

マイクロスケール化学実験で学校の授業を効果的にしよう

東北大学名誉教授 荻野 和子

1. いろいろなマイクロスケール実験教材の開発

最近 20 年ほど、世界的にマイクロスケール実験 (MC) が脚光を浴びてきた。国際化学教育会議、アジア化学会議、環太平洋国際化学会議等の学会で MC のシンポジウムやワークショップが行われ、研究者同士が相互に連携をとって活動している。各研究者の活動には特色があり、互いにオリジナリティを尊重している。筆者は、これまで 15 年間にさまざまな MC を開発してきた¹⁾。

MC は「観察しにくく迫りに欠け教育効果が劣る」という先入観をもたれがちである。我々は、通常スケールの実験以上に教育効果が高く、視覚、嗅覚、聴覚に訴え楽しいとともに、基本概念の理解につながる実験を目指してきた。このような実験を通して化学を学ぶ意欲が育てられると考えている。

ここでは、マイクロプレートを活用する実験をいくつか紹介する。

2. 30 秒でできる燃料電池の実験

12 ウェルマイクロプレートの一つのウェルに 1 mol/L 硫酸ナトリウムと BTB 指示薬を加える。ウェルを 2 分割するようにろ紙を立て、その両側に鉛筆のしんを 1 本ずつ立て電極とし、赤黒 2 本の導線で乾電池に接続する。直ちに色の変化、気体の発生が観察される。10 秒ほどしたら、乾電池に接続していた導線はずし電子オルゴールにつなぐと、メロディが聞こえる。すなわち、このウェルは燃料電池になったのである。

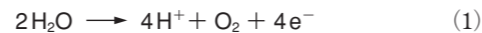


図1 水を電気分解したら、電池ができた

電子オルゴールではなく、低電圧で作動する LED やプロペラつきモーターに接続しても瞬間的に電流が流れることが観察できる。

3. 反応式が視覚化される実験

上記燃料電池をつくる反応は水の電気分解である。このとき、陽極では次のように



酸素が発生し、 H^+ が生じる。そのため、陽極側では、BTB が黄色になる。

陰極では



水素が発生し、 OH^- が生じ BTB が変色する。

両極からの気体の発生、瞬時に起こるろ紙の両側での色の変化が (1)、(2) 式で説明できることは、反応式の視覚化である。

2~3 の実験のようすを図 1、2 に示す。このような図があると、小学生も納得したようすで夢中で実験に取り組んだ²⁾。

2 の実験で燃料電池ができるのは、(1)、(2) 式で電極に酸素、水素ができていたためである。水素を吸着した電極 (燃料電池の燃料極あるいは水素極) では、

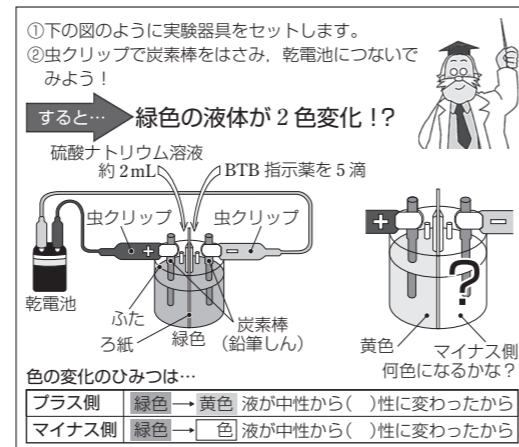
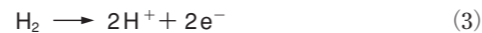
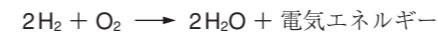


図2 水の電気分解で、酸性の水とアルカリ性の水ができる

もう一方の極では、



の反応が起こるので、これらの電極の間に電流が流れ、電気エネルギーを取り出せる。全反応は



で、2~3 の実験を通じて燃料電池の原理を教えることができる。

4. 視覚、嗅覚で反応生成物を認識する実験

0.2 mol/L 塩化銅 (II) を 12 ウェルプレートの一つのウェルにとり、食紅 1 滴を加えると、暗赤色になる。ろ紙でウェルを 2 分割し、鉛筆のしんをろ紙の両側に 1 本ずつ立てて電極とし乾電池を接続すると、数秒で、陽極側の半分が淡青色となり、塩素臭がする。これは、陽極で発生した塩素のために、食紅が漂白されるからである。また、陰極側のしんの先には赤い金属が付着しているのが観察される。これは、中学校では「塩化銅の単体への分解」として教えることができる。高校化学では、それぞれの電極における半反応式を考えさせることができる。

5. 探究的な実験

2 の燃料電池では、探究的な実験として次の課題がある。

「鉛筆のしん (炭素棒) の電極ではなく、ステンレスの電極を使って同じように実験すると、燃料電池ができるだろうか。どうしてそのような結果になるか考えよ。」

このような実験を通じて現在燃料電池の電極には白金が使われていることについて考えさせることができる。

3 の電気分解は、硫酸ナトリウム水溶液に BTB を加えた例である。同様に、いろいろな電解質溶液にさまざまな指示薬を加え、ろ紙で 2 分割して電気分解し、ろ紙の両側の色の違いを通じて、半反応式を考えさせることができる (図 3)。

高校生の実験教室で、ある女子高校生は、ムラサキキャベツ色素液を加えたいろいろな水



図3 電気分解の探究実験

溶液の電気分解でみられる色の組み合わせを研究し、その意外性に驚いていた。

一般にマイクロスケール実験は、短時間で多数行うことができ、危険も通常スケール実験に比べ少ないので、探究実験に向いている。その例については、文献³⁾でも紹介した。

6. 水の電気分解における水素と酸素の体積比

筆者の開発したマイクロスケール実験で、海外でもっとも感嘆されたのは、ホフマン型電解槽である (図 4)。

これは 1 mL ツベルクリン注射器 (プラスチック製) 2 本と使い捨て三方活栓を利用したものである⁴⁾。ツベルクリン注射器 (以下シリンジと略す) の 0.80 mL の目盛のところに待ち針あるいは刺しピンなどを刺して電極とする。炭酸ナトリウム水溶液を 12 ウェルマイクロプレートの一つのウェルに入れ、そこにシリンジ 2 本を立てて、三方活栓を通じて、シリンジの目盛ゼロまで水溶液を吸い上げる。活栓を閉じて 9V 乾電池を電極に接続すると直ちに電極から気泡が発生する。陽極と陰極の泡の発生速度の違いは一目瞭然に観察できる。5 分ほどで電気分解は終了し、陽極側 0.40 mL、陰極側 0.80 mL と発生した気体の体積を読みとることができ、体積比 1:2 が得られる。

生じた気体は三方活栓を通じて別の注射器に集めて性質を調べることができる。例えば、陰極側の気体をせっけん液に通して泡をつくり点火すると低い音で爆発する。また、両方の気体を 1 本の注射器に集め、せっけん液に通してつくった泡に点火すると

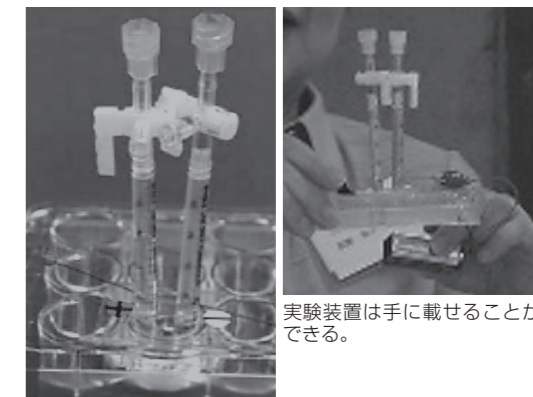


図4 ツベルクリン注射器 2 本で組み立てた電解槽

大きな爆発音がする。水素と酸素の体積比 2:1 混合物は爆鳴気だからである。陽極側の気体が酸素であることは、インジゴカーミン液を用いても調べることができる。

7. マイクロスケール実験の一般な利点

MCには、一般に次の利点がある。

- (1) 試薬の節減
- (2) 実験廃棄物の少量化
- (3) 安全性: 危険が少ない
- (4) 操作の簡略化
- (5) 実験環境の改善
- (6) 省資源, 省エネルギー
- (7) 実験時間の短縮
- (8) 経費の節減
- (9) 以上のことを通して環境問題についての生徒の関心を深めることができる
- (10) 1 グループの人数が少ないので一人ひとりが積極的に実験に参加する

これらの利点に加え、我々の開発した 2~6 の MC は、次の特色がある。

- ① 通常スケールの実験より、変化が観察しやすい。
- ② 実験の再現性がよい。
- ③ 電池や電気分解の実験の際、スタンドが必要ない。
- ④ 失敗が少ない。失敗してもすぐやり直しができる。
- ⑤ 適切なワークシートを用意して、実験結果を記録・整理したり考察しやすくできる。
- ⑥ 理科室ではなく、通常の教室で実施できる。
- ⑦ 実験中、地震が起こっても、通常スケール実験より安全である。また、地震のときも破損しにくい。

8. MC の普及を妨げている要因

これまで、数多くの実験教室、教員対象の研修で多くの MC を実践し、好評であった。そこで、普及のために教員対象の研修の際、器具、試薬をセットにした数種の実験キットを参加者に各 1 セットずつ持ち帰っていただいた。しかし、キット 1 個を持ち帰るだけではなかなか実践につながらず、MC は日本では思うように普及していない。

これまでの例からわかるように、我々の MC では、

医療用、研究用に使い捨て器具として市販されているものを使い捨てにせず使用する。これらの器具は学校現場では入手しにくい。理化学実験用器具カタログに掲載されていないこと、販売店を見つけたとしても、大量にまとめて購入しなければならない、さまざまな器具の入手のためにいろいろなカタログを調べなければならない、などのためである。

冒頭に述べたように、マイクロスケール実験は教育効果が劣るといふ先入観をもたれており、MC の長所は、我が国でまだ十分に知られていない。その一因は、体験した教員が少ないことである。広く知られるようにするためには体験が重要である。そのために、市販できる実験キットの開発を目指した。

9. 実験キットの開発

ここで紹介した 2~6 の実験は、いろいろな器具が必要なので、「電気分解と電池」を中心としたキットを取り上げることにした。幸い大日本印刷株式会社との協力で 2009 年に説明書付きの試作品ができた。

A4 判の大きさ、厚さ約 2cm のケースの中にマイクロプレート、加工された蓋、三方活栓、ツベルクリン注射器、ウェルを正確に 2 分割できる大きさのろ紙、数種の電極(炭素、銅、亜鉛、ステンレス、鉛など)、電子オルゴールなどが収められている。このキットの最大の特徴はプレートに載せて使う多機能蓋にある。ホフマン型電解槽のシリンジを立てたり、鉛筆のしんや金属板の電極を安定に保持したり、ウェルを 2 分割するろ紙片を立てたりするのが簡単に迅速にできる。

このキットで次の基本実験ができる。

- 実験 1 液体の導電性
- 実験 2 水の電気分解と爆鳴気の爆発
- 実験 3 水の電気分解で生じる水素と酸素の体積比
- 実験 4 塩化銅(II)水溶液の電気分解(化合物の単体への分解の実験として中学校で使われている)
- 実験 5 塩化ナトリウム、硫酸ナトリウム等水溶液電気分解における陽極と陰極での反応(半反応)
- 実験 6 電気めっき
- 実験 7 イオンの移動(電気泳動)

「マイクロスケール化学実験」(<http://science.icu.ac.jp/MCE/>)、メーリングリストの開設・運営に取り組んでくださっている。MC の開発普及にともに活動している諸先生に感謝申し上げる。

- 1) 筆者が 2001 年までに開発し化学と教育に発表したいろいろなマイクロスケール実験は、荻野和子編、マイクロスケール化学実験、日本化学会、2001 年の冊子にまとめられた。なお、化学と教育誌の報文は http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN10033386_ja.html に公開されている。また、化学系学協会東北大会では、「高校化学におけるスモールスケール生徒実験」25 報をはじめ多数の MC を発表してきた。
- 2) 小学 4 年生以上で、日本科学未来館、仙台市科学館、秋田県小坂町立小学校等で行った実験教室で、「電気分解と電池」のマイクロスケール実験を行い、たいへん好評であった。
- 3) 荻野和子、マイクロスケール実験の探究活動への応用、化学と教育、55 巻、336 - 339 (2007)
- 4) 荻野和子、水の電気分解でできる気体の体積比を示すマイクロスケール実験、化学と教育、55 巻、82 - 83 (2007)

実験 8 ボルタ電池、果物電池等(2 種の金属板を電極とする種々の電池)

実験 9 ダニエル電池等(銅と亜鉛ばかりではなく、種々の半電池 2 種の組み合わせ)

実験 10 燃料電池の原理

実験 11 鉛蓄電池

実験 12 イオン化傾向

キットに含まれるマイクロプレートおよびディスク反応板のみのできる実験としては、次のようなものがある。

実験① 酸性、中性、アルカリ性

実験② 指示薬の変色

実験③ 強酸と弱酸

実験④ 酸と塩基の中和

実験⑤ 緩衝溶液

実験⑥ 金属イオンの性質

実験⑦ 鉄(II)と鉄(III)

実験⑧ 両性の金属イオン

実験⑨ 錯イオン

実験⑩ 平衡(溶解、電離、錯イオン生成など)

このキットは東北大学で実施された「ひらめきときめきサイエンス」(2010 年高校生対象、2011 年中学生対象)のいずれでも好評であった。2011 年 3 月の東日本大震災の結果、仙台市立中学校数校では、実験室が使用できなくなった。公益社団法人日本化学会、同東北支部等の支援により、いくつかの被災校で、このマイクロスケール実験キットを用い普通教室で実験が行われ、中学理科教育にたいへん有効であることがわかった。

また、各地で行った教員研修でも、学校に取り入れたいとの声が全員から聞かれた。

大日本印刷株式会社では、近く一般にキットを市販する予定ということである。

謝辞

これまでの教材開発・実践には、多くの先生方が参加してくださった。とくに東海林恵子先生は、白石女子高校、仙台南高校、宮城県第一女子高校、秀光中等教育学校での長年にわたる勤務を通じて、数多くの MC を開発、実践してこられた。日本化学会マイクロスケール化学実験小委員会の先生方は、教員研修、実験教室の開催、インターネットサイト