

簡易型電気分解装置の製作と水素の燃焼実験の教材化

肆矢 浩一
Koichi YOTSUYA

1. はじめに

酸化還元の単元では、電気分解の実験が定番となっている。電気分解をスモールスケールで行うと、1つの電解液について5～10分間で終了させることができる。1時間の実験授業において電解液を3～4種類使うことも可能である。また、捕集した水素を点火して燃焼させる実験を簡単に行うことができる。

本稿では、簡易型電気分解装置の製作と、この装置を使った水素の燃焼実験を紹介する。さらに、手回し発電機で電気分解を行うことによりエネルギー変換を体験させること、水素の燃焼実験を通して将来のエネルギー源として期待される水素に興味を持たせることを目的とした。

スモールスケールの化学実験として、電気分解と水素の燃焼反応の実験は過去にいくつかの報告がある。^{1) 2)} これらの報告では生徒が電気分解の様子や燃焼反応を観察するとき、スモールスケールのため仕方がないが、必ずしも見やすいものになっていないと思われた。また、生徒が水素と酸素の混合気体をマッチで点火するとき、点火に神経を使い燃焼反応をしっかりと見る余裕がないようである。そこで、反応容器を見やすいように固定し、観察しやすい形とした。また、生徒が点火を余裕もってできるようにするため、圧電素子を使った発火器を採用した。このことにより、気体の水素と酸素から液体の水が生じるときの体積変化をしっかりと確認させることができた。

電解液はおもに硫酸ナトリウム水溶液を用いたが、ヨウ化カリウム水溶液を用いることで、水素だけを捕集することができる。水素だけでは燃焼が起こらないことを、この装置で確認させることができた。

最後に、水素の燃焼は点火する方法だけでなく、白金触媒を使っても可能であることをこの実験装置を通して試みた。

2. 簡易電気分解装置の製作

電気分解装置はポリエチレン製のディスポピペットを利用し、その中に電解液を入れる形とした。さらに2 cmのステンレス線をディスポピペットの下部に差し込むことで電極とした。装

置はアクリルボックス上の中央にディスプレイピペットを差し込み、さらに両端にマジックテープをはり、電極を固定した。そうすることにより電気分解をより観察しやすいものとした。

【準備するもの】

ディスプレイピペット（アズワン社製、5 mLのポリエチレン製）、スチロール製ボックス（92mm×53mm×96mm、箱型）、マジックテープ、スチロール容器（20 mL）、電極（ステンレス線、直径0.9mm×長さ2 cm、2本）、電池（9 V）、みのむしクリップリード線（2本）、圧電素子発火器

【製作手順】

- ① スチロール製ボックスの中央部にピペットを差し込むため、ハンダごてを使って直径4 mmの穴をあける。
- ② ボックス上の両側に、リード線を固定するためのマジックテープをはる。
- ③ ピペットの下部にステンレス線2本を刺し、電極とする。このとき、ステンレス線を刺したことによる液漏れはない。なお、2本のステンレス線の間隔は、5 mm以内になるように調整する。
- ④ ③のピペットをボックスの穴に差し込み、電極にリード線を接続する。
- ⑤ 電気分解中に発生する気体によって電解液が押し出されるので、ピペットの下に空のスチロール容器を置く。



写真1 スチロール製ボックス・マジックテープ・ディスプレイピペット

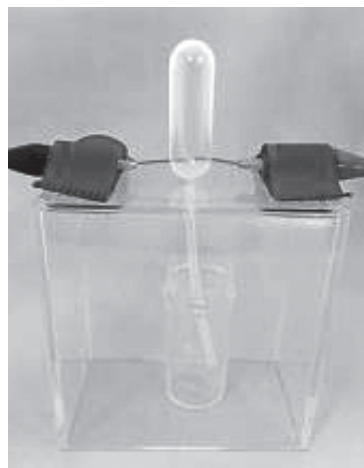


写真2 簡易型電気分解装置

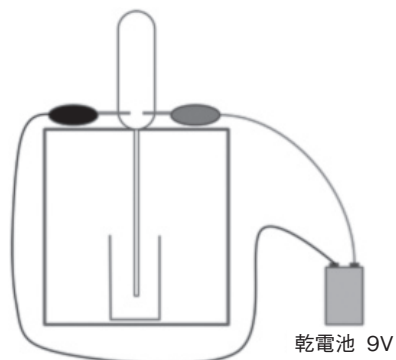


図1 簡易型電気分解装置

3. 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解

電解液として0.1mol/L硫酸ナトリウム水溶液を用いる。硫酸ナトリウム水溶液は中性で安全な水溶液である。なお、食塩水を用いた場合は、塩素の発生に注意する。9Vの乾電池を使用すると、約5分間で水素と酸素の混合気体5mLを捕集することができる。小学生などが参加する公開実験では、身近な物質を使った方が安心感を与えることになり、その配慮も必要と考えた。このときは身近な物質としてミョウバンを使用した。電解液は、水100mLにミョウバン1gを溶かした上澄み液を用いた。

【操作】

- ① ステンレス線を刺したディスポピペットに0.1mol/L硫酸ナトリウム水溶液を入れる。
- ② 9Vの乾電池に接続し、約5分間電気分解を行う。このとき、手回し発電機を使っても電気分解が起こることを確認する。手回し発電機だけで行うと、電気分解には約20分かかる。

【結果】

ステンレス電極を用いたとき、陽極および陰極で起こる変化を次式に示す。



陽極ではステンレス電極が陽極酸化され、電極表面に酸化物などが生成する。また、ステンレスに含まれる鉄が溶解し、電解液がしだいに褐色に変化していく。この電気分解で捕集した水素と酸素の体積比は、2：1にならないと考えられる。

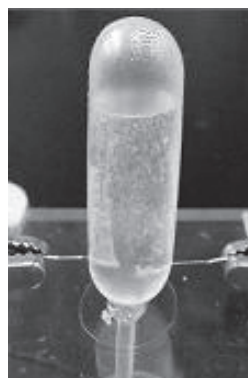


写真3 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解

4. 圧電素子による水素の燃焼実験

水素を燃焼させるには、通常マッチを用いるが、安全面を考えると圧電素子による点火が望ましい。しかし、電気分解に数回同じステンレス電極を使うと、陽極自体が酸化し、圧電素子による放電が起きなくなる。また、ディスポピペット内の電極が電解液に浸っていると、放電が起きない。そのため、ディスポピペットを手でつまみピペット内の電解液を、外に出すことが必要となる。このとき少量の空気が混入する。空気を入れないようにするためには、図2のように電気分解用と放電用の電極をあらかじめディスポピペット

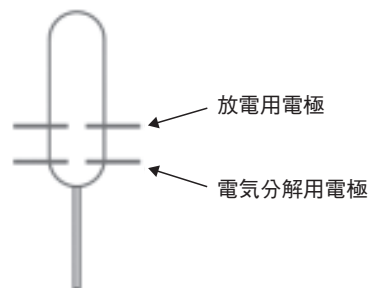


図2 電気分解用電極と放電用電極

に刺しておくといよい。なお、圧電素子発火器（写真4）の代わりに、市販されている圧電素子入りのライターも使用することができる。

【操作】

- ① 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解により、ピペット内に水素と酸素の混合気体を準備する。
- ② ステンレス電極が電解液に浸らないように、ピペット内の電解液をゆっくり外に押し出す。
- ③ ピペットに刺したステンレス電極に、圧電素子発火器を接続する。
- ④ ピペットの下に、水の入ったスチロール容器を置く
- ⑤ 圧電素子の放電により混合気体を燃焼させる。このとき、燃焼反応によって起こる体積変化を観察する。

【発光現象と爆発音】

点火すると写真5のような発光が起こるが、爆発音は比較的小さい。反応容器が密閉されていること、陽極であるステンレス電極が溶解し水素と酸素の体積比が2：1になっていないことが原因であると考えられる。ただし、②の操作でディスポピペット内に空気が入り、水素と酸素の混合比が2：1なった場合、激しい爆発となる。時にはディスポピペットが破れることもある。しかし、この実験はスケールが小さいこと、素材がガラスではなくポリエチレンの容器を使用しているので安全である。

【混合気体が燃焼したときの体積変化】

燃焼が起こると水素と酸素が液体の水になるので体積変化が劇的に起こる。図3のようにディスポピペットを水に浸すと、爆発した直後水を吸い上げることが確認できる。写真6に示した通り、水を吸い上げる瞬間、ディスポピペットが収縮するので、その変化を興味深く観察できるのがこの装置の大きな特徴といえる。



写真4 圧電素子発火器

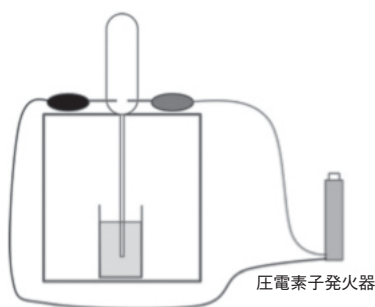


図3 水素の燃焼装置



写真5 水素の燃焼時の発光（暗所）



写真6 ディスポピペットの収縮

5. ヨウ化カリウム水溶液の電気分解

ヨウ化カリウム水溶液の電気分解について、陽極と陰極での変化をみる。また、捕集した気体について燃焼反応を試みる。

【操作】

- ① 図2に示すように、ピペットに電気分解用と放電用の電極をそれぞれ用意する。
- ② 1.0 mol/Lヨウ化カリウム水溶液を3V（1.5V乾電池直列2本）で電気分解し、5 mLの気体を捕集する。このとき、電解時間は約30分間になる。なお、9Vの場合、陽極から酸素も発生するので、ここでは3Vで電気分解を行う。
- ③ スチロール容器にたまった液に、デンプン水溶液を数滴加えヨウ素の析出を確認する。
- ④ 放電用の電極に圧電素子発火器を接続し、爆発が起こるかどうかを確認する。
- ⑤ ピペットをつぶし空気を入れる。再度、爆発が起こるかどうかを確認する。

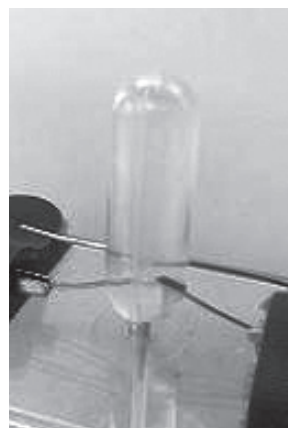


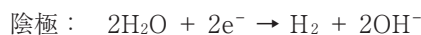
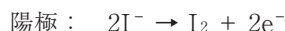
写真7 ヨウ化カリウム水溶液の電気分解



写真8 スポイト内に空気を注入

【結果】

陽極および陰極でおこる変化を次式に表す。



この電気分解で発生する気体は、陰極の水素だけである。また、陽極では、無色のヨウ化物イオンが電子を奪われてヨウ素が析出する。析出したヨウ素は褐色であり、またヨウ素は水より重いので下に沈んでいく。電解液にデンプン水溶液を数滴加えると、赤紫色に呈色する。

【水素の燃焼反応】

ヨウ化カリウム水溶液を3Vで電気分解したとき、気体の発生は陰極からの水素のみになる。捕集した気体に対して圧電素子による放電を行ってみたとき、爆発は見られなかった。さらに、ディスプレイピペットに空気を入れ、放電を行うと、爆発が起こることが確認できた。したがって、ヨウ化カリウム水溶液で集めた気体は水素だけであることが分かる。

この実験により、水素だけでは、放電を行っても燃焼反応が起こらないこと。つまり、水素

は可燃性気体であり、空気中には助燃性気体が含まれていることが確認できたことになる。

6. 白金線または白金黒による水素の燃焼実験³⁾

水素と酸素を満したディスポピペットに、赤熱した白金線または白金黒を差し込んだときの変化を見る。

【操作】

〈白金線の場合〉

- ① ガスバーナーで白金線を赤熱する。
- ② 水素と酸素を満したディスポピペットにすばやく赤熱した白金線を差し込む。

〈白金黒の場合〉

- ① 針金の先にテープのりを付け、そこに白金黒を少量付着させる。
- ② 水素と酸素を満したピペットを用意する。このとき、ピペット内の電解液はすべて外に出し、ピペットに付いた細い管を切り落とす。
- ③ ディスポピペットの下から白金黒を付けた針金を差し込む。

【結果】

ピペットはポリエチレン製であるため、赤熱した白金線に簡単に融ける。白金線は混合気体に接触したとき、写真11にあるように一瞬赤くなり、水素の燃焼を確認することができた。場合によっては、爆発が起こる。なお、赤熱したステンレス線、銅線では水素の燃焼は起こらなかった。よって、この反応は白金の触媒としての働きによって起こったことがわかる。

白金黒をピペット内に差し込んだとき、写真15のように一瞬火花が飛ぶ現象がみられた。場合によっては、白金黒が赤く変化することや、爆発することもあった。また、水素の燃焼による発熱で、針金が高温になりピペットを融かすこともみられた。

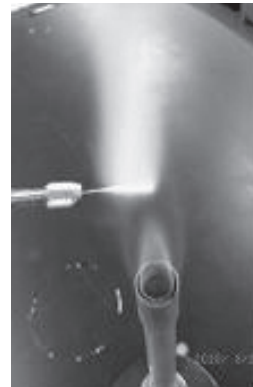


写真9 ガスバーナーで白金線を加熱

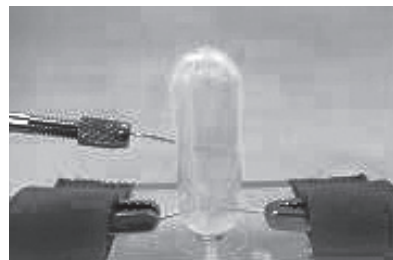


写真10 赤熱した白金線をスポイトに差し込んだ様子



写真11 白金線による水素の燃焼(暗所)

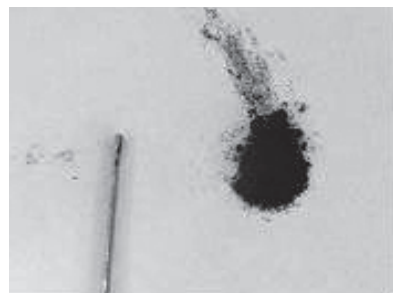


写真12 針金と白金黒



写真13 ディスポピペットに白金黒を挿入

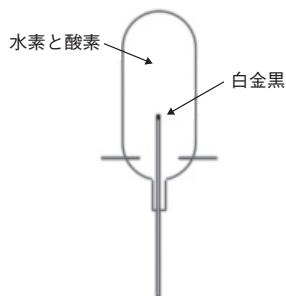


図4 ディスポピペットに白金黒を挿入



写真14 白金黒による水素の燃焼

7. 歴史的背景^{4) 5)}

電池は、イタリアの物理学者アレッサンドロ・ボルタ（1745～1827）によって発明された。ボルタは、イギリス王立協会の会員であったため、電池の発明はすぐにイギリスの化学会に伝わった。このことにより、イギリスにおいて電気化学を中心とした化学が発展する結果となった。ファラデーの師であるデービー（1778～1829）も大きな影響を受けた一人であった。デービーは電池を使って水の電気分解やアルカリ金属の発見を行った。

また、固体表面に化学反応を促進する機能があることを認識した初めての化学者はデービーと考えられている。電気分解において白金が極めて良い電極になることが、白金の触媒作用の発見にもつながったものと思われる。1817年にデービーは、水の電気分解で得られた水素と酸素の混合気体はそのままでは何の変化も起こらないが、白金が少量存在すると反応し水に変化することを発見した。さらに、一酸化炭素や炭化水素、アルコールなどが白金の存在により容易に反応するようになることも発見している。

ファラデー（1791～1867）は1832～33年にかけて、種々の電源を使って電気分解の研究を行った。そして、化学Iの教科書にもある「電気分解される物質の量は通過する電気量に比例する」という電気分解の法則を明らかにした。この功績により、ファラデーの名前が付けられている「ファラデー定数」がある。また、1834年の報告の中で彼が定義した用語が今日でも使われている。「電気分解」、「電解質」、「電極」、「陽極」、「陰極」、「イオン」などである。

この実験は、1800年代にデーヴィーやファラデーが行った実験を再現することにより、化学の歴史に興味を持たせることも目的とした。

8. 実践事例

理科総合Aの授業と化学部の活動において、実践したことについて報告する。

・ディスポピペット内の水素と酸素の混合気体が点火により爆発した際、どうしてディスポピペットに水が入り込んできたのかを考えさせることができた。生徒にとっては、爆発は体積

が膨張するというイメージがあったためか、水がディスプレイペット内に入ることが疑問に思えたようである。この実験を通して、気体が液体に変化するときに起こる体積変化を考えさせる実験となっている。

- ・手回し発電機による電気分解を体験させることから、力学的エネルギーを電気エネルギーに変換できることを実感させることができた。
- ・電気分解と白金の触媒作用に関して、デービーとファラデーが大きな貢献をしたことを説明した。実験を通して、化学の歴史に関心を持たせることができたと思われる。
- ・マッチの火または圧電素子の放電だけでなく、白金を用いて水素と酸素の混合気体を燃焼させることができることに大きな関心を持たせることができた。とくに、白金黒が常温で水素を燃焼させることには、化学への興味を持たせるきっかけになったと思われる。
- ・水素の爆発で大きな音がするが、生徒にとって発光があったことに驚きがあった。燃焼反応で放出されるエネルギーが熱、音だけでなく、光として放出されたことに関心をもった生徒が多かった。この実験を通して、化学変化とエネルギー変化は伴って起こることを実感させることができた。
- ・水の電気分解と水素の燃焼反応を通して、水素が将来のエネルギー源となることを考えてもらう良いきっかけになったと思われる。

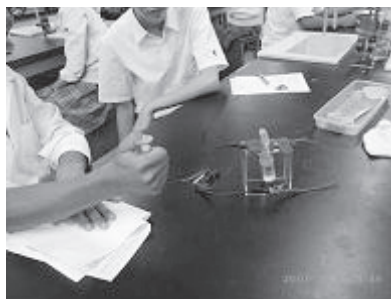


写真15 理科総合Aでの実験授業

9. おわりに

平成22年7月30日～8月2日（3日間）に科学技術館（東京北の丸公園内）で行われた「青少年の科学の祭典（全国大会）」において、水の電気分解と水素の燃焼実験を行った。⁶⁾ 化学部の生徒が中心となり、小学生から一般の来場者に対して、実験の原理ならびに方法を説明し、さらに実験指導を行った。教員は化学部の生徒が質問に答えられない場面で対応することとした。



写真16 青少年のための科学の祭典

簡易型電気分解装置は日本基礎化学教育学会で紹介され、本稿ではこれをさらに検討を加えたことによるものである。これらの実験をまとめるにあたり貴重な意見を出していただいた日本基礎化学教育学会の先生方に感謝いたします。また、青少年の科学の祭典などいろいろな面でサポートして下さった実験助手の平田久仁子さんに感謝を申し上げたい。

なお、この論文は、東レ科学振興会主催の平成23年度理科教育賞を受賞した。

参考文献

- 1) 宮本一弘：「家庭でトライ 身近なものを使った水の電気分解」, Newsletter Vol.1 (2006)
- 2) 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, 82 (2007)
- 3) 横田淳一：触媒作用を実感できる白金の実験開発とその授業展開, 平成15年度東レ理科教育賞受賞作品集 (2003)
- 4) 田中慶一, 田丸謙二：「触媒の科学」産業図書 (1988)
- 5) 岡崎達也：「近代化学技術史ノート」化学同人 (1990)
- 6) 肆矢浩一：「水の電気分解と水素の燃焼を体験してみよう!」, 青少年の科学の祭典2010全国大会実験解説集 (2010)

