

逆平板型コレクタの研究

Study on a Reverse Flat Plate Collector

作 田 宏 一*
Koichi SAKUTA沢 田 慎 治*
Shinji SAWATA田 中 忠 良*
Tadayoshi TANAKA谷 辰 夫**
Tatsuo TANI

Abstract

A new type of non-concentrating solar thermal collector, named a reverse flat plate collector (RFPC), is designed. The absorber plate of an RFPC is placed horizontally and faced downward. A cylindrical reflector with a glass window is placed under the absorber plate to introduce the solar radiation from below. The heat loss by natural convection is suppressed in this configuration, and the heat collection at high temperature can be realized.

The reflection loss is analyzed theoretically using the ray tracing method. It is found that the average number of reflection is less than 2 throughout the year in an RFPC of practical size.

The suppression of convective loss is confirmed experimentally with a small size prototype. The heat collection characteristics of an RFPC are investigated using a practical size collector with the aperture area of 9 m². The results obtained show that an RFPC is a promising concept for a low cost, fixed solar thermal collector for the applications in the temperature range from 100 to 150°C.

Key Words Solar Collector, Flat Plate Collector, Non-concentrating collector, Convection Suppression, Thermal application

1. 緒 言

太陽熱コレクタには、様々なタイプがあるが、曲面鏡やレンズなどの集光系を用いた集光型と、平板型コレクタに代表される非集光型とに大別される。非集光型は、年間日射量のかなりの割合を占める散乱日射も利用でき、複雑な追尾装置も不要という利点を有するが、集熱温度が低いため、その用途が冷暖房、給湯用などの、低温度レベルのものに限られている。

高温で集熱を行うためには、集熱板からの熱損失を低減する必要がある。高温での主な熱損失は、放射損失と対流損失である。選択吸収面の使用により、放射損失は大幅に低減可能であるため、対流損失が抑制できれば、非集光型でもかなりの高温集熱が可能となる。

対流損失抑制の方法として、透明カバーの多層化¹⁾、透明ハニカム体の利用²⁾、真空管型コレクタ³⁾などがあるが、対流抑制効果や、製造コスト、長期信頼性などの点で、どれも一長一短がある。

本報は、集熱板を水平下向きに配置し、太陽光を下から導入することにより対流損失を抑制し、高温集熱を可能とした、逆平板型コレクタ⁴⁾に関するものであ

る。このような原理を応用したコレクタの例は、いくつかあるが、集光型コレクタへの適用例が多い^{5),6)}。本報は、非集光型コレクタでの高温集熱の可能性の追求を目的として、同一形状の平板型コレクタとの比較実験などにより、逆平板型コレクタの特性を理論的、実験的に明らかにしたものである。

<記号>

C : 開口面単位面積当りの集熱板の熱容量
[kJ/K·m²]

K : 円筒反射鏡体の長さ半径の比

L : 円筒反射鏡体の長さ [m]

N : 反射回数

N_c : 円筒面反射回数

N_s : 側面反射回数

* 電子技術総合研究所エネルギー部太陽エネルギー研究室
主任研究官
Solar Energy Applications Section, Energy
Division, Electrotechnical Laboratory

Senior Researcher
** 電子技術総合研究所エネルギー部太陽エネルギー研究室
室 長
Solar Energy Applications Section, Energy
Division, Electrotechnical Laboratory

Chief

$\tilde{N}$: 平均反射回数

R : 円筒反射鏡体の半径 [m]

q_i : 開口面単位面積当りの入射量 [kW/m²]

q_l : 開口面単位面積当りの熱損失 [kW/m²]

q_u : 開口面単位面積当りの集熱量 [kW/m²]

q_u^* : 開口面単位面積当りの仮想定常状態の集熱量 [kW/m²]

T_a : 気温 [K]

T_p : 集熱板平均温度 [K]

η : 集熱効率

η^* : 仮想定常状態の集熱効率

η_{op} : 光学効率

φ : 開口面の傾斜角 [°]

$x, y, \alpha, \beta, \theta, l$ 等については, 図2, 図3を参照.

2. 理 論

2.1 逆平板型コレクタの原理

図1が, 逆平板型コレクタの原理を示す断面図である. 集熱板は水平下向きに配置され, その下に太陽光を下から導入するための, 円筒状の反射鏡体が設置されている. 集熱板の下には, 上部ほど温度の高い静止空気層が生じ, 自然対流は起こらないため, 熱損失が抑制され, 高温での集熱が可能となる.

太陽光を導入するための反射鏡体としては, 多少の集光を行うことも考えられるが, ここでは平板型コレクタと同じように, 開口部に入射する全天日射を全て集熱板に導くために, 集光比が1の光学系とした.

任意の形状の二次元の受光体に, 開口部を通る全ての入射光を導くためには, 受光体の伸開線 (involute) を断面とする曲面鏡を用いればよいことが, 簡単な幾何学的考察から分かる⁷⁾. 平板の断面は直線であり, 直線の伸開線は, その直線を半径とする円弧であるから, 図1のような円筒状の反射鏡体により, 開口部を通る全ての光線は, 平板状の集熱板に到達する. 円筒の軸は東西に配置し, 開口面は緯度程度の角度で南に傾斜させるのが適当である. 南中時以外の入射光を考

え, 東西の側面の内面も反射面とする必要がある.

2.2 平均反射回数と集熱板入射光密度分布

反射鏡体での反射損失は, 正確には開口面を十分細かいメッシュに区切り, 各メッシュからの入射光について, 反射回数と鏡面の反射率から反射損失を算出し, それを平均して求める必要があるが, ここでは簡単のため, 全入射光に対する平均反射回数により見積もることとする (この近似による誤差は, 反射率が1に近く, 反射回数のばらつきが少ない場合には小さい)⁸⁾.

また, 集熱板上の入射光エネルギー密度分布の計算も行った.

1) 計算方法

開口面と集熱面に, 座標系を図2(a)のように取り, 入射光の方向を, 図2(b)に示す角度で表す. ここで,

$$\beta' = \tan^{-1}(\cos \alpha \cdot \tan \beta) \dots \dots \dots (1)$$

$$\beta'' = \sin^{-1}(\sin \alpha \cdot \sin \beta) \dots \dots \dots (2)$$

である. 開口面上の一点 $P(x, y, 0)$ より, α, β で決まる方向から入射する入射光の光路を追跡する.

反射鏡体での反射の様子は, 円筒面での反射と, 側面での反射に分けて考えるのが便利である. 総反射回数 N は, 円筒面での反射回数 N_c と, 側面での反射回数 N_s の和で与えられる.

a. 円筒面での反射

図3は, ある入射光の反射経路 PQ_1Q_2S の, yz 平面への正射影 $P'Q_1'Q_2'S'$ を示したものである. 図より,

$$\theta = \sin^{-1}\left(-\frac{y}{R} \cdot \cos \beta'\right) \dots \dots \dots (3)$$

$$\theta_i = 90^\circ - \theta + \beta' \dots \dots \dots (4)$$

$$\theta_k = 180^\circ - 2\theta \dots \dots \dots (5)$$

である. 図は, 反射回数が2の場合で, これ以上の時は, θ_k が複数となる. これより, 円筒面での反射回数 N_c は,

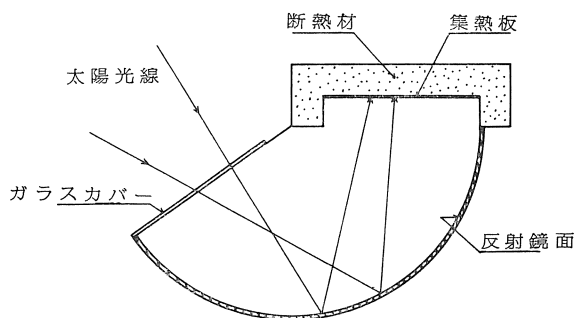


図1 逆平板型コレクタの原理図

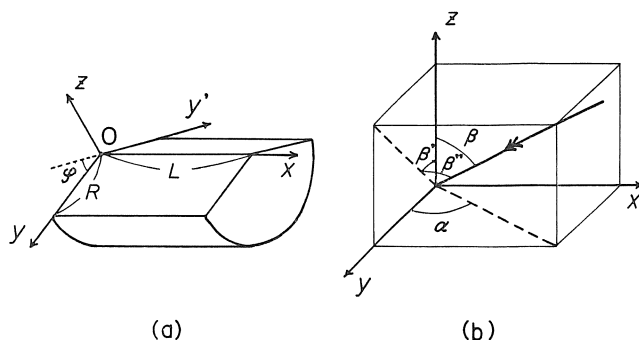


図2 座標系と記号

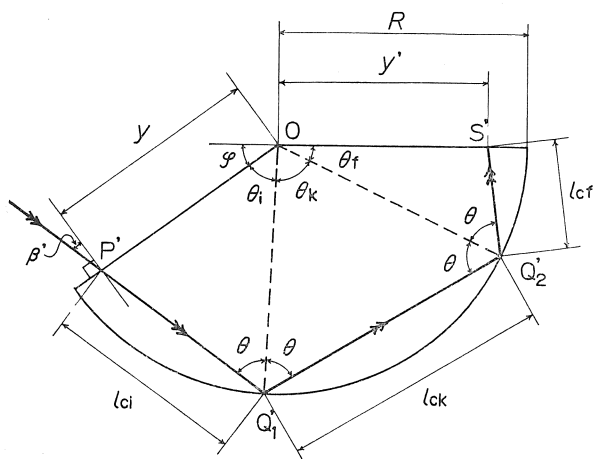


図3 反射経路の yz 平面への正射影

$N_c = \text{int} \{ (180^\circ - \varphi - \theta_i) / \theta_k \} + 1 \dots \dots \dots (6)$
 で表される。ここで、 $\text{int}(\quad)$ は、括弧内の数を越えない最大の整数を表す。

b. 側面での反射

側面での反射回数 N_s は、 L が無限大とした時の、入射点 P から到達点 S までの円筒軸方向の移動距離 l_s が分かれば、次式より求められる。

$$N_s = |\text{int} \{ (x - l_s) / L \}| \dots \dots \dots (7)$$

図3の l_{ci}, l_{ck}, l_{cf} は、それぞれ、線分 PQ_1, Q_1Q_2, Q_2S の yz 平面への正射影であるが、それぞれの線分の yz 平面とのなす角は等しいので、これらの総和 l_c と、なす角 β'' とから、円筒軸方向の移動距離 l_s が算出できる。すなわち、

$$l_s = l_c \cdot \tan \beta'' \dots \dots \dots (8)$$

$$l_c = l_{ci} + (N_c - 1) \cdot l_{ck} + l_{cf} \dots \dots \dots (9)$$

ここで、 $N_c \geq 1$ の場合には、

$$l_{ci} = R \cdot \frac{\sin \theta_i}{\cos \beta''} \dots \dots \dots (10a)$$

$$l_{ck} = 2R \cdot \cos \theta \dots \dots \dots (11a)$$

$$l_{cf} = R \cdot \frac{\sin \theta_f}{\sin(\theta + \theta_f)} \dots \dots \dots (12a)$$

$$\theta_f = 180^\circ - \varphi - \{ \theta_i + (N_c - 1) \cdot \theta_k \} \dots \dots \dots (13a)$$

$N_c = 0$ の場合には、

$$l_{ci} = y \cdot \frac{\sin \varphi}{-\cos(\varphi + \beta')} \dots \dots \dots (10b)$$

$$l_{ck} = 0 \dots \dots \dots (11b)$$

$$l_{cf} = 0 \dots \dots \dots (12b)$$

である。

c. 直達日射に対する反射回数

ある方向からの直達日射に対する平均反射回数 $\tilde{N}$ を求めるには、入射面を多数のメッシュに区切り、各メッシュからの入射光に対する N を求めて、平均すればよい。ここでは、 100×100 のメッシュとした。

太陽位置を、 α, β に変換することにより、任意の時点での直達日射に対する、平均反射回数を求めることが出来る。

d. 散乱日射に対する反射回数

全天輝度一様とすれば、開口面上の半球を α, β について多数のメッシュに区切り、各メッシュからの入射についての平均反射回数を算出し、メッシュの立体角、およびメッシュと開口面との形態係数による重みづけをして、さらに平均することにより、散乱日射に対する平均反射回数を求めることが出来る。ここでは、 10×10 のメッシュとした。なお、簡単のため、開口面から地面を見る方向については、地面のアルベドを0として入射がないものとした。

e. 直達日射の集熱板入射光密度分布

各光線の集熱板への到達点の位置と、その反射回数から、集熱板上の入射光エネルギー密度分布を求めることが出来る。ここでは、南中時の南北方向の分布を求めるため、開口面の y 方向を1,000のメッシュ、集熱板の y' 方向を100のメッシュに区切って計算を行った。

2) 計算結果

図4は、後述の試作小規模コレクタの形状（開口面の傾斜角 $\varphi = 36^\circ$ = 東京の緯度、円筒反射鏡体の長さ と半径の比 $K = 9/8$ ）で計算した結果で、季節をパラメータとし、太陽時による平均反射回数 $\tilde{N}$ の変化を示したものである。破線は、散乱日射に対する値である。直達日射に対する年変化では、冬至が最小、春秋分が最大である。春秋分が最大となるのは、開口部の傾斜角が緯度に等しく、円弧面に接するように入射する光が増えるためと考えられる。日変化では、南中時から離れると急激に増加しているが、これは東西の側面での反射回数が増加するためであり、 K を大きくすれば、増加の割合は減少する。図5は、やはり後述の実用規模コレクタの場合 ($\varphi = 36^\circ, K = 9$) の計算結果で、 K が十分大きいので、南中時以外での反射回数の増加の割合は減少しており、年間を通じて $\tilde{N}$ はほぼ2以下である。

図6は、鏡面の反射率が0.9の場合の、各季節における南中時の直達日射に対する、集熱板上の南北方向の入射エネルギー密度分布を示したものである。横軸は、集熱板上の y' 座標と R の比であり、縦軸は、開口面への入射光を1とした相対強度である。横軸の右端が、集熱板の北端であり、直達光は、年間を通じて北側にやや集光される傾向のあることが分かる。

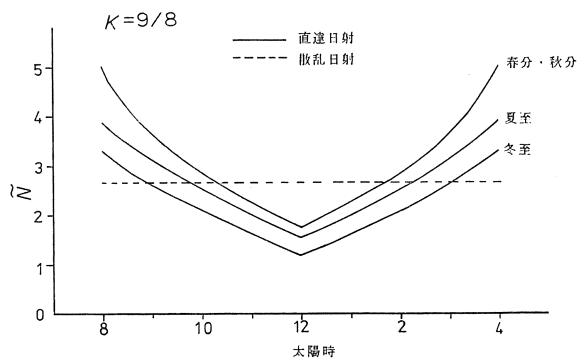
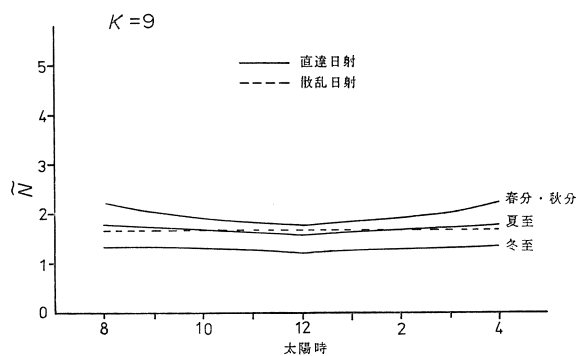
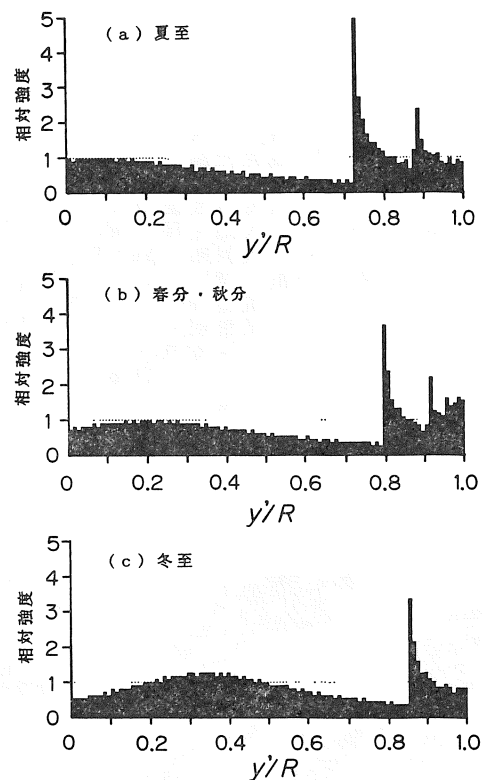
図4 平均反射回数 ($K=9/8$)図5 平均反射回数 ($K=9$)

図6 集熱板上の南北方向の入射エネルギー密度分布 (南中時)

3. 小規模モデルコレクタによる実験

3.1 試作コレクタの概要

逆平板型コレクタの原理を、実験的に確認するため、開口面積約 0.6m^2 の、小規模モデルコレクタを試作した。対流抑制効果を定量的に評価するために、集熱部の形状、寸法および材質が全く同じの平板型コレクタを併せて作り、比較実験を行った。

集熱板および断熱層からなる集熱部の構造を図7に示す。この部分は平板型、逆平板型ともに同じで、平板型はこれに直接カバーガラスを取り付け、逆平板型は円筒面反射体の上に下向きに置き、開口部にカバーガラスを取り付けたものである。なお、熱損失の評価のため、集熱板には線状のマイクロヒータが組み込まれている。各部の詳細を表1に示す、図8は、両コレクタの外観を示したものである。

両コレクタの特性を明確に比較するため、屋外での実験は、低温度での光学効率の測定のみとし、熱損失は、屋内実験により測定した。

3.2 熱損失の測定

入射の無い状態で、集熱板に組み込んだヒータに一定の電力を加え、熱平衡状態での集熱板平均温度を測定すれば、熱損失が測定できる。測定条件を一定にす

るために、空調された屋内（気温 20°C 、微風）で実験を行った。カバーガラスなどからの放射損失に影響のある天空実効温度が、屋外の場合と異なるが、その影響は小さいと考えられるため⁹⁾、安定なデータを得ることを重視して、屋内実験とした。

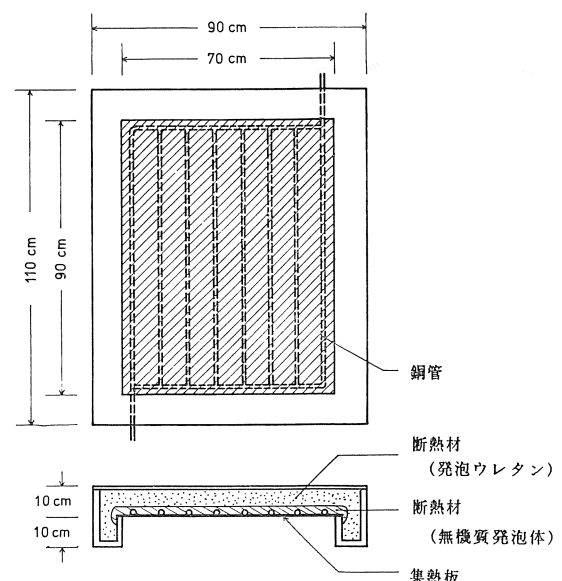


図7 小規模モデルコレクタの集熱部の構造

表1 小規模モデルコレクタの仕様

項 目	仕 様
集熱板寸法	0.7 m x 0.9 m = 0.63 m ²
集熱板材質	銅板 1 mm 厚
熱媒流路	銅管 機械的に密着 マイクロヒータ組み込み
集熱板表面処理	黒ニッケルメッキ選択吸収面
太陽光吸収率	0.88
放射率 (500 K)	0.09
断熱材	
高温側	無機質発泡体 30 mm 厚
低温側	発泡ウレタン 70 mm 厚
カバーガラス	ホウケイ酸ガラス 5 mm 厚
太陽光透過率	0.91
反射鏡面	アルミ蒸着プラスチックフィルム
太陽光反射率	0.90
外箱材質	ラワン合板
開口面傾斜角度	36°

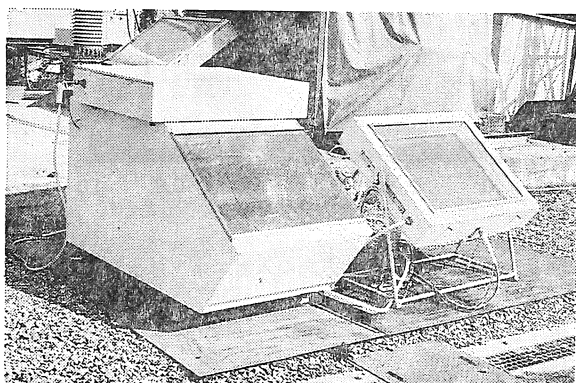


図8 小規模モデルコレクタの外観
(左：逆平板型，右：平板型)

実験結果を図9に示す。図の横軸は、集熱板平均温度と気温との差、縦軸は、集熱板の単位面積当たりの熱損失である。図より、逆平板型コレクタの熱損失が、平板型に比べて大幅に低減されていることが分かる。

3.3 光学効率の測定

光学効率は、集熱板の温度が気温にほぼ等しく、熱損失が無視できる状態で集熱効率を測定すれば求めら

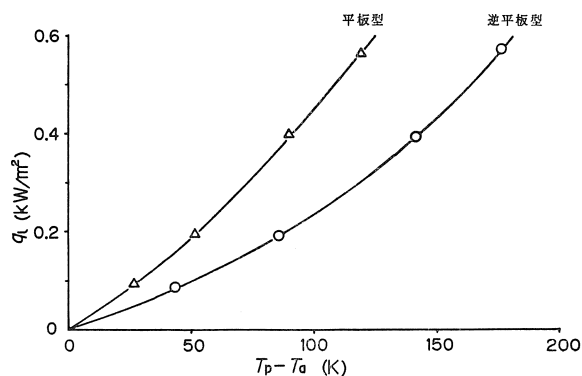


図9 小規模モデルコレクタの熱損失

れる。実験は、水を熱媒とし、集熱板平均温度と気温との差が 10°C を越えない状態で行った。コレクタへの入射量は、コレクタと同じ傾斜角で取り付けた全天日射計で測定した。

10月の晴天日における、南中時を中心とする約4時間の実験より、各コレクタの光学効率として、

$$\eta_{op} = 0.83 \quad (\text{平板型})$$

$$\eta_{op} = 0.63 \quad (\text{逆平板型})$$

が得られた。

3.4 集熱特性

図10は、3.2、および3.3の実験結果より算出した、10月における本コレクタの集熱特性である。図の横軸は集熱板平均温度と気温の差、縦軸は集熱効率で、入射量が 1.0 kW/m² の場合の特性である。屋外実験による熱損失の値を用いているため、実際の集熱特性とは多少異なると考えられるが、逆平板型では、反射鏡体での反射損失分だけ光学効率が低くなるものの、対流抑制の効果により、集熱板温度の上昇に伴う熱損失の増加が少ないので、100°C 以上の高温域では、平板型よりも高い効率を示し、無負荷到達温度(空焚温度)も約 30°C ほど高くなっている。

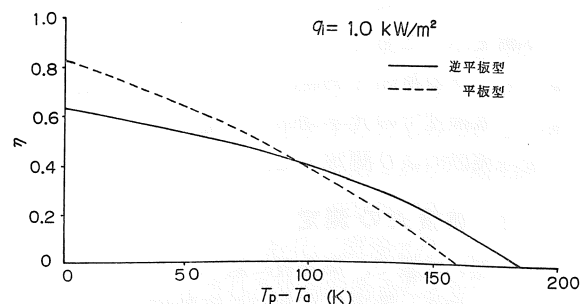


図10 小規模モデルコレクタの集熱効率

4. 実用規模コレクタによる実験

4.1 試作コレクタの概要および実験方法

前述の小規模コレクタでは、十分な熱的特性評価が困難であり、円筒反射鏡体の長さとの半径の比 K が小さいため、側面反射損失が大きい。そこで、実用規模のコレクタとして、 $K=9$ と十分大きくとり、開口面積約 9m^2 のコレクタを試作し、集熱実験を行った。

試作コレクタは、長さ 3m 、幅 1m のユニット3台からなる（ただし、側壁は全体の両端のみにあり、ユニット間にはない）。各ユニットの詳細は、表2の通りである。構成材料の異なるユニットを試作したのは、それぞれの特性の差を比較するためであるが、ここでは3台のユニットを1台のコレクタとして取り扱うこととする。図11は、試作コレクタの外観である。

集熱実験は、図12に示すような熱媒ループにより行った。使用した熱媒は、常圧で 300°C 近くまで使用可能な、アルキルジフェニル系有機熱媒（商品名：サームス600、新日鉄化学特製）である。

実験は、いろいろな日射量のもとで、熱媒の流量、温度を変えて行った。集熱量は、熱媒のコレクタ入口・出口温度差、熱媒流量、および熱媒の物性値から算出し、入射量はコレクタに同角度で取り付けけた全天日射計により測定した。

集熱板の平均温度は、集熱板表面に取り付けた15個のK型熱電対により測定した。入射エネルギー密度の不均一性などのため、最高 30°C 程度の温度分布が見られた。温度および流量の計測は5分毎に行い、日射

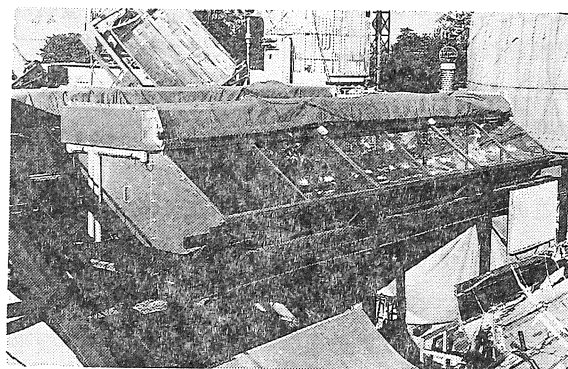


図11 実用規模コレクタの外観

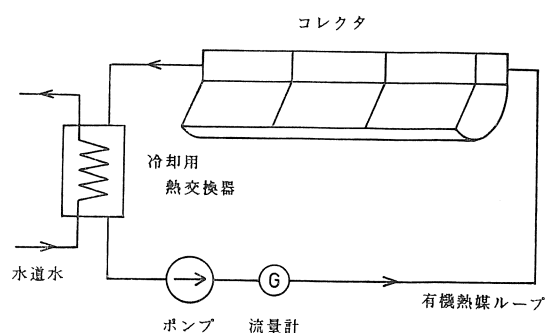


図12 実験用集熱ループ

量は5分毎の積算値を用いた。

4.2 非定常集熱データからの定常特性の推定

太陽熱コレクタの集熱特性としては、定常状態での特性が、まず重要である。しかし、実際の日射を使った集熱実験から得られるのは、一般に非定常状態の集熱特性である。厳密なコレクタの非定常特性は、断熱

表2 実用規模コレクタの仕様

項 目	仕 様		
	ユニット 1	ユニット 2	ユニット 3
集熱体			
集熱板寸法	3 m x 1 m	3 m x 1 m	3 m x 1 m
集熱板材質	アルミ板	アルミ押出型材	アルミロールボンド
熱媒流路	ステンレス管	銅管	—
集熱板表面処理	黒ニッケル化成処理	アルマイト二次電解	アルマイト二次電解
太陽光吸収率	0.91	0.90	0.90
放射率 (400 K)	0.22	0.12	0.12
断熱材			
高温側	無機発泡体 100 mm	無機発泡体 100 mm	発泡ガラス 100 mm
低温側	発泡ウレタン 50 mm	発泡ウレタン 50 mm	発泡ウレタン 50 mm
反射鏡体			
総有効開口面積	2.85 m x 1.00 m x 3 = 8.55 m ²		
開口面傾斜角度	36°		
カバーガラス	普通ガラス 3 mm 厚		
太陽光透過率	0.89		
反射鏡面	銀蒸着ポリエステルフィルム		
太陽光反射率	0.89		
外箱材質	アルミニウム		

材やカバーガラスなどの熱容量も考慮した、複雑な式で表されることになるが、ここでは、集熱板（熱媒を含む）の熱容量のみを考慮することによって、非定常状態での集熱データから、仮想的定常状態での集熱特性を求めることを試みた。

この場合、非定常状態における集熱量 q_u は、

$$q_u = \eta_{op} \cdot q_i - q_l - C \cdot \frac{dT_p}{dt} \dots \dots \dots (14)$$

で表される。ここで、 q_i は入射量、 q_l は熱損失量、 η_{op} は光学効率、 C は集熱板の熱容量、 T_p は集熱板平均温度である（各熱量等は、すべて開口面単位面積当りの値である）。式 (14) の右辺第 3 項は、集熱板に蓄えられる熱量を表しているが、これを集熱量に含めて考え、仮想的集熱量 q_u^* および仮想的集熱効率 η^* を、

$$q_u^* = q_u + C \cdot \frac{dT_p}{dt} \dots \dots \dots (15)$$

$$\eta^* = q_u^* / q_i \dots \dots \dots (16)$$

で定義すれば、式 (14) より、

$$q_u^* = \eta_{op} \cdot q_i - q_l \dots \dots \dots (17)$$

$$\eta^* = \eta_{op} - q_l / q_i \dots \dots \dots (18)$$

となり、これを仮想的定常状態での集熱特性と考えることができる。

4.3 実験結果

以下に、夏期（8月）に行った実験結果の中から、日射条件の異なる約 2 週間分のデータの内の、南中時前後 1 時間のデータに基づく集熱特性について述べる。

図13は、熱容量を考慮しない場合の、入射量 q_i と集熱量 q_u の関係で、集熱板平均温度と気温との差 $T_p - T_a$ をパラメータにとってある。非定常状態のデータが含まれているため、一定の関係を見いだすことが困難である。

おなじデータについて、集熱板の熱容量による補正をした結果が図14である。熱容量の値は、集熱板およびその中に含まれる熱媒の物性値と重量から算出した値（4.2 kJ/K・m²）を用いた。

図より、一定の $T_p - T_a$ について、入射量 q_i と仮想的集熱量 q_u^* の間に、ほぼ直線関係のあることが分かる。このように、集熱板の熱容量を考慮するだけで、非定常状態での実験データから定常状態での集熱特性が、かなりよく推定できることが分かった。通常の平板型コレクタに比べて、本コレクタでは、カバーガラスや反射鏡などの温度が気温に近いので、このような近似が、より有効となるものと考えられる。

図中の直線は、熱損失 q_l を $T_p - T_a$ の 4 次の多項式と仮定し、その係数と光学効率 η_{op} とを、最小二乗法により求めた結果を示している。図15はこのように

して求めた熱損失と $T_p - T_a$ の関係を示したもので、実線が実験値、破線は放射損失と断熱材を通しての伝導損失のみを考慮して計算した計算値である。高温部で実験値がやや大きくなっているが、両者がほぼ一致していることは、対流損失がほとんど存在しないことを示していると考えられる。

図16は、上記の最小二乗法により求められた光学効率と熱損失とから、本コレクタの夏期の南中時付近における、集熱板平均温度と気温との差と、仮想的集熱効率との関係を表したものである。小規模コレクタの特性（図10）と比較して、若干集熱効率が低い、これは鏡面の反射率や曲率精度等が悪く、光学効率が低いためと考えられる。

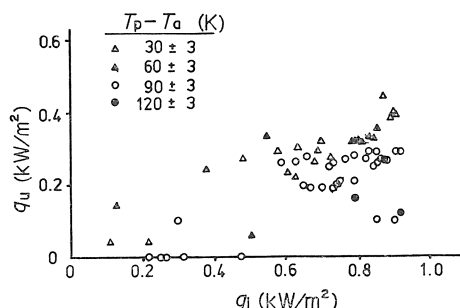


図13 実用規模コレクタの入射量と集熱量の関係（熱容量による補正なし）

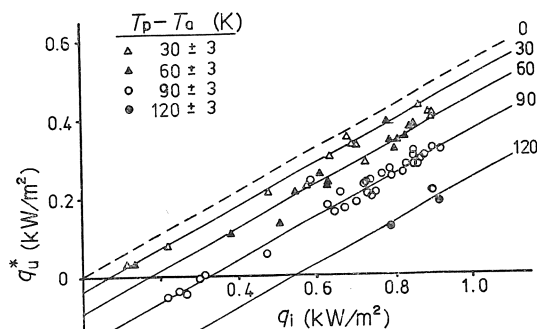


図14 実用規模コレクタの入射量と集熱量の関係（熱容量による補正あり）

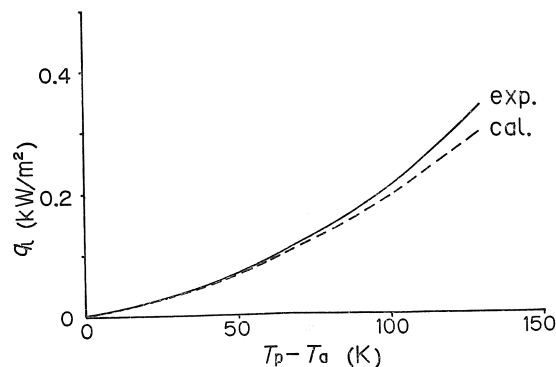


図15 実用規模コレクタの熱損失

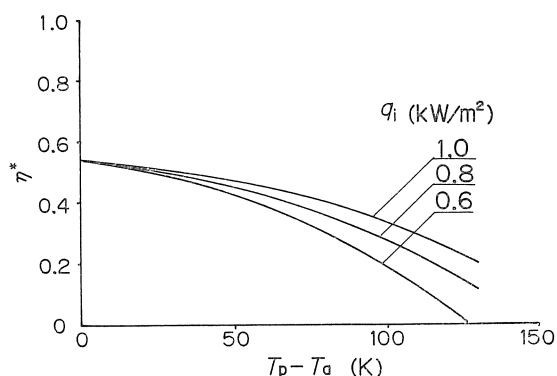


図16 実用規模コレクタの集熱効率

なお、ここでは熱媒温度をパラメータとした集熱特性には触れなかったが、集熱板と熱媒との熱伝達等については、従来の平板型コレクタと同様である。

4.4 長期集熱実験

図17は、6月から11月の約半年間にわたる集熱実験から求めた、南中時付近での光学効率 η_{op} の季節変化（横軸は太陽黄経）である。図の破線は、試作コレクタの部材の光学物性値と、理論反射回数とから求めた計算値であり、実験値は、1年を16等分した期間毎に、4.2と同様の手順で求めた値である。実験値が小さめであるのは、カバーガラスの汚れや、反射鏡体の曲率誤差による損失等によるものと考えられる。

5. 考察

図15からも分かるように、逆平板構造により、対流損失がほぼ完全に抑制され、高温での集熱が可能であることが確認された。試作機では、反射面の反射率などが十分でなく、光学損失が大きい、高反射率鏡の使用により、さらに高温、高効率が期待される。

本コレクタの問題点としては、反射鏡体部分がかさばり、広い設置面積を要することが挙げられる。これに対しては、上部を他のコレクタ等の設置スペースとして利用することが考えられる。実際、工業技術院筑波第2研究センター内に建設された、熱・電気複合ソーラシステム実験設備の集熱部の、低温ループを構成する非集光固定型集熱器として、真空管型コレクタを上部に組み合わせた逆平板型コレクタが、用いられている¹⁰⁾。

6. 結 言

対流損失を抑制することにより、高温で高効率の得られる逆平板型コレクタについて、その特性を理論的、実験的に明らかにし、従来の平板型コレクタでは困難であった高温集熱が、可能であることを確認した。

本コレクタは、構造が単純で、真空断熱も用いていないため、高温集熱の可能な低コストの固定型コレクタとして、100～150℃程度の温度領域の様々な用途

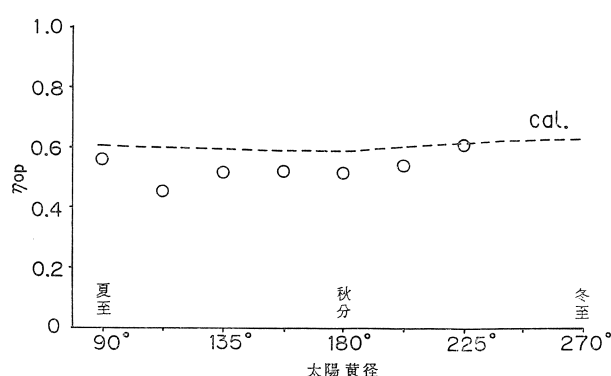


図17 実用規模コレクタの光学効率の季節変化

に応用が可能である。

文 献

- 1) J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes (1974), 120-177, John Wiley & Sons, New York, N. Y.
- 2) W. W. S. Charters and L. F. Peterson, Free Convection Suppression Using Honeycomb Cellular Materials, Solar Energy, 13 (1972), 4.
- 3) 太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会編, 太陽エネルギー利用ハンドブック (1985), 192-197, 日本太陽エネルギー学会, 東京
- 4) 作田宏一・谷 辰夫・沢田慎治・田中忠良・堀米孝, 太陽熱発電システムの研究 (全日射型コレクタの基礎特性), 昭和52年電気学会全国大会講演論文集 (1977-7), 1250, 札幌
- 5) H. Hinterberger and J. O'Meara, A Solar Collector with No Convection Losses, Proc. Joint Conf. ISES American Sec. & Solar Energy Soc. Canada (1976-8), vol.2, 138, Winnipeg, Canada
- 6) 田中耕太郎・梅原規司・渡部康一, 逆平板型太陽熱固定集光集熱器に関する基礎研究 (第1報, 固定式反射鏡形状に関する検討), 日本機械学会論文集 (B編), 52-473 (1986), 463
- 7) G. Derrick, Design of Mirrors for Diffuse Light, Ext. Abstr. 1975 ISES Cong. (1975-8), 514, Los Angeles, California
- 8) A. Rabl, Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic Concentrators, Solar Energy, 18 (1976), 497.
- 9) J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Energy Thermal Processes (1974), 132, John Wiley & Sons, New York, N. Y.
- 10) 田中忠良・沢田慎治・津田泉・谷辰夫, 熱・電気複合ソーラシステムの開発 (第1報 実験設備の構成と基礎特性), 電気学会論文誌B, 104-8 (1984), 505

(昭和61年7月7日 原稿受理)