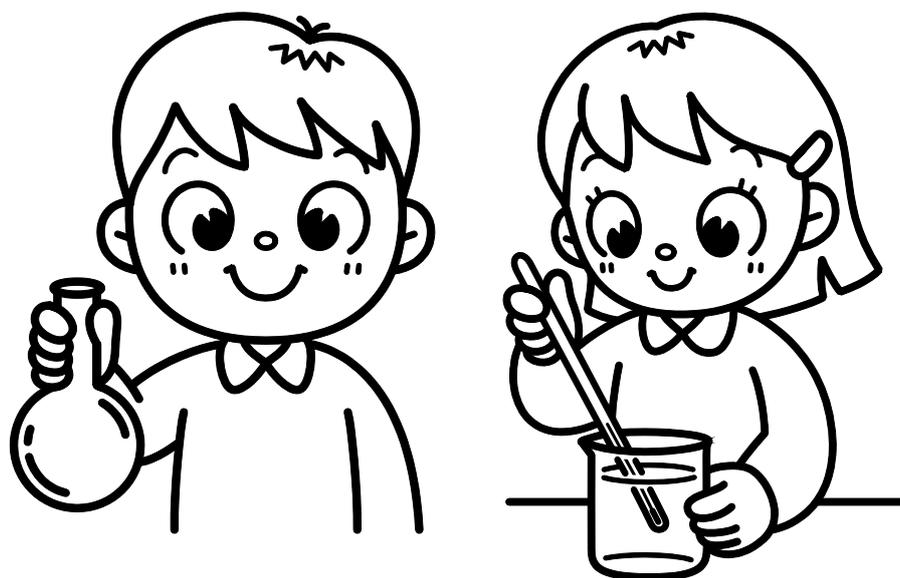


「化学基礎」 観察・実験集



高知県教育センター

研究生 井上 千夏
指導主事 北村 誠一

平成 24 年 3 月

目次

❖水質の検査ワークシート	1
❖水質の検査（指導者用）	3
❖混合物の分離・確認ワークシート	7
❖混合物の分離・確認（指導者用）	9
❖物質の状態変化ワークシート	13
❖物質の状態変化（指導者用）	15
❖化学結合と物質の性質ワークシート	19
❖化学結合と物質の性質（指導者用）	21
❖物質の極性と溶解ワークシート	25
❖物質の極性と溶解（指導者用）	27
❖化学反応と物質量ワークシート	31
❖化学反応と物質量（指導者用）	33
❖中和滴定ワークシート	37
❖中和滴定（指導者用）	39
❖酸化剤と還元剤ワークシート	45
❖酸化剤と還元剤（指導者用）	48
❖金属のイオン化傾向ワークシート	53
❖金属のイオン化傾向（指導者用）	55

【目的】

水道水に含まれる残留塩素を測定する。また、水質の汚れの指標のひとつである COD を測定し、洗剤の使用によってどのように変化するか調べる。

【残留塩素と COD】

・ 残留塩素

水道水は塩素で消毒している。残留塩素とは、主に塩素が水に溶解するときに生じる次亜塩素酸イオンを指す。次亜塩素酸イオンは、強い酸化力を示すため、細菌やウイルスの細胞膜を破壊する。水道水の(遊離)残留塩素の基準は 0.1mg/L (ppm) 以上と水道法により決められている。

・ COD (Chemical Oxygen Demand)

化学的酸素要求量のこと。湖沼や河川などの水中の有機物を酸化して、分解するのに必要とされる酸素の量 [mg/L] (ppm)。

【使用薬品】

- ・ 簡易水質分析用パック (残留塩素用 6 個、COD 低濃度用 7 個)
- ・ ラー油
- ・ ミネラルウォーター
- ・ 川の水
- ・ 台所用洗剤
- ・ 水道水 (一昼夜放置したもの、ハイポを加えたものを用意する)

【使用器具】

- ・ ビーカー (50mL 6 個)
- ・ 目盛り付試験管 5 本
- ・ ゼムクリップ 5 個
- ・ 駒込ピペット
- ・ ゴム栓 5 個
- ・ 三脚
- ・ 金網
- ・ 虫ピン
- ・ ガラス棒
- ・ シャーレ
- ・ 毛糸 (5 cm に切ったもの) 5 つ

【方法】

< 実験 I 残留塩素の測定 >

① 水道水を沸騰させる

水道水を 50mL ビーカーに 30mL 取り、加熱し、沸騰させる。

② それぞれの水をビーカーに入れる

水道水、一昼夜放置した水道水、ハイポを加えた水道水、川の水、ミネラルウォーターをそれぞれ 30mL 程度、50mL ビーカーに入れる。

③ 残留塩素を測定する

簡易水質分析用パック (残留塩素用) に虫ピンで穴を開け、指でつぶして中の空気を抜き、①の沸騰させた水道水を冷ましたものに入れ、色の変化から残留塩素の濃度を測定する。②のそれぞれの水についても同様に測定する。

< 実験 II COD の測定 >

④ 台所用洗剤を希釈する

台所用合成洗剤を 1 mL 試験管 A に取り、10mL の目盛りまで水を入れ、ガラス棒で泡立たないように注意しながら静かに攪拌する。試験管 A の溶液を 1 mL 試験管 B に取り、水を 10mL まで加える。再びガラス棒で攪拌し、同様の操作を繰り返し試験管 C ~ E に希釈溶液をつくる。試験管 E は液の量をそろえるため、1 mL を捨て、液量を 9 mL とする。

⑤ 油滴の様子を観察する

5 cm に切った毛糸の先をゼムクリップに結び、シャーレに入れ、反対側の先にラー油をつける。④の試験管にラー油をつけた毛糸を沈め、どの濃度が油滴を作りやすかったか順位を記録する。

⑥ 試験管を振り、観察する

⑤の試験管にゴム栓をしてよく振り、透明度や白濁の様子、泡の立ち方、泡の高さを記録する。

⑦ COD を測定する

⑥の試験管の溶液を 50mL ビーカーに移し、簡易水質分析用パック (COD 用) で COD を測定し記録する。水道水、川の水についても同様に COD を測定する。

水質の検査

年 組 番氏名

【結果】

<残留塩素の測定>

水の種類	沸騰させた水道水	水道水	一昼夜放置した水道水	ハイポを加えた水道水	川の水	ミネラルウォーター
残留塩素 [mg/L] (ppm)						

<CODの測定>

	試験管 A	試験管 B	試験管 C	試験管 D	試験管 E
希釈倍率					
油滴の作りやすさ(順位)					
透明度や白濁の様子					
泡の立ち方					
泡の高さ [mL]					
COD [mg/L] (ppm)					
水道水の COD [mg/L] (ppm)		川の水の COD [mg/L] (ppm)			

参考) 高知市：鏡川(鏡川大橋下) 2ppm、江の口川(海老の丸橋下) 4~6ppm

【考察】

- 1 残留塩素の測定結果より、水道水の残留塩素を取り除く方法として有効な方法を挙げよ。
- 2 ミネラルウォーターの殺菌方法として考えられる方法は何か。
- 3 家庭用合成洗剤は、どの程度まで薄めても洗浄効果があると考えられるか。
- 4 家庭用合成洗剤の濃度と COD の値との関係を述べよ。
- 5 家庭用合成洗剤の使用について、自分自身が注意できる点を考えて述べよ。

水質の検査(指導者用)

【目的】

水道水に含まれる残留塩素を測定する。また、水質の汚れの指標のひとつである COD を測定し、洗剤の使用によってどのように変化するか調べる。

水質の検査には化学の技術が利用されていることを理解する。日常生活で使われている洗剤の性質と、その使用量による有効性と危険性について考えさせる。

【所要時間】 約 40 分

【小中学校での既習事項】

自然と人間との関わりを、6年生の理科の最後に、中学校では3年生の「科学技術と人間」の単元で学ぶ。水を守るために、污水处理施設があること、川の水質の指標である水生生物などについて触れている。窒素化合物の濃度を簡易水質分析用パックを使って調べる観察・実験が掲載されている教科書もある。

【残留塩素と COD】

・ 残留塩素

水道水は塩素で消毒している。残留塩素とは、主に塩素が水に溶解するとき生じる次亜塩素酸イオンを指す。次亜塩素酸イオンは、強い酸化力を示すため、細菌やウイルスの細胞膜を破壊する。水道水の(遊離)残留塩素の基準は 0.1mg/L (ppm) 以上と水道法により決められている。

・ COD (Chemical Oxygen Demand)

化学的酸素要求量のこと。湖沼や河川などの水中の有機物を酸化して、分解するのに必要とされる酸素の量 [mg/L] (ppm)。

生活排水や水道水など水の種類によって、いくつもの検査項目がある。簡単に測定できる項目としては、透視度(濁度)、浮遊物質(SS)、BOD(生物的酸素要求量)、pH、陰イオン界面活性剤、などがあげられる。

【使用薬品】

・ 簡易水質分析用パック(残留塩素用 6 個、COD 低濃度用 7 個) チューブへ検水を吸い込んでから比色する時間は測定項目により違うので、説明書の時間を必ず守って測定すること。また、比色後も色の変化が続いたり、変色したりするので測定が終了したら説明書にしたがって廃棄すること。価格は、残留塩素用、COD 用ともに 1 パックあたり 80 円程度。大量に購入するほど安くなる。各検水を班で分担すると節約できる。

- ・ ラー油
- ・ ミネラルウォーター
- ・ 川の水
- ・ 台所用洗剤
- ・ 水道水(一昼夜放置したもの、ハイポチオ硫酸ナトリウムが主成分を加えたものを用意する)

【使用器具】

- ・ビーカー（50mL 6個）
- ・目盛り付試験管 5本
- ・ゼムクリップ 5個
- ・駒込ピペット
- ・ゴム栓 5個
- ・三脚
- ・金網
- ・虫ピン
- ・ガラス棒
- ・シャーレ
- ・毛糸（5 cm に切ったもの） 5つ

【方法】

① 水道水を沸騰させる

水道水を 50mL ビーカーに 30mL 取り、加熱し、沸騰させる。初めての実験の場合は、ガスバーナーの使い方を指導する。

② それぞれの水をビーカーに入れる

水道水、一昼夜放置した水道水、ハイポを加えた水道水、川の水、ミネラルウォーターをそれぞれ 30mL 程度、50mL ビーカーに入れる。プールを使用している時期であれば、プールの水を測定してもよい。プールの残留塩素は 0.4~1.0 mg/L(ppm) である。

③ 残留塩素を測定する

簡易水質分析用パック（残留塩素用）に虫ピンで穴を開け、ラインと呼ばれる紐を引くと穴が開くタイプのものもある指でつぶして中の空気を抜き、①の沸騰させた水道水を冷ましたものに入れ、色の变化から残留塩素の濃度を測定する。反応時間は説明書に記載されている。10 秒程度。②のそれぞれの水についても同様に測定する。

<実験Ⅱ COD の測定>

④ 台所洗剤を希釈する

台所用合成洗剤を 1mL 試験管 A に取り、10mL の目盛りまで水を入れ、ガラス棒で泡立たないように注意しながら静かに攪拌する。試験管 A の溶液を 1mL 試験管 B に取り、水を 10mL まで加える。再びガラス棒で攪拌し、同様の操作を繰り返し試験管 C~E に希釈溶液をつくる。試験管 E は液の量をそろえるため、1mL を捨て、液量を 9mL とする。5 倍、2 倍、適量、0.5 倍、0.2 倍に希釈して比べてもよい。

⑤ 油滴の様子を観察する

5 cm に切った毛糸の先をゼムクリップに結び、シャーレに入れ、反対側の先にラー油をつける。④の試験管にラー油をつけた毛糸を沈め、どの濃度が油滴を作りやすかったか順位を記録する。

⑥ 試験管を振り、観察する

⑤の試験管にゴム栓をしてよく振り、透明度や白濁の様子、泡のたち方、泡の高さを記録する。各試験管にレーザーを横からあてチンダル現象を観察する方法もある。

⑦ COD を測定する

⑥の試験管の溶液を 50mL ビーカーに移し、簡易水質分析用パック（COD 用）で COD を測定し記録する。反応時間は説明書に記載されている。温度により違うため注意が必要。20℃で 5 秒程度。水道水、川の水についても同様に COD を測定する。

【結果】

<残留塩素の測定>

水の種類	沸騰させた水道水	水道水	一昼夜放置した水道水	ハイポを加えた水道水	川の水	ミネラルウォーター
残留塩素 [mg/L] (ppm)	0.1	0.2	0.1	0	0	0

<CODの測定>

	試験管 A	試験管 B	試験管 C	試験管 D	試験管 E
希釈倍率	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{100000}$
油滴の作りやすさ(順位)	1	2	3	4	5
透明度や白濁の様子	白濁	白濁	白濁	透明	透明
泡の立ち方	大きな泡がたくさんできる	大きな泡がたくさんできる	大きな泡がたくさんできる	ごくわずか	泡なし
泡の高さ [mL]	20	13	20	10	9
COD [mg/L] (ppm)	8 以上	8 以上	8 以上	8 以上	8 以上
水道水の COD [mg/L] (ppm)	0	川の水の COD [mg/L] (ppm)			

参考)高知市:鏡川(鏡川大橋下)2ppm、江の口川(海老の丸橋下)4~6ppm

【考察】

- 1 残留塩素の測定結果より、水道水の残留塩素を取り除く方法として有効な方法を挙げよ。
沸騰させる、一昼夜放置する、ハイポを加える
- 2 ミネラルウォーターの殺菌方法として考えられる方法は何か。
加熱殺菌、フィルターを通して除菌、オゾンや紫外線で殺菌、空気に触れずにくみ上げて密封など
- 3 家庭用合成洗剤は、どの程度まで薄めても洗浄効果があると考えられるか。
1/1000 程度 (水 1 L に 0.75mL が目安、と記載有。)
- 4 家庭用合成洗剤の濃度と COD の値との関係を述べよ。
家庭用合成洗剤の濃度が高くなればなるほど、COD の値も高くなる。
- 5 家庭用合成洗剤の使用について、自分自身が注意できる点を考えて述べよ。
環境へ配慮し、必要最低限の使用量にする。洗剤をつけなくてもよい、アクリルたわしを使う、など。

【発展】

- ・合成洗剤とセッケン水(0.1%)を比較する。**【動画あり】**
それぞれに、フェノールフタレイン溶液や1%塩化カルシウム水溶液 1mL を加えて反応をみる。セッケンは塩基性のため、フェノールフタレイン溶液を加えると赤変するが、多くの合成洗剤は中性のため変化しない。塩化カルシウム水溶液を加えると、セッケンは塩を生成するが合成洗剤は変化しない。

【廃液処理】

- ・簡易水質分析用パックは、説明書にしたがって廃棄すること。

【後片付け】

- ・ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。

混合物の分離・確認

年 組 番氏名

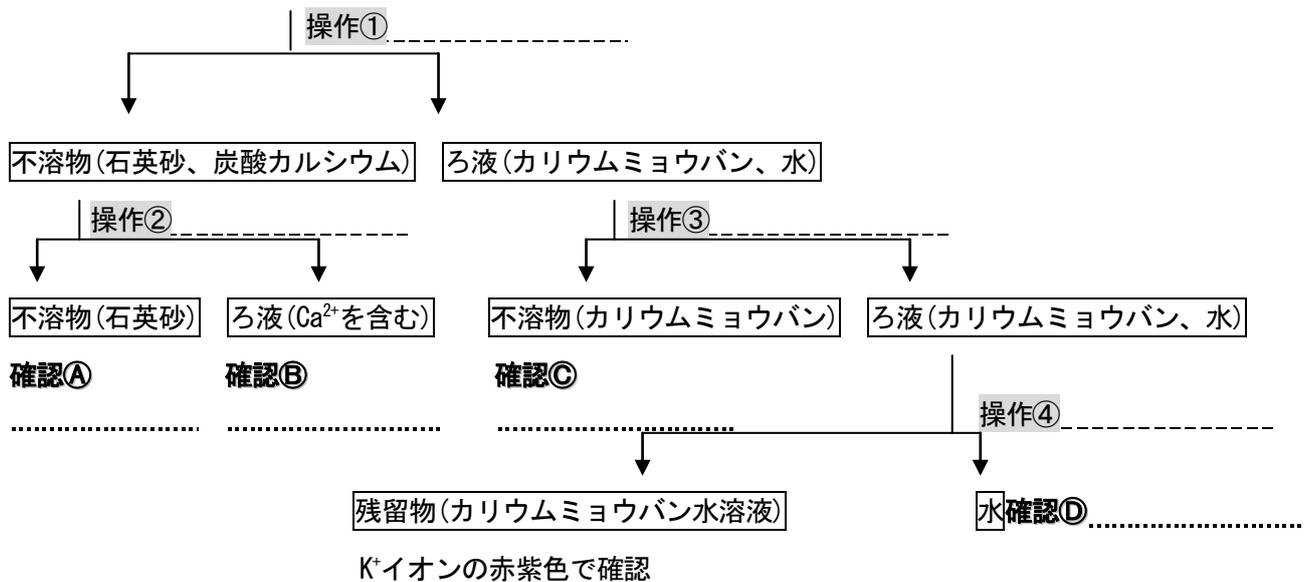
【目的】

カリウムミョウバン、石英砂、炭酸カルシウム、水の混合物を分離し、分離できたかどうかを確認する。

【分離、確認方法フローチャート】

- ・ 操作①～④、確認①～④に適する実験方法を下から選び、実験の内容を確認しよう。

石英砂 SiO_2 、炭酸カルシウム CaCO_3 、カリウムミョウバン $\text{K}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、水 H_2O



<操作①～④>

- ・ 蒸留する ・ 塩酸を加えろ過する ・ 温めてろ過する ・ 再結晶後ろ過する

<確認①～④>

- ・ 炎色反応で橙赤色 ・ 炎色反応で赤紫色 ・ 炎色反応で発色なし ・ 塩化コバルト紙赤変

【使用薬品】

- ・ 石英砂 SiO_2 1.0 g ・ 炭酸カルシウム CaCO_3 1.0 g ・ 2.0mol/L 塩酸 HCl
- ・ 蒸留水(純水) ・ 塩化コバルト紙 ・ 水 H_2O 20mL
- ・ カリウムミョウバン $\text{K}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 13 g

【使用器具】

- ・ ビーカー(100mL 5個程度、500mL 1個) ・ ガラス棒 ・ 薬さじ ・ 漏斗
- ・ 漏斗台 ・ ろ紙 ・ ゴム栓 ・ 白金線 ・ 三脚 ・ 沸騰石
- ・ 金網 ・ 試験管(大型1、普通1) ・ ゴム管 ・ ドライヤー
- ・ ガラス管(曲管1本、I字管1本)

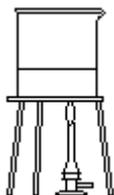
混合物の分離・確認

年 組 番氏名

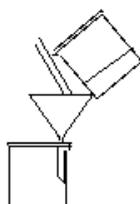
【方法】

- ・操作① 100mL ビーカーにすべての物質を入れ、ガラス棒でかき混ぜ加熱する。手で触れる程度に冷まし、ろ過する。
- ・操作② ろ液を受けるビーカーを交換し、ろ紙に残った物質をよく洗う。ろ紙を広げてドライヤーで乾かす。別のビーカーに移し、2.0mol/L 塩酸を5mL 加え反応させる。洗った漏斗でろ過する。
- ・確認① 操作②の結晶をビーカーに取り、水を加えて白金線につけ、ガスバーナーの外炎にかざし、炎色反応を確認する。
- ・確認② 操作②のろ液も同様に炎色反応を確認する。
- ・操作③ 操作①のろ液を室温まで冷まし、結晶が析出したら洗った漏斗でろ過する。
- ・確認③ 操作③の結晶をビーカーに取り、水を加えて炎色反応を確認する。
- ・操作④ 図のように器具を組み立て、操作③のろ液を沸騰石と一緒に試験管に入れ、蒸留する。
- ・確認④ 青色の塩化コバルト紙をピンセットで挟み、試験管内の液体につける。

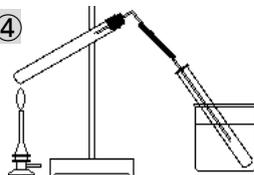
操作①
加熱



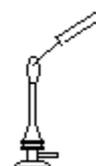
ろ過



操作④



確認
炎色反応



【結果】

- ・操作①～④、確認を行ったときの様子を記録せよ。また、確認①～④については、確認できた元素・化合物を元素記号で表せ。

操作①	
操作②	
操作③	
操作④	

	確認元素・化合物
確認①	
確認②	
確認③	
確認④	

【考察】

- 1 操作③の名称は何というか。また、物質のどのような性質の違いを利用して分離する操作か。
 - ・名称
 - ・物質の性質の違い
- 2 操作④の沸騰石の役割は何か。また、蒸留は物質のどのような性質の違いを利用して分離する操作か。
 - ・沸騰石の役割
 - ・物質の性質の違い

混合物の分離・確認(指導者用)

【目的】

カリウムミョウバン、石英砂、炭酸カルシウム、水の混合物を分離し、分離できたかどうかを確認する。
ろ過、蒸留、炎色反応などの各操作を習得する

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校 5 年生では、ものの溶け方の単元で、ものが水に溶けるときは、温度、量、溶けるものにより違いがあることを学習する。また、飽和食塩水の解け残った食塩をろ過するなどの観察・実験を行っている。

中学校 1 年生では、状態変化の単元で、エタノールと水の混合物からエタノールを分離【動画あり】、水溶液の単元で、カリウムミョウバンやミョウバンの再結晶、デンプンと水の混合物のろ過などの観察・実験をしている。

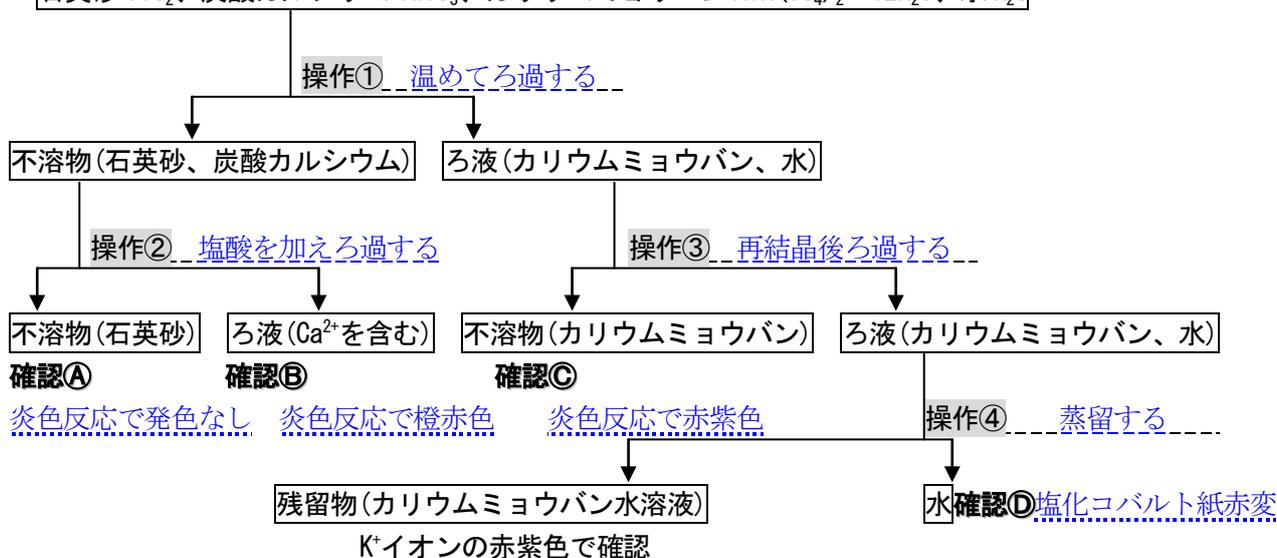
【理論的背景】

混合物から純物質を精製する方法としては、ろ過、蒸留、再結晶、抽出、クロマトグラフィー、元素の確認方法としては、炎色反応、塩の沈殿が教科書に載っている。沸点や溶解度などの違いを利用して分離した後、物質に特有の化学変化などを利用して確認する。

【分離、確認方法フローチャート】

・操作①～④、確認①～④に適する実験方法を下から選び、実験の内容を確認しよう。

石英砂 SiO_2 、炭酸カルシウム CaCO_3 、カリウムミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、水 H_2O



<操作①～④>

・ 蒸留する

・ 塩酸を加えろ過する

・ 温めてろ過する

・ 再結晶後ろ過する

<確認①～④>

- ・ 炎色反応で橙赤色
- ・ 炎色反応で赤紫色
- ・ 炎色反応で発色なし
- ・ 塩化コバルト紙赤変

【使用薬品】

- ・ 石英砂 SiO_2 1.0 g ケイ砂でもよい
- ・ 炭酸カルシウム CaCO_3 1.0 g
- ・ 2.0 mol/L 塩酸 HCl 濃塩酸を薄めて調整する場合は、濃塩酸 1 に水 5 の体積比を混合する（6 倍に希釈）。濃塩酸は揮発しやすく白煙が出るのでドラフトで希釈を行うこと。
- ・ 塩化コバルト紙 直前に乾燥させ青色にして使用
- ・ 水 H_2O 20 mL
- ・ 蒸留水（純水）
- ・ カリウムミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 13 g

【使用器具】

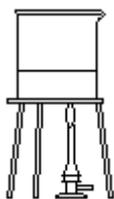
- ・ ビーカー（100 mL 5 個程度、500 mL 1 個）
- ・ ガラス棒
- ・ 薬さじ
- ・ 漏斗
- ・ 漏斗台
- ・ ろ紙
- ・ ゴム栓
- ・ 白金線
- ・ 三脚
- ・ 沸騰石
- ・ 金網
- ・ 試験管（大型 1、普通 1）
- ・ ゴム管
- ・ ドライヤー
- ・ ガラス管（曲管 1 本、I 字管 1 本）

【方法】

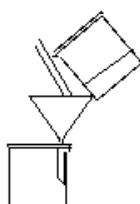
- ・ 操作① 100 mL ビーカーにすべての物質を入れ、ガラス棒でかき混ぜ加熱する。手で触れる程度に冷まし、ろ過する。炭酸カルシウムが細かい粒子のため、多少ろ過に時間がかかる。ビーカー内に残った物質は、ビーカーを交換してから少量の水で洗いろ過する。交換せずに水を加えてしまうと、ろ液中のミョウバンが再結晶しにくくなるので注意する。
- ・ 操作② ろ液を受けるビーカーを交換し、ろ紙上に残った物質をよく洗う。ろ紙を広げてドライヤーで乾かす。炭酸カルシウムがべっとりしているため、時間短縮のため省略する場合は、薬さじなどで取り、ビーカーに移す。別のビーカーに移し、2.0 mol/L 塩酸を 5 mL 加え反応させる。洗った漏斗でろ過する。後の元素の確認①の時に正確に確認できるよう、よく洗浄する。発生した気体が二酸化炭素であることを、石灰水や線香などで確認させてもよい。
- ・ 確認① 確認②の結晶をビーカーに取り、水を加えて白金線につけ、ガスバーナーの外炎にかざし、炎色反応を確認する。結晶を直接白金線につけて行ってもよい。白金線はそのつど水道水と、純水で洗う。塩酸で洗うとなおよい。
- ・ 確認② ろ液も同様に炎色反応確認する。
- ・ 操作③ 操作①のろ液を室温まで冷まし、結晶が析出したら洗った漏斗でろ過する。結晶が析出するまでに 30 分程度かかる。小さい結晶ができればガラス棒などでかき混ぜると、それをきっかけにたくさん析出してくる。15 分程度まってもまったく結晶ができない場合は、氷水などで冷やす。
- ・ 確認③ 操作③の結晶をビーカーに取り、水を加えて炎色反応を確認する。結晶を直接白金線につけて行ってもよい。
- ・ 操作④ 図のように器具を組み立て、操作③のろ液を沸騰石と一緒に試験管に入れ、蒸留する。蒸留前のろ液を炎色反応で確認すると、 K^+ の存在が確認できる。
- ・ 確認④ 青色の塩化コバルト紙をピンセットで挟み、試験管内の液体につける。塩化コバルト紙が赤色になっている場合は、乾燥器やドライヤーで乾燥させて青色にして使用する。蒸留した液体を炎色反応で確認すると、変化はなく K^+ が含まれない純粋な水であることが分かる。
炎色反応は白金線を使わずに、水溶液をろ紙にしみこませてろ紙ごと燃やす、スチールウールに

しみこませて燃やす、など様々な方法がある。

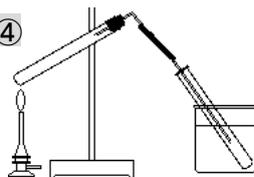
操作①
加熱



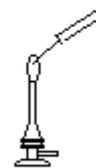
ろ過



操作④



確認
炎色反応



【結果】

- 操作①～④、確認を行ったときの様子を記録せよ。また、確認①～④については、確認できた元素・化合物を元素記号で表せ。

操作①	溶ける物質と溶けない物質があった。ろ過すると、ろ液は無色透明で、ろ紙上に白い物質が残った。
操作②	塩酸を加えると溶解する物質と、溶解しない物質があった。溶解するときは、泡を出し気体が発生した。ろ過すると、ろ液は無色透明で、ろ紙上に白い物質が残った。
操作③	白い結晶が析出した。ろ過すると、ろ液は無色透明で、ろ紙上に白い物質が残った。
操作④	蒸留できた物質は無色透明な液体であった。

		確認元素・化合物
確認①	炎の色は変化しなかった。	SiO_2
確認②	炎の色が橙赤色を示した。	Ca^{2+} (CaCO_3)
確認③	炎の色が赤紫色を示した。	K^+ ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)
確認④	塩化コバルト紙が赤色に変わった。	H_2O

【考察】

- 操作③の名称は何というか。また、物質のどのような性質の違いを利用して分離する操作か。
 - 名称 再結晶
 - 物質の性質の違い 溶解度の違い
- 操作④の沸騰石の役割は何か。また、蒸留は物質のどのような性質の違いを利用して分離する操作か。
 - 沸騰石の役割 突然の沸騰を防ぐ役割
 - 物質の性質の違い 沸点の違い

【その他の観察・実験、発展】

- 身の回りの物質を使った混合物の分離

例1) カイロの成分の分離

カイロの袋をあけ、中身 15 g をビーカーに入れ、純水 20 mL を入れ溶かす。不溶物をろ過し、蒸発皿にろ液を移し、ろ液を蒸発させる。蒸発皿に残った固体を試験管に取り、炎色反応と硝酸銀水溶液で

元素を確認する（塩化ナトリウム NaCl の確認）。

例2) しょう油中の食塩を取り出す

しょう油 5 mL を蒸発皿にいれ、強火で炭になるまでよく焼く。冷えてから水を加え、ガラス棒でよくかき混ぜる。ろ過して炭を取り除く。ろ液をビーカーに移し加熱して水を蒸発させる。ぱちぱち音を立て跳ねる白い結晶が析出する。熱い結晶が飛び散るとやけどの危険があるのですぐ火を止めること。

例3) ほうれん草、サインペン、食品に使われている色素などを抽出し、クロマトグラフィーで分離

- ・ リービッチ冷却器を使った蒸留

赤ワイン、海水等をリービッチ冷却器の蒸留装置を組んで蒸留する。**【動画あり】**

【廃液処理】

- ・ 石英砂は回収し再利用する。流し台に流して詰まらせないように注意する。
- ・ 塩酸を含む廃液は塩基で中和し（pH が 6 ～ 8 程度）、大量の水で希釈しながら廃棄する。

【後片付け】

- ・ ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。

物質の状態変化

年 組 番氏名

【目的】

温度上昇により固体、液体、気体と状態変化が起こる様子を観察し、状態変化と物質を構成する粒子の熱運動を関連付けて考察する。

【使用薬品】

・2-メチル-2-プロパノール ・沸騰石 ・氷 ・熱湯

【使用器具】

・ガラス管(曲管1本、I字管1本) ・ビーカー(300mL1個、500mL2個)
・ゴム管 ・金網 ・スタンド ・ゴム栓 ・丸底フラスコ500mL
・トレイ2つ ・画びょう ・軍手 ・三脚 ・チャック付ビニール袋70×100mm
・電気ポット ・ペットボトル(280mL)

【方法】

<実験Ⅰ 2-メチル-2-プロパノールの三態変化>

① 2-メチル-2-プロパノールの固体を観察する

2-メチル-2-プロパノール2mLをチャック付ビニール袋に入れ、空気を抜いてチャックを閉める。半分ほど氷の入った300mLビーカーにチャック付ビニール袋を入れ、さらに上から氷を入れ、しばらく様子を観察する。

② 2-メチル-2-プロパノールの液体を観察する

①のチャック付ビニール袋をトレイに移し、凍った部分に500mLビーカーに入っている熱湯を少しかけ、液体になる様子を観察する。軍手をはめ、やけどをしないよう注意すること。

③ 2-メチル-2-プロパノールの気体を観察する

さらに電気ポットから熱湯を直接かけ、様子を観察する。

④ 2-メチル-2-プロパノールの液体を観察する

①のビーカーの氷と水をトレイに移し、袋を浸けて様子を観察する。

<実験Ⅱ 水の加熱と冷却>

⑤ 水を沸騰させる

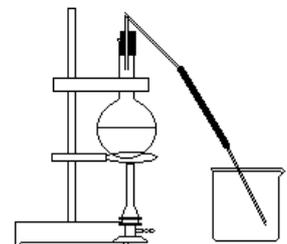
図のような装置を組み立て、500mL丸底フラスコに沸騰石と水200mLを入れ加熱し、水を沸騰させる。

⑥ ビーカーに水を入れる

沸騰したら、気体誘導管の入った500mLビーカーに水を満たす。

⑦ 水の逆流を観察する

火を止め、フラスコやビーカー内の変化を観察する。



<実験Ⅲ ペットボトルの小便小僧>

⑧ ペットボトルに水を入れる

280mLペットボトルの下から2cm程度の場所に画びょうで穴をあける。水を半分以上入れ、ふたをする。

⑨ 熱湯をかけ、観察する

ふたをした状態でトレイ内に置き、500mLビーカーに入っている熱湯をふたの上からかける。軍手をはめ、やけどをしないよう注意すること。

物質の状態変化

年 組 番氏名

【結果】

1. 方法①～④のチャック付ビニール袋の中はどのような様子だったか。

①	
②	
③	
④	

2. 方法⑤、⑥では、気体誘導管の先はどのような様子だったか。

⑤	
⑥	

3. 方法⑦で加熱をやめるとビーカーの水やフラスコ内はどうなったか。

--

4. 方法⑨で熱湯をかけるとどのような変化が起こったか。

--

【考察】

1. 方法①～④でおきた状態変化の現象名を答えよ。また、熱運動の変化を激しくなった、穏やかになった、の言葉を使って表せ。例) 現象名：昇華(固体→気体)、熱運動：激しくなった

	現象名	熱運動		現象名	熱運動
①			③		
②			④		

2. 方法⑥で気体誘導管から泡が出なかったのはなぜか。

--

3. 方法⑦で加熱を止めたとき、ビーカー内では圧力が小さくなる変化が起こった。その変化を水分子の熱運動と状態変化から説明せよ。

--

4. 方法⑦で加熱を止めたとき、フラスコ内で起こった水の逆流現象について、圧力の変化から説明せよ。

--

5. 方法⑨で起こった現象について、熱運動の変化、体積の変化で説明せよ。

--

物質の状態変化(指導者用)

【目的】

温度上昇により固体、液体、気体と状態変化が起こる様子を観察し、状態変化と物質を構成する粒子の熱運動を関連付けて考察する。

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校4年生では、「金属、水、空気と温度」の単元で水の三態変化を扱う。観察・実験ではビーカーに水を入れアルミ箔でふたをし、そこに温度計を差し込んで加熱時間と温度変化を記録したり、グラフ化したりしている。また、水を入れた試験管を食塩を混ぜた氷につけ凝固させ、冷却時間と温度変化を記録、グラフ化する観察・実験もある。

中学校1年生では、「状態変化と熱」で、状態変化によって物質の体積は変化するが、質量は変化しないことを粒子の概念で学習している。観察・実験としては、エタノールが入った袋に熱湯をかけると膨らむ、試験管に液体のろうを入れ固体になると体積が小さくなる【動画あり】、水をらせん状の金属の管の中で加熱し水蒸気を発生させ、紙を焦がしたりマッチに火をつけたりする、などを行っている。

【理論的背景】

粒子の熱運動と粒子間に働く力との関係により、物質の状態変化が起こる。100℃で 1mL の水を水蒸気すると 1600mL になり、体積変化は 1600 倍である。気体分子のエネルギーには一定の分布が存在し、温度変化とともにその分布が変化する。状態変化に伴うエネルギーの出入りや、状態間の平行と温度や圧力との関係については「化学」で取り扱う。蒸気圧曲線や沸騰なども「化学」で扱う。

【使用薬品】

- ・ 2-メチル-2-プロパノール

別名 t -ブチルアルコール。換気をよくして取り扱う。沸点 82℃、融点 25℃。

- ・ 沸騰石
- ・ 氷

- ・ 熱湯 電気ポットに用意しておいて、500mL のビーカーに入れて使う。ガスバーナーで水を加熱するなど生徒に作らせてもよい。やけどへの注意が必要。

【使用器具】

- ・ ガラス管(曲管 1 本、I 字管 1 本)
- ・ ビーカー (300mL 1 個、500mL 2 個)
- ・ ゴム管
- ・ 金網
- ・ スタンド
- ・ ゴム栓
- ・ 丸底フラスコ 500mL
- ・ トレイ 2 つ
- ・ 画びょう
- ・ 軍手
- ・ 三脚
- ・ チャック付ビニール袋 70 × 100mm
- ・ 電気ポット
- ・ ペットボトル(280mL)

【方法】

<実験Ⅰ 2-メチル-2-プロパノールの三態変化>

① 2-メチル-2-プロパノールの固体を観察する

2-メチル-2-プロパノール 2 mL をチャック付ビニール袋に入れ、空気を抜いてチャックを閉める。半分ほど氷の入った 300 mL ビーカーにチャック付ビニール袋を入れ、さらに上から氷を入れ、しばらく様子を観察する。

② 2-メチル-2-プロパノールの液体を観察する

①のチャック付ビニール袋をトレイに移し、凍った部分に 500 mL ビーカーに入っている熱湯を少しかけ、液体になる様子を観察する。軍手をはめ、やけどをしないよう注意すること。**熱湯は少しでよい。**

③ 2-メチル-2-プロパノールの気体を観察する

さらに電気ポットから熱湯を直接かけ、様子を観察する。**電気ポットからビーカーに熱湯を移してからかけると、熱湯の温度が下がり、袋があまり膨らまない。やかんでお湯を沸かして、すぐにかけてもよい。**

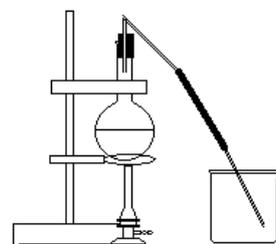
④ 2-メチル-2-プロパノールの液体を観察する

①のビーカーの氷と水をトレイに移し、袋を浸けて様子を観察する。

<実験Ⅱ 水の加熱と冷却>

⑤ 水を沸騰させる

図のような装置を組み立て、500 mL 丸底フラスコに沸騰石と水 200 mL を入れ加熱し、水を沸騰させる。**沸騰すると、気体誘導管からシューシューと水蒸気が出てくる。**



⑥ ビーカーに水を入れる

沸騰したら、気体誘導管の入った 500 mL ビーカーに水を満たす。

⑦ 水の逆流を観察する

火を止め、フラスコやビーカー内の変化を観察する。**しばらくすると、ビーカーの水がフラスコ内に逆流し始める。**

<実験Ⅲ ペットボトルの小便小僧>

⑧ ペットボトルに水を入れる

280 mL ペットボトルの下から 2 cm 程度の場所に画びょうで穴をあける。水を半分以上入れ、ふたをする。

⑨ 熱湯をかけ、観察する

ふたをした状態でトレイ内に置き、500 mL ビーカーに入っている熱湯をふたの上からかける。軍手をはめ、やけどをしないよう注意すること。**水がもう一つのトレイに排水されるようにする、など水浸しにならないよう工夫する。**

【結果】

1. 方法①～④のチャック付ビニール袋の中はどのような様子だったか。

①	チャック付ビニール袋の中の液体が固体になった。
②	チャック付ビニール袋の中の固体が溶けて液体になった。
③	チャック付ビニール袋の中の液体が気体になり、袋が膨らんだ。
④	チャック付ビニール袋の中の気体が液体になり、袋がしぼんだ。

2. 方法⑤、⑥では、気体誘導管の先はどのような様子だったか。

⑤	水蒸気の白い煙が出てきた。
---	---------------

⑥ 泡は発生せず、特に変化なし。

3. 方法⑦で加熱をやめるとビーカーの水やフラスコ内はどうなったか。

ビーカー内の水が逆流し、フラスコ内へ流れ込んだ。

4. 方法⑨で熱湯をかけるとどのような変化が起こったか。

ペットボトルの穴から中の水が飛び出した。

【考察】

1. 方法①～④でおきた状態変化の現象名を答えよ。また、熱運動の変化を激しくなった、穏やかになった、の言葉を使って表せ。例) 現象名：昇華(固体→気体)、熱運動：激しくなった

	現象名	熱運動		現象名	熱運動
①	凝固	穏やかになった	③	蒸発	激しくなった
②	融解	激しくなった	④	凝縮	穏やかになった

2. 方法⑥で気体誘導管から泡が出なかったのはなぜか。

フラスコ内で発生した水蒸気がビーカーの水に冷やされ、液体の水に変化したため、水蒸気の気泡は発生しなかった。

3. 方法⑦で加熱を止めたとき、ビーカー内では圧力が小さくなる変化が起こった。その変化を水分子の熱運動と状態変化から説明せよ。

加熱を止めたため、水分子の熱運動が小さくなり、水蒸気が凝縮して水になった。その結果体積が小さくなり、フラスコ内の圧力は小さくなった。

4. 方法⑦で加熱を止めたとき、フラスコ内で起こった水の逆流現象について、圧力の変化から説明せよ。

フラスコ内の圧力が大気圧より小さくなったため、ビーカーの水が大気圧に押されフラスコ内へ逆流した。

5. 方法⑨で起こった現象について、熱運動の変化、圧力の変化で説明せよ。

ペットボトルに含まれる空気構成粒子の熱運動が大きくなったため、圧力が大きくなりペットボトルの中の水を押し出した。

【その他の考察】

- 加熱を止めるとき、ゴム管をターンクリップではさむとどうなるだろうか。【動画あり】
→フラスコ内の圧力は水分子の凝縮により下がるが、飽和水蒸気圧も下がるため、しばらくの間沸騰が続く。ターンクリップをはずすと沸騰は停止する。減圧下の沸騰は「化学」での取り扱いになっている。

【その他の観察・実験、発展】

- 拡散を熱運動で説明
グリセリンに赤いインクで着色した水を一滴落とし拡散する様子、2つの集気びんの口どうしを仕切り板を挟んで合わせ、一方のびんにある臭素が仕切り板を除くと拡散する様子、などを観察し、粒子の熱運動で考察させる。
- ヨウ素の昇華の観察
ヨウ素の固体をビーカーに少量入れ加熱し気体とし、その上部に水を入れた丸底フラスコや試験管を配

置し、ヨウ素が再び固体に戻りフラスコや試験管にくっつく様子を観察する。

- 二酸化炭素の昇華の観察
注射器(圧縮発火装置でもよい)にドライアイスを一かけら入れ、ピストンを押し液化させる。大気圧の5倍の圧力で液化する。
- シクロヘキサンの体積変化
100mL 注射器にシクロヘキサン(沸点 81°C)を数滴入れ、空気を抜いて注射器の先のゴム管をピンチコックでとめる。注射器を逆さに熱湯に浸して体積変化を確認する。
- アンモニアと塩酸を拡散させ、塩化アンモニウムの白煙を観察
ガラス管やアクリルパイプなど両端が開いた筒状の管と両端をふさぐゴム栓を用意する。アンモニア2、3滴と濃塩酸2、3滴を別々の丸めた脱脂綿に含ませ、管の両端に置き、ゴム栓でふたをする。pH試験紙を管の長さに切り、管内に貼り付けておいてもよい。白煙の生じる様子を観察し、白煙はなぜ生じたか、なぜ生じる位置が管の中央からずれるかなどを考察する。
- 液体窒素で三態変化を観察
液体窒素(沸点-196°C)でいろいろなものを冷却する。エタノールを冷却して固体にし、液体のエタノールに入れ沈む様子を観察する、気体の酸素、二酸化炭素などを冷却して液体酸素やドライアイスを観察する、空のペットボトルを冷却してペットボトルのつぶれる様子を観察する、超伝導によるマイスナー効果(観察キットが販売されている)を観察する、ゴムボールやバラの花などを凍らせて粉々になる様子を観察する、バナナを凍らせて釘を打つ、ジュースを凍らせてアイスクャンディーをつくる、マシュマロを凍らせて食べてみる、などがある。

【廃液処理】

- 2-メチル-2-プロパノールは、有機溶媒専用の廃液タンクに貯蔵し、処理資格をもつ専門の廃棄物処理業者に処理を委託する。

【後片付け】

- 沸騰石はざるにあけるなどして回収し、排水溝を詰まらせないようにする。
- ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。

【目的】

結合の違いにより結晶の性質が異なることを利用し、イオン結晶、共有結合の結晶、分子結晶、金属の結晶を判別する。本実験では、ステアリン酸、塩化ナトリウム、スズ、石英砂を判別する。

【結晶の特徴】

	構造	特徴	固体の電気伝導性	液体の電気伝導性	物質の例
イオン結晶	陽イオンと陰イオンとがイオン結合してできた結晶。組成式で表す。	硬くてもろい。 水によく溶ける。 水溶液や液体は電気を通す。	無	有	ヨウ化カリウム KI、酸化カルシウム CaO
共有結合の結晶	多数の原子の共有結合でできた結晶(巨大分子)。組成式で表す。	非常に硬い。 融点が非常に高い。 ※黒鉛は例外	無 ※黒鉛は例外	無	ダイヤモンド C、二酸化ケイ素 SiO ₂
分子結晶	分子が規則正しく並んだ結晶。分子式で表す。	軟らかくもろい。昇華しやすいものもある。	無	無	ヨウ素 I ₂ 、ドライアイス CO ₂
金属の結晶	多数の金属原子が金属結合してできた結晶。組成式で表す。	硬いものから軟らかいものまである。 展性・延性がある。	有	有	ナトリウム Na、鉄 Fe

【使用薬品】

- ・ステアリン酸 ・塩化ナトリウム ・スズ ・石英砂

【使用器具】

- ・モーター付プロペラ ・ガスバーナー ・炭素棒2本 ・ガラス棒 ・ビーカー (50mL 4個)
- ・薬さじ4本 ・金網 ・アルミカップ3個 ・三脚 ・石英試験管1本
- ・みのむしクリップ付コード3本 ・9V乾電池 ・9V乾電池用スナップ

【方法】

- ① **手触り、硬さ、光沢、においを観察する**
試料A～Dの手触り、硬さ、光沢、においなどを観察し、ステアリン酸、塩化ナトリウム、スズ、石英砂のどれに当てはまるか予想を記入する。触った場合は手をよく洗うこと。
- ② **固体の電気伝導性を調べる**
試料A～Dの固体の電気伝導性を炭素棒とプロペラを使って調べ、記録する。感電に注意すること。電極は、試料ごとに拭いてから使用すること。
- ③ **水溶性と水溶液の電気伝導性を調べる**
試料A～Dを各50mLビーカーに薬さじ1杯程度取り、水20mLを入れて振り混ぜ、水溶性を調べる。水に溶けた試料は炭素棒とプロペラで水溶液の電気伝導性を調べ、記録する。感電に注意すること。
- ④ **融解のしやすさと液体の電気伝導性を調べる**
③で水溶液の電気伝導性のなかった試料3つをすべて、各アルミカップに薬さじ1杯程度入れ金網に置いてガスバーナーで加熱し、融解した試料は電気伝導性を調べ、記録する。やけど、感電に注意すること。

化学結合と物質の性質

年 組 番氏名

【結果】

	A	B	C	D
外観、におい、手触りなどの特徴				
物質の予想				
固体の電気伝導性				
水への溶解性				
水溶液の電気伝導性				
融解のしやすさ				
液体の電気伝導性				

【考察】

1. 実験結果より、試料A～Eがどの物質かを判断せよ。また、各物質の結晶と化学結合の種類も答えよ。

固体の電気伝導性あり → 物質名 _____ (金属の結晶)

固体の電気伝導性なし → 水溶性あり → 物質名 _____ (イオン結晶)

水溶性なし → 融解しやすい → 物質名 _____ (分子結晶)

融解しにくい → 物質名 _____ (共有結合の結晶)

	A	B	C	D
実験結果から推定した物質				
結晶の種類				
化学結合の種類				

2. 塩化ナトリウムを融解すると、電気を通すだろうか。塩化ナトリウムの化学結合から予想し、理由も説明せよ。塩化ナトリウムを石英試験管に取り、融解し電気伝導性を確認せよ。

化学結合と物質の性質(指導者用)

【目的】

結合の違いにより結晶の性質が異なることを利用し、イオン結晶、共有結合の結晶、分子結晶、金属の結晶を判別する。本実験では、**ステアリン酸、塩化ナトリウム、スズ、石英砂**を判別する。

【所要時間】 約 40 分

【小中学校での既習事項】

小学校4年生の「金属、水、空気と温度」の単元で、金属は暖めたり冷やしたりすると体積が変わること、5年生の「物の溶け方」単元で食塩が水に溶ける量には限界があることを学習しているが、金属やイオンからできた物質それぞれの特徴を学習する単元はない。

中学校1年生の「物質のすがた」の単元で、身の回りの物質とその性質（金属、プラスチックなど）の特徴について学習している。「状態変化」の単元でドライアイスやろうの状態変化、中学校3年生で「水溶液とイオン」の単元で塩化ナトリウムや砂糖、エタノールなどの水溶液の電気伝導性を学習している。観察・実験では、中学校1年生で、白い粉(白砂糖、デンプン、食塩、グラニュー糖)を区別するために、ルーペで観察、手であおいで臭いを確認、指でこすり合わす、試験管に入れて水に溶かす、アルミ箔で作った容器で加熱、などを行っている【動画あり】。また、金属と非金属を電気伝導性から判断する観察・実験も行っている。中学校3年生では、水溶液(砂糖水、果物の汁、食塩水、塩酸、硫酸、エタノール水溶液、水道水、雨水、塩化銅(II)水溶液、水酸化ナトリウム水溶液など)に電流が流れるかどうかを調べる観察・実験を行っている。

【理論的背景】

化学結合の違いにより結晶の硬さ、もろさ、融点、固体・液体・水溶液の伝導性などの物質の性質が異なる。

【結晶の特徴】

	構造	特徴	固体の電気伝導性	液体の電気伝導性	物質の例
イオン結晶	陽イオンと陰イオンとがイオン結合してできた結晶。組成式で表す。	硬くてもろい。 水によく溶ける。 水溶液や液体は電気を通す。	無	有	ヨウ化カリウム KI、酸化カルシウム CaO
共有結合の結晶	多数の原子の共有結合でできた結晶(巨大分子)。組成式で表す。	非常に硬い。 融点が非常に高い。 ※黒鉛は例外	無 ※黒鉛は例外	無	ダイヤモンド C、二酸化ケイ素 SiO ₂
分子結晶	分子が規則正しく並んだ結晶。分子式で表す。	軟らかくもろい。昇華しやすいものもある。	無	無	ヨウ素 I ₂ 、ドライアイス CO ₂

金属の結晶	多数の金属原子が金属結合してできた結晶。組成式で表す。	硬いものから軟らかいものまである。展性・延性がある。	有	有	ナトリウム Na、鉄 Fe
-------	-----------------------------	----------------------------	---	---	---------------

【使用薬品】

- ・ステアリン酸 融点約 70℃ ・塩化ナトリウム 融点 801℃ ・石英砂 融点 1650℃ケイ砂でもよい
- ・スズ 融点 232℃、鉛との合金がはんだ、銅との合金が青銅と呼ばれている。

【使用器具】

- ・モーター付プロペラ ・ガスバーナー ・炭素棒 2本 ステンレス板や針金で電極を自作しても可。
- ・ガラス棒 ・石英試験管 1本 ・ビーカー (50mL 4個)
- ・薬さじ 4本 ・金網 ・三脚 ・みのむしクリップ付コード 3本
- ・アルミカップ 3個 アルミ箔をペットボトルのふたや試験管で型を取り自作してよい。
- ・9V乾電池 ・9V乾電池用スナップ

【方法】

① 手触り、硬さ、光沢、においを観察する

試料 A～D の手触り、硬さ、光沢、においなどを観察し、ステアリン酸、塩化ナトリウム、スズ、石英砂のどれに当てはまるか予想を記入する。触った場合は手をよく洗うこと。

② 固体の電気伝導性を調べる

試料 A～D の固体の電気伝導性を炭素棒とプロペラを使って調べ、記録する。感電に注意すること。電極は、試料ごとに拭いてから使用すること。

③ 水溶性と水溶液の電気伝導性を調べる

試料 A～D を各 50mL ビーカーに薬さじ 1 杯程度取り、水 20mL を入れて振り混ぜ、水溶性を調べる。水に溶けた試料は炭素棒とプロペラで水溶液の電気伝導性を調べ、記録する。感電に注意すること。

④ 融解のしやすさと液体の電気伝導性を調べる

③で水溶液の電気伝導性のなかった試料 3 つをすべて、各アルミ 融点 660℃ カップに薬さじ 1 杯程度入れ金網に置いてガスバーナーで加熱し、融解した試料は電気伝導性を調べ、記録する。やけど、感電に注意すること。

【結果】

	A (石英砂)	B (塩化ナトリウム)	C (スズ)	D (ステアリン酸)
外観、におい、手触りなどの特徴	白い。ざらざらしている。 無臭	白い。ざらざらしている無臭	銀色。金属光沢有。	白い。すべすべしている。
物質の予想				
固体の電気伝導性	無	無	有	無
水への溶解性	無	有	無	無
水溶液の電気伝導性	無	有	無	無
融解のしやすさ	しない	非常にしにくい	しにくい	しやすい
液体の電気伝導性	/	/	有	無

【考察】

1. 実験結果より、試料A～Eがどの物質かを判断せよ。また、各物質の結晶と化学結合の種類も答えよ。

固体の電気伝導性あり → 物質名 スズ (金属の結晶)

固体の電気伝導性なし → 水溶性あり → 物質名 塩化ナトリウム (イオン結晶)

水溶性なし → 融解しやすい → 物質名 ステアリン酸 (分子結晶)

融解しにくい → 物質名 石英砂 (共有結合の結晶)

	A	B	C	D
実験結果から推定した物質	石英砂	塩化ナトリウム	スズ	ステアリン酸
結晶の種類	共有結合の結晶	イオン結晶	金属の結晶	分子結晶
化学結合の種類	共有結合	イオン結合	金属結合	分子間の引力 (分子間力)

2. 塩化ナトリウムを融解すると、電気を通すだろうか。塩化ナトリウムの化学結合から予想し、理由も説明せよ。塩化ナトリウムを石英試験管に取り、融解し電気伝導性を確認せよ。融解したときに、ガスバーナーを止め、試験管にマッチを近づけると発火する。マッフルにうつばや蒸発皿を乗せ、融解させる方法もある。道具が揃わない場合は、動画で確認する。【動画あり】
融解すると、イオン結合していたイオンが自由に動けるようになるため、電気を通すようになる。

【その他の考察】

- ・シャープペンの芯は黒光りし、電気を通すが金属ではない。シャープペンの芯が金属でないことはどんな実験で分かるか。
→ 金槌などでたたく。シャープペンの芯はすぐに粉々になる。展性や延性があるのが金属の特徴なので、シャープペンの芯は金属ではないことが分かる。
- ・ドライアイスの上に金属のスプーンを置くと、振動してスプーンが音を出す。この現象をドライアイス(分子結晶)の性質から説明せよ。(ドライアイスの表面温度は約 -80°C である。)5 cm × 5 cm 程度の板状のドライアイスで十分観察できるので、実際やってみてもよい。【動画あり】
→ ドライアイスは二酸化炭素分子の結合が弱いため、昇華する性質がある。スプーンを当てるとスプーンの熱(や圧力)で昇華が起こり、発生した二酸化炭素がスプーンを押し上げ振動させる。

【その他の観察・実験】

- ・亜鉛、ヨウ化カリウム KI などを融解して伝導性を調べる。

【廃液処理】

- ・ステアリン酸は、回収して燃えるごみで処分する。
- ・石英砂は回収し再利用する。
- ・スズは回収し自治体の指示に従い不燃物として処分する。

【後片付け】

- ・ガラス器具と薬さは水洗いしたあと、最後は洗剤に浸け置きしてから洗い、片付ける。

物質の極性と溶解

年 組 番氏名

【目的】

溶質や溶媒の極性の有無により溶解に違いがでる。極性分子の水と無極性分子のシクロヘキサンを溶媒に、各物質の極性の有無から溶解の結果を判断する。

【使用薬品】

- ・エタノール
- ・プロパノール
- ・ヘキサン
- ・ヨウ素
- ・シクロヘキサン
- ・濃アンモニア水
- ・フェノールフタレイン溶液

【使用器具】

- ・試験管 6本
- ・試験管立て
- ・駒込ピペット
- ・丸底フラスコ 500mL
- ・先の細いガラス管
- ・ゴム管つきガラス管
- ・スポイト
- ・ゴム栓 (二穴 1個、穴無 1個)
- ・ターンクリップ
- ・キッチンペーパー
- ・ビーカー 500mL

【方法】

<実験Ⅰ 固体・液体分子の溶解>

① 水への溶解の有無を予想する

⑦エタノール、⑧プロパノール、⑨ヘキサン、⑩ヨウ素の分子式を参考に、水への溶解を予想し、記入する。

② 水への溶解を調べる

試験管 4本に水を 2mL ずつ入れ、別々の試験管に⑦エタノール、⑧プロパノール、⑨ヘキサンは 2mL ずつ、⑩ヨウ素は耳かき一杯程度を加える。よく振り混ぜて、静置し様子を記録する。

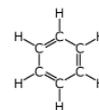
③ シクロヘキサンへの溶解を予想する

⑨ヘキサン、⑩ヨウ素の分子式を参考に、シクロヘキサン C_6H_{12} への溶解を予想し、記入する。

④ シクロヘキサンへの溶解を調べる

試験管 2本にシクロヘキサンを 2mL ずつ入れ、⑨ヘキサン 2mL、⑩ヨウ素耳かき一杯程度を加える。よく振り混ぜて、静置し様子を記録する。

シクロヘキサン



<実験Ⅱ 気体分子の溶解>

⑤ ゴム栓の準備をする

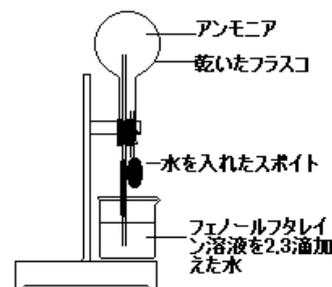
先の細いガラス管とゴム管付ガラス管をつなぐ。スポイトに水を入れ、先ほどつないだガラス管と一緒にゴム栓に取り付ける。ゴム管の途中をターンクリップで挟む。500mL ビーカーに水を入れ、フェノールフタレイン溶液を 2、3 滴加える。

⑥ アンモニアを水に溶解させる

濃アンモニア水 1.0mL を丸底フラスコに入れ、穴の開いていないゴム栓でふたをし、丸底フラスコを手で温めて、丸底フラスコ内をアンモニアの気体で満たす。濃アンモニア水は刺激臭がするため吸い込まないように注意して扱うこと。ゴム栓を⑤のゴム栓とキッチンペーパーの上で取り替え、スポイトの水を丸底フラスコに入れ、よく振り、アンモニアを水に溶解させる。

⑦ 丸底フラスコ内の様子を観察する

図のような装置を組み立て、ターンクリップをはずし、丸底フラスコ内の様子を記録する。



物質の極性と溶解

年 組 番氏名

【結果】

<実験Ⅰ 固体・液体分子の溶解>

	①エタノール	②プロパノール	③ヘキサン	④ヨウ素
分子式	C_2H_5OH	C_3H_7OH	C_6H_{14}	I_2
構造式	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-O-H \\ & \\ H & H \end{array}$	$\begin{array}{c} H & H & H \\ & & \\ H-C & -C & -C-O-H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	$\begin{array}{c} H & H & H & H & H & H \\ & & & & & \\ H-C & -C & -C & -C & -C & -C-H \\ & & & & & \\ H & H & H & H & H & H \end{array}$	I - I
極性の有無				
水への溶解 予想				
水への溶解 結果				
シロヘキサンへの 溶解予想				
シロヘキサンへの 溶解結果				

<実験Ⅱ 気体分子の溶解>

・方法⑦の様子と丸底フラスコ内の水の液性

【考察】

1. <実験Ⅰ 固体・液体分子の溶解>より、どのような組み合わせだと溶けるか。極性の有無から説明せよ。

2. 方法⑦で起こった現象を極性の有無と溶解から説明せよ。

3. <実験Ⅱ 気体分子の溶解>の装置で、二酸化炭素 CO_2 を丸底丸底フラスコに入れて同様の実験をするとどのような結果になるか。その理由も説明せよ。

物質の極性と溶解（指導者用）

【目的】

溶質や溶媒の極性の有無により溶解に違いがでる。極性分子の水と無極性分子のシクロヘキサンを溶媒に、各物質の極性の有無から溶解の結果を判断する。

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校 5 年生の「物の溶け方」の単元で、物が水に溶ける量には限度があること、物が水に溶ける量が温度、量、溶ける物により変化することを学習している。食塩とミョウバンの溶け方の比較や温度を変えて溶ける量を調べる観察・実験を行っている。

中学校 1 年生では、「気体の発生と性質」の単元で、気体の発生と性質を学び、アンモニアの噴水実験が記載されている。「水溶液」の単元では、物質の溶解、溶解度と再結晶について学習している。観察・実験では、赤色素やコーヒーシュガーなどの拡散の様子、デンプンは水に溶解しないこと、などを行っている。**【動画あり】**

【理論的背景】

極性分子どうし、無極性分子どうしが溶解しやすい。しかし、極性分子であっても親油基が大きくなると水に溶解しにくくなる。

【使用薬品】

- ・ エタノール
- ・ プロパノール
- ・ ヘキサン
- ・ ヨウ素
- ・ シクロヘキサン

プロパノール、ヘキサン、シクロヘキサンは臭いがきついので換気をよくして取り扱うこと。

- ・ 濃アンモニア水

濃アンモニア水は揮発しやすい。刺激臭がするためドラフト内で取り扱うほうがよい。

- ・ フェノールフタレイン溶液

100mL のフェノールフタレイン溶液を作るには、粉末のフェノールフタレイン 1.0g を 95%エタノール 90mL に溶かし、水を加えて 100mL とする。

【使用器具】

- ・ 試験管 6 本
- ・ 試験管立て
- ・ 駒込ピペット
- ・ 丸底フラスコ 500mL
- ・ 先の細いガラス管 **ガラス管を熱して作成するか、駒込ピペットなどで代用してもよい。アンモニア噴水実験用として市販もされている。**
- ・ ゴム管つきガラス管
- ・ スポイト **L字管にキャップをつけたものでもよい。**
- ・ ゴム栓（二穴 1 個、穴無 1 個）
- ・ ターンクリップ
- ・ キッチンペーパー
- ・ 500mL ビーカー

【方法】

<実験Ⅰ 固体・液体分子の溶解>

① 水への溶解の有無を予想する

㊸エタノール、㊹プロパノール、㊺ヘキサン、㊻ヨウ素の分子式を参考に、水への溶解を予想し、記入する。

② 水への溶解を調べる

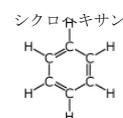
試験管4本に水を2mLずつ入れ、別々の試験管に㊸エタノール、㊹プロパノール、㊺ヘキサンは2mLずつ、㊻ヨウ素は耳かき一杯程度を加える。よく振り混ぜて、静置し様子を記録する。

③ シクロヘキサンへの溶解を予想する

㊺ヘキサン、㊻ヨウ素の分子式を参考に、シクロヘキサン C_6H_{12} への溶解を予想し、記入する。

④ シクロヘキサンへの溶解を調べる

試験管2本にシクロヘキサンを2mLずつ入れ、㊺ヘキサン2mL、㊻ヨウ素耳かき一杯程度を加える。よく振り混ぜて、静置し様子を記録する。



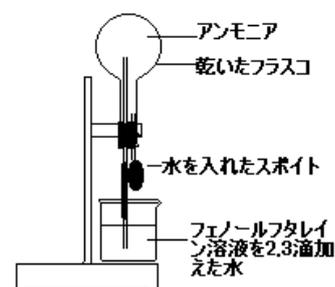
<実験Ⅱ 気体分子の溶解>

⑤ ゴム栓の準備をする

先の細いガラス管とゴム管付ガラス管をつなぐ。スポイトに水を入れ、先ほどつないだガラス管と一緒にゴム栓に取り付ける。ゴム管の途中をターンクリップで挟む。500mLビーカーに水を入れ、フェノールフタレイン溶液を2、3滴加える。

⑥ アンモニアを水に溶解させる

濃アンモニア水 1.0mL を丸底フラスコに入れ、穴の開いていないゴム栓でふたをし、丸底フラスコを手で温めて、丸底フラスコ内をアンモニアの気体で満たす。濃アンモニア水は刺激臭がするため吸い込まないように注意して扱うこと。丸底フラスコはよく乾いたものを使用する。水にぬれているとすぐにアンモニアの溶解が始まり、減圧が不足することがある。丸底フラスコに濃アンモニア水を入れるときは、ドラフト内で行うほうがよい。ゴム栓を⑤のゴム栓とキッチンペーパーの上で取り替え残った液体のアンモニアを吸収させるため、スポイトの水を丸底フラスコに入れ、よく振り、アンモニアを水に溶解させる。



⑦ 丸底フラスコ内の様子を観察する

図のような装置を組み立て、ターンクリップをはずし、丸底フラスコ内の様子を記録する。

スタンドで丸底フラスコを固定せず、手で支えても実験できる。

【結果】

<固体・液体分子の溶解>

	㊸エタノール	㊹プロパノール	㊺ヘキサン	㊻ヨウ素
分子式	C_2H_5OH	C_3H_7OH	C_6H_{14}	I_2
構造式	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{I} - \text{I}$

極性の有無	有	有	無	無
水への溶解 予想				
水への溶解 結果	溶解する	溶解する	溶解しない	ほとんど溶解し ない
シロキサンへの 溶解予想				
シロキサンへの 溶解結果			溶解する	溶解する

<実験Ⅱ 気体分子の溶解>

・方法⑦の様子と丸底フラスコ内の水の液性

ビーカーの水が丸底フラスコ内に吹き上がり、水が赤く着色した。フェノールフタレインが赤色に変化したため、液性は塩基性。

【考察】

1. <実験Ⅰ 固体・液体分子の溶解>より、どのような組み合わせだと溶けるか。極性の有無から説明せよ。

極性のあるものどうし、極性のないものどうしは溶ける。

2. 方法⑦で起こった現象を極性の有無と溶解から説明せよ。

アンモニアは極性分子のため同じ極性分子の水に溶けた。そのため、丸底フラスコ内の圧力が下がり、ビーカーの水が大気圧に押され丸底フラスコ内に吹き上がった。

3. <実験Ⅱ 気体分子の溶解>の装置で、二酸化炭素 CO_2 を丸底丸底フラスコに入れて同様の実験をするとどのような結果になるか。その理由も説明せよ。

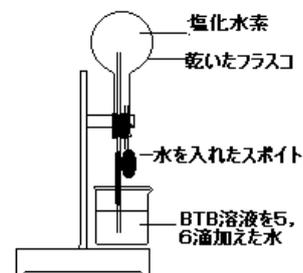
二酸化炭素は無極性分子のため、水に溶けにくく噴水は起こらない。

【その他の観察・実験】

・塩化水素で丸底フラスコを満たし、BTB 溶液で着色しても噴水を作ることができる。【動画あり】

・電子レンジで極性分子と無極性分子を加熱し、温度変化を比較する。

電子レンジは 2450MHz のマイクロ波を発生させている。24 億 5 千万回以上の電場が変化しているため、極性分子は振動し温度が上昇する。無極性分子はマイクロ波の影響が少なく温まりにくい。200mL ビーカーにヘキサンを 100mL 入れ、温度を測定する。ポリエチレンラップをして 20 秒ほど加熱し、再びヘキサンの温度を測定する。水についても同様に行い比較する。加熱にオーブンを使用しないこと（オーブンはマイクロ波を利用していないため）。



【廃液処理】

- ・＜実験Ⅰ 固体・液体の溶解＞で使用したすべての廃液は、有機溶媒専用の廃液タンクに入れる。タンクに何の溶液を入れたかを記録しておくこと。水溶性の物質が混ざっていても有機溶媒用の廃液タンクに入れること。
- ・＜実験Ⅱ 気体分子の溶解＞で使用した濃アンモニア水は、フラスコ内を水で満たし、酸で中和して（pHが6～8程度）廃棄する。

【後片付け】

- ・ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。

【目的】

炭酸カルシウム CaCO_3 と塩酸 HCl における、反応物と生成物の物質質量 [mol] の関係を調べる。

(発生する気体は_____である)

【使用薬品】

- ・粉末状の炭酸カルシウム CaCO_3
- ・ 2.0 mol/L 塩酸 HCl

【使用器具】

- ・ ビーカー (100mL 4 個)
- ・ メスシリンダー 25mL
- ・ 電子天秤
- ・ 薬包紙
- ・ 薬さじ
- ・ 駒込ピペット 2mL

【方法】

① 炭酸カルシウムをはかり取る

薬包紙に折り目をつけ、電子天秤にのせ、ゼロ点合わせをする (指示のあったボタンを押すこと)。薬包紙上に炭酸カルシウムの粉末を 1.00 g はかり取る。同様に、2.00 g、3.00 g、4.00 g ずつを薬包紙にはかり取る。

② 塩酸を 25mL はかる

2.0 mol/L 塩酸を 25mL ずつメスシリンダーではかり、4 個のビーカーに入れる。メスシリンダーの液面を合わせるときは、駒込ピペットで少しずつ入れて液面の最下面が目盛りに合うよう調節する (メニスカス)。手に付いた場合は速やかに水で洗い流すこと。

③ 反応前の質量を測定する

1 つのビーカーの上に①の 1.00 g をはかった薬包紙をのせ、そのまま電子天秤にのせる。ビーカーごと全体の質量を測定し、記録する。

④ 炭酸カルシウムと塩酸を反応させる

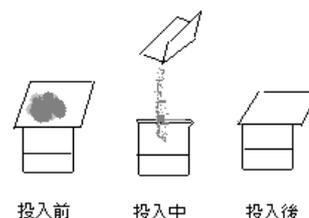
③のビーカーを電子天秤から下ろし、薬包紙の炭酸カルシウムをビーカーに加え反応させる。全部入れ終わったら液が飛び散らないように薬包紙でふたをすること。

⑤ 反応後の質量を測定する

反応終了後、ふたに用いた薬包紙をとって発生した二酸化炭素を逃す。その後、薬包紙とともにビーカーの質量を測定し、記録する。炭酸カルシウムの粉末が反応せずに残るようであれば、記録する。

⑥ 2.00 g ~ 4.00 g の炭酸カルシウムについて同様の操作をする

同様に、2.00 g、3.00 g、4.00 g の炭酸カルシウムについて③~⑤ の操作を行う。



化学反応と物質質量

年 組 番 氏名

【結果】

炭酸カルシウムの質量	1.00 g	2.00 g	3.00 g	4.00 g
③ (炭酸カルシウム+塩酸+ビーカー) の質量	g	g	g	g
⑤ (反応後の溶液+ビーカー) の質量	g	g	g	g
発生した二酸化炭素の質量 (③-⑤)	g	g	g	g
未反応の炭酸カルシウムの有無				

【考察】

- 1 2.0mol/L 塩酸 25mL 中に含まれる塩化水素 HCl は何 mol か。

_____ mol

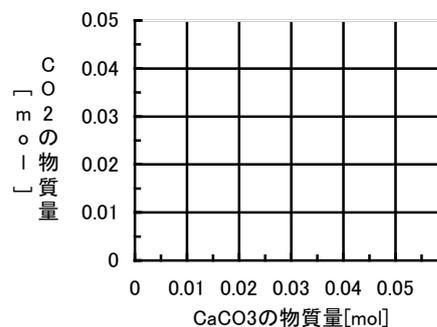
- 2 炭酸カルシウム CaCO_3 の式量と二酸化炭素 CO_2 の分子量を求めよ。原子量 $\text{C}=12$ 、 $\text{O}=16$ 、 $\text{Ca}=40$

CaCO_3 _____ CO_2 _____

- 3 実験結果の表を物質質量に計算しなおして、次の表にまとめよ (小数第3位まで求めよ)。

炭酸カルシウム CaCO_3 の物質質量 [mol]	mol	mol	mol	mol
二酸化炭素 CO_2 の物質質量 [mol]	mol	mol	mol	mol
塩酸 (塩化水素) HCl の物質質量 [mol]	mol	mol	mol	mol

- 4 上の表から、炭酸カルシウムと二酸化炭素の物質質量の関係をグラフに表せ。まず、原点とはじめの2点を見通す直線を書き、残りの2点を見通す直線を書き入れよ。



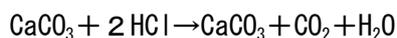
- 5 加えた塩酸 (塩化水素) HCl とちょうど反応する炭酸カルシウム CaCO_3 は何 mol か。グラフの交点から読み取れ。

_____ mol

- 6 反応する CaCO_3 、HCl、 CO_2 との物質質量 [mol] 比になっているか。

CaCO_3 : HCl : CO_2 = _____ mol : _____ mol : _____ mol = _____ : _____ : _____

- 7 この反応を化学反応式で表すと、次のようになる。この化学反応式の係数と実験結果を比較せよ。



化学反応と物質質量（指導者用）

【目的】

炭酸カルシウム CaCO_3 と塩酸 HCl における、反応物と生成物の物質質量 [mol] の関係を調べる。

（発生する気体は 二酸化炭素 CO_2 である）

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校で扱う化学変化は燃焼である。集気瓶中でろうそくを燃やし、石灰水が白濁することで、二酸化炭素を確認している。中学校では、簡単な化学反応式や、化学反応の前後で物質の質量の総和が等しい（質量保存の法則）こと、互いに反応する物質の質量比が一定であること（定比例の法則）について学習している。観察・実験としては炭酸水素ナトリウムと塩酸、鉄と硫黄、銅やマグネシウムの酸化などを扱う。【銅の酸化の動画あり】

【理論的背景】

化学反応式の係数は、反応にかかわる物質の物質質量の比を表している。

$aA + bB \rightarrow cC + dD$ で反応する物質の物質質量の比 = $a : b : c : d$

【使用薬品】

- ・粉末状の炭酸カルシウム CaCO_3
- ・ 2.0mol/L 塩酸 HCl

濃塩酸を薄めて調整する場合は、濃塩酸 1 に水 5 の体積比を混合する（6 倍に希釈）。濃塩酸は揮発しやすく白煙が出るのでドラフトで希釈を行うこと。

【使用器具】

- | | | |
|--------------------|----------------|--------------|
| ・ ビーカー (100mL 4 個) | ・ メスシリンダー 25mL | ・ 電子天秤 |
| ・ 薬包紙 | ・ 薬さじ | ・ 駒込ピペット 2mL |

【方法】

① 炭酸カルシウムをはかり取る

薬包紙に折り目をつけ、電子天秤にのせ、ゼロ点合わせをする（指示のあったボタンを押すこと）。薬包紙上に炭酸カルシウムの粉末を 1.00 g はかり取る。同様に、2.00 g、3.00 g、4.00 g ずつを薬包紙にはかり取る。

② 塩酸を 25mL はかる

2.0mol/L 塩酸を 25mL ずつメスシリンダーではかり、4 個のビーカーに入れる。メスシリンダーの液面を合わせるときは、駒込ピペットで少しずつ入れて液面の最下面が目盛りにも合うよう調節する（メニスカス）。手に付いた場合は速やかに水で洗い流すこと。

③ 反応前の質量を測定する

1つのビーカーの上に①の 1.00 g をはかった薬包紙を乗せ、そのまま電子天秤にのせる。ビーカーごと全体の質量を測定し、記録する。

④ 炭酸カルシウムと塩酸を反応させる

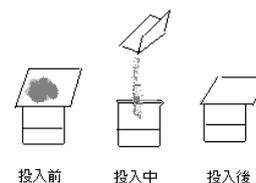
③のビーカーを電子天秤から下ろし、薬包紙の炭酸カルシウムをビーカーに加え反応させる。全部入れ終わったら液が飛び散らないように薬包紙でふたをすること。

⑤ 反応後の質量を測定する

反応終了後、ふたに用いた薬包紙をとって発生した二酸化炭素を逃す。ストローやエアポンプで吹き追い出してもよい。その後、薬包紙とともにビーカーの質量を測定し、記録する。炭酸カルシウムの粉末が反応せずに残るようであれば、記録する。

⑥ 2.00 g ~ 4.00 g の炭酸カルシウムについて同様の操作をする

同様に、2.00 g、3.00 g、4.00 g の炭酸カルシウムについて③~⑤ の操作を行う。同じ 100mL ビーカーでも微妙に質量が異なるので、必ず各ビーカーの総質量を測定すること。必ずゼロ点調節をしてから量ること。



【結果】

炭酸カルシウムの質量	1.00 g	2.00 g	3.00 g	4.00 g
③（炭酸カルシウム+塩酸+ビーカー）の質量	g	g	g	g
⑤（反応後の溶液+ビーカー）の質量	g	g	g	g
発生した二酸化炭素の質量（③-⑤）	0.44 g	0.88 g	1.1 g	1.1 g
未反応の炭酸カルシウムの有無	無	無	有	有

【考察】

1 2.0mol/L 塩酸 25mL 中に含まれる塩化水素 HCl は何 mol か。塩酸は塩化水素と水の混合物のことである。

$$2.0 \times \frac{25}{1000} = 0.050 \qquad \underline{\qquad 0.050 \qquad} \text{ mol}$$

2 炭酸カルシウム CaCO₃ の式量と二酸化炭素 CO₂ の分子量を求めよ。原子量 C=12、O=16、Ca=40
 CaCO₃ = 40 + 12 + 16 × 3 = 100 CO₂ = 12 + 16 × 2 = 44

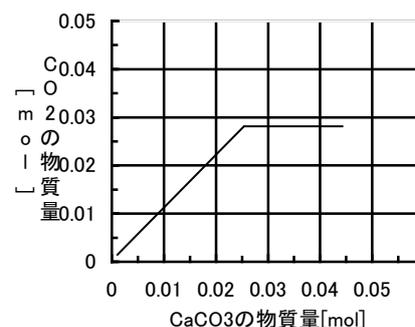
CaCO₃ 100 CO₂ 44

3 実験結果の表を物質質量に計算しなおして、次の表にまとめよ（小数第3位まで求めよ）。

炭酸カルシウム CaCO_3 の物質質量 [mol]	0.01mol	0.02mol	0.03mol	0.04mol
二酸化炭素 CO_2 の物質質量 [mol]	0.01mol	0.02mol	0.025mol	0.025mol
塩酸（塩化水素） HCl の物質質量 [mol]	0.050mol	0.050mol	0.050mol	0.050mol

4 上の表から、炭酸カルシウムと二酸化炭素の物質質量の関係をグラフに表せ。まず、原点とはじめの2点を見通す直線を書き、残りの2点を見通す直線を書き入れよ。

2本の直線、0.025mol で折り曲がるグラフとなる。



5 加えた塩酸（塩化水素） HCl とちょうど反応する炭酸カルシウム CaCO_3 は何 mol か。グラフの交点から読み取れ。

0.025 mol

6 反応する CaCO_3 、 HCl 、 CO_2 との物質質量 [mol] 比になっているか。

$\text{CaCO}_3 : \text{HCl} : \text{CO}_2 = 0.025\text{mol} : 0.05\text{mol} : 0.025\text{mol} = 1 : 2 : 1$

7 この反応を化学反応式で表すと、次のようになる。この化学反応式の係数と実験結果を比較せよ。
 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

係数の比と物質質量の比は一致する

【その他の考察例】

- 測定結果が2本の直線で表される理由を考えよ。また、2本の直線の交点が何を意味するのか考えよ。
 →未反応の塩化水素がある場合は、加える炭酸カルシウムの物質質量に比例して二酸化炭素が発生するため、比例の直線になる。しかし、塩化水素が完全に反応してしまうと、二酸化炭素の発生量は増えなくなり、X軸に平行な直線になる。そのため測定結果が2本の直線で表される。交点は、0.050molの塩化水素と完全に反応する炭酸カルシウムの物質質量を意味している。
- 物質質量 [mol] のグラフではなく、加えた炭酸カルシウムと反応後の質量 [g] の減少量（二酸化炭素の発生した質量）のグラフを書かせる。

【その他の観察・実験、発展】

- 炭酸水素ナトリウム NaHCO_3 （重曹）と 1.0mol/L 硫酸 H_2SO_4 20mL の反応で同様の実験を行う。
- マグネシウム Mg と塩酸 HCl を反応させ、発生した水素の量を測定しグラフ化する。
- エチレン C_2H_2 と空気の割合を変え（エチレン 100%、エチレン 50%と空気 50%、エチレン 10%と空気 90%など）、燃焼するかどうかを予想し、確認する。
- 300mL の水素 H_2 を発生させるには何 g のマグネシウムを塩酸と反応させればよいか。【動画あり】
 $\text{Mg} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$ より $\text{Mg} : \text{H}_2 = 1 : 1$ の物質質量で反応。常温常圧のとき気体 1 mol の体積は約

24Lとして計算すると、 H_2 300mLは $\frac{300}{1000 \times 24}$ mol。Mgも $\frac{300}{1000 \times 24}$ mol 必要になるので Mg=24 を使
い計算すると、 $\frac{300}{1000 \times 24} \times 24 = 0.3$ [g]あればよい。実際に 0.3 g の Mg を 3 mol/L の HCl と反応
させ、発生する気体をペットボトルやメスシリンダー等に回収し確認する。

【廃液処理】

- ・ 残った塩酸は塩基で中和（pHが6～8程度）した後、希釈しながら排水する。
- ・ ビーカーで反応させた廃液は、ひとつの容器に回収し、希釈しながら排水する（計算上、残った塩化水素と炭酸カルシウムはちょうど反応するため中和などの操作はいらない）。

【後片付け】

電子天秤はきれいに拭き掃除をする。ガラス器具と薬さじは水洗いしたあと、最後は洗剤に浸け置きして洗い片付ける。

【目的】

モル濃度の分かっている水酸化ナトリウム水溶液で食酢を滴定し、食酢中の酢酸の濃度を求める。

【使用薬品】

- ・ 0.100mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液
- ・ フェノールフタレイン溶液
- ・ 食酢
- ・ 蒸留水(純水)

【使用器具】

- ・ ホールピペット(10mL 2本)
- ・ メスフラスコ(100mL)
- ・ ビュレット(50mL)
- ・ 漏斗
- ・ コニカルビーカー(100mL)
- ・ ビーカー(100mL)
- ・ スタンド(ビュレット台)
- ・ ろ紙

【方法】

① 食酢を 10 倍に薄める

ホールピペットで食酢を 10.0mL とり、メスフラスコに移す。ホールピペットの口を指でしっかり押さえ、ホールの部分を手のひらで握って温め、最後の 1 滴まで移すこと。これに蒸留水(純水)を加えて 100mL とし、栓をして溶液をよく混合する(10 倍に希釈)。100mL に合わせにくいときは、駒込ピペットを用いて、1 滴ずつ水を加えるとよい。

② 食酢をホールピペットで 10mL 正確にはかり取る

10 倍に希釈した食酢を①とは別のホールピペット(①のホールピペットを②の水溶液で共洗いして使用してもよい)で 10.0mL 取り、コニカルビーカーに移す。さらに、フェノールフタレインを 2、3 滴コニカルビーカーに加える。

③ ビュレットに NaOH を入れる

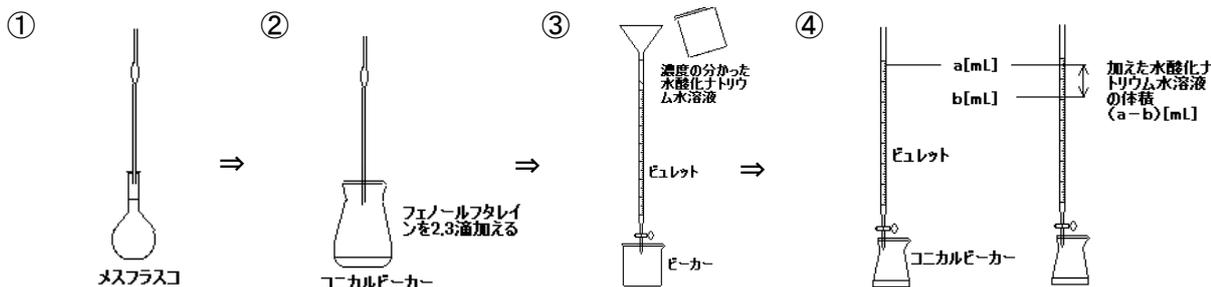
ビュレットに漏斗を使って水酸化ナトリウム水溶液を 0mL 付近まで入れる。ぴったり 0 に合わせる必要はない。漏斗を取り去り、ビュレットの下にビーカーを置き、コックを開いて少量の水溶液を出す。先端が水溶液で満たされ、気泡がないことを確認する。確認後、ビュレットの目盛りを最小目盛りの 1/10 の桁(0.01mL)まで読み取り、記録する(滴定開始時の目盛り)。

④ NaOH を中和するまで滴下する

ビュレットの下に③のコニカルビーカーを置く。ビュレットから水酸化ナトリウム水溶液をコニカルビーカーに滴下する。滴下のたびに液を軽く振り混ぜ、溶液がごく薄い赤色になり、振り混ぜても色が消えなくなったら滴下をやめる。再びビュレットの目盛りを読み取り、記録する(滴定終了時の目盛り)。

⑤ 同様の操作をあと 2 回繰り返す

コニカルビーカーの中の水溶液を捨て、水洗いした後蒸留水(純水)で内側を洗い③～⑤の操作をさらに 2 回行う。滴定終了時から滴定開始時の目盛りを差し引き、滴下量を求め、3 回の平均値を求める(小数第 2 位まで求めること)。滴下しすぎてしまった場合は、やり直すこと。



中和滴定

年 組 番氏名

【結果】

	滴定開始時の目盛り a	滴定終了後の目盛り b	滴下量 b - a
1 回目			
2 回目			
3 回目			
			平均値

【考察】

- 1 滴定の結果から、食酢を 10 倍に薄めた水溶液の酢酸のモル濃度を求めよ。さらに、10 倍に薄める前の食酢中の酢酸 CH_3COOH のモル濃度を求めよ。

・ 中和反応の量的関係 公式

・ 酢酸 CH_3COOH と水酸化ナトリウム NaOH の中和滴定の結果より、公式を利用して計算する。

・ 10 倍に薄めた食酢中の酢酸のモル濃度

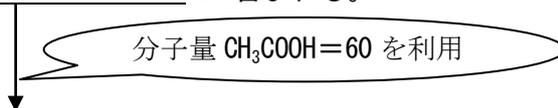
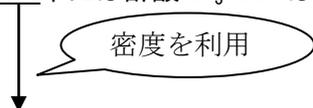
・ 10 倍に薄める前の食酢中の酢酸のモル濃度

_____ mol/L

_____ mol/L

- 2 食酢中に含まれる酢酸の質量パーセント濃度を求め、食酢の容器のラベル表示と比較せよ。ただし、食酢の密度は 1.00 g/mL とする。 $\text{CH}_3\text{COOH}=60$

・ 考察 1 より、食酢 1 L 中には酢酸 CH_3COOH は _____ mol 含まれる。



・ 食酢 _____ g 中には酢酸は _____ g 含まれる。

・ よって、食酢中の酢酸の質量パーセント濃度は

_____ %

・ ラベル表示

_____ %

中和滴定（指導者用）

【目的】

モル濃度の分かっている水酸化ナトリウム水溶液で食酢を滴定し、食酢中の酢酸の濃度を求める。

ビュレット、ホールピペット、メスフラスコなどの器具の基本操作、中和の量的関係を使ったモル濃度の決定、パーセント濃度への変換などを理解する。

【所要時間】 3回の滴定終了まで約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校では、酸性やアルカリ性の溶液に金属片を加えて反応を見たり、リトマス紙の色の変化で液性を確かめたりして酸性とアルカリ性の特徴を学ぶ。中学校では、BTB 溶液などの指示薬を使うなどして、酸性やアルカリ性の性質を学ぶとともに、中和により水と塩が生成すること【動画あり】、pH は 7 を中性として酸性やアルカリ性の強さを表していることを学習している。

【理論的背景】

<中和が完全に起こるときの酸・塩基の量的関係式>

酸の価数×酸のモル濃度×酸の体積＝塩基の価数×塩基のモル濃度×塩基の体積

$$\frac{a}{1000} \times c [\text{mol/L}] \times v [\text{mL}] = \frac{b}{1000} \times c' [\text{mol/L}] \times v' [\text{mL}]$$

この反応式を使い、食酢中の酢酸の濃度を計算する。酢酸 CH_3COOH 、水酸化ナトリウム NaOH とも価数 1。

【使用薬品】

- 0.100mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液

標準溶液を購入、または直前に調合する。使用量は班数×50mL。NaOH の濃度調整は CO_2 の吸着等もあり難しいので、シュウ酸であらかじめ中和滴定して正確な濃度を決定する必要がある。シュウ酸で滴定しない場合は、直前になるべく多めに調合する。

- 食酢 ラベルに質量パーセント濃度の表示があるもの
- 蒸留水（純水）
- フェノールフタレイン溶液

100ml のフェノールフタレイン溶液を作るには、粉末のフェノールフタレイン 1.0g を 95%エタノール 90mL に溶かし、水を加えて 100mL とする。

【使用器具】

- ホールピペット (10mL 2 本)

ホールピペットは、安全ピペッターを使ってもよい。口で直接吸う場合は、担当者を決める、自分のホールピペットにシールを貼るなどして用意する、消毒綿を用意する、等の配慮をする。

- メスフラスコ (100mL)
- ビュレット (50mL)
- コニカルビーカー (100mL)
- ビーカー (100mL)
- スタンド (ビュレット台)
- 漏斗
- ろ紙

【方法】

① 食酢を 10 倍に薄める

ホールピペットで食酢を 10.0mL 取り、目と同じ高さで液面の一番下が標線と同じになるように（メニスカス）、誤飲のないよう注意する。メスフラスコに移す。ホールピペットの口を指でしっかり押さえ、ホールの部分を手のひらで握って温め、最後の 1 滴まで移すこと。指で押さえるのを忘れ、先に暖めてしまう場合があるので注意を促す。1 滴は約 0.05mL のため、酢酸の濃度で計算すると約 0.02% 濃い濃度になる誤差となる。これに水を加えて 100mL し、栓をして溶液をよく混合する（10 倍に希釈）。100mL に合わせにくいときは、駒込ピペットを用いて、1 滴ずつ水を加えるとよい。

② 食酢をホールピペットで 10mL 正確にはかり取る

10 倍に希釈した食酢を①とは別のホールピペット（①のホールピペットを②の水溶液で共洗いして使用してもよい）で 10.0mL とり、コニカルビーカーに移す。さらに、フェノールフタレインを 2、3 滴コニカルビーカーに加える。フェノールフタレインの入れ忘れがないように注意。

③ ビュレットに NaOH を入れる

ビュレットに漏斗を使って水酸化ナトリウム水溶液を 0mL 付近まで入れる。ビュレットの線が閉まっていることを確認する。手に付いた場合は直ちに水洗いすること。ぴったり 0 に合わせる必要はない。漏斗をビュレットの内壁につけ、隙間を作り入れること。こぼれたり、うまく入らなかったりする場合がある。こぼれてもいようにスタンド（ビュレット台）ごと白トレイなどの中で作業してもよい。漏斗を取り去り、ビュレットの下にビーカーを置き、コックを開いて少量の水溶液を出す。先端が水溶液で満たされ、気泡がないことを確認する。確認後、ビュレットの目盛りを最小目盛りの 1/10 の桁（0.01mL）まで読み取り、記録する（滴定開始時の目盛り）。

④ NaOH を中和するまで滴下する

ビュレットの下に③のコニカルビーカーを置く。スタンドの台が黒い場合などはコニカルビーカーの下に紙を敷くと色の変化がわかりやすい。ビュレットから水酸化ナトリウム水溶液をコニカルビーカーに滴下する。滴下のたびに液を軽く振り混ぜ、溶液がごく薄い赤色になり、振り混ぜても色が消えなくなったら滴下をやめる。ビュレットの先は大変折れやすいので振り混ぜ時にビュレットに当たらないよう、ビュレットの高さを調節する。再びビュレットの目盛りを読み取り、記録する（滴定終了時の目盛り）。

⑤ 同様の操作をあと 2 回繰り返す

コニカルビーカーの中の水溶液を捨て、水洗いした後純水で内側を洗い③～⑤の操作をさらに 2 回行う。滴定終了時から滴定開始時の目盛りを差し引き、滴下量を求め、3 回の平均値を求める（小数第 2 位まで求めること）。滴下しすぎてしまった場合は、やり直すこと。

【結果】

	滴定開始時の目盛り a	滴定終了後の目盛り b	滴下量 b - a
1 回目			
2 回目			
3 回目			
			平均値 約 7.00mL

【考察】

- 1 滴定の結果から、食酢を 10 倍に薄めた水溶液の酢酸のモル濃度を求めよ。さらに、10 倍に薄める前の食酢中の酢酸のモル濃度を求めよ。

- ・中和反応の量的関係公式

$$\frac{a \times c [\text{mol/L}] \times v [\text{mL}]}{1000} = \frac{b \times c' [\text{mol/L}] \times v' [\text{mL}]}{1000}$$

- ・酢酸 CH_3COOH と水酸化ナトリウム NaOH の中和滴定の結果より、公式を利用して計算する。

$$1 \times c [\text{mol/L}] \times 10.0 [\text{mL}] = 1 \times 0.10 [\text{mol/L}] \times 7.00 [\text{mL}]$$

$$c = 0.070 [\text{mol/L}]$$

- ・10 倍に薄めた食酢中の酢酸のモル濃度

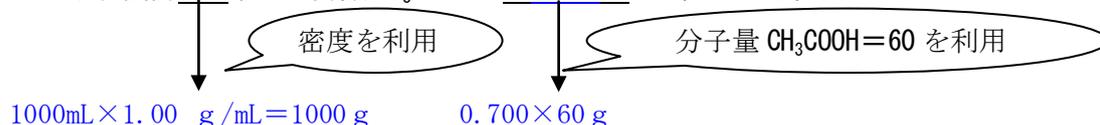
$$\underline{0.070 \text{ mol/L}}$$

- ・10 倍に薄める前の食酢中の酢酸のモル濃度

$$\underline{0.700 \text{ mol/L}}$$

- 2 食酢中に含まれる酢酸の質量パーセント濃度を求め、食酢の容器のラベル表示と比較せよ。ただし、食酢の密度は 1.00 g/mL とする。 $\text{CH}_3\text{COOH} = 60$

- ・考察 1 より、食酢 1 L 中には酢酸 CH_3COOH は 0.700 mol 含まれる。



- ・食酢 1000 g 中には酢酸は $0.700 \times 60 \text{ g}$ 含まれる。

- ・よって、食酢中の酢酸の質量パーセント濃度は

$$\frac{0.700 \text{ mol/L} \times 60 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL} \times 1 \text{ g/mL}} \times 100 = 4.20 [\%]$$

- ・食酢中の酢酸の質量パーセント濃度

$$\underline{4.2 \text{ \%}}$$

- ・ラベル表示

$$\underline{4.2 \text{ \%}} \quad \text{※ミツカン穀物酢の場合}$$

【その他の考察例】

- ・この実験で起こった中和を化学反応式で表せ。



- ・ビュレットやホールピペットが水にぬれている場合は、使用する溶液で共洗いしてから、使用する必要がある。一方、コニカルビーカーやメスフラスコは水にぬれたまま使用してよい。この違いはなぜか考えよ。

→ビュレットやホールピペットは水にぬれているとはかる水溶液の濃度や体積が変わってしまうので、共洗いが必要である。コニカルビーカーやメスフラスコは、その中に含まれる物質の物質量は水にぬれても変化しないので、ぬれたまま使用してよい。

- ・ビンに表示された数値と異なった場合、誤差の原因を検討する。

→滴下量が多かった、希釈が不正確、水酸化ナトリウム水溶液の濃度が時間がたつて変化しているなど

- ・滴定終了後、コニカルビーカーの溶液をそのまま放置しておくと、フェノールフタレインが脱色することがある。それはなぜか。

- 空気中の二酸化炭素が溶解込み、水溶液が酸性側にもどるため。
- ・ この実験における反応を中和滴定曲線で表した場合、中和点は、酸性側にかたよるか、塩基性側にかたよるか、あるいは中性か。
 - 弱酸と強塩基の滴定のため、中和点は塩基性側にかたよる。
- ・ この実験の指示薬としてメチルオレンジを用いたとすると、実験結果はどのようになると予想されるか。
 - 中和点になる前にメチルオレンジが変色するため、実際よりも少ない滴下量になる。そのため、酢酸の濃度も実際より小さい値となる、と予想される。
- ・ 調べようとする酸、あるいは塩基の強さが不明である場合は、指示薬をどのように選択すればよいだろうか。
 - 変色域が酸性や塩基性側にかたよった指示薬ではなく、中性付近の指示薬（BTB 溶液など）を選択する。

【発展】

- ・ サンポール 20 倍希釈（トイレ用洗剤、塩酸 HCl を含む）、ポッカレモン（レモン果汁）10 倍希釈（クエン酸を含む）、カルピスウォーター（乳酸を含む）などの身近な酸を滴定して濃度を求める。グレープジュース 10 倍希釈はアントシアニンを含むため、指示薬を入れずに滴定できる（薄い青色が終点）。
- ・ リンゴ酢、米酢など種類の違う酸を名前を隠して滴定し、どの酸であったかを当てる。
- ・ pH メーターで pH を測定しながら滴定し、中和滴定曲線を書く。
- ・ pH センサーやドロップカウンターを使って中和滴定し、中和滴定曲線を書く。【動画あり】

【廃液処理】

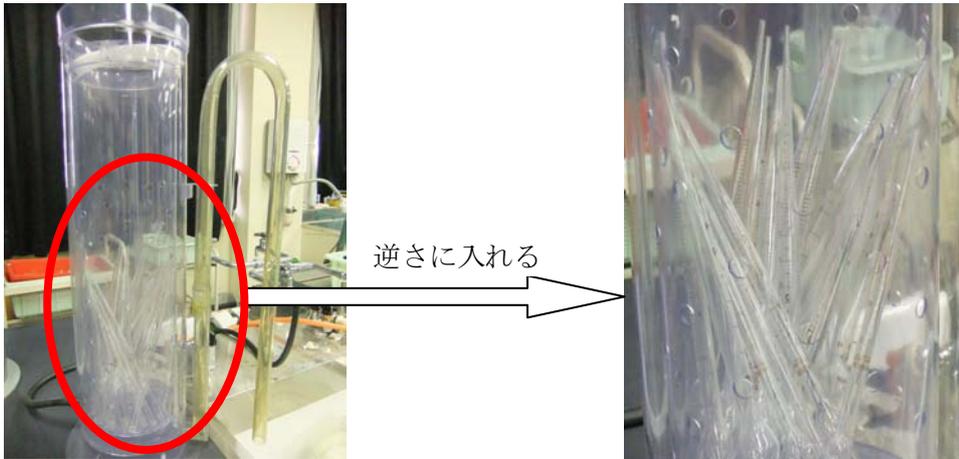
- ・ 水酸化ナトリウム水溶液は酸（同じ濃度の塩酸など）で中和した後、希釈しながら排水する。
- ・ フェノールフタレインはスポイト瓶や滴瓶に入れておくとエタノールが蒸発してこびり付くため、使用後はふたつきの瓶に集めておいてもよい。

【後片付け】

- ・ ガラス器具の洗浄方法
ガラス器具は一度水洗いする。最終的には一度洗剤で洗う（洗剤に浸け置きしてから水で洗ってもよい）。ホールピペットはピペット洗浄機で洗うと便利（**図1**）。ビュレットは長いのでピペット洗浄機で洗う場合はしばらく洗ったら上下を逆さにしてもう一度洗うとよい（**図2**）。ピペット洗浄機がない場合は、蛇口に短いホースをつけて洗うと洗いやすい。先端部分に結晶等が詰まった場合は歯間ブラシを使うとよい。強く差し込むと割れることがあるので注意すること。ビュレットの最終的な洗浄時は、活栓をはずして洗う。水酸化ナトリウム水溶液が空気中の二酸化炭素と反応し炭酸ナトリウムの結晶を作り固着する、または水酸化ナトリウム水溶液は塩基性のためガラスを徐々に侵しケイ酸ナトリウムを生じて固着するためである。同様の理由により塩基性の物質は長期に保管する場合は、ガラス瓶、特にすり合わせの栓は使用しないこと。結晶化し固着することがあるためである。急いで乾かしたい場合は、エタノールやアセトンを通して乾かす。

<図1 ピペット洗浄機>

ゴム管と水道の蛇口をつなぎ、水を出しっぱなしにすると、水がたまって排水される、を繰り返してピペットが洗浄される。



<図2 ピペット洗浄機でビュレットを洗う場合>

ピペット洗浄機でビュレットを洗う場合は、ビュレットを途中で上下を反対に向ける。



・ ビュレットの保管方法

ビュレットは転倒の危険があるため、長期保管は横にして棚に保管することが多い (図3)。ガラスの活栓は、ワセリンをきちんと洗って乾かした後、液漏れ防止のため再びワセリンを薄く塗ること。また、活栓と本体の間に薬包紙等を挟んでおくと固着を防ぐことができる。

ビュレット本体と活栓は、番号により組み合わせが決まっている。同じ番号のビュレットと活栓を使わないと液漏れの原因になる (図4)。番号のないものは、どのビュレットと活栓を組み合わせてもよい共栓になっている。

<図3 ビュレットの保管方法>

ビュレット台で保管する場合

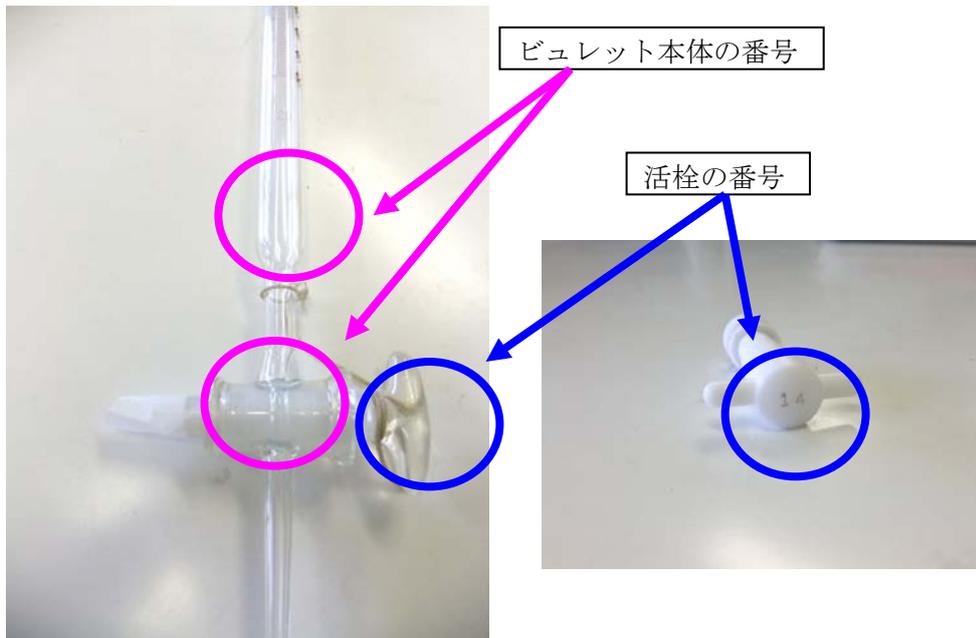


棚などで長期保管する場合



<図4 保管の際の注意>

ビュレットと活栓の番号を合わせてセットすること。番号が違くと液漏れを起こす。ビュレット本体と活栓の番号は、様々な場所に記載されている。○の場所に書いてある場合が多い。



【目的】

代表的な酸化剤と還元剤の反応を観察し、その反応をイオン反応式で表す。

【使用薬品】

- ・ 0.01mol/L 過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液
- ・ 0.1mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液
- ・ 0.1mol/L 過酸化水素水 H_2O_2
- ・ 1% デンプン水溶液
- ・ 0.01mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液
- ・ 3.0mol/L 希硫酸 H_2SO_4
- ・ 0.1mol/L 硫酸鉄(Ⅱ) FeSO_4 水溶液
- ・ L-アスコルビン酸 (ビタミンC) 粉末

【使用器具】

- ・ 試験管 6本
- ・ 試験管立て
- ・ 駒込ピペット (2mL 6本)

【方法】**<実験Ⅰ 酸化剤・過酸化水素水 H_2O_2 の反応>****① 過酸化水素水を試験管に取る**

0.1mol/L 過酸化水素水 H_2O_2 水溶液 2mL を試験管 A、B に駒込ピペットで取り、さらに 3.0mol/L 希硫酸 H_2SO_4 を 1mL ずつ加える。

② 試験管 A にヨウ化カリウム水溶液を加える

試験管 A に 0.01mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液を 2mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。
さらに、1% デンプン水溶液を 1、2 滴加えて様子を観察し、記録する。

③ 試験管 B に硫酸鉄(Ⅱ)水溶液を加える

試験管 B に 0.1mol/L 硫酸鉄(Ⅱ) FeSO_4 水溶液を 2mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。

<実験Ⅱ 酸化剤・過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液の反応>**④ 過マンガン酸カリウム水溶液を試験管に取る**

0.01mol/L 過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液 2mL を試験管 C～F に駒込ピペットで取り、さらに 3.0mol/L 希硫酸 H_2SO_4 を 1mL ずつ加える。

⑤ 試験管 C に硫酸鉄(Ⅱ)水溶液を加える

試験管 C に 0.1mol/L 硫酸鉄(Ⅱ) FeSO_4 水溶液を 2mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。

⑥ 試験管 D に過酸化水素水を加える

試験管 D に 0.1mol/L 過酸化水素水 H_2O_2 水溶液を 2mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。

⑦ 試験管 E に L-アスコルビン酸を加える

試験管 E に L-アスコルビン酸 (ビタミンC) の粉末を加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。

※試験管 F は後で反応させるので何も加えずに置いておく。

酸化剤と還元剤

年 組 番氏名

【結果】

	水溶液の色の变化	気体発生の有無
試験管 A		
試験管 B		
試験管 C		
試験管 D		
試験管 E		

【考察】

1 下の表を参考に試験管 A～D のイオン反応式で表せ。

・ 試験管 A

・ 試験管 B

・ 試験管 C

・ 試験管 D

酸化剤	H ₂ O ₂ 過酸化水素 (酸性)	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
	KMnO ₄ 過マンガン酸カリウム (酸性)	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$
還元剤	H ₂ O ₂ 過酸化水素	$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
	KI ヨウ化カリウム	$2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$
	硫酸鉄 FeSO ₄	$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$

2 試験管 A でデンプン水溶液を加えて確認できた物質は何か。物質名と化学式を書け。

物質名 _____ 化学式 _____

3 試験管 D で発生した気体は何か。物質名と化学式を書け。

物質名 _____ 化学式 _____

4 試験管 E の反応から、L-アスコルビン酸（ビタミン C）は、酸化剤と考えられるか、還元剤と考えられるか。

5 試験管 F に 0.1 mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液を 2 mL 加えて振り混ぜるとどのような反応が起こるか。イオン反応式を書き、試験管 F の色の変化を予想せよ。また、予想した理由を答えよ。

イオン反応式)

色の変化 _____ 色 → _____ 色

理由 _____

6 考察 5 の反応を実際に行い、予想と比較せよ。予想と違う反応が起こった場合は、その理由を考えよ。

結果 _____

予想と違った理由 _____

酸化剤と還元剤（指導者用）

【目的】

代表的な酸化剤と還元剤の反応を観察し、その反応をイオン反応式で表す。

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校で扱う化学変化は燃焼である。集気瓶中でろうそくを燃やし、石灰水が白濁することで、二酸化炭素を確認している。中学校では、酸化や還元が酸素の関係する反応であることについて学習している。観察・実験では、マグネシウム、スチールウール、銅、炭素、水素などを燃焼させ【動画あり】、化学反応式で表している。また、電気分解や電池の電極で起こる反応についても学習し、イオンが電極で電子の授受を行い反応していることを学習している。

【理論的背景】

酸化剤は、反応の相手物質を酸化し、自分自身は還元する物質である。還元剤は、反応の相手物質を還元し、自分自身は酸化する物質である。酸化剤と還元剤の反応では、還元剤から酸化剤へ電子の授受が起こる。イオン反応式で反応を表す場合は、還元剤が与える電子の数と、酸化剤が受け取る電子の数を等しくなるよう調整し、二つの式を足し合わせる。

【使用薬品】

- ・ 0.01mol/L 過マンガン酸カリウム KMnO_4 水溶液
- ・ 0.01mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液
- ・ 0.1mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液
- ・ 0.1mol/L 硫酸鉄(II) FeSO_4 水溶液

硫酸鉄(II)はすぐに酸化されてしまうので、直前に必要な分だけを用意する。硫酸鉄(II)を純水に溶かしただけでは、溶液がやや黄色がかっているのが、硫酸を数滴落とすと無色に近い淡緑色となる。

- ・ 0.1mol/L 過酸化水素水 H_2O_2

過酸化水素水は冷蔵庫に保管する。手に付くと白くなり痛みを感じることもあるので、すぐ洗い流すこと。35%過酸化水素水は約 10mol/L なので、100 倍に薄める。

- ・ 3.0mol/L 希硫酸 H_2SO_4

濃硫酸を薄める場合は、濃硫酸 1 + 水 5 の割合で混合する。ただし、濃硫酸は水に触れると激しく発熱するので、水浴に水を入れたビーカーを入れ、濃硫酸をガラス棒に伝わらせて静かに少しずつビーカーに入れる。手袋、白衣や保護めがねを着用したほうがよい。絶対に、濃硫酸に水を加えてはいけない。発熱し、加えた水とともに濃硫酸が飛び散る危険がある。

- ・ 1% デンプン水溶液

可溶性デンプン 1 g を水 100mL に入れ、加熱してからよくかき混ぜて溶かす。可溶性デンプンでは

ないデンプンを過熱すると固まってしまうので注意すること。

- ・ L-アスコルビン酸（ビタミンC）粉末

【使用器具】

- ・ 試験管 6本
- ・ 試験管立て
- ・ 駒込ピペット（2 mL 6本）

【方法】

<実験Ⅰ 酸化剤・過酸化水素水 H₂O₂ の反応>

① 過酸化水素水を試験管に取る

0.1mol/L 過酸化水素水 H₂O₂ 水溶液 2 mL を試験管 A、B に駒込ピペットで取り、さらに 3.0mol/L 希硫酸 H₂SO₄ を 1 mL ずつ加える。駒込ピペットはそれぞれ専用のものを使い、水溶液が混ざらないようにする。

② 試験管 A にヨウ化カリウム水溶液を加える

試験管 A に 0.01mol/L ヨウ化カリウム KI 水溶液を 2 mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。さらに、1%デンプン水溶液を 1、2 滴加えて様子を観察し、記録する。ヘキサンを加えて青紫色になることで、ヨウ素を確認することもできる。

③ 試験管 B に硫酸鉄(Ⅱ)水溶液を加える

試験管 B に 0.1mol/L 硫酸鉄(Ⅱ) FeSO₄ 水溶液を 2 mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。黄褐色に変化する様子が分かりにくいので、白いろ紙上などで観察するとよい。

<実験Ⅱ 酸化剤・過マンガン酸カリウム KMnO₄ 水溶液の反応>

④ 過マンガン酸カリウム水溶液を試験管に取る

0.01mol/L 過マンガン酸カリウム KMnO₄ 水溶液 2 mL を試験管 C～F に駒込ピペットで取り、さらに 3.0mol/L 希硫酸 H₂SO₄ を 1 mL ずつ加える。

⑤ 試験管 C に硫酸鉄(Ⅱ)水溶液を加える

試験管 C に 0.1mol/L 硫酸鉄(Ⅱ) FeSO₄ 水溶液を 2 mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。黄褐色の変化は分かりにくい。試験管 B よりもさらに無色に見える。

⑥ 試験管 D に過酸化水素水を加える

試験管 D 0.1mol/L 過酸化水素水 H₂O₂ 水溶液を 2 mL 加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。酸素の発生はごくわずかのため、特に注意して観察していないと分からない。泡も細かいので、黒い背景で観察したほうがよい。

⑦ 試験管 E に L-アスコルビン酸を加える

試験管 E に L-アスコルビン酸（ビタミンC）の粉末を加えて振り混ぜ、様子を観察し、記録する。
※試験管 F は後で反応させるので何も加えずに置いておく。

【結果】

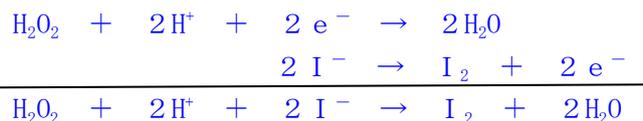
	水溶液の色の変化	気体発生の有無
試験管 A	無色から褐色に変化した。デンプン水溶液を加えると、青紫色に変化した。	無
試験管 B	硫酸鉄の水溶液を加えると、淡緑色から黄褐色に変化した。	無

試験管 C	赤紫色から黄褐色(無色に近い)に変化した。	無
試験管 D	赤紫色から無色に変化した。	細かい泡が発生
試験管 E	赤紫色から無色に変化した。	無

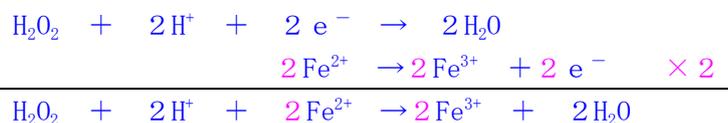
【考察】

1 下の表を参考に試験管 A～D のイオン反応式で表せ。

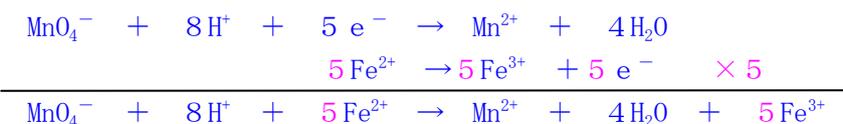
・ 試験管 A



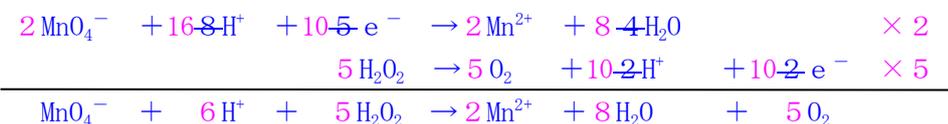
・ 試験管 B



・ 試験管 C



・ 試験管 D



酸化剤	H ₂ O ₂ 過酸化水素 (酸性)	H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ → 2H ₂ O
	KMnO ₄ 過マンガン酸カリウム (酸性)	MnO ₄ ⁻ + 8H ⁺ + 5e ⁻ → Mn ²⁺ + 4H ₂ O
還元剤	H ₂ O ₂ 過酸化水素	H ₂ O ₂ → O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻
	KI ヨウ化カリウム	2I ⁻ → I ₂ + 2e ⁻
	硫酸鉄 FeSO ₄	Fe ²⁺ → Fe ³⁺ + e ⁻

2 試験管 A でデンプン水溶液を加えて確認できた物質は何か。物質名と化学式を書け。

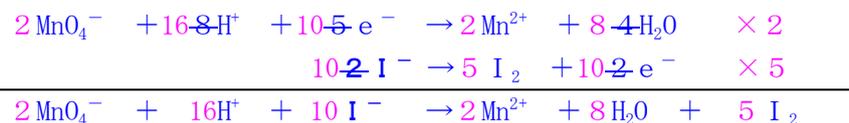
物質名 ヨウ素 化学式 I₂

3 試験管 D で発生した気体は何か。物質名と化学式を書け。

物質名 酸素 化学式 O₂

- 4 試験管Eの反応から、L-アスコルビン酸（ビタミンC）は、酸化剤と考えられるか、還元剤と考えられるか。
酸化剤の過マンガン酸カリウムと反応したので、還元剤と考えられる。
- 5 試験管Fに0.1mol/L ヨウ化カリウムKI水溶液を2mL加えて振り混ぜるとどのような反応が起こるか。イオン反応式を書き、試験管Fの色の変化を予想せよ。また、予想した理由を答えよ。

イオン反応式)



色の変化 赤紫色 色 → 褐色

理由 初めは過マンガン酸イオン（過マンガン酸カリウム）の赤紫色だが、ヨウ化カリウムを加えるとヨウ素が生じるため、褐色に変化するから。

- 6 考察⑤の反応を実際に行い、予想と比較せよ。予想と違う反応が起こった場合は、その理由を考えよ。

結果 赤紫色から褐色へ変化した。

予想と違った理由 ※予想通りの場合は記入の必要はない

【その他の考察】

- 過酸化水素が酸化剤としても還元剤としても働くのはなぜか。
→O原子の酸化数は0、-1、-2の3種類の値をとる。H₂O₂のO原子の酸化数は中間の値-1である。そのため、H₂O₂のO原子は、強い酸化剤には酸化されて酸化数0のO₂となり、強い還元剤には還元されて酸化数-2のH₂Oになる。そのため、H₂O₂は酸化剤・還元剤の両方の働きを示す。

【その他の観察・実験、発展】

- オキシドールの濃度を求める（酸化還元滴定）
シュウ酸 0.05mol/L の標準溶液で、過マンガン酸カリウム水溶液の濃度を正確に測定（0.01mol/L前後）する。その後、正確に濃度を測定した過マンガン酸カリウム水溶液で、10倍に希釈したオキシドールを滴定し、オキシドール中に含まれる過酸化水素の濃度を計算で求める。
- 電子の移動する方向を直流電圧計（デジタルマルチメータなど）で測定する
2枚のシャーレ（ペトリ皿）に酸化剤、還元剤をそれぞれ入れ、食塩水などをしみこませたろ紙で、2枚のシャーレの間をろ紙で橋渡し（塩橋）し、直流電圧計に炭素棒等の電極をつけ、2つの水溶液の電圧を測定する。電圧計の針が負の方向に触れたときは、導線の端子の土を逆にする。
- 身の回りの物質を使った酸化還元反応
例1) 「塩素系」漂白剤・洗剤と「酸性タイプ」漂白剤・洗剤
「混ぜるな危険」と書かれた漂白剤や洗剤は、「塩素系」（酸化剤）と「酸性タイプ」（還元剤）

の2種類があり、この2つを混ぜると、酸化還元反応が起こり塩素ガスが発生する。



塩素系 酸性タイプ

次亜塩素酸 塩酸

ナトリウム を含む

を含む

例2) イソジン(うがい薬)とビタミンC

イソジンに含まれる酸化剤ヨウ素(I_3^-)と還元剤であるビタミンC(L-アスコルビン酸)を反応させるとイソジンの褐色が無色になる。

・ 電気ペン **【動画あり】**

アルミニウムの皿(使い捨て用の薄いものでOK)にろ紙をしき、1%ヨウ化カリウム水溶液と1%デンプン水溶液を1:1で混合した溶液をろ紙にしみこませる。9Vの電池の一端をアルミニウム皿とリード線をつなぎ、プラス側は両側を削った鉛筆の片方にリード線をつなく。もう一方の鉛筆の先でろ紙に字や絵を書くと、ヨウ素が生成(酸化)し青紫の色が付く。電極を入れ替えて、一度書いた絵をなぞると、逆の反応(還元)が起こり消すことができる。

参考) 富山教育センター デジタル理科室 高等学校 化学

<http://rika.el.tym.ed.jp/cms/53165b66/96fb6c1730f3/96fb6c1730f3>

【廃液処理】

・ 重金属の廃液

過マンガン酸カリウムはシュウ酸や過酸化水素などの還元剤を加えて反応させ、無機物質(重金属)専用の廃液タンクに貯蔵し、処理資格をもつ無機物質(重金属)専門の廃棄物処理業者に処理を委託する。硫酸鉄(II)も専用の廃液タンクに貯蔵し、廃液処理を委託する。2種類以上の重金属が混ざってしまうと廃棄費用がかさむため、それぞれの重金属について別々の貯蔵タンクを用意してもよい。混合して保管する場合は、どの重金属が入っているか記録しておくもよい。フェライト法等で重金属を沈殿させ処理する方法もある。

※ 各班に廃液用ビーカーを配付して班ごとに貯蔵タンクに回収してもよい。

・ その他の酸化剤、還元剤の廃液

酸化剤には還元剤を、還元剤には酸化剤を加え、反応が終了したら希釈しながら廃棄する。遊離したヨウ素は劇物のため、無機物質専用タンクに回収し専用業者に処理を委託する。

・ 希硫酸の廃液

塩基(炭酸水素ナトリウムや水酸化ナトリウム水溶液など)を加え、中和後(pH6~8程度)、希釈しながら廃棄する。

※今回使用する薬品は、デンプン水溶液を含め、長期保存には適していないものが多い。必要最小限の量を調合するよう心がけたほうがよい。

【後片付け】

- ・ ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。過マンガン酸カリウム水溶液の汚れは実験で行った反応を利用するときれいになる(過酸化水素水+希硫酸など)。

【目的】

金属と酸の反応、金属と金属塩の水溶液の反応、金属間の電子の移動を観察し、金属のイオン化傾向の違いを調べる。

【使用薬品】

- ・ 2 mol/L 塩酸 HCl
- ・ 1 mol/L 塩化ナトリウム NaCl 水溶液
- ・ 0.1 mol/L 硫酸銅(Ⅱ) CuSO₄ 水溶液
- ・ 0.1 mol/L 硝酸銀 AgNO₃ 水溶液
- ・ 金属片 (亜鉛 Zn 3つ、鉄 Fe 3つ、銅 Cu 3つ、アルミニウム Al 1つ) ※各金属片は紙やすりで磨いてから使用すること。

【使用器具】

- ・ 試験管 6本
- ・ ピンセット
- ・ 紙やすり
- ・ シャーレ
- ・ ワニぐちクリップ付導線 2本
- ・ ろ紙
- ・ ゴム栓 2個
- ・ マッチ
- ・ 電圧計
- ・ 駒込ピペット (5 mL 3本)

【方法】

<実験Ⅰ 金属と酸の反応>

① 金属と酸の反応を観察する

試験管 A～C に、2 mol/L の塩酸 HCl を 5 mL 加える。試験管 A に亜鉛 Zn、試験管 B に鉄 Fe、試験管 C に銅 Cu の各金属片を加え様子を観察し、記録する。気体が発生した試験管には、ゴム栓を逆さにしてかぶせ、5分ほど待ってマッチの火を近づける。

<実験Ⅱ 金属と金属塩の水溶液の反応>

② 金属と金属塩の水溶液の反応を観察する

試験管 D と E に 0.1 mol/L 硫酸銅(Ⅱ) CuSO₄ 水溶液 (Cu²⁺を含む) を 5 mL 加える。試験管 D に亜鉛 Zn、試験管 E に鉄 Fe の各金属片を加え様子を観察し、記録する。試験管 F に 0.1 mol/L 硝酸銀 AgNO₃ 水溶液 (Ag⁺を含む) を 5 mL 加え、さらに銅 Cu の金属片を加えて様子を観察し、記録する。

<実験Ⅲ 金属間の電子の移動>

③ シャーレにろ紙を敷く

シャーレにろ紙を敷き、1 mol/L 塩化ナトリウム NaCl 水溶液をしみこませる。亜鉛 Zn、鉄 Fe、銅 Cu、アルミニウム Al の金属をろ紙の上に置く。

④ 金属間の電子の移動を調べる

電圧計につないだ導線の先で 2 種類の金属に触れ、そのつど針の振れる方向を確認し、電流の流れる向きを記録する。ワニぐちクリップを水溶液で浸さないよう注意する。

金属のイオン化傾向（指導者用）

【目的】

金属と酸の反応、金属と金属塩の水溶液の反応、金属間の電子の移動を観察し、金属のイオン化傾向の違いを調べる。

【所要時間】 約 50 分

【小中学校での既習事項】

小学校で扱う酸化還元反応は燃焼である。小学校 6 年生において、集気瓶中でろうそくを燃やし、石灰水が白濁することで、二酸化炭素を確認している。中学校 3 年生では、「化学変化と電池」の単元で希塩酸に銅板と亜鉛板を浸して導線でつなぎモーター付のプロペラが回る、という観察・実験を行っている【動画あり】。備長炭にアルミ箔をまいた電池も多くの教科書に記載されている。【動画あり（備長炭とマグネシウムリボンの電池について）】亜鉛が亜鉛イオンになり銅板の表面で水素イオンが水素になる化学反応式を学習する。その際、多くの教科書には金属のイオン化傾向が参考として記載されている。ただし、金属のイオン化傾向について学習はしていない。備長炭電池などが紹介されている教科書もある。また、電気分解については、「水溶液の電気伝導性」についての単元で塩化銅(Ⅱ)水溶液を炭素棒の電極で電気分解することで+極から塩素が発生し、-極に銅が析出する観察・実験を行っている。その際も、合わせて反応式を学習する。この単元は、「化学変化と電池」よりも先に学習している。

【理論的背景】

金属の単体は、水溶液中で電子を放出し陽イオンになろうとする性質があり、それをイオン化傾向という。イオン化傾向は各金属により大小があり、イオン化傾向の大きい金属ほど酸化されやすい。イオン化傾向の異なる金属の単体や金属イオンが同時に水溶液中に存在する場合、イオン化傾向の大きい金属がイオンになり、イオン化傾向の小さい金属が金属の単体となって析出する。おもな金属（および水素）のイオン化傾向の大きいものから順に並べたものをイオン化列という。イオン化傾向の差を利用したものに化学電池がある。電池では、イオン化傾向の大きい金属が負極になる。電池に用いる金属により、生じる電圧が変わる。標準電極電位がその参考となる。

【使用薬品】

- ・ 2 mol/L 塩酸 HCl 濃塩酸を薄めて調整する場合は、濃塩酸 1 に水 5 の体積比を混合する（6 倍に希釈）。濃塩酸は揮発しやすく白煙が出るのでドラフトで希釈を行うこと。
- ・ 1 mol/L 塩化ナトリウム NaCl 水溶液
- ・ 0.1 mol/L 硫酸銅(Ⅱ) CuSO₄ 水溶液 劇物指定の薬品のため、保管、取り扱いには注意すること。
- ・ 0.1 mol/L 硝酸銀 AgNO₃ 水溶液 手に付くと銀イオンが黒く変色し、水で洗っても取れなくなる。1 週間程度で取れるが、手袋をはめて調合するほうが良い。
- ・ 金属片（亜鉛 Zn 3 つ、鉄 Fe 3 つ、銅 Cu 3 つ、アルミニウム Al 1 つ）※各金属片は紙やすりで磨いてから使用すること。

【使用器具】

- ・試験管 6本
- ・ピンセット
- ・紙やすり
- ・シャーレ
- ・みのむしクリップ付導線 2本
- ・ろ紙
- ・ゴム栓 2個
- ・マッチ
- ・電圧計
- ・駒込ピペット (5 mL 3本)

【方法】

<実験Ⅰ 金属と酸の反応>

① 金属と酸の反応を観察する

試験管 A～C に、2 mol/L の塩酸 HCl を 5 mL 加える。試験管 A に亜鉛 Zn、試験管 B に鉄 Fe、試験管 C に銅 Cu の各金属片を加え様子を観察し、記録する。気体が発生した試験管には、ゴム栓を逆さにしてかぶせ、5 分ほど待ってマッチの火を近づける。試験管 A、B は気体 (水素) が発生する。マッチの火をすぐに近づけると爆発音がしない。水素はかなりの時間発生するので、失敗したときは、再び栓でふたをして 5 分ほど待つ。再度マッチを近づけると爆発音が聞こえる。

<実験Ⅱ 金属と金属塩の水溶液の反応>

② 金属と金属塩の水溶液の反応を観察する

試験管 D と E に 0.1 mol/L 硫酸銅(Ⅱ) CuSO_4 水溶液 (Cu^{2+} を含む) を 5 mL 加える。試験管 D に亜鉛 Zn、試験管 E に鉄 Fe の各金属片を加え様子を観察し、記録する。試験管 F に 0.1 mol/L 硝酸銀 AgNO_3 水溶液 (Ag^+ を含む) を 5 mL 加え、さらに銅 Cu の金属片を加えて様子を観察し、記録する。硫酸銅(Ⅱ) 水溶液の亜鉛には黒色の銅樹が析出、鉄には赤褐色の銅が表面に析出する。硝酸銀水溶液の銅の表面には、銀樹が析出する。

<実験Ⅲ 金属間の電子の移動>

③ シャーレにろ紙を敷く

シャーレにろ紙を敷き、1 mol/L 塩化ナトリウム NaCl 水溶液 1% 硝酸カリウム水溶液でもよい。ただ、硝酸カリウムは危険物第 1 類酸化性固体のため、火気厳禁、手についたらすぐに洗うなど取り扱いに注意すること。をしみこませる。亜鉛 Zn、鉄 Fe、銅 Cu、アルミニウム Al の金属をろ紙の上に置く。

④ 金属間の電子の移動を調べる

電圧計につないだ導線の先で 2 種類の金属に触れ、そのつど針の振れる方向を確認し、電流の流れる向きを記録する。+ 極と接している金属から - 極と接している金属へ電流が流れるとき、正の方向に針が振れる。電流は非常に小さいため検流計ではなく、電圧計で測定したほうがよい。みのむしクリップを水溶液で浸さないよう注意する。Zn と Al、Fe と Al は針の触れがたいへん小さく、針の触れる向きが分かりにくいので注意して観察する必要がある。

【結果】

1. 方法①の試験管 A～C の反応の様子を記録せよ。気体発生の有無を記入せよ。気体が発生した場合は、マッチを近づけたときの様子も記入せよ。

A	亜鉛が溶け出し、気体が発生した。マッチを近づけるとポッと爆発音がした。
B	鉄が溶け出し、気体が発生した。マッチを近づけるとポッと爆発音がした。
C	変化なし。

【その他の考察】

- 方法①のうち気体が発生した反応を化学反応式で表せ
$$\text{Zn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$$
$$\text{Fe} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$$
- 実験結果と教科書のイオン化列と比較する。

【その他の観察・実験、発展】

- マグネシウム Mg・鉛 Pb の金属片、硝酸鉛(Ⅱ)・酢酸鉛(Ⅱ)の水溶液、硫酸亜鉛水溶液、などを使ってイオン化傾向の大小を判断する。
- テスターを使って電圧を測定し、生じる電圧[mV]とイオン化傾向の間には、どのような関係があるか考える。
- アルミニウム板に油性ペンや黒いシールで模様を書き、0.5mol/L 塩化銅(Ⅱ)CuCl₂水溶液に15分ほど浸す。軽くすすいでシールをはがすと模様が浮き出る。アルミニウムがどうなるか予想したり、アルミニウムと銅のイオン化傾向の大小を考える。
- チャック付ビニール袋に王水と金箔を入れ、金箔が溶ける様子を観察する。
- ボルタ電池、ダニエル電池など **【動画あり】**

【廃液処理】

- 重金属の廃液
亜鉛、鉄、銅、鉛、銀などの重金属の廃液は、無機物質（重金属）専用の廃液タンクに貯蔵し、処理資格をもつ専門の廃棄物処理業者に処理を委託する。2種類以上の重金属が混ざってしまうと廃棄費用がかさむため、それぞれの重金属について別々の貯蔵タンクを用意してもよい。混合して保管する場合は、どの重金属が入っているか記録しておくもよい。フェライト法等で重金属を沈殿させ処理する方法もある。
- 銀イオンを含む廃液を分けて保管する場合
硝酸銀など銀イオンを含む廃液が大量に発生する場合は、銀イオン専用の廃液タンクに回収し、塩化ナトリウムを加え塩化銀の沈殿を作って保管してもよい。処理資格をもつ専門の廃棄物処理業者に処理を委託する。
※ 各班に廃液用ビーカーを配付して班ごとに貯蔵タンクに回収してもよい。
- 金属片は回収し再利用する。
- 重金属の溶け出していない塩酸は、中和して大量の水で希釈しながら廃棄する。重金属を含む場合は、中和後無機物質（重金属）専用の廃液タンクに貯蔵する。

【後片付け】

- ガラス器具は、洗剤に浸け置き洗いをする。ホールスライドガラスは手を切りやすいので注意して洗浄する。手袋をはめて洗うとよい。
- 長期保管するとさびが生じる場合があるので、みのむしクリップは先端をよく洗って乾かす。
- 金属片は、流し台にそのまま流さないよう注意する。