

<実践報告>

## 燃料電池システム教材の開発と授業実践

仲井真梨 信州大学教育学部中学校教員養成課程技術専攻  
石田聡一 堀金村立堀金中学校  
千川圭吾 信州大学教育学部生活科学教育講座

### Development and Application of Teaching Material on Fuel Cell

NAKAI Mari: Training Course for Junior High School Teachers, Shinshu University  
ISHIDA Soichi: Horigane Junior High School, Horigane Village  
HOSHIKAWA Keigo: Faculty of Education, Shinshu University

The purpose of this research is to develop teaching materials on fuel cells and to apply them for a lesson on the electric and electronics field in the technology education of junior high school. The teaching material on the fuel cell with hydrogen gas fed from the electrolysis system by the electric energy of dry cell or solar cell was developed. The OHP sheets as the teaching materials to explain the features and applications of fuel cells were also developed. The lesson was tried to third grade students at the Horigane junior high school. It was found that the teaching material and the lesson were effective to make students good understanding of the features and the necessity of fuel cells as future electric energy system.

【キーワード】 燃料電池 自然エネルギー 発電システム 中学校技術 授業実践

#### 1. はじめに

「石油エネルギー」の利用は科学技術の進展を加速し、私たちの生活を大変便利で豊かなものにした。その結果「多量生産・多量消費・多量廃棄」型の社会システムが形成された。しかし、「石油エネルギー」はこのような恩恵を与えると共に、環境破壊と資源枯渇の問題をもたらし、これらは地球規模の課題となっている。

このような社会問題を背景に、2002年度から導入される新学習指導要領は、中学校技術・家庭科の技術分野「A. 技術とものづくり」の中で「(1). イ. 技術と環境・エネルギー・資源との関係について知ること」という内容を示している。新学習指導要領への移行期に当たる現段階での教育現場における電気エネルギーに関する扱いは、水力発電や火力発電、原子力発電など、従来の発電システムのほかに風力、太陽光、太陽熱、波力発電などの自然エネルギーによる発電システムの扱いが主流である（長野県技術・家庭科研究会 2001）。しかし、この自然エネルギーによる発電システムも、供給が不安定であるという課題を残してお

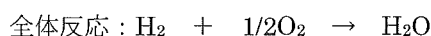
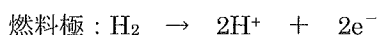
り、現在実用化されている自然エネルギー発電システムも多くは鉛やカドミウムなどの有害物質を含んだ蓄電池に電力を蓄えて利用するという方法がとられている。

一方、これらの問題を解決するための有力な方法として注目されているのが「燃料電池」である。「燃料電池」とは水素と酸素を反応させて電気を発生させる発電装置である。燃料に用いる水素と酸素は地球上で無限に存在し、その反応に伴う生成物は水だけであるため、環境破壊も資源枯渇も心配する必要はない。このような、水素エネルギーを利用した「燃料電池」を今後のエネルギー利用の主流とし、将来、家庭や多くの社会システムにおいて必要とされる大部分の電力を賄えるようにするための研究・開発が強力に進められている。

本実践研究では、明日の社会を担う中学生が、未来の電気エネルギー源として高い可能性を持った「燃料電池」についての知識を深め、その良さと必要性に気付くための教材を開発し、それらを用いた授業実践を通してその成果を確認している。

## 2. 燃料電池について（池田宏之助 2001，秋元 格 2001）

燃料電池の原理を図 1 に示す。図のように燃料極側から供給された水素(H<sub>2</sub>)は電極と電解質との界面で電子(e<sup>-</sup>)を放出し水素イオン(H<sup>+</sup>)と電子(2e<sup>-</sup>)となる。電解質(イオン導伝体)にはイオンのみを透過する性質を持たせており、水素イオンはこの電解質を透過し空気極へと移動する。従って電子は電極に帯電する。ここで燃料極の電極(負極)と空気極での電極(正極)との電極間に電位差が生じ、外部回路(負荷：電球)に電流が流れる。空気極では供給された酸素と電解質を透過してきた水素イオンと外部回路を通過してきた電子とが反応し水を生成する。以上の反応を化学式で示すと以下のようになる。



以上から分かるように、「燃料電池」とは水素と酸素を反応させて電気を発生させる発電装置である。燃料に用いる水素と酸素は地球上で無限に存在し、その反応に伴う生成物は水だけであるため、環境破壊も資源枯渇の心配もない未来の電気エネルギー源と言える。

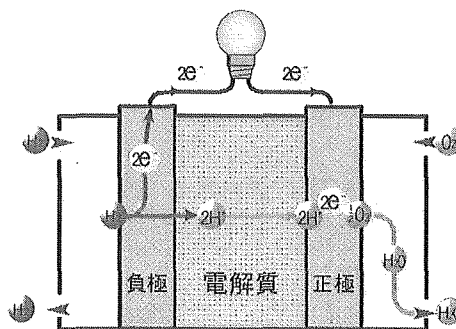


図 1 燃料電池の原理

## 3. 燃料電池システム教材の製作

### 3.1 教材の構成

製作した燃料電池システム教材の構成図を図 2 に、教材全体の写真を図 3 に示す。教材は以下の個別部品からなっている。

#### (1) 電気分解装置の電源

水の電気分解装置の電源には、単三乾電池 2 個（直列 3V）または太陽電池セル（出力電圧

約 3V) を用いる。天候が良好であれば約 5m のリード線を接続した太陽電池セルを屋外へ持ち出し、実際に太陽光発電を利用した実験が可能である。発電に十分な太陽光が得られない場合は照明器具を用いる。図 3 に太陽電池セルの写真を示す。

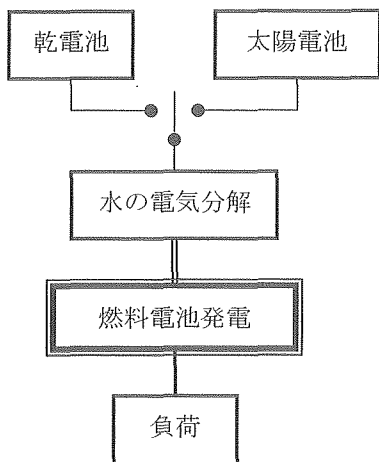


図 2 燃料電池システム教材の構成図

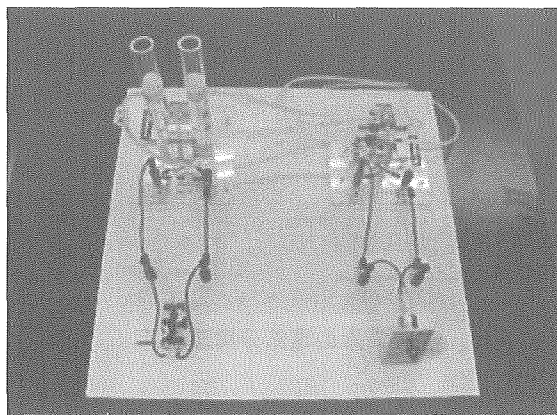


図 3 燃料電池システム教材の全体構成

### (2) 水の電気分解装置

図 5 に水の電気分解装置の写真を示す。水の電気分解装置は、ナフィオンと呼ばれるフッ素系高分子の一部をスルホン酸基に変化させたテフロン材を使用しており、純水を電気分解することができる。水道水を電気分解することもできるが、不純物が混入し故障の可能性もあるため原則的には純水または脱イオン水を使用する。

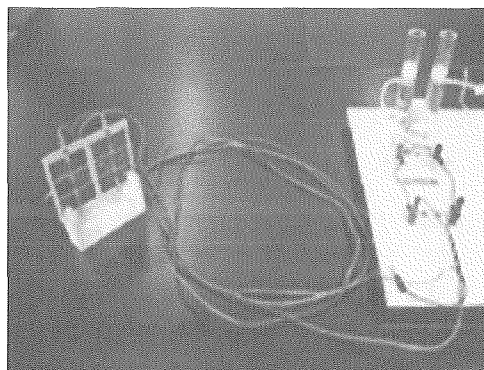


図 4 太陽電池セルによる電気の供給

### (3) 燃料電池

図 6 に燃料電池の写真を示す。水の電気分解装置にも使用されているナフィオンを電解質として使用した固体高分子型燃料電池の一種である。ナフィオンは加湿すると水素イオンを導伝する性質を持つ。燃料の供給には、今回用いた水の電気分解による水素と酸素のほか、市販されているボンベからの水素、酸素の使用も可能であり、また酸素は空気中から取り込むことも可能である。

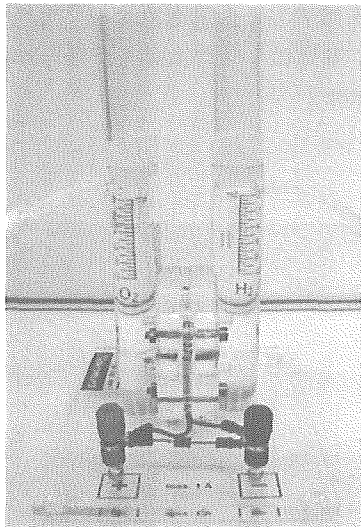


図5 水の電気分解装置

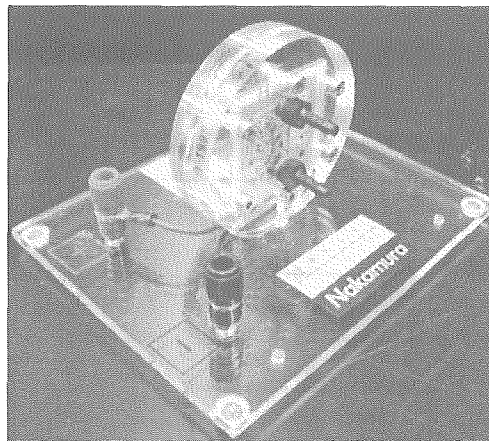


図6 燃料電池

#### (4) プロペラモーター

燃料電池の負荷として使用したモーターは市販のプロペラつき直流モーターである。写真を図7に示す。配線は取り外しを容易にするためバナプラグを取り付けた。

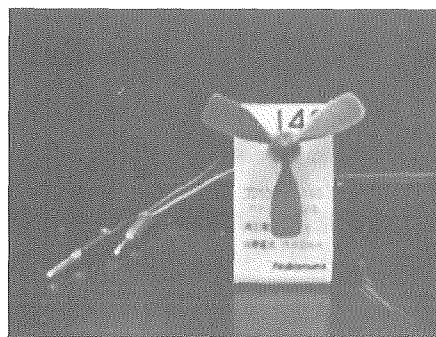


図7 負荷に用いたプロペラモーター

### 3.2 教材製作のねらいと留意点

燃料電池システムの教材製作では、生徒が本物の燃料電池に接することで燃料電池に対し興味・関心を高め、そのしくみの理解を深めることを第1の目標とした。また、水の電気分解の電源に乾電池を用いたシステムの観察を通して、『電気を作るのに乾電池を使っている』という矛盾に気付き、自然エネルギーによる発電と組み合わせた理想的な燃料電池システムについて知ることをねらい、水の電気分解に用いる電源は乾電池と太陽電池セルを容易に取り替えられる構造とした。また実際の教材製作時には以下の点に留意した。

- (1)燃料と電気の流れが順を追って理解できるような配置とし、配線は混乱を避けるため無駄のない配線とした。
- (2)装置は壊れやすいため、台は安定性の高い厚めの板を用い、ゴム製の足を取付け、滑らないようにした。
- (3)各接続部には装置や計測機器などの取り外しを容易にするため、ターミナルを設け、バナ

ナプラグまたは矢形チップを使用する。

#### 4. OHP シートの作成

##### 4.1 作成のねらいと内容

OHP は教師の板書による時間ロスの解消と、生徒に視覚的な説明をすることを通して内容のイメージをつかみやすくすることをねらいとし、授業実践の内容に合わせて以下の 11 枚のカラー OHP シートを作成した。

##### (1) OHP1 : 燃料電池のしくみ

図 1 の燃料電池の原理について示した図が作成した OHP1 である。参考書などに掲載されている図は中学生には難しい専門用語や化学式が含まれており、そのまま使用するのとは適切ではないと考え、自作し、できる限り正しい情報を端的に示した。燃料電池のしくみについて復習する場面で用いる。

##### (2) OHP2 : 燃料電池の長所と短所

OHP1 に続いて燃料電池の特徴について復習する場面で用いる。

##### (3) OHP3 : 燃料電池本体の写真

図 6 に示した写真であり、燃料電池システム教材の観察に入る前に燃料電池がどの装置であるかを確認するために用いる。

##### (4) OHP4 : 水の電気分解のしくみ

図 8 に OHP4 を示す。電気分解の装置を示した図と化学反応式を模式化した図を示した。水素の生成方法を説明する場面で用いる。

##### (5) OHP5 : 燃料の改質のしくみ

図 9 に OHP5 を示す。燃料の改質方法の説明は図示するには難しい内容であるため、改質の化学反応式を示した。水素の部分を赤くし、水素原子が水素ガスとして取り出されていることを強調した。OHP4 に続いて水素の生成方法を説明する場面で用いる。

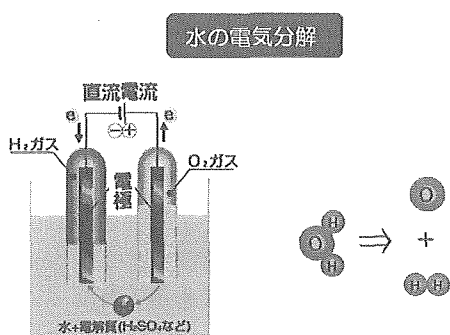


図 8 OHP4 「水の電気分解のしくみ」

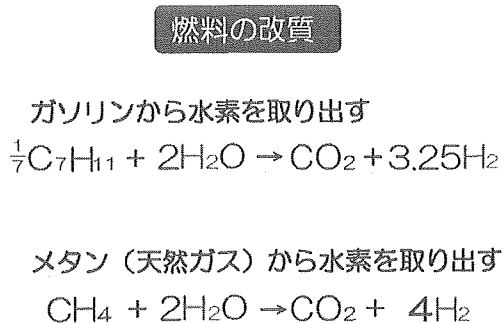


図 9 OHP5 「燃料の改質のしくみ」

##### (6) OHP6 : 水素の性質

図 10 に OHP6 を示す。一般的な水素の性質を示した。水素の性質について復習する場面

で用いる。

(7) OHP7：燃料としての水素の長所と短所

図 11 に OHP7 を示す。これは、水素を燃料電池のように燃料として利用する場合の長所と短所を示した。

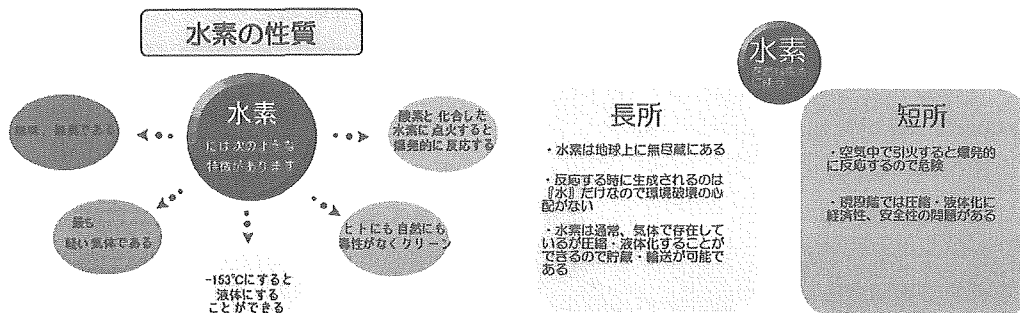


図 10 OHP6「水素の性質」

図 11 OHP7「燃料としての水素の長所と短所」

(8) OHP8：今までのエネルギー利用

OHP8 では燃料電池システムの必要性を考えた後の整理をする場面で用いる。内容としては、自然エネルギーは供給が不安定であるため、発電した電力を貯蔵しなければならない。しかし、電力の貯蔵は実際には困難であり、今までは蓄電池などを用いて化学エネルギーとして貯蔵していた。蓄電池には有害物質が含まれており環境破壊につながる、という内容である。

(9) OHP9：これからのエネルギー利用

OHP8 に続けて、電力は貯蔵しにくいので、自然エネルギー発電を用いて水の電気分解をし、その水素を貯蔵する。そして、水素を燃料として燃料電池発電をおこなうことがこれからのエネルギー利用の理想的な方法であることを示した。

(10) OHP10：家庭での燃料電池使用例

図 12 に OHP10 を示す。燃料電池発電では約 50～1000°Cの排熱を生じる。その排熱をビルや住宅などの給湯や暖房に利用するシステムがあり、このシステムをコージェネレーションシステムと呼ぶ。この OHP では燃料電池を住宅の電力供給と給湯・暖房に利用する場合を示したイメージ図である。

(11) OHP11：自動車での燃料電池使用例

図 13 に OHP11 を示す。燃料電池を自動車で利用した場合のイメージ図を示した。

4.2 OHP 作成の留意点

OHP4, 10, 11 はインターネット上から引用したものであるが、必要に応じて加工した。

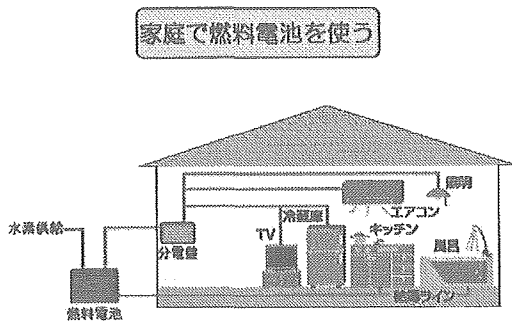


図 12 OHP10「家庭での燃料電池使用例」

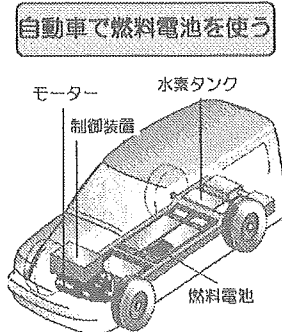


図 13 OHP11「自動車での燃料電池使用例」

なぜなら、インターネットで公開している内容と、授業で生徒が必要としている内容が必ずしも一致しないからである。生徒の混乱を招くような表現や難しい内容は削除し、生徒がわかりやすい言葉や表現に置き換えた。

## 5. 授業実践

### 5.1 ねらいと位置付け

開発教材を用いた授業実践を行い、開発教材が生徒の学習活動にどのような効果をもたらすかを、生徒の反応をアンケート調査によって調査し、考察することをねらいとする。堀金村立堀金中学校において、中学3年生1クラス(32名)を対象に授業を行った。「電気エネルギー利用」における題材展開の中の10時間目、『その他の新しい発電～燃料電池～』の2時間目として、本時である「燃料電池システムについて」を位置付けた。題材展開の概要を表1に示す。

表1 題材展開の概要

	単元名	時間
1	電気の使われ方	1
2	エネルギー資源について	1
3	電気生成、発電の仕組み	1
4	火力、水力、原子力発電所	1
5	環境問題	1
6・7	太陽電池	2
8	風力発電	1
9	その他の新しい発電～燃料電池～	1
10	燃料電池システムについて	1(本時)
11・12	太陽電池ライトの製作	2
13	まとめ	1

生徒は前時（第 9 時）に、燃料電池の基本的なしくみや利用方法について述べられたビデオ（約 30 分）を見た後、しくみを簡単に書いた図と、長所と短所をまとめたプリントで学習している。本時案では以下のような授業構成とした。

- ① 燃料電池のしくみについての復習
- ② 水素の性質についての復習
- ③ 燃料電池システムの理解
- ④ 乾電池を用いた燃料電池システムの矛盾（「なぜ、燃料電池を介する必要があるのか」）に気付く
- ⑤ 自然エネルギー（太陽光）発電を組み合わせた燃料電池システムに気付く

## 5.2 授業実践の結果と考察

燃料電池の紹介の際には生徒側から「いくら（価格）くらいなの？」「値段の割には小さいものだ」などの質問や感想が出てくるなど、本物の燃料電池を用いたことによって、生徒の興味・関心が高められた。

乾電池を用いた燃料電池システム教材の観察では各装置を指差しながら流れに沿って確認している生徒の姿が見られた。その様子の写真を図 14 に示す。このことから、燃料と電気の流れに沿った各装置の配置と無駄のない配線に考慮して教材を作成した配慮は大変効果的であったと考える。

また、燃料電池システムの必要性を考える場面では教師の「乾電池を用いた燃料電池システムの矛盾は何か？」との発問によって、ある生徒の「電気を作るのに電池を使っている」という気付きがあった。これは、表 1 の題材展開の大要にもあるように、生徒たちは本時までには従来の発電システムや自然エネルギー発電、蓄電池などの学習（石田聡一 1999, 塩沢臣城 2000）をしているため、それらの特徴と欠点を踏まえながら、燃料電池システムに関する理解を深められた結果だと考える。そしてこの生徒の発言から他の生徒も自然エネルギー発電と組み合わせた燃料電池システムに気付くことができ、太陽電池セルを用いた燃料電池システムの観察へとつながったと考える。



図 14 観察する生徒の様子

## 6. アンケートの結果と考察

### 6.1 教材に関するアンケート

授業後アンケートの中の「わかりやすかった場面はどこですか？」という質問に対して、図 6 のような結果が得られた。選択肢は以下の 7 項目とした。



- 1) 『燃料電池のしくみ』について (OHP)
- 2) 乾電池を使った燃料電池装置の観察(製作教材)
- 3) 『水素の生成方法』について (OHP)
- 4) 『水素の性質』について (OHP)
- 5) 太陽電池を使った燃料電池装置の観察(製作教材)
- 6) 住宅や自動車への利用例 (OHP)
- 7) その他

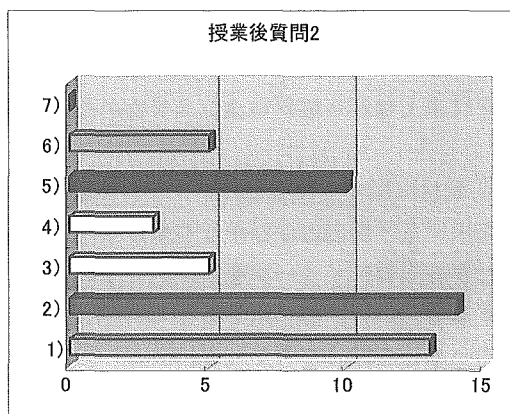


図 15 「わかりやすかった場面はどこですか？」に対する回答結果

1) の『燃料電池のしくみ』については、前時にビデオの視聴によりその概要を学習したと併せて大変良い理解が得られている。また、2), 5)は製作教材を観察した場面であり、同様に十分な理解が得られた結果である。一方、3), 4), 6)は OHP を用いた説明の場面であるが、十分な理解が得られたとは言いがたい。これらの結果から、OHP のみを用いた説明よりも、実際の装置を用いた観察の方が内容を理解しやすかったことが読み取れる。

## 6.2 「燃料電池」に対する生徒の意識に関するアンケート

図 16 は授業後に行ったアンケートのなかの「将来、燃料電池は必要だと思いますか？」という質問の結果を示したものであり、85%の生徒が「必要である」と答えている。これは生徒らが、前時と本時の2時間の中で「燃料電池」の特徴を理解し、自然エネルギーと組み合わせた理想的な電気エネルギーであることに気づき、将来重要なエネルギーシステムなる得ることが十分理解された結果であると考える。

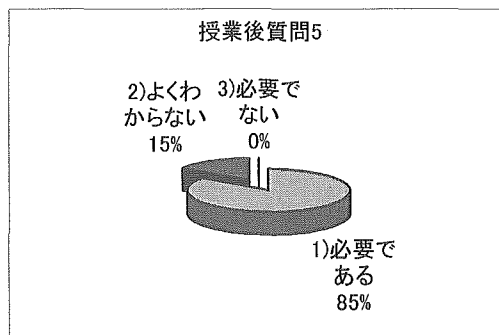


図 16 燃料電池は必要だと思いますか？

## 7. 結論

(1) 授業実践においては、自然エネルギーと組み合わせた理想的な燃料電池システムに気付くことを教材製作の第1の目標とした。この目標を達成するため、水の電気分解の電源は、乾電池と太陽電池セルの二通りを用意した。その結果、生徒は乾電池を用いた教材の観察において「電気を作るのに電池を使っている」というシステムの矛盾に気づき、自然エネルギ

一と組み合わせた燃料電池システムへと進むことができた。この結果は、生徒らが本時まで  
に、従来の発電システムや自然エネルギー発電システムの特徴と欠点を正確に理解し、それ  
らを踏まえながら燃料電池システムの原理や特徴を十分理解できた結果であると結論できる。

(2) 教材に関する授業後のアンケート結果から、生徒らは OHP のみの説明よりも実際の装  
置を用いた学習の方がわかりやすかったことが読み取れた。このことから OHP は説明しよ  
うとする内容のイメージをつかみやすいという特長を持つが、動きのあるものを説明しよ  
うとする場合には、静止画である OHP よりも、実際の形や動きの経緯がわかる教材の方が適  
しているとの結論が導かれる。

(3) 燃料電池の必要性に関する授業後のアンケート結果から、85%の生徒が将来、燃料電池  
は必要であると答えた。これは前時までの学習と本時の学習内容を正しく理解し、燃料電池  
の「良さと必要性」に気づき、興味・関心が十分高められた結果であると結論できる。

本研究に関わる授業実践にあたり、多大なご指導・ご支援を賜った堀金村立堀金中学校宮  
島義征校長先生に感謝致します。

#### 文献

- 長野県技術・家庭科教育研究会 2001年 「技術・家庭科ハンドブック」  
池田宏之助 2001年 「入門ビジュアルテクノロジー 燃料電池のすべて」 株式会社日本  
実業出版社  
秋元格, 千葉三樹男, 山本寛 2001年 「【図解入門塾】すぐわかる! 燃料電池のしくみ」  
株式会社 かんき出版  
石田聡一, 増井邦博, 千川圭吾 1999年 信州大学教育学部附属教育実践研究指導センター  
紀要第7号 pp.265~272  
塩沢臣城, 石田聡一, 千川圭吾 2000年 信州大学教育学部附属教育実践総合センター紀要  
第1号 pp.115~124

(2002年3月31日 受付)