

1 はじめに

本校では、平成22年度に太陽光発電設備の設置する工事が行われた。そこで、太陽光発電における入射エネルギーとしての太陽光の出力特性や出力測定方法などについて調査研究を行った。さらには、太陽光発電について授業にも取り入れ、仕組みを理解するために、製造工程が簡単で、初期費用がかからない色素増感太陽電池を製作した。

生徒に、ものづくり体験の機会を増やし、楽しさや面白さを体感させ、さらに、人前で話をしたり発表したりすることが苦手な生徒が、自身の活動をまとめ、発表や意見交換できることを目的として行った教育実践について報告する。

2 太陽光発電設備について

本校武道場の北側に太陽光発電設備（ソーラーパネル出力10kWが）が設置された。（写真1）装置の大きさは、縦4m、横15mでソーラーパネルが56枚取り付けられている。また、本校正面玄関には、発電電力量を表示するパネル（写真2）が取り付けられ、発電電力量がすぐわかるようになっている。



写真1 太陽光発電設備



写真2 発電電力量を表示するパネル

3 太陽電池の仕組み（図1）

太陽電池は、表面近くに作ったp-n接合部に太陽が入ると、電子、ホールが発生する。p-n接合では、p型は電子を引き寄せ、n型は正孔を引き寄せる。つまり接合部では電子と正孔が対になった領域が生まれる。ここに、光が照射されると電子が自由になり、n型半導体に集まる。正孔はp型半導体に集まる。すると電位が発生して、負荷を接続すると電流が流れる。

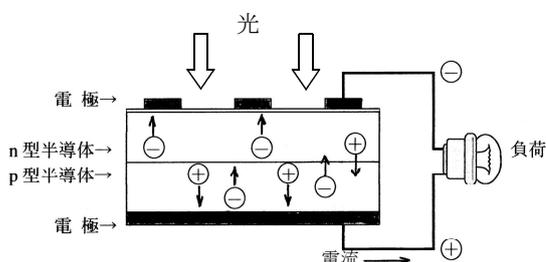


図1 太陽電池の構造

4 気象観測について

日射量は季節や天候の影響を受けやすいので気象観測は無視できない存在となる。そこで、日射量と気象要素との相関解析を行うために本研究では、気象観測を行った。

観測項目は、雲形・雲高・雲厚・雲量・視程・天候そして日射の有無である。

(1) 雲の分類

普通用いられる雲形は10の類による基本形で10種雲形（雲級）と呼ばれる。

雲形は、

- ア どのくらいの高さにあるか。
  - イ 形、広がり、明るさはどうか。
  - ウ 水滴かそれとも氷晶からできているか。
- などの3つの観点から分類される。

10種類雲形のうち、層という字のついた雲は、巻層雲、高層雲、乱層雲、層積雲、層雲の5種類である。厚さや浮かんでいる高さは違うが、乱層雲以外は薄板状あるいはヴェール状の形をしており、主として斜面をはい上がる上昇気流に伴って発生する。温暖前線には、この種の雲が現れる。（写真4、写真5）

積という字のついた雲は、巻積雲、高積雲、層積雲、積雲、積乱雲の5種類である。このうち積雲や積乱雲は非常に厚い雲で鉛直な上昇気流の起こるところでは、強い対流や寒冷前線の付近に現れる。これらはいずれも団塊状になって現れるのが特徴である。(写真3)

巻という字のついた雲は、巻雲、巻積雲、巻層雲の3種である。いずれも非常に高い低温な所で発生するために薄く微小な氷の結晶でできているのが特徴である。(写真6)

乱という字について雲は、乱層雲と積乱雲の2種である。これは、雲の底が積雲のようにはっきりしていないので乱れていること。また、雲厚が厚く雨などをよく降らせることが特徴である。



写真3 高積雲 (h22.10.16) 写真4 層雲 (h23.05.11) 写真5 乱層雲 (h23.05.09) 写真6 巻雲 (h22.10.18)

## (2) 雲 厚

雲厚とは、大気中に発生した雲の厚さを言う。大気中に発生する雲の形は雲の量には関係ない。しかし、雲の厚さによって全天散乱日射量は大きく変わってしまう。つまり、太陽からの日射は雲によって散乱されてしまうからである。このために、全天散乱日射量は雲の厚さによっても影響されることを考慮して、本研究では雲厚を3段階(薄・中・厚)に分けたので個々の見方による誤差はまぬがれない。

## (3) 雲 量

空を占める雲の面積の全天に対する割合を雲量という。雲形あるいは層別の雲量を部分雲量、これに対して、すべての雲量を全雲量という。雲の重なりを考えるため部分雲量の和が常に全雲量になるとは限らない。

雲量を数量的に表すには、空に全然雲のない場合を0、隙間なく雲でおおわれている場合を10、その間を1～9までの階級に分ける10分法が用いられる。全雲量が1以下のときを快晴、2～8のときを晴れ、9以上を曇りという。

しかし、実際の観測では、0～10の10分法を10%おきに0～100%で表す。これは、全天を2等分か4等分してそれぞれの中の雲量を合計すればよい。例えば、2割と見たら雲量を20%とする。このように雲量は、目分量で表すので、人によって±10%程度の誤差はまぬがれない。

## (4) 視 程

視程は、距離を正確に表すのが最も良いが、通常は適当な目標物が得られないことが多い。したがって観測が困難な場合が多いので表1のように、視程階級表によって視程の目標を定め、視程階級によって視程を測定した。(Mapion 地図データ参照)

表1に本校で定めた視程階級表に対する指標物およびその推定距離を示す。

表1 視程階級



図2 本校～一宮ツインタワー (17.3km)

視程階級	気象学で定めた視程の距離範囲	本校で定めた指標物	距離
0	50m未満	本校隣の南校舎から北校舎	50m
1	50m以上 200m未満	本校北側先端の校舎	80m
2	200m以上 500m未満	建物A	366m
3	500m以上 1000m未満	工場の看板	631m
4	1km以上 2km未満	B学校校舎	1.5km
5	2km以上 4km未満	C学校校舎	2.8km
6	4km以上 10km未満	D駅	4.5km
7	10km以上 20km未満	ツインタワー	17.3km
8	20km以上 50km未満	伊吹山	36.5km
9	50km以上	伊吹山の鉄塔、配電線	50km

## (5) 天 候

天候は前述のように雲量と関連づけられる。種類と説明は、表2に示す。

表2 天候の種類

種類	説明
快晴	雲量が10%以下の状態
晴れ	雲量が20%以上80%以下の状態
薄曇	雲量が90%以上あって積雲、積層雲または、積層雲が見かけ上最も多い状態
曇り	雲量が90%以上であって高積雲、高層雲、乱層雲、層積雲、層雲、積雲または、積乱雲が見かけ上最も多い状態
煙雲	煙霧、ちり煙雲、黄砂、煙もしくは降灰があつてそのため視程が1km未満になっている状態または視程が1km以上であつても全天が覆われている状態
霧	霧または、氷曇があつてそのため視程が1km未満になっている状態
霧雨	霧雨が降っている状態
雨	雨が降っている状態
雪	雪、霧雨または、細氷が降っている状態

(6) 気象観測項目について (表3、表4)

本研究における観測項目としては、8時、10時、12時、14時、16時に視程、雲量、雲厚、天候、雲の種類と太陽光発電設備の発電電力量の測定を行った。

(気象観測開始日は、平成22年4月19日(月))

表3 気象観測記録用紙 (No.1)

日程	観測時間	天候	気温℃	太陽光発電システム		雲種類	雲量0~100	日差(有/無)	視程0~9	雲の厚 厚・中・薄
				現在電力[kw]	本日電力量[kwh]					
4/19 (月)	:									
	:									
	:									
	:									
	16:00	曇り		2.1	53.2	乱層	100	無	7	
4/20 (火)	8:00	雨		0.6	0.5	層	100	無	4	厚
	10:00	雨		0.9	1.7	層	100	無	4	厚
	12:00	雨		0.6	4.2	層	100	無	4	厚
	14:10	雨		1.5	5.9	層	100	無	4	厚
	16:00	雨		0.0	7.5	層	100	無	4	厚

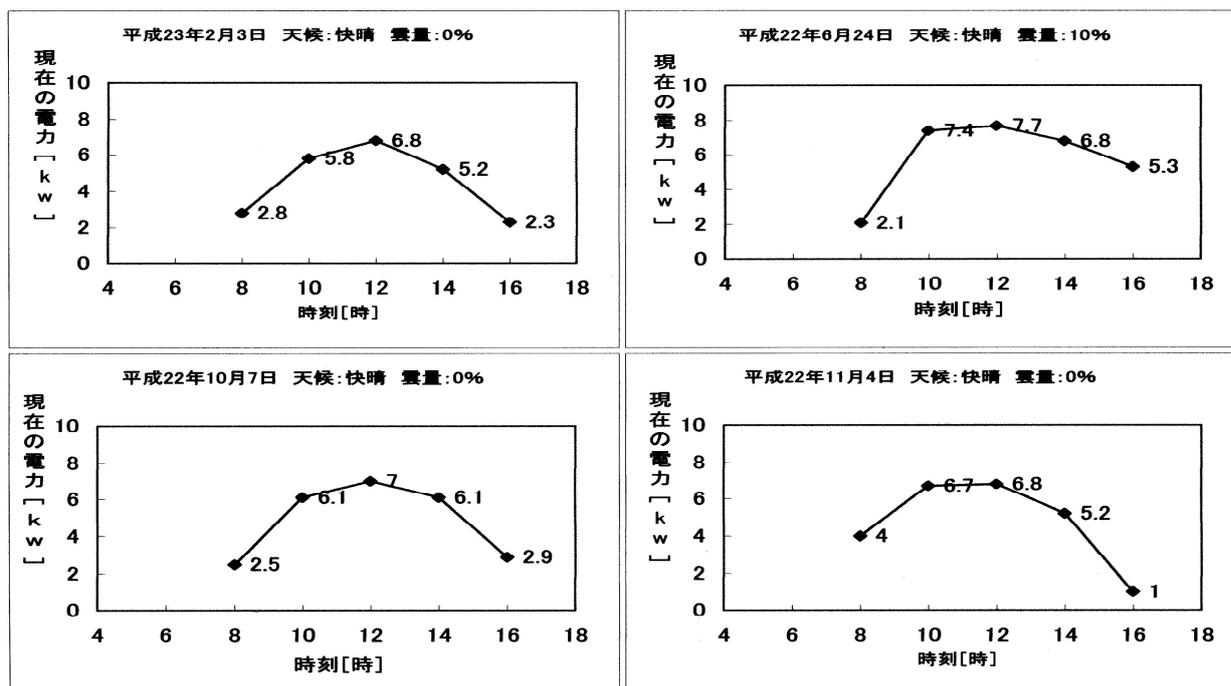
表4 気象観測記録用紙 (No.2)

日程	観測時間	天候	気温℃	太陽光発電システム		雲種類	雲量0~100	日差(有/無)	視程0~9	雲の厚 厚・中・薄
				現在電力[kw]	本日電力量[kwh]					
4/30 (金)	8:00	晴れ		4.8	5.6	層	60	有	6	薄
	9:30	晴れ		6.9	12.8	層積	70	有	6	厚
	11:30	曇り		3.1	23.8	積	80	無	6	厚
5/6 (木)	8:15	曇り		1.7	2.9	層積	100	有		中
	12:00	晴れ		5.3	18.2	積	90	有		厚
	14:00	晴れ		7.6	29.7	積	40	有	7	中
	16:00	曇り		0.7	38.5	層積	80	無	7	厚

5 気象条件や時刻との関係

太陽光強度は晴天、曇天、雨天などにより著しく変化するので、発電能力もそれに従って変化することがわかった。少々の雨や曇り空でも拡散光によってかなり電力は得られた。

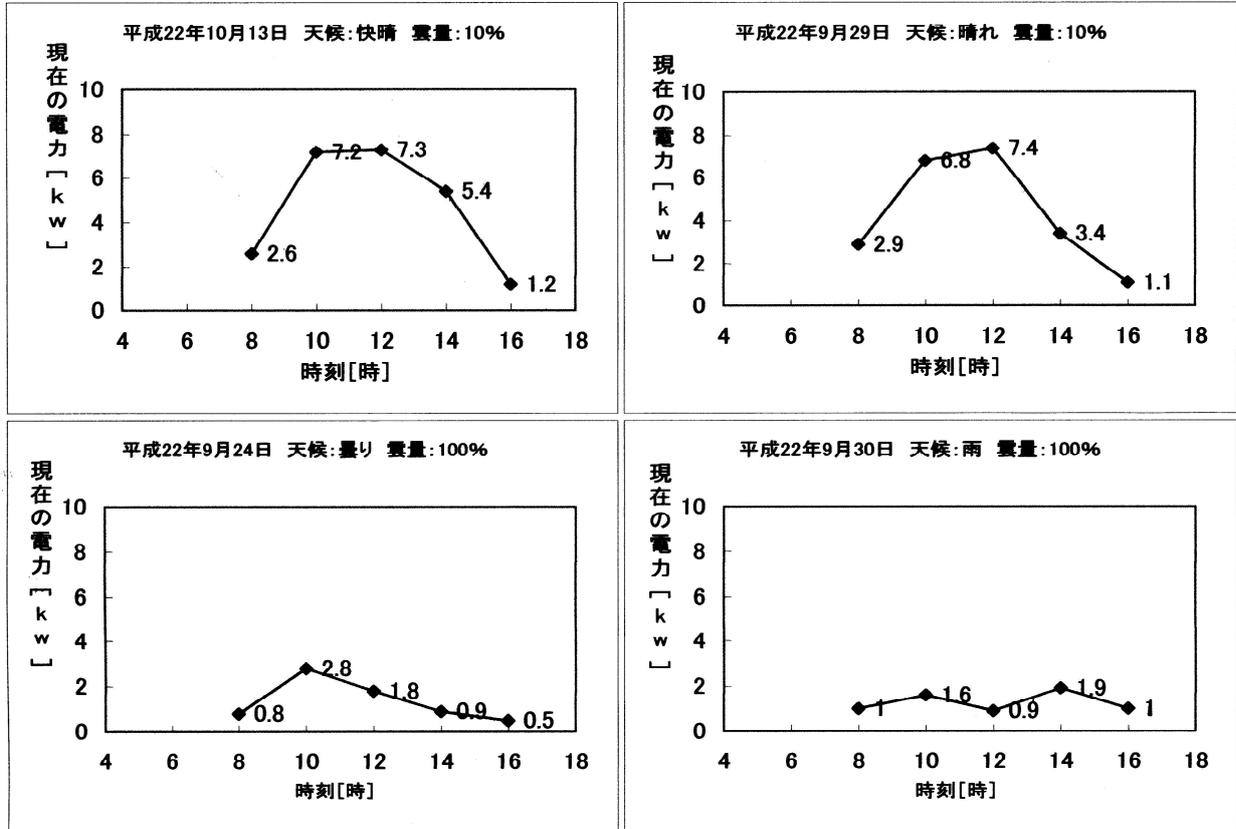
また、時刻によって光の入射方向が変化するとセル出力も変化する。入射方向がセル平面に垂直のときが最大で、同一面方向の時刻が最低になる。このことから本研究の結果、正午前後が最大出力になることがわかる。以上のことを図にして示す。



## 6 電力量と雲量との関係

平成22年4月から平成22年12月までの1年間で、快晴、晴れ、くもり、雨の日の天候をそれぞれ抜き出して1日の時間（8時、10時、12時、14時、16時）の経過に対する電力量 [kw] の変化を示したものである。

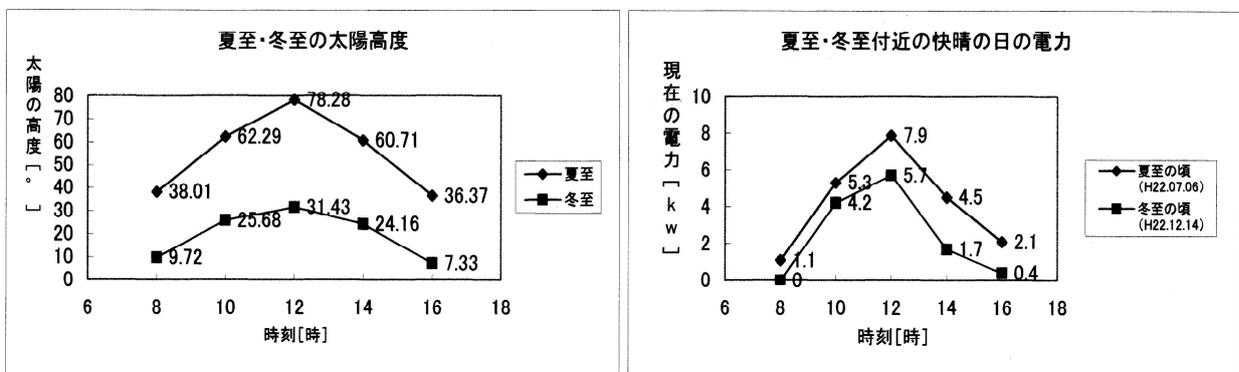
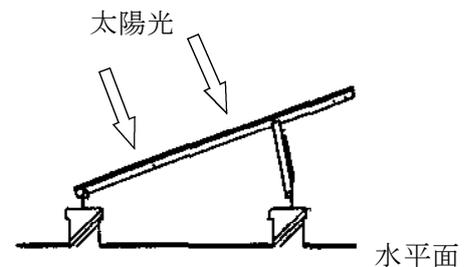
太陽電池は、快晴、晴れ、くもり、雨などにより大きく変化するため、発電能力もそれに従って変化することがわかる。



## 7 太陽の角度と発電量との関係

太陽光パネルは、受光面に受ける日射量に応じて発電量が変化するので、太陽光パネル面に対して、直角に太陽光が当たる水平面より、20度に設置され、南方向に設置されている。

そこで、本研究では季節ごとの太陽の日周運動が異なる夏至・冬至に注目をし、太陽の角度と太陽光パネルの発電量について考えることにした。



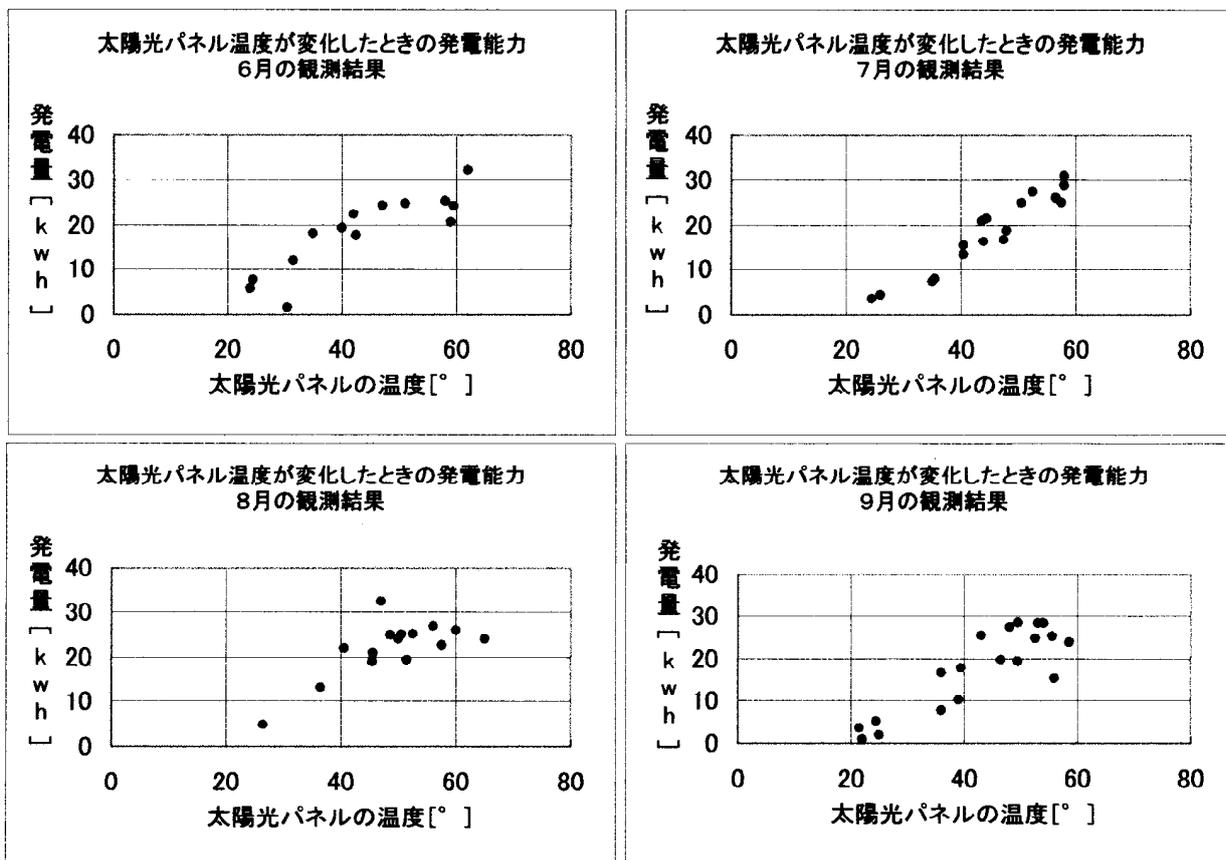
夏至（6月21日）は、一年で太陽の南中高度がもっとも高く、昼がもっとも長い日である。本校での南中高度は78.3°である。また、冬至（12月22日）は、一年で太陽の南中高度がもっとも低く、昼がもっとも短い日である。本校での南中高度は31.4°である。

季節によって太陽光発電量が違うのは、太陽の日照時間と太陽の高度の関係であることが理解

できる。太陽光パネルの面積に当たる日光の高度が高いときと低いときを比較すると太陽の高度が高いほうが日光が多く当たる。観測結果から太陽の高度の違いにより、発電量に大きく影響すると考えられる。

#### 8 太陽光パネルの温度が変化したときの発電能力

今回の研究では、平成23年6月からパネルの表面温度の測定を行うことにした。なぜなら平成22年度の1年間のデータを分析してみると、夏の暑い日に、太陽に照らされた太陽光発電量が一番高いと認識していたが、発電量が低くなっていたことから太陽光パネルの表面温度が関係しているのではないかと思い、観測項目を増やして実施した。観測結果は以下の図にして示す。



観測結果から夏の暑い時期には、太陽に照らされた太陽光パネルの表面温度は約50℃付近で電力量が最大になるピークがあるように推察された。

#### 9 太陽光パネルに関するデータについて

今回の研究では、前述したが発電量が、気温、太陽高度、照度などで変化することがわかった。今回の計測では、生徒と一緒に、太陽光発電の発電量の観測を行ったが、まだまだ観測データが不足しており、確かな結論が出せるに至っておらず、今後もデータ収集して考察していく必要があると考えている。

また、生徒と一緒に、太陽光発電についてデータ収集を行ってきたが、その過程で生徒が太陽光パネルの仕組みについて理解が足りないと感じたため、その理解を高める目的で、次のような安価で簡単に作ることができる色素増感太陽電池の製作を行うことにした。

#### 10 色素増感太陽電池の製作

現在、日本は地球温暖化が進んでいく中、化石燃料の使用を減らして、再生可能エネルギーの導入が進んでいる。学校でもさまざまな場面で「環境」や「エネルギー」について学習するようになってきた。そこで、安価で簡単に作ることができる色素増感太陽電池に注目をした。この色素増感太陽電池は、花や果物などの色素を利用して発電する仕組みとなっているため有害な排出物もなく、現在世界中の企業などが実用化に向けて研究・開発している太陽電池でもある。以下にその製作過程を示す。

##### (1) 酸化チタンペーストの調整

導電性ガラスを用意して、写真8のように酸化チタンを塗るが、酸化チタン粉末をペースト

状にする。(写真7) ここでは3グラムの酸化チタンを使用するが、少量の酢酸を入れることによって酸化チタンが良く分散されて良いペーストができる。また、粘度が下がり塗布しやすくなった。



写真7 酸化チタンを混合

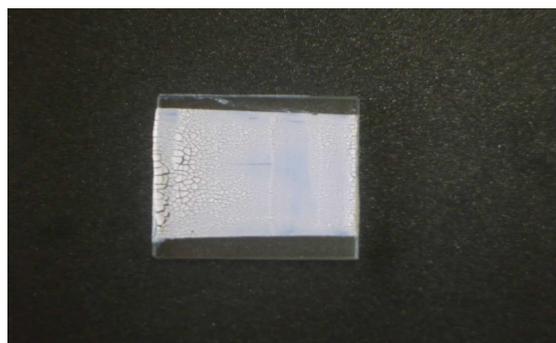


写真8 酢酸を混合しない状態

(2) ガラスへ酸化チタンを塗布する (写真9、写真10)

色素増感太陽電池の製作で最も重要な工程になる。

ア 導電面を上にしてテープを用いてマスキングする。

イ 塗布面がきれいになるように、心掛け手前の方からガラス棒で向こう側へ押し出す。



写真9 マスキング

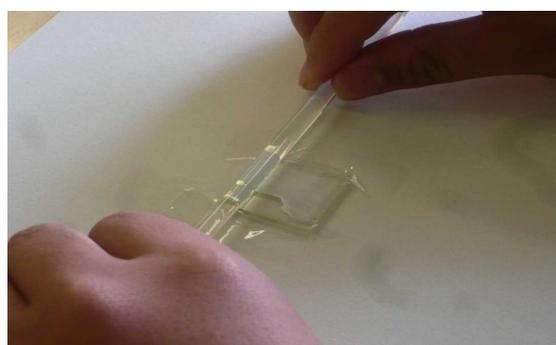


写真10 ガラス棒で塗布

(3) 焼成 (写真11)

焼き始めると、すぐに全体の色が茶色に変わっていく。さらに焼くと茶色から濃い茶色へ変わり、煙が発生するが、そのまま温度を上げていく。5～10分が経過し、温度上昇に伴い酸化チタン電極の色は元の白色にもどったところで焼成は終了する。



写真11 焼き付け

(4) 酸化チタンの染め方

今回の実験では、写真12のようなハイビスカスティーを使用することにした。酸化チタン膜が上向きになるように入れる。(写真13)



写真12 ハイビスカスティー



写真13 色素吸着

(5) +電極（陽極）の製作（写真14）

+（陽極）の準備をする。負極と同じ大きさの導電性ガラスを用いる。このガラスの導電面に2B～4Bの黒鉛（鉛筆）で黒く塗り黒鉛をつける。

(6) オープンセルの作成（写真15）

-（負）極（酸化チタンを塗布し色素で色をつけた電極）と+（陽）極（鉛筆で黒鉛を塗った電極）が揃ったら、電極同士をクリップで止めて測定を行った。



写真14 炭素膜の製作

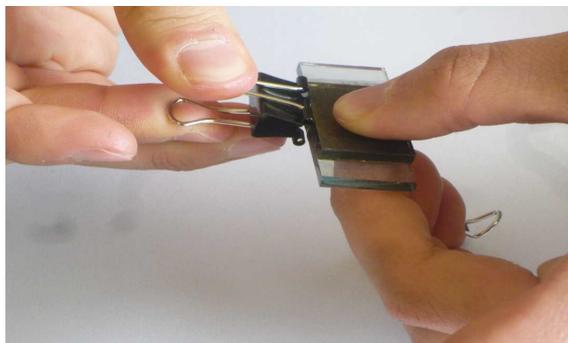


写真15 クリップで固定

(7) 測定結果（写真16）

+電極にテスターで測定したところ、直流電圧0.25V～0.3Vの値が測定することができ、直流電流は0.4mA～0.5mAの値を測定することができた。

11 太陽光発電の研究成果発表

(1) ものづくり体験学習（写真17）

北名古屋市の主催で小中学生対象ものづくり体験学習を行った。

講義の内容は、太陽光発電の仕組み、色素増感太陽電池の製作過程について説明して、太陽光から電気が発生する原理を解説した。

また、ものづくりにおいては、簡易モータの製作を行った。回転した瞬間、子供たちが大変喜んでくれた。このことで本校の生徒たちは、ものづくりの大切さ、まとめたことを自分なりに工夫して表現し、自分の意見も含めて発信することの難しさが分かった。

(2) AITサイエンス大賞（写真18）

愛知工業大学主催で開催され、このサイエンス大賞は、理数科教育の危機が叫ばれている折から、青少年の科学への興味・関心を喚起するとともに、科学技術立国を支える人材を育成することをねらいとしている。日頃の理科クラブ・科学クラブ・課題研究等の成果を発表する場である。

自然科学部門14校19テーマ、ものづくり部門15校18テーマの発表があり、本校はものづくり部門に参加した。

午前中は、製作過程や苦労したことなどをまとめステージ発表を行った。午後からはブースにおいてパネル展示発表を行った。大学の先生や学生、他校の高校生、その他一般の人から、主に炭素膜の濃さ、色素濃度、素材などに関する質問を受けた。生徒たちの一生懸命取り組んでいる様子は、普段学校では目にすることがない姿であり、その頑張りでもって努力賞を受賞した。

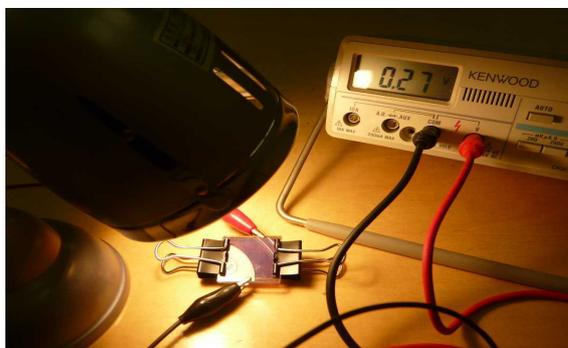


写真16 動作確認



写真17 ものづくり体験学習



写真18 AITサイエンス大賞

## 12 おわりに

太陽光パネルが設置されたことで、太陽電池に対して興味・関心を持って研究することができた。このデータの収集によって、発電量が日射量に比例して、日射量の多い季節に発電することが理解できた。しかし、真夏、太陽の高度が高く太陽光パネルの温度が上昇すると、発電量は減少した。また、パネルの温度上昇の関係や設置角度によって、最適な発電効率が発揮できる季節が異なることもわかった。これからも変動する原因を考え、発電量の予測ができるようにするために、諸条件と発電量の関係のデータの観測がより一層重要になってくると考えている。

また、太陽光パネルの発電効率のこと、自然エネルギーの研究を理解させるために、色素増感太陽電池を製作して、発電原理について理解させることができた。

今回は、原理の理解のために色素増感太陽電池を製作したが、今後は、この太陽電池を用いて条件設定を行い、太陽光パネルと同様の実験計測に繋げていければと考えている。

最後に、これらの研究結果を北名古屋市の小中学生対象ものづくり体験学習講座（写真17）や愛知工業大学主催のA I Tサイエンス大賞（写真18）において、太陽光発電や色素増感太陽電池の製作に関する研究発表を行い、地域貢献活動にも参加して理解を深めることもできた。これからも、ものづくりを通して、生徒に達成感やその製作過程で起きた問題を解決していく楽しさ・面白さを体験させるとともに、プレゼンテーション能力が高められるよう、より充実した教育活動を推進していきたい。

そのような機会を与えて頂いた愛知県立佐織工業高等学校関係職員および生徒諸君にこの場を借り感謝申し上げます。

### 【参考文献】

太陽電池〔改訂版〕	谷 辰夫 編	パワー社
色素増感太陽電池を作ろう	若狭 信次 著	パワー社
広がる広がれ 太陽光発電	C E L C	西田書店