

# 色素増感太陽電池を用いたエネルギー教育の実践 —「課題研究」における外部機関との連携を通じて—

愛知県立豊田工業高等学校  
電子工学科教諭 松田拓未<sup>まつだたくみ</sup>

## 1 はじめに

2011年3月11日、私たちは未曾有の震災を体験し、続いて福島第1原子力発電所の事故が発生した。日本だけではなく全世界中が、エネルギーのあり方について戸惑うことになり、一人一人がエネルギー問題を自分の問題として考えなければならないと同時に、冷静かつ科学的に判断することが必要である。エネルギー問題について、多くの生徒たちに興味・関心を持ってもらいたいことから、環境負荷がより小さい次世代型の太陽電池「色素増感太陽電池」について約5年間研究をしてきた。この太陽電池は高校生でも作製でき、生徒たちが作製法や使用する材料などについて多くの方向から学習できるもので、科目「課題研究」においてエネルギー教育を実践するには有効なテーマでもあると考えた。

「課題研究」は、問題解決型の学習形態を重視した総合的科目である。研究を通じて共同作業と協力・研鑽があり、生徒は実体験を通してチームワークの大切さを学ぶ。また、生徒は科目「課題研究」を通して、学習した知識・技術の習得やその結果のみに着目することなく、問題解決へ向けての様々な学習方法や学習態度を身に付けることができる。このことは、生涯学習の必要性が求められている時代において、将来に向けて学習を継続する芽を育てることにつながり、問題解決に際しての楽しさや苦しさ、感動を通して協調、奉仕、思いやり等の精神を育むことができる。また、科目「課題研究」では、社会経済の変化、科学技術の新たな展開に対しても、対応できる応用力を養うことが期待できることから、専門高等学校における科目の中でも教育課程上、中心に位置付けられる。

本研究では、電子工学科3年生科目「課題研究」において「新エネルギー技術の研究」を選択した7名の生徒が科目「課題研究」を通じて色素増感太陽電池を追究することで、新エネルギーの必要性や技術の進展の重要性を学習させるエネルギー教育の実践について報告する。また、本研究では愛知県産業労働部及びあいち産業科学技術総合センター産業技術センター自動車・機械技術室の御協力をいただき、高等学校と外部機関の連携について実践した点についても論述する。

## 2 特徴と原理

色素増感太陽電池は、導電性ガラスで酸化チタンと電解液を挟んだ構造となっている。現在主流のシリコン製に比べ、製造過程において真空・高温・高圧などの大がかりな設備を必要とせず、安価に製造できる太陽電池である。また、もう一つの特徴として、色や形状の自由度が高いことである。有機色素としてシアン、マゼンタ、イエローの三原色を利用して、赤や緑、青など実に様々な色の太陽電池を作ることができる。三角形や星型など、自由な形状に切り抜いた太陽電池も



図1 色素増感太陽電池の原理図

作製できる上、プラスチック基板を使えば曲がる太陽電池も実現でき、シリコン系太陽電池より軽量化できる。

色素増感太陽電池の構造は大きく分けると、導電性ガラス、酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、有機色素、電解液 (ヨウ素など) で構成されている。図1のように導電性ガラスで挟み込んだ構造となっており、以下のような原理で発電する。

- (1) 光が当たると、有機色素分子から電子が放出される。
- (2) 放出された電子が素早く酸化チタン膜に受け取られる。
- (3) 電子は酸化チタン膜・導電性ガラスの導電膜を通り、移動する。(負極側)
- (4) 一方で、電子を失った状態にある有機色素分子は、電解質溶液中のヨウ素イオンから電子を受け取り元の状態に戻る。
- (5) ヨウ素イオンは電解質溶液中を移動し、もう一方の電極についた炭素膜を通して、電子を受け取る。(正極側)
- (6) 二極間に負荷を置き、導線で回路を組み合わせると、極間の電位差を電池として利用できる。


### 3 研究指導

#### (1) 研究・作業過程

この研究の指導にあたり、年度当初より予定を立て、表1に示すスケジュールで進行した。これは、作業過程を明確化し、研究の進捗状況を把握するためである。

表1 平成24年度課題研究のスケジュール

|   |   |  |
|---|---|--|
| 4 | 月 | 科目開き、生徒募集(3年生)、研究テーマ、年間スケジュール決め  |
| 5 | 月 | 「色素増感太陽電池の理論及び作製法についての学習」<br>色素増感太陽電池の理論及びテキストによる作製方法の学習指導を展開<br>(理論及び作製については、6月以降のあいち産業科学技術総合センターなどの校外学習で使用するため、理解するまで学習させる)  |
| 6 | 月 | 「色素増感太陽電池の研究」<br>本校とあいち産業科学技術総合センター産業技術センター自動車・機械技術室との連携により、以下の指導を展開<br><br>〔豊田工業高等学校〕<br>色素増感太陽電池の劣化実験及びデータまとめ<br>〔あいち産業科学技術総合センター〕<br>ソーラシミュレータ(光電気特性測定装置)の使用方法を学習後、実験 |

|       |  |
|-------|--|
| 7 月   | <p>「色素増感太陽電池の研究（続き）」<br/>先月に引き続き、本校と外部機関の連携を通じて以下の指導を展開</p> <p>〔豊田工業高等学校〕<br/>色素増感太陽電池のソーラシミュレータ、<br/>中学生体験入学指導法、研究論文作成の<br/>学習</p> <p>〔あいち産業科学技術総合センター〕<br/>可視紫外分光光度計の使用方法を学習後、<br/>実験</p>  <p style="text-align: right;">図2 研究の様子</p>   |
| 8月～9月 | <p>「研究論文の作成」<br/>愛知県産業教育振興会主催「平成24年度専門高等学校生徒の研究論文コンクール」及び（社）電気学会高校生懸賞論文コンテストに応募するため、研究論文を2本作成する指導を展開</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電効率向上を目指した色素増感太陽電池の作製法に関する研究</li> <li>・色素増感太陽電池における正極の炭素濃度による発電効率の違い</li> </ul> <p>「色素増感太陽電池の研究（続き）」<br/>〔あいち産業科学技術総合センター〕<br/>走査型電子顕微鏡及びラマン分光器を使用し、作製した太陽電池の表面の分析を行う。</p> |
| 10 月  | <p>「AITサイエンス大賞論文作成」<br/>鉛筆濃度が及ぼす色素増感太陽電池への影響（成分調査のためのスペクトル分析）</p> <p>「色素増感太陽電池の研究（続き）」<br/>ソーラシミュレータ及び可視紫外分光光度計を使用して、作製した太陽電池の分析を行う。</p>   |
| 11 月  | <p>「AITサイエンス大賞プレゼンテーションデータ及びポスターセッション用資料の作成」</p> <p>「AITサイエンス大賞（プレゼンテーション及びポスターセッション）の練習会」</p>   |
| 12～2月 | <p>データ整理、研究のまとめ<br/>次年度生徒への研究引き継ぎ<br/>プレゼンテーション資料作成、課題研究成果発表会</p>  |
| 3 月   | <p>（社）電気学会高校生懸賞論文コンテスト表彰式</p>  |

## (2) 色素増感太陽電池の理論及び作製法についての学習

色素増感太陽電池の理論学習及び作製法について科目「課題研究」の時間に実施した。テキストは、私が先行研究を行った研究結果を資料にまとめた自作テキスト(図3)を用いて指導して展開した。



図3 色素増感太陽電池自作テキスト

私は学校では手に入らない実験装置や器具はホームセンターなどで入手しておき、このテキストとともに用意しておいた。しかし、学校では手に入る実験装置や器具は生徒たちが自作テキストをもとに材料や器具を理科室や実習室などに頼んで貸してもらおうように指導を展開した。この学習に使用した材料や器具を表2に示す。

表2 理論及び作製法についての学習に使用する材料と器具

| 材 料                             | 器 具              |
|---------------------------------|------------------|
| 導電性ガラス (FTO) : 2 × 3 c m        | デジタルテスタ : 1 台    |
| 酸化チタン (TiO <sub>2</sub> ) : 3 g | 乳鉢、乳棒 : 1 セット    |
| ポリエチレングリコール : 1 g               | ガラス棒 : 1 本       |
| 水 (水道水) : 7 g                   | メンディングテープ : 1 個  |
| 蒸留水 : 適量                        | シャーレ、ビーカ : 1 セット |
| 電解質溶液 (ヨウ素) : 適量                | ホットプレート : 1 台    |
| ハイビスカスの花 : 2 個                  | ガスコンロ : 1 台      |
| 鉛筆 (6H~10B) : 各 1 本             | ソーラシミュレータ : 1 台  |

使用する導電性ガラスは、2 × 3 c mのFTO(フッ素ドーブ酸化スズ導電性膜付き)ガラスであり、焼成温度が高くなっても電気抵抗が上がりにくい材料である。あいち産業科学技術総合センター産業技術センター自動車・機械技術室及び西野田電工(株)様の指導・協力により、TiO<sub>2</sub>は粒子 P25 を使用し、色素増感太陽電池の実験をする際の国際基準で実施する環境が整った。

私は、科目「課題研究」の時間で理論について市販されている書籍と企業の研究報告、大学などの研究論文を用いたゼミを展開し、エネルギー問題の解決方法、色素増感太陽電池の構造について指導を行った。最終的に確認テストとして、2 特徴と構造 で論じた内容について、一人一人が研究メンバーと私に対してプレゼンテーションをして、全員が理解できるまで何回も発表をさせた。これによりプレゼンテーションスキルを向上させるとともに、理解を促進する効果をねらった。

理論学習をした後、図3のテキストを見ながら作製方法について試行錯誤して何度も作製を繰り返した。この作業は実験のため、安全教育を徹底させ、危険予知や回避の方法についても指導を行った。理論について私に聞きにきて学習したり、作製実験を授業後に残って一生懸命に楽しく取り組む研究メンバーの姿に、とても感心させられた。



図4 理論学習の指導風景



図5 作製法の実験風景

### (3) 外部機関と連携した色素増感太陽電池の研究

本年度は、本校と愛知県産業労働部及びあいち産業科学技術総合センター産業技術センター自動車・機械技術室と連携して、学校では作製した太陽電池の詳細な測定や評価が難しいことから、色素増感太陽電池の評価試験や表面物性の測定試験、正極部分に使われる鉛筆の剥離試験について装置の技術・研究指導を実施した。連携をお願いする際には、本校から「技術指導について(お願い)」を送付し、事前打ち合わせを数回実施した。安全指導の徹底や装置の操作方法、産業技術センター内での行動について生徒たちに指導を行い、6月～7月まで科目「課題研究」が実施された授業後、あいち産業科学技術総合センター産業技術センター(愛知県刈谷市)に移動し、「課題研究」中に作製した色素増感太陽電池の試験・評価について技術学習をした。

#### ア ソーラシミュレータ(光電気特性測定装置)による負極面の試験・評価

色素増感太陽電池の負極部分を作製する際、酸化チタンをガラス棒で塗布する「スキージ法」(図6)と酸化チタンを自作スピコートで塗布する「スピコート法」(図7)のどちらがより良い色素増感太陽電池ができるかを北斗電工(株)製ソーラシミュレータ(光電気特性測定装置)で電圧V-電流Iの特性評価を行った。この装置は、学校のテスターや電子電圧計では測定できない微少な数値を表示してグラフ化できるため、企業などの太陽電池評価試験では重宝される装置である。電圧V-電流Iの特性評価はデータ数値が高いほど、良い太陽電池であると評価できる。

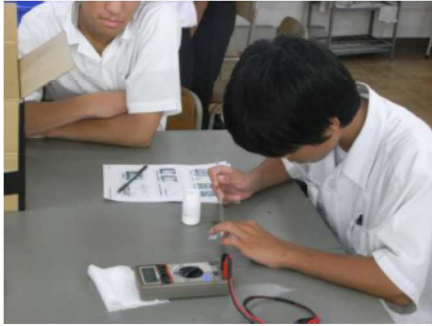


図6 スキージ法の作製

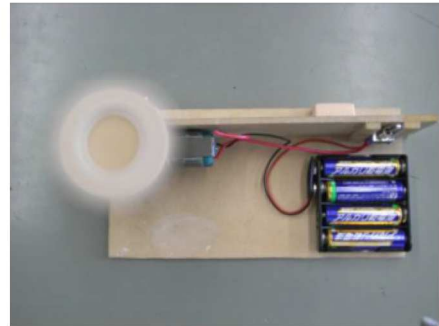


図7 スピンコート法の作製



図8 ソーラシミュレータ技術指導

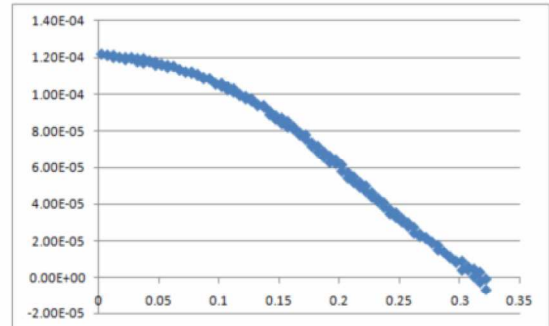


図9 ソーラシミュレータ評価グラフ

イ 可視紫外分光光度計による正極面の試験・評価

色素増感太陽電池の正極部分に使われる鉛筆の濃度を変えることで、太陽電池の効率向上を研究する際、黒鉛の剥がれやすさや塗布の状態を測定する必要がある。私は生徒たちに JIS 規格や配布された書籍・論文などを調べさせ、色素増感太陽電池の正極部分の鉛筆塗布を試験する方法について自分たちの力で答えを導き出させた。最終的に JIS-k5600「塗料一般試験方法」第6節「付着性」を採用し、鉛筆の黒鉛を塗布させた導電性ガラスを(株)島津製作所製 可視紫外分光光度計で測定した。その後、測定した導電性ガラスの炭素面をセロハンテープで一度剥がし、可視紫外分光光度計で再度測定させ、もう一度同じ作業を行ってどの程度、鉛筆の黒鉛が剥がれやすいかの塗布状態を評価した。



図10 可視紫外分光光度計



図11 分光光度計の技術指導

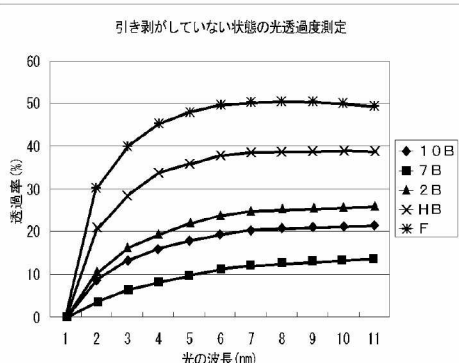


図 1 2 剥がしていない状態の試験結果

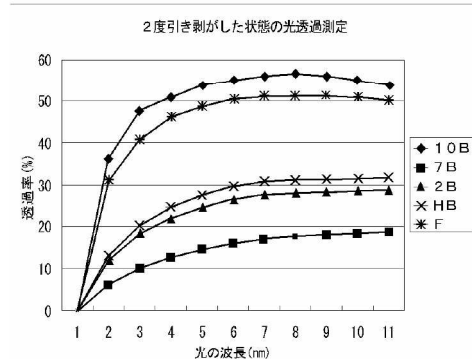


図 1 3 2度剥がした状態の試験結果

図 1 2 と図 1 3 を比較すると、10B などの濃度が高い鉛筆は引き剥がし試験を行うと光の透過率が上がっていくことから、鉛筆の黒鉛がセロハンテープで剥がれ落ち、太陽電池の出力効率低下を起こすことがわかった。また、HB の鉛筆で作製した正極は、引き剥がし試験を行ってもほぼ試験結果が変わらないため、色素増感太陽電池の寿命が長く、安定した出力効率を維持することができると生徒たちは結果から判断した。生徒たちは、はじめの頃は鉛筆の濃度が濃いほど出力効率が安定すると仮説を立てていたが、濃度が濃ければ良いわけではないという試験結果から仮説が間違っていたことを知り、仮説を立てるときは書籍や論文をより深く読み込む必要があると後の報告書に記述していた。

#### ウ 中学生体験入学における技術指導及びプレゼンテーションの向上

7月26日(木)及び27日(金)の2日間にわたって、地域の中学生19名が体験入学として「草や花で太陽電池を作ろう!」という内容で、色素増感太陽電池の研究メンバーが指導をするという実習を展開した。実習資料や材料の準備から当日の指導まで全てを生徒たちが行い、普段研究している色素増感太陽電池の技術を中学生にどのように伝えていけば良いかを考えて指導させることで「プレゼンテーション能力」を習得することがねらいである。生徒たちは苦勞しながらも中学生に技術の楽しさを伝えていき、無事に中学生全員が色素増感太陽電池を完成させ、電子オルゴールまで鳴らすことができた。体験入学が終わった後は、生徒たちが「やってよかった」と言ってくれたことが印象的であった。



図 1 4 中学生体験入学の指導風景



図 1 5 実技指導の展開風景

#### エ 「平成24年度専門高等学校生徒の研究文コンクール」及び（社）電気学会高校生懸賞論文コンテストへの参加

色素増感太陽電池の研究を科目「課題研究」及び外部機関と連携して取り組んだことをまとめる機会として、「平成24年度専門高等学校生徒の研究文コンクール」及び（社）電気学会高校生懸賞論文コンテストへ参加することにした。論文の読み方や書き方、グラフの見やすさなどを中心にドキュメンテーションの必要性を指導した。生徒たちは、提出期限の直前までチームワークで論文を書き、無事に提出することができた。結果発表よりも研究を通して論文を書き終わった清々しさを私は研究メンバー全員から感じとり、この一連の経験で一回り成長した生徒たちを見ることができた。

「平成24年度専門高等学校生徒の研究文コンクール」では、愛知県産業教育振興会からは優秀賞、愛知県高等学校工業教育研究会からは最優秀賞及び優秀賞をいただくことができ、また、（社）電気学会高校生懸賞論文コンテストでは、優秀論文賞を受賞することができた。

#### オ 「AITサイエンス大賞」への参加

生徒たちは色素増感太陽電池の研究成果をまとめ、発表する場として愛知工業大学主催AITサイエンス大賞に参加した。自然科学部門に「鉛筆濃度が及ぼす色素増感太陽電池への影響（成分調査のためのスペクトル分析）」というタイトルで、論文やプレゼンテーションデータの作成、ポスターセッションの準備など、提出期限まで精一杯取り組んでいた。当日は、審査員に対して研究のプレゼンテーションを制限時間内でポイントを説明し、ポスターセッションでは審査員の質疑に的確な応答を行っていた。

結果として、自然科学部門では2番目の賞である奨励賞を受賞し、研究の成果を大学の先生方にも認めてもらうことができ、生徒たちにとって満足のいく結果となり、この課題研究で経験した多くの事柄を就職・進学先で生かしていきたいと語っていた。

#### 4 おわりに

本研究では、色素増感太陽電池を用いてエネルギー教育の実践を高等学校と外部機関が連携して展開し、生徒たちに新エネルギーの必要性や技術の進展の重要性を実感させ、エネルギー技術を中心にあらゆる場面で積極的な問題解決を図る力を養う指導を行ってきた。高等学校だけでは指導が難しい精密な評価試験を外部機関の協力により、作製した色素増感太陽電池の良し悪しをデータとして目に見ることで、生徒たちにとって高い教育効果があることを実感することができた。

#### 5 参考文献

- ・池守滋他：新しい観点と実践に基づく工業科教育法の研究，実教出版（2006）
- ・若狭信次：色素増感太陽電池を作ろうー手作り太陽電池のすべて，パワー社（2010）
- ・川村康文：大人の週末工作自分で作る太陽光発電，総合科学出版（2012）