

# 太陽エネルギーの熱利用研究

システム科学技術学部 機械知能システム学科

安藤貴史 石田陽介 黒須優一

指導教員 杉本尚哉 講師

武田紘一 教授

熊谷誠治 助手

## 1. 研究の概要と目的

本研究は学生が平成13年度より自主的に行っている「ヒマラヤプロジェクト」をサポートする活動である。近年、ソーラーパネルを使った太陽エネルギーを電気エネルギーに変換して活用するシステムは広く実用化されているが、本研究では太陽エネルギーを熱エネルギーとして取り出し、利用することを考える。そして、太陽エネルギーを電気エネルギーとして利用した場合と、熱エネルギーとして利用した場合との変換効率を比較して、熱エネルギーとして取り出した場合に調理などに利用する高温熱源となる可能性について検討する。そして、利用可能であれば簡単な太陽熱利用装置を試作する。

## 2. 研究の基本指針の決定および装置の設計

太陽から地表に照射されている太陽エネルギーは、日中で $1\text{m}^2$ 当り約 $1\text{kW}$ である。この太陽エネルギーを有効利用するため、光を集光しそれを取り出すことを検討した結果、技術的・コスト的に、市販されているBSパラボラアンテナが適していると判断し、それを使用して実験することにした。集光させる部分にはコスト、加工し易さ、放射率・熱伝導率を考慮した結果、S45Cを使用した。実験では、これを光の焦点に合わせ光が当たっている部分の反対側の温度を1時間測定することとした(ここで、S45Cの内部または外表面の温度は常に一定であるとする)。測定結果から変換効率を計算することとした。

### 【パラボラアンテナ】

パラボラアンテナには大きく分けてオフセット型、センターフィード型がある。オフセット型は集光部分が光を遮らないという利点がある。一般に家庭で使われているBSアンテナはこの型が多い。センターフィード型は、太陽に垂直に向けて使用できるが、集光部分が光を遮る。天文台などにあるのがこの型である。

実験で使用したオフセット型(DX アンテナ株式会社製 図 1)は手に入れやすく、焦点の位置を容易に変えられる。実験装置の外観は別紙に示す。(図 8)

### 【仰角の決定】

オフセット型は対象物(静止衛星)に垂直に向けないで使用するため、対象物に対して角度を何度を設定するかにより効率が変わる。今回の実験では人工衛星の仰角とアンテナの製造元で推奨している仰角の差が適切と判断した。秋田市から静止衛星を見上げた場合の角度が計算結果から約 55 度である。使用したアンテナは秋田市において仰角 34.6 度が適正と記載されていたので、その差を採ると -20.4 度になる。これを応用できると考え、太陽から -20.4 度に向けると最高効率を得られると判断した。



図 1 オフセット型



図 2 センターフィード型

### 【集光部の製作】

アンテナ側とは違って光を反射させては金属に熱が溜まらない。そこで S45C 塊に円錐状の穴をあけてなるべく光が散乱しないようにした(図 4)。集まった光はもちろんすべてが金属に溜まるわけではない。空气中、そして装置本体へも流れていく。そこで繊維質断熱材とガラステープで空气中への、セラミック断熱材で本体への熱の流れを抑えることにした。

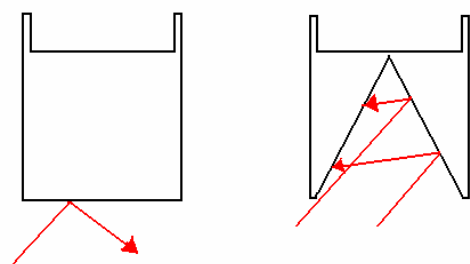


図 4 集光部の切削前後

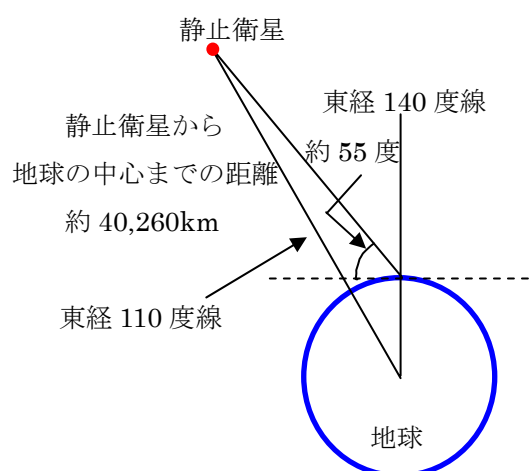


図 3 秋田市から見た静止衛星の角度

### 3. 原理

効率  $\eta$  と比例定数  $\alpha$  を求めるための式を求める。

$e, S, S_0, \theta$  を図 5 の通りにすると、

太陽の入射エネルギー密度

パラボラアンテナの受光面積

$$e \text{ [J/s} \cdot \text{m}^2] \sim 1000 \text{ [J/s} \cdot \text{m}^2] \quad (1)$$

$$S \text{ [m}^2] = S_0 \cos \theta \quad (2)$$

$$\text{太陽エネルギーの入射エネルギー} \quad E = eS \text{ [J/s]} \quad (3)$$

太陽よりの入射から S45C 塊へ移るエネルギーの割合を  $\eta$  ( $\eta$ :効率) とすると S45C 塊への入射エネルギー  $E$  は

$$E = \eta e S_0 \cos \theta \text{ [J/s]} \quad (4)$$

S45C 塊の温度を  $T$  [K] の時間変化を  $\Delta t$ 、質量を  $M$  [kg]、比熱を  $c$  [J/kg·K] とする。

時間  $\Delta t$  で、S45C の温度が  $\Delta T$  変化すれば、

$$\eta e S_0 \cos \theta \cdot \Delta t = Mc \Delta T$$

$$\eta e S_0 \cos \theta \cdot dt = Mc \cdot dT$$

この両辺を  $t=0$  から  $t$  まで積分すると、

$$\int_0^t \eta e S_0 \cos \theta \cdot dt = \int_0^T Mc \cdot dT$$

$$\eta e S_0 \cos \theta \cdot t = Mc \{T(t) - T(0)\}$$

ここで  $t=0$  の時の温度  $T(0)$  は室温  $T_0$  より

$$\eta e S_0 \cos \theta \cdot t = Mc(T - T_0)$$

$$\therefore T = \frac{\eta e S_0 \cos \theta}{Mc} t + T_0 \quad (5)$$

これが理想的な場合の温度変化になる。しかし、実際の温度変化は熱損失が起るため以下の計算をする。

入射エネルギー  $E$  の内、S45C の温度上昇として  $Mc$  が使用され、残りは熱損失  $L$  として失われるとすると、その関係式は

$$E = Mc + L \quad (6)$$

熱損失  $L$  は S45C の温度と周囲の温度差に比例するので

$$L = \alpha(T - T_0) \text{ [J/s]} \quad (\alpha: \text{比例定数}) \quad (7)$$

(4)、(7)式を(6)式に代入すると

$$\{\eta e S_0 \cos \theta - \alpha(T - T_0)\} \cdot dt = Mc \cdot dT$$

$$dt = \frac{Mc}{\eta e S_0 \cos \theta - \alpha(T - T_0)} dT = \frac{C}{a - bT} dT$$

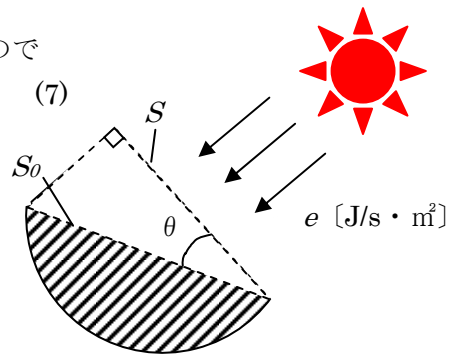


図 5 パラボラアンテナの受光面積

ここで  $C = Mc$ 、 $b = \alpha$ 、 $a = \eta e S_0 \cos \theta + \alpha T_0$  である。

この両辺を  $t = 0$  から  $t$  まで積分すると

$$\int_0^t dt = \int_{T_0}^T \frac{C}{a - bT} dT \quad t = 0 \text{ のとき } T = T_0 \quad (9)$$

$$t = -\frac{C}{b} \log \left( \frac{a - bT}{a - bT_0} \right) = -\frac{C}{b} \log \left( \frac{a - bT}{A} \right) \quad t = \infty \text{ のとき}$$

$$T = \frac{a}{b} = \frac{\eta e S_0 \cos \theta + \alpha T_0}{\alpha}$$

ここで  $A = a - bT_0$  である。

更に変形して

$$\frac{a - bT}{A} = \exp \left( -\frac{b}{C} t \right) \quad = \frac{\eta e S_0 \cos \theta + T_0}{\alpha} \quad (10)$$

$$\therefore T = \left( T_0 - \frac{a}{b} \right) \exp \left( -\frac{b}{C} t \right) + \frac{a}{b} \quad (8)$$

温度  $T$  を高くするには次の条件を満たすようにすればよい。

- ① 効率:  $\eta \rightarrow$  大
- ② パラボラアンテナの面積:  $S_0 \rightarrow$  大
- ③ アンテナの傾き:  $\cos \theta \rightarrow$  大 ( $\theta = 0^\circ$ )
- ④ 比例定数:  $\alpha \rightarrow$  小
- ⑤ 気温:  $T_0 \rightarrow$  大
- ⑥ 計算式には出てこないが、パラボラアンテナの表面に反射率が高い物を貼る。これはより集光させるために必要な項目である。

#### 4. 実験結果

S45C の表面温度と測定時刻の関係を以下図 6,7 に示す。式(5)´, (10)´ より  $\eta$  と  $\alpha$  を求める。

$$\eta = \frac{Mc}{eS_0 \cos \theta} (T - T_0) \quad (5) \quad \alpha = \frac{\eta e S_0}{T - T_0} \cos \theta \quad (10) \quad \text{´}$$

$c$  は  $0.442 [\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}]$ ,  $M$  は  $0.463 [\text{kg}]$ ,  $S_0$  は  $0.159 [\text{m}^2]$ ,  $e$  は  $1000 [\text{J}/\text{s} \cdot \text{m}^2]$ ,  $\theta$  は  $20^\circ$ ,  $T_0$  は 9 月 4 日の時 306 [K], 9 月 15 日の時 303 [K] として代入する。

9 月 4 日

$$356 = \frac{\eta e \times 0.159 \times \cos 20^\circ}{0.463 \times 442} \times 300 + 306$$

$$356 = 0.219\eta e + 306$$

9 月 15 日

$$421 = \frac{\eta e \times 0.159 \times \cos 20^\circ}{0.463 \times 442} \times 300 + 303$$

$$421 = 0.219\eta e + 303$$

$$\therefore \eta = \frac{50}{0.219e} = \frac{50}{219} \doteq 0.228$$

$$394 = \frac{0.228 \times 1000 \times 0.159}{\alpha} \cos 20^\circ + 306$$

$$394 = \frac{34}{\alpha} + 306$$

$$\frac{34}{\alpha} = 88 \quad \therefore \alpha \doteq 0.386$$

$$\therefore \eta = \frac{118}{0.219e} = \frac{118}{219} \doteq 0.539$$

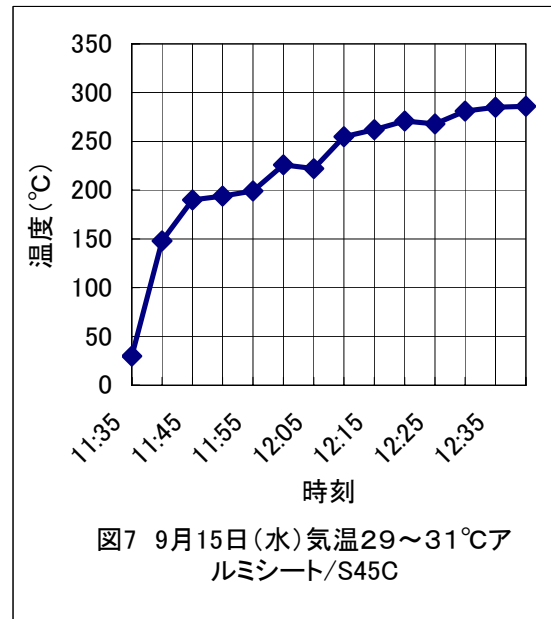
$$559 = \frac{0.539 \times 1000 \times 0.159}{\alpha} \cos 20^\circ + 303$$

$$559 = \frac{81}{\alpha} + 303$$

$$\frac{81}{\alpha} = 256 \quad \therefore \alpha \doteq 0.316$$



天候：晴れ 風：なし 最高温度：121°C  
 $\eta \approx 0.228$   $\alpha \approx 0.386$



天候：快晴 風：なし 最高温度：286°C  
 $\eta \approx 0.539$   $\alpha \approx 0.316$

## 5. 考察およびまとめ

実験結果からアルミホイルよりアルミシートの方が光の反射率が高く、焦点に光が集まりやすいことが判る。つまり、反射率が高い物をパラボラアンテナの表面に貼り付けることで、温度上昇しやすくなる。一方、外気温が低い場合や、風の影響で物体が冷やされる場合な悪条件の時には、温度上昇がしにくいという結果が出ており、それらを防ぐ壁や囲いなどを用いて直接影響を受けないように工夫する必要がある。現段階では外気温、日照時間などの条件により夏の使用が適している。S45Cの周りに断熱材を巻く(図9を参照)ことで、温度上昇を助けるという結果が出ていることから、温度上昇を助けるためには、断熱材を巻いた方が良いことが判る。また原理で求めた外気温 $T_0$ が高いという条件とこの実験から得た結果と一致した。

ここで測定値より実際にどのぐらいの出力をもっているのか、ワット[W]に換算した。データは最も高効率を得られた9月15日のものを使用した。

質量を  $M$ [kg]、比熱を  $c$ [kJ/kg·K]、温度変化を  $\Delta T$ [K]とし、実験結果での数値を用いて

$$M \times C \times \Delta T \times 4.2 = J \quad (12)$$

$$0.467 \times 0.442 \times (281 - 31) \times 4.2 \approx 216.7[\text{kJ}] \approx 217[\text{kJ}]$$

$$J = W \times t \quad (13)$$

ここで  $t$ は時間経過であり 3300[s]とすると

$$217 \times 10^3 = W \times 3300 \quad \underline{W \approx 65.8[\text{W}]}$$

65.8[W]では一般家庭用の調理器具(ホットプレート 1000W 相当)には到底及ばない。

この研究は自然を相手に行うため安定した結果を得にくい、温度  $T$  を高くするための条件を満たすようにすれば、実用化につながる。今回の実験では天候不順また装置の考案・製作に時間が掛かり実験の時間をうまく取ることができなかった。また秋田県本荘市におけるデータしかとれなかったのが残念に思う。

## 6. 参考文献

「鉄鋼材料便覧」 日本金属学会・日本鉄鋼協会編 丸善株式会社

DX アンテナ株式会社 HP <http://www.dxantenna.co.jp/>

TDK 株式会社 HP <http://www.tdk.co.jp/>



図8 装置全体



図9 集光部分

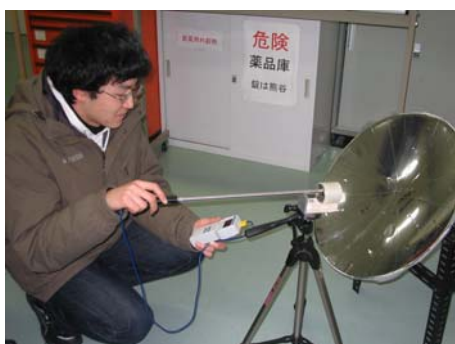


図10 測定方法