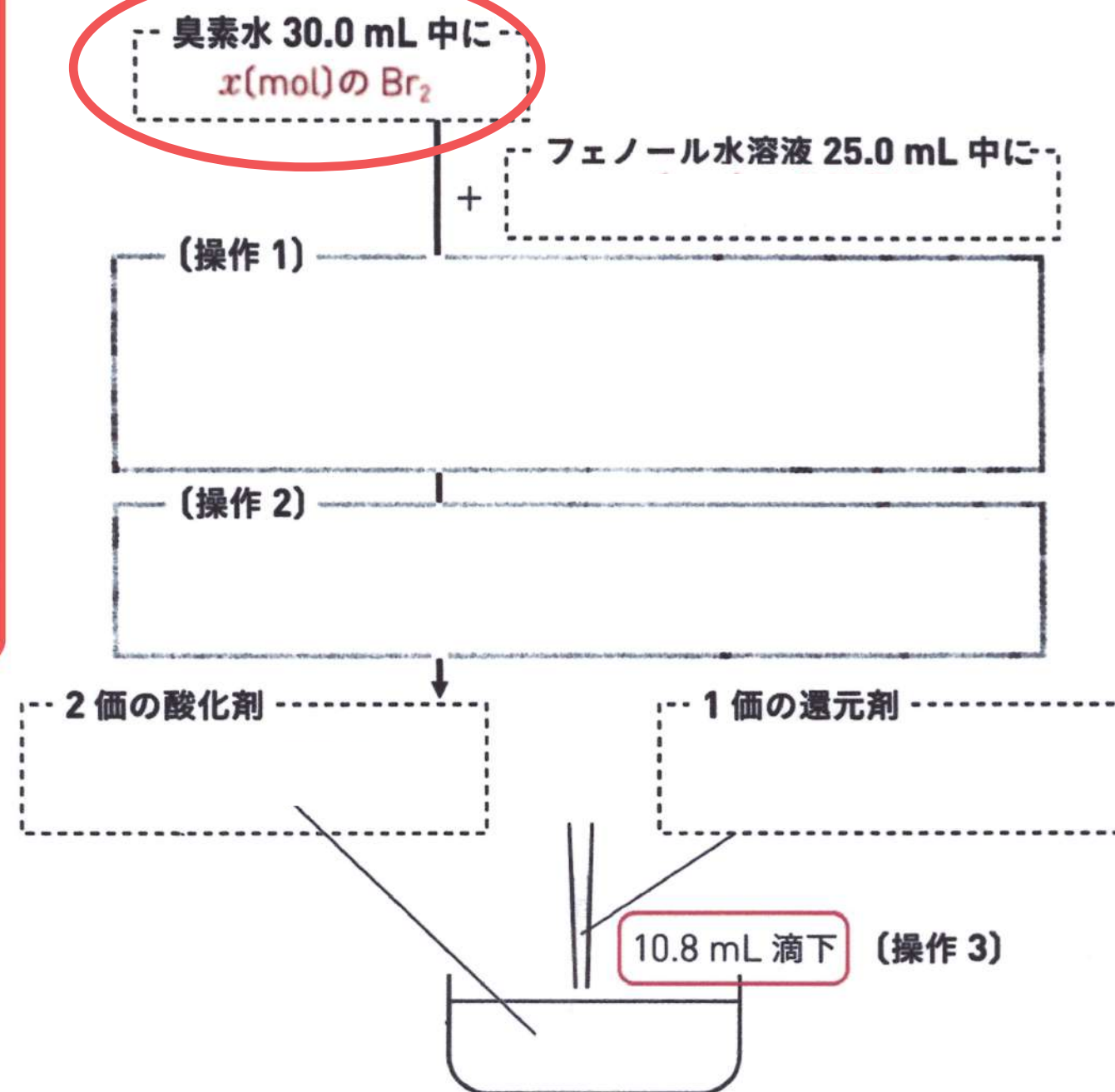
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



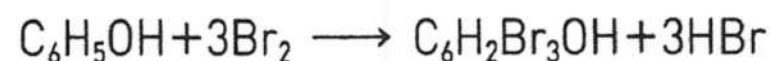
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step I 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

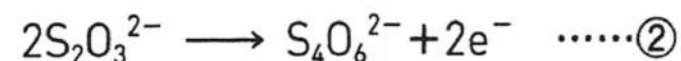
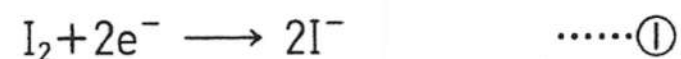


〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

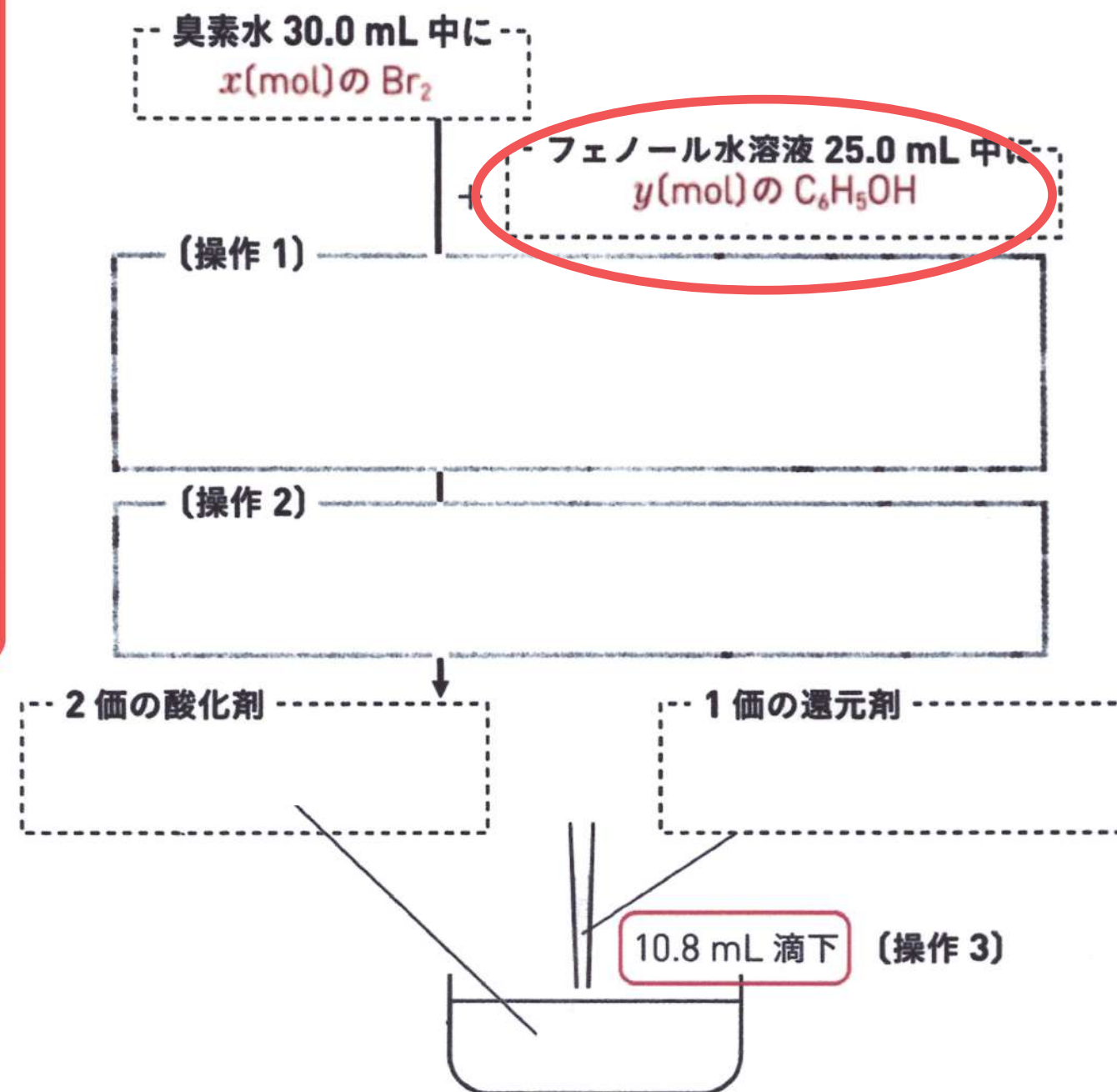
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



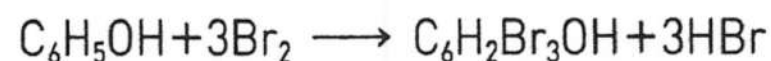
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step I 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

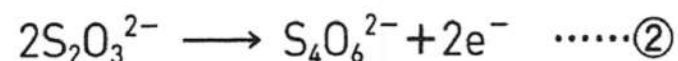
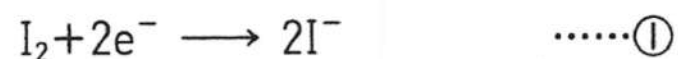


〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step I 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

臭素水 30.0 mL 中に
 $x(\text{mol})$ の Br_2

フェノール水溶液 25.0 mL 中に
 $y(\text{mol})$ の $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

〔操作 1〕
 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{Br}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH} + 3\text{HBr}$ より、
 $y(\text{mol})$ の $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ によって、 $3y(\text{mol})$ の Br_2 が消費され、 $x - 3y(\text{mol})$ の Br_2 が残存する。

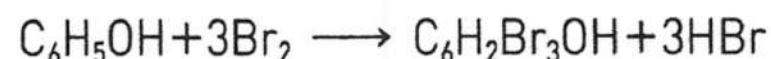
〔操作 2〕

2 価の酸化剤

1 価の還元剤

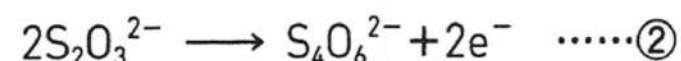
10.8 mL 滴下 (操作 3)

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

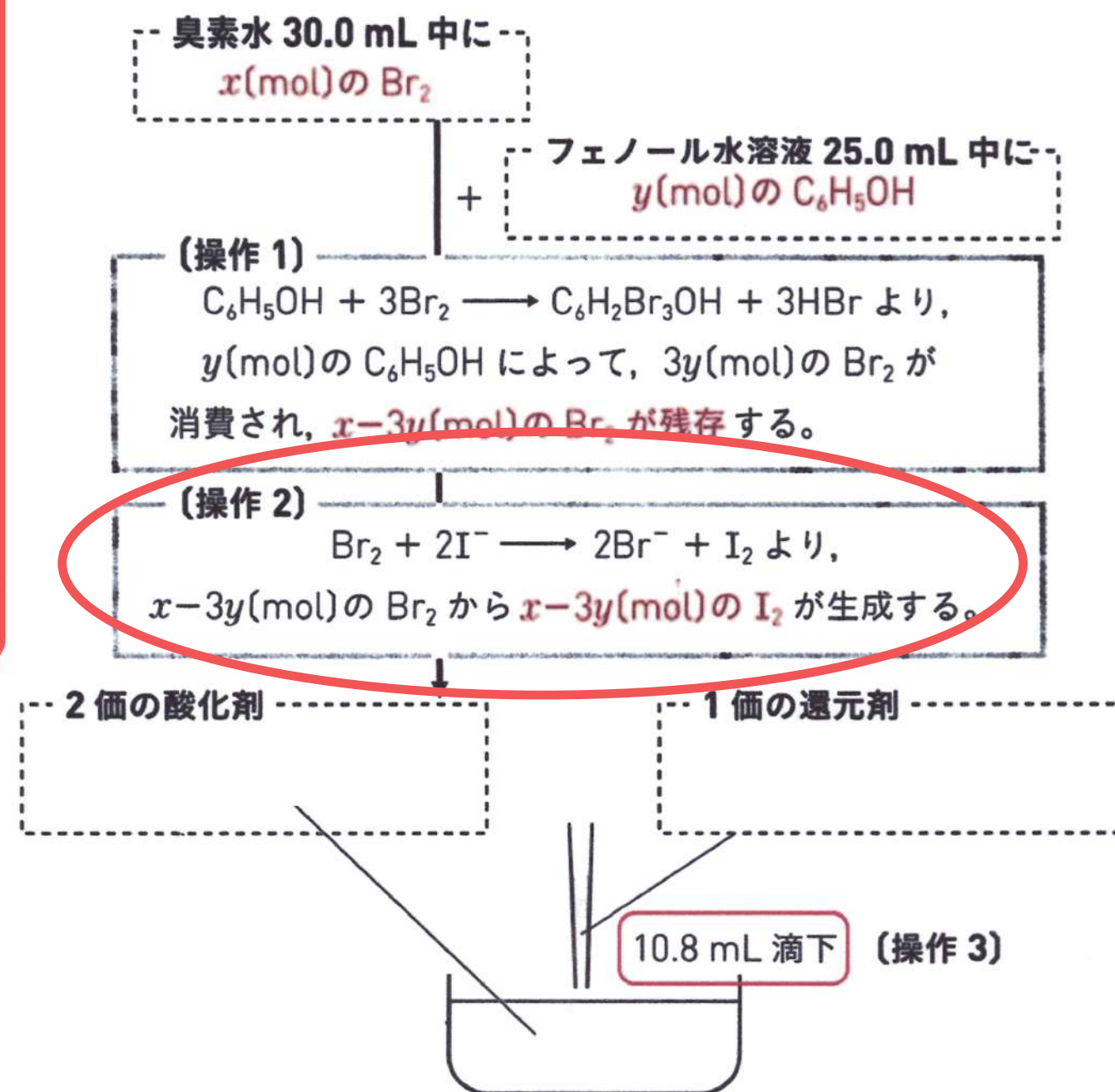
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



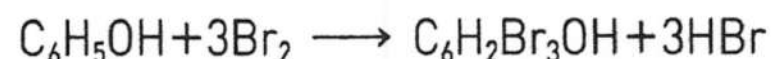
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step 1 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

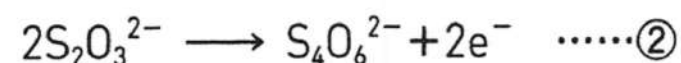


〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

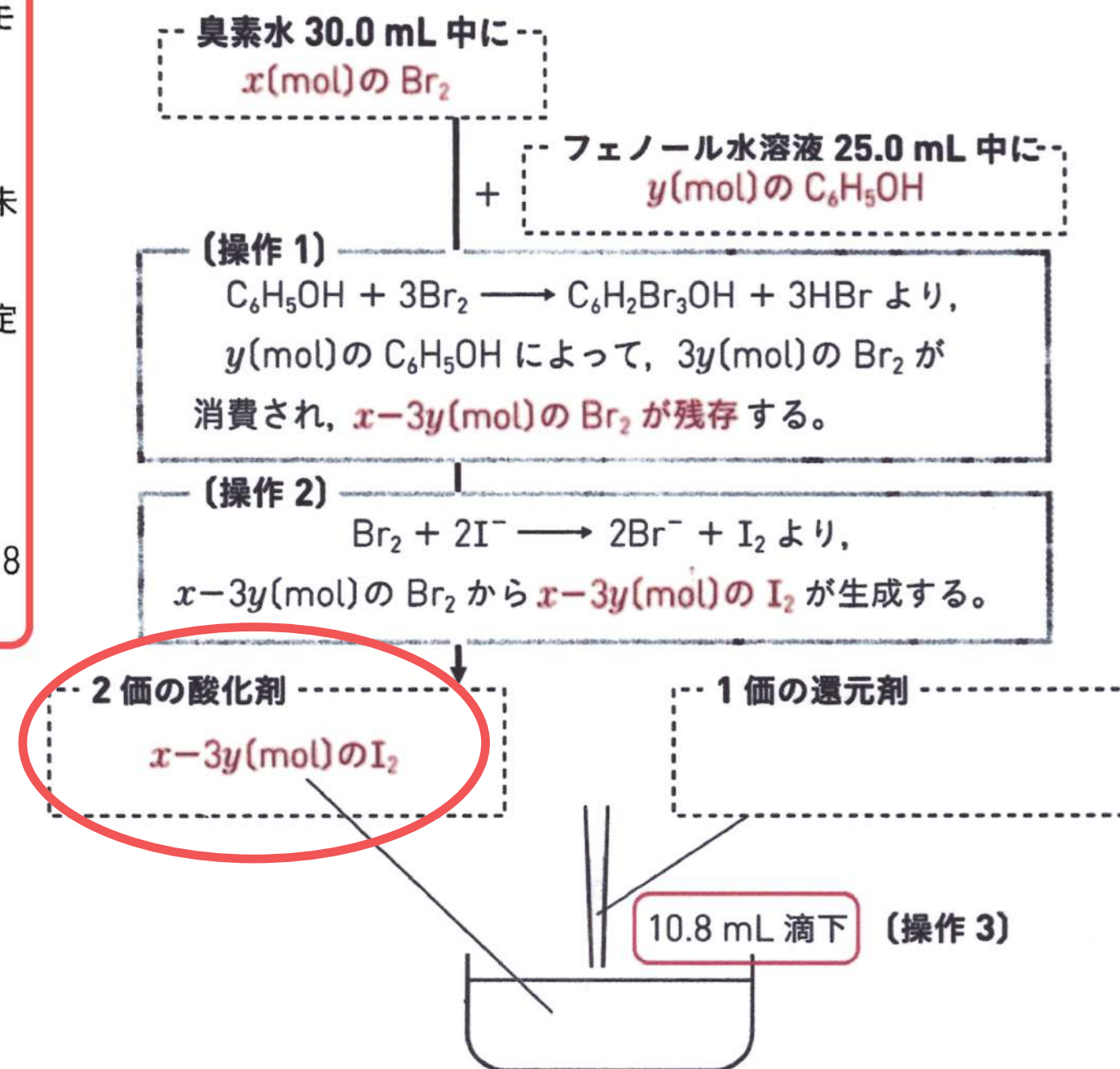
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



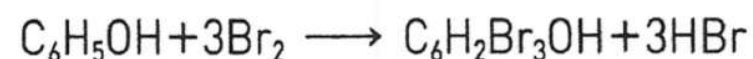
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

step 1 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉

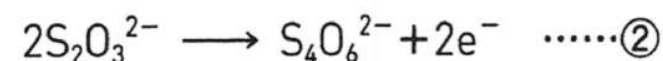
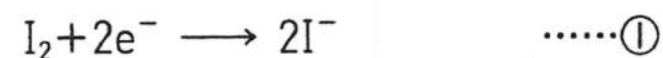


〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

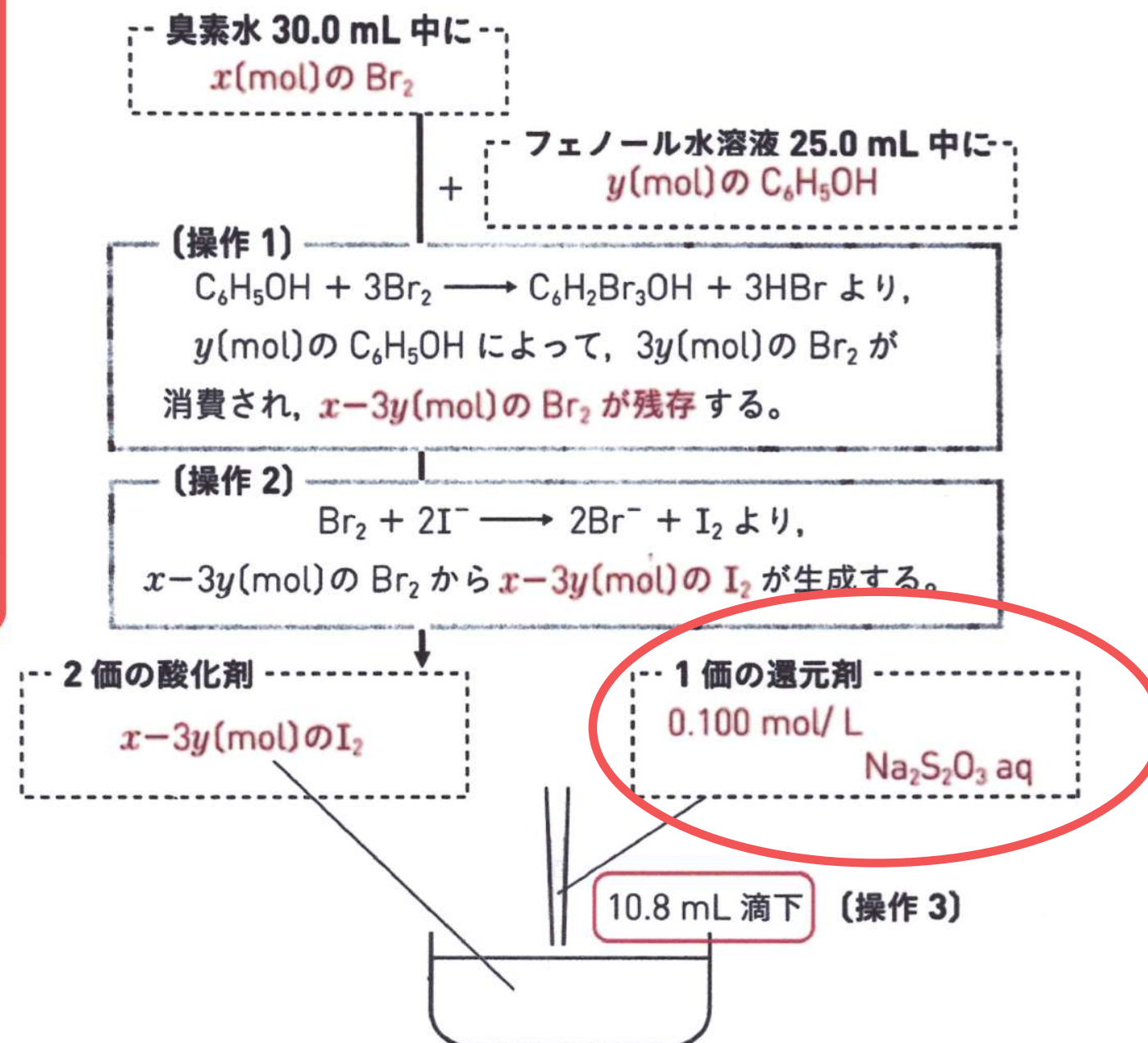
〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

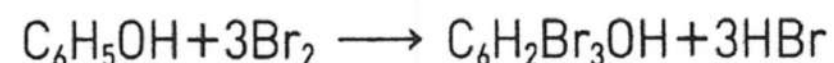
step I 情報の整理『滴定の内容を把握しよう』

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下、滴定②)〉



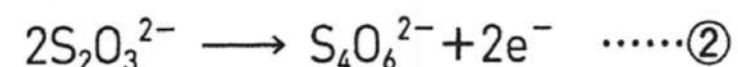
〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



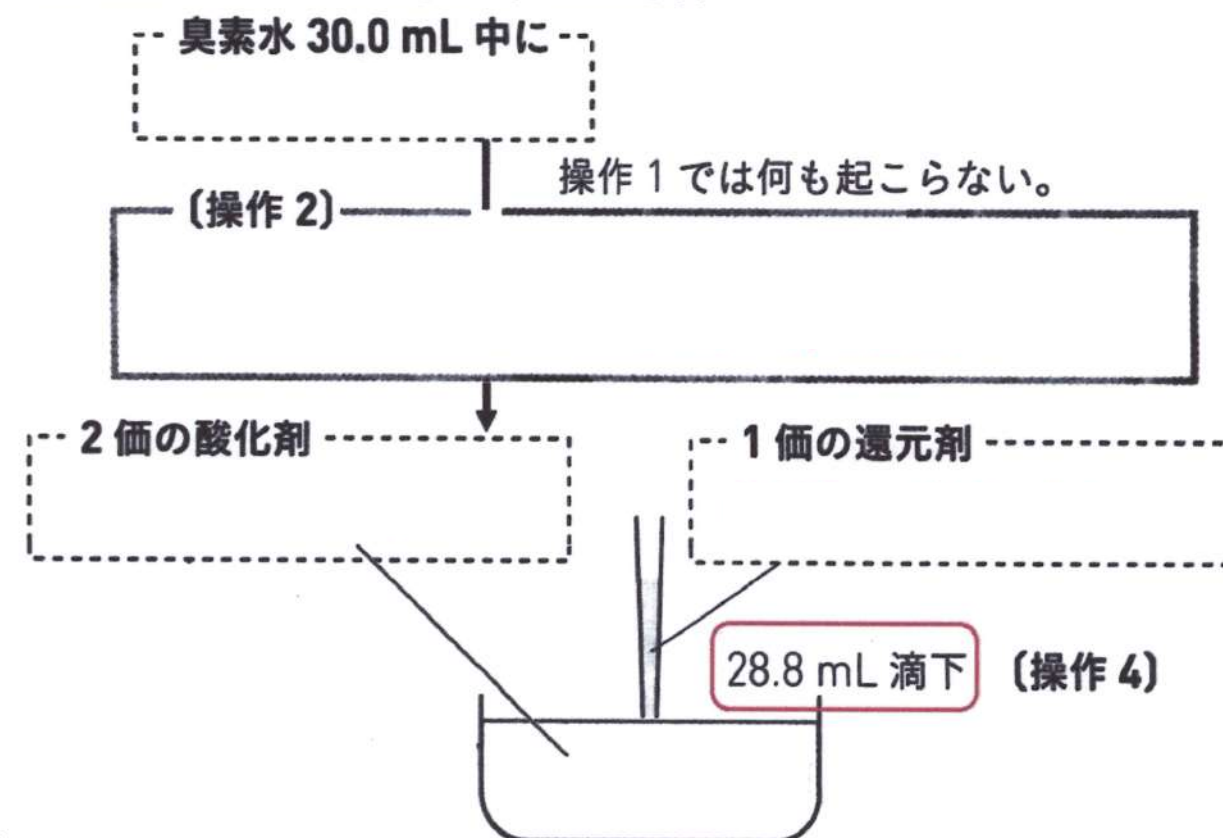
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



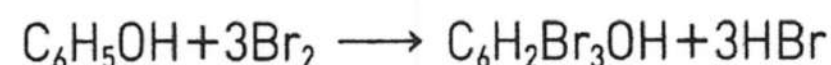
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

〈蒸留水を用いた場合(以下、滴定①)〉



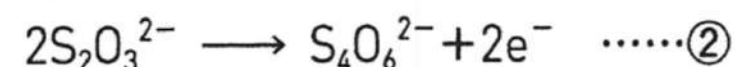
〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



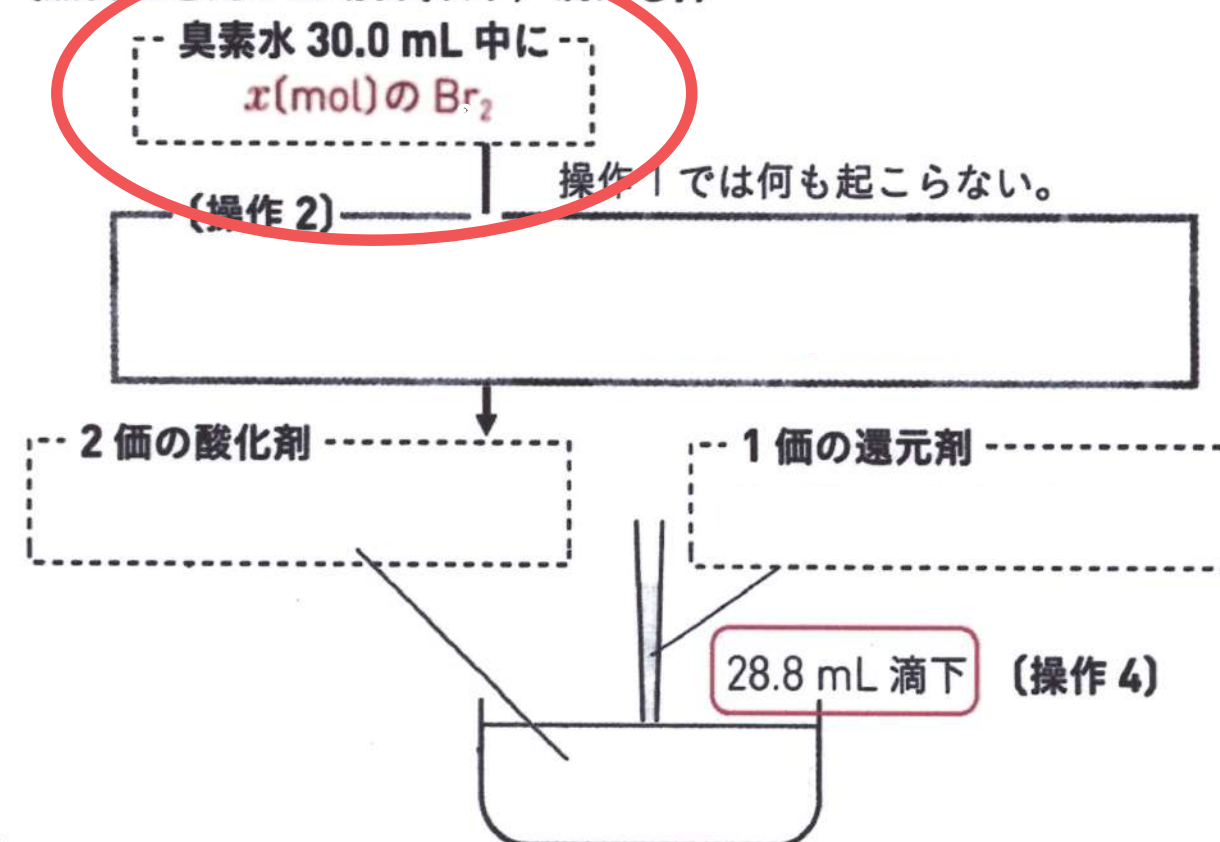
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



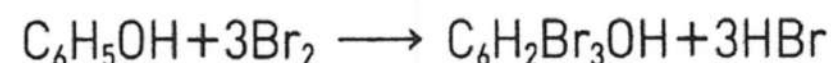
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

〈蒸留水を用いた場合(以下、滴定①)〉



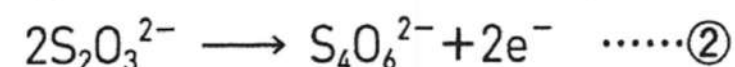
〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



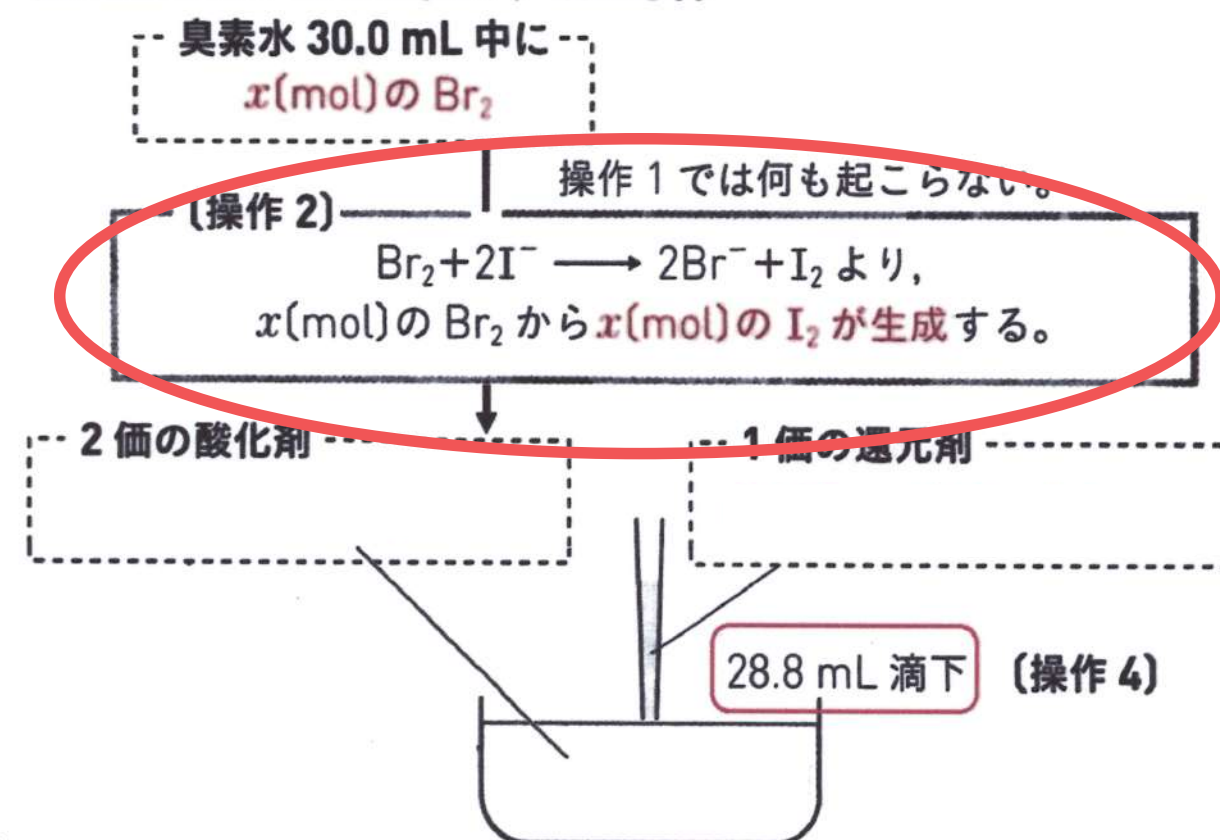
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



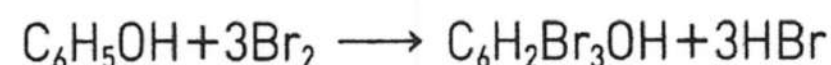
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

〈蒸留水を用いた場合(以下、滴定①)〉



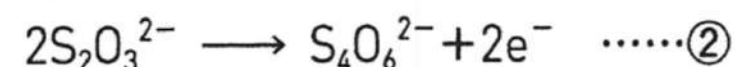
〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



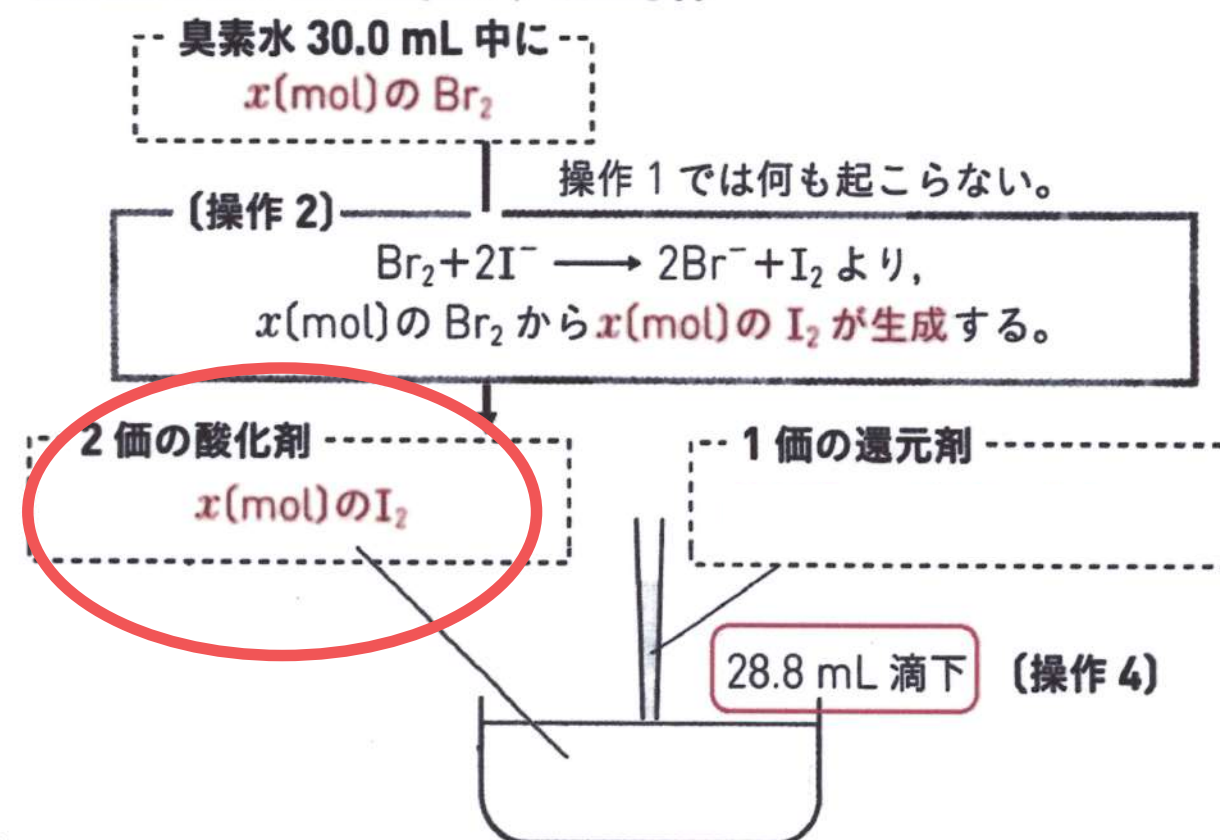
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。



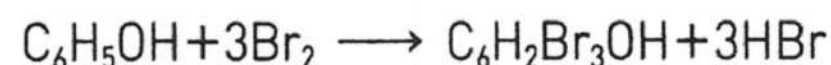
ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

〈蒸留水を用いた場合(以下、滴定①)〉



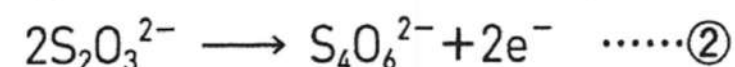
〔操作 4〕 フェノール水溶液 25.0 mL のかわりに蒸留水 25.0 mL を用いて、操作 1 ～ 3 を繰り返した。ここでは、操作 3 と同じ濃度のチオ硫酸ナトリウム水溶液 28.8 mL を要した。

〔操作 1〕 濃度の不明なフェノール水溶液 25.0 mL に、臭素水 30.0 mL を加えてフェノールを完全に反応させた。この反応ではすべてのフェノールが臭素と反応して 2, 4, 6-トリブロモフェノールを生成した。



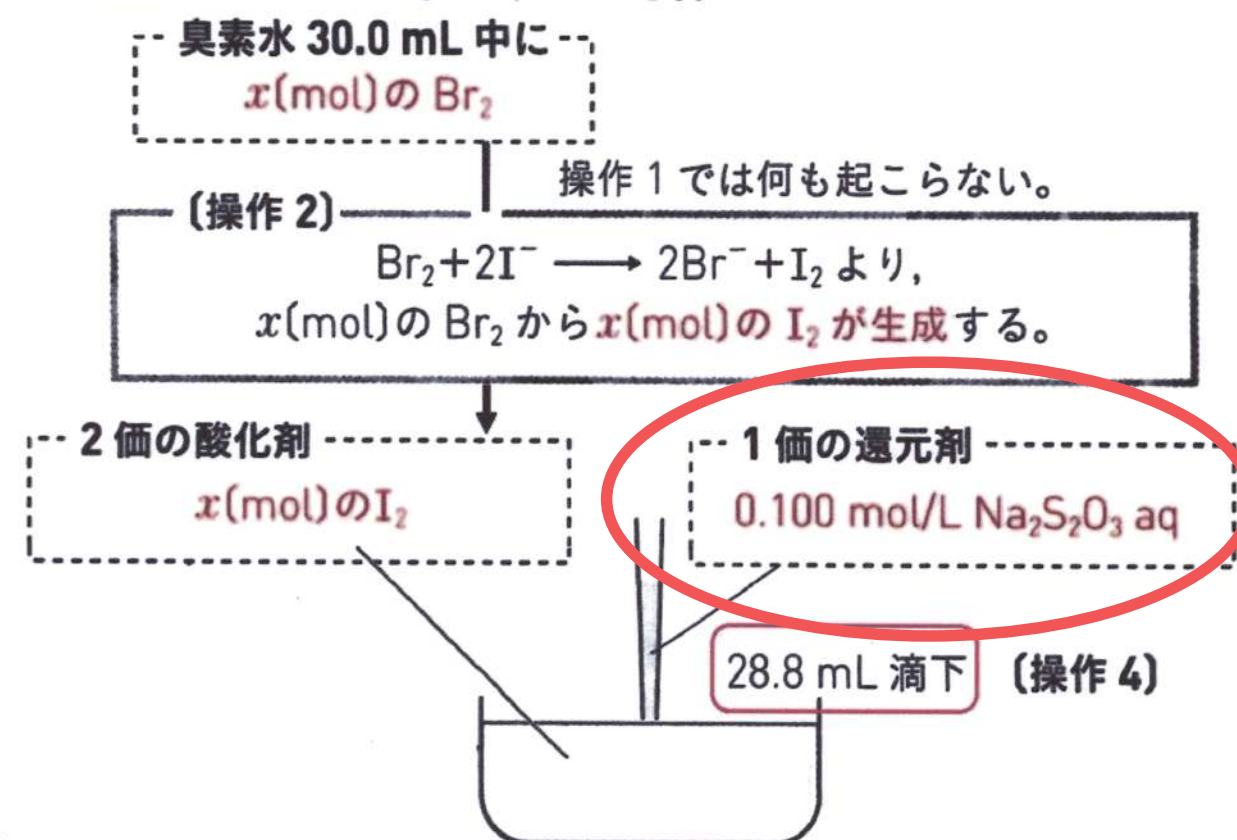
〔操作 2〕 操作 1 で得られた溶液にヨウ化カリウム水溶液を加えて未反応の臭素をすべて反応させた。

〔操作 3〕 操作 2 で得られた溶液をチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定した。この反応は次の反応式で表される。

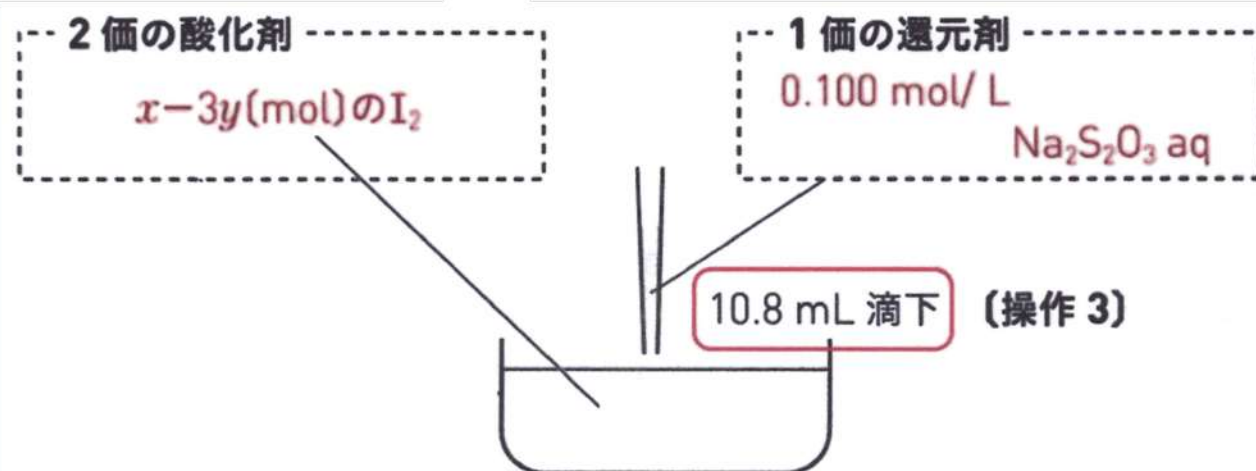


ここでは、0.100 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液 10.8 mL を要した。

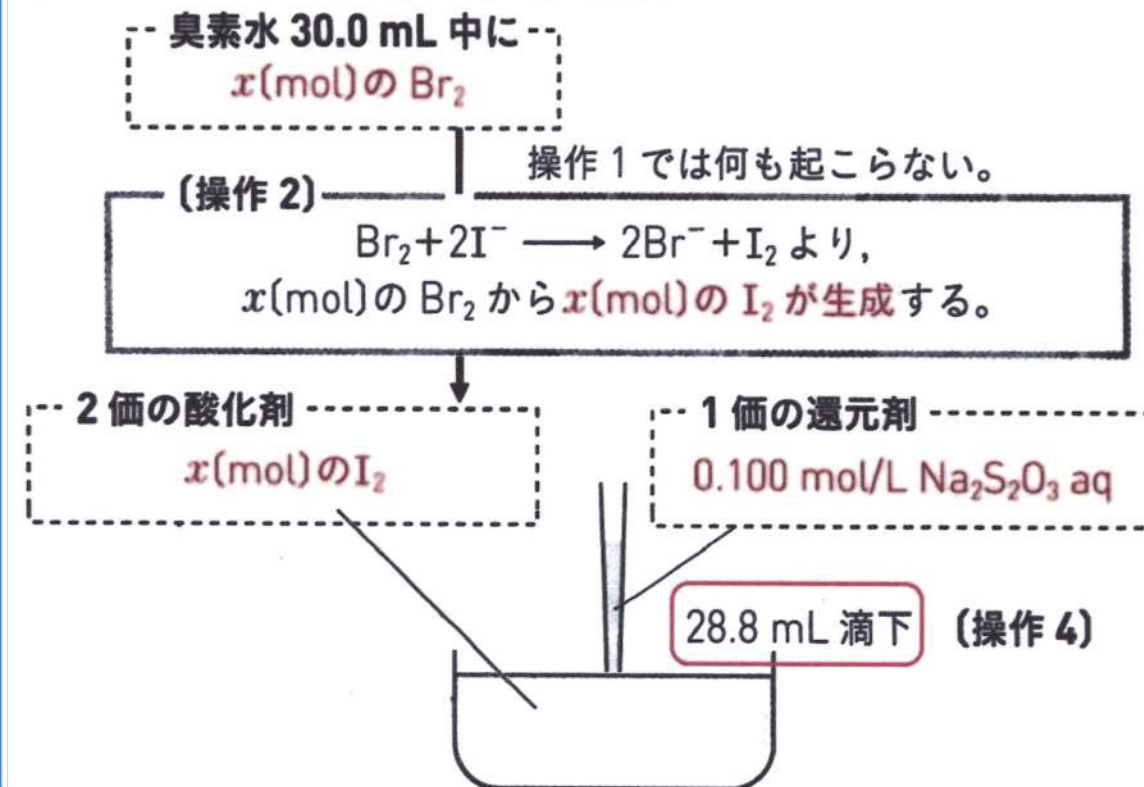
〈蒸留水を用いた場合(以下、滴定①)〉



〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow$

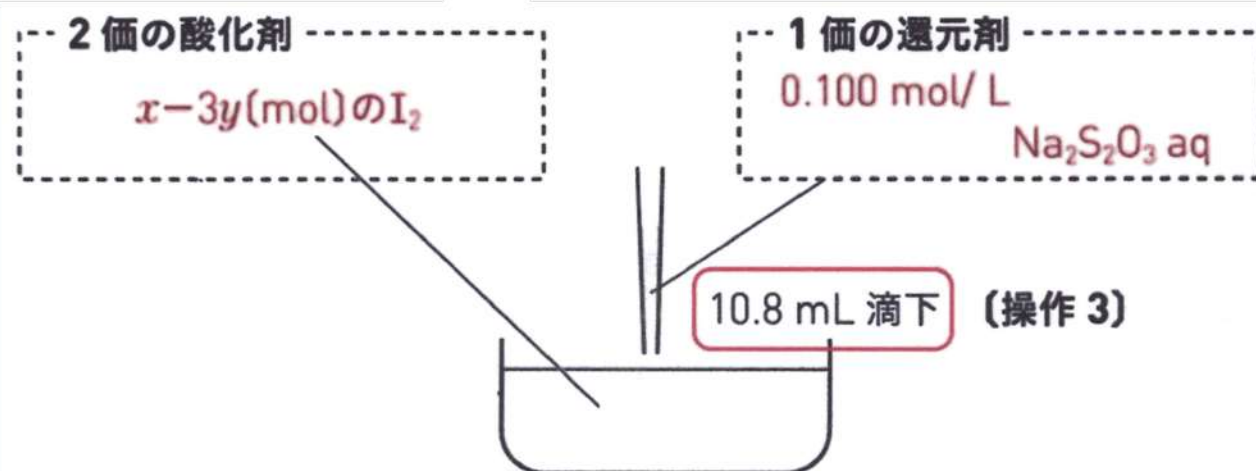
〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow$

step2 式への代入

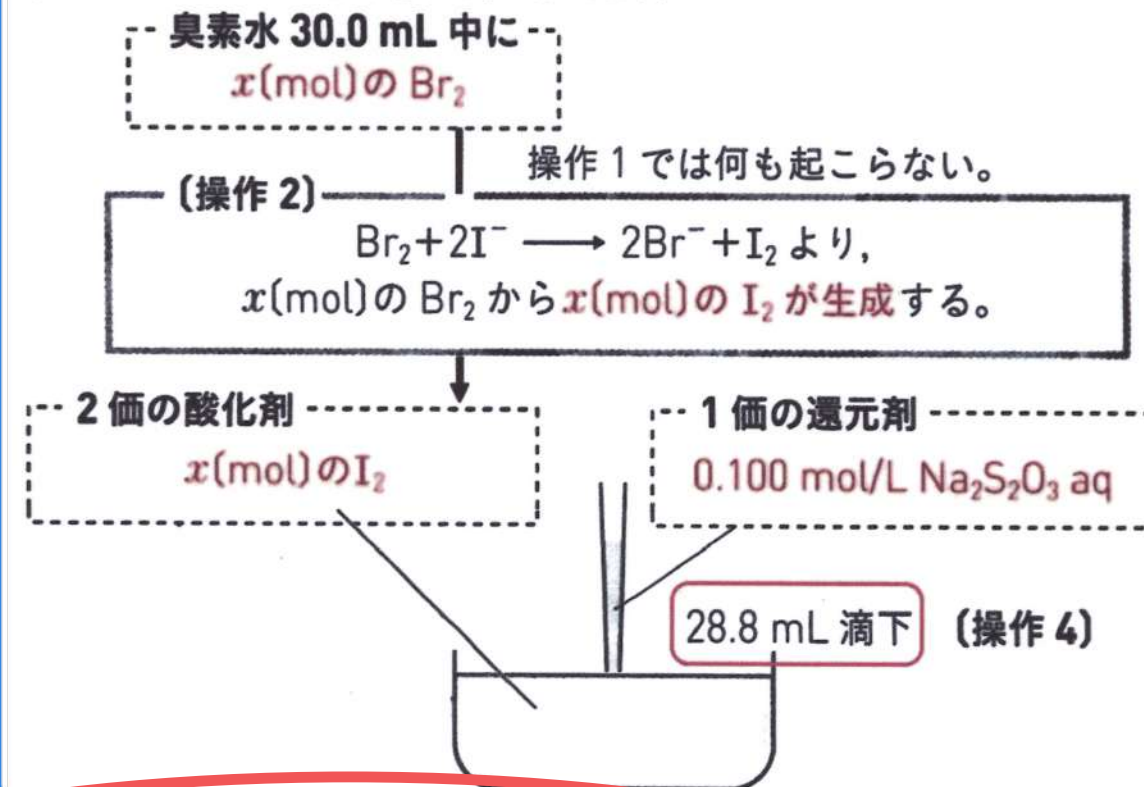
酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{10.8}{1000} = 1.08 \times 10^{-3}(\text{mol})$

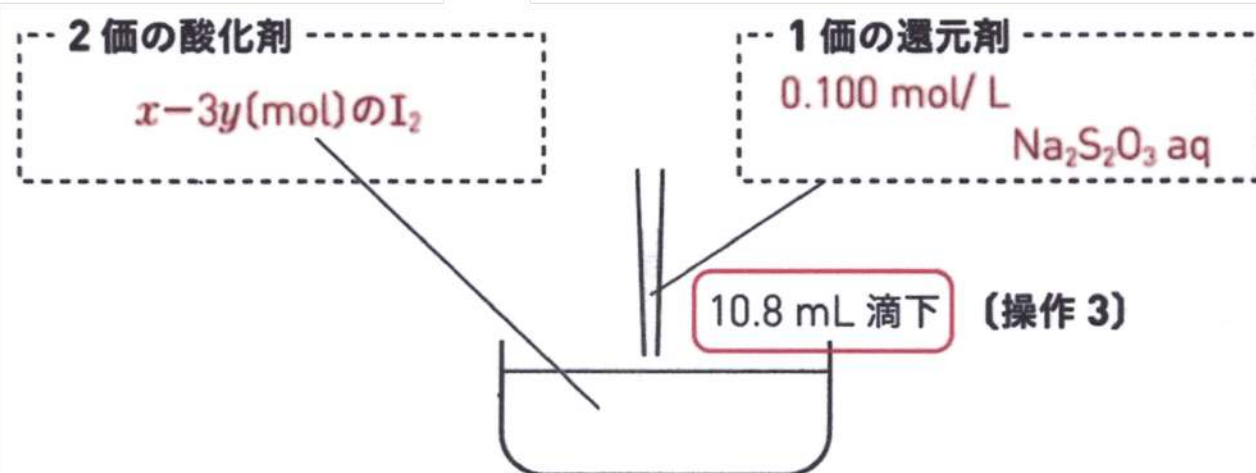
〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow$

step2 式への代入

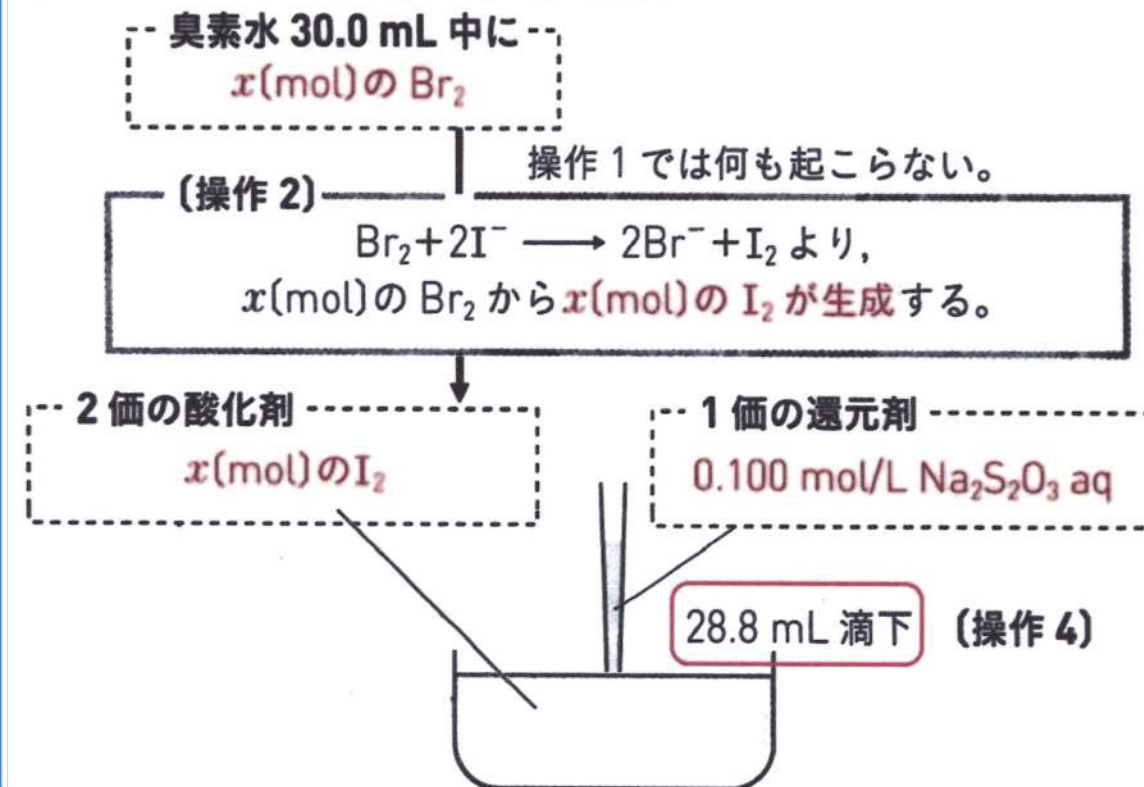
酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{10.8}{1000} = 1.08 \times 10^{-3}(\text{mol})$

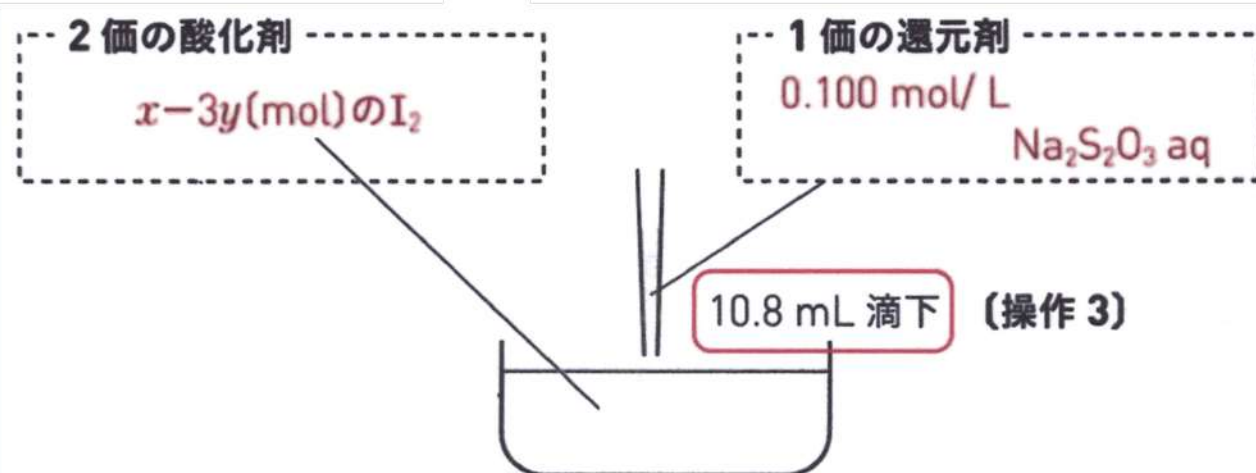
〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{28.8}{1000} = 2.88 \times 10^{-3}(\text{mol})$

step2 式への代入

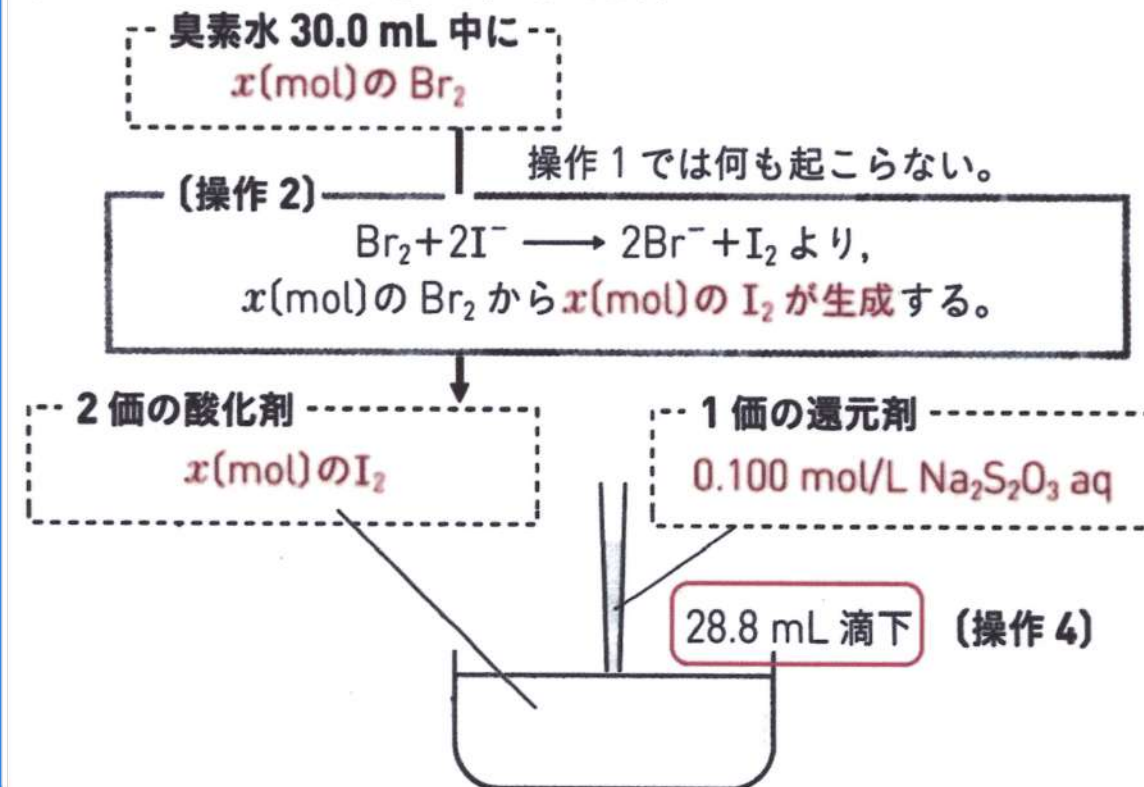
酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{10.8}{1000} = 1.08 \times 10^{-3}(\text{mol})$

〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{28.8}{1000} = 2.88 \times 10^{-3}(\text{mol})$

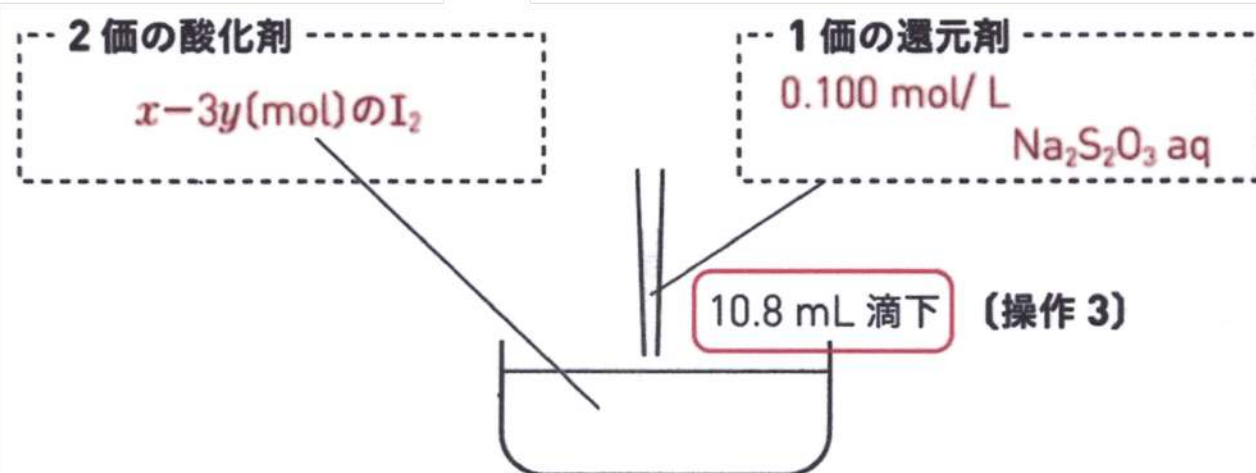
〈両滴定の差〉 $2.88 \times 10^{-3} - 1.08 \times 10^{-3} = 1.80 \times 10^{-3}(\text{mol})$ が
両流れ図から明らかなように $3y[\text{mol}]$ の I_2 の滴定に使われた。

step2 式への代入

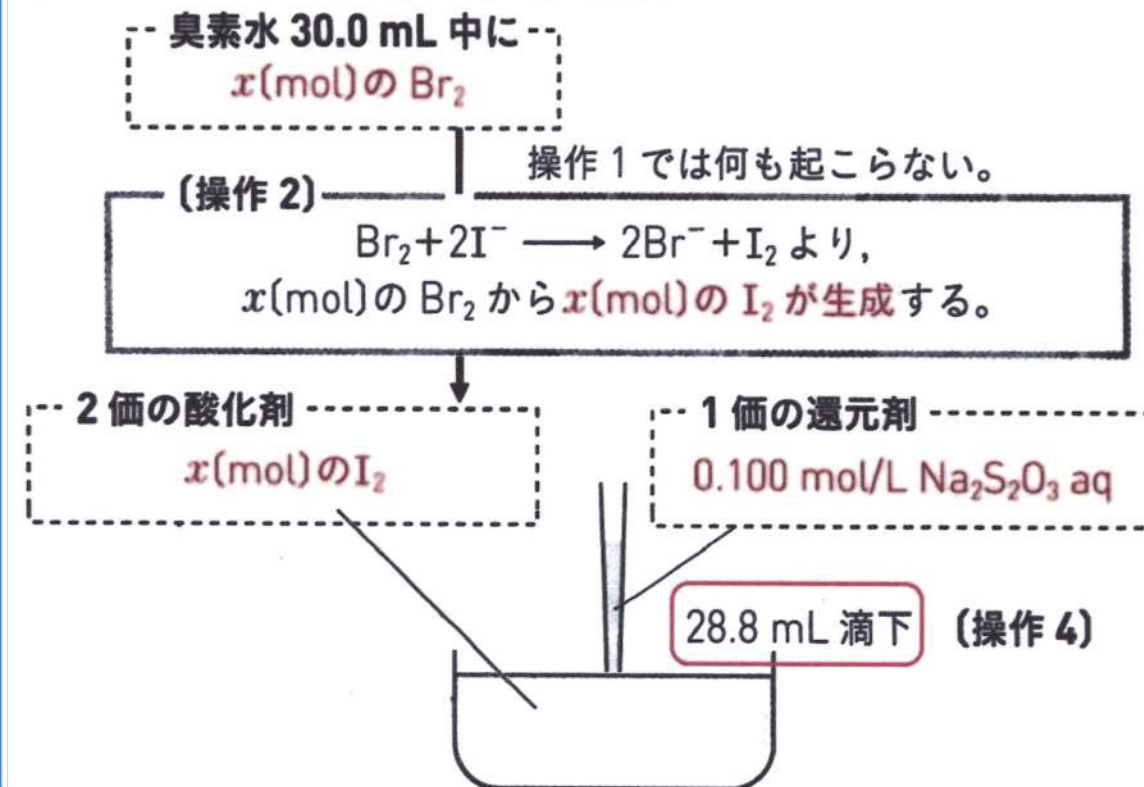
酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{10.8}{1000} = 1.08 \times 10^{-3}(\text{mol})$

〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{28.8}{1000} = 2.88 \times 10^{-3}(\text{mol})$

〈両滴定の差〉 $2.88 \times 10^{-3} - 1.08 \times 10^{-3} = 1.80 \times 10^{-3}(\text{mol})$ が
両流れ図から明らかなように $3y[\text{mol}]$ の I_2 の滴定に使われた。

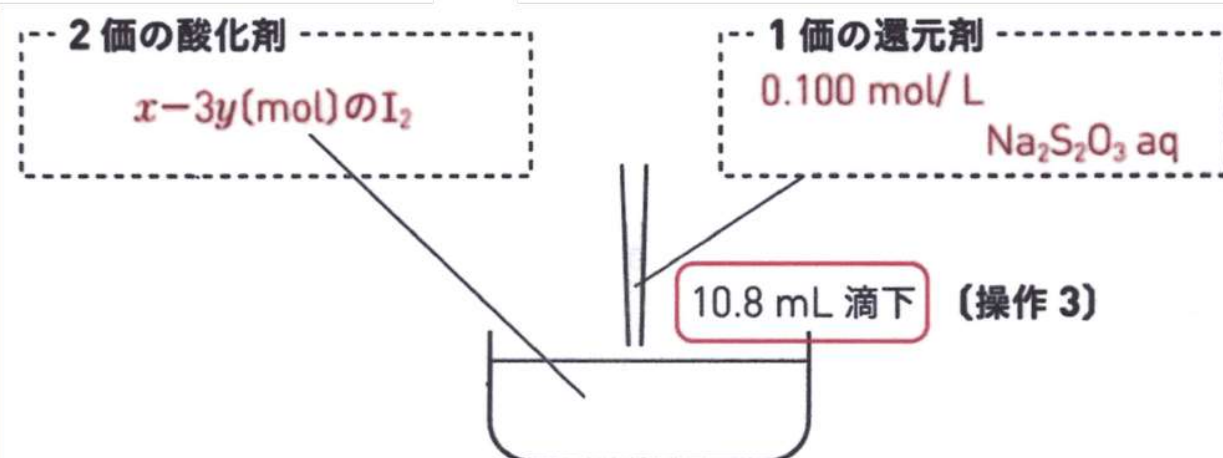
step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

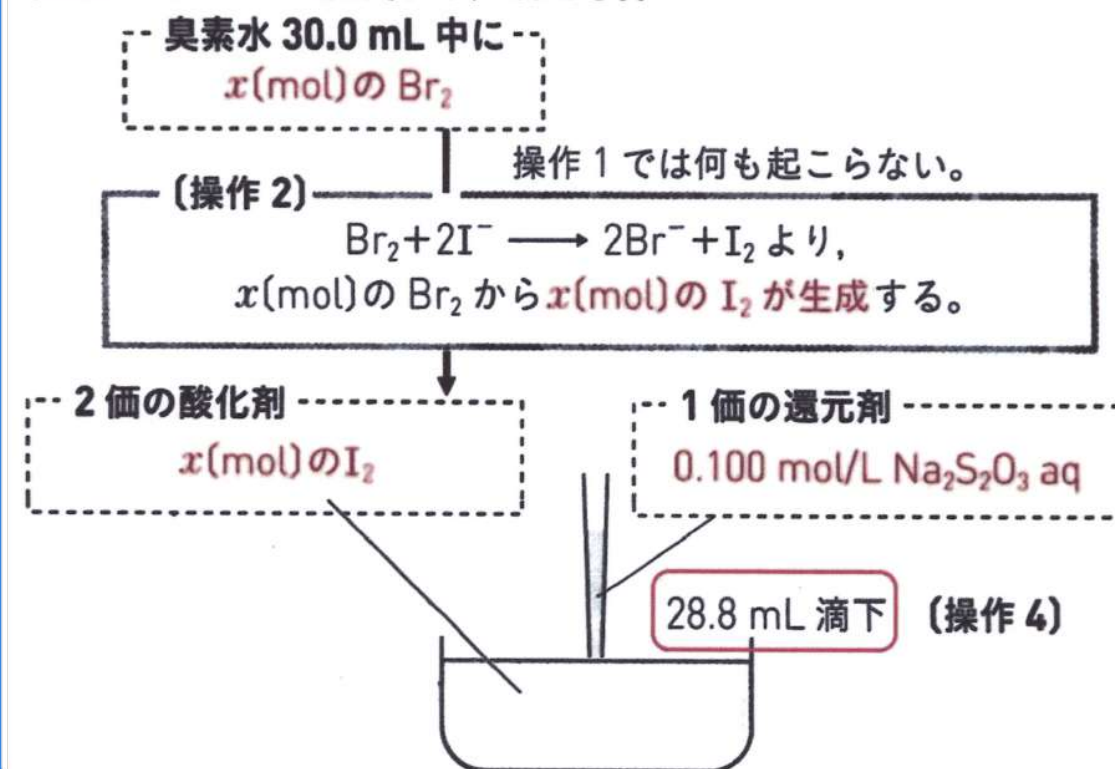
$$2(\text{価}) \times 3y(\text{mol}) = 1(\text{価}) \times 1.80 \times 10^{-3}(\text{mol})$$

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

〈フェノール水溶液を用いた場合(以下, 滴定②)〉



〈蒸留水を用いた場合(以下, 滴定①)〉



『還元剤の物質量(mol)は?』

〈滴定②〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{10.8}{1000} = 1.08 \times 10^{-3}(\text{mol})$

〈滴定①〉 還元剤($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) $\Rightarrow 0.100 \times \frac{28.8}{1000} = 2.88 \times 10^{-3}(\text{mol})$

〈両滴定の差〉 $2.88 \times 10^{-3} - 1.08 \times 10^{-3} = 1.80 \times 10^{-3}(\text{mol})$ が
両流れ図から明らかなように $3y[\text{mol}]$ の I_2 の滴定に使われた。

step2 式への代入

酸化剤の価数 $\times$ その物質量(mol) = 還元剤の価数 $\times$ その物質量(mol)

$$2(\text{価}) \times 3y(\text{mol}) = 1(\text{価}) \times 1.80 \times 10^{-3}(\text{mol})$$

より、 $y = 3.00 \times 10^{-4}(\text{mol})$ が求められる。

step3 計算の結果を，要求されている解答の形式に整える。

$$\text{モル濃度} = \frac{\text{溶質の物質質量 (mol)}}{\text{溶液の体積 (L)}} = \frac{3.00 \times 10^{-4}}{\frac{25.0}{1000}} = 1.20 \times 10^{-2} (\text{mol/L})$$

解答 $1.2 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

重要な化学工業の仕組みを理解できる程度に、電気分解に触れるのだと。

- ① イオン交換膜法**
- ② 銅の電解精錬**
- ③ アルミニウムの溶融塩電解**

電解質水溶液の電気分解

■陽極における電極反応

陽極における電極反応

白金電極か炭素電極である場合

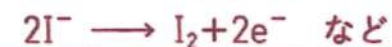
左記以外の電極である場合

電極自身が溶解する。



電解質水溶液中にハロゲン化物イオンがある場合

ハロゲンの単体が生成する。



生成した塩素は気体として発生する。

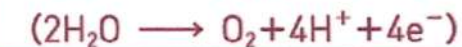
生成したヨウ素はヨウ化物イオンと反応し水溶液中に溶解する。



よって、ヨウ素の結晶は析出しない。

電解質水溶液中に左記のイオンがない場合

酸素が発生する。



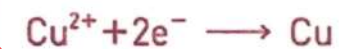
陽極における酸素の発生は、水溶液が塩基性
のとき、 $4\text{OH}^{-} \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^{-}$
と記述されるが、水溶液が酸性または中性の
ときには、 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-}$
と記述される。

■陰極における電極反応

陰極における電極反応

電解質水溶液中に銅や銀などの
重金属のイオンがある場合

重金属の単体が析出する。



ここでいう重金属のイオンとは、イオン
化傾向が亜鉛～銀の範囲にある金属のイオ
ンをさす。

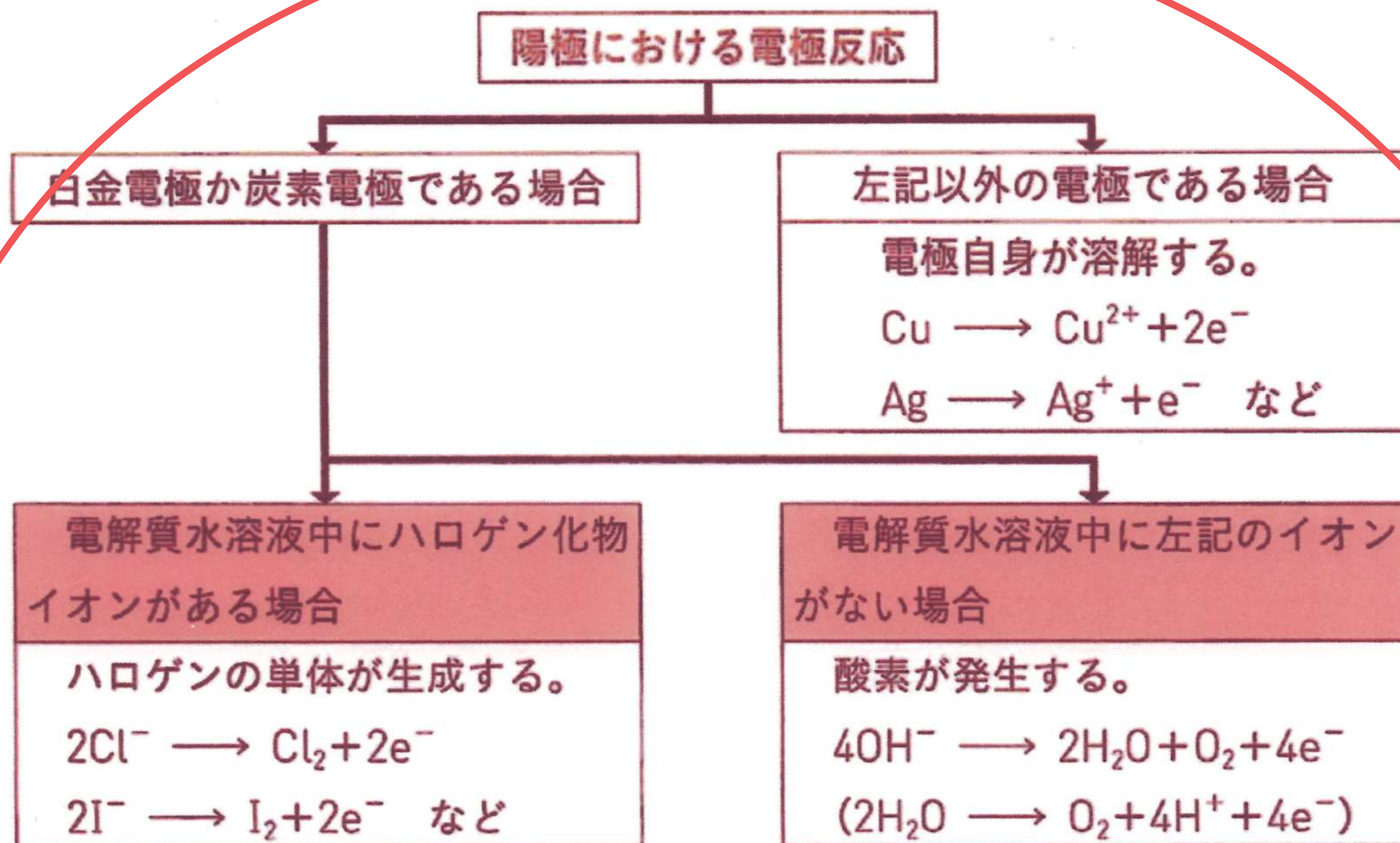
電解質水溶液中に左記のイオン
がない場合

水素が発生する。



陰極における水素の発生は、水溶液が酸性の
とき、 $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2$
と記述されるが、水溶液が塩基性または中性の
ときには、 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$
と記述される。

■陽極における電極反応



生成した塩素は気体として発生する。
生成したヨウ素はヨウ化物イオンと反応し水溶液中に溶解する。
$$\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$$

よって、ヨウ素の結晶は析出しない。

陽極における酸素の発生は、水溶液が塩基性のとき、 $4\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$ と記述されるが、水溶液が酸性または中性のときには、 $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ と記述される。

■陰極における電極反応

陰極における電極反応

電解質水溶液中に銅や銀などの
重金属のイオンがある場合

重金属の単体が析出する。



ここでいう重金属のイオンとは、イオン化傾向が亜鉛～銀の範囲にある金属のイオンをさす。

電解質水溶液中に左記のイオン
がない場合

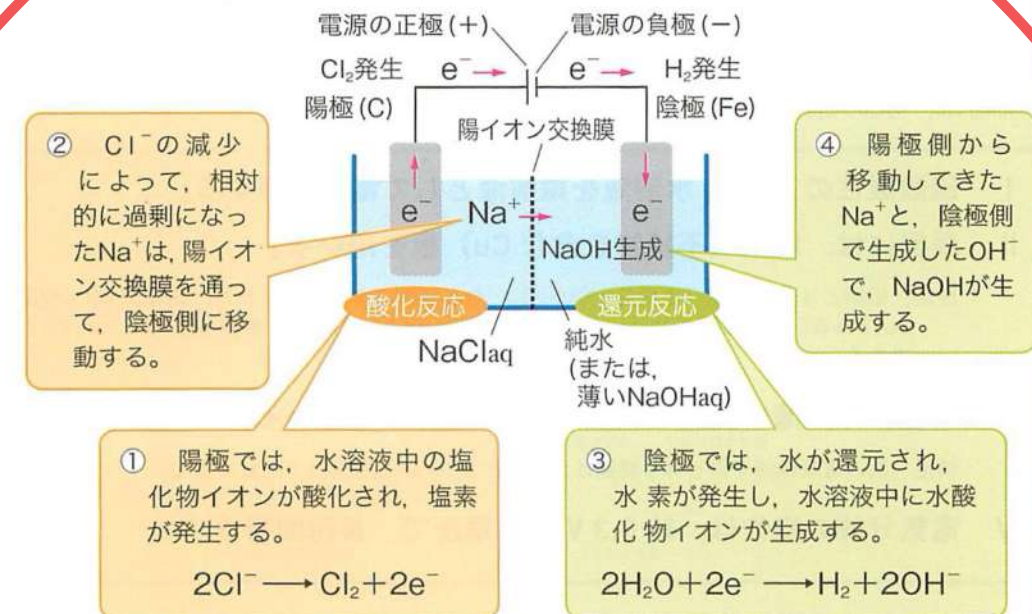
水素が発生する。



陰極における水素の発生は、水溶液が酸性のとき、 $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2$ と記述されるが、水溶液が塩基性または中性のときには、 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$ と記述される。

イオン交換膜法って？

電気分解を応用した、水酸化ナトリウム NaOH の工業的製法のこと。



イオン交換膜法全体では、次の反応が起こる。

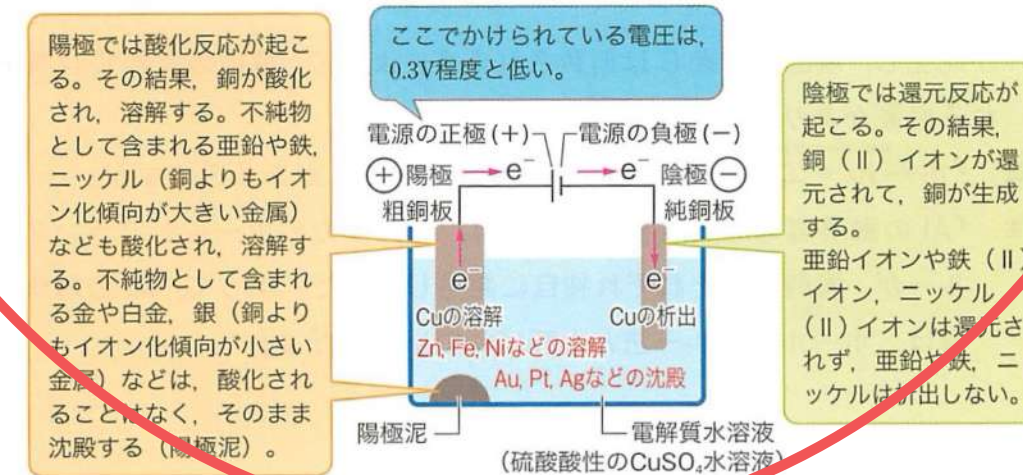


かつての隔膜法に比べて、純度の高い NaOH が得られる。

かつての NaOH の工業的製法

銅の電解精錬って？

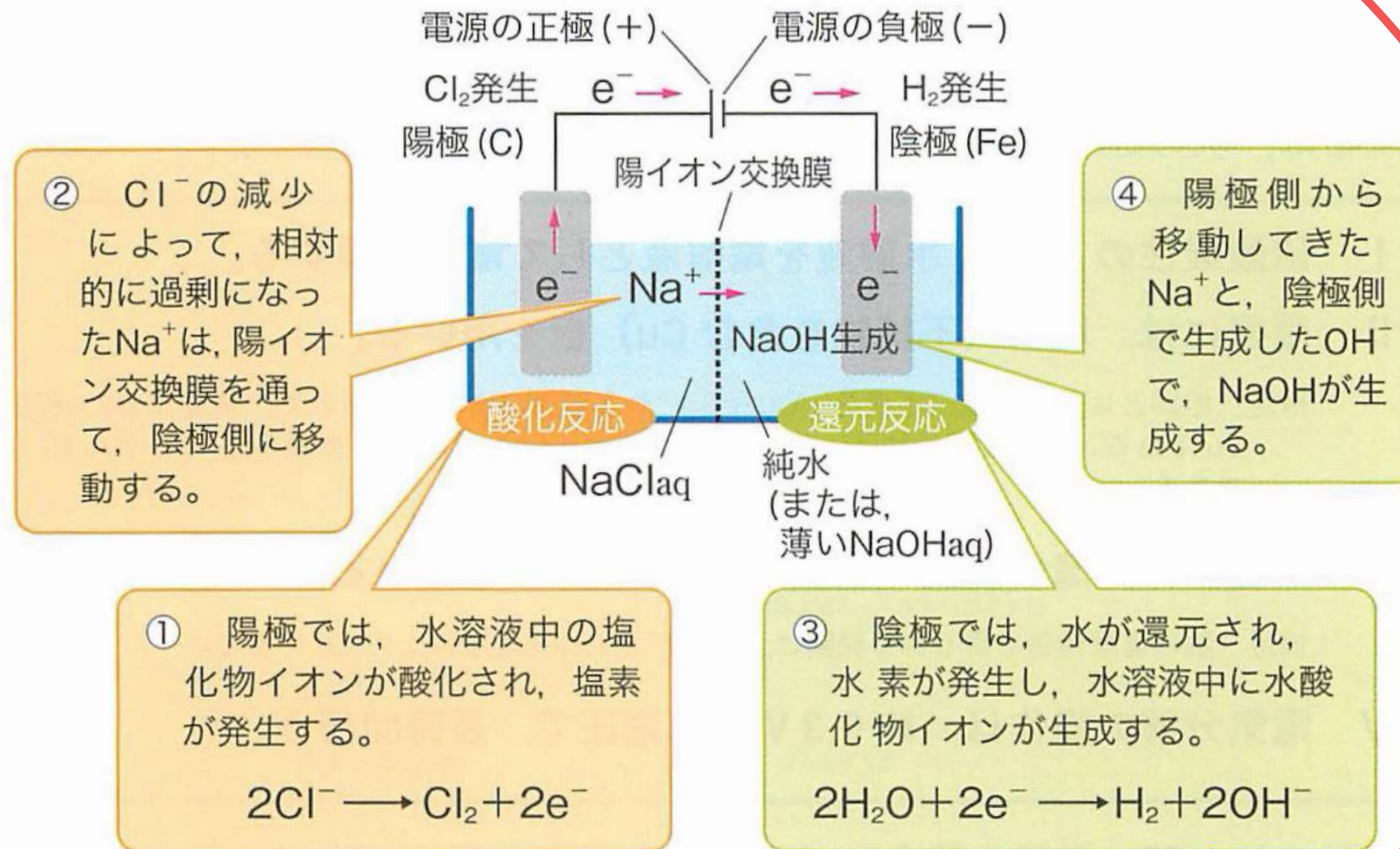
電気分解を応用した、銅 Cu の精錬法のこと。



銅が陽極から陰極に移動する！

イオン交換膜法って？

電気分解を応用した、水酸化ナトリウム NaOH の工業的製法のこと。



イオン交換膜法全体では、次の反応が起こる。

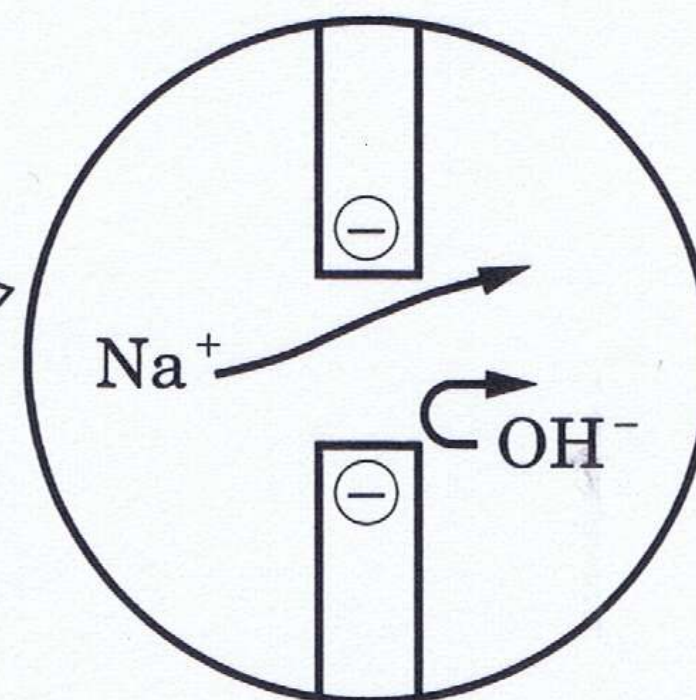
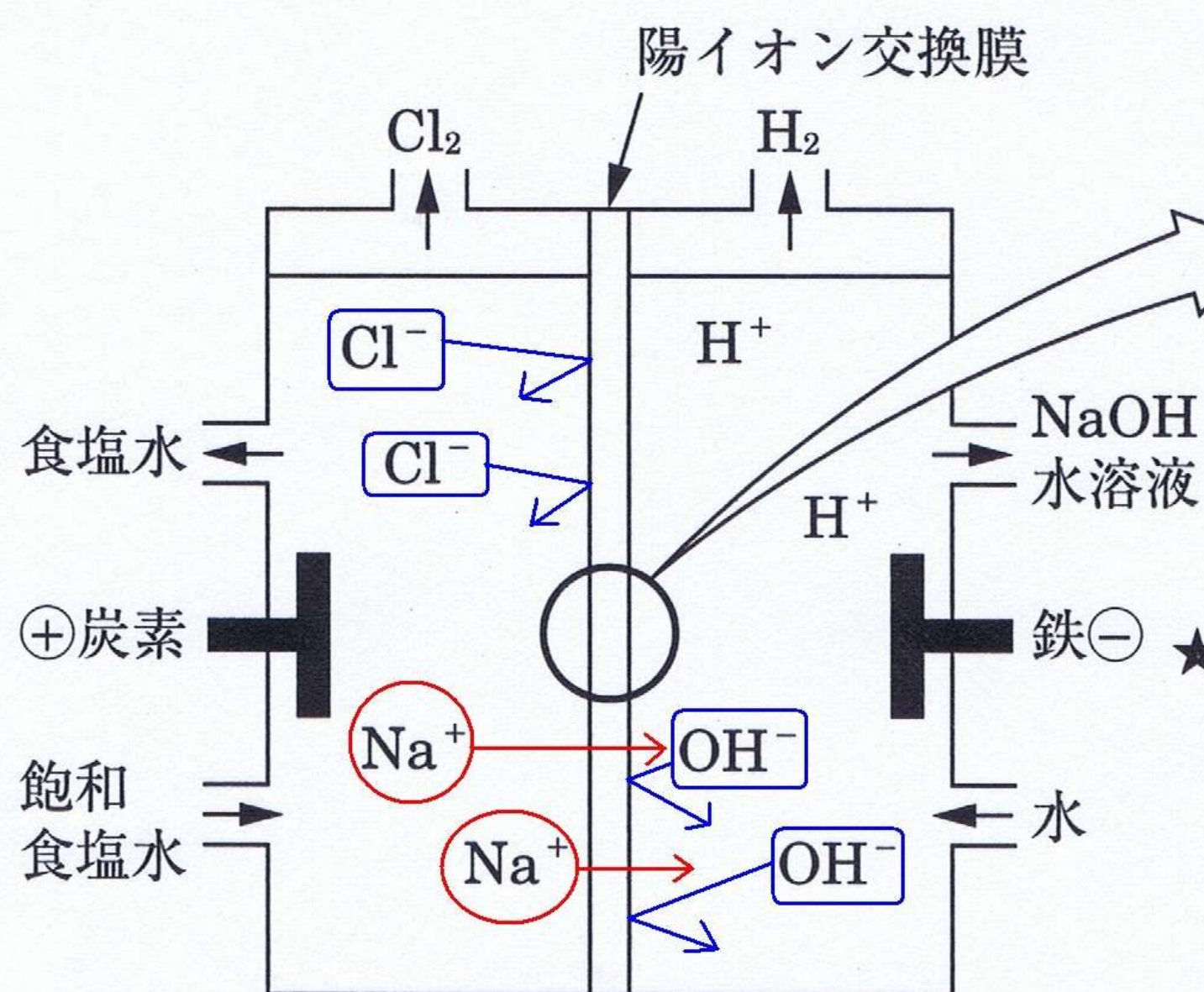


かつての隔膜法に比べて、純度の高い NaOH が得られる。

かつての NaOH の工業的製法

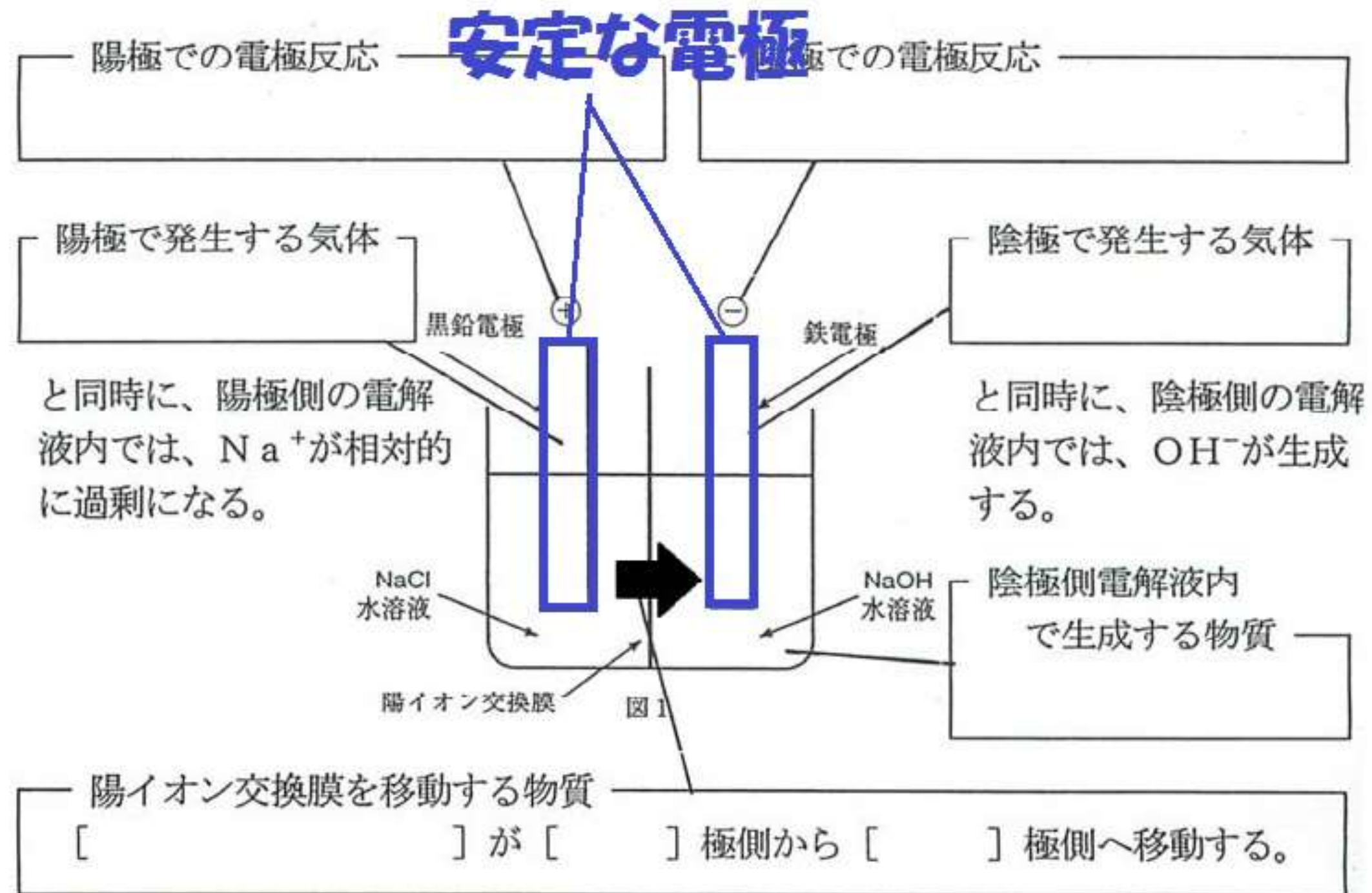
再度

ちなみに、陽イオン交換膜とは？

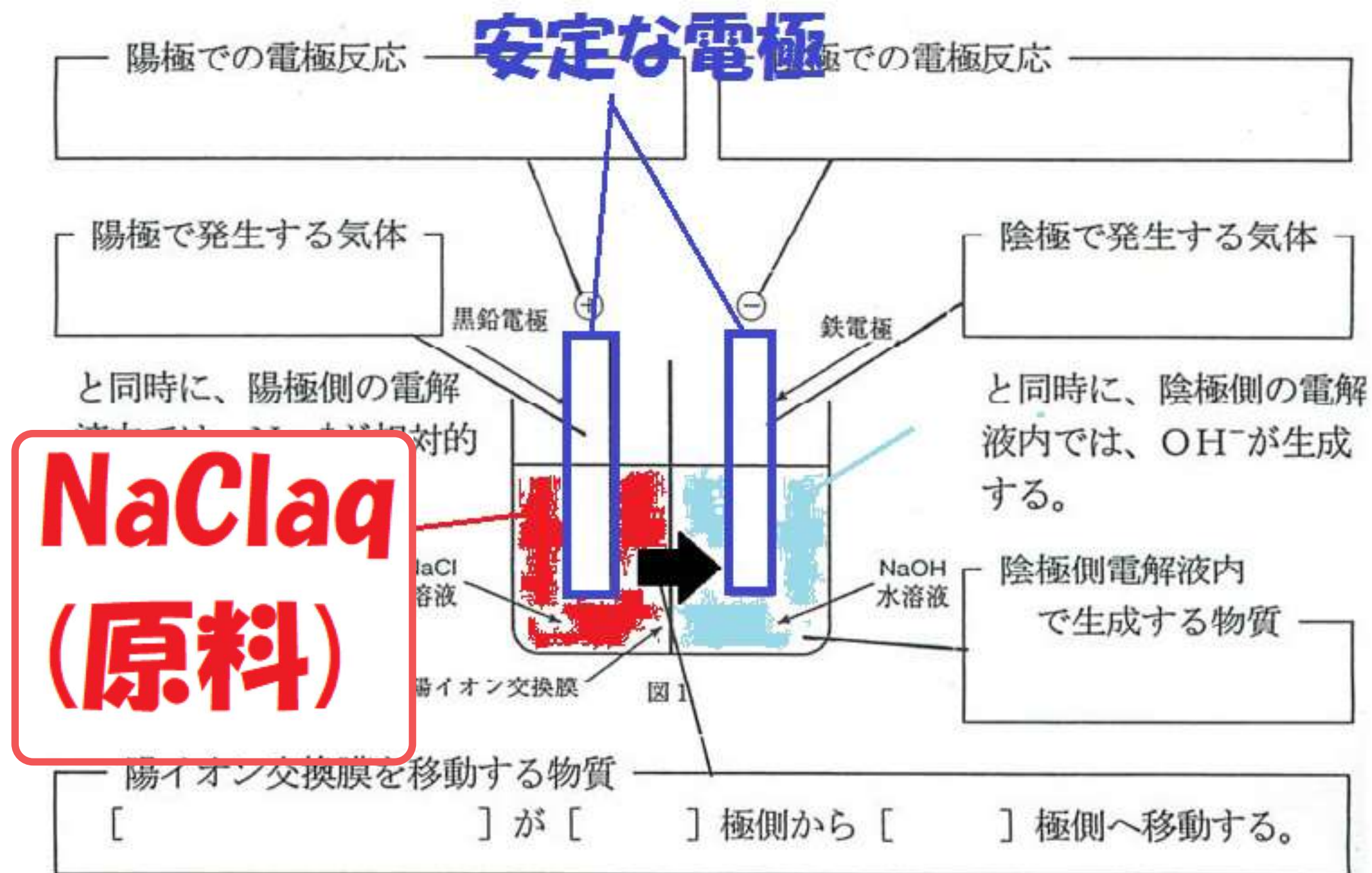


★ 陽イオン交換膜は膜の穴の内面が負の電荷を帯びているため、陽イオンは通れるが、陰イオンは通ることができない。

イオン交換膜法の概略



イオン交換膜法の概略



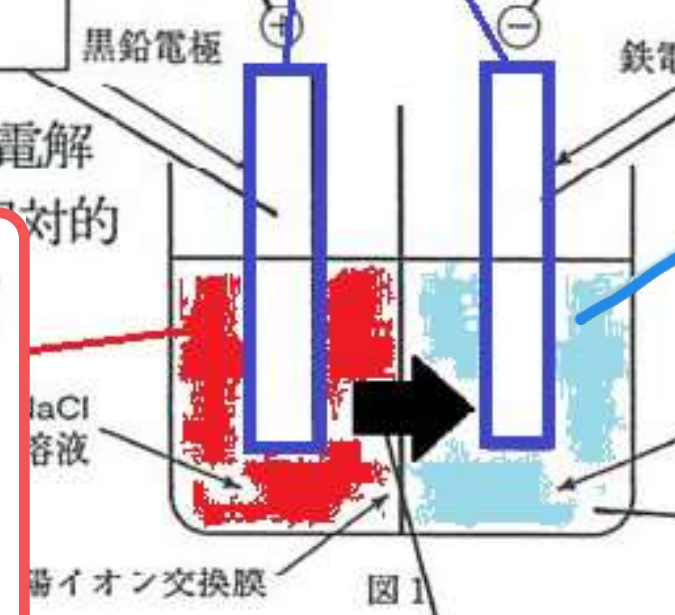
イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応 — **安定な電極** — 陰極での電極反応

陽極で発生する気体 陰極で発生する気体

と同時に、陽極側の電解液は、**NaCl** 溶液

NaCl aq
(原料)



反応式上は純水で良い。
ただ、電気伝導性などを
考慮して、薄いNaOH aq
が用いられる。

陽イオン交換膜を移動する物質
[] が [] 極側から [] 極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応



陽極で発生する気体



黒鉛電極

+

と同時に、陽極側の電解液内では、 Na^+ が相対的に過剰になる。

NaCl
水溶液

陽イオン交換膜

図1

陽極で起こる反応

1. 電極の溶解
2. ハロゲン単体の生成
3. 酸素の発生

と同時に、陰極側の電解液内では、 OH^- が生成する。

NaOH
水溶液

陰極側電解液内で生成する物質

陽イオン交換膜を移動する物質

[] が [] 極側から [] 極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応



陽極で発生する気体



と同時に、陽極側の電解液内では、 Na^+ が相対的に過剰になる。

相対的に過剰の Na^+

水溶液

陰極での電極反応

陰極で発生する気体

同時に、陰極側の電解液内では、 OH^- が生成する。

陰極側電解液内で生成する物質

陽イオン交換膜

図1

陽イオン交換膜を移動する物質

②



が [陽]

[陰]

極側へ移動する。

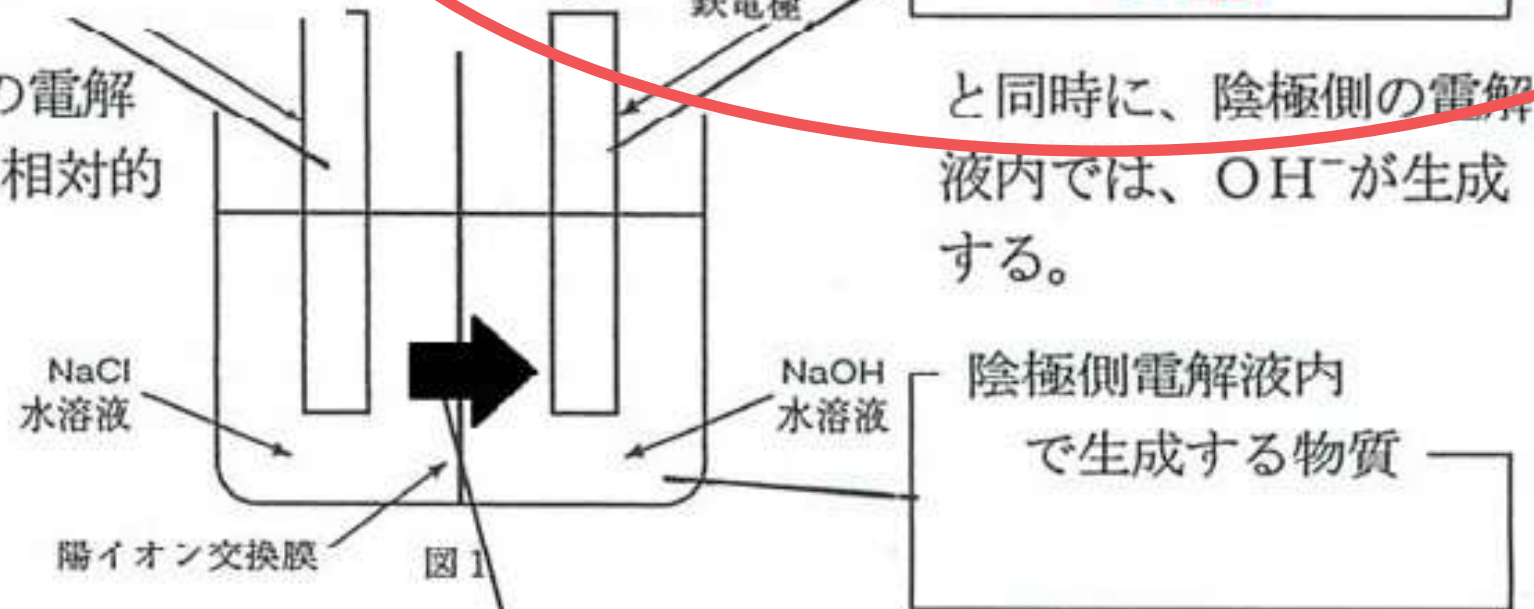
イオン交換膜法の概略

陰極で起こる反応

1. 重金属単体の析出

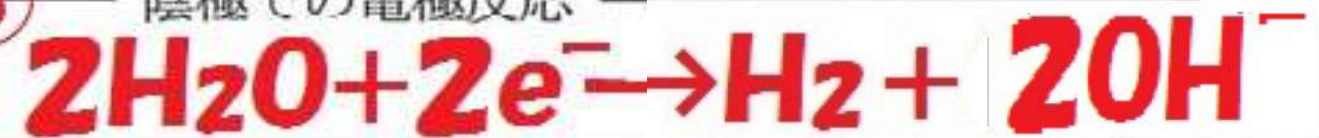
2. 水素の発生

と同時に、陽極側の電解液内では、 Na^+ が相対的に過剰になる。



③

陰極での電極反応



陰極で発生する気体

H_2

と同時に、陰極側の電解液内では、 OH^- が生成する。

陰極側電解液内で生成する物質

陽イオン交換膜を移動する物質

②

Na^+

が [陽]

極側から

[陰]

極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応



陽極で発生する気体



と同時に、陽極側の電解液内では、 Na^+ が相対的に過剰になる。

相対的に過剰の Na^+

②

陽イオン交換膜を移動する物質



が [陽] 極側から [陰] 極側へ移動する。

③

陰極での電極反応



陰極で発生する気体



生成した OH^- は陽イオン交換膜を通過できない。

陰極側電解液内で生成する物質
④ NaOH

黒鉛電極

鉄電極

陽イオン交換膜

図1

NaOH
水溶液

イオン交換膜法の全体反応

陽極:

陰極:

全体反応(イオン反応式)

全体反応(化学反応式)

イオン交換膜法の全体反応



陰極:

全体反応(イオン反応式)

全体反応(化学反応式)

イオン交換膜法の全体反応



全体反応(イオン反応式)

全体反応(化学反応式)

イオン交換膜法の全体反応



全体反応(化学反応式)

イオン交換膜法の全体反応



全体反応(化学反応式)

イオン交換膜法の全体反応



食塩水から塩素(水素)、水酸化ナトリウムが得られた！

イオン交換膜法の全体反応



食塩水から塩素(水素)、水酸化ナトリウムが得られた！

～イオン交換膜法の全体反応～



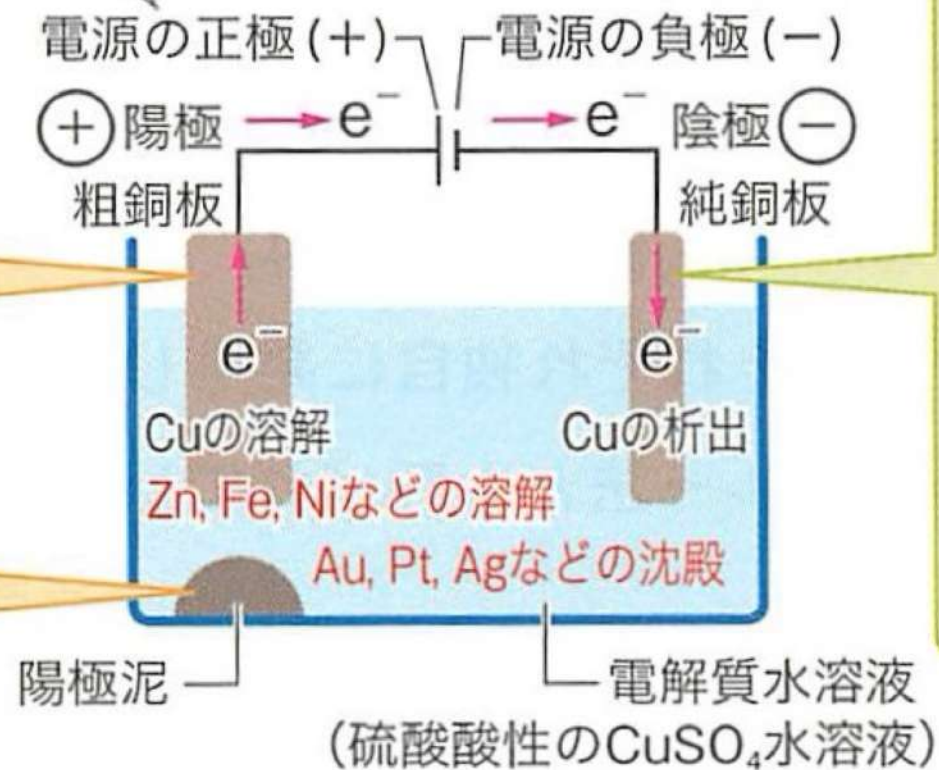
自然には起こりえない反応が起こっているね！！

銅の電解精錬って？

電気分解を応用した，銅 Cu の精錬法のこと。

陽極では酸化反応が起こる。その結果，銅が酸化され，溶解する。不純物として含まれる亜鉛や鉄，ニッケル（銅よりもイオン化傾向が大きい金属）なども酸化され，溶解する。不純物として含まれる金や白金，銀（銅よりもイオン化傾向が小さい金属）などは，酸化されることはなく，そのまま沈殿する（陽極泥）。

ここでかけられている電圧は，0.3V程度と低い。



陰極では還元反応が起こる。その結果，銅 (II) イオンが還元されて，銅が生成する。亜鉛イオンや鉄 (II) イオン，ニッケル (II) イオンは還元されず，亜鉛や鉄，ニッケルは析出しない。

銅が陽極から陰極に移動する！

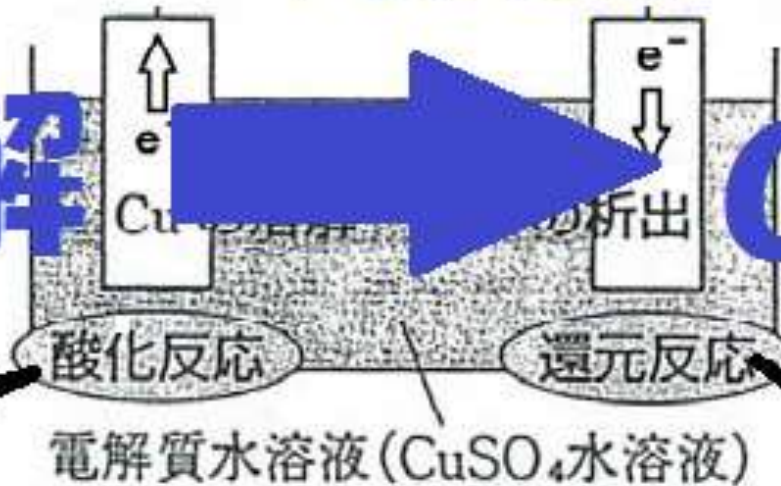
再度

銅電極を用いて硫酸銅水溶液を電気分解すると？

電源の正極(+) 電源の負極(-)

Cuの移動！！

Cuの溶解



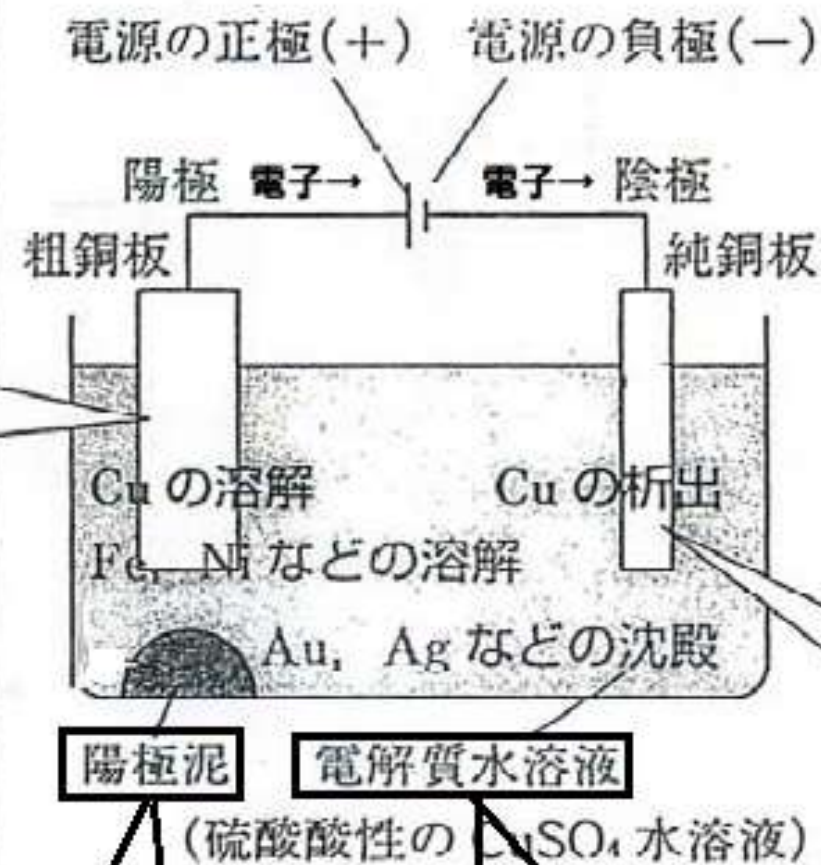
Cuの析出



ある意味では『魔法』みたい (！_！)。

では、不純物を考慮して再整理しよう。

銅の電解精錬の概略



銅の電解精錬の概略



金や銀は溶解しない。
慎重に電圧(電流)
を調整し続ける。

メモ不要

余白をキープ！



銅のみが析出する。
慎重に電圧(電流)
を調整し続ける。

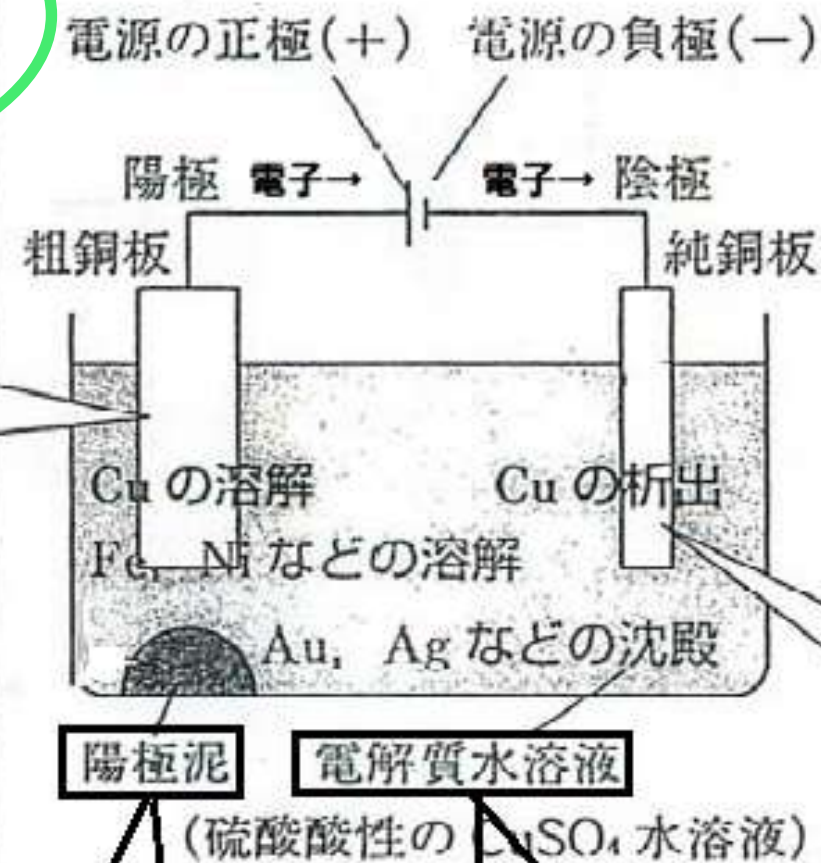
メモ不要

銅の電解精錬の概略

Au
Ag

メモ不要

慎重に電圧(電流)
を調整し続ける。

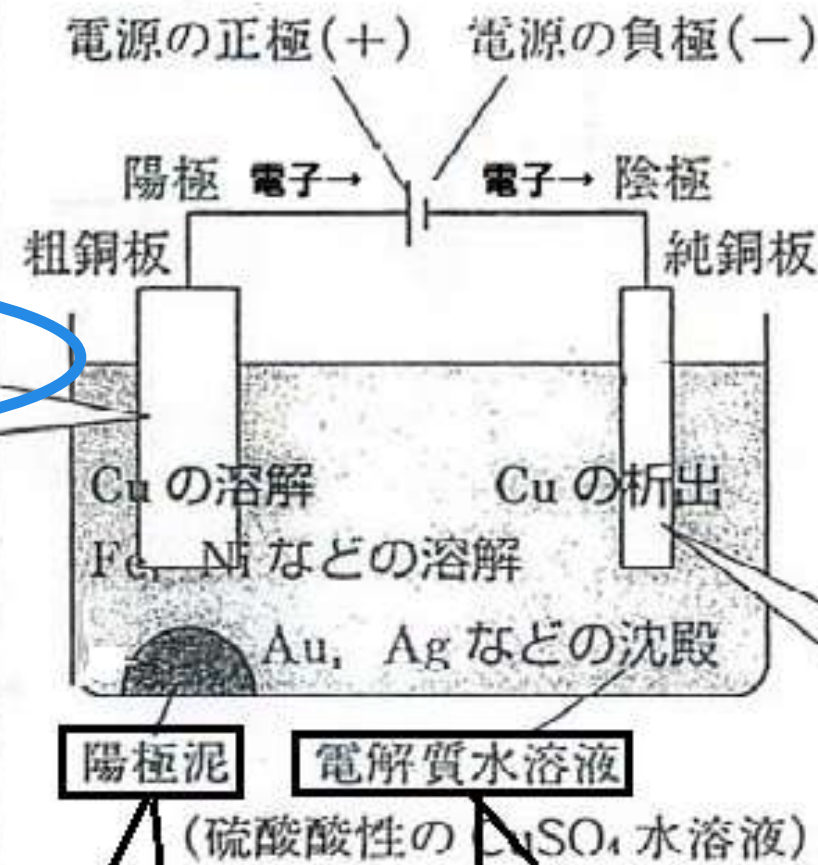


Au, Ag: 陽極泥として沈殿

銅の電解精錬の概略

Au

Ag



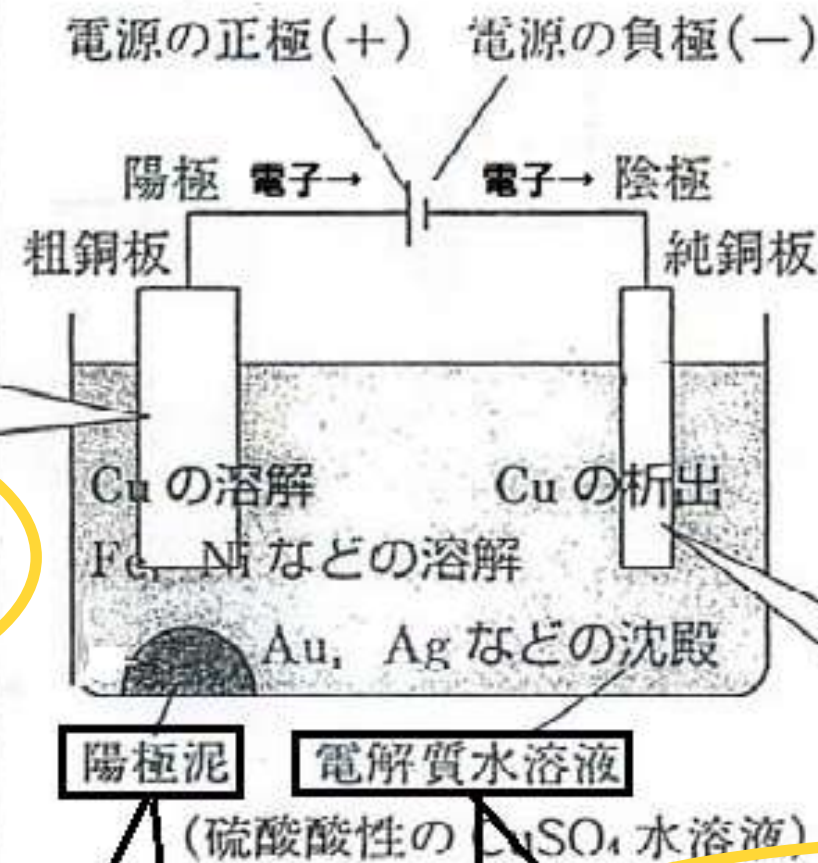
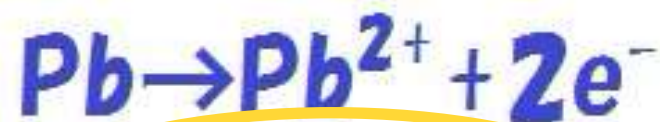
Au, Ag: 陽極泥として沈殿

Pb^{2+} : PbSO₄ となって沈殿

銅の電解精錬の概略

Au

Ag



銅のみが析出する
ように、慎重に電圧
(電流)を調整し続け
る。 メモ不要

Au, Ag: 陽極泥として沈殿

Pb^{2+} : PbSO_4 となって沈殿

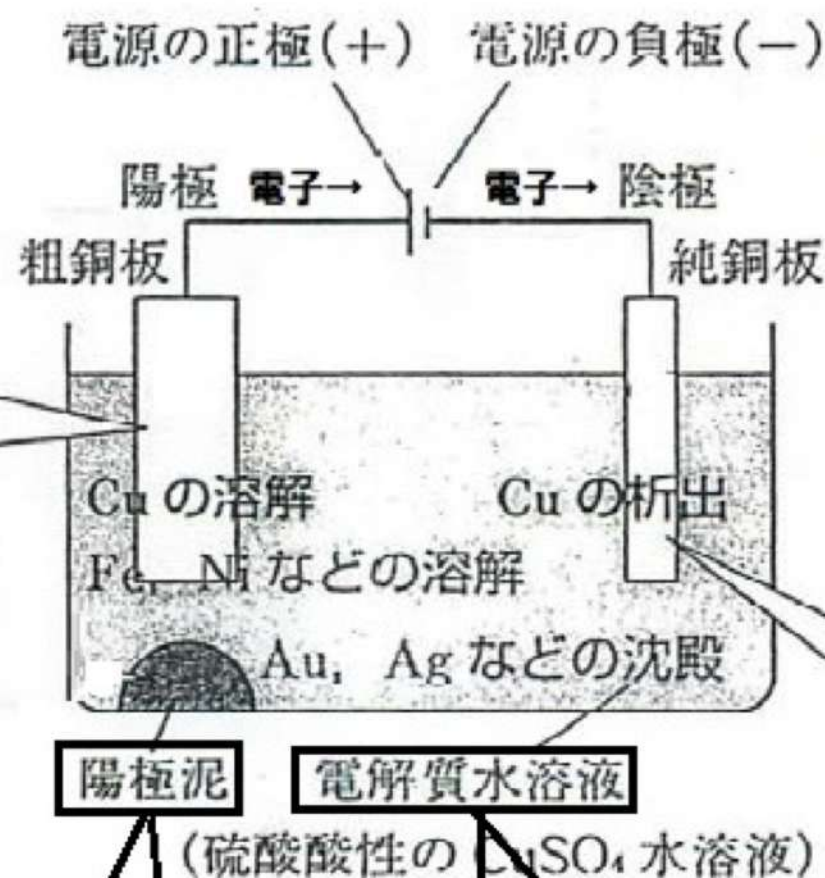
$\text{Fe}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$: イオンのまま、
水溶液中にとどまる。

慎重に電圧(電流)
を調整し続ける。
メモ不要

結果的に不純物が除去された！

Au

Ag



銅のみが析出する
ように、慎重に電圧
(電流)を調整し続ける。

Au, Ag: 陽極泥として沈殿

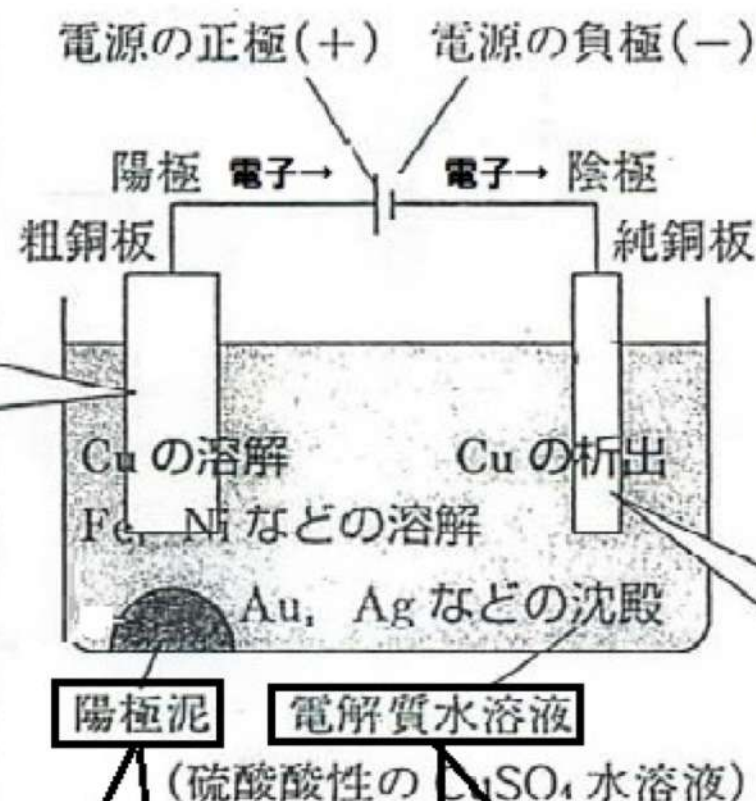
Pb^{2+} : PbSO_4 となって沈殿

$\text{Fe}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$: イオンのまま、
水溶液中にとどまる。

結果的に不純物が除去された！

Au

Ag



銅のみが析出する
ように、慎重に電圧
(電流)を調整し続ける。

Au, Ag: 陽極泥として沈殿

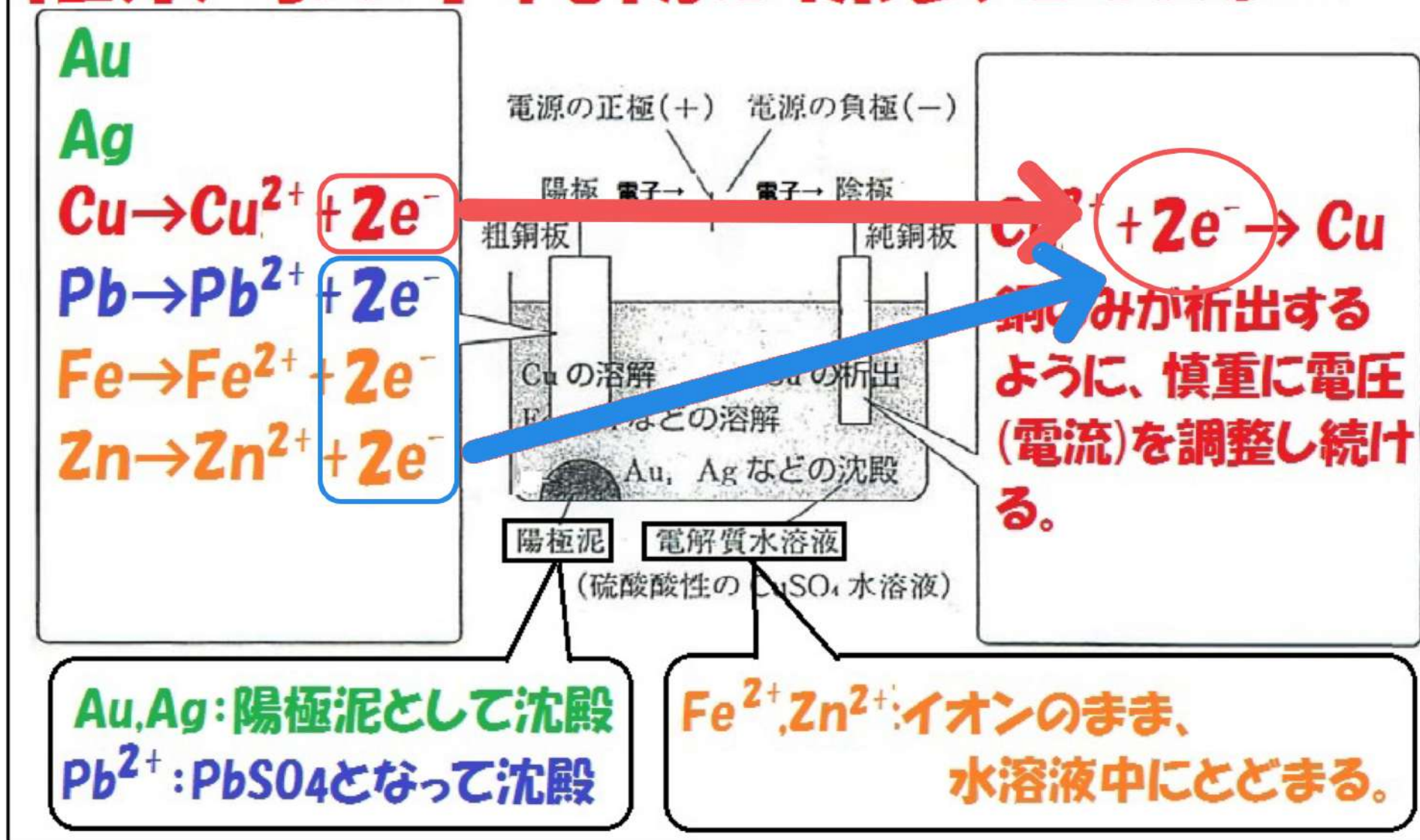
Pb^{2+} : PbSO_4 となって沈殿

$\text{Fe}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$: イオンのまま、
水溶液中にとどまる。

質問

『陽極で溶解する銅の物質質量』と『陰極で析出する銅の物質質量』では、どちらが多い？

結果的に不純物が除去された！



質問

『陽極で溶解する銅の物質量』と『陰極で析出する銅の物質量』では、どちらが多い？

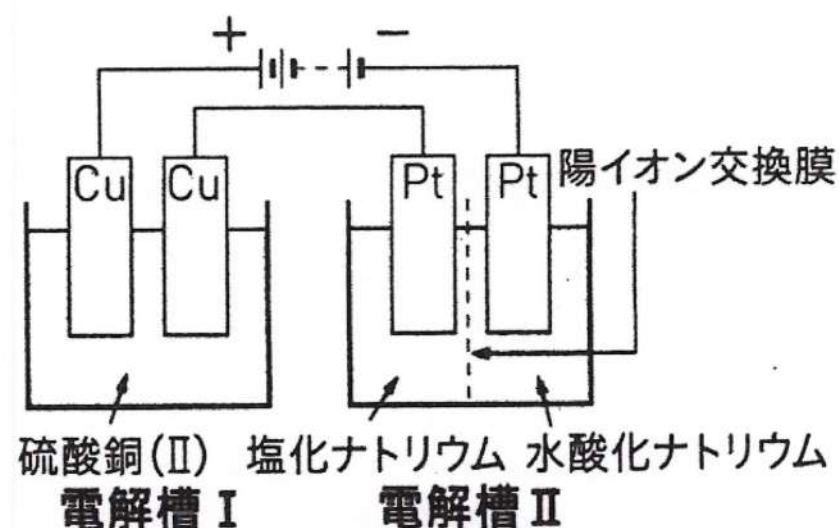
解答

陰極で析出する銅の物質量の方が多い。
(不純物の分だけ多い)

【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

電気分解に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。必要ならば、ファラデー定数 $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 、アボガドロ定数 $N_A=6.02 \times 10^{23} \text{ /mol}$ とせよ。計算の結果は小数点以下第2位を四捨五入し、また発生した気体は溶液に溶けず、溶液の体積は変化しないものとする。電解槽Ⅰでは気体は発生しないものとする。ただし原子量は $\text{Cu}=63.5$ とする。

右図のように電解槽を2つ直列につないで電気分解を行った。電解槽Ⅰには硫酸銅(Ⅱ)の水溶液が、電解槽Ⅱには陽イオン交換膜をはさんで陽極側には 1 mol/L の塩化ナトリウム水溶液が 1 L 、陰極側には 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液が 1 L 入っている。電解槽Ⅰの電極は銅製、電解槽Ⅱの電極は白金製である。ある一定の電流で1時間電解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が 6.35 g 増加した。



問1 通電した電流は何 A か。

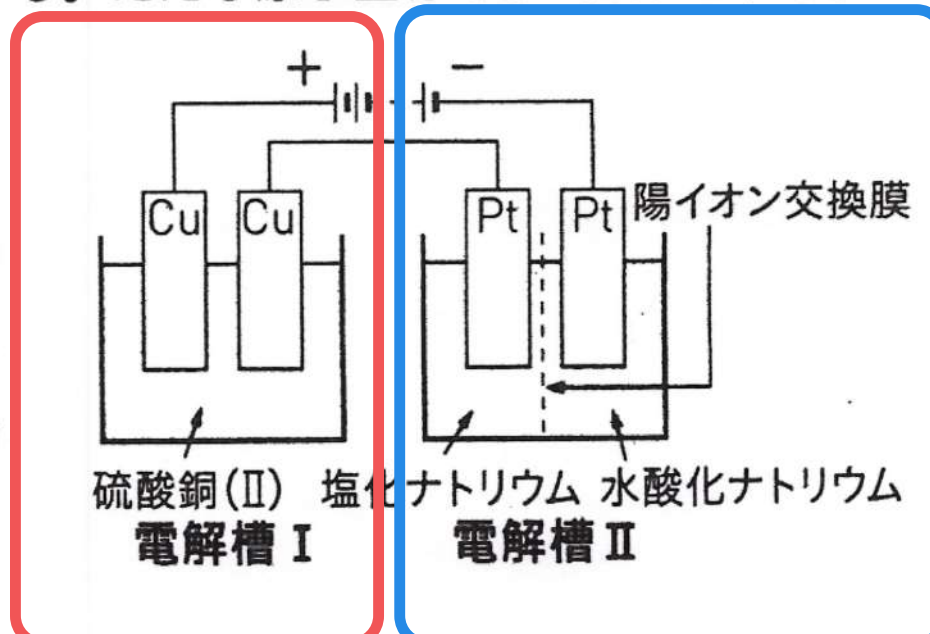
問2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

電気分解に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。必要ならば、ファラデー定数 $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ 、アボガドロ定数 $N_A=6.02 \times 10^{23} \text{ /mol}$ とせよ。計算の結果は小数点以下第2位を四捨五入し、また発生した気体は溶液に溶けず、溶液の体積は変化しないものとする。電解槽Ⅰでは気体は発生しないものとする。ただし原子量は $\text{Cu}=63.5$ とする。

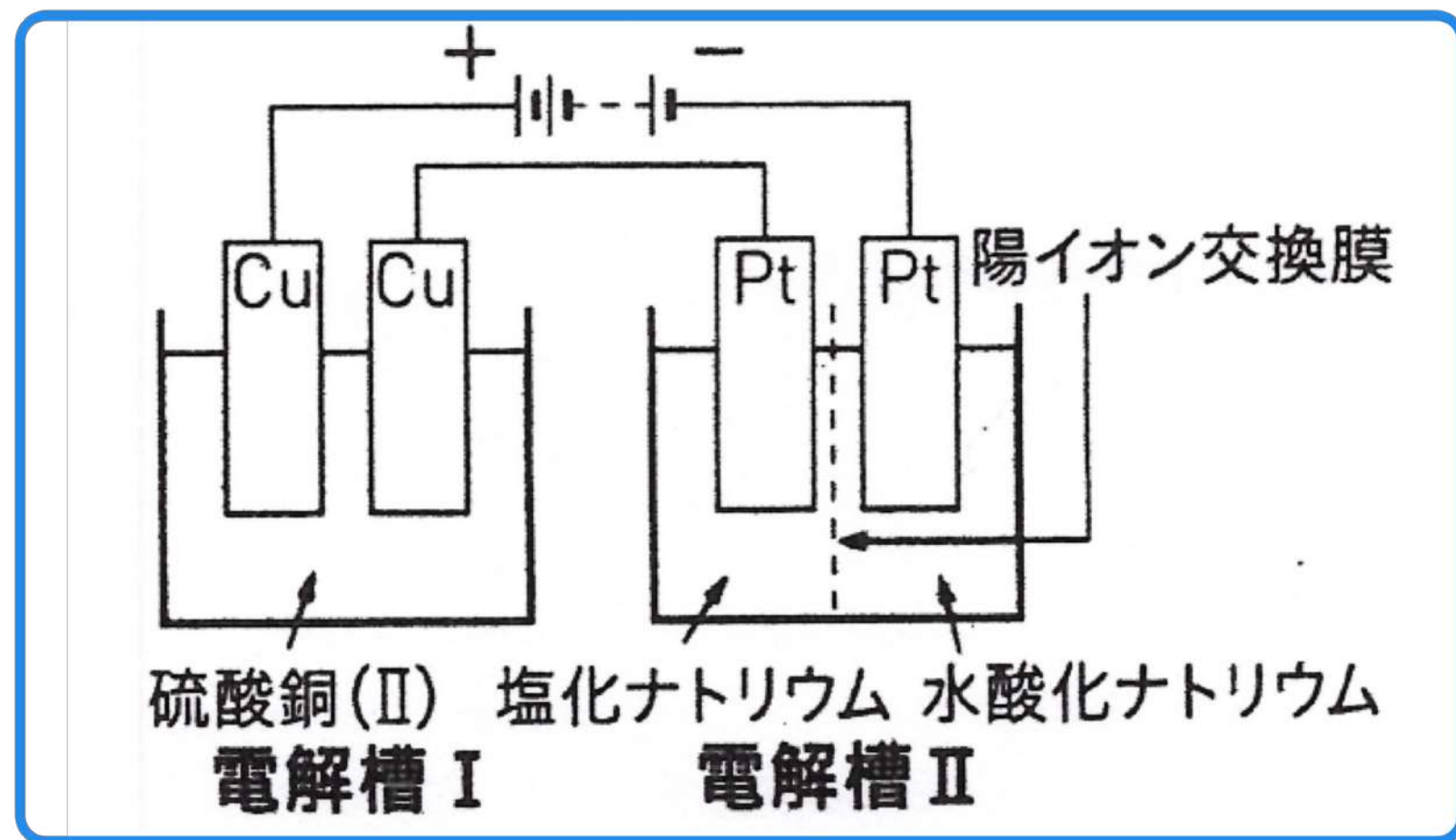
右図のように電解槽を2つ直列につないで電気分解を行った。電解槽Ⅰには硫酸銅(Ⅱ)の水溶液が、電解槽Ⅱには陽イオン交換膜をはさんで陽極側には 1 mol/L の塩化ナトリウム水溶液が 1 L 、陰極側には 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液が 1 L 入っている。電解槽Ⅰの電極は銅製、電解槽Ⅱの電極は白金製である。ある一定の電流で1時間電解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が 6.35 g 増加した。



問1 通電した電流は何 A か。

問2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

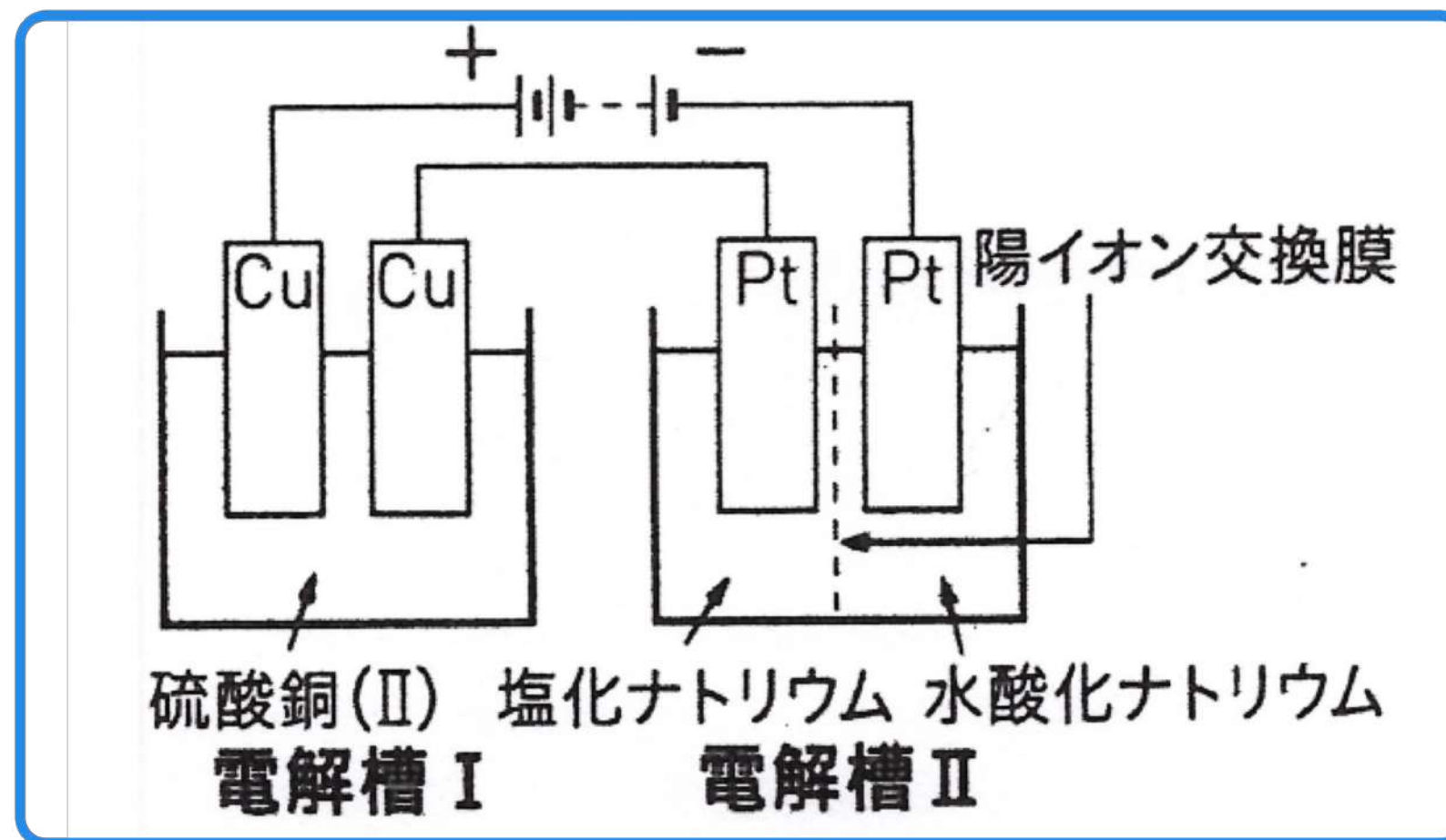


【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

stepⅠ 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

電解槽Ⅰ	陽極	
	陰極	
電解槽Ⅱ	陽極	
	陰極	

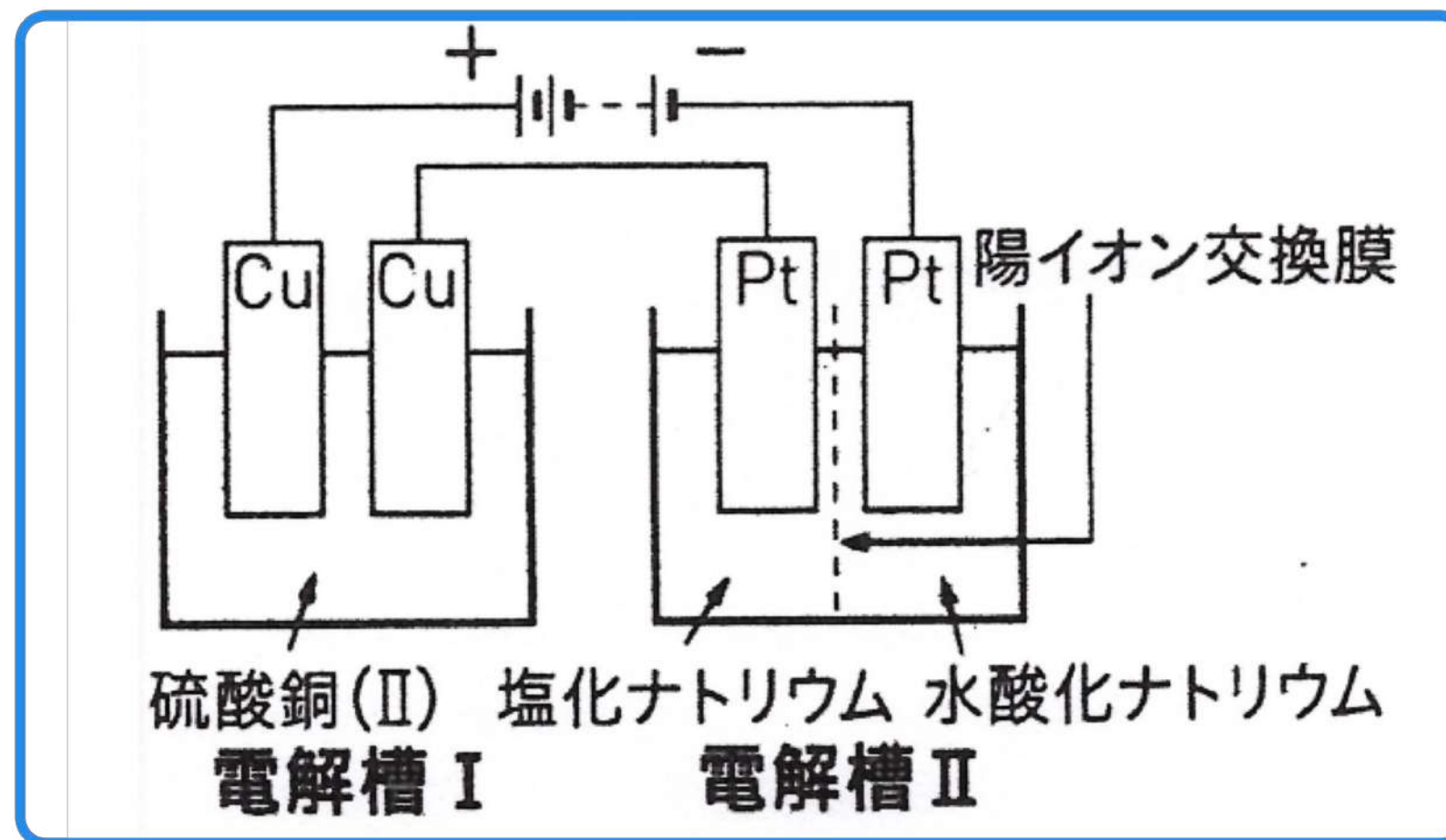


【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

電解槽 I	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	
電解槽 II	陽極	
	陰極	

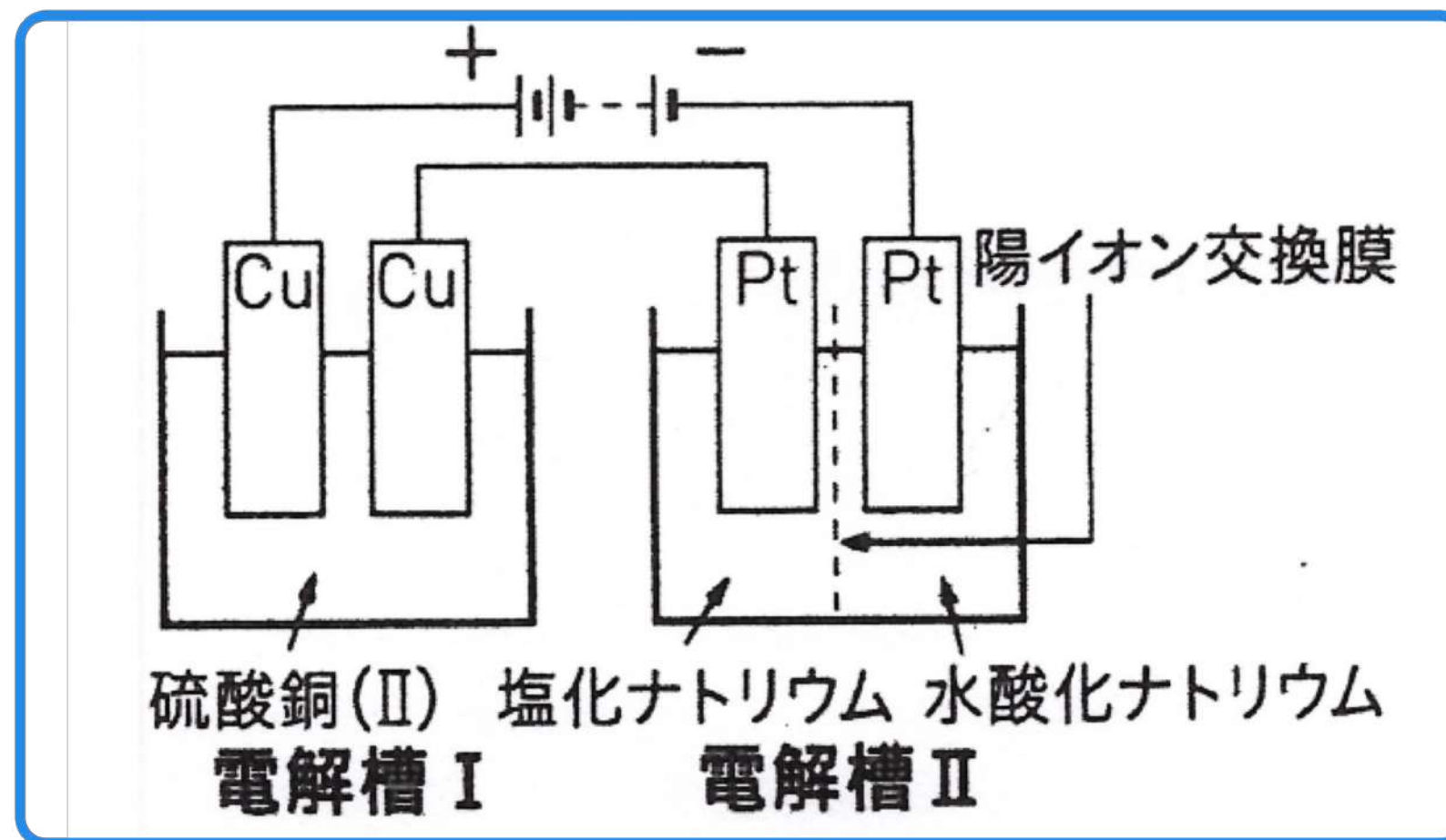


【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

電解槽 I	陽極	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$
電解槽 II	陽極	
	陰極	

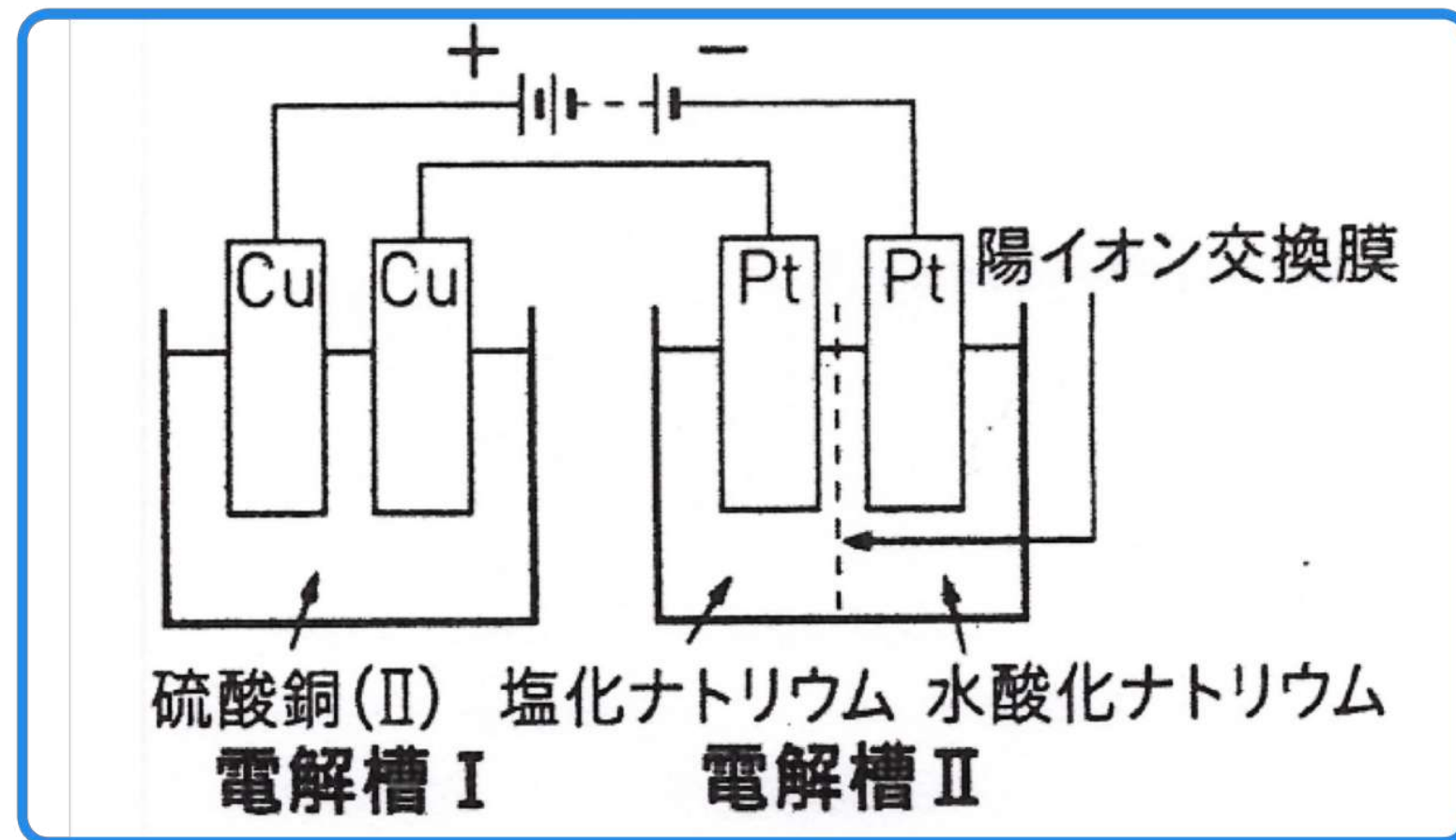


【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

stepⅠ 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^{-} \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^{-}$
	陰極	



【銅の電解精錬とイオン交換膜法】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

電解槽 I	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽 II	陽極	$2\text{Cl}^{-} \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^{-}$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$

『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、

『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が6.35 g増加した。

問1 通電した電流は何Aか。

問2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何mol/Lとなったか。

また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何mol/Lとなったか。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽Ⅰ	陰極	析出したCuの質量：
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質質量：
	陰極	生成した OH^- の物質質量：

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が 6.35 g 増加した。

問1 通電した電流は何 A か。

問2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。
また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量 : 6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質質量 :
	陰極	生成した OH^- の物質質量 :

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が 6.35 g 増加した。

問 1 通電した電流は何 A か。

問 2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質質量：a(mol)
	陰極	生成した OH^- の物質質量：

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^{-} \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^{-}$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$

解したところ、電解槽Ⅰの陰極側では銅イオンが還元され、陰極の質量が 6.35 g 増加した。

問 1 通電した電流は何 A か。

問 2 電解槽Ⅱの陽極側の塩化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

また、陰極側の水酸化ナトリウムの濃度は何 mol/L となったか。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^{-} の物質質量：a(mol)
	陰極	生成した OH^{-} の物質質量：b(mol)

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量： 6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

step2 式への代入

電解槽Ⅰ	陰極	
電解槽Ⅱ	陽極	
	陰極	

よって、 $x=a=b=0.20(\text{mol})$ が求められる。

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量 流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。		
電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

step2 式への代入

電解槽Ⅰ	陰極	$\frac{\text{Cu}}{2\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \Rightarrow \frac{63.5 \text{ g}}{2 \text{ mol}} = \frac{6.35 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽Ⅱ	陽極	
	陰極	

よって、 $x=a=b=0.20(\text{mol})$ が求められる。

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
 流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

step2 式への代入

電解槽Ⅰ	陰極	$\frac{\text{Cu}}{2\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \Rightarrow \frac{63.5 \text{ g}}{2 \text{ mol}} = \frac{6.35 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽Ⅱ	陽極	$\frac{2\text{Cl}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{x(\text{mol})}$
	陰極	

よって、 $x=a=b=0.20(\text{mol})$ が求められる。

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量 流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。		
電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

step2 式への代入

電解槽Ⅰ	陰極	$\frac{\text{Cu}}{2\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \Rightarrow \frac{63.5 \text{ g}}{2 \text{ mol}} = \frac{6.35 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽Ⅱ	陽極	$\frac{2\text{Cl}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{x(\text{mol})}$
	陰極	$\frac{2\text{OH}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{b(\text{mol})}{x(\text{mol})}$

よって、 $x = a = b = 0.20(\text{mol})$ が求められる。

電解槽Ⅰ	陽極	$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
	陰極	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$
電解槽Ⅱ	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

step2 式への代入

電解槽Ⅰ	陰極	$\frac{\text{Cu}}{2\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \longrightarrow \frac{63.5 \text{ g}}{2 \text{ mol}} = \frac{6.35 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽Ⅱ	陽極	$\frac{2\text{Cl}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{x(\text{mol})}$
	陰極	$\frac{2\text{OH}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{b(\text{mol})}{x(\text{mol})}$

よって、 $x=a=b=0.20(\text{mol})$ が求められる。

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

$$x = a = b = 0.20(\text{mol})$$

step3 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

流れた電流を i (アンペア) とおくと、

$$\begin{aligned} \text{流れた電気量 (C)} &= i(\text{アンペア}) \times \{1 \times 60 \times 60 (\text{秒})\} \\ &= 9.65 \times 10^4 (\text{C/mol}) \times 0.20(\text{mol}) \quad \text{より, } i = 5.36 (\text{アンペア}) \end{aligned}$$

電気分解後の陽極側の塩化ナトリウム水溶液の濃度は、
ので、
 $1 - 0.20 = 0.80 (\text{mol/L})$ であり、

電気分解後の陰極側の水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、
ので、 $0.1 + 0.20 = 0.30 (\text{mol/L})$ となる。

解答 問1 5.4 A 問2 陽極側：0.8 mol/L, 陰極側：0.3 mol/L

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

$$x = a = b = 0.20(\text{mol})$$

step3 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

流れた電流を i (アンペア) とおくと、

$$\text{流れた電気量 (C)} = i(\text{アンペア}) \times \{1 \times 60 \times 60 (\text{秒})\}$$

$$= 9.65 \times 10^4 (\text{C/mol}) \times 0.20(\text{mol}) \quad \text{より、} \quad i = 5.36 (\text{アンペア})$$

電気分解後の陽極側の塩化ナトリウム水溶液の濃度は、塩化物イオンが
 0.20 mol 減少し、同物質量のナトリウムイオンが陰極側に移動したので、
 $1 - 0.20 = 0.80 (\text{mol/L})$ であり、

電気分解後の陰極側の水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、

ので、 $0.1 + 0.20 = 0.30 (\text{mol/L})$ となる。

解答 問1 5.4 A 問2 陽極側：0.8 mol/L, 陰極側：0.3 mol/L

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽 I	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽 II	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

$$x = a = b = 0.20(\text{mol})$$

step3 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

流れた電流を i (アンペア) とおくと、

$$\begin{aligned} \text{流れた電気量 (C)} &= i(\text{アンペア}) \times \{1 \times 60 \times 60 (\text{秒})\} \\ &= 9.65 \times 10^4 (\text{C/mol}) \times 0.20(\text{mol}) \quad \text{より, } i = 5.36 (\text{アンペア}) \end{aligned}$$

電気分解後の陽極側の塩化ナトリウム水溶液の濃度は、塩化物イオンが
 0.20 mol 減少し、同物質量のナトリウムイオンが陰極側に移動したので、
 $1 - 0.20 = 0.80 (\text{mol/L})$ であり、

電気分解後の陰極側の水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、水酸化物イオンが 0.20 mol 増加し、同物質量のナトリウムイオンが陽極側から移動してきたので、 $0.1 + 0.20 = 0.30 (\text{mol/L})$ となる。

解答 問 1 5.4 A 問 2 陽極側：0.8 mol/L, 陰極側：0.3 mol/L

直列に接続された電解槽なので、どの陽極も陰極も同物質量
流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽Ⅰ	陰極	析出した Cu の質量：6.35 g
電解槽Ⅱ	陽極	減少した Cl^- の物質量： $a(\text{mol})$
	陰極	生成した OH^- の物質量： $b(\text{mol})$

$$x = a = b = 0.20(\text{mol})$$

step3 計算の結果を、要求されている解答の形式に整える。

流れた電流を i (アンペア) とおくと、

$$\begin{aligned}\text{流れた電気量 (C)} &= i(\text{アンペア}) \times \{1 \times 60 \times 60 (\text{秒})\} \\ &= 9.65 \times 10^4 (\text{C/mol}) \times 0.20(\text{mol}) \quad \text{より, } i = 5.36 (\text{アンペア})\end{aligned}$$

電気分解後の陽極側の塩化ナトリウム水溶液の濃度は、塩化物イオンが
0.20 mol 減少し、同物質量のナトリウムイオンが陰極側に移動したので、
 $1 - 0.20 = 0.80 (\text{mol/L})$ であり、

電気分解後の陰極側の水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、水酸化物イオンが 0.20 mol 増加し、同物質量のナトリウムイオンが陽極側から移動してきたので、 $0.1 + 0.20 = 0.30 (\text{mol/L})$ となる。

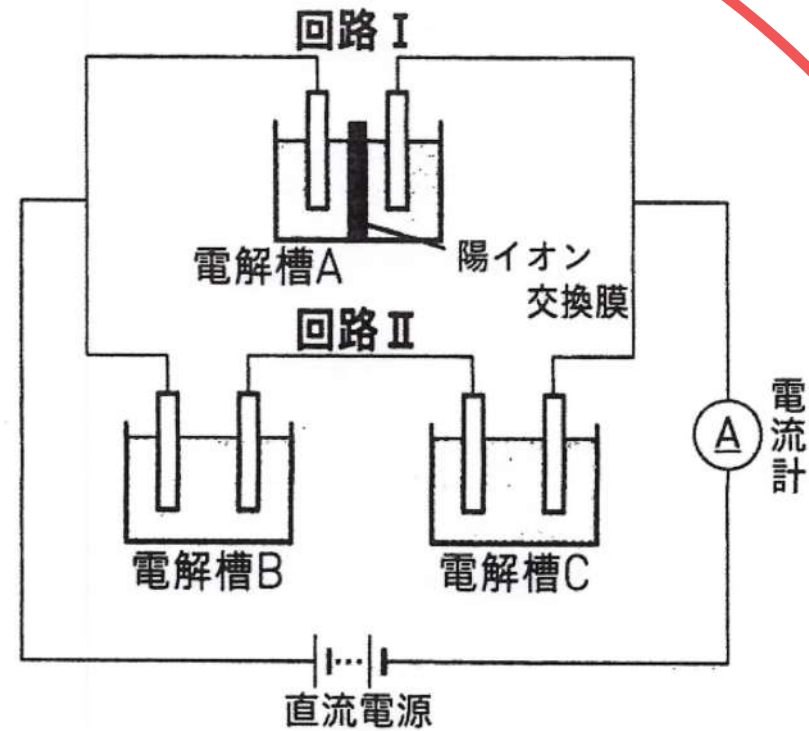
解答 問1 5.4 A 問2 陽極側：0.8 mol/L, 陰極側：0.3 mol/L

【並列の電気分解】

【並列の電気分解】

次の文章を読んで、以下の設問に答えよ。

白金板を電極とした電解槽 A, B, C を右図のように接続して、電気分解を行った。回路 I の電解槽 A には食塩水が入れてあり、陽極と陰極の間は陽イオン交換膜で分離してある。回路 II の電解槽 B には硝酸銀水溶液が、電解槽 C には希硫酸が入っている。電



流計が 5.00 A になるようにして 64 分 20 秒通電をしたところ、電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。発生する気体は、水に溶解したり、副反応を起こしたりせず、理想気体として取り扱えるものとする。計算結果は有効数字 2 桁で示せ。ただし、必要なときには次の原子量の値および定数その他の値を用いよ。

原子量: $\text{Na}=23$, $\text{Ag}=108$, ファラデー定数: $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 標準状態 (0°C , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) における理想気体 1 mol の体積は 22.4 L

問 1 回路 I および回路 II に流れた電子の物質量は各何 mol か。

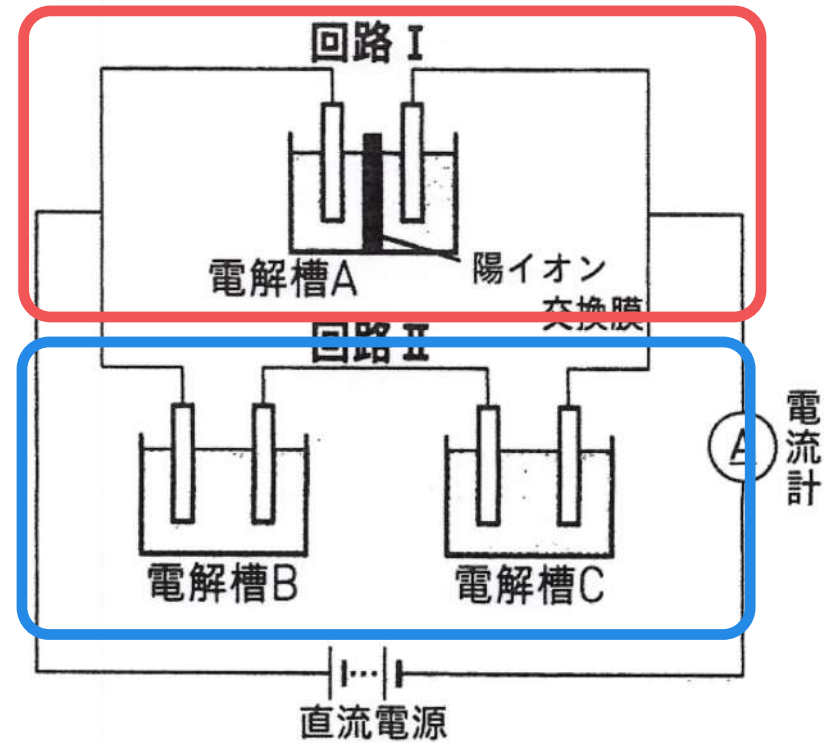
問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。 20°C , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の条件で求めよ。

【並列の電気分解】

次の文章を読んで、以下の設問に答えよ。

白金板を電極とした電解槽 A, B, C を右図のように接続して、電気分解を行った。回路 I の電解槽 A には食塩水が入れてあり、陽極と陰極の間は陽イオン交換膜で分離してある。回路 II の電解槽 B には硝酸銀水溶液が、電解槽 C には希硫酸が入っている。電



流計が 5.00 A になるようにし電 64 分 20 秒通電をしたところ、電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。発生する気体は、水に溶解したり、副反応を起こしたりせず、理想気体として取り扱えるものとする。計算結果は有効数字 2 桁で示せ。ただし、必要なときには次の原子量の値および定数その他の値を用いよ。

原子量: Na=23, Ag=108, ファラデー定数: $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 標準状態 (0°C , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) における理想気体 1 mol の体積は 22.4 L

問 1 回路 I および回路 II に流れた電子の物質量は各何 mol か。

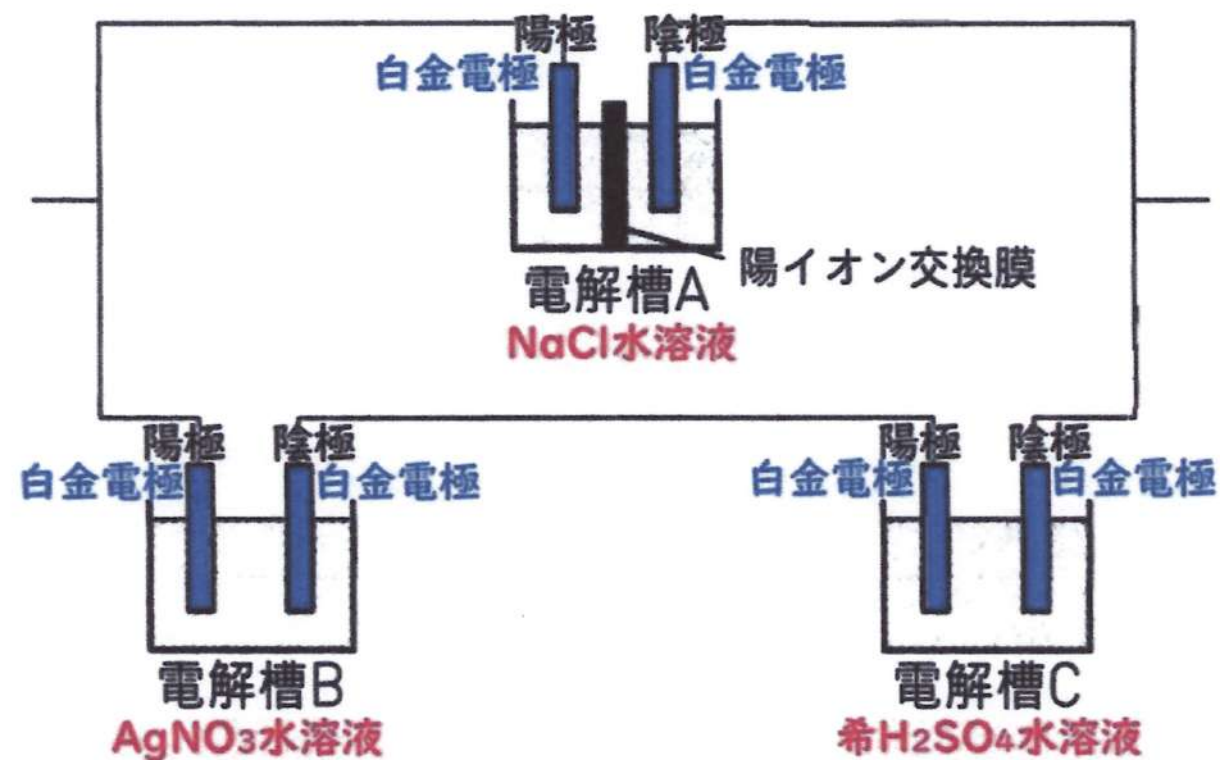
問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。 20°C , $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の条件で求めよ。

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

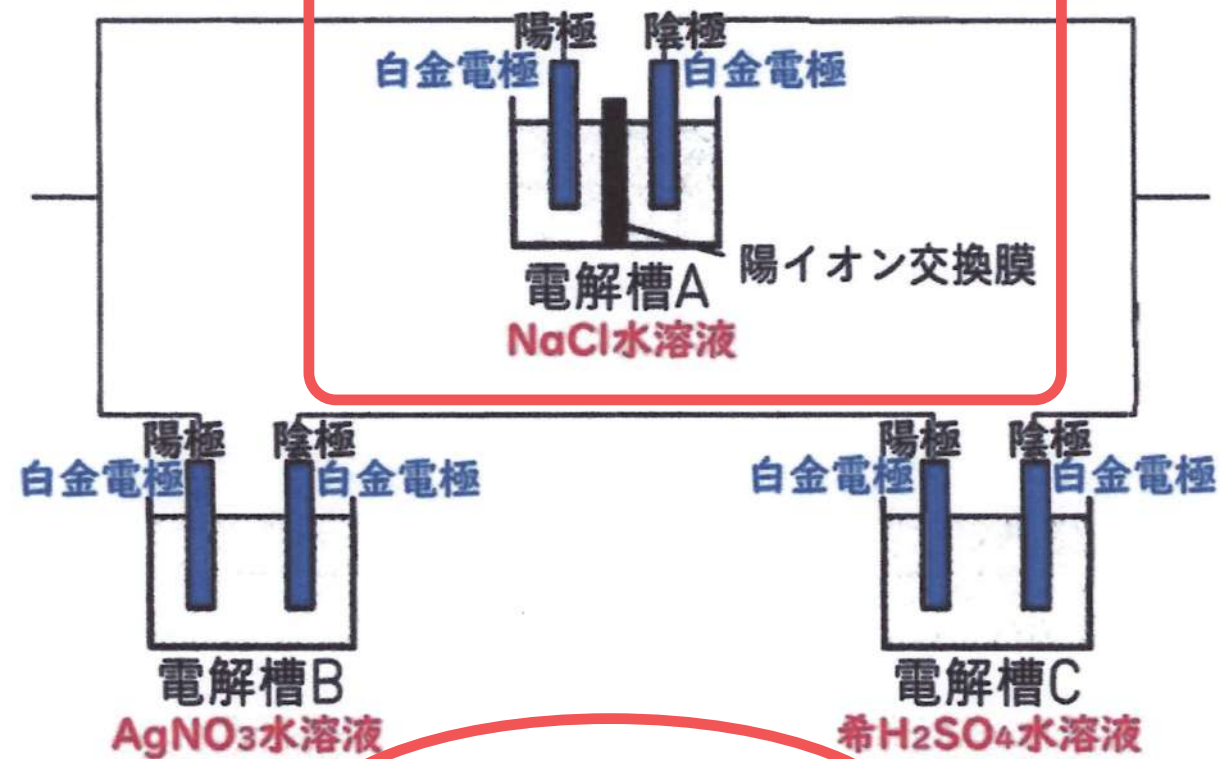


電解槽 A	陽極	
	陰極	
電解槽 B	陽極	
	陰極	
電解槽 C	陽極	
	陰極	

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

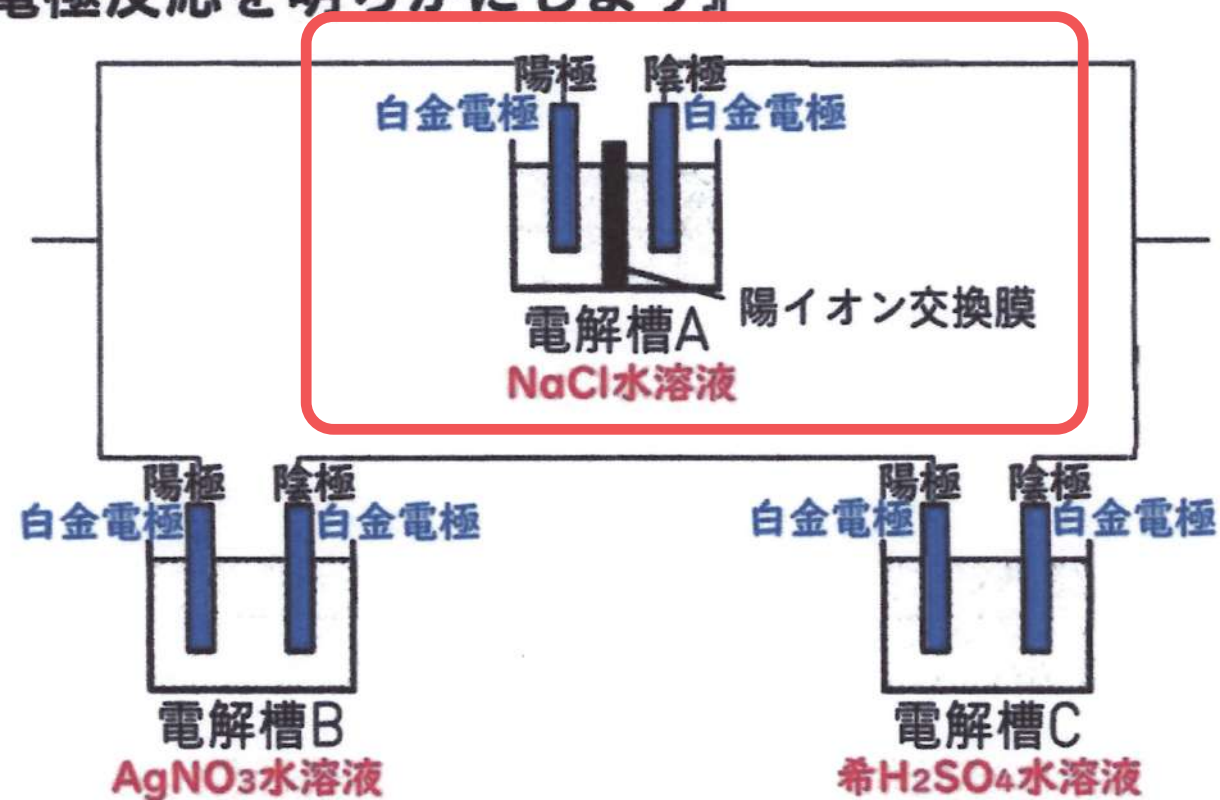


電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	
電解槽 B	陽極	
	陰極	
電解槽 C	陽極	
	陰極	

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

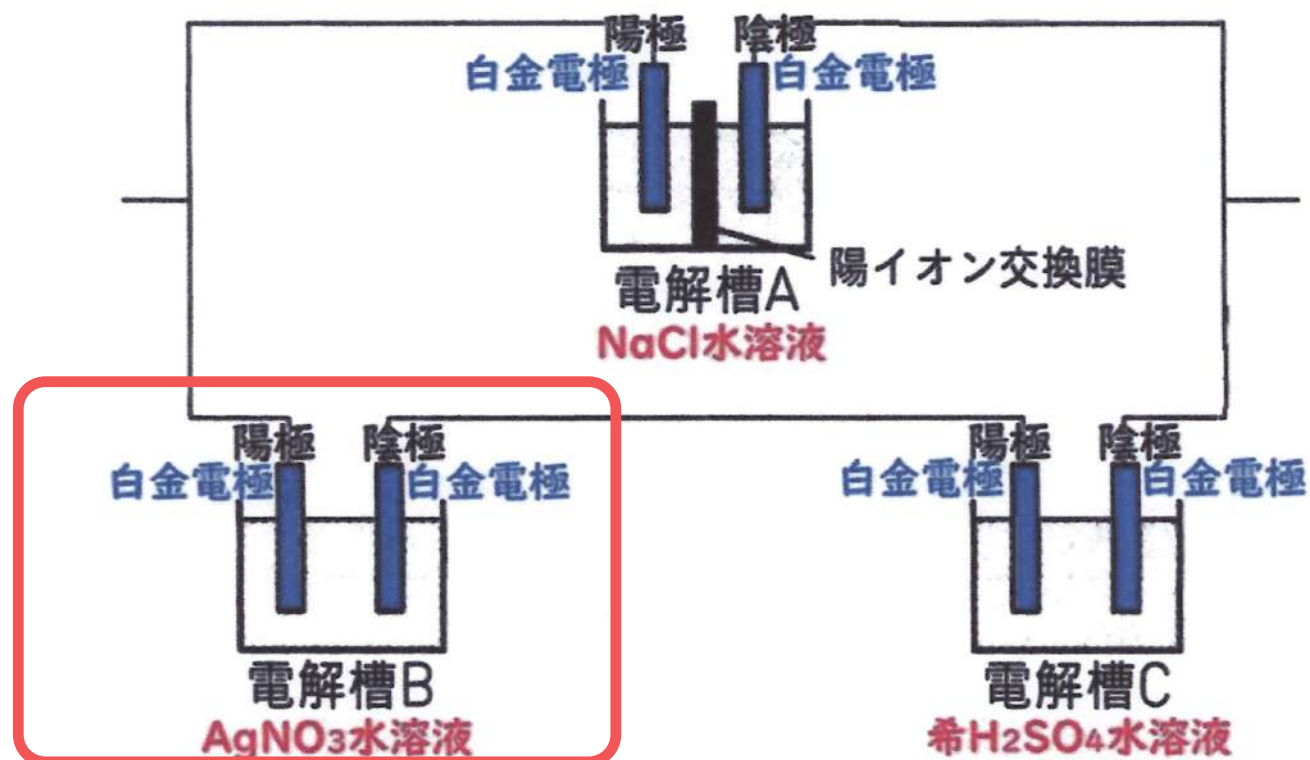


電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陽極	
	陰極	
電解槽 C	陽極	
	陰極	

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

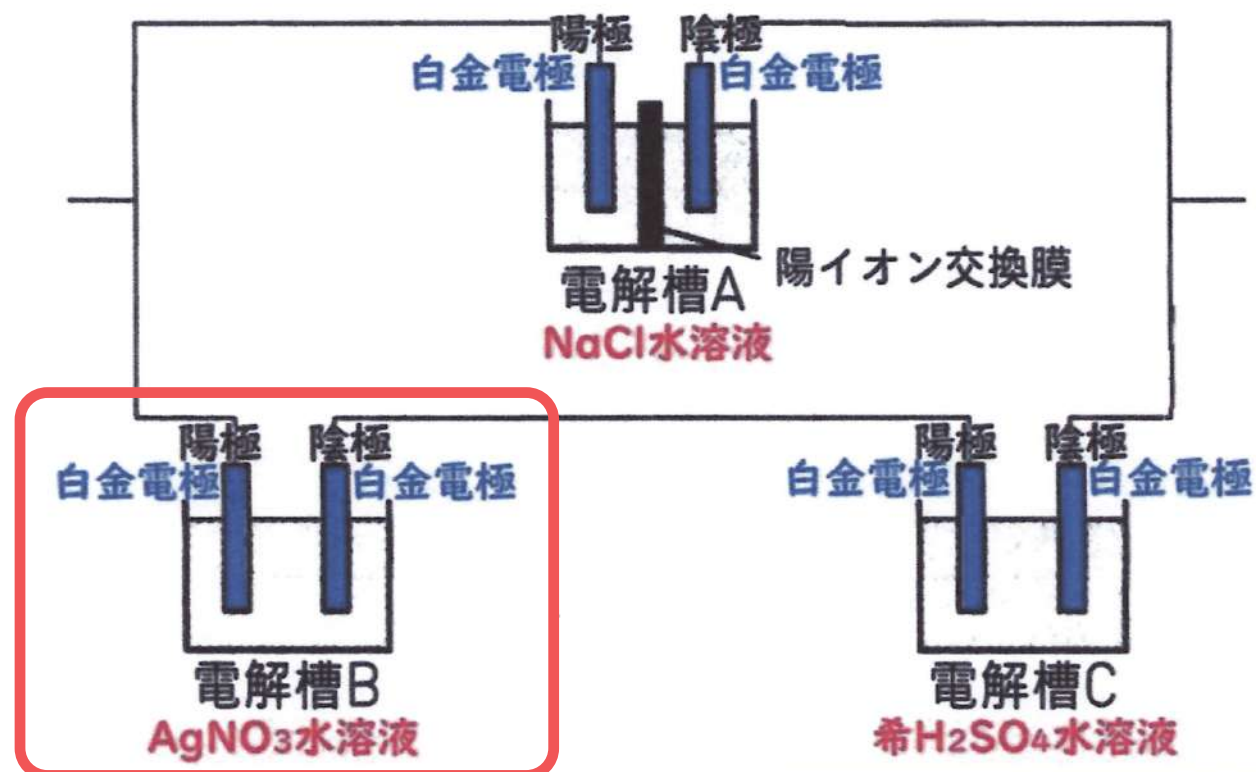


電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	
電解槽 C	陽極	
	陰極	

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

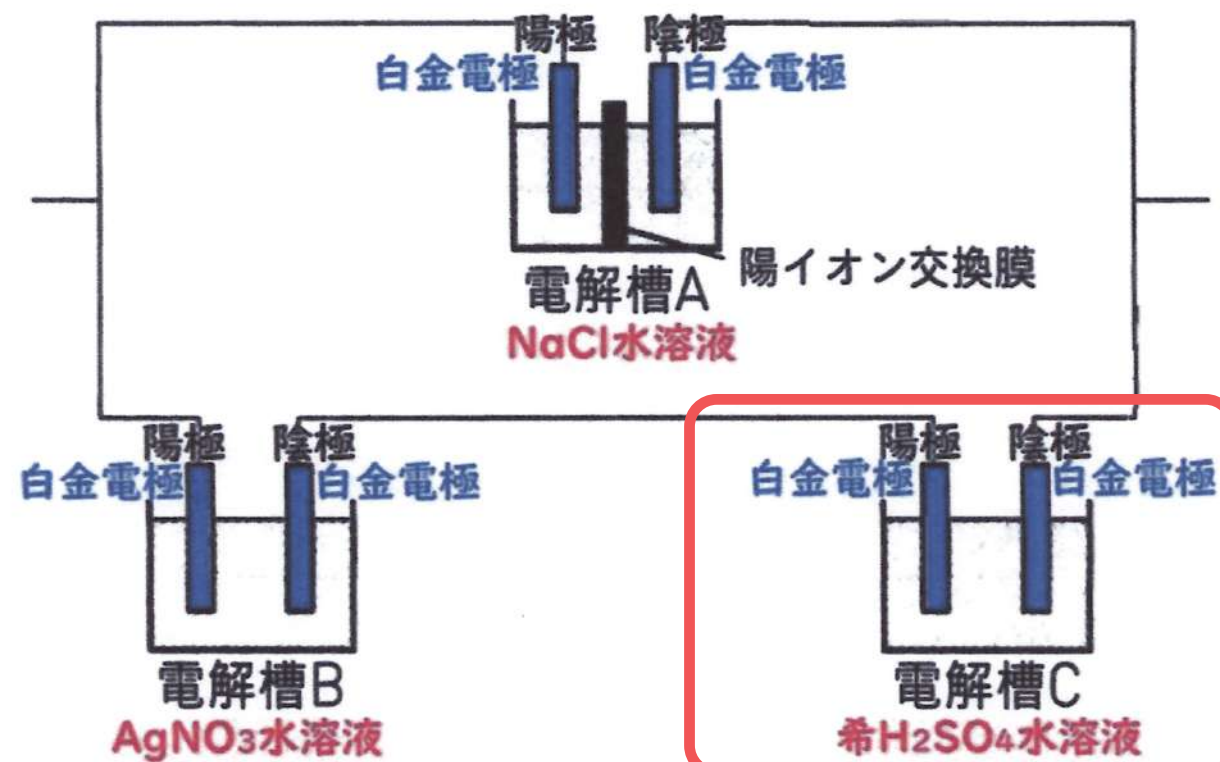


電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陽極	
	陰極	

【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

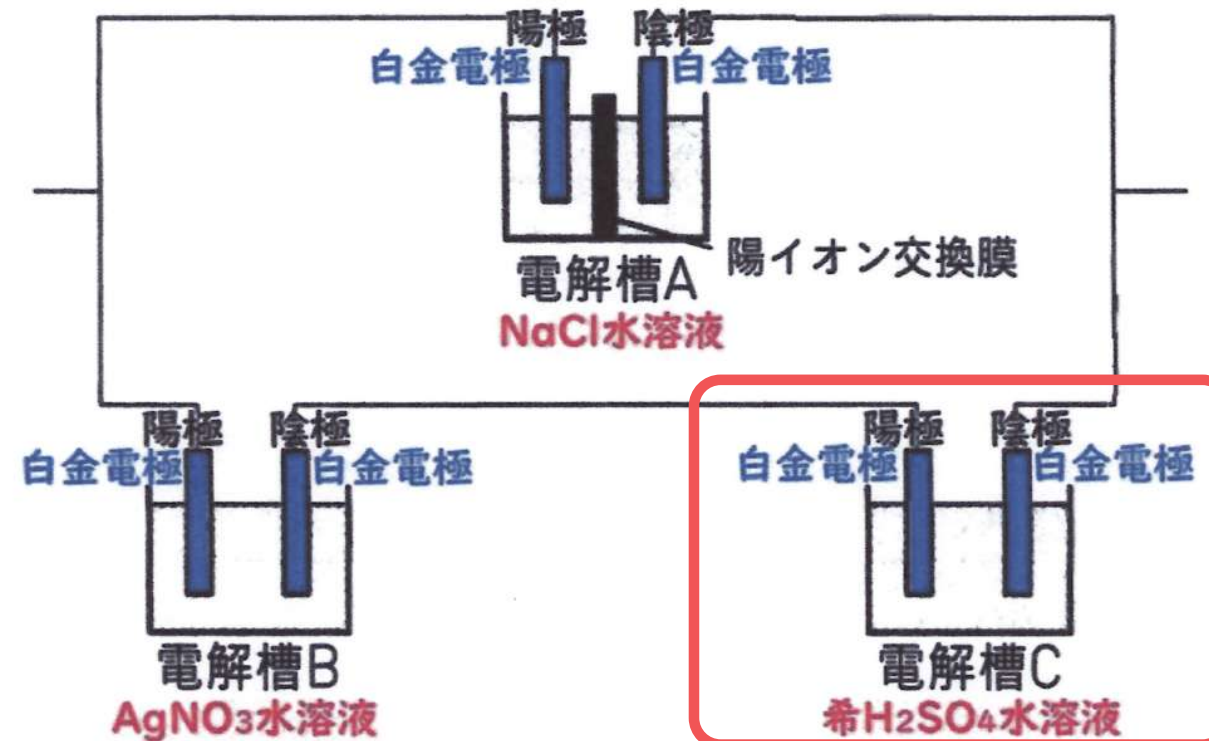


電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	

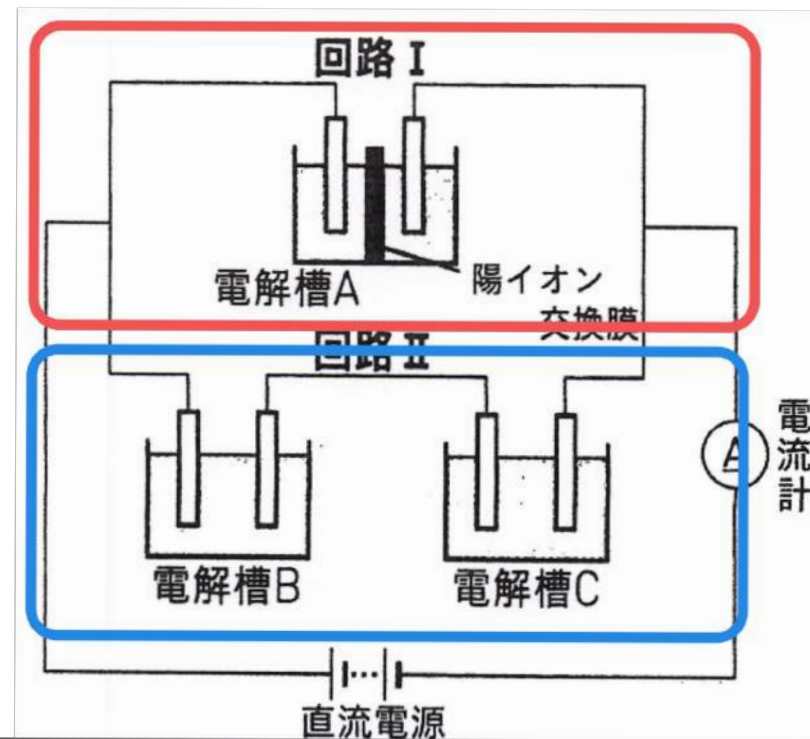
【並列の電気分解】

step I 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』



電解槽 A	陽極	$2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陽極	$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)



電流計が 5.00 A になるようにして 64 分 20 秒通電をした

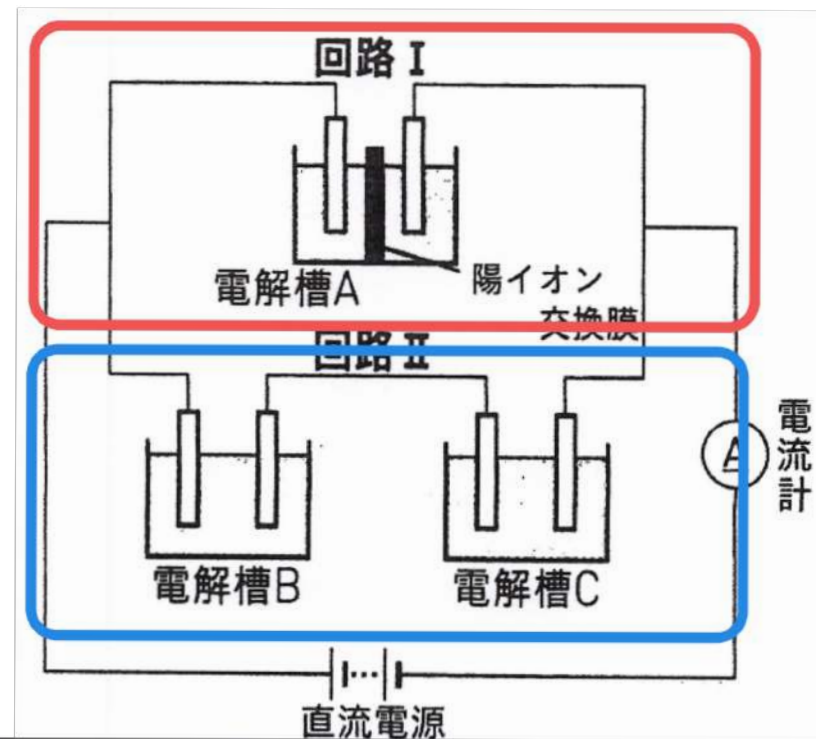
『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

並列に接続された電解槽なので、電解槽ごとに考える

ただし、電解槽 B と電解槽 C とは直列に接続されているので同一

全体	流れた電子 e^- の物質量 =
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質量 =
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質量は不明なので、

電解槽 B での質量変化がヒントとして与えられているので、電解槽 B(C) の方をあえて x とおいた。



電流計が 5.00 A になるようにして 64 分 20 秒通電をした

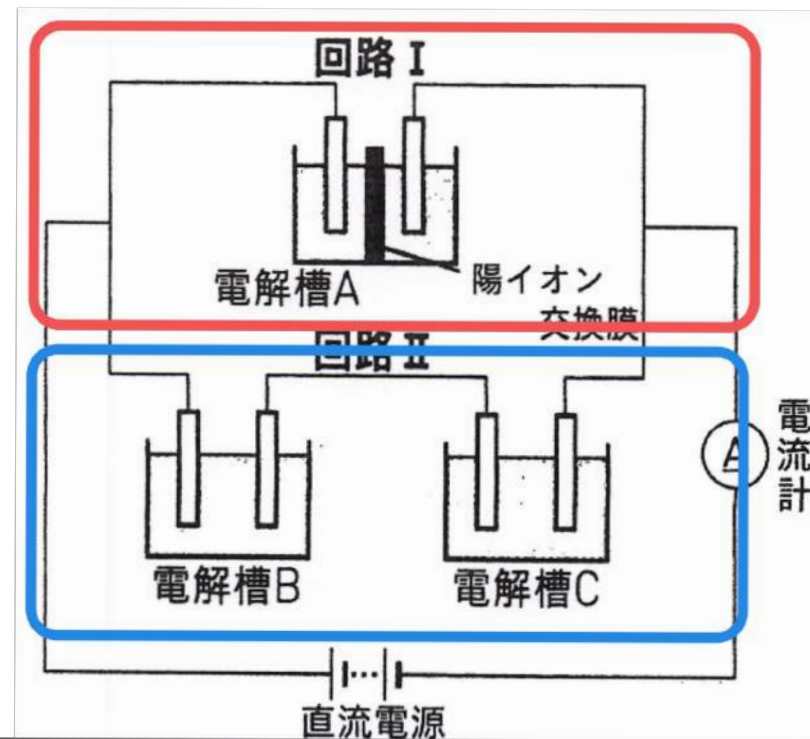
『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

並列に接続された電解槽なので、電解槽ごとに考える

ただし、電解槽 B と電解槽 C とは直列に接続されているので同

全体	流れた電子 e^- の物質量 = $\frac{5.00 \times (64 \times 60 + 20)}{9.65 \times 10^4} = 0.200 (\text{mol})$
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質量 =
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質量は不明なので、

電解槽 B での質量変化がヒントとして与えられているので、電解槽 B(C) の方をあえて x とおいた。



電流計が 5.00 A になるようにして 64 分 20 秒通電をした

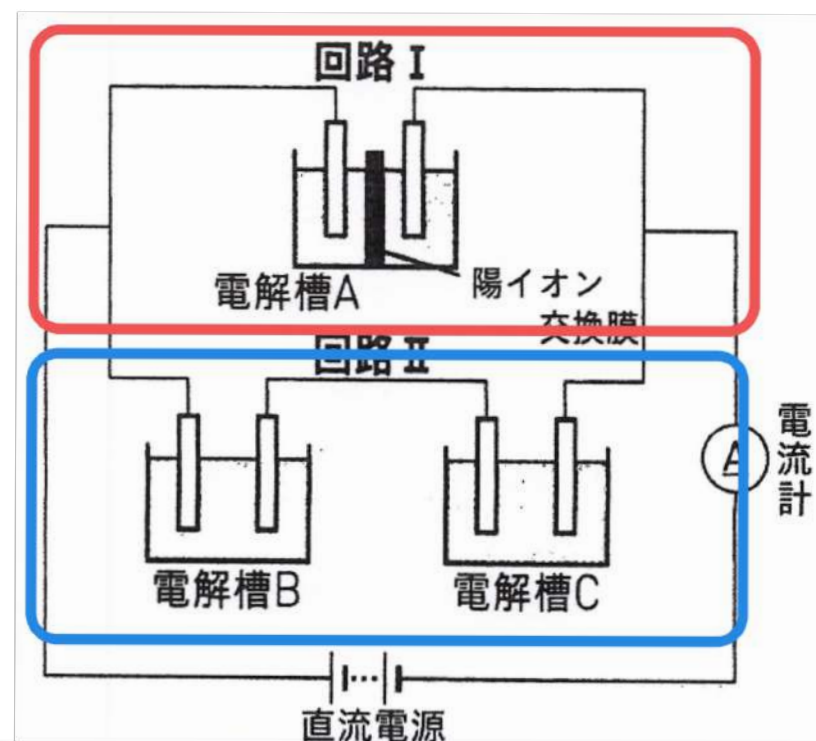
『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

並列に接続された電解槽なので、電解槽ごとに考える

ただし、電解槽 B と電解槽 C とは直列に接続されているので同一

全体	流れた電子 e^- の物質量 = $\frac{5.00 \times (64 \times 60 + 20)}{9.65 \times 10^4} = 0.200 (\text{mol})$
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質量 =
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

電解槽 B での質量変化がヒントとして与えられているので、電解槽 B(C) の方をあえて x とおいた。



電流計が 5.00 A になるようにして 64 分 20 秒通電をした

『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

並列に接続された電解槽なので、電解槽ごとに考える

ただし、電解槽 B と電解槽 C とは直列に接続されているので同一

全体	流れた電子 e^- の物質量 = $\frac{5.00 \times (64 \times 60 + 20)}{9.65 \times 10^4} = 0.200 (\text{mol})$
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質量 = $0.200 - x (\text{mol})$
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x (\text{mol})$ とおく。

電解槽 B での質量変化がヒントとして与えられているので、電解槽 B(C) の方をあえて x とおいた。

電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。

電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
-------	----	--

問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
-------	----	--

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。

電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
-------	----	---

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質量：
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量：
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質量：

生成した NaOH の物質量 (mol) をも表している。

電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。

電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
-------	----	--

問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
-------	----	--

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。

電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
-------	----	---

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質量：
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量： 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質量：

生成した NaOH の物質量 (mol) をも表している。

電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。

電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
-------	----	--

問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
-------	----	--

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。

電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
-------	----	---

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質質量 : $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量 : 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質質量 :

生成した NaOH の物質質量 (mol) をも表している。

電解槽 B では、陰極の質量が 5.40 g 増加した。

電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
-------	----	--

問 2 電解槽 A の陰極付近では NaOH が何 g 生成したか。

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
-------	----	--

問 3 電解槽 C の陰極で発生する気体は何 L か。

電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
-------	----	---

『さらに、与えられている物質の量を明らかにし、問われている物質の量を記号化しよう』

電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質量 : $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量 : 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質量 : $b(\text{mol})$

生成した NaOH の物質量 (mol) をも表している。

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質量 : $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量 : 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質量 : $b(\text{mol})$
生成した NaOH の物質量 (mol) をも表している。		
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質量 = $0.200 - x(\text{mol})$	
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質量は不明なので, $x(\text{mol})$ とおく。	

step2 式への代入

電解槽 A	陰極	
電解槽 B	陰極	
電解槽 C	陰極	

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質質量: $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量: 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質質量: $b(\text{mol})$
生成した NaOH の物質質量(mol)をも表している。		
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質質量 = $0.200 - x(\text{mol})$	
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質質量は不明なので, $x(\text{mol})$ とおく。	

step2 式への代入

電解槽 A	陰極	$\frac{2\text{OH}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{0.200 - x(\text{mol})}$
電解槽 B	陰極	
電解槽 C	陰極	

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質質量: $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量: 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質質量: $b(\text{mol})$
生成した NaOH の物質質量 (mol) をも表している。		
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質質量 = $0.200 - x(\text{mol})$	
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質質量は不明なので, $x(\text{mol})$ とおく。	

step2 式への代入

電解槽 A	陰極	$\frac{2\text{OH}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{0.200 - x(\text{mol})}$
電解槽 B	陰極	$\frac{\text{Ag}}{\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \longrightarrow \frac{108 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = \frac{5.40 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽 C	陰極	

電解槽 A	陰極	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ (中性の水溶液での表記)
電解槽 B	陰極	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$
電解槽 C	陰極	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$ (酸性の水溶液での表記)
電解槽 A	陰極	生成した OH^- の物質質量: $a(\text{mol})$
電解槽 B	陰極	析出した Ag の質量: 5.40 g
電解槽 C	陰極	発生した H_2 の物質質量: $b(\text{mol})$
生成した NaOH の物質質量 (mol) をも表している。		
電解槽 A	流れた電子 e^- の物質質量 = $0.200 - x(\text{mol})$	
電解槽 B 電解槽 C	流れた電子 e^- の物質質量は不明なので, $x(\text{mol})$ とおく。	

step2 式への代入

電解槽 A	陰極	$\frac{2\text{OH}^-}{2\text{e}^-} = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{a(\text{mol})}{0.200 - x(\text{mol})}$
電解槽 B	陰極	$\frac{\text{Ag}}{\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \longrightarrow \frac{108 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = \frac{5.40 \text{ g}}{x(\text{mol})}$
電解槽 C	陰極	$\frac{\text{H}_2}{2\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = \frac{b(\text{mol})}{x(\text{mol})}$

よって, $x=5.00 \times 10^{-2}(\text{mol})$, $a=1.50 \times 10^{-1}(\text{mol})$

$$b=2.50 \times 10^{-2}(\text{mol})$$

また, 電解槽 A(回路 I)を流れた電子の物質質量として,

$$0.200 - x = 1.50 \times 10^{-1}(\text{mol}) \text{ が求められる。}$$

step3 計算の結果を，要求されている解答の形式に整える。

生成した NaOH ($1.50 \times 10^{-1} \text{ mol}$) の質量は，

$$40 \times 1.50 \times 10^{-1} = 6.00 \text{ (g)}$$

発生した H_2 ($2.50 \times 10^{-2} \text{ mol}$) の 20°C ， $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ における体積は，

$$22.4 \times \frac{273+20}{273} \times 2.50 \times 10^{-2} = 0.601 \text{ (L)}$$

解答 問1 回路Ⅰ： $1.5 \times 10^{-1} \text{ mol}$ 回路Ⅱ： $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$

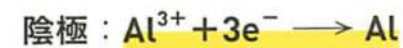
問2 6.0 g

問3 $6.0 \times 10^{-1} \text{ L}$

【熔融塩電解】

Alの熔融塩電解（融解塩電解） 電気分解で金属の単体を得ようとするとき、イオン化傾向の大きい金属の場合には、その金属のイオンを含む水溶液を電気分解しても、水溶液中の水が還元され、目的の金属イオンは還元されません。よって、そのような場合には、その金属の塩や酸化物の熔融液を電気分解します。これが、**熔融塩電解（融解塩電解）**です。**アルミニウムの熔融塩電解（融解塩電解）**は、アルミニウム Al の製錬法で、酸化アルミニウム Al_2O_3 の熔融液の電気分解が応用されています。

各極では、次の反応が起こります。



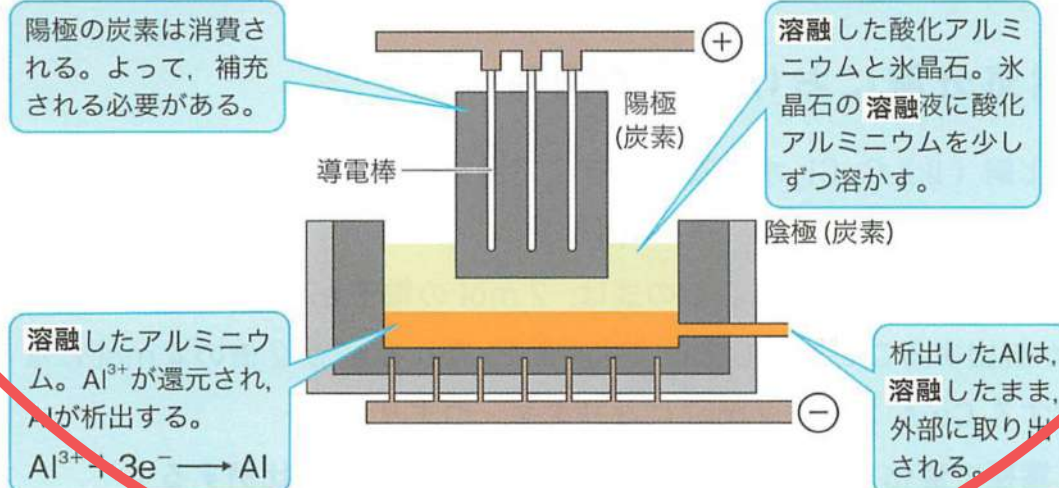
熔融液中のアルミニウムイオン Al^{3+} が還元され、熔融状態のアルミニウム Al となって陰極に析出します。



陽極の炭素 C が酸化されて、一酸化炭素 CO、または、二酸化炭素 CO_2 が発生し、電極の炭素 C は消費されます。よって、電極の炭素 C は補充される必要があります。

Alの熔融塩電解（融解塩電解）

熔融液の電気分解を利用したアルミニウム Al の製錬法のこと。

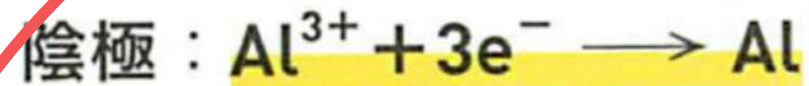


Al の製造には、多くのエネルギーが使われる！

Al の熔融塩電解（融解塩電解）

電気分解で金属の単体を得ようとするとき、イオン化傾向の大きい金属の場合には、その金属のイオンを含む水溶液を電気分解しても、水溶液中の水が還元され、目的の金属イオンは還元されません。よって、そのような場合には、その金属の塩や酸化物の熔融液を電気分解します。これが、**熔融塩電解（融解塩電解）**です。**アルミニウムの熔融塩電解（融解塩電解）**は、アルミニウム Al の製錬法で、酸化アルミニウム Al_2O_3 の熔融液の電気分解が応用されています。

各極では、次の反応が起こります。



溶融液中のアルミニウムイオン Al^{3+} が還元され、溶融状態のアルミニウム Al となって陰極に析出します。

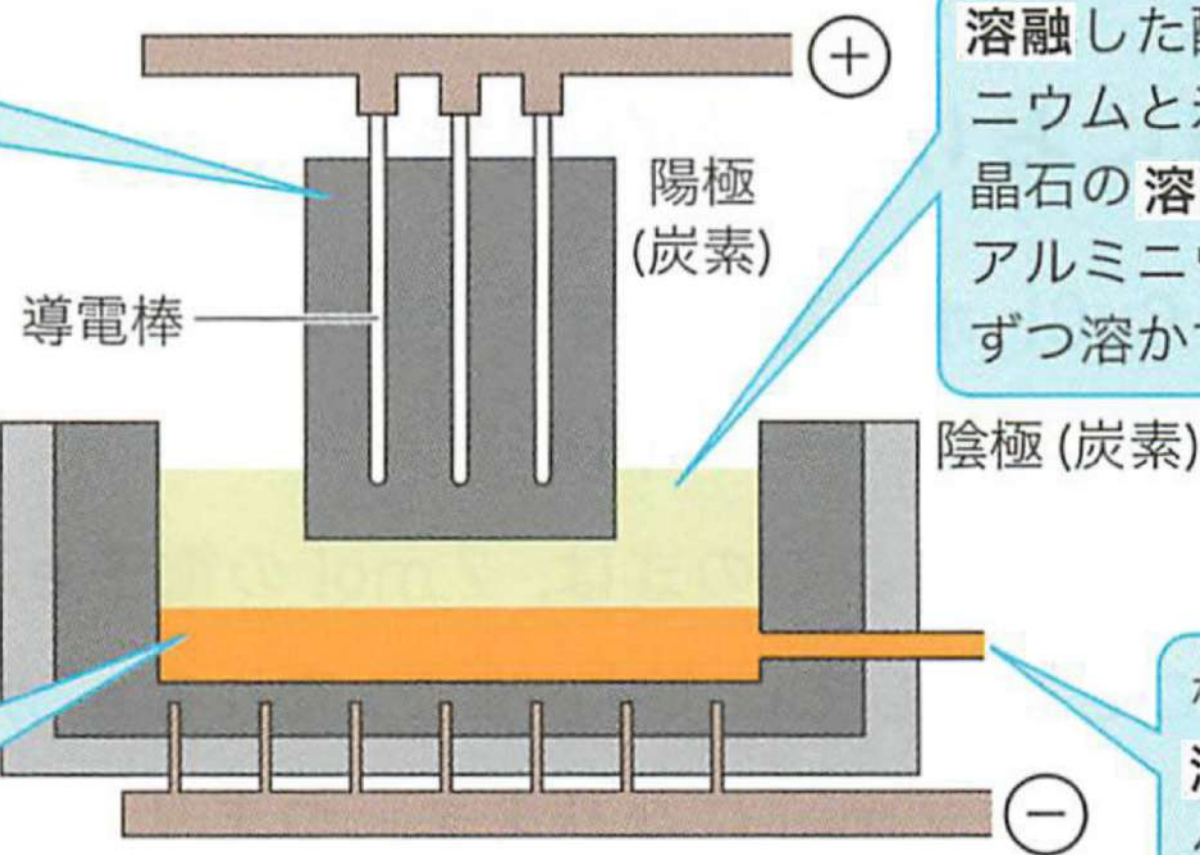


陽極の炭素 C が酸化されて、一酸化炭素 CO 、または、二酸化炭素 CO_2 が発生し、電極の炭素 C は消費されます。よって、電極の炭素 C は補充される必要があります。

Al の熔融塩電解（融解塩電解）

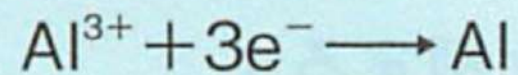
熔融液の電気分解を利用したアルミニウム Al の製錬法のこと。

陽極の炭素は消費される。よって、補充される必要がある。



熔融した酸化アルミニウムと氷晶石。氷晶石の熔融液に酸化アルミニウムを少しずつ溶かす。

熔融したアルミニウム。Al³⁺が還元され、Alが析出する。

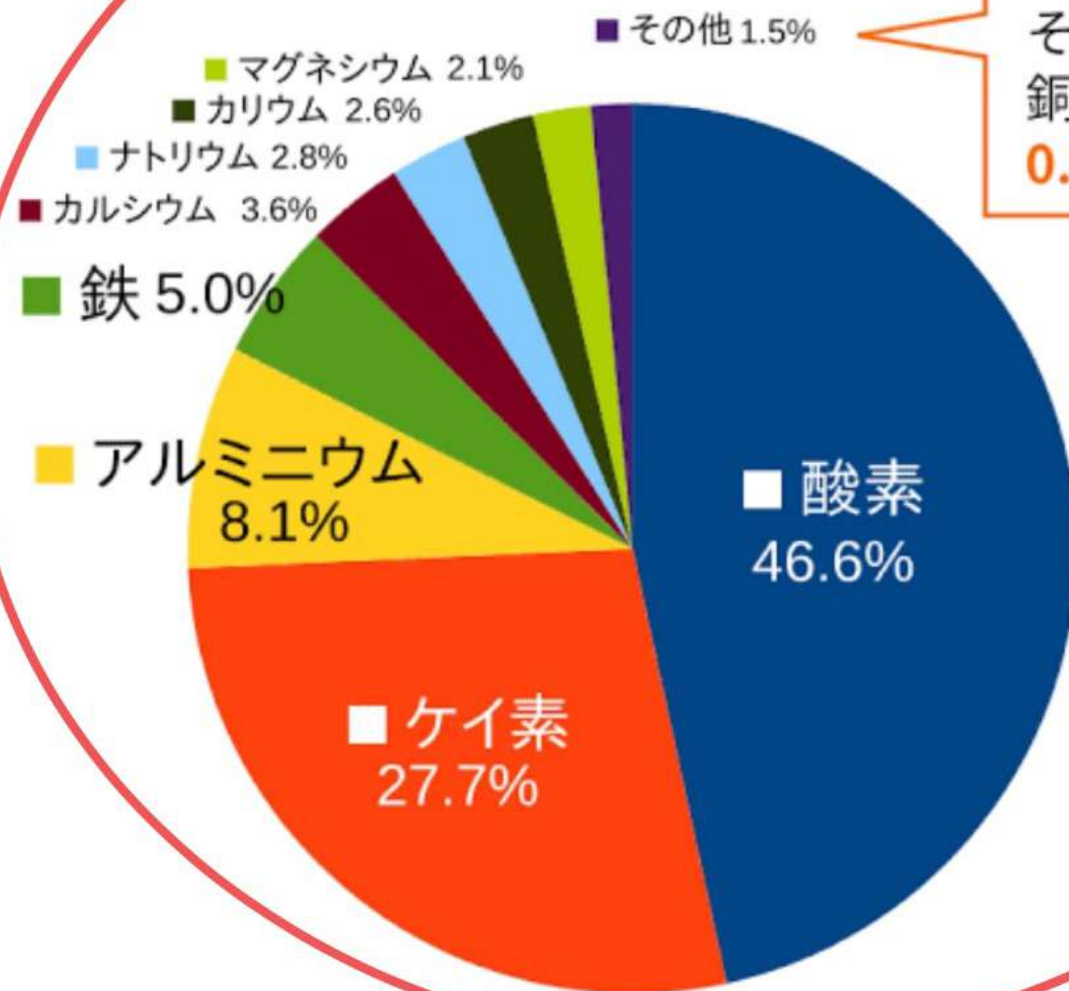


析出したAlは、熔融したまま、外部に取り出される。

Al の製造には、多くのエネルギーが使われる！

再度

地殻中の元素の存在度



そのうち
銅は…
0.01%だけ！

必須の知識

常識的な知識

その利用は銅;紀元前9000年頃から

鉄;紀元前3000年頃から

なのに、アルミ;1825年頃に始めて!?

必須の知識

大 (還元しにくい) イオン化傾向 小 (還元しやすい)



Al

Fe

Cu

電気分解で還元

高温で還元

自然銅として産出

銅→青銅→鉄→アルミの順です

- 1、銅は自然銅と言った形でも産出するからこれが最初(1万年の歴史があるらしい)
- 2、青銅はそもそも銅がないと作れない
- 3、鉄は銅に比べ相当高温でないと作れないので冶金技術の発展が必要だった
- 4、アルミはそもそも普通の冶金では作れず、溶融電気分解という新たな技術を待つしかなかった

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。

(陰極での反応)

(陽極での反応)

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。

(陰極での反応)



(陽極での反応)

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。

(陰極での反応)



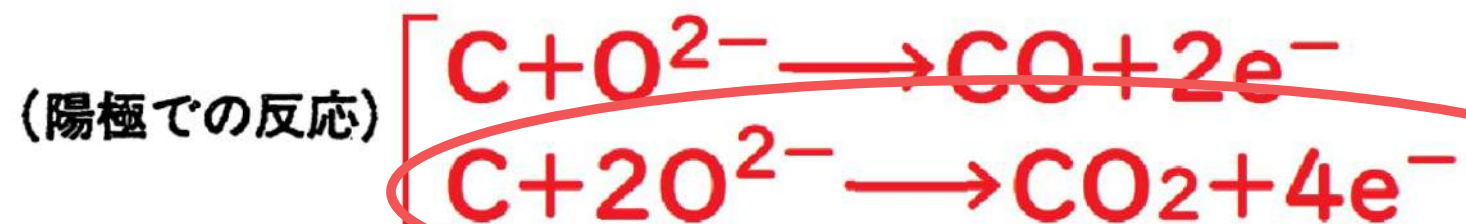
(陽極での反応)



アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。



とも呼ぶ。

融解塩を電気分解するのは

から。

酸化アルミニウムは融点が高いのでその融解
には を利用する。

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。

(陰極での反応)



(陽極での反応)



熔融塩電解とも呼ぶ。

融解塩を電気分解するのは

から。

酸化アルミニウムは融点が高いのでその融解
には を利用する。

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。

(陰極での反応) $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}$

(陽極での反応) $\left[\begin{array}{l} \text{C} + \text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO} + 2\text{e}^- \\ \text{C} + 2\text{O}^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2 + 4\text{e}^- \end{array} \right.$

熔融塩電解 と呼ぶ。

融解塩を電気分解するのは

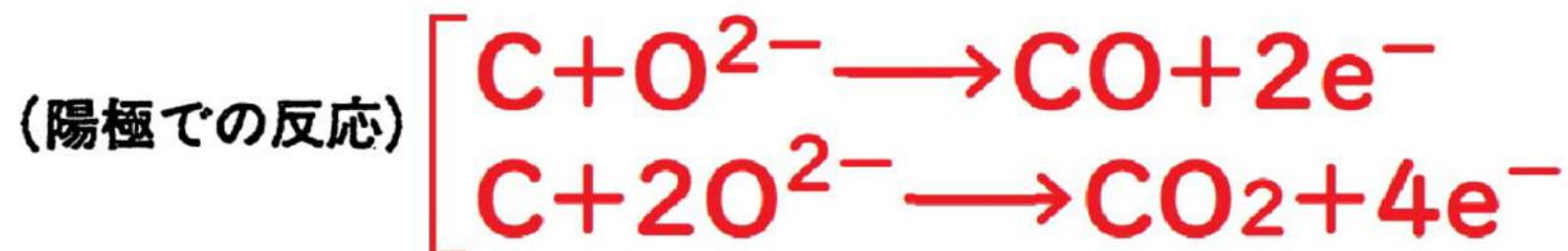
アルミニウムはイオン化傾向が大きく、そのイオンの水溶液を電気分解しても、単体を得られないから。

酸化アルミニウムは融点が高いのでその融解には を利用する。

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。



熔融塩電解 とも呼ぶ。

融解塩を電気分解するのは

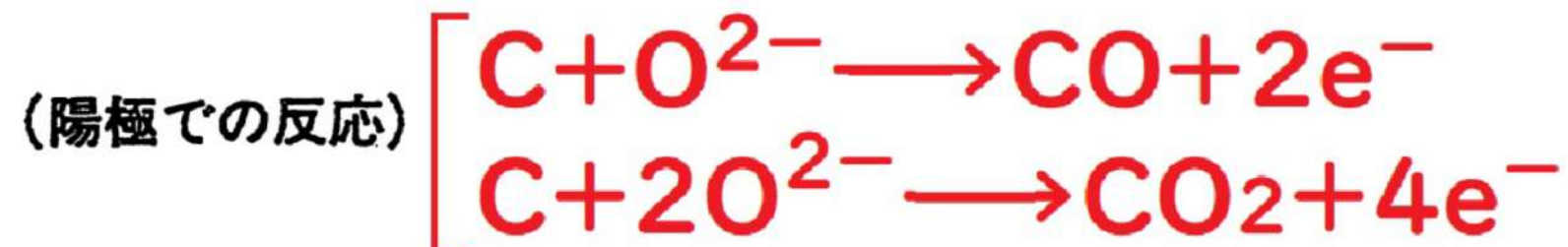
アルミニウムはイオン化傾向が大きく、そのイオンの水溶液を電気分解しても、単体を得られないから。

酸化アルミニウムは融点が高いのでその融解には **氷晶石** を利用する。

アルミニウムの単体の製法

融解塩電解

アルミニウムの単体は、酸化アルミニウムの融解塩電解(炭素電極)によって得られる。



【溶融塩電解】

アルミニウムの電気分解による製錬では、ボーキサイトからつくった酸化アルミニウム Al_2O_3 (アルミナ) を、融解した氷晶石 Na_3AlF_6 に加えて約 1000°C で加熱溶融し、炭素電極を用いて電気分解を行う。このとき、陽極には主として一酸化炭素や二酸化炭素が生成し、陰極にはアルミニウムが析出する。 $1.8 \times 10^4 \text{ A}$ の電流を流して 1.0 kg のアルミニウムを製造するには、何分を要するか。必要があれば、次の値を用い、小数点以下を四捨五入して整数で答えよ。

アルミニウムの原子量：27，ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。

陰極	
----	--

『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量 流れた電子 e^- の物質量は不明なので、

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』

陰極	
----	--

step2 式への代入

陰極	
----	--

よって、 $x = \frac{1000}{9}(\text{mol})$ が求められる。

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。

陰極



『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

—— 単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量 ——

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』

陰極

step2 式への代入

陰極

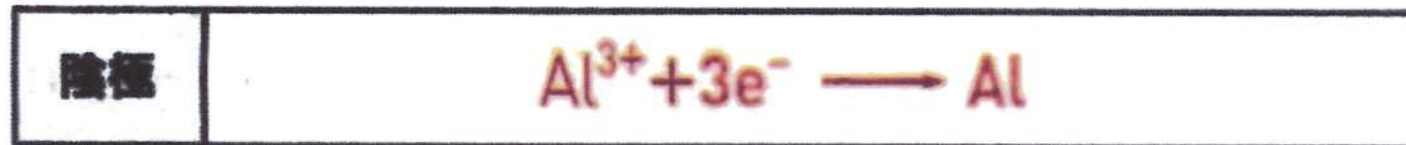
よって、 $x = \frac{1000}{9} (\text{mol})$ が求められる。

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。

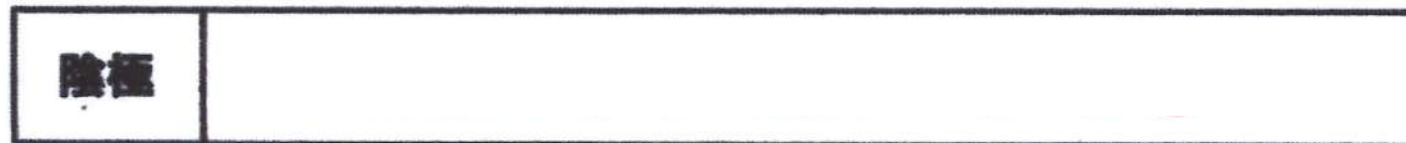


『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

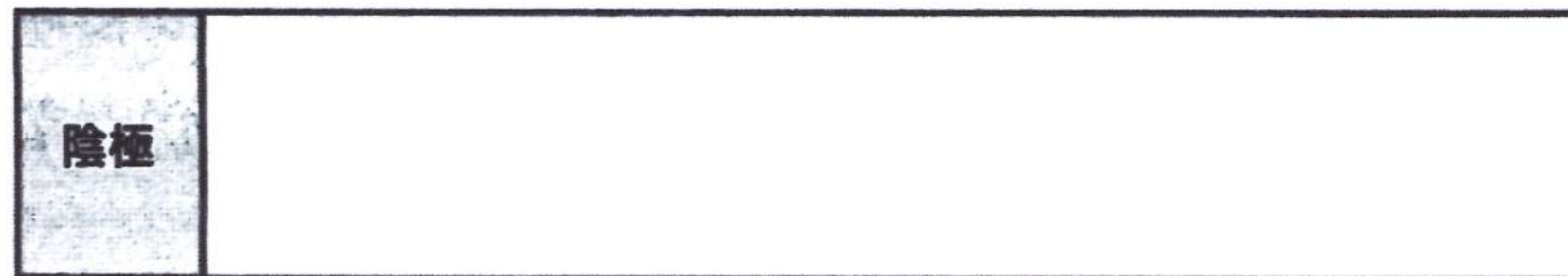
単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』



step2 式への代入



よって、 $x = \frac{1000}{9}(\text{mol})$ が求められる。

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。

陰極	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}$
----	--

『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

——単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量——

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』

陰極	析出させる Al の質量： $1.0 \times 10^3 \text{ g}$
----	---

step2 式への代入

陰極	
----	--

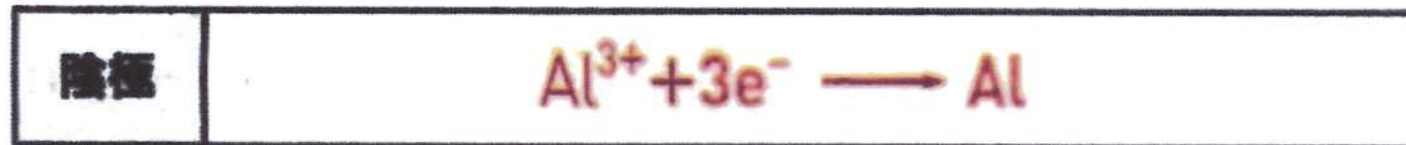
よって、 $x = \frac{1000}{9} (\text{mol})$ が求められる。

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。



『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

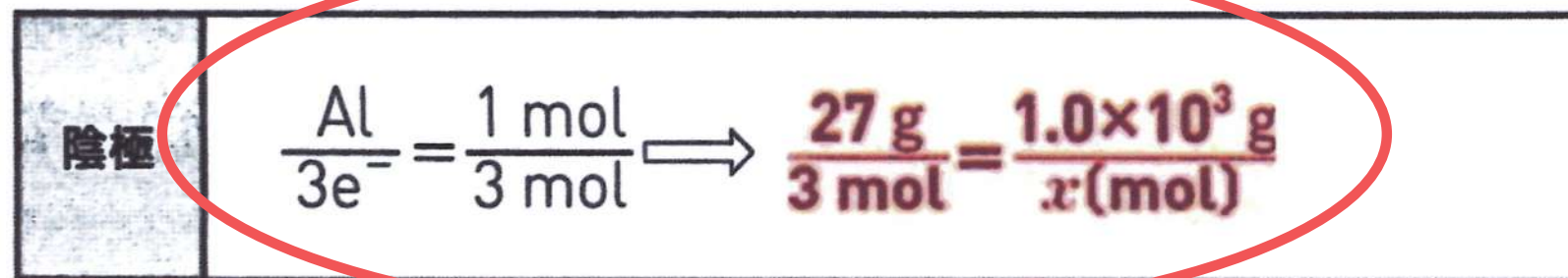
——単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量——

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』



step2 式への代入



よって、 $x = \frac{1000}{9} (\text{mol})$ が求められる。

【熔融塩電解】

step1 情報の整理

『まず、電極反応を明らかにしよう』

熔融塩電解であり、電解液中に水分子や水素イオンは存在しないので、陰極ではアルミニウムの単体が析出する。

陰極



『次に、流れた電子の物質量を明らかにしよう』

単独の電解槽なので、陽極も陰極も同物質量

流れた電子 e^- の物質量は不明なので、 $x(\text{mol})$ とおく。

『さらに、与えられている物質の量を明らかにしよう』

陰極

析出させる Al の質量： $1.0 \times 10^3 \text{ g}$

step2 式への代入

陰極

$$\frac{\text{Al}}{3\text{e}^-} = \frac{1 \text{ mol}}{3 \text{ mol}} \Rightarrow \frac{27 \text{ g}}{3 \text{ mol}} = \frac{1.0 \times 10^3 \text{ g}}{x(\text{mol})}$$

よって、 $x = \frac{1000}{9} (\text{mol})$ が求められる。

step3 計算の結果を，要求されている解答の形式に整える。

電流が流れた時間を t (分) とおくと，

$$\text{流れた電気量 (C)} = 1.8 \times 10^4 \times t \times 60 = 9.65 \times 10^4 \times \frac{1000}{9} \text{ より,}$$

$$t = 9.92 \text{ (分)}$$

解答 10 分

