

# 太陽の熱エネルギーをつかまえろ

## ～地産地消型エネルギーの実現をめざして～

代表者氏名：高森 靖之

実験チーム人員：高森 靖之、藤田 伸哉、大永 啓介、山西 諒

所属：宇部工業高等専門学校専攻科1年

### 1. 諸 言

有史以来、人類は太陽から多大な恩恵を受けており、太陽なしでは人類の発展はおろか発生はなかったと言っても過言ではない。エネルギー的観点から太陽を考えると、太陽定数（地球大気圏表面の単位面積に垂直に入射する太陽エネルギー量）は約  $1 \text{ kW/m}^2$  であるとされ、地球全体が太陽から受け取るエネルギーは  $1.4 \times 10^{14} \text{ kW}$  に達する。地球に到達する太陽エネルギーをすべて利用することができれば、約 40 分間の太陽エネルギーで全世界の 1 年間の使用エネルギーを賄うことができるとされている。現在、我々が直面しているエネルギー危機を解決・改善するために、太陽エネルギーの有効利用に関する技術開発が改めて注目されている。特に東日本大震災以降、従来の電力会社に依存した中央集権型エネルギーから太陽エネルギーなどを利用した地産地消型エネルギーへのシフトチェンジを模索する動きが活発化している。太陽のエネルギーの中でも光エネルギーは太陽光発電という形で利用されておいる。一方で熱エネルギーを利用した発電はそれほど普及が進んてはいないが、エネルギー変換効率は太陽電池のそれよりも高いとの報告もあり、今後さらなる技術開発や普及が期待されている。

本実験では、太陽の熱エネルギーや光エネルギーの性能を検証し、地産地消型エネルギー実現の可能性を検討する。また、太陽の動きを自動的に追尾できる装置を作製し、太陽追尾機能がエネルギー回収効率に与える影響を調べる。

## 2. 太陽エネルギーを回収する（つかまえる）システムの概要

### 2.1 エネルギー回収装置

#### (1) 太陽炉

太陽炉は、太陽光を集光し高温を作り出す装置であり、凸レンズ等に光を通すことで光を屈折させ集光する屈折集光方式と平面鏡や凹面鏡等の反射板を利用して集光する反射集光方式がある。一般的に大型レンズは製造コストが高いため屈折集光方式はあまり利用されていない。反射集光方式には、反射板の形状などによっていくつかの種類があるが、本実験では小型化が容易なディッシュ型太陽炉を使用する。ディッシュ型太陽炉は、その名の通り皿型の凹面反射板で集光し、加熱を行うものである。ディッシュ型太陽炉はソーラークッカーやソーラーライターという形でも販売されている。図 1 に本実験で使用したディッシュ型太陽炉（ソーラークッカー）とその仕様を示す。



図 1(a)ディッシュ型太陽炉（ソーラークッカー、商品名：かるぴか）、  
(b)太陽追尾装置に装着したディッシュ型太陽炉

## (2) 太陽光発電

太陽光発電 (Photovoltaics、以下 PV) は、太陽電池セルを使用して太陽光を電力に変換する発電方式である。PV のメリットとして(1)エネルギー源が無尽蔵である、(2)クリーンでCO<sub>2</sub>等を発生しない、(3)メンテナンスが容易で耐用年数は20年以上である、(4)日照が確保できれば非常時でも発電可能である、などがある。このような特徴を持つ PV は、本実験の達成目標である小規模なエネルギー生産システムの構築とエネルギーの地産地消を実現する上での重要な手段の1つである。

## 2.2 太陽追尾装置

地球上で生活する我々にとって、太陽の位置は時々刻々と変化するものである。一例として、山口県宇部市における2012年の春分の日、夏至、秋分の日、冬至の太陽の方角に関する数値を表1に示す。まず、方位角(北を0度、時計回りを正方向とした場合の水平方向方角)を見ると、夏至の日の出は60.6度、日の入りは299.4度であり、その方位差は180度を優に超える。また、南中高度には夏至と冬至で45度以上の差が存在する。このように地球上の観測点から見た太陽の位置は1日あるいは1年の中で周期的に変化し、それに伴って太陽光の入射角度は様々に変化する。したがって、2.1に述べた装置のエネルギー回収効率が太陽光入射角度によってどのように変化するかを明らかにすることは重要である。それと同時に、太陽の位置を自動で検出し、その運動を追尾することでエネルギー回収効率を高める工夫も必要である。

本実験では、センサー、モーター、モーター制御装置からなる太陽追尾装置を用いて、太陽追尾機能がエネルギー回収効率に与える影響を調べた。

表1 2012年山口県宇部市の春分の日、夏至、秋分の日、冬至における日の出、日の入りの方角と南中高度

日付	日の出		日の入り		南中高度[度]
	時刻[時:分]	方位[度]	時刻[時:分]	方位[度]	
3月20日	6:18	89.6	18:26	270.7	56.4
6月21日	5:03	60.6	19:29	299.4	80.4
9月22日	6:02	89.1	18:11	270.2	56.4
12月21日	7:16	118.1	17:09	241.9	33.6

### 3. 太陽エネルギーの回収実験

#### 3.1 太陽熱エネルギーの回収

##### (1) 実験方法

ディッシュ型太陽炉を用いたエネルギー回収実験を行った。具体的には、図 1 に示したディッシュ型太陽炉の中心部（図 1 の矢印で示す位置）に 1000ml 程度の水を設置し、ディッシュ部を太陽に正対させる。この水の温度の経時変化を K 型熱電対で測定し、AD 変換機とデータロガーを用いて PC に記録した。以上の実験を 11 月と 12 月の晴れの日を選んで実施した。実験日として 11 月と 12 月を選んだ理由は、この時期は 1 年の中でも最も日照時間が短く太陽の高度も低いことから太陽炉にとっては不利な条件にあるためである。1 年間を通じて太陽炉を活用するためには、このように不利な条件下での性能を評価することが必要である。

##### (2) 実験結果

図 2 は、実験を行った 2012 年 11 月 18 日と 12 月 4 日の宇部市における気象データ（気象庁 [HPhttp://www.jma.go.jp/jma/index.html](http://www.jma.go.jp/jma/index.html)）である。

まず、11 月 18 日は、快晴で風も穏やかで、日中は“少し寒い”と感じる日であった。このような気象条件の下では、ディッシュ型太陽炉を用いて、20°C の水 500ml であれば 20 分程度で完全に沸騰させることができることを確認した。また、ディッシュ型太陽炉中心部に木片等を置くことで容易に火種を作ることができることを確認した。

一方、12 月 4 日は雲が多く、比較的強い（風速 5m/s 程度）風が断続的に吹き続ける“かなり寒い”と感じる日であった。このような気象条件下で PM12:20（実験開始時の外気温度：5°C、初期の水温：20°C、水量：300ml）から行った実験より得られた水温の経時変化を図 3 に示す。図 3 に示すように、ディッシュ型太陽炉に設置した水温は時間の経過とともに上昇していることが分かる。一方で図 3 に矢印で示すように、温度の停滞や生じる時間帯もある。①、②で示す時間帯の温度停滞の原因は雲で日照が遮られたことに起因しており、③で示す時間帯の温度停滞は、一時的に強い風が吹いたことに起因している。また、約 23 分で 90°C まで水温は上昇したが、この後は太陽が雲に覆われてしまったため実験の継続ができなかった。

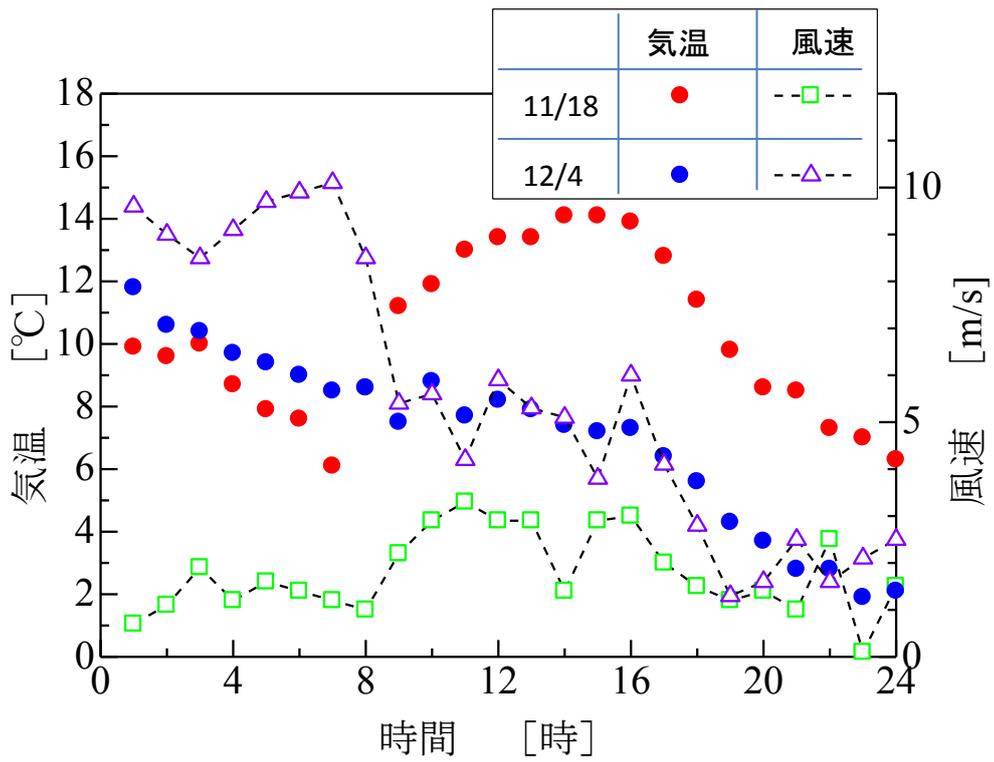


図2 実験日の気象条件

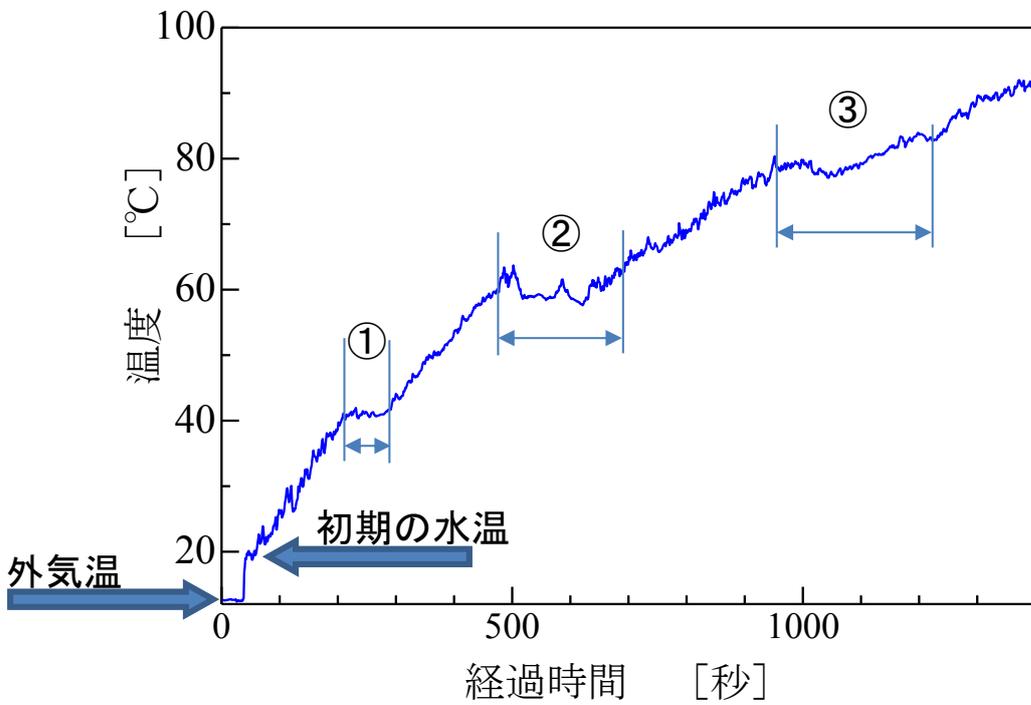


図3 ディッシュ型太陽炉による水の加熱実験結果

### 3.2 太陽光エネルギーの回収（太陽追尾の効果検証）

#### （1）実験方法

まず、太陽電池の発電能力を調べた。実験に使用した太陽電池は単結晶シリコンモジュールで、モジュール寸法は  $378 \times 430 \text{ mm}$  である。この太陽電池を電流、電圧測定回路に接続し、可変抵抗器を用いて抵抗値を変化させ、電流と電圧の値を測定した。

次に、太陽電池の発電量に与える太陽追尾機能の効果を調べた。まず、水平方向と高さ方向の2軸制御が可能な太陽追尾装置に太陽電池を装着した実験装置を作製した。図4が実験装置の外観図である。なお、この実験は上述した可変抵抗器の抵抗値を  $0 \Omega$  として実施した。この実験装置を用いて水平方向、高さ方向のいずれにおいても太陽の動き自動追尾し、太陽電池表面に対して垂直に太陽光が入射する条件で太陽電池の発電量の経時変化を測定した。この実験を追尾式実験とよぶ。また、比較のために水平方向は南向き、高さ方向は  $45$  度に太陽電池を固定し、同様の測定を行った。この実験を固定式実験とよぶ。

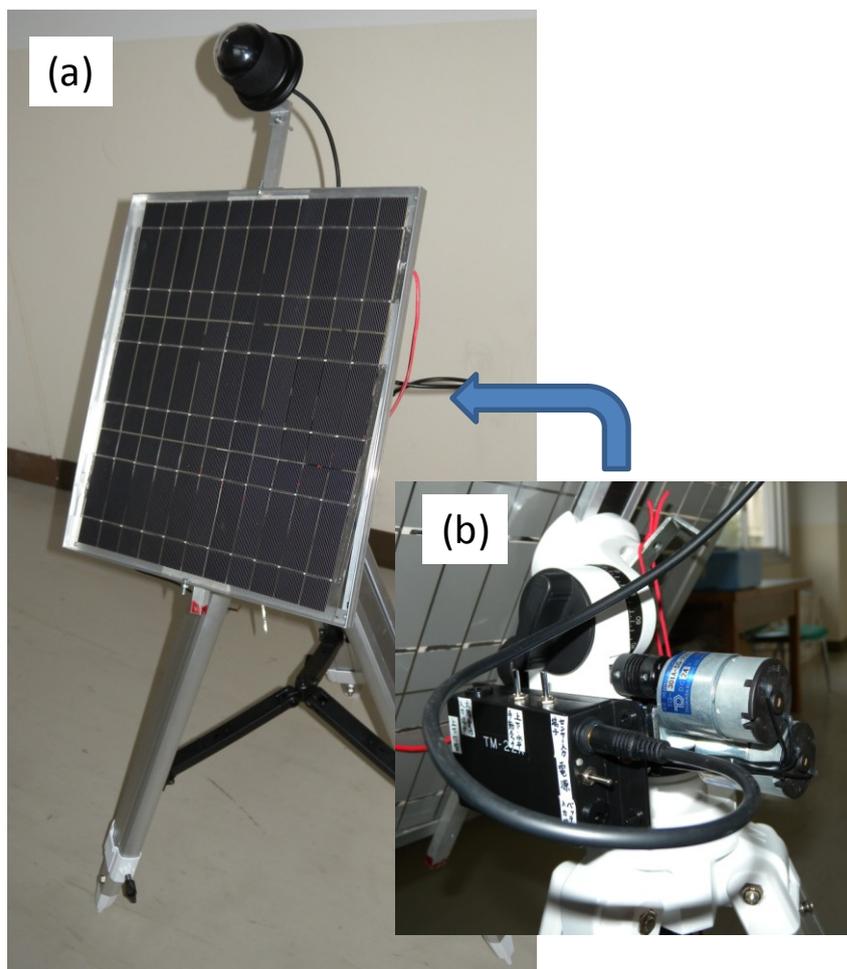


図4(a)太陽追尾型太陽発電装置、(b)太陽追尾装置駆動部（商品名、TM-2ZX）

## (2) 実験結果

図5は実験に使用した太陽電池の  $I-V$  特性である。太陽電池に接続する抵抗の値を変化させると、電流と電圧の値は図5の曲線に沿って変化する。図6は追尾式、固定式実験より得られた時間と発電量の関係を表している。図5に示すように、追尾式、固定式いずれの実験においても時間の経過とともに発電量は単調に減少している。また、追尾式では固定式に比べてこの発電量の低下が緩やかであり、太陽追尾の効果が顕著に表れている。14:30から15:00までの総発電量を求めると、追尾式では0.7 Wh、固定式では0.5 Whであり、この30分で約1.5倍の発電を行うことができることが分かった。

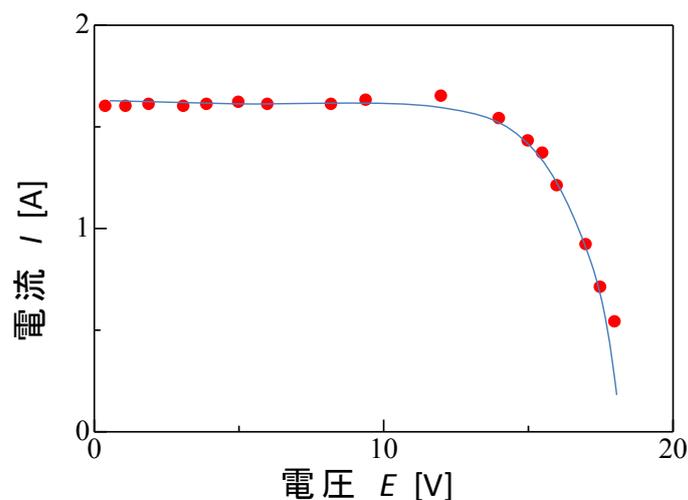


図5 実験に使用した太陽電池の  $I-V$  曲線

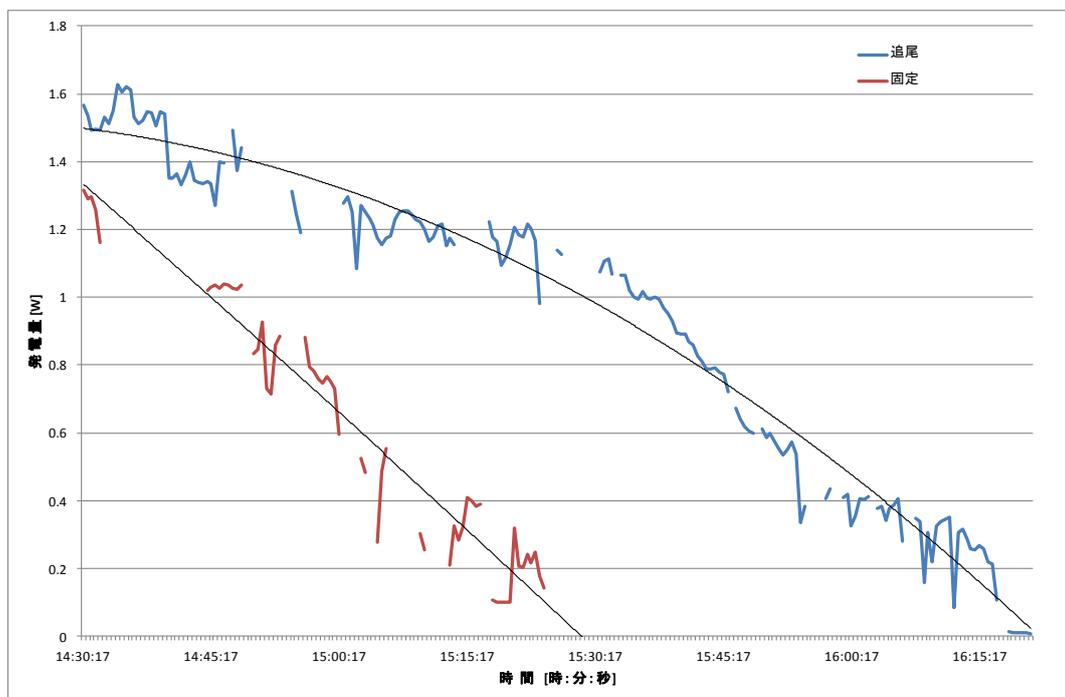


図6 太陽光発電に与える太陽追尾機能の影響

## 5. エネルギー回収効率について

### (1) ディッシュ型太陽炉

水温が  $T_1$  から  $T_2$  まで上昇した際に質量  $m$  の物質に与えられた熱量  $Q$  は次式で求めることができる。

$$Q = mc(T_2 - T_1)$$

ここで、 $c$  は物質の比熱[cal/(g・K)]である。水の比熱を 1[cal/(g・K)]として、図 3 に示した水温が 20℃から 90℃まで上昇した間にディッシュ型太陽炉によって水に与えられた熱量は、21 kcal である。この値から求めたディッシュ型太陽炉単位面積当たりの仕事率は、0.13 kW/m<sup>2</sup> であり、太陽定数を 1 kW/m<sup>2</sup> と考えると、その効率は 13%であった。

### (2) 太陽電池

図 5 に示した  $I-V$  特性よりこの太陽電池の最大発電量を計算した結果、およそ 20 W であった。したがって、この太陽電池の単位面積当たりの仕事率は 0.12 kW/m<sup>2</sup> であり、太陽定数を基準に求めた効率は 12%であった。

以上より、ディッシュ型太陽炉のエネルギー変換効率は太陽電池のそれよりもわずかに高い値であることが分かった。

## 6. まとめ

本実験では、ディッシュ型太陽炉と太陽電池を用いて太陽のエネルギーを回収に関する性能評価を行った。また、太陽追尾機能の効果について検討した。

(1) ディッシュ型太陽炉を使用することで、太陽光の照射という条件だけを満たせば、容易に水を沸騰させたり、火種を作ったりできることを確認した。ディッシュ型太陽炉は小型化が容易で、持ち運びも可能であることから、アウトドアや非常時など様々な場面で活躍することができる。

(2) ディッシュ型太陽炉は太陽電池よりも効率よくエネルギーを変換できる。

(3) 太陽の動きを追尾することで、エネルギー回収効率を高めることができる。