

## シリコン太陽電池の特性とその利用(その2)

駒野庄平<sup>1</sup> 白石正夫<sup>2</sup> 新保暢一<sup>3</sup>

シリコン太陽電池を光電エネルギー変換器として学習に利用するには、何個かを連結して使用する必要がある。この研究は、その連結方法と出力特性を調べ、その結果を基に、最小限の個数で最大の効果を上げる実験法を追求し、とくに、照度比較器や赤外線検出器と共用できる装置を試作し、それとカドニカ電池、改造モーターの組み合わせによる実験を検討している。

### 1 はじめに

前報<sup>1,2)</sup>では、シリコン太陽電池素子の特性、および、その特性を照度比較器やエネルギー変換器として利用する原理的方法について報告した。その後、筆者らは、中学校2年生の「光とエネルギー」の単元で、この素子を実際に使用してみて、これがこの単元の学習指導に変革をもたらすものであるという認識を得たが、一方、具体的な使用法には、多くの問題があることも明らかになった。<sup>3,4,5)</sup>

とくに、エネルギーの転換量を具体的に測定する学習を組むには、太陽電池の出力特性が、照度と負荷の両者によって変わることなどの条件が複雑にからみ、多くの問題点がある。この報告は、それらの問題点を明らかにするとともに、この太陽電池を、異なる学習場面で、何回も使用することをめざし、そのための新しい装置を提案し、使用例について述べる。

### 2 太陽電池素子の組み合わせ特性

#### (1) 組み合わせ電池の出力特性

Si 素子の開放電圧は約 0.45 V、出力はたかだか 0.1 Wにすぎない。したがって、エネルギー変換の実験には、何個かの素子を連結する必要がある。

図1に、明るさ一定の場合に、直・並列につなぐ素子の数によって、出力特性が変化の様子を示した。前報にも一部述べてあるように、直列につなぐ数が増した場合は、開放電圧は高くなるが、短絡電流は増さない。また、並列つなぎでは、開放電圧は変わらず、短絡電流が増す。

この特性を基にして、Si 素子の連結数を決定する必要があるが、われわれは一般的な電気器具の使用電圧が 1.5 V以上であることを考慮して、素子4個直列つなぎを基本

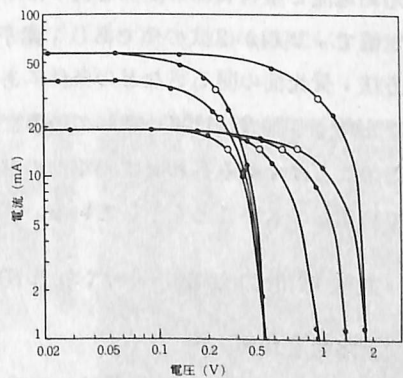


図1 組み合わせ太陽電池の出力特性

組み合わせとし、必要な電流容量に合わせて、並列の列数を増すのが合理的であると考えた。したがって、以下に述べる実験は、4個直列つなぎを最小组み合わせ単位としてある。

(2) 組み合わせ電池の負荷特性

太陽電池の出力は、負荷の大きさにより変化する。図2は、照度一定の条件で、負荷抵抗の大きさと、組み合わせ電池の出力電圧・電流の測定結果、および、それから算出した出力の一例を示したものである。出力が最大となる整合負荷は、並列つなぎの個数が多いほど小さい。また、記載しなかったが、直列つなぎの個数が多いほど整合値は大きい。

(3) 出力特性と整合負荷

図1の○印は、それぞれ組み合わせ電池の整合電圧電流点である。いま、その電圧、電流を  $V_Q, I_Q$  とすれば、この比が整合負荷  $R_Q$  であり、その値は開放電圧  $V_{oc}$  と短絡電流  $I_s$  の比で近似できる。すなわち

$$R_Q = \frac{V_Q}{I_Q} \doteq \frac{V_{oc}}{I_s} \dots\dots\dots (1)$$

である。また、開放電圧は直列につなぐ素子の個数  $N$  によって決まるので、素子1個の開放電圧を  $0.45V$  とすると、 $V_{oc} \doteq 0.45N$  であるから、(1)式は

$$R_Q \doteq \frac{4.50N}{I_s} \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで  $R_Q$  は  $\Omega$ 、 $I_s$  は mA で示してある。

短絡電流と整合負荷の関係を図3に示した。○印は測定値で、実線が(2)式の値であり、素子の連結数や連結方法、受光面の明るさなどの条件にあまり左右されることなく、両者はほぼ一致している。

このことは、組み合わせ太陽電池の整合負荷を、(2)式で決定してよいことを示している。

3 太陽電池カセットとパネルの製作

(1) 太陽電池カセット

ここで使用している Si 素子は、前報と同じく小松電子金属KB-1型で、これは非常にろく破損しやすいため、保護用ケース(アクリル樹脂板)に収めた。このケースには、バナナプラグが取り付けられてあり、以下に述べるパネルや、照度比較器、赤外線検出器などの装置に容易に着脱できるよう配慮して

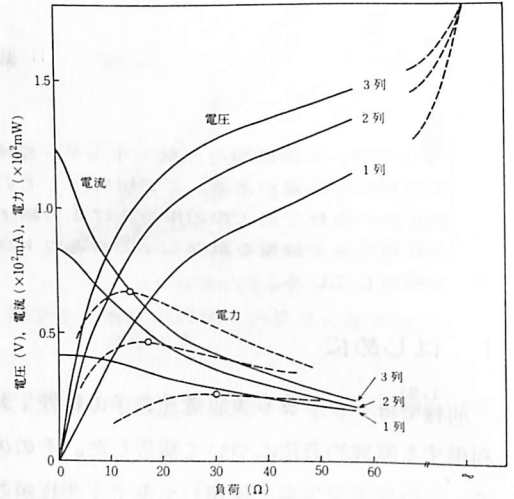


図2 組み合わせ電池の負荷特性

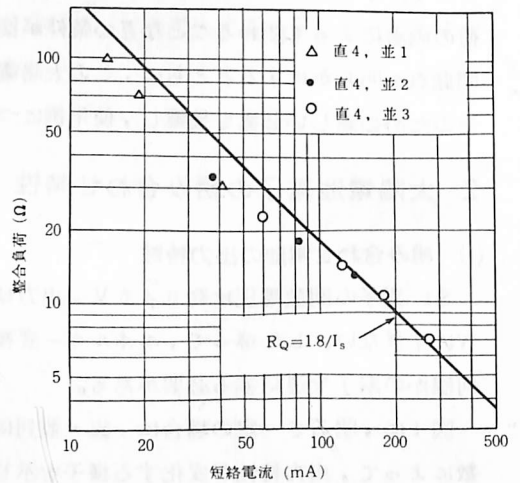


図3 短絡電流と整合負荷

ある。これを「太陽電池カセット」とよぶことにする。(図4参照)

## (2) 太陽電池パネル

太陽電池を光エネルギー変換器として学習に利用するためには、出力を増す必要がある。そのために、前項の「組み合わせ特性」で得られた結果に基づき、次の条件を満たすよう製作した。

- ① 4個直列を基本連結とする。(出力電圧1.5V以上)
- ② それを3列並列できる。(出力電流500mA以上)
- ③ 必要に応じ、連結法を簡単に変更できる。(裏面操作)
- ④ 前述の太陽電池カセットが使用できる。
- ⑤ 受光面の向きを変えられることができる。

図5に、太陽電池カセット12個をセットした太陽電池パネルを示した。なお、パネル材質はアクリル樹脂板である。

## 4 光・電気・力学エネルギー変換の実験

### (1) 実験装置

#### (a) 光・電気エネルギー変換系

光源としては、レンズ系を取りはずした幻灯機や100W電球2個を組み合わせたものを使用し、太陽電池には前述のパネルを用いた。

#### (b) 電気・力学エネルギー変換系

ここで用いる太陽電池パネルの出力程度で、効率よく回転するモーターは、あまり市販されていない。すなわち、市販の模型用モーターの巻線抵抗は $2\sim 3\Omega$ で、空運転時のインピーダンスは、およそ、その2倍程度で、 $8\sim 12$ 個の太陽電池にとっては、一般に小さ過ぎる。図2の出力曲線が示すように、負荷のインピーダンスは大きめの方が、整合しやすい。

そこで、われわれは、電機子の巻き線を巻き直し、巻き数を増す方法をとった。ここでは、マブチ

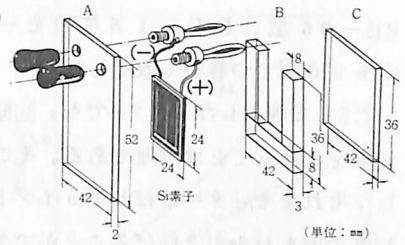


図4 太陽電池カセット

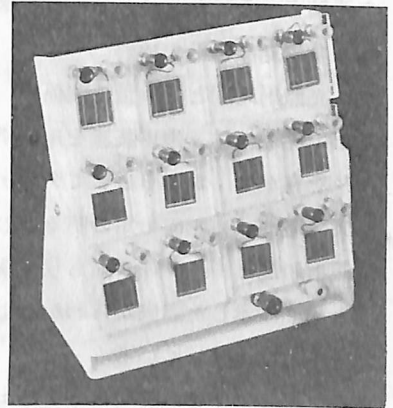


図5 太陽電池パネル

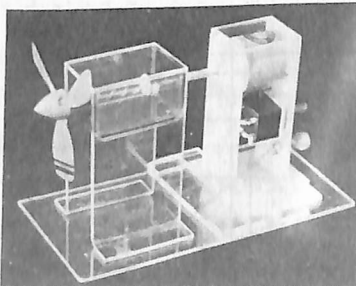


図6 ファン回転装置

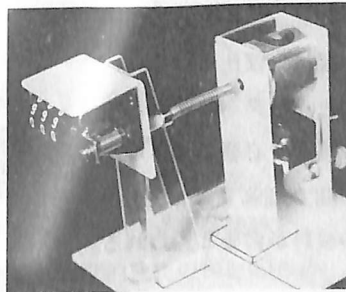


図7 回転計数機

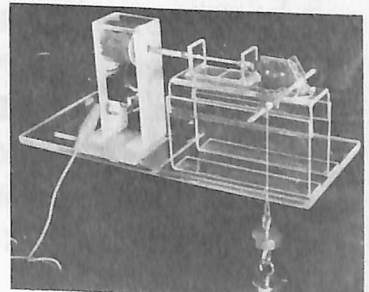


図8 エネルギー変換機

RE-36型とRE-15型のモーターの電機子に、直径0.15mmのエナメル線をそれぞれの極に200回ずつ巻いて改造した。

こうして改造したモーターでも、回転軸に直接糸を巻きつけ、10g以上のおもりを引き揚げるなどの仕事をさせることは困難である。そこで、図8に示したように、模型用の歯車を用いた糸巻き機を製作し、それをモーターとばねジョイントで連結し、回転するようにした。(100W電球の光で、300g程度のおもりを引き上げることができる。)

このモーターは、図6に示したファンや、図7の回転計数器と連結させることができるよう規格を統一した。

(2) 実験結果とその検討

(a) 照射時間と仕事量の関係

この実験では、歯車装置を用いず、直接にモーターの回転軸に糸を巻かせ、おもりとしてクリップを用いた。

太陽電池パネルに一定の明るさの光を照射し続けるとき、その照射時間とモーターがおもりを巻き上げる仕事の大きさの関係を図9に示した。図からわかるように、照射時間とモーターの仕事量は比例している。

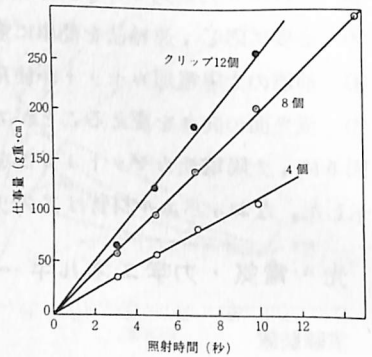


図9 照射時間とモーターの仕事量

したがって、この実験は、光のエネルギー輸送現象についてその量がJ/sとかcal/sの単位で示されるなどの学習に利用することができよう。

(b) モーターの荷重と仕事率

前述の図9には、モーターの荷重であるクリップの数を変えた場合も併記してあるが、荷重によりグラフの傾きが異なっている。このことは、効率が荷重により異なることを意味する。

そこで、おもりの重さと、それを一定の高さだけ引き揚げるに要する時間の関係を図10に示した。(効率も併記した)

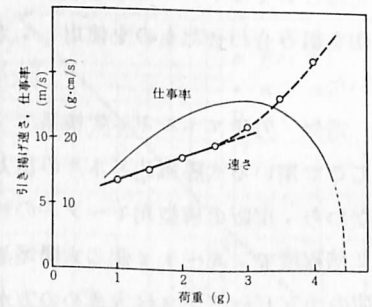


図10 荷重と引き揚げ時間、仕事率

荷重が小さい範囲では、グラフは直線となるが、原点を通らない。無負荷状態での糸の巻き揚げ時間を、それぞれの時間から引いてやると、荷重と引き揚げ時間はほぼ比例している。

しかし、図10の結果は太陽電池とモーターの総合特性であるので、「引き揚げる高さが一定の場合、必要なエネルギーは重さに比例することを、光の照射時間で追求する」などの学習課題を設定するには、まだ、多くの検討が必要と思われる。

(c) 明るさとモーターの仕事率

前述のように、太陽電池とモーターの総合特性は非常に複雑

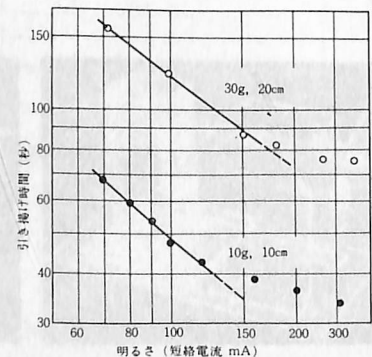


図11 明るさと引き揚げ時間

であるが、もうひとつ、明るさと仕事率の関係を図 11 に示した。ここでは、糸巻き装置に図 8 のものを使用し、30 g のおもりを 20 cm 引き揚げるに要する時間と、そのときの照度を短絡電流で測定した。(短絡電流は照度に比例する)

図では、明るいほど、引き揚げ時間が短いことを示しているが、きれいな反比例の関係にはなっていない。したがって、「明るさと光のエネルギーの関係を、モーターの仕事率で追求する」などの学習指導に利用するには、限界があろう。

## 5 光・電気・化学・力学エネルギー変換の実験

### (1) 実験装置と実験方法

この実験は、前記の太陽電池パネルとモーターの中間に、カドニカ電池(サンヨウ N 455AA)を挿入して、太陽電池の電力を、いったん蓄電池に充電し、それを短時間に放電して大きな仕事率を得ようとするものである。

ここでは、歯車を使ったエネルギー変換機、および、回転計数機を使用した。

### (2) 実験結果とその検討

太陽電池パネルから蓄電池に充電する時間と、その充電量を使いきるまでモーターが回る回転数の関係を図 12 に示した。

●印は太陽電池カセット 4 個直列 2 列並列に連結したパネルを使用した場合であり、○印は 2 列直列の場合である。

図 17 は、20 g のおもりを引き揚げる高さを、充電時間との関係で示した。

いずれの結果も、充電時間(照射時間)とほぼ比例する関係がえられている。太陽電池、蓄電池、モーターの 3 者の特性が、ちょうどうまく重なって、こうした単純な総合特性を示したものと考えられる。換言すれば、この一連の装置に入ってくる光エネルギーの量と、出ていく力学エネルギーの量の関係を、単純明りょうに示してくれる実験であといえよう。

なお、カドニカ電池の太陽電池による充電特性の例を図 14 の(a)に、また、回転しているモーター、および、過負荷状態で回転していないモーターによる放電電流の時間的変化の例を(b)に示した。

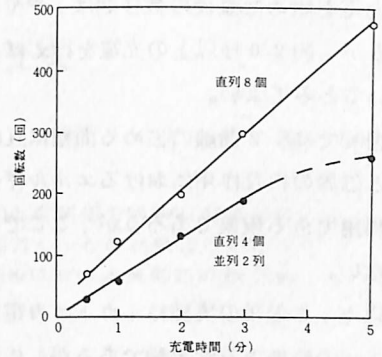


図 12 充電時間とモーターの回転数

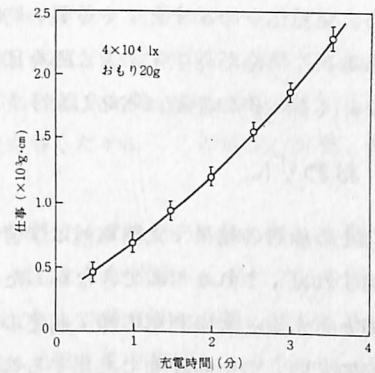


図 13 充電時間とモーターの仕事量

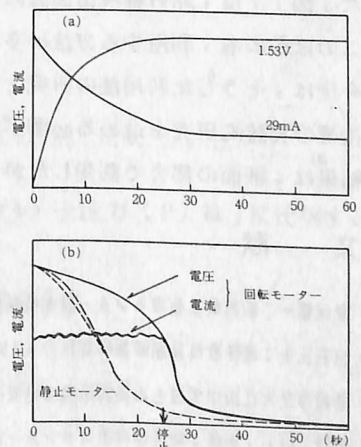


図 14 カドニカ電池の充・放電特性

充電を始めた直後の数秒間は、やや複雑な過渡特性を示しているが、約20秒以上の充電を行えば、充電量は時間に比例しているとみてよい。

図(b)では、2曲線の占める面積は互に等しくなっており、電流と磁界の相互作用におけるエネルギー的考察を進める学習にも利用できる現象であろうが、ここでは、これ以上深くは言及しない。

以上、この項の実験は、カドニカ電池による「化学エネルギー」への転換をみた実験であるが、生徒にとって、もっと感覚的に理解しやすい現象として、電解質溶液の電気分解が考えられる。定量化をめざすと、やや長い時間(1~2時間)が必要であるが、気泡が発生するところを印象的に演示することができる。(測定例の記載は省略した)

## 6 おわりに

以上の検討の結果、太陽電池は学習に利用できるし、また、利用すれば、これまでになかった新しい指導法が生まれるものとする。その利用の際、前述の趣旨から、太陽電池を多面的に、いくつかの場面で共用することを強調したい。

参考までに、太陽電池カセットを照度比較器としてセットした図を図15に、それを用いて測定した例を図16に示した。また、図17は、赤外線検出装置にセットした図である。

このほかにも、利用する方法は多くあることと思う。

今後は、そうした利用法の研究とともに、それらを用いた学習指導の実践的研究を進める必要がある。われわれの実践研究の結果は、紙面の都合で割愛したが、次の機会に報告したい。

## 文 献

- 1) 新保暢一：新潟県立教育センター研究集録理科研究編(2)(1974) 17
- 2) 白石正夫：理科教員長期研修修習報告(1973) 27
- 3) 新潟市立大江山中学校との共同研究：発表予定1976
- 4) 駒野，白石，新保：地区理科教育センター研修会テキスト(1974)
- 5) 新潟県立教育センター：理科教育現代化講座中学校第1分野テキスト(1974) 8
- 6) 林一雄：電気通信学会雑誌41(1958) 780

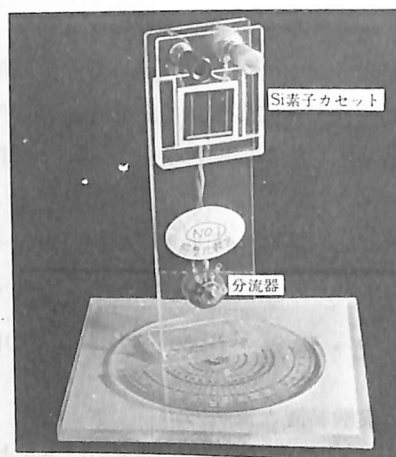


図15 照度比較器

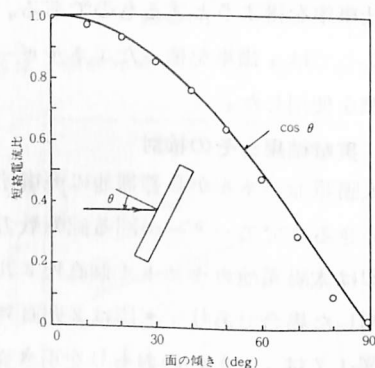


図16 面の傾きと明るさ

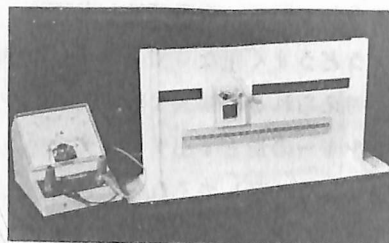


図17 赤外線検出装置