

## 基礎から学ぶ燃料電池

大同メタル工業（株） FCM室 加藤 英二

### 1. はじめに

近年、地球温暖化への対応策として、太陽光、風力等の自然エネルギーと、再生エネルギーとしての水素エネルギーが注目されている。その具体的アイテムの1つが燃料電池である。しかし教育の現場では、太陽光、風力等の自然エネルギーについては、授業で一般的に採用され生徒が体験する機会は充分であると言える。それに対して燃料電池は、「水素と酸素で発電し、排出は水のみで環境に優しい…」と、ごく簡単に説明されている程度である。

将来新エネルギーの柱の1つになると期待さ

れる水素エネルギーを学習する事は教育の現場にとっては極めて重要なことと思われる。

本報告では『基礎から学ぶ燃料電池』と題し、燃料電池の発電心臓部を製作する、「燃料電池組立体験キット」と、水素を自らの力で製造する機能を備えた「水電解燃料電池車E-FCVⅡ」について紹介する。

### 2. 燃料電池組立体験キット

燃料電池を学習する上で最も重要な点はその原理を理解し体験させることである。図1に発電の原理図を示す。

発電メカニズムとしては、まずアノード極で水素が触媒（Pt系）の働きにより水素イオンと電子に分解する。そして固体高分子膜は陽イオン交換膜とも言われ、選択的に陽イオンである水素イオンのみを透過させる機能を持つ。一方電子はアノード極で蓄積されカソード極との間に電位差が生じる。この時に負荷が与えられると電子は外部回路を通り、発電を行う。外部回路を通った電子は、カソード極で触媒（Pt系）により水素イオン、酸素（空気中）と反応して水が生成される。反応全体から見れば水素と酸素が反応し電気を作り、生成物として水ができることになる。この反応のなかで最も重要なパーツがMEA（Membrane Electrode Assemblyの略、日本語では膜・電極接合体の意味）と称され、燃料電池の心臓部である。本キットではその

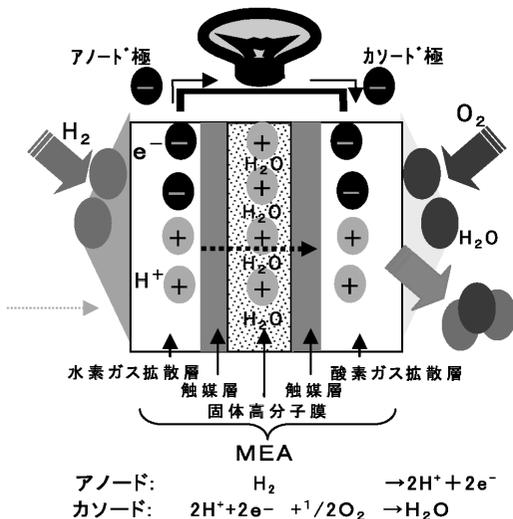


図1 燃料電池の発電の原理



図2 固体高分子膜に触媒コーティング

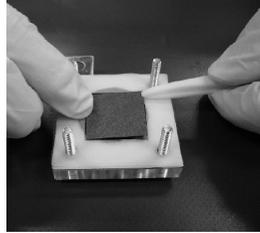


図3 カーボンペーパーセット

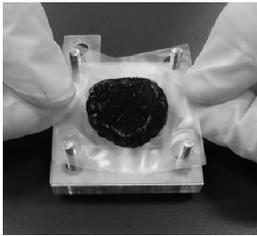


図4 触媒コート固体高分子膜セット



図5 完成品

MEAを自ら制作し、発電を体験することを最大の特徴としている。その工程について説明する。

まず専用の治具を用いて固体高分子膜の中央部両面に触媒（ペースト状）をコーティングする（図2）。MEAの構成パーツである多孔質状のカーボン素材（カーボンペーパー）を前述の触媒コーティングした固体高分子膜の両サイドに配置する（図3, 4）。これがMEAの基本構造となる。さらにその両外側には電気を取り出すプレート、及びガス漏れを防ぐシール材と外郭を構成する筐体を順次組み上げて燃料電池が完成する（図5）。

完成後プロペラやミニカーに接続し、水素を供給すると、プロペラの回転及びミニカーの走行を確認することができる（図6, 7）。又学校等の授業にて複数使用した場合、連結して新し

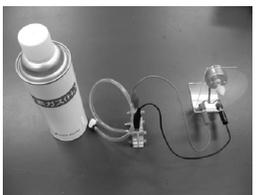


図6 プロペラ回転



図7 ミニカー走行

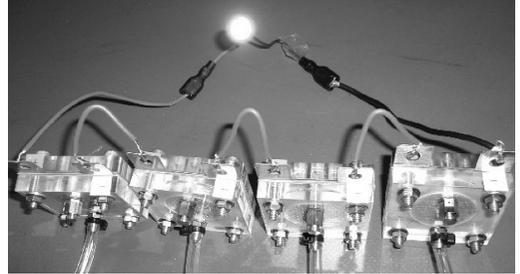


図8 4個直列で青色LED点灯

い負荷物を動作させることが可能となる。例として、4個直列に接続すると、青色LEDを点灯させることができる（図8）。更に増加し、直並列に接続することにより用途が広がると思われる。

また、より上級者向けとして、触媒層を形成する触媒ペーストを、任意に調合できるキットもある（図9, 10）。製造工程、成分比により、発電に対しどのような影響を与えるかを実験・確認する事が可能となる。触媒ペーストの調合時の攪拌方法や、電極への塗布方法等の手順が記載された実験手引書が付属されているので、MEA製造、燃料電池の組立、出力特性へ及ぼす影響を学習することができる。

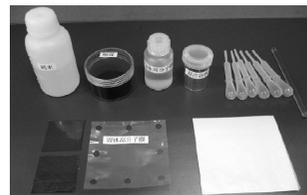


図9 上級者向けキットMEA構成パーツ

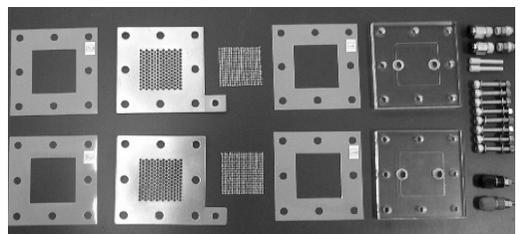


図10 上級者向けキット筐体一式

### 3. 水電解燃料電池車 (E-FCV II)

燃料電池の将来を考える際、その信頼性、コストと共に極めて重要な要素が水素インフラで

ある。石油の場合、採掘、精製、運搬、保管と言うシステム、いわゆる石油インフラが確立されている。一方、水素インフラを考えた場合、水素は自然界には存在しないため、何らかの手段で製造し、運搬、保管することが必要となってくる。車の場合は水素を前もって製造し、使用時に高圧ボンベに供給する方式、いわゆるオフサイトシステムにて対応している。一方、それに対して、オンサイトシステムと言われる燃料電池を水素生成装置と直結し、生成された水素を直ぐ供給するシステムが研究されている。現在、家庭用燃料電池の普及に向けて実証試験が実施されているが、これは天然ガス等を改質して水素を生成し、その水素を直ぐ燃料電池に供給するオンサイトシステムの1例である。

実験・教材用としての燃料電池の場合、水素は高圧ボンベ、スプレーノズル缶、水素吸蔵合金ボンベから供給する場合があります、これはオフサイトシステムに相当する。これに対して水素生成供給機能を備えたオンサイトシステムに相当するものもある。この場合水素を生成する手段は水の電気分解が主流であり、電力源として直流電源、乾電池、ソーラーが使用されている。

当社製品として、上記電力源を採用しているオンサイトシステム製品もあるが、ここでは自らの力で水素を製造する手廻し発電器を電力源とした水の電気分解セルと燃料電池セルを一体化した『水電解燃料電池』を搭載した、水電解燃料電池車（E-FCVⅡ）を紹介する。いつ、どこでも自由に水素を作り出すことができ、適用範囲も広がる教材と言える。水電解燃料電池の



図11 水電解燃料電池の外観

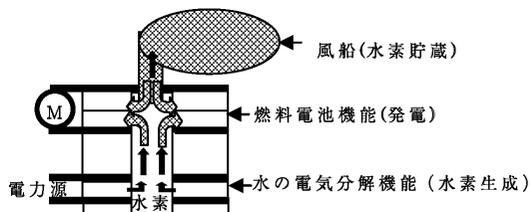


図12 水電解燃料電池構造概略

外観及びその基本構造を図11, 12に示す。

水電解燃料電池の全体の機能について説明する。水電解燃料電池の下部は水の電気分解セル、上部は燃料電池セルとなっている。水の電気分解セル部に水を供給後、手廻し発電器を接続しハンドルを回転させると、供給された水が電気分解し水素と酸素が作られる。一般には、水の電気分解では酸やアルカリを使用するが、本電気分解では固体高分子膜と触媒を採用しているため、水を使用し、安全上も優位と言える。

電気分解によって作られた水素は中央の穴を通して上昇し、水素貯蔵タンクである風船に蓄えられる。同時に発生する酸素は大気中に放出される。その後風船に蓄えられた水素を燃料電池部へ供給し発電する。

水電解燃料電池をミニカーに装着走行させる手順について説明する。完成写真を図13に示す。

### 1) 水の浸漬

使用する水は純水、イオン交換水、精製水（コンタクトレンズ洗浄液でも良い）で、水道水、ミネラルウォーター等のイオンが入っている水は使用できない。専用容器に指示線まで純水を

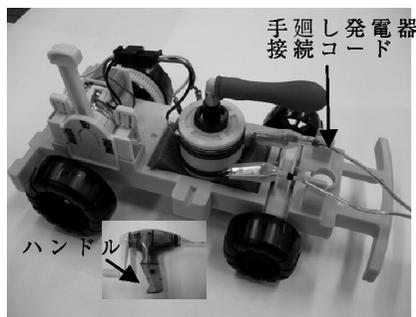


図13 水電解燃料電池車

入れ、水の電気分解部のみを水中に一定時間浸すことによりセル内部に水が保持される。

## 2) 手廻し発電器による水素製造

水電解燃料電池をミニカーに装着し、駆動モーターと燃料電池を接続した後、電気分解セルの端子に手廻し発電器を接続する。手廻し発電器のハンドルを廻すと、水の電気分解部に電気が流れて水が電気分解し、水素が作られ風船に蓄えられ、風船が膨らむ。この場合、手廻し発電器のプラスマイナスを逆に接続すると風船内には酸素が貯蔵されることになり、発電しなくなる。この場合セルにも影響を与えるため、注意が必要である。

## 3) 車走行

風船が膨らんだ後、手廻し発電器をはずし、スイッチを“入”にすると燃料電池とモーターが接続され、風船内の水素で発電し、モーターに供給されて車が走行する。燃料電池は2セル構造となっておりスイッチ切替で2セル、1セル走行が選択できる。2セルは電圧が高く高速で走行できる。走行中、水素が消費され風船が少しずつしぼんでいき、完全にしぼんだ時点で車は停止する。再度手廻し発電器を接続しハンドルを廻すと風船が膨らみ走行可能となる。走行時間は風船が膨らんだ状態で、2セル走行で30秒、1セル走行で60秒程度が目安となる。

E-FCVⅡではエネルギーについての下記の簡単な2つの学習が可能である。

### 1) 手廻し発電器のハンドルを回転させる場合

“力”と水素発生の関係について学習ができる。水に浸漬した直後の場合、水が十分保持されているためハンドルを回転させるための“大きな力”が必要となる。その場合、水素生成率は高く、短い時間(60秒以内)で風船は膨らむ。しかし数回繰り返して使用すると、保持されている水の量が少なくなり、ハンドルが軽く廻るようになり、水素生成率が減少し、風船が膨らむのに時間を要する(数分程度)。更に使用す

ると、保持されている水が殆んどなくなり、ハンドルは“力”を入れなくても容易に廻るようになる。この場合水素は生成されず、風船は膨らまない。その後再度水に浸漬すると、最初にハンドルを廻した際の“力”が必要となり、風船が短時間で膨らむことが確認できる。

この実験からハンドルを回転させる“力”によって発電した電気が水を電気分解し、水素を生成していることが理解でき、水分が多いほど大きな電力源、つまり“力”が必要となり、水素生成率も向上することが体験できる。その他、水を充分保持した状態でハンドルを廻している際、手廻し発電器の端子を外した瞬間に急に軽く廻るようになり、“力”が電気分解の電力源になっていることを学習できる。

### 2) 風船に蓄えられた水素を燃料として燃料電池で走行させる場合

使用セル数と水素消費量と速度の関係を学習することが出来る。2セルの場合、高い電圧を取り出すことができるため高速で走行可能となる。しかし、水素の消費が多くなるため走行時間は短くなる。逆に1セルの場合、速度は遅いが走行時間は長くなる。理論上は水素の持っているエネルギーを車の走行エネルギーに変換するので、同じ水素量であれば走行距離としては同じになるはずであるが、実際にはさまざまなロスがあり、どちらの走行距離が長いかは簡単には判断できない。走行面の状態(起伏も含む)、環境温度、モーター特性等の影響もあり、このあたりを実験してみることもエネルギーの学習になると思われる。

## 4. おわりに

今回紹介した2つの製品は将来訪れる水素エネルギーを中心とした“水循環型社会”において、その実用例としての燃料電池を教育の立場から考案した教材で、生徒が自ら参加し、その過程のなかで“エネルギー”について興味を持ち、理解し、学習してもらえればと思う。