

燃料電池の製作

－亜鉛と塩酸で模型自動車を走らせる－

千葉県立 ○○○○ 高等学校 ○○ ○○（環境化学科）

1 はじめに

日本における電力事情は火力・水力・原子力で賄われてきたが、新エネルギーとして風力発電、太陽光発電等の再生可能エネルギーを利用した発電が注目されている。

しかし、この発電システムのデメリットとして必要な時に必要な電力がすぐに取り出せないという点があげられる。エネルギー源が自然の風や太陽光であるため、「発電することそのものが自然まかせ」である。

これらを効率よく利用するためには発電した電気を蓄電しておくか、他のエネルギーに変換して貯めておくことが考えられる。

燃料電池はエネルギー源が水素なので貯蔵が可能である。また、酸素と反応するとすぐに発電し、電気を取り出せるメリットがある。この利点を活かすには風力発電と太陽光発電をそれぞれ使用できるときに発電させ、その余剰電力で水の電気分解を行い、水素という形でエネルギー源を貯めておき、必要時に燃料電池で発電し電気を取り出す方法が考えられる。

燃料電池は、発電時に二酸化炭素を発生しないというメリットがあり、その時の廃熱を再利用することで利用効率を向上させることもできる。

今回は簡単な燃料電池を製作し、発電の仕組みを理解させるとともに「ものづくり」をとおして、エネルギーに関して科学的理解を深めさせ、興味・関心を高めさせる教材の研究を行うことにした。

2 研究計画

東日本大震災をきっかけに脱原発が叫ばれ、省エネルギー・節電が求められる現在、一般家庭にますます普及が進むであろう燃料電池について、化学反応をとおして発電の仕組みを理解させ、興味・関心を広げ、今後のエネルギーについて理解を深めさせる。

（1）調査

電池はイオンの移動によって起電力を発生させる。イオンを移動させるには電極の間に電解液が必要であり、ここでは電解液の種類と濃度の関係について調査する。

（2）燃料電池の製作

文献を参考にして、プラスチックの容器を用いた簡単な燃料電池を作り、各部の機能を理解させる。

アクリル板等を利用し、小型化して模型自動車に載せられるように改良する。

燃料となる水素を亜鉛と塩酸を反応させることによって発生させ、外部から水素ガスを供給しなくても発電できるようにする。

（3）考察

燃料電池の発電の仕組みを理解させるとともに在校生（1年生）への出前授業等をとおして、ものづくりや省エネルギー、環境問題等について考えさせる。

表 1 研究及び活動計画

実施年月		活動内容	考 察 感想・反省・課題
年度	月		
2 4	4	研究に関する調査	燃料電池をつくってみたい!!
	5	電気分解装置の製作	電気分解装置を作るのが大変。
	6	電解液の蓄電量と起電力の測定	1 種類測定するのに時間がかかる。
	7	電解液の蓄電量と起電力の測定	NaCl や HCl は起電力が高かった。
	9	パラジウム電極の製作	意外と簡単に Pd メッキができた。
	10	市販容器を利用した燃料電池の製作	モータを回すことができた。
	11	アクリル板を加工した燃料電池 (以下、燃料電池と呼ぶ) の設計	CAD を使って大きさを検討した。
	12	燃料電池の設計	アクリル板に穴を開けるのが大変。
	1	燃料電池の製作	ケース外側を薄い板にして軽量化しよう。
	2	燃料電池の製作	燃料電池ができた。
	3	今年度の反省と次年度への準備	もっと電圧を上げたい。
2 5	4	燃料電池の製作	残ったアクリル板で電池はできないか。
	5	燃料電池の小型化	小さい電池でも起電力は変わらない。
	6	燃料電池 2 個の直列・並列	電池を重ねても電圧が上がらない。
	7	セパレーターの導入	電圧が安定しない 完全に分離しよう。
	9	スペーサーの導入	電圧が 1.5V 程度で安定した。
	10	出前授業の準備・出前授業	どの様に説明したらわかりやすいか。
	11	模型自動車に燃料電池を載せる	ゆっくりではあるが模型自動車が動いた。
	12	まとめ	
	1	課題研究発表・考察	

3 燃料電池とは

一般の電池はエネルギー源を内蔵した状態で電気を発生するが、燃料電池は、外部から燃料を供給して発電する装置である。代表的な燃料としては水素が用いられ、(図 1) に示すように水の電気分解とは逆の反応を起こさせることによって電気を発生させることができる。

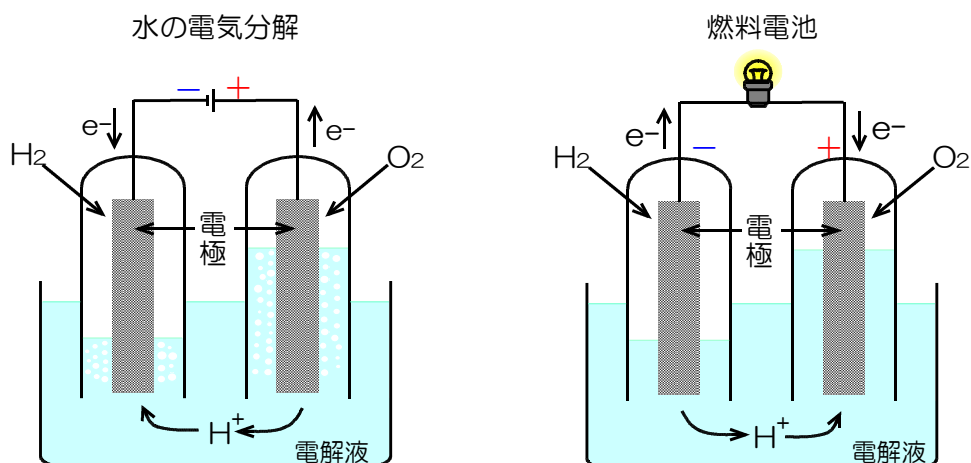
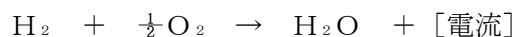


図 1 水の電気分解と燃料電池の原理

水の電気分解では、直流電流を電極に流すと溶液中に水素イオンが流れ、正極に酸素が、負極に水素が発生する。 $\text{H}_2\text{O} + [\text{電流}] \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$

燃料電池は水素と酸素を供給することによって、化学反応を起こして、電気が発生する。



次に燃料電池の仕組みを示す（図2）。

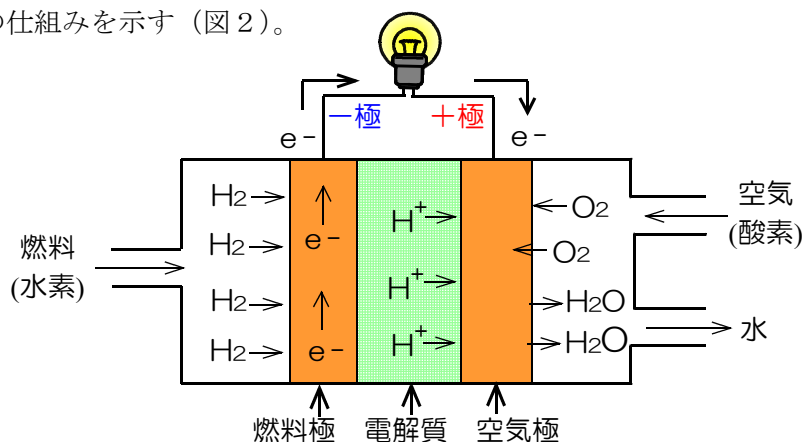


図2 燃料電池の仕組み

燃料極，空気極は，ともにガスをよく通す構造になっている。燃料極には白金の粉末が分散しているので，これが触媒となり，イオン化され，水素イオンH⁺と電子e⁻になる。

電解質はH⁺だけを通す性質があり，e⁻はほとんど通さない。このため，外部回路を通過して空気極に到達するので，電流が流れることになる。

燃料電池は，発電時に水しか生成しないので環境上の問題が少なく，化学エネルギーを直接，電気エネルギーに変換するので発電効率がよい。このような特性から電力需要地点での電源として，病院・ホテル・事務所などに利用されはじめている。また，燃料電池を備えた自動車やバス，家電製品などにも実用化されつつある。

4 研究内容

(1) 電解液の調査

本研究の導入として，効率のよい電解液について調べることにした。

各種電池の電解液には，マンガン電池は塩化亜鉛，アルカリ電池・ニッカド電池・ニッケル水素電池は水酸化カリウム，鉛蓄電池は希硫酸を用いている。そこで，電解液の種類・濃度・電圧との関係について調査することにした。

はじめに，水の電気分解装置を作ることから始めた。

太めの試験管を切断し，ゴム栓に乾電池から取り出した炭素棒と空気抜きガラス管を挿入して簡単な装置を作った。（図3）に電気分解装置の構造を示す。

電解液の起電力を測定するためには分解時間，分解電圧の基準を作る必要があるため，安全で安価である塩化ナトリウム（食塩）を利用することにした。

また，電流容量が低いため，省電力で駆動可能な圧電ブザーと目覚まし時計を使い，ブザーの鳴動時間と時計の動作時間・起電力を測定することにした。

しかし，この電気分解装置では発生した水素ガスを取り込むことができないため，実際には充電する形で測定した。

電気分解の電圧，時間等を変え，基準を分解電圧 3V，分解時間 10 秒とした。測定の様子を（図 4， 5）に示す。

食塩水の濃度を徐々に上げていき，測定値の平均をそれぞれの値とした。

塩化ナトリウム（NaCl）水溶液に関しては濃度の上昇とともにブザー・時計ともに時間が長くなり，飽和状態になるとほぼ一定になる。起電力に関しては濃度に関係なくほぼ一定であった（図 6）。

塩酸（HCl），水酸化ナトリウム（NaOH）水溶液，水酸化カリウム（KOH）水溶液についても同様に測定をした。

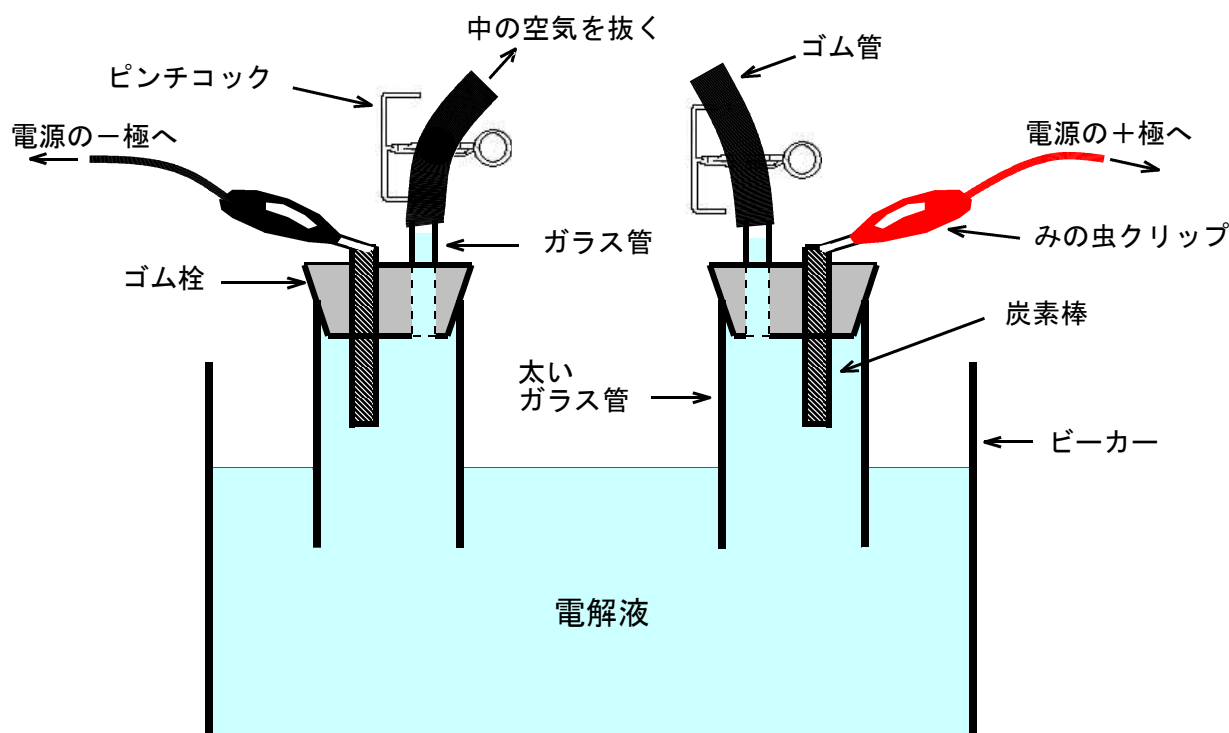


図 3 電気分解装置

それぞれの溶液について，濃度に対するブザー鳴動時間（図 7），時計駆動時間（図 8），起電力（図 9）の変化を比較した。すべての項目で塩化ナトリウム水溶液，塩酸の値が高く，水酸化ナトリウム水溶液，水酸化カリウム水溶液はほぼ同じ値を示した。

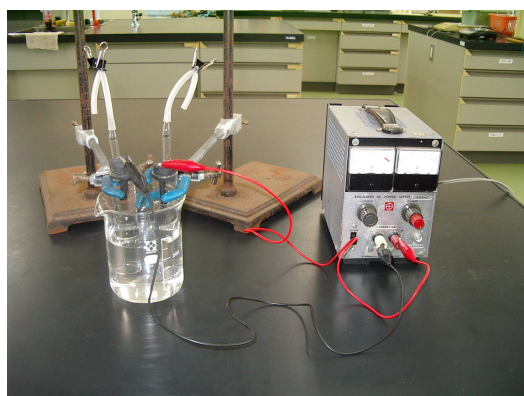


図 4 電源をつなぎ，電気分解中

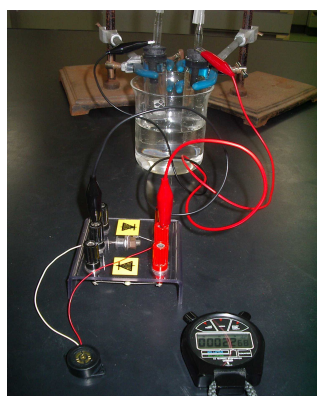
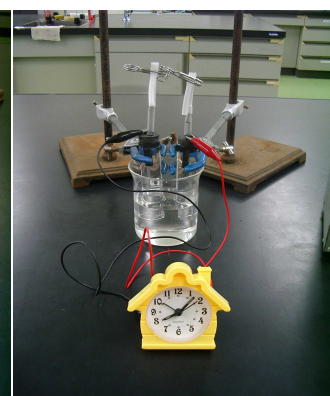


図 5 圧電ブザーの鳴動時間と時計の動作時間の測定



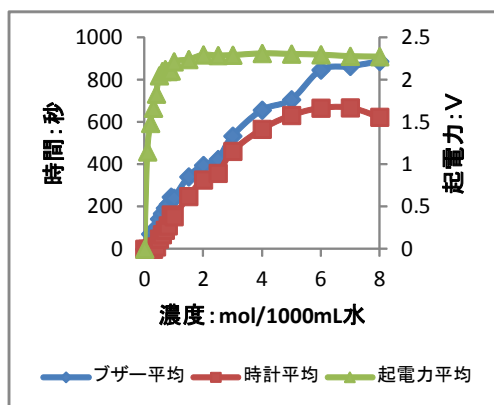


図6 NaCl水溶液の濃度と蓄電量の関係

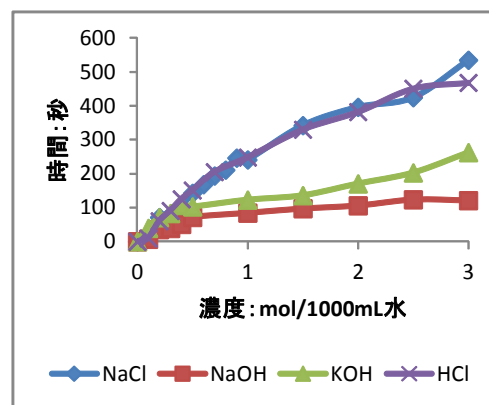


図7 ブザー鳴動時間

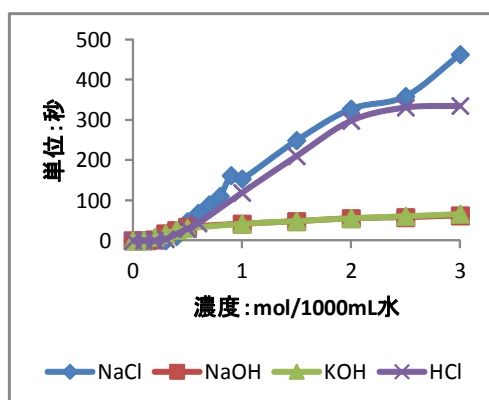


図8 時計駆動時間

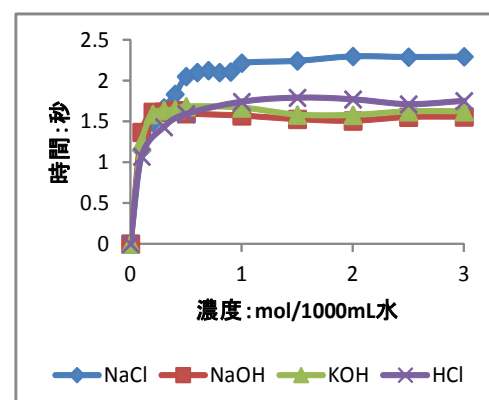


図9 起電力

塩化ナトリウム水溶液を電気分解



塩酸の電気分解



水酸化ナトリウム水溶液の電気分解



水酸化カリウム水溶液の電気分解



上記反応式より陽極に発生する気体が、塩化ナトリウム・塩酸は塩素、水酸化ナトリウム・水酸化カリウムは酸素であることがわかる。塩素と酸素では塩素の方が酸化力（電子を奪う力）が高いためこのような結果になったと考えられる。

(2) プラスチックの容器を使った燃料電池の製作

ア 容器の準備と加工

プラスチックの容器にボール盤で穴を開け、水素供給用のポリ管をはめる (図 10)。

プラスチックの容器のふたの内側を端 1cm くらい残してカッターで切り取り、空気取り入れ口を作る (図 11)。



図10 プラスチックの容器にポリ管をはめる

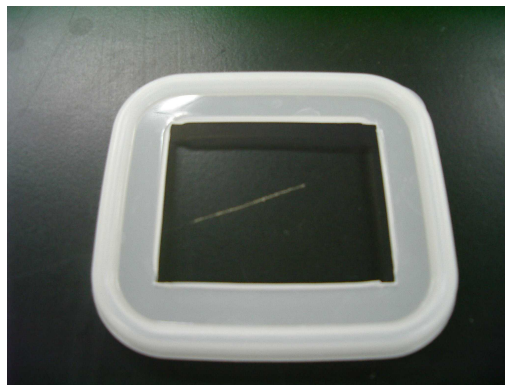


図11 空気取り入れ口の切り取り

イ パラジウムメッキ液の調製

塩化パラジウム 1g を濃塩酸 10mL とともに純水に溶かし 100mL とする。

この溶液をメッキの原液とする。

原液 5mL を純水で薄め、300mL の溶液とし、これをパラジウムメッキ液とする。

ウ ステンレス金網の準備と前処理

200 メッシュのステンレス金網を $14 \times 10\text{cm}$ に切り、1 % のビタミン C を溶かした 4mol/L の塩酸に 15 分間浸し、ステンレスの酸化物被膜を取り除く。

金網をピンセットで取り出し、純水で軽く水洗した後にステンレス金網が広がらないようにするために輪ゴムを巻き、パラジウムメッキ液に浸す。

エ ステンレス金網にパラジウムメッキをする

電源の正極を中央の炭素棒、負極をステンレス金網につなぎ、攪拌子を回転させながら 7V で 3 ~ 4 分間電気分解し、金網にパラジウムをメッキする (図 12)。

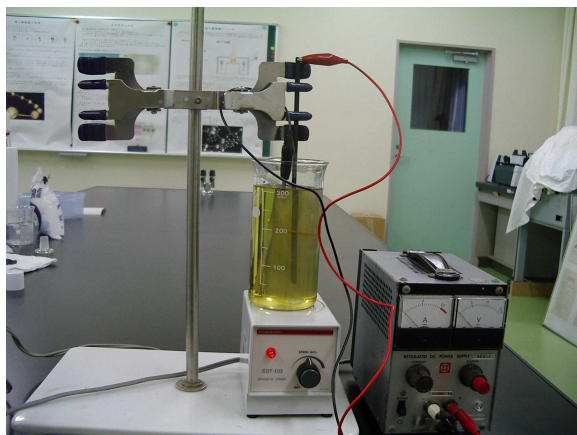


図12 パラジウムメッキ前 (左) とメッキ後 (右) の溶液の色の変化

上図でわかるように溶液が黄色から透明に変化することで、ステンレス金網は銀色から黒色に変化し、ステンレス金網にパラジウムが析出したことが確認できた。(図 12)

下図にパラジウムメッキ装置の構造を示す（図 13）。

さらに、電子顕微鏡でステンレス金網の表面を観察することにより、パラジウムがメッキされたことが確認できた（図 14）。

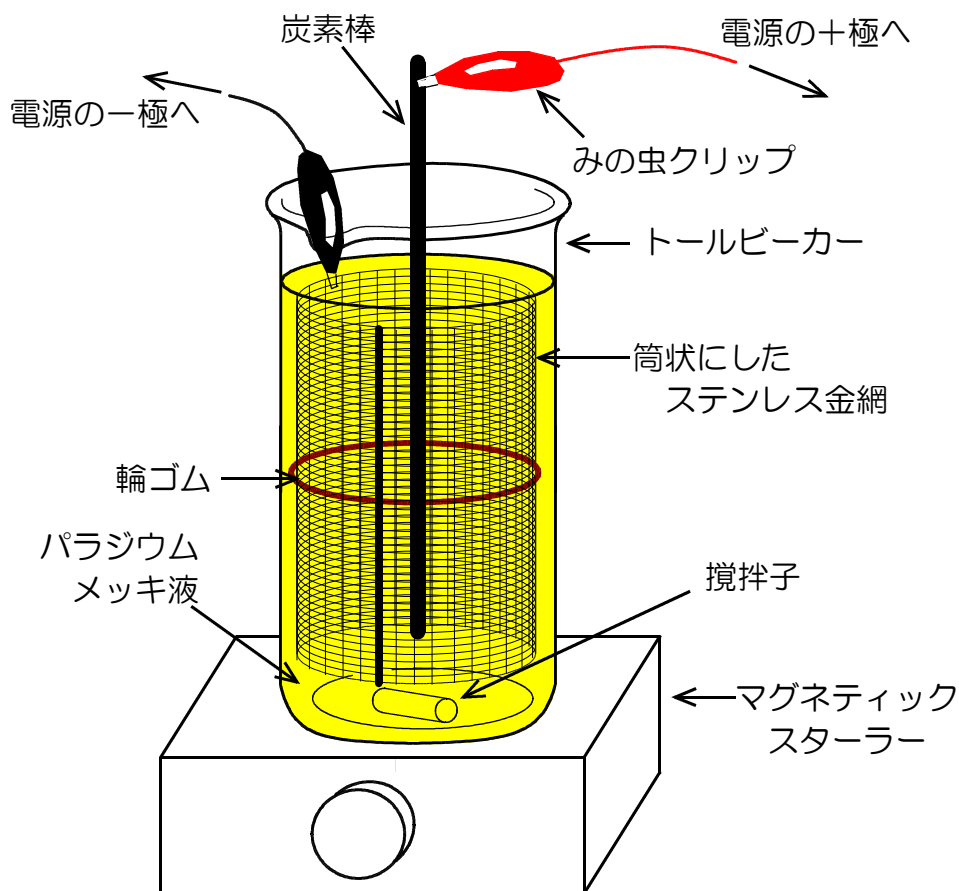


図13 パラジウムメッキ装置

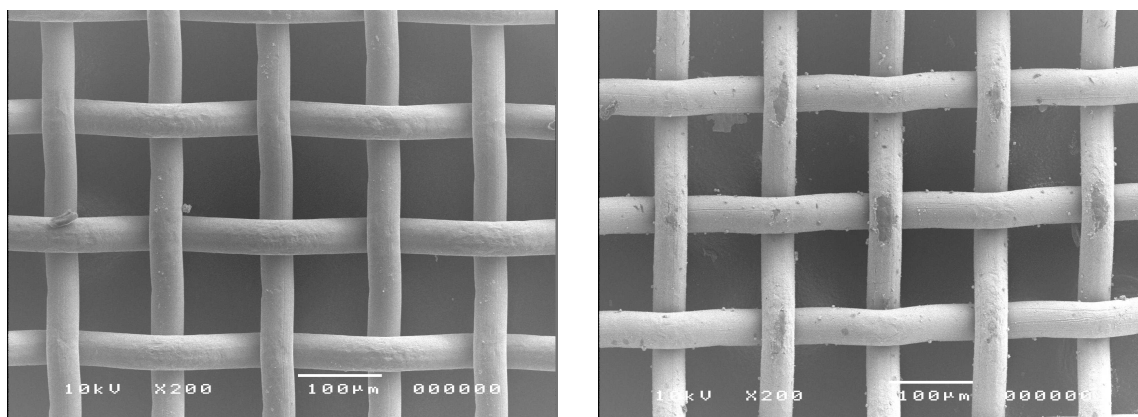


図14 パラジウムメッキ前(左)とメッキ後(右)の電子顕微鏡写真

オ 燃料電池の組み立て

金網を 0.1mol/L の NaOH に浸して酸を中和し、 $6 \times 10\text{cm}$ と $8 \times 10\text{cm}$ に切り分ける。

プラスチックの容器の本体に大きい方の金網、その上に 2 枚重ねたキッチンペーパーを重ねてしっかり押しつける。

フタには小さい方の金網を内側にはめこみ、余った部分は上側へ折り曲げて 2 箇所にはサミで切れ目を入れ、フタを本体にはめこむ（図 15）。



図15 プラスチックの容器に金網・キッチンペーパー・金網をのせ、フタをはめ込む

カ 燃料電池を使ってソーラーモータを回転させる

金網の上から 0.5mol/L の水酸化ナトリウム溶液を注ぎ、電極とソーラーモータを、みの虫クリップで接続する。

水素供給用のポリ管にゴム管を付け、水素を注入後、水素が漏れないようにゴム管をダブルクリップでふさぐ。

水素を注入するとすぐにモータが回転した。

テスターを用いて起電力を測定すると、起電力は 0.75V、電流値は 23mA であった。

キ 塩酸と亜鉛を使って水素を発生させる

水素ポンペを使うと、定期的に水素を供給しなければならない。また、水素を供給する際、ダブルクリップを外すと水素が漏れてしまう。

そこで、本来の目的であった自ら水素を発生させる方式に切り替えることにした。

試験管に亜鉛（粒状）を入れ、駒込ピペットで塩酸を注ぎ、ガラス管付のゴム栓でフタをし、ガラス管を燃料電池の水素供給口に接続するとモータが回転した(図 16)。

この装置によって、亜鉛がなくなるまでゆっくりと水素を供給することが可能になった。

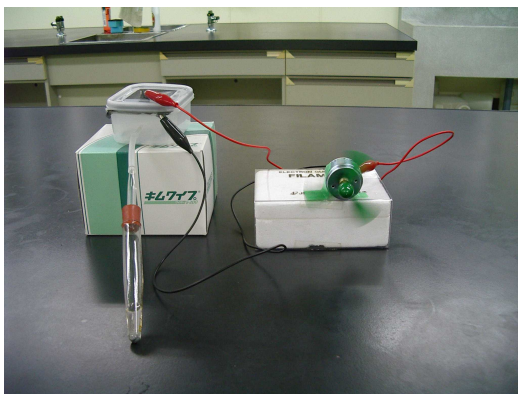


図16 試験管で水素を発生させモータを回転

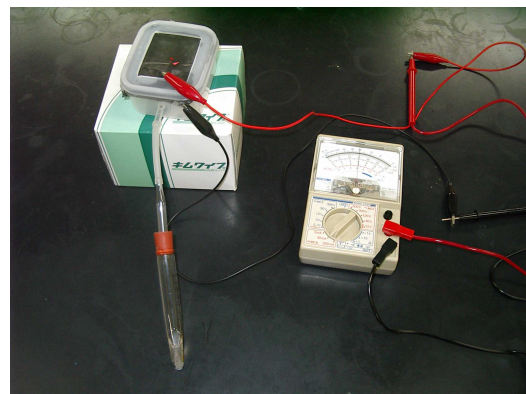


図17 電流値を測定中

ク フタの穴の形を変える。

これまでの燃料電池は、流入する水素ガスの量が多いと電極の中心部分が膨らんで、電極と電解液の間に空間ができてしまい、水素イオンが移動できず起電力が発生しにくくなることがあった(図 18)。

そこで空気取り込み部分であるフタに小さい穴を複数開けることで電極が膨らむことを防ぐようにした(図 19)。

穴の面積が小さくなり、電極と酸素の接触面積が減ることにより起電力の低下が心配されたが、起電力は 0.7V となり大きな変化は見られなかった。



図18 これまでの燃料電池のフタ



図19 改良後のフタ

(3) アクリル板を利用した燃料電池の製作

ア 容器の設計と加工

前作の燃料電池の原理を基にして、CAD ソフトを使用し図面を起こし、アクリル板を使用した小型の燃料電池を作ることにした(図 20, 21)。軽量化のため、空気極側は 0.5mm の塩ビ板にした。



図20 CADを使って設計

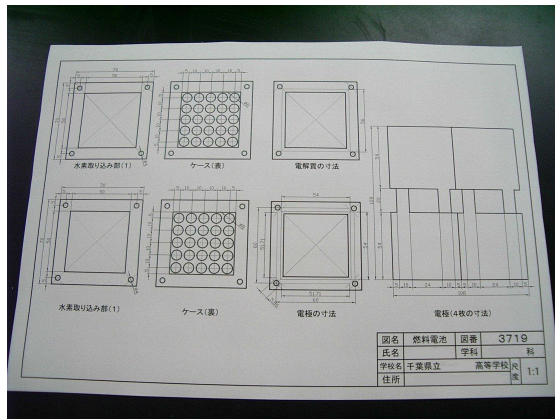


図21 完成した図面



図22 燃料電池の完成

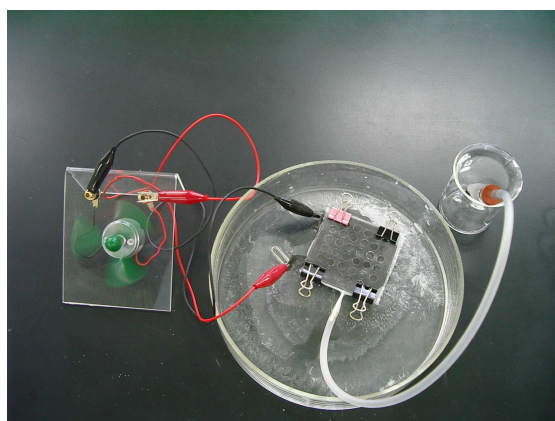


図23 モータは回転した

上図に完成した燃料電池を示す(図 22)。

モータを接続し、水素を発生させるとモータは回転した(図 23)。

この構造でモータを回転させることができたため、アクリル板の中央に水素を送り込み、電極を左右対称に配置することで2枚の燃料電池を作ることになり、直列につなげば起電力も2倍になると考え製作を開始した。構造を(図 24)に示す。

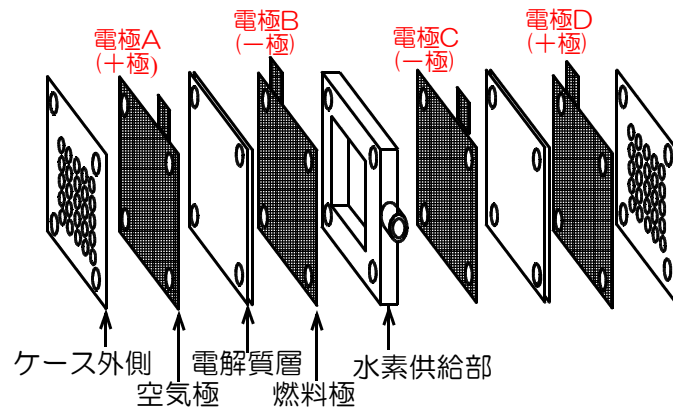


図24 アクリル板を使用した燃料電池の構造

製作した電池の電極 B と D を接続し、電極 A と C の間の電位差を測定した（図 25）。燃料電池を 2 枚、直列に接続した形になるため、電圧が高くなると予想したが、実際測定すると 0.6V 程度で、燃料電池が 1 枚の場合と変わらない値であった。電極の電圧を測定すると下図のように反対側の電極との間で電圧が発生しており、想定していた直列回路になっていなかった（図 26）。これには水素供給部に電解液が溜まりイオンの移動が行われているためだと考え、水素供給部を 2 枚にして、その間にセパレーターの塩ビ板を入れることにした。

セパレーターを入れると電極 A と C の間に 1.4V の起電力を発生させることができた。

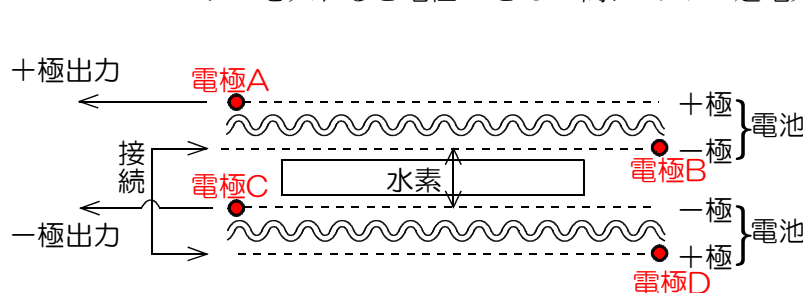


図25 電極の接続

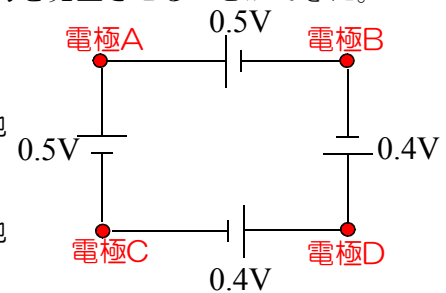


図26 各電極の電圧

イ 燃料電池の小型化

燃料電池を軽量化するため、当初の 10cm 四方の燃料電池を作る際、水素供給部にするためにくり抜いたアルリル板で更に 7cm 四方の燃料電池を作ることにした。1 枚製作し起電力を計測したところ 0.7V の電位差が発生しており、面積を小さくしても起電力が変わらないことがわかり、さらに 5cm 四方で製作した（図 27）。これでも起電力は同様の結果であった。

そこで、5cm 四方の燃料電池を 2 枚製作し直列に接続した。起電力は 1.6V となり、モータの回転速度も速くなった（図 28）。しかし、数秒後に回転速度は下がり、停止してしまった。並列にすると回転速度は下がるが、しばらく回り続けた（図 29）。7cm 四方の燃料電池は 5cm 四方よりも長時間回転させることができた。このことから、電極の面積により電圧はほとんど変化しないが、取り出せる電流の容量が変わることがわかった。

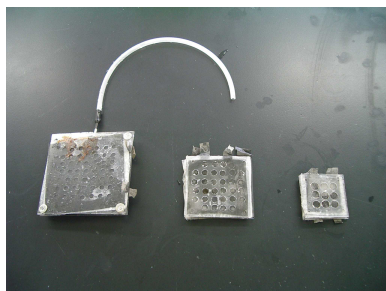


図27 燃料電池の大きさの違い

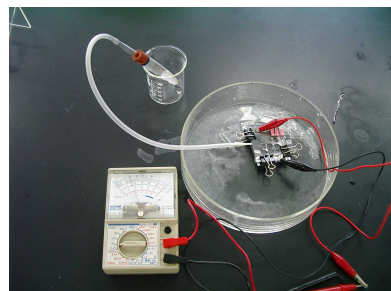


図28 5cmの燃料電池で起電力の測定

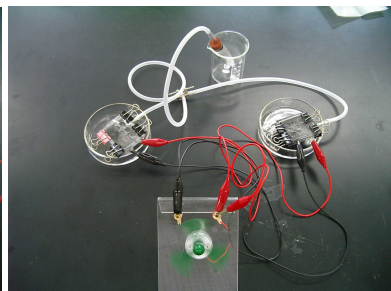


図29 並列でモータを回す

ウ 燃料電池の改良

燃料電池にセパレーターを入れたが、電解液の状態によって電圧が安定しないため、ナットをセパレータの間にに入れて空間を作ることで、2枚の燃料電池とした。

下図に完成した燃料電池を示す（図 30, 31）。

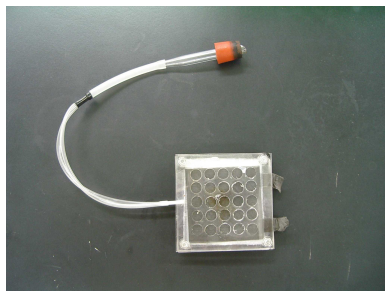


図30 完成した燃料電池



図31 上から見た図 2枚の燃料電池に分離

(4) 模型自動車に燃料電池を載せる

模型自動車を製作し、燃料電池を載せ、走行テストを行った（図 32, 33）。モータは回転するが、車体の重さが負荷となり走らなかった。水素と電極の接触面積を増やすため、電極を2枚重ねるとゆっくりではあるが、車を走らせることができた。



図32 模型自動車の製作

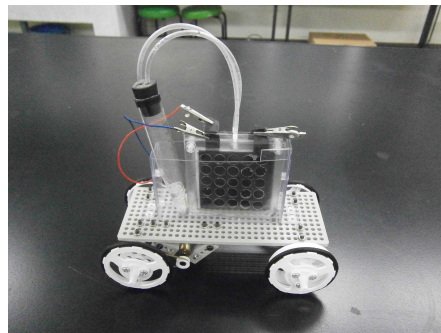


図33 燃料電池を模型自動車に載せた

(5) 1年生への出前授業

環境化学科では課題研究発表会の見学は2年生を対象としている。研究内容を理解し思考力、判断力、表現力を高めるため、1年生にLHRの時間を利用して発表を行った。

ア 発表準備

これまで研究してきたことをまとめ、パワーポイントのスライド構成を検討し、研究過程の写真・文献・インターネット等を利用して発表資料を完成させる。

イ 発表

発表の様子は（図 34, 35）に示す。発表後にはアンケートを配布し、授業の内容について記入させた。

(ア) 授業を実施した生徒（3年生）の感想

「燃料電池は実際に使用できるところまでいければ実用化して使えると思う。」

「もっとエコロジーかつ環境に及ぼす影響の少ない物を実用化していければ、化石燃料など環境に悪影響をもたらす物質の使用量が減り、環境を良くすることができると思う。」

「燃料電池の他に、ソーラーパネルや風力発電などが普及すれば環境にもっと良くなると思う。」



図34 発表の様子



図35 車輪が回転している様子を見せる

(イ) 授業を聞いた生徒（1年生）の主な感想（抜粋）

「化石燃料は環境に悪く、水素で燃料電池ができることがわかりました。」

「これができれば環境がとてよくなると思った。」

「燃料電池が地球環境に良いということがわかり、いつの日かそれが身近な物になると思う。」

「水素で動くなんてとてもクリーンだと思いました。」

ウ 出前授業の考察

教室で水素を吹き込んで模型自動車の車輪が回転すると、クラスのあちこちから「すごい！」などの歓声が上がった。アンケートの結果より、今回の発表で「燃料電池の仕組みがわかった」と答えた生徒が 82 %、「3 年生になったら課題研究で燃料電池をつくってみたい」と答えた生徒が 56 %であった。また、発表者に対しては「相手に理解してもらえそうな話し方」や「パワーポイントをもう少し見やすくした方がよい」などの反省点もあがった。出前授業を行う事により、聞く側の 1 年生も燃料電池のしくみを理解し、興味を持ったようである。また、化石燃料よりもクリーンなエネルギーであり、「今後さらに身近な物になって欲しい」という意見が多く、環境問題やエネルギー教育の一助にもなったと考える。

5 おわりに

本研究では、今後さらに身近なものになると予想される「再生可能エネルギー」について、興味・関心を持たせることができた。この活動をとおして、生徒はさまざまな道具を使い、次第に形ができあがることで、ものづくりの楽しさを実感することができたようである。教科書の上で理論はわかっている、実際に作ったものが動くことで、さらに興味・関心が高まったといえる。今後、製作した燃料電池を授業だけでなく、体験入学や中学生の出前授業など、様々なところで活用し、化学に興味・関心を持たせるとともに生徒の学習に対する意欲・関心が高まる教材作りを実践していきたい。

最後に、本研究に関して千葉県教育庁教育振興部指導課 安田国土指導主事、江口敏彦前指導主事、千葉県立清水高等学校 山崎泰浩先生、千葉県立茂原樟陽高等学校 齊藤郁夫校長、鈴木保一前校長、藤土康雄教頭、佐藤誠司教頭、環境化学科の先生方、並びに本研究に関わった多くの先生方及び生徒諸君に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 高校化学 高効率・簡易燃料電池の開発 千葉県立安房高等学校 野曾原友行
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h18_03.pdf
- [2] 地球環境化学 実教出版