

事業報告

友の会科学クラブ活動報告
巨大ソーラークッカーの製作と実験

黒瀬康正*・藤本光章**・田中昭夫*

A Science Club activity report of “The production and experiment of Big Solar Cooker”
Yasumasa Kurose, Mitsuaki Fujimoto, Akio Tanaka

ABSTRACT Members of Science Club (of Ehime Science Museum) constructed a Big Solar Cooker. The Cooker consists of a large parabolic reflex mirror to collect the solar heat and a support to lay it at the focal point. This report describes the method of fabrication and the experimental results.

はじめに

太陽のエネルギーは身近なエネルギー源であり、洗濯物の乾燥、干物、ビニールハウス、温水器、太陽光発電などいろいろな利用がなされてきた。このエネルギーには、地球上どこにでもあり、エネルギー密度が希薄で家庭用などの小規模の目的には便利だが、工業用などの大規模な利用には不向き、枯渇しない¹⁾などの特徴(押田勇雄, 1990)がある。

そのエネルギーを利用したもののなかに太陽の熱を集めて調理を行う「ソーラークッカー」なる装置があり、今回科学クラブ版ソーラークッカーを製作した。活動を行った部員を表1に記す。また、すべて手作りをして性能まで調査した。今から作りたい人にとって私たちのノウハウが何か新しいヒントになれば幸いである。

友の会科学クラブ	氏名	
部長	田中 昭夫	
世話役	藤本 光章	
部員	鴻上 和典	弓山 彬
	鴻上智保子	弓山 美希
	鴻上 駿	弓山 利美
	鴻上 翠	渡辺 真衣
	神野 裕之	渡辺 有紀
	高橋 稔	渡辺 由美
	立石 康	黒瀬 綾美
	西田麒一郎	黒瀬 真由美
	西田祥太郎	黒瀬 芳香
	西田智香子	黒瀬 康正

表1 科学クラブ ソーラークッカー製作者

本稿は、愛媛県総合科学博物館友の会科学クラブにおいて2000年4月から2003年3月にかけて行った、ソーラークッカー製作の詳細と性能を調べた実験結果の報告である。

製作と実験を行うにあたって

ホットケーキやたこ焼きが焼ける程度の火力が得られるソーラークッカーを作ることを目指し、効率40%²⁾を目標とする。

太陽から得られるエネルギーの量と強さは太陽常数³⁾から求めることができる。地表面では、晴天の日に太陽光線に直角な面積1m²あたりに約860Kcal/hの熱量が得られる。この数値は家庭用の電子レンジの「強」と同等である。

愛媛県総合科学博物館がある新居浜市は、全天日射量⁴⁾の年平均値の分布が340cal/cm²/day、日照時間⁵⁾の年平均値の分布が2,200hour/yearある全国でも最も太陽利用に適した地域の1つである。

従って、ソーラークッカーで得ることのできる目標熱量、即ち出力を、地上面での太陽のエネルギー860Kcal/h/m²の40%と受光面積から、1,080Kcal/hとする。

今回は、反射鏡タイプを選定した。太陽光線はパラボラ型の反射鏡により反射し、収束光が鍋の底を直接照射する。能力は反射鏡の面積と反射率で決まる。太陽を追尾して適宜角度調整をする手間が必要であるが、高効率を得られる主流のタイプである(クリーンエネルギー利用研究会, 1995)。主要な仕様は表2に、寸法及び材質の詳細は表3に示す。

* 愛媛県総合科学博物館 友の会 科学クラブ
Science Club of Friend Ehime Pref. Science Museum

** 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

主要項目	規格
型式	反射鏡タイプ
受光面形状	円形
受光面直径	200cm
受光面積	31,086cm ²
焦点距離	60cm
放物線	$Y^2 = 4 \times 600 \times X$
出力	1,080Kcal / h (目標)

表2 主要仕様

項目	寸法 (mm)	材質
放物面鏡	2,000 × 510h	鏡部はステンレス板 (みがき)
	0.37厚	フレームはベニヤ板 + スタイロフォーム
架台	2,400 × 1,900	木製 (2' × 4' 角材)
		角度調節機能, 移動用キャスター付
パン支持台	9 × 高さ600	ステンレスパイプ + 鉄筋

表3 寸法及び材質

放物面鏡の計算方法

放物面鏡は3次元曲面のため製作がきわめて難しい。そこで、円周方向に36等分した2次元曲面の組み合わせとした。細長い多角形の板を近似の放物線状に曲げて立体的に組み合わせたものと考え、この板の展開座標の求め方は以下のとおりである。

放物線の上に幅がRmmの鏡を乗せていくと考え、次の連立方程式を解く。

$$\begin{cases} (X - a_n)^2 + (Y - b_n)^2 = R^2 \\ Y^2 = 4PX \end{cases}$$

ただし、焦点距離Pを600mm、半径Rを50mmとする。nは半径方向の鏡の枚数回。a_n, b_nは、この連立方程式の解であるX, Yを

$$X = f(a_n, b_n, P, R), Y = g(a_n, b_n, P, R)$$

とした時、

$$a_{n+1} = X = f(a_n, b_n, P, R), b_{n+1} = Y = g(a_n, b_n, P, R)$$

で定義する。ここで、a₀ = b₀ = 0である。

また、b₂₂ 1,000となり、目標の直径になる(図1)。

従って、36 × 22 = 792枚の多面体となるが、前述のとおり半径方向については連続な面としたため、36等分した2次元曲面の組み合わせとなる。この計算結果から、放物面鏡の展開幅L₁を、L₁ = 2 × a_n × sin(10°/2)

$$\text{放物面鏡の展開幅 } L_1 \text{ を、 } L_1 = 2 \times a_n \times \sin(10^\circ/2)$$

$$\text{放物面鏡の展開長さ } L_2 \text{ を、 } L_2 = R \times n$$

で得ることができる。求められた座標は、表4で示す。

放物面鏡の可動範囲は、愛媛県総合科学博物館の緯度が北緯33.9°にあり、太陽の高度は夏至79.1°、冬至21°と

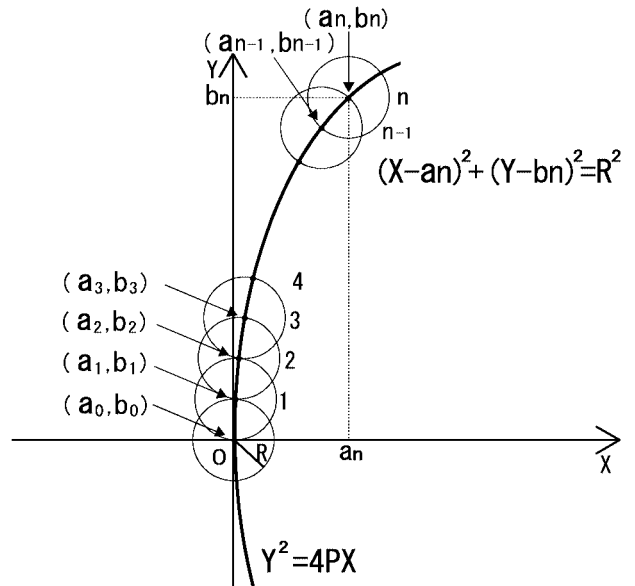


図1 放物面鏡展開座標の求め方に関する図

n	Y(a _n)	X(b _n)	展開幅L ₁	展開長さL ₂
0	0.0	0.00	0.00	0
1	50.0	1.04	8.71	50
2	99.9	4.16	17.40	100
3	149.6	9.33	26.06	150
4	199.1	16.52	34.69	200
5	248.2	25.67	43.24	250
6	297.0	36.75	51.74	300
7	345.3	49.68	60.16	350
8	393.1	64.39	68.49	400
9	440.3	80.78	76.71	450
10	486.9	98.78	84.83	500
11	532.9	118.33	92.84	550
12	578.3	139.35	100.75	600
13	623.0	161.72	108.54	650
14	667.0	185.37	116.21	700
15	710.4	210.28	123.77	750
16	753.1	236.32	131.21	800
17	795.1	263.41	138.52	850
18	836.4	291.49	145.72	900
19	877.1	320.54	152.81	950
20	917.1	350.45	159.78	1,000
21	956.5	381.21	166.64	1,050
22	995.3	412.76	173.40	1,100

表4 放物面鏡の36分割展開座標
設定したY² = 4 × 600 × Xの解

なるため、この範囲で放物面鏡を可動できる架台を製作する。

製作

放物面鏡

リブ⁶⁾の加工については、ブリキ板で型紙を作り、それを適当な大きさに切り出したスタイロフォーム⁷⁾に当てスチロールカッターで38枚切り出す。その時、切り口が直角になるようにする。スチロールカッターのニクロム線による火傷には注意する。

ベース部⁸⁾の加工については、強度の確保と軽量化のために、30mm厚の発泡スチロールを3mm厚のベニヤ板

ではさみこんだ半円形のものを2枚製作する。接着剤は木工用ボンドを用いた。

鏡の加工については、表4から型紙を作り、0.37mm厚のステンレス板に36枚写し取り、金切鋏⁹⁾で切り出す。手や腕を切らないように皮手袋・長袖の上着を着用して作業した。

側板¹⁰⁾の加工については、ベース部の半円周長の側板を切り出すが、一般の定尺¹¹⁾より長くなるので予め継ぎ足して接着しておく。

組み立ては、ベース部にリップを木工用ボンドを用いて正確に直角に接着した。次に、鏡を強力両面テープで貼り付けた。最後に側板を張り付け、ベニヤ板が元に戻ろうとするためゴムバンドを全周に巻きにして固定した。その時、接着剤を十分付けておく。

架 台¹²⁾

各部材を切り出し、予めボルト穴・スライド用長穴¹³⁾をあけておく。各部材を長めの木ねじで固定し、ボルトで組み立てた。

パン支持台¹⁴⁾

アームを4本 9mmの鉄筋から製作した。架台への取り付け部にはM10の寸切ボルト¹⁵⁾を溶接して高さを調節できるようにする。鉄筋を曲げるときのガスバーナー使用時やアーク溶接時には火傷をしないよう皮手袋・長袖の上着を着用し、遮光メガネ¹⁶⁾を使用した。組立図を図2に示す。

実験及び結果

科学クラブでは、およそ3年間にわたってソーラークッカーを製作し、実験を行った(表5)。

2001年6月16日の試運転で初めて鏡に太陽の光を浴びせた。フライパンの底に焦点を合わせると、底が白く輝いた。フライパンに約30ccの水を注いだところ、瞬間的に水が蒸発した。2001年6月24日の予備実験では、ゆで卵を調理する予備実験(写真1)を行った。時間がかかったがうまくできた。2001年8月4日の公開実験は、科学クラブの例会¹⁷⁾でゆで卵を調理する実験を行った(写真2)。同時に熱箱型クッカー(写真3)、焼き鳥クッカー(写真4)の実験も行った。全てうまく調理でき、味も好評であった。2002年5月3・5日には、ゴールドデンウィークに行われる博物館と友の会の共催行事「わくわくワークショップ」¹⁸⁾において、熱箱クッカー、焼き鳥クッカーとともに展示と実験を行った(写真5)。

2002年5月26日に1回目のソーラークッカーの効率を確認するための実験を行った。このときはソーラークッカーのフライパンに熱媒として水1,000mlを入れ実験

を行った。しかし、水の蒸発潜熱による測定誤差、フライパンに蓋が無いことによる水のこぼれと放熱により正確な測定ができなかった。そこで、熱媒を水から菜種油への変更、蓋付きのフライパンへの変更及び側面と上面の断熱材の取り付け、受光面の熱吸収を効果的にするため「つや消し黒」の塗装などの対策を行い2003年2月25日及び3月2日に再実験を行った。

この効率 は、KENIS(株)科学共栄社No142-855の太陽放射エネルギー測定装置(写真6)から得られた単位面積・単位時間当たりの太陽のエネルギー W_0 とソーラークッカーで得られる太陽のエネルギー W_s を比較して求める。太陽のエネルギー W_0 は、受光面積が100cm²の太陽放射エネルギー測定装置に水200mlを入れ、熱吸収面を正確に太陽に向けて内部の水の温度上昇を測定し、次式から求める。

$$W_0 = 200 \quad T_0 / 100 t_0 \quad (\text{cal} / \text{min} / \text{cm}^2)$$

T_0 は上昇温度 , t_0 は時間minである。

次に、太陽のエネルギー W_s は、受光面積が31,086 cm²のソーラークッカーに設置したフライパンに菜種油1,500mlを入れ、鏡を正確に太陽に向けてフライパンの菜種油の温度上昇を測定し、次式から求める。

$$W_s = 1,500 C_p \quad T_s / 31,086 t_s \quad (\text{cal} / \text{min} / \text{cm}^2)$$

C_p は菜種油の平均比熱¹⁹⁾, T_s は上昇温度 , t_s は時間minである。

得られた太陽のエネルギー W_0 と太陽のエネルギー W_s より効率 を次式から求める。

$$= W_s / W_0 \times 100 (\%)$$

測定結果は、表6及び表7に示す。

その結果、効率は約10%に止まり、目標とした40%に到達できなかった。しかし、菜種油の温度を233 まで上げることができ、小規模のものならてんぷらもできる高温が得られることが確認できた。また、このときフライパンの底の表面温度は400 に達していた。

考 察

目標の効率が得られなかった原因は、選定した反射鏡面材料の反射率²⁰⁾が低く、焦点が広がったためであると考えられる。設計と工作の両面のミスであった。

従って、良いソーラークッカーを作るためには、効率よく太陽光を集めてフライパンに吸収させ、熱を逃がさないことがポイントであることがわかった。また、予想以上に温度が上がるので、火災防止のため目的外のところに焦点を結ばないように鏡の向きによく注意することが重要である。

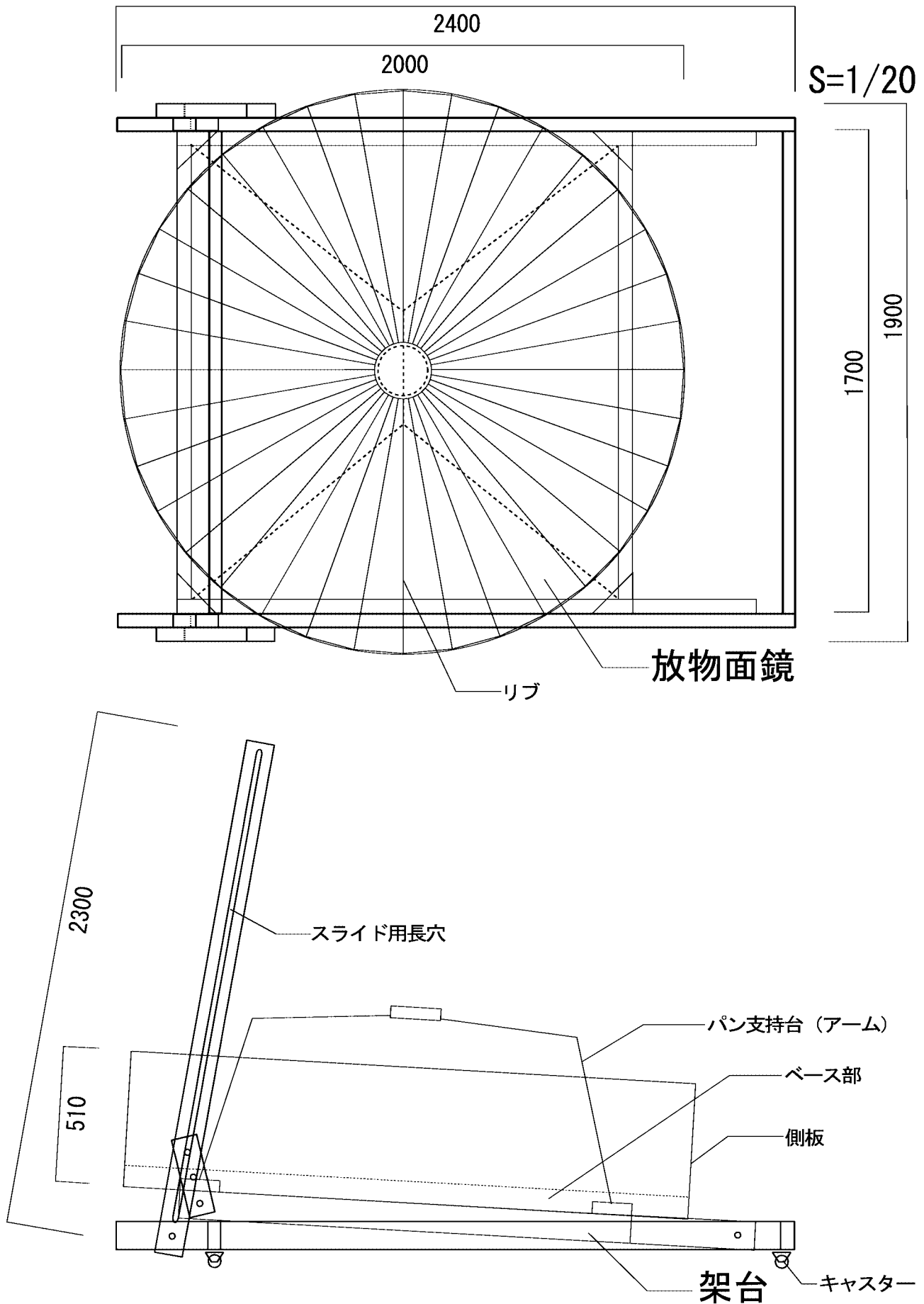


図2 全体組立図

No.	日時	内容	人数 (man)	時間 (h)	人数・時間の積	備考
1	2000/4/16	座標等計算	1	2	2	
2	2000/5/13	計画書作成	1	1	1	
3	2000/7/1	展開図, リブ製図	1	1	1	
4	2000/7/8 15:00~	第1回打ち合わせ	6	0.5	3	7月例会後開催
5	2000/7/15	全体計画図製図	1	2	2	
6	2000/7/16 14:00~	第2回打ち合わせ 全体計画の確認	4	0.5	2	予備実験後開催
7	2000/8/5	材料の買い出し1	2	1	2	工作教室後実施
8	2000/8/10	材料の買い出し2	1	1	1	
9	2000/8/12 13:00~17:00	第1回製作 部品の切りだし1	7	4	28	8月例会後実施
10	2000/8/16	材料の買い出し3	2	1	2	
11	2000/8/16	第2回製作 部品の切りだし2	1	4	4	
12	2000/9/9 10:00~17:00	第3回製作 部品の切りだし3	5	1	7	
13	2000/9/10 13:00~14:00	第4回製作 組み立て1	10	1	6	9月例会後実施
14	2000/9/17 10:00~11:00	修正	1	1	1	
15	2000/10/9	修正	1	6	6	
16	2000/10/14	製作 架台組み立て	3	4	12	
17	2000/11/11	鏡貼り付け	2	2	4	
18	2000/11/19	側板準備	2	2	4	
19	2000/12/3	製作 側板取り付け	5	3	15	
20	2000/12/10	製作 パン支持台組み立て	4	3	12	
21	2000/12/17 10:00~14:00	発表会	8	4	32	12月例会
22	2001/5/20 9:00~12:00	鏡貼り直しと長穴加工	4	3	12	5月例会前
23	2001/6/16 10:00~12:00	鏡貼り直し, キャスター補修と試運転	3	2	6	
24	2001/6/24 10:00~12:00	実験	5	2	10	
25	2001/7/15 9:00~12:00	アクリルミラー切り出し	4	2	8	取り付けは実施せず
26	2001/8/4 12:00~14:00	公開実験	9	2	18	8月例会
27	2002/5/1 9:00~12:00	鏡貼り直し, 枠・パン支持台補修	4	3	12	
28	2002/5/3 9:00~16:00	公開実験	4	7	28	GWわくわくワークショップ
29	2002/5/5 9:00~16:00	公開実験	4	7	28	GWわくわくワークショップ
30	2002/5/26 12:30~13:40	データ測定	6	1	6	
31	2002/6/23 10:00~13:00	データ測定	8	2	16	天候不調により測定できず
32	2003/2/25 14:00~15:30	データ測定	2	1.5	3	
33	2003/3/2 12:00~13:30	データ測定	8	1.5	12	

表5 巨大ソーラークッカー製作記録
総人数は125人, 人数と時間の積の合計は314となった。

- 太陽放射エネルギー測定装置から得られた太陽エネルギー W_0 3/2測定
- 太陽放射エネルギー測定装置から得られた太陽エネルギー W_0 2/25測定
- ソーラークッカーから得られた太陽のエネルギー W_s 3/2測定
- ソーラークッカーから得られた太陽のエネルギー W_s 2/25測定
- ソーラークッカーの効率 $\eta/100$ 3/2測定
- ソーラークッカーの効率 $\eta/100$ 2/25測定
- 太陽放射エネルギー測定装置の水の温度 T_0 3/2測定
- 太陽放射エネルギー測定装置の水の温度 T_0 2/25測定
- ソーラークッカーのフライパンの菜種油の温度 T_s 3/2測定
- ソーラークッカーのフライパンの菜種油の温度 T_s 2/25測定

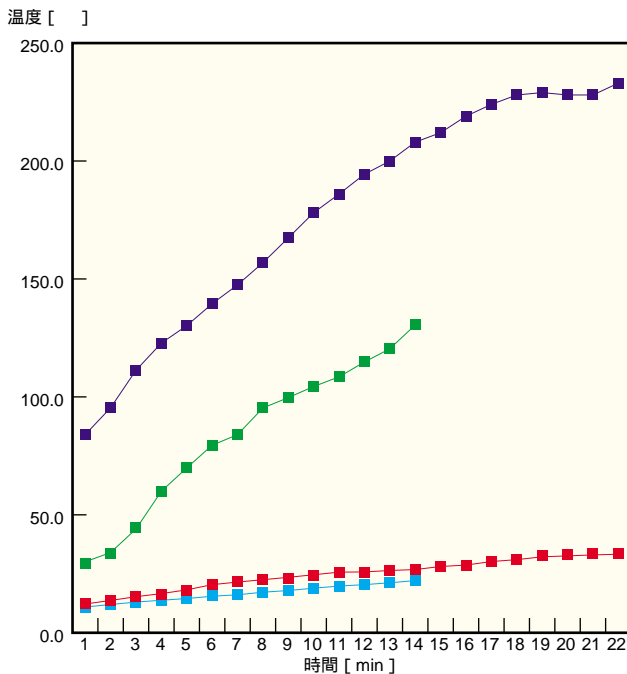


表6 太陽放射エネルギー測定装置の水200mlの温度 T_0 とソーラークッカーのフライパンの菜種油1,500mlの温度 T_s

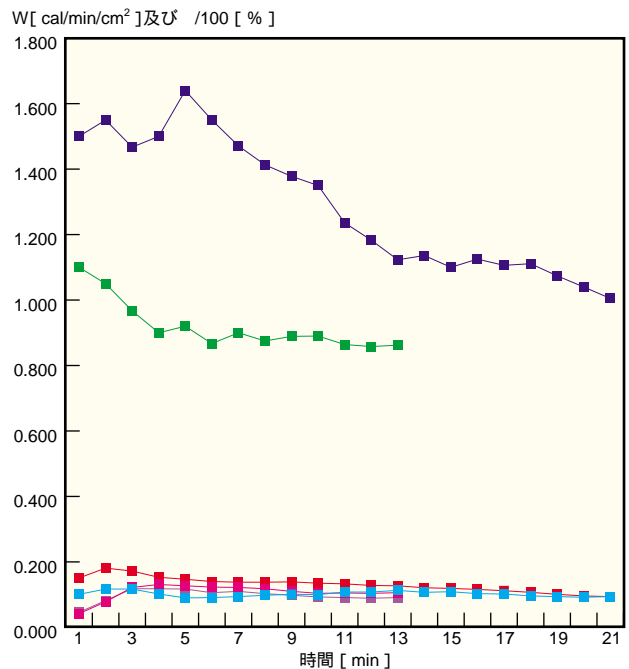


表7 太陽放射エネルギー測定装置から得られた太陽のエネルギー W_0 とソーラークッカーから得られた太陽のエネルギー W_s 及び効率 $\eta/100$

ま と め

ホットケーキが焼ける巨大なソーラークッカーを作ろうと2000年4月に計画を開始して約3年が経過した。製作の過程で多くの問題が発生したが、他種多様な分野の知識・経験・技能を持つクラブ員の知恵と協力で一つ一つ解決していき完成させることができた。残念ながら目標とした性能に到達できなかったが、このテーマに小学2年生から65歳までの幅広い年代のクラブ員が参加し協力して一つのテーマを完結させた点を考慮するとその成果は非常に大きいと言える。

謝 辞

製作と実験に御協力頂いた科学クラブの皆様をはじめ、長期に渡って大きなソーラークッカーの保管に協力頂いた愛媛県総合科学博物館関係者の皆様に感謝申し上げます。

文 献

押田勇雄（1990）：自然エネルギーの利用。コロナ社，東京都。

クリーンエネルギー利用研究会（1995）：サイエンスシリーズ 太陽でお料理 ソーラークッカー。パワー社，東京都。pp.12-17，pp.95-107.

巻末注

- 1) 太陽の寿命は、あと40億年程度とされている。
- 2) クリーンエネルギー利用研究会（1995）によると、板ガラス + 銀鏡では効率44%との報告がある。
- 3) 地球の大気圏外で太陽に正対する単位面積が単位時間に受ける太陽の輻射総量。135.3 w / cm²。
- 4) 太陽面から直接入射する直接日射量と、大気や雲などで拡散・反射された太陽面以外から入射する散乱日射を合わせたもの。
- 5) ジョルダン式日照計を用い、太陽の照った時間が焼け跡となって観光紙に記録された長さを時間で表したもの。
- 6) 鏡を支える板状の小骨。
- 7) 建築用断熱材、固めの発泡スチロール。
- 8) リブを乗せている板。
- 9) 刃部が偏心した握り部が上がったものが安全で使い易い。
- 10) リブの側面を覆う化粧板。
- 11) 市販されている板の規格寸法。約1,800mm。
- 12) 放物面鏡を乗せ角度を調整する台。
- 13) 角度を変化させるため、ボルトが通過する横方向に長い穴。
- 14) フライパンを支持する台。

- 15) 外径約10mm，長さ300mmの長いボルト。
- 16) 赤外線，紫外線を遮断する保護メガネ。
- 17) 毎月定期に実施している科学クラブの会合。
- 18) 愛媛県総合科学博物館と友の会共催の実験や工作を行うイベント。例年多数の来館者で賑わい，定着している行事の一つ。
- 19) 味の素(株)による。
- 20) ステンレス板0.5程度：板ガラス + 銀0.9程度。

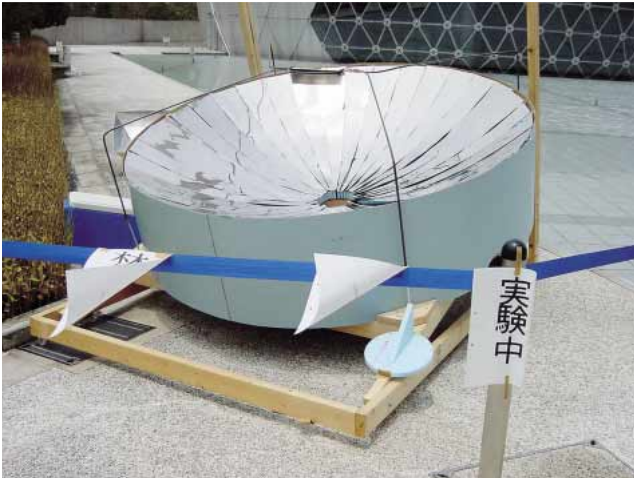


写真1 2001年6月24日 予備実験
ゆで卵を調理する予備実験を行った。



写真2 2001年8月4日 公開実験
巨大ソーラークッカーによるゆで卵の調理実験を行った。



写真3 2001年8月4日 公開実験
熱箱型クッカー（太陽の光を断熱された容器に集め、容器内の温度を70～110程度に保ち調理を行う装置）によるゆで卵と焼き鳥の調理実験を行った。



写真4 2001年8月4日 公開実験
焼き鳥クッカー（アクリルミラーを放物線状に曲げ太陽の光を直線上に集めて串に刺した食物を直接加熱調理する装置。精度が良く製作し易い。反射鏡面材料として選定したアクリルミラーは、ステンレス板に比べて反射率が高いため小型ながら高効率を得られる。反射鏡タイプ的一种。）による焼き鳥の調理実験を行った。



写真5 わくわくワークショップでの展示と実験
熱箱クッカー、焼き鳥クッカーとともに展示し、ゆで卵等の実験を行った。



写真6 太陽放射エネルギー測定装置
受光面積が100cm²のKENIS(株)科学共栄社No142-855を使用。