

スモールスケールによる電気分解と水素の燃焼実験

國学院高等学校 肆矢 浩一

1. はじめに

スモールスケールで化学実験を行うことにより、使用する薬品を少量にできること、廃液が少量で済むこと、実験時間も短縮できることなど多くの利点が挙げられる。本稿では電気分解をスモールスケールで行う簡易型電気分解装置を紹介するとともに、水素の燃焼実験についてもいくつかの事例を紹介したい。

2. 簡易型電気分解装置の製作

反応容器として、ポリエチレン製のものが考えられ、醤油さしなどの身近な容器を使うことが可能である。この実験では、医療用の使い捨てピペットであるディスプレイピペットを用いた。電極はステンレス線が最も適していると思われる。シャープペンシルの芯(0.9mm)も使うことができるが、折れやすく電圧によっては炭素の溶出が見られるため、この実験では採用しなかった。また、スモールスケールのため観察しにくいこともあり、ディスプレイピペットをボックス上に固定する形とした。

(1) 準備するもの

ディスプレイピペット(アズワン社製、5mLのポリエチレン製、以下ピペットと称する)、スチロール製ボックス(92mm×53mm×96mm、箱型)、スチロール容器(20mL)、マジックテープ、電極(ステンレス線、直径0.9mm×長さ2cm、2本)、電池(9V)、のみしくリップリード線(2本)

(2) 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4mm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、ピペット内のステンレス線の間隔は、5mm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。

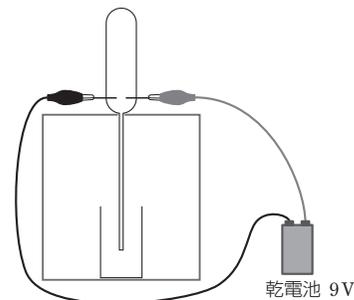


図1 簡易型電気分解装置

3. 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解

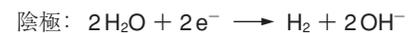
塩化ナトリウム、硫酸銅(Ⅱ)、ヨウ化カリウムなどの水溶液について電気分解を行った。ここでは、硫酸ナトリウム水溶液の電気分解について説明する。

(1) 操作

- ① 2本のステンレス線を刺したピペットに、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、5mLの気体が集まる。また、手回し発電機を使った場合には、電解時間に約20分間かかる。

(2) 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、電極表面が変化する。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の比は、2:1にならないと考えられる。



図2 硫酸ナトリウム水溶液の電気分解



図4 シャボン玉をつくる

4. マッチまたはチャッカマンを使った水素の燃焼反応

(1) 直接点火する方法¹⁾

マッチまたはチャッカマンで直接火をつける方法が、一番簡単にできる水素の燃焼実験である。生徒が行うときには、注意して点火するように十分に指導したい。点火すると一瞬のうちに反応し、爆発音と発光が見られる。

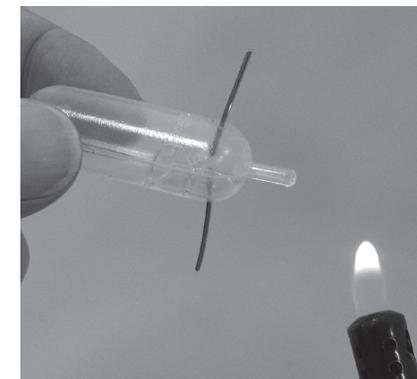


図3 直接点火による水素の燃焼

(2) シャボン玉に点火する方法²⁾

水素と酸素が入ったピペットの先を、せっけん液の中に浸す。ピペットを手でつまみ水素と酸素の混合気体を押し出すと、直径5mm程度の小さなシャボン玉が液面に多数できる。これにチャッカマンを使って点火すると、水素が爆発する。この方法は、生徒が興味深くできる実験である。

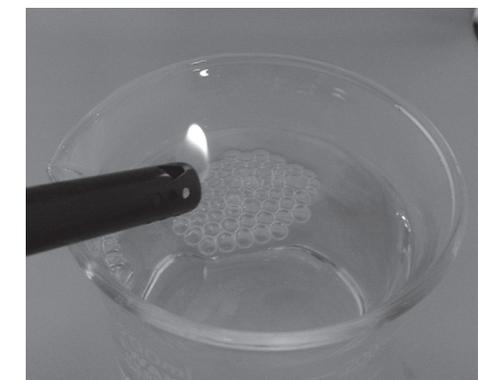


図5 シャボン玉の燃焼

5. 圧電素子を使った水素の燃焼反応

マッチの代わりに、圧電素子による点火を試みた。圧電素子を使うことにより、点火を安全に行うことができ、しかも燃焼反応をじっくり観察することができる。さらに、水素と酸素から水に変化するときの劇的な体積変化を観察することも可能となる。

(1) 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。ここで、市販の圧電素子発火器の代わりに、チャッカマンを使って放電させることもできる。

- 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。

(2) 圧電素子発火器を使うときの注意点

ピペットに刺したステンレス線が電解液に浸っていると、放電が起きない。そのため、ピペットを手でつまみ、ピペット内の電解液を外に出す必要がある。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、電気分解用と放電用の電極をあらかじめピペットに刺しておくといよい。

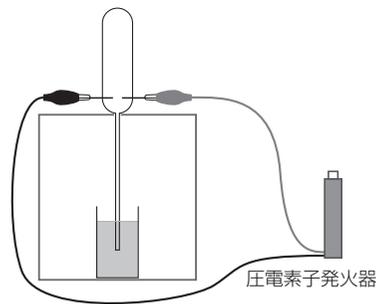


図6 圧電素子による水素の燃焼

(3) 結果

点火するとナトリウムの黄色の発光が起こるが、爆発音は比較的小さい。反応容器が密閉されていること、水素と酸素の体積の比が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の操作によりピペット内に空気が入り、水素と酸素の体積の比がほぼ2:1になったとき、激しい爆発となる。時には爆発によりピペットが破れることもある。しかし、この実験は反応容器が小さいことと、素材がポリエチレン製であるため安全である。

水素と酸素が燃焼して水になったとき、体積変化が劇的に起こる。図6のようにピペットの先を水に浸すと、爆発直後水を吸い上げる。図7に示した通り、水を吸い上げる瞬間、ピペットが収縮することがわかる。



図7 ピペットの収縮

6. 白金触媒を使った水素の燃焼反応³⁾

点火以外の水素の燃焼方法として触媒を使うことが考えられる。この実験では炎色反応で使用する白金線を用いた。また、入手が困難であるが、白金黒を使った実験も紹介したい。

(1) 操作

A. 白金線の場合

- ① ガスバーナーで白金線を加熱し、赤熱させる。
- ② 水素と酸素を満たしたピペットに、すばやく赤熱した白金線を差し込む。

B. 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 水素と酸素を満た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 ピペットにある小さい穴から白金黒を付けた針金を差し込む。

(2) 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、図8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のはたら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、図9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。

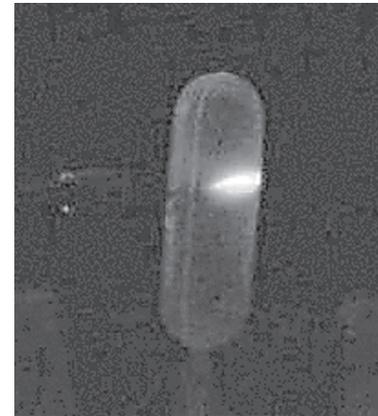


図8 白金線による水素の燃焼

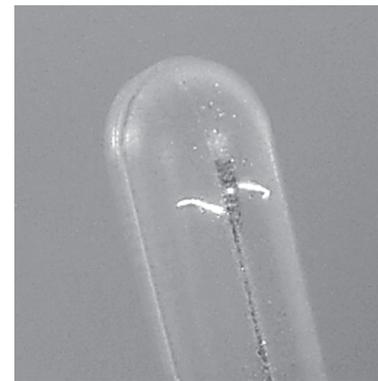


図9 白金黒による水素の燃焼

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「電気分解」、「電解質」、「電極」、「陽極」、「陰極」、「イオン」などの用語は今日でも使われている。

以上の内容で、1800年代にデービーやファラデーが行ったことを説明し、その上で電気分解や水素の燃焼実験を実施した。

8. おわりに

水素はクリーンなエネルギーとして注目されている。また、水素を使った燃料電池自動車のために、全国の十数か所に水素ステーションが設けられ、現在実証試験が行われている。その反面、福島第一原発での水素爆発に水素の脅威が語られている現実もある。本稿では、電気分解で水素をつくり、その水素を燃焼させる実験を紹介した。これらの実験を化学に興味を持たせる教材として役立てていただければ幸いである。

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:「簡易型電解装置の製作と水素の燃焼実験の教材化」平成22年度東レ理科教育賞受賞作品集(2010)