

中学校理科の実験を効率的・効果的に行う工夫

村上篤男 矢部丈登 額田悠希

1 はじめに

中学校学習指導要領の改訂に伴い、中学校理科の教科書も大きく変わった。指導内容が増えたこともあるが、「観察、実験の結果を分析して解釈する力の育成」等の求めに応えるため、教科書に紹介される観察・実験の数も大幅に増やすなど、きめ細かい編集がなされている。

観察、実験の結果を分析して解釈する力を育成するには、「実験→結果の整理→分析・考察→結論」の過程をできるだけ1単位時間の中で完結させることが望ましい。

しかし、観察・実験は時間がかかり、「実験→結果の整理→分析・考察→結論」を1単位時間に収めることには難しい現実がある。

実験操作に習熟した理学部の学生が生徒役を務める教科教育法(理科)の模擬授業においても同様で、1単位時間には収まらず、結果の分析・考察、まとめ・結論は次時へ持ち越されることが度々ある。まして、中学校の教育現場では言うまでもない。

「実験→結果の整理→分析・考察→結論」をできるだけ1単位時間内の完結に近づけるため、教科書に紹介されている観察・実験の方法を、より効率的・効果的なものに工夫・改善することを試みた結果、大きな成果が得られたので、その一部を以下に紹介する

2 気体の性質を調べる実験

1年時の学習に、「気体の発生と性質」がある。気体(酸素、二酸化炭素)を発生させ、その性質を調べる実験である。

この実験で、多くの教科書が採用している気体発生装置が、図1に示すような装置である。これは、試験管とL字ガラス管を組み合わせた極めてシンプルかつコンパクトな装置で、消費する試薬(過酸化水素水や塩酸)も少量ですむ優れたものである。

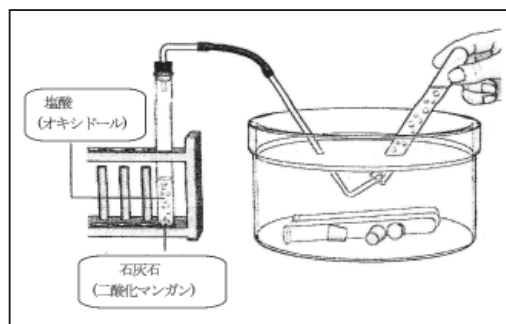


図1 教科書の気体発生装置

しかし、この装置を用いて実験を進めていくと、シンプル・コンパクトゆえの問題点が見えてきた。

(1) 問題点

模擬授業において見えてきた問題点は次のようなものである。

- 反応が途中で失速し、必要量の気体を捕集するのに時間かかる。
- 気体の捕集に手間取ったりすると、途中で反

応が終了してしまう。

○試薬を補充するためには、すべてをリセットしなければならない。

この問題の主な要因は、反応物質(過酸化水素、塩酸)の総量不足にあると考えられる。反応の進行に伴い塩酸や過酸化水素水の濃度は低くなり、やがて気体の発生は止まってしまう。

しかし、安易に反応物質(過酸化水素水や塩酸)の量や、濃度を大きくすることは好ましくない。そこで、リセットせずに、反応物質(過酸化水素水や塩酸)を補充し実験を継続できる気体発生装置が望まれる。

反応物質を連続的に補充できる気体発生装置ならば、従来から図2のような滴下ロートと三角フラスコを組み合わせた装置がある。

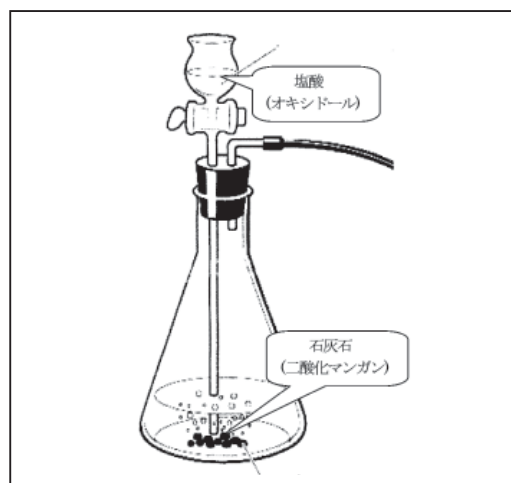


図2 従来型気体発生装置

しかし、300ml三角フラスコを用いた場合でも、その容量は180mmサイズ(容量30ml)の試験管の10倍以上であり、大量に発生初期の空気が混じった気体を捨てなければならず、むだに試薬を消費する。

(2) 工夫した気体発生装置

そこで、連続的に試薬(過酸化水素水や塩酸)を補充でき、効率がよく、試薬の消費も少なく済む気体発生装置(図3)を工夫した。

この気体発生装置は、ヨーグルト飲料のペットボトル(容量約100ml)を利用する。ペットボ

トルの素材はPET樹脂である。PET樹脂は耐薬品性に優れているが、耐熱温度は85℃程度である。しかし、この温度は、酸素や二酸化炭素の発生に伴う発熱には十分耐えることができる温度である。

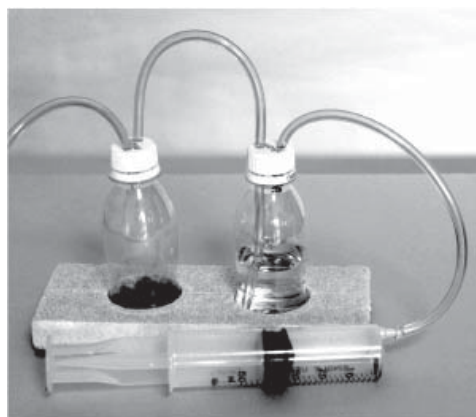


図3 ペットボトル利用気体発生装置

ヨーグルト飲料のペットボトル(容量約100ml)2本をビニルチューブで連結し、粒状二酸化マンガンや石灰石の入ったボトルに、もう1本のボトルからオキシドールや塩酸を空気ポンプを使って送り込む仕組みである。その構造を図4に示す。

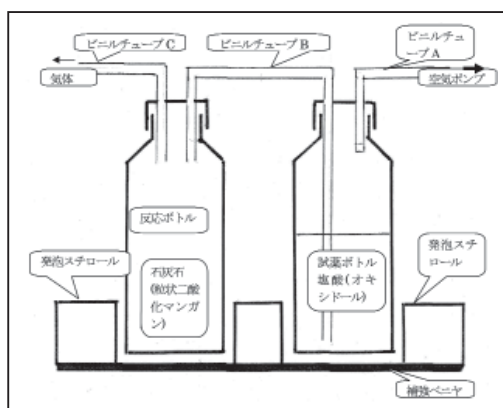


図4 ペットボトル利用気体発生装置構造

(3) 気体発生装置のつくり方

材料

- ・ペットボトル(内容量約100ml)・・・2本
- ・ビニルチューブ(外径6mm内径4mm)・・・1m

- ・発泡スチロール板 (8cm×20cm×2cm)・・・1枚
- ・ベニヤ板 (8cm×20cm×3mm)・・・1枚
- ・差込棚タボ (φ4mm)・・・1個
- ・ディスポ注射器 (50ml)・・・1本

作り方

- ①ドリルを使ってキャブに直径5.5mmの穴を二つずつ開ける。
- ②ビニルチューブをA(20cm), B(25cm), C(55cm)切り, 図4のように連結する。
- ③ボトルを取り付け, 反応ボトル, 試薬ボトルとする。
- ④発泡スチロール板に直径4.5cm(ボトルの径)程度の穴を2つ開け, 裏側に補強のベニヤ板をはる。
- ⑤2つのボトルを発泡スチロール板の穴に差し込み, ビニルチューブAに空気ポンプを取り付けて完成。

空気ポンプは, 当初100yenショップなどで簡単に購入できるゴム風船用のポンプを利用したが, 気密性に問題があることが分かった。ゴム風船用のポンプでも試薬を反応ボトルへ送り込むことは十分可能だが, 発生した気体の圧力がポンプを通して逃げるため, 捕集水槽での気体発生の勢いが減少してしまうのである。

そこで, YPC横浜物理サークルの簡易真空ポンプを参考に50mlディスポ注射器を使って空気ポンプを自作した。以下にその作り方を示す。

作り方

- ①図5に示すように, ビニルチューブAの端15mm位の所に皮ポンチでφ1.5mmの穴を開ける。
- ②この穴を弁となるビニルテープで塞ぐように巻く。この時テープは必ず一重であることが大切。
- ③チューブの先端を差込棚タボで封じる。
- ④50mlディスポ注射器のシリンダーに内側から千枚通しで穴を開ける。
- ⑤カットしたビニルテープをシリンダーの内側から貼り穴を塞ぐ。このビニルテープが弁になる。この時, カットしたビニルテ

ブをピストンの先のにせ, シリンダー内に挿入すると簡単に貼れる。

- ⑥この加工した注射器をビニルチューブに差し込み完成。

ピストンを引いたり押したりを数回繰り返すと, ビニルテープとシリンダー(チューブ)の間に空気の通り道ができ, 弁が空気の流れをコントロールしポンプとして機能する。

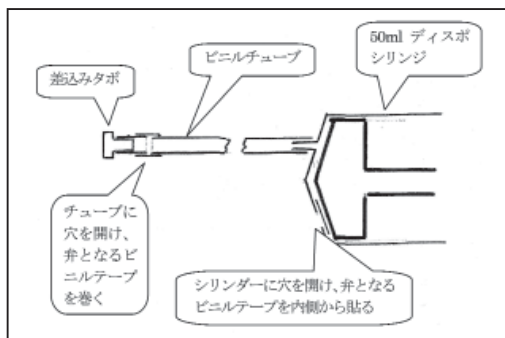


図5 空気ポンプの構造

(4) 導入の効果

この装置を授業に導入した結果, 次のような効果が確認された。

この装置は反応を中断させることなく, 試薬(オキシドールや塩酸)を必要な時, 必要なだけ送り込むことができ, 気体の発生が円滑に進む。

したがって, 次の気体の性質を調べる作業にゆとりを持って臨め, 考察やまとめまで1単位時間の中に収めることができた。

加えて, 授業全体の効率も上がり, 学習効果も上がった。

また, 試薬の配布・回収もヘットボトルに入ったまま, カートリッジ感覚で扱えるので, 数クラス分の実験準備も容易に行える等の利点も得られた。

この装置は, 350mlや500mlのペットボトルを使っても可能であるが, 100mlのペットボトルを使用することで, 装置をコンパクトにまとめることができ, 試薬の消費量も極力抑えることができる。

(5) 水素発生への利用

度重なる実験事故の影響か、今回改訂された教科書にも、水素を発生させその性質を調べる実験は取り上げられていない。

近年、エネルギー源として水素が注目され、「夢の水素社会の到来も近い」と言われている時代にこのままでよいのかという思いがある。

そこで、この気体発生装置を使って、粒状亜鉛に塩酸を作用させ水素を発生させた時の、発生源への引火・爆発に対する安全性を確かめた。

ペットボトルの素材であるPET樹脂が軟質プラスチックのためか、爆発の衝撃は極めて小さく、「プスッ」といった鈍い音を立てて爆発し、装置が少し振動する程度で、ボトルが破裂したり、キャップが飛んだり、試薬が飛び散ったりすることは皆無であった。

これは、爆発の瞬間、チューブと穴の間やボトルとキャップの間に僅かなすき間ができ、急激に上昇した圧力を逃がしているものと考えられる。

また、キャップに小さな穴を開け、外側からビニルテープで塞ぎ安全弁として、同じ爆発実験を行ったところ、ビニルテープに圧力が抜けた跡が確認され、安全弁の機能を十分に果たしていることが分かった。

2 いろいろな水溶液の性質を調べる実験

3年次の「水溶液とイオン」の学習に、「いろいろな水溶液で、電流が流れるかどうか調べよう」という実験がある。この実験は、食塩、砂糖、塩酸など身近な物質の水溶液の伝導性を調べる実験で、イオンの存在を予想させる大切な実験である。

また、「酸・アルカリとイオン」の学習に「酸性の水溶液とアルカリの水溶液の性質を調べよう」という実験がある。この実験も塩酸、水酸化ナトリウム水溶液、食塩水、砂糖水など身近な物質の水溶液の伝導性や酸性・アルカリ性をリトマス紙やBTB液で調べ、水素イオン、水酸

化物イオンの役割につなげる重要な実験である。

(1) 問題点

この実験は、同時に5～7種類ほどの水溶液を扱わねばならない。また、酸性の水溶液とアルカリ性の水溶液の性質を調べる実験では、リトマス紙やBTBの反応、伝導性、金属(マグネシウム)との反応など、実験項目も多い。

このような中で浮かび上がってきた問題点は次のようなものであった。

- 実験項目が多く、操作に費やす時間が長くなり、分析や考察等にまわす時間がとれない。
- 大量のビーカーや試験管を使用するので、実験台の上が煩雑となり、スムーズな実験の妨げになることもある。
- ビーカーを用いて実験を進めると、資料の量が必要以上に多くなる。
- 実験終了後の廃液回収や器具洗浄が大変である。

(2) 工夫した資料パレット

そこで、資料を扱うビーカーに代えて、使い捨て食品容器(3/4オンスカップ)を利用し、試薬の消費を必要最小限に抑えた。

この容器は容量約20mlである。資料が入った状態でも極めて軽く、固定する必要がある。そこで、発泡スチロール板に穴を開け、カップを固定できるものを作り、資料パレット(図6)と名付けた。



図6 資料パレット



図7 コンパクト電極

また、これに対応したコンパクトな電極も新たに作った。(図7)

(3) 資料パレットの作り方

材料

- 3/4オンスカップ ……5個
- 発泡スチロール板10×30×2cm程度 ……1枚
- ベニヤ板(上と同じ大きさ) ……1枚
- 木工ボンド マスキングテープ

作り方

- ①金属パイプなどを利用して、発泡スチロール板にカップの径に合わせた穴をあける。
- ②ベニヤ板をスチロール板に木工ボンドで貼り、マスキングテープで発泡スチロールの側面を保護・補強する。
- ③カップを穴に埋め込んで完成(図8)。

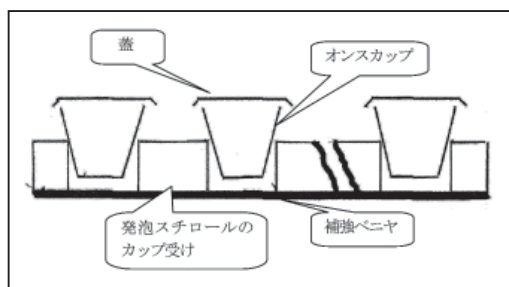


図8 資料パレットの作り方

(4) 電極の作り方

材料

- ABS樹脂丸パイプ(φ2mm×15cm) ……2本
- ステンレスバネ線(φ1mm×18cm) ……2本
- リード線(20芯30cm) ……2本
- 裸圧着スリーブ 突き合せ-B型(φ3mm) ……2本
- 熱収縮チューブ(φ4mm×3cm) ……2本
- 接着剤(二液性, UVレジン, デコ用等)

作り方

- ①ステンレスバネ線とリード線を裸圧着スリーブに差し込み、かしめ工具を使って圧着してつなぐ。
- ②ステンレスバネ線を樹脂パイプに通し、樹脂パイプに1cm位かぶるように繋ぎ部分を熱収縮チューブで覆い絶縁被覆を施す。
- ③ステンレスバネ線を樹脂パイプに通し、樹

脂パイプの先に接着剤を注入しステンレス線を固定・接着するとともにシールドして完成(図9)。

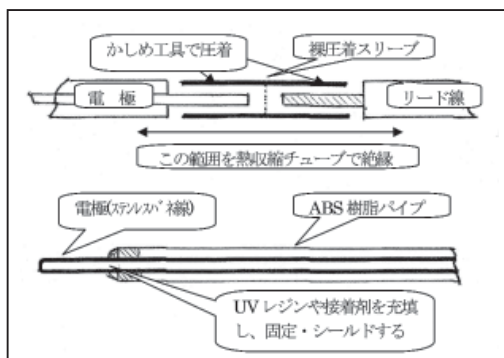


図9 コンパクト電極の作り方

(5) 導入の効果

資料パレット導入の最大効果は、実験台の上が常に整頓された状態で実験が進められることである。また、電極も防水機能を高めたため、洗浄も容易となり、実験の効率が格段に上がった。その結果、「実験→結果の整理→分析・考察→結論」の過程を1単位時間の中で完結させることが可能となった。

また、消費する試薬の量が減り、廃液の回収も容易になった。さらに、カップは使い捨てのため、授業後の器具洗浄もほとんど不要となった。

3 電気分解や電池の実験

「水溶液とイオン」の学習には、塩化銅水溶液の電気分解や電池の実験もある。電気分解の実験は、前述の食塩、砂糖、塩酸など身近な物質の水溶液の伝導性を調べる実験と組み合わせ、「イオン・電子」の概念を形成させる重要な実験である。

また、電池の学習では、いろいろな金属と食塩水で電流を取り出したり、電池をつくって電極の変化を調べたりする実験もある。

(1) 問題点

この実験は、電極表面の変化を細かく観察

し、その結果を元に、科学的に考察・推理をたたらかせ、イオンや電子、イオン反応につなげるためのものである。

この実験は一般的に図(10)で示されるような装置で行われるが、以下のような問題が指摘されている。

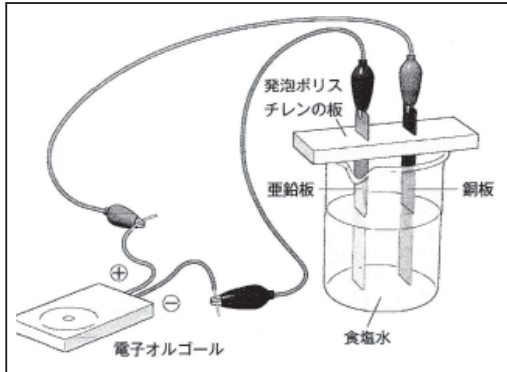


図10 発砲スチロールの電極固定装置

- 電極を固定する発砲スチロール板が、観察の視界を妨げる。
- 電極の固定が緩みやすく、電解(電池)槽の中で接触してしまうことがある。
- 発生した気泡が拡散し、きめ細かい観察がしにくい場合がある。

(2) 電極固定部の改良

電極を固定する部分の透明性を確保するために、使い捨て食品容器(クリーンカップ)の蓋を利用した透明な電極固定装置(図11)を工夫した。



図11 透明な電極固定装置

また、気泡などの拡散を抑制するため、透明塩ビ板をブックエンド型に加工して電解(電池)槽に沈め、気泡拡散抑制板とした。

(3) 透明な電極固定装置の作り方

材料

- クリーンカップ蓋付き ……2個
- 接着剤(二液性またはデコ用)
- 電極(炭素棒, 銅板, 亜鉛板, アルミ板, 等)
- 硬質塩ビ板(5cm×10cm×0.5mm) ……2枚

作り方

- ①カップの蓋2枚に電極を差し込む切り込みを入れる。(棒電極の場合は太さに合わせ、ストロー通しをイメージした十字の切り込み)。

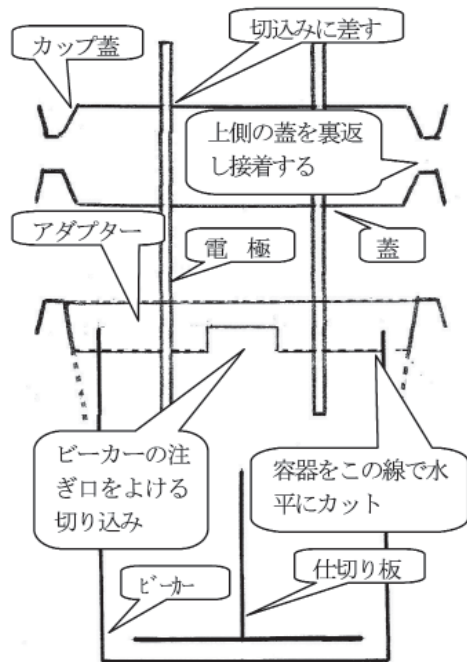


図12 透明な電極固定装置の作り方

※上側の蓋を裏返して下側の蓋と貼り合わせるので、上下の切れ込みの位置がずれないように型紙を使って正確に工作するとよい。

- ②電解槽にはビーカーを用いる。容器を準備し、上端から1cm辺りで水平にカットする。これを電極固定部分の蓋にはめ込みアダプ

ターとし、ビーカーにかぶせ、電極をしつかりと固定させる。図12

- ③拡散抑制のための仕切板は、硬質塩ビ板2枚をそれぞれL字に曲げ貼り合わせ、ブックエンド型に加工する。

電解（電池）槽にクリーンカップの容器部分を用いてもよい。この場合は、容器の強度を増すため容器を2枚重ねにして使う。

ただ、クリーンカップは軽量のため転倒しやすいので、外側カップを塩ビ板などに貼り、電解槽受けにするとよい（図13）。

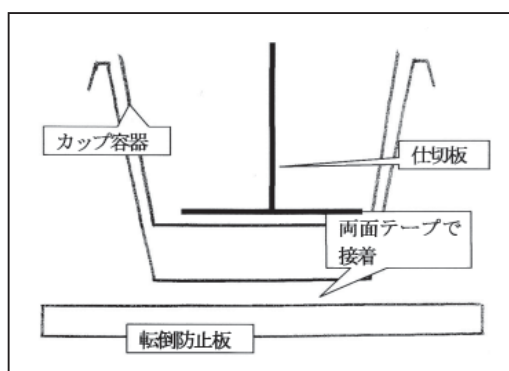


図13 クリーンカップ利用の電解（電池）槽

(4) 導入の効果

クリーンカップの素材はPS樹脂で、透明で剛性に優れている。そのため図12に示すように、切り込みに電極を差すだけでも電極を固定でき、電極がぐらついたり、滑り落ちたりすることはない。

電極固定装置を透明にすることや、発生する気泡の拡散を抑制する仕切板を導入した結果、生徒の観察力が高まった。例えば、塩素の発生による電極付近の僅かな色の変化、電池（銅－亜鉛）において回路が繋がった時の銅電極付近の変化など、従来指示しなければ気づかない部分にも自然と気づくようになり、科学的な観察も深まり学習効果が上がった。

4 おわりに

1 単位時間の中で「実験→結果の整理→分析・考察→結論」の学習の流れを完結・充実させたい。そのためには、授業で取り上げる実験を、より効率的・効果的にすることが必要不可欠であると考え、「中学校理科の実験を効率的・効果的に行う工夫」をテーマに研究を進めてきた。

今回、その成果の一部を紹介したが、まだ完成にはほど遠い。今回発表したものにも工夫・改善の余地が残されており、他の手つかずの部分も多く残っている。今後の研究の必要性を痛感している。

また、今回の研究ではペットボトル、使い捨て食品容器等、日常生活の中で使われているものを積極的に取り入れた。

従来、化学実験では、ビーカー、試験管、フラスコといった化学実験特有の器具が使われてきた。小中学生にとって、これらの器具は一種の憧れであり、化学への興味・関心を引き出す要因の一つであるが、反面、化学実験は「特別なもの」、「特殊な器具が無ければできないもの」といった観念を生じさせてしまう一面も持ち合わせている。

ペットボトル、使い捨て食品容器など身のまわりにあふれている物品を利用することで、「化学実験は身近なもの」「特殊な器具が無くともできるもの」といった考えを引き出す効果もあるように思えた。

追記

本研究を進めるにあたって、「気体の性質を調べる実験「いろいろな水溶液の性質を調べる実験」の工夫・改善を村上が、「電気分解や電池の実験」を矢部と額田が担当し、論文執筆は村上が担当した。

参照文献

- 「中学校学習指導要領解説 理科編」
文部科学省 平成20年
中学校理科用教科書
「サイエンス 1・2・3年」 啓林館
「理科の世界 1・2・3年」 大日本図書
「新しい科学 1・2・3年」 東京書籍
「YCP簡易真空実験器の作り方と使い方」
YCP(横浜物理サークル) 山本明利