

スモールスケール実験器具の開発

◆ 要旨

高校の授業で習う実験の試薬の量を大幅に削減し、生徒が個々に実験をしても廃棄物がより少量で済むことを目的とした。それに伴い、実験費用の削減、環境への配慮、試薬が少量で危険が少なくなり安全性が向上するといった利点が生まれる。このような観点から実験の小規模化、すなわちスモールスケール化を目指して研究を進めた。

1. 目的

実験そのものをスモールスケール化し、使用する試薬の削減・実験費用の削減・環境への配慮・安全性の向上を目指した実験器具の改良及び開発。

今回の研究はひとつの実験だけに注目するのではなく、様々な実験のスモールスケール化を図る。

2. 研究の流れ

- 〔1〕学校の通常授業で行われている基礎実験を実際に行い、改善点を探す。
- 〔2〕改善点をもとにスモールスケール化に向けたアイデアを考える。
- 〔3〕実験の計画を立て、実際に考えた実験を行ってみる。
- 〔4〕安全性や実験結果の正確さを確認し、新たな改善点や課題を探す。
- 〔5〕課題を克服するためのアイデアを考える。
- 〔6〕〔3〕～〔5〕を繰り返す。

3. 前回の発表以降の進展

- A. 塩素発生実験における発生した塩素量の数値化
- B. ハロゲンの反応性の実験と塩素発生実験に使用する試薬の小規模化
- C. セル（通常、分光光度計に用いるディスポーザブル・セル）はどのような実験の使用に適しているかを調べた
- D. ダニエル電池において寒天を使用したときのイオンの移動を証明

4. 研究内容

A. 塩素発生実験のモジュール化

☆POINT☆

- ・使用する溶液の量を減らすため、容器自体を小さいものに変える。
- ・身近にあるもので（つまり低価格で）塩素発生の実験と同じ効果を得る。
- ・容器を変える事で結果が観察しにくくならないこと。
- ・塩素を扱う実験であるため安全性にも問題がないこと。

前回発表までの実験内容

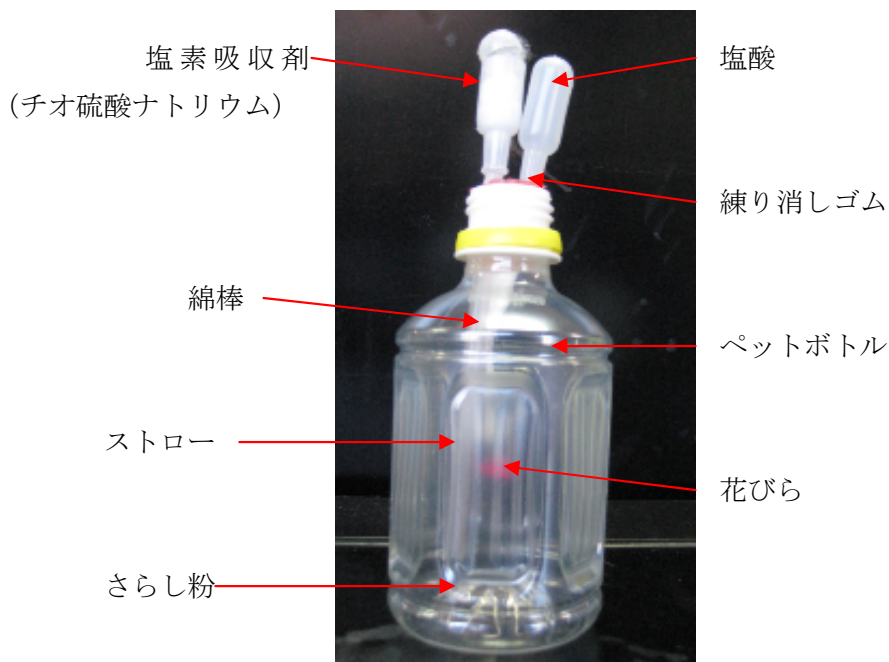
使用器具 ペットボトル・醤油さし(スポイト)・綿棒・練り消しゴム・ストロー・クリップ・花びら・
カッター・セロハンテープ・塩酸 (0.6mol/L)・チオ硫酸ナトリウム(粒状)・銅粉・綿

(1) 安全のため、塩素吸収剤を作る。

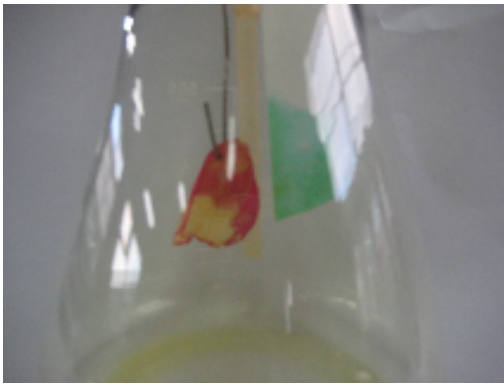
- ・醤油やソースなどの入っている容器の先端に十分に空気が出入りできるように小さな穴を開ける。
- ・容器に切り込みを入れ、綿と砕いたチオ硫酸ナトリウムを入れる。
- ・セロテープなどで切り込みをふさぎ、チオ硫酸ナトリウムが出てこないようにする。



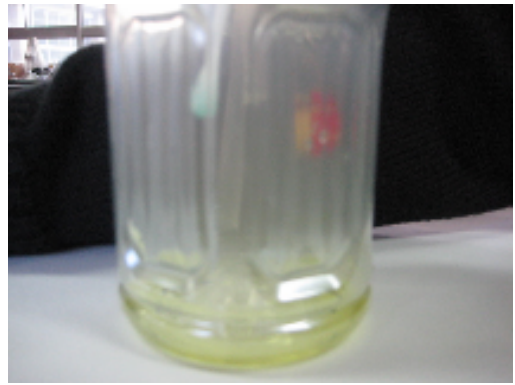
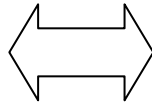
(2) 次の図のように装置を組み立てる。



(3) 容器(スポイト)中の塩酸を注入し、発生する気体の色、臭い、銅粉との反応、花びらの変化を観察する。



一般的な実験による結果



スモールスケール化した実験による結果

進展

塩素発生実験はスモールスケール化した場合における安全性やどこまで試薬の量を減らせるか正確に数値化できていなかったため、何度も実験を行い塩素検知管を用いて正確な数値を調べた。

使用器具 検知管式気体測定器 塩素検知管 ビニール袋

- ・塩素がどれだけ漏れているのかを調べるため器具を密封したビニール袋に入れて反応させる。
- ・反応後、検知管式気体測定器を用いてペットボトル内の塩素濃度とペットボトル外の塩素濃度をそれぞれ測定する。
- ・さらし粉と塩酸の濃度、量を変えてみて最適な試薬量をさがす。



さらし粉 (g)	0.2	0.2	0.3
塩酸 (0.6mol/ml)	1.0		
(6.0mol/ml)		1.0	1.0
塩素の色	△	○	○
漂白作用	×	○	○
銅粉の色の変化	○	○	○
ペットボトル内の塩素濃度	×	1ppm	2ppm
ペットボトル外の塩素濃度	×	×	×

塩酸を 1.0ml 以下にすると反応しにくい

塩素量が少なくて測定不能

反応が遅い

塩素がペットボトル外へ逃げていないと分かる！

表を見ても分かるようにさらし粉 0.2g 塩酸(6.0mol/L)を 1.0ml が最適である。また、このようにスモールスケール化したものでも塩素は漏れておらず、安全に実験できるということが分かった。

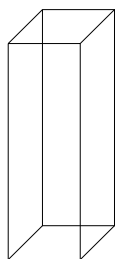
B. ハロゲンの反応性の実験のスモールスケール化

☆POINT☆

- ・使用する溶液の量を減らすため、容器自体を小さいものに変える。
- ・容器を小さくする事で結果が観察しにくくならないこと。

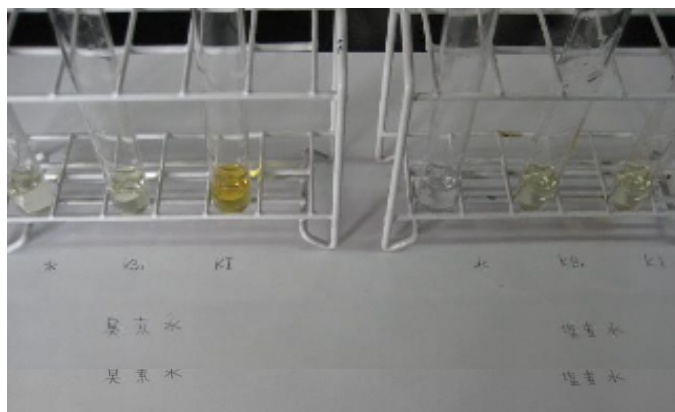
前回発表までの実験内容

使用器具 ビーカー・水・ヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)・臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)・
塩素水・臭素水

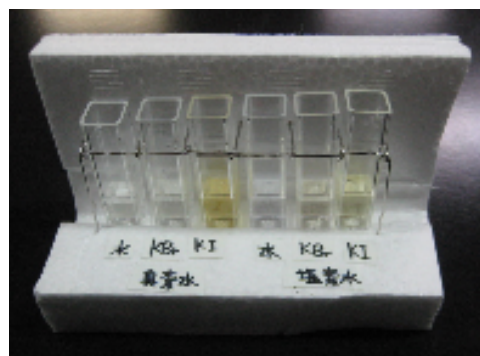
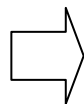


ディスプレイザブル・セル
寸法 (mm) : 10×10×45
容量(ml) : 4.5

- (1) 6 個の容器に、水、臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)、ヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)をそれぞれ 1ml ずつ、2 本ずつ取る。
- (2) 各水溶液の 1 本ずつに塩素水を約 0.33ml ずつ加えて、色の変化を観察する。水と比較する。
- (3) 各水溶液の 1 本ずつに臭素水を約 0.33ml ずつ加えて、色の変化を観察する。水と比較する。



一般的な実験による結果



小規模化した実験による結果

(今回、先生のアドバイスを受け、容器(セル)を立てるスタンドも製作した。身近なもので作ろうという事で発泡スチロールとクリップを用いたものと木製で長持ちするタイプのスタンドの二つを製作した。) 木製スタンドの材料は木片・針金・油性スプレー(白)

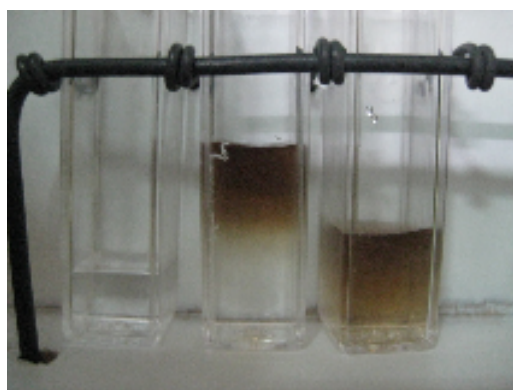
この実験の他にも、色の変化や沈殿の様子を観察する実験に成功した。



銅(II)イオンと硫化水素水(H₂S)との反応
黒色沈殿 CuS の様子



銅(II)イオンとアンモニア水(NH₃)との反応
青白色沈殿 Cu(OH)₂、深青色溶液[Cu(NH₃)₄]²⁺の様子

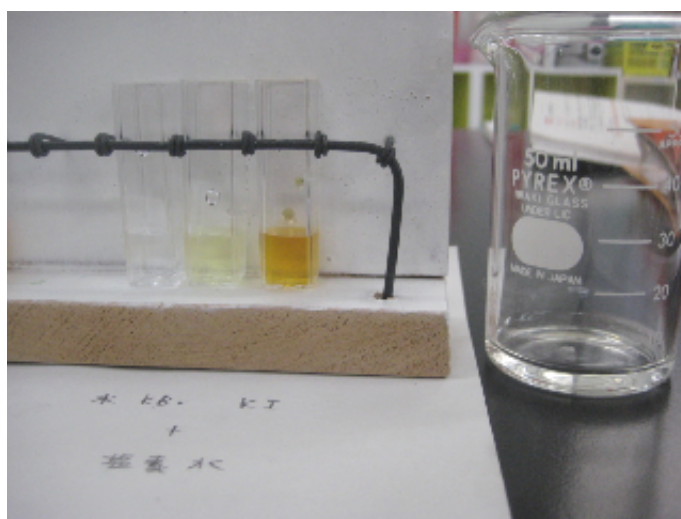


鉛(II)イオンと硫化水素水(H₂S)との反応

黒色沈殿 PbS の様子

進展

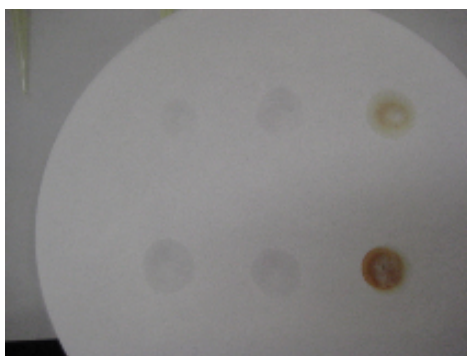
ハロゲンの反応性の実験では、更に試薬の量を減らすことはできないかということでヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)、臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)、水を 0.6ml、塩素水、臭素水を 0.4ml に減らし、混ぜたときの量が 1.0ml になるように実験を行った。



量を減らしても、同じような実験結果を得ることができた。

このまま極限まで量を減らしても反応を確認できるのではないかと思い、ろ紙にヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)、臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)、水を一滴垂らし、その上に塩素水、臭素水を一滴垂らして反応を確認できるか実験を行った。

すると、ヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)と塩素水、ヨウ化カリウム水溶液(0.1mol/L)と臭素水の反応は色が濃いため確認できるが、臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)と塩素水、臭化カリウム水溶液(0.1mol/L)と臭素水の反応は色が薄く反応が確認できなかった。



このように、減らそうと思えばどこまででも少量にすることはできるが、淡黄色など薄い色の反応が見にくくなってしまうため、とにかく試薬の量を減らせばよいというわけではないことが分かった。

C. ダニエル電池のスマールスケール化

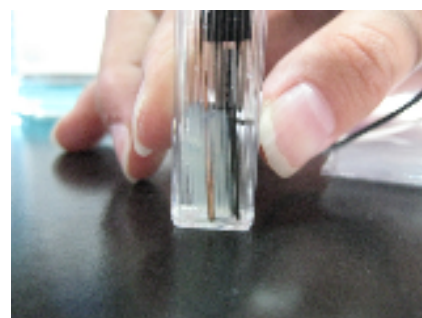
☆POINT☆

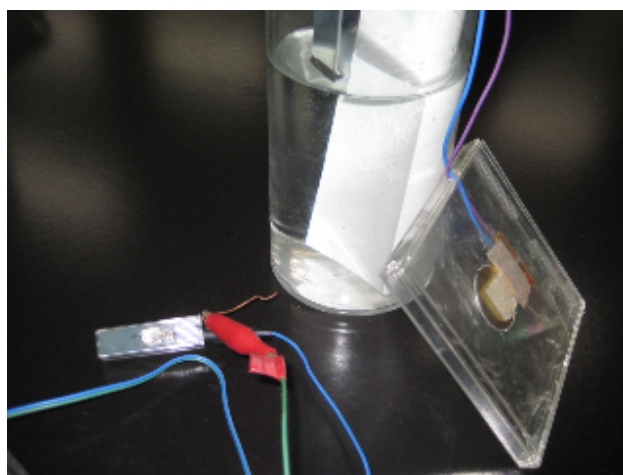
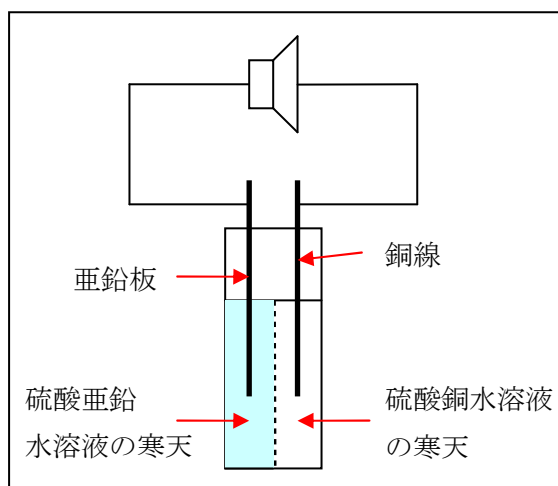
- ・ 使用する溶液の量を減らすため、容器自体を小さいものに変える。
- ・ 容器を小さくすると素焼き板が入らないため溶液を寒天で固める。

前回発表までの実験内容

実験器具 ディスポーザブル・セル(簡易試験管)・硫酸銅水溶液 (0.1mol/L)・硫酸亜鉛水溶液 (0.1mol/L)・銅線・亜鉛板 (小さなもの)・粉寒天・電子オルゴール

- (1) 硫酸銅水溶液 (0.1mol/L)・硫酸亜鉛水溶液 (0.1mol/L) の寒天を作る。
 - ・ それぞれの溶液に粉寒天を入れ、加熱しながら溶かす。
 - ・ 粉寒天が完全に溶けたら粗熱を取って冷蔵庫に入れ冷やし固める。
- (2) できた寒天を適切な大きさに切り、2つの寒天を平行に並べてセルに入れる。
- (2) 硫酸銅水溶液 (0.1mol/L) の寒天には銅線、硫酸亜鉛水溶液 (0.1mol/L) の寒天には亜鉛板を刺して電子オルゴールとつなげる。





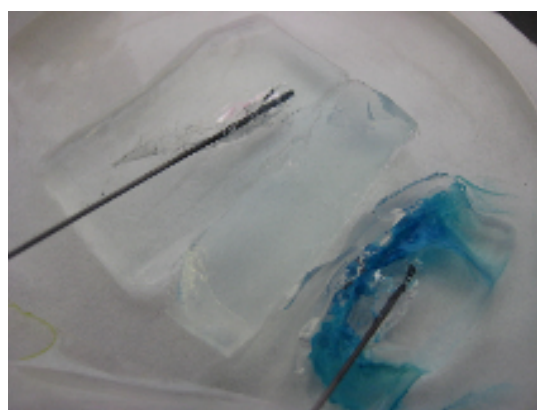
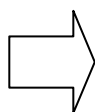
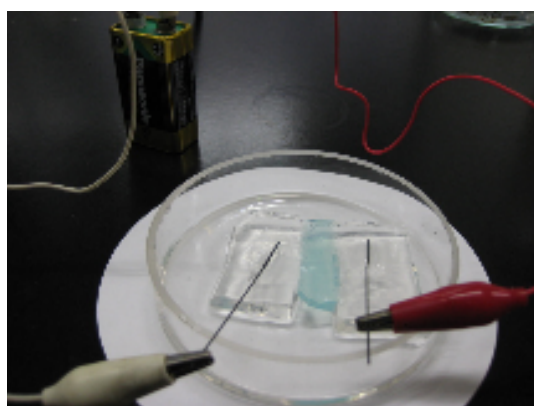
上の写真のようにもともとの実験より、大分小さくすることができ、試薬の量も大幅に削減できた。時間の都合で計りきれなかったが、電極につながれている電子オルゴールは30分以上鳴り続けた。寒天でも電気分解が起こり、しかも長時間持続するという事が分かった。

進展

なぜ寒天を用いて実験ができたのかを「イオンは寒天を通過できるのではないか」と考察し、その確認の実験を行った。

実験器具 硫酸銅水溶液 (0.1mol/L) の寒天・純水の寒天・シャープペンシルの芯・ワニロクリップ・電池

純水の寒天の間に硫酸銅水溶液 (0.1mol/L) の寒天を置き、シャープペンシルの芯を純水の寒天に刺す。シャープペンシルの芯と電池をワニロクリップでつなぎ、そのままの状態に放置しておく。



しばらく経つと、右上の写真のように銅イオンの青色が硫酸銅水溶液 (0.1mol/L) の寒天から純水の寒天の方に移った。

この実験結果から、イオンは寒天通過することができ、**寒天は素焼き板の役割をなす**ということが証明できた。

D. 電気分解のスマールスケール化

☆POINT☆

- ・使用する溶液の量を減らすため、容器自体を小さいものに変える。
- ・容器を小さくする事で結果が観察しにくくならないこと。

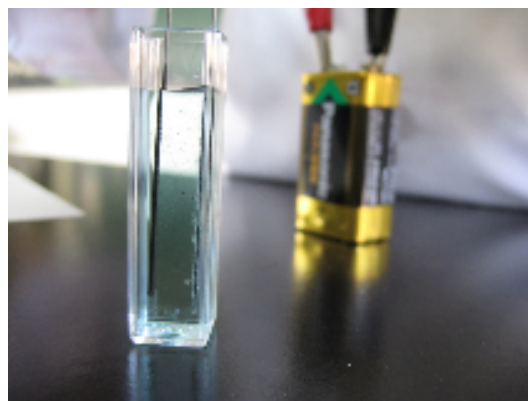
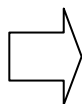
前回発表までの実験内容

実験器具 ディスポーザブル・セル(簡易試験管)・シャープペンシルの芯・電池・硫酸銅水溶液 (0.1mol/L)・ワニロクリップ

- (1) シャープペンシルの芯(2本)を電池の正極、負極に繋いだワニロクリップの先にそれぞれ挟む。
- (2) セルに硫酸銅水溶液 (0.1mol/L) を入れ、シャープペンシルの芯を漬ける。



一般的な実験による結果



小規模化・簡素化した実験による結果



今回の実験の使用溶液量の比較

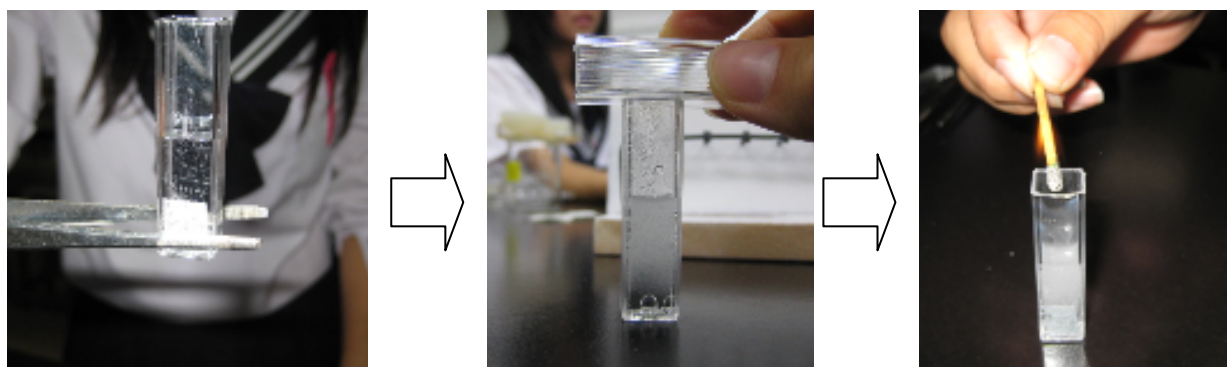
進展

セルは電気分解以外にどのような実験の使用に適しているかを調べた。

塩酸に亜鉛板を入れ、発生した気体が水素であることを確認する実験をセルで行ってみた。

すると写真を見ても分かるように、気体の発生の様子はよく観察できた。

しかし発生した気体の量が少なすぎて、発生した気体が水素であることを証明することは難しかった。またセルはプラスチックでできているため直接火を近づけると溶けて変形してしまった。



小さな気泡も非常に見やすく
て観察に適している。

火のついたマッチを近付けても何
も起こらなかった。

以上の実験結果からセルは、

- ・ 試験管やビーカーを用いるよりもはるかに試薬の量が少なくすむ。
- ・ 試験管やビーカーを用いるよりも気泡の観察がしやすい。
- ・ 色の変化を観察する実験や、気体の発生を観察する実験に適している。
- ・ 熱に弱く直接加熱はできない。
- ・ 気体を発生させてそれを集約するのには適していない。

ということが分かった。

どんな実験にもセルは使えるわけではなく向き・不向きがあるが、セルを使用することで試薬の量は大幅に減らすことができる。

5. 結果

[A. 塩素発生実験のスマールスケール化]

三角フラスコからペットボトルに変えても結果は十分に観察できた。また実験後のペットボトルに蓋をする事によって発生した塩素を安全に管理できると分かった。

小規模化により実験に使用する溶液の量を減らす事ができた。

追加実験により安全性の確認もできた。

[B. ハロゲンの反応性の実験のスマールスケール化]

小規模化しても色の変化や沈殿の様子を確認するのに支障は無く、試薬の削減に成功した。

容器が小さいために溶液の入った容器を水平に倒しても表面張力が働いて試薬がこぼれないというメリットを発見した。

[C. ダニエル電池のスマールスケール化]

寒天を使用することで素焼き板の代わりとなり、セル内での実験が可能となって大幅な試薬削減に成功した。

同じ濃度の試薬でも、素焼き板を用いるよりも寒天を使ったダニエル電池の方が長時間電子オルゴールが鳴った。

[D. 電気分解のスマールスケール化]

小規模化しても銅の抽出と気体の発生が観察でき、試薬の削減に成功した。

セルが小さいため気泡を観察し易かった。

6. 考察・感想

前回発表までと比べ、各実験の数値化に成功した。

どれだけ試薬が削減できたかが明確になった。

ダニエル電池で寒天を用いたときの方が長時間電子オルゴールが鳴ったのは、イオンの移動効率が上がったからだと考えられる。

セルは小さく寒天はこぼれにくいため、セルでダニエル電池を沢山作れば、授業内に生徒一人一人がモーターを回したり電子オルゴールを鳴らしたりといったダニエル電池の実験を手軽に行えると思う。

身近なものを使うだけで試薬の量を大幅に減らすことができ、その変化が面白かった。

ちょっとしたアイデアや工夫で廃棄物が減らせるのだから、これから私たちは化学を勉強していく上で、より無駄な試薬をなくすように考えていかなければならないと思う。

私たちの研究結果が今後実際に授業などで使われ、少しでも試薬の無駄を減らせていければ良いと思う。

7. 参考文献・引用文献

授業プリント

フォトサイエンス化学図録 改訂版 数研出版

化学Ⅰ・Ⅱの実験 岐阜県高等学校理化教育委員会