簡単にできる水の電気分解実験

－マイクロスケール実験の応用－

坂東　舞[1)]，川本公二[2)]，土田弘幸[3)]，芝原寛泰[4)]

1）京都教育大学大学院生　mai@kyokyo-u.ac.jp
2）京都府立桃山高等学校　kojikawamoto@mac.com
3）京都教育大学附属桃山中学校　hanaoka@kyokyo-u.ac.jp
4）京都教育大学　shiba@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：**マイクロスケール実験，水の電気分解，定量実験**
（受付：2005年11月8日）

Ⅰ．はじめに

マイクロスケール実験とは，実験に用いる器具，薬品などのスケールを従来よりもはるかに小さくした実験である。マイクロスケール実験には，試薬・廃液および経費の節減，省資源・省エネルギー，実験時間の短縮など様々な利点があり（荻野，1998），現在では，幅広い分野・レベルで広がりつつある（荻野編，2003）。化学実験のマイクロスケール化は，有害廃棄物を減らし，環境低負荷を実現するという観点からも注目されている。元来，マイクロスケール実験はグリーンケミストリー（Anastas and Warner，1999）の考えに基づいており，この概念は，これからの化学の発展において重要な役割を果たすと考えられる。グリーンケミストリーの概念を学校現場における化学教育実験にも反映させるには，マイクロスケール実験の普及が必要である。

そこで筆者らは，中学校理科における化学実験として行われる電気分解実験に注目して，マイクロスケール実験の可能性を検討した（坂東ほか，2005）。電気分解の教材実験として，マイクロスケール実験を用いた例はいくつかの報告がある。例えば，高校化学におけるスモールスケール実験-簡単にできる電気分解の実験-（荻野・東海林，1998）があげられる。これは，濾紙で仕切ったセルプレートを電解槽に，炭素棒を電極に用いた電気分解実験である。電解質溶液に塩化ナトリウム水溶液，硫酸ナトリウム水溶液，塩化銅水溶液を用い，塩素が発生する溶液には食紅などの色素を，中性の溶液には指示薬を加え，電極で起こる反応と，溶液の色の変化を観察可能にしている。海外においても，マイクロスケール実験はあらゆる分野で研究がなされており，注射針を電極として用い，電解槽に小さなガラス瓶（Schwalz，2005）やポリスポイドを用いた水の電気分解（周，2000）などが紹介されている。同時にマイクロスケール用の実験器具の開発も進んでいる。

以上を踏まえて中学校理科を対象とした水の電気分解実験のマイクロスケール化を行った。「水の電気分解」実験は中学校理科第１分野における代表的な実験である。中学校理科では化学反応の典型的な例として，水素と酸素の反応が取り上げられている。これは，水の電気分解により水分子を構成する水素原子と酸素原子の比を実験的に確かめる上で，重要な実験である。水の電気分解に用いる実験器具としては，一般的にH型電解装置やホフマン型電解装置があるが，操作するのが難しい，高価であるなど幾つかの問題点が指摘さ

れており（柿原，1997），個別の生徒実験として導入するのは困難である。
本研究ではマイクロスケール化することにより水の電気分解実験をより簡便に行える方法を検討した。また，グループ実験ではなく１～２人の少人数による生徒実験の可能性も検討した。

Ⅱ．教材実験の内容

１．発生した気体の体積比の確認実験

水の電気分解実験において最も重要なことは，電気分解すると，水の構成元素と組成比を反映して，発生した気体の水素と酸素の体積比が 2 : 1 になることである。以下の実験装置を考案した。

1)材料

・３×４ウェルセルプレート
（Corning 社，12 well cell，85 ㎜×120 ㎜，
セルの直径約 20 ㎜，図 1）

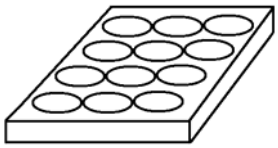


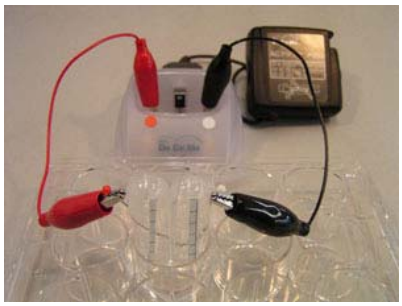
図１　３×４ウェルセルプレート

・ポリスポイド
（アズワン株式会社，採血用 SPOID，材質；低密度ポリエチレン，150 ㎜）２本
・ステンレス製マチ針（電極として使用）２本
・電解質溶液（1mol/ℓ−水酸化ナトリウム水溶液）
・方眼紙
・電源装置

電源装置として，パソコン用ＵＳＢハブ（出力電圧約５Ｖ，最大出力電流２Ａ）を利用した。ＵＳＢハブは，常に安定した電圧が得られ，電源装置に比べて非常に安価であり容易に入手できるという利点がある。また，携帯電話用の充電器を用いても約５Ｖの電圧が得られる。図２ａ），ｂ）にＵＳＢハブおよび携帯電話用の充電器を電源として用いた例を示す。



図２　ａ）USB ハブを利用



ｂ）携帯電話用の充電器を利用

2)実験方法

①2 本のポリスポイドの先端を約 5mm 残して切る。
②ポリスポイドの上部から電極（ステンレス製マチ針）を斜めに差し込む。

※陰極・陽極でマチ針の色を変えるとわかりやすい。

③方眼紙で作った目盛り（長さ 30 ㎜，幅 2 ㎜）をポリスポイドに貼り付ける。

④３×４ウェルセルプレートの一つのセルに約 2mℓ の 1mol/ℓ-水酸化ナトリウム水溶液を入れる。

⑤２本のポリスポイドに 1mol/ℓ−水酸化ナトリウム水溶液を満たす。

※気泡が入らないよう注意する。パスツールピペットを用いて注入してもよい。

⑥⑤のポリスポイドを④のセルに立てる（図３）。

⑦電極を電源装置につなぎ，直流電圧をかける。

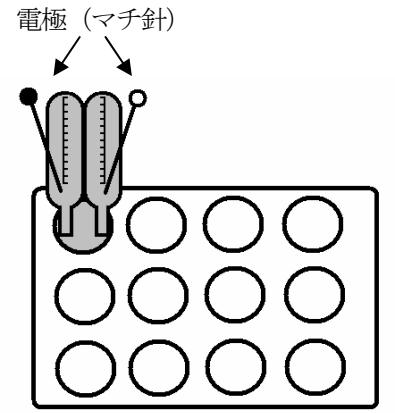


図３　実験装置の全体図

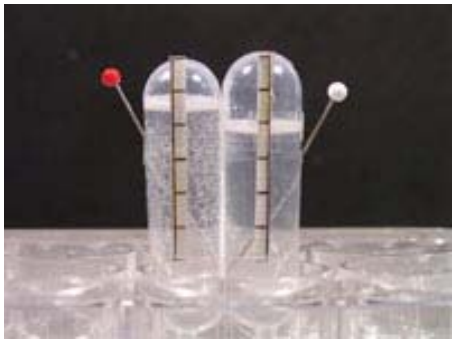


図４　右：陰極，左：陽極

3)実験結果と考察

直流電圧をかけた直後から，気体の発生が確認できた。また，約 10 分間の電気分解により，発生した気体の体積比，水素：酸素＝2：1 を確認できた（図４）。

USB ハブを利用した電源装置による電圧値は約 5V，電流値は約 10～11ｍＡであった。尚，実験に必要な電解質溶液の量は約 10mℓ である。これは，H 型電解装置を用いた従来の水の電気分解実験に比べ電解質溶液の量が非常に少量である。また，約 10 分間で実験結果が得られるので実験時間の短縮の効果は大きい。

２．水素と酸素の混合気体（爆鳴気）の燃焼実験

水の電気分解で発生した，体積比 2：1 の水素と酸素の混合気体（爆鳴気）に点火すると，爆発的な反応が起こる。ポリスポイドを利用した Ning-Huai-Zhou（周，2000）による実験方法を紹介する。

1)材料

・３×４ウェルセルプレート（前出）
・ポリスポイド（前出）　１本
・ステンレス製マチ針（電極として使用）２本
・電解質溶液（0.1mol/ℓ−水酸化ナトリウム水溶液）
・洗剤液（水にごく少量の台所用洗剤を混ぜたもの）

・点火用ライター
・電源装置（USB ハブを利用）

2)実験方法

①ポリスポイドの上部から電極（ステンレス製マチ針）を斜めに差し込む。
※陰極・陽極でマチ針の色を変えるとわかりやすい。
②①のポリスポイドに0.1mol/ℓ-水酸化ナトリウム水溶液を約3mℓ入れる（図５）。
※ポリスポイド一杯に入れない。
③②のポリスポイドを図６のＡの位置（セルの隙間）にセットする。
④３×４ウェルセルプレートのＢのセルに洗剤液を入れる（図６）。
⑤ポリスポイドを曲げ，Ｂのセルに先端をつける（図 7)。
⑥電極を電源装置につなぎ，直流電圧をかける。
⑦⑥のセルに溜まった，気体を閉じ込めた洗剤液の泡に点火する。

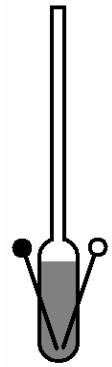


図５　電極を差し込んだポリスポイド

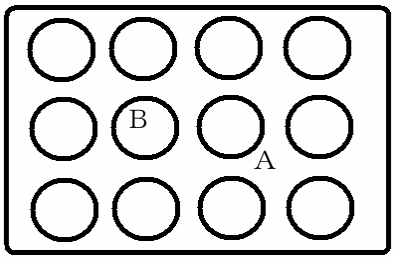


図６　ポリスポイドの位置

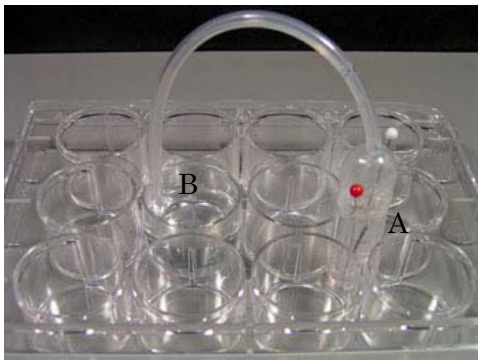


図７　実験器具

3)実験結果と考察

直流電圧をかけた直後から，気体の発生が確認できた。また，ポリスポイド内に発生した気体は洗剤液入りのセルに集まり小さな石鹸泡が多数できた。セルの表面を覆う程度に石鹸泡が発生したところでポリスポイドの先端をセルから離し，泡にライターの火を近づけ点火すると爆鳴気特有の爆発音を発した。発生した気体がおおよそ水素２体積と酸素１体積の混合気体であることが確認できた。尚，発生直後の気体は，大半がポリスポイド内の空気であり二度目の採取から爆鳴気となる。

本実験はマイクロスケール化しても爆発的な燃焼反応は従来通り起こり，十分に大きな音がするので実験のインパクトを損なわない。また，マイクロスケール化により実験器具が簡略化され，実験の準備や操作も簡単になり実験時間が大幅に短縮できた。これにより，たとえ実験に失敗しても，生徒自身が失敗の原因を探り再度実験をすることが可能となる。更に，大きな爆発による危険も避けられる。

京都教育大学附属京都中学校および京都教育大学附属桃山中学校において行った授業実

践では，マイクロスケール化した実験装置，実験器具について 83%の生徒が使いやすいと回答した。また，実験結果のわかりやすさについても，89%の生徒がわかりやすいと回答した。以上の項目において，実験器具は使いにくい，実験結果がわかりにくいと回答した生徒は見られなかった。マイクロスケール化した実験装置は従来の実験装置に比べ小型であることから，操作の煩雑さが指摘されることも予想したが，マイクロスケール実験に慣れていない生徒にとっても使いやすいものであることがわかった。また，小さな実験装置でも実験結果がわかりやすく，実験中の観察にも支障はなかった。授業後は，「一人一人が丁寧にできるからよいと思う」(3 年生)，「片付けやすい，少人数で実験ができ楽しかった」（3 年生)，「たくさんの人数ですると見ているだけの人ができるが 2 人一組だと集中できるし，この実験内容も非常に面白かったし興味を持てた」(2 年生）という感想があげられた。

マイクロスケール実験を用いると実験グループの人数を少なくすることができ，生徒の授業への参加意識を高めることにより，積極的な取り組みが期待できる。また，マイクロスケール実験は，単にグリーンケミストリーの観点からだけではなく，生徒実験の本来の目標を達成するという観点からもたいへん有用であると言える。尚，これら授業実践の詳細は別途報告の予定である。

Ⅲ．まとめ

実験結果，授業実践を通して，マイクロスケール化した水の電気分解装置により気体発生量の比として水素:酸素 2：1 を捉える定量的実験が可能であること，また，教材実験として実用性のあることがわかった。

文献

Anastas, P.T. and Warner, J.C.（渡辺正・北島昌夫訳）1999. 科学技術戦略推進機構訳編. グリーンケミストリー. 124pp. 日本化学会.

荻野和子　1998. 化学と教育. **46**：516-517.

荻野和子・東海林恵子　1998. 化学と教育，**46**：742-743.

荻野和子（編）2003. マイクロスケール化学実験. p.45. 日本化学会.

柿原聖治　1997. 化学と教育. **45**：160-163.

周寧懐　2000. Microscale Inorganic Chemistry. Science Press Beijin.

坂東舞・川本公二・土田弘幸・芝原寛泰　2005. 日本理科教育学会全国大会発表論文. p.287.

（参照）

Schwalz, P.　2005. http://www.micrecol.de/zhouninghuairev.html