

集熱板に多数のスリットまたは孔を有する 空気式太陽集熱器の性能

Performance of a Solar Air Heater with
Slits or Holes in the Upper Absorber Plate

伊 藤 定 祐*
Sadasuke Ito

三 浦 直 勝*
Naokatsu MIURA

Abstract

The performance of a solar air heater with slits or holes in the upper absorber plate has been investigated experimentally. In this flat plate collector with the effective area of 1.65m^2 , a black painted absorber plate with slits or holes can be set with an angle of 2.9 degrees to the bottom absorber plate. The width between the slits is 100 mm and the hole diameter is 60 mm.

The following results have been obtained: (1) The collector efficiency of the heater with the slits in the upper absorber plate is 10 to 15 % higher than the efficiency of the collector without the upper absorber plate for the same mean air-temperature in the collectors. With holes, the efficiency increased 20 to 25 %. (2) There is not much difference in the collector efficiencies between the slit opening areas of 46 % and 14 %. (3) The collector with the upper absorber plate which has slits or holes gives high efficiency for the inlet air at nearly the ambient temperature. However, due to the effect of the forced convection between the glass-cover and the working fluid (air), the collector efficiency tends to decrease rather rapidly for increasing the inlet air temperature.

1. 結 言

太陽集熱器は大別して、水その他の液体を熱媒体にするものと、空気を熱媒体とするものがある。日本においては、オイルショック以前から太陽集熱器は主に風呂用の温水を得るために開発されてきたし、現在もなお給湯又は冷暖房用の温水を得ることに主に用いられているので、熱媒体としてはこの目的に適した水又は不凍液がほとんどであり、空気を利用している例は少ない。液体を熱媒体に利用した場合、熱媒体の循環動力、配管スペース、蓄熱スペースなどが少なくすむ利点があるが、反面、凍結、腐食、漏れなどの危険性が高い。一方、空気を熱媒体に利用した場合、凍結及び腐食を問題にしなくてもよいし、漏れも水の場合命程大きな問題にならないが、一般的に送風動力を多く必要とする。

ソーラ・ハウスにおいては、とりわけ凍結と漏れの問題は重大であり、水を使用する場合は屋根をふいたうえに集熱器を置くなどの対策をとるために設備費が

高くなる。しかし、空気を使用した場合は、水漏れ対策の必要がなく、また凍結による機器の破損が起らないのでハウスに大きな損害を与えることは少ない。したがって、集熱器の製作費用および設置費用は安価にできる可能性がある。

米国においては、かなり以前から空気式太陽集熱器の研究開発が活発に行われてきた。例えば、Löf は40年程以前にソーラ・ハウスを設計製作しており、1957年に設計されたソーラ・ハウスは今なお作動している¹⁾。一方、日本においてはごく最近になってから研究開発が行なわれるようになってきた。小泉ら²⁾や田中ら³⁾は屋根一体型空気集熱器の実用化をすすめており、斉藤⁴⁾は集熱部として多孔質板を利用した集熱器の可能性を検討している。また、空気式集熱方法を用いた太陽エネルギーのパッシブ利用に関しては伊藤ら⁵⁾の研究報告がある。空気式集熱器の暖房・給湯以

* 幾徳工業大学機械工学科
Department of Mechanical Engineering
Ikutoku Technical University

外での利用方法の一つとして、集熱器で得られた高温空気で穀物の乾燥などを行う方法があり、日本においても堀部⁸⁾や佐藤・入江⁷⁾の研究報告がある。

空気式集熱器は平板型のものが多く、これまで種々の形式に対する集熱性能の研究が為されてきた。最近においては Parker⁹⁾ は、熱媒体である空気が、透明カバーと平板又は波型の集熱板の間を流れる場合、集熱板の下側を流れる場合、及び集熱板の上下両側を同方向に流れる場合のような基本的構造の平板型集熱器に対する性能を理論的に検討している。堀部⁸⁾の実験結果によると、集熱板の上下両側を流れる方式は集熱板の上部のみを流れる方式のものに比べ、高い集熱効率を得ている。熱媒体と集熱部との熱交換を促進させるため、集熱板の下側にフィンを取付けたものも一般的であり、日本では小泉²⁾の研究報告がある。その他の型式の集熱器としては、透明カバーと集熱器内部底板との間に一部を黒色にした幅の狭い多数のガラス板を互いに平行に組入れた構造のもの^{1,9)}、透明カバーと集熱器内部底板との間に集熱用の黒色金網、ガーゼ、又は多孔質板が設置され、空気がそれらを通ずる際に熱交換を行うもの^{4,10,11)}、透明カバーと集熱器内部底板との間に鉄の削り屑や鉄線等を充てんしたもの¹²⁾、透明カバーとして真空ガラスチューブを使用したもの¹³⁾等がある。

空気式集熱器においては、熱媒体が熱伝導率の小さい空気であるので、集熱板との熱交換が悪く、その熱伝達の良否が集熱効率に大きく影響する¹⁴⁾。その熱伝達量は集熱器の構造はもちろん、空気流量にも大きく影響されるので、種々の集熱器の集熱効率を比較することは水式集熱器に比べて困難である。

本研究においては、集熱効率が多少悪くても凍結による破損や水漏れの心配がいらぬ空気式集熱器に着目し、安価で、かつ、性能のよい集熱器を開発する目的で、未だ研究報告がみられない、スリットまたは孔あき板を有する集熱器を製作し、その性能を実験的に検討した。これらの板は、ガラスカバーと集熱器底板との間に設けられたもので、多孔質板や金網を用いたものと構造が似ているが、通風抵抗や目づまりの問題を考慮し、個々のスリットや孔の面積を大きくし、かつそれらが占めるあき面積の割合を大きくとってあることと、集熱器内底部も黒色とし、両者が太陽光を集熱するように考慮したものである。集熱器を使用した太陽エネルギー利用においては、集熱器の経済性が重要な問題であるが、本研究の集熱器は構造が簡単であり、比較的安価に製造することができる。

2. 記 号

A : 集熱器有効集熱面積	$[\text{m}^2]$
c_p : 空気の定圧比熱	$[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
I : 傾斜面全天日射量	$[\text{W}/\text{m}^2]$
m : 空気の質量流量	$[\text{kg}/\text{s}]$
N : 熱媒体平均温度と外気温度との差を日射量で割った値	$[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{kW}]$
t_a : 外気温度	$[^\circ\text{C}]$
t_i : 集熱器入口温度	$[^\circ\text{C}]$
t_o : 集熱器出口温度	$[^\circ\text{C}]$
Q : 単位時間当りの集熱量	$[\text{W}]$
η : 集熱効率	$[-]$

3. 実験装置及び実験方法

図1は試作された集熱器の写真であり、図2はその断面図である。外側寸法は長さ 2470 mm、幅 1000 mm、厚さ 310 mm で、ガラスカバーの太陽光透過部の面の長さは 1850 mm、幅は 890 mm で、有効集熱面積 A は 1.65 m^2 である。この空気式集熱器は、底部にある平板（長さ 1880 mm × 幅 890 mm）およびガラスカバーとの間に、スリットまたは孔を有する上部集熱板を底部集熱板に対し 2.9° の傾斜角で取付けられるようにしてあり、上部集熱板の上下両面および底部集熱板（底部平板）で集熱を行なおうとするもので、上

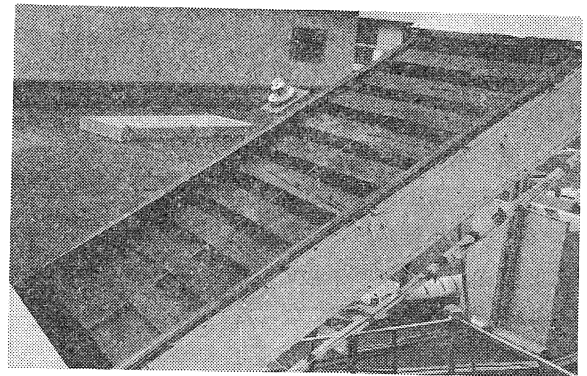


図1 空気集熱器の写真

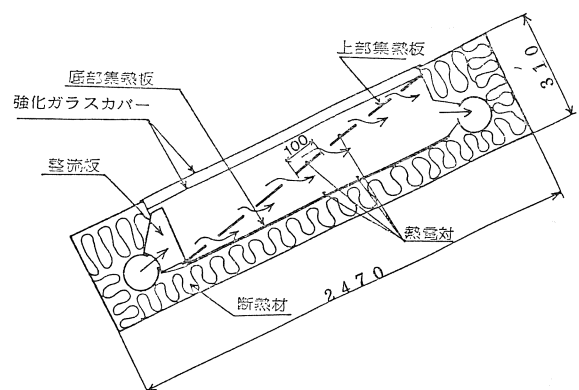


図2 空気集熱器断面図

部集熱板にスリットまたは孔を設けることにより集熱板上の境界層を薄くし、集熱部と熱媒体である空気との熱交換を良くするように考慮してある。ガラスカバー附近を流れる空気の温度が上昇して強制対流熱伝達による放熱損失が多くなることを避けるため、上部集熱板を入口部で低く、出口部で高くなるように取付け、ガラスカバー附近を流れる空気ができるだけ下流で熱交換を行うようにしてある。

スリット式集熱板の場合は、図2のように集熱器内に長さ890 mm、幅100 mm、厚さ1 mmのつや消し黒色塗装した銅板を底部集熱板に対し 2.9° 傾斜させて並べてある。その太陽光吸収率および赤外線放射率は測定した結果それぞれ0.93および0.95であった。実験に使用したスリット幅は65 mmと10 mmの2種類

で、板に対するスリットの占める総面積の割合（あき面積率）はそれぞれ46%と14%になっている。上部集熱板に熱伝導のよい材料を使用する必要はなく、本実験に銅板を使用したのは製作上の都合による。底部集熱板は上部集熱板と同一のつや消し黒色塗装した亜鉛メッキ銅板1 mm厚のものを使用している。この実験装置では、空気の流れを集熱器内で一様にするために内径84 mmの吸入用および排気用の各ヘッダ管に直径10 mmの孔を長手方向に各10個設けてあり、それらの吹出し孔の脇には長さ100 mmの整流板を合計9枚取付けてある。ガラスカバーは3 mm厚の半強化ガラスを用い、1重の場合と2重の場合とで実験を行っている。1重の場合は図2の2枚のガラスカバーの下側のガラス板を使用しており、2重の場合はガラス板の間隔を20 mmとし、その間は空気層になっている。なお、集熱器の側面及び底面は厚さ50 mmのグラスウールで断熱してある。

孔あき式集熱板の場合は上下面に黒色塗装してあり、スリット式集熱板とほぼ同じ大きさのもので、図3に示されている。孔の直径は60 mm、集熱板に対する孔の総面積の割合（あき面積率）は45%となっている。

図4に実験装置の概略図を示す。集熱器は水平面に対して傾斜角 30° で南面に設置されている。エアクリーナーから入った空気はファンを通過した後、熱電対と検定されたオリフィスによってそれぞれファン出口温度 t_f と流量 m が計測され、加熱器で所定の温度に加熱される。次に集熱器の吸入側ヘッダ部から整流部

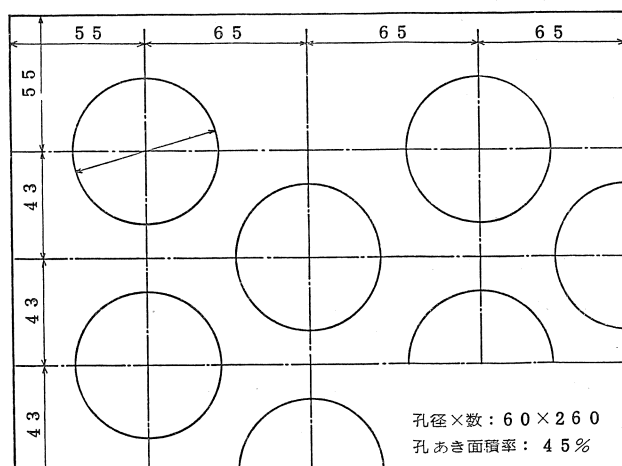


図3 孔あき集熱板

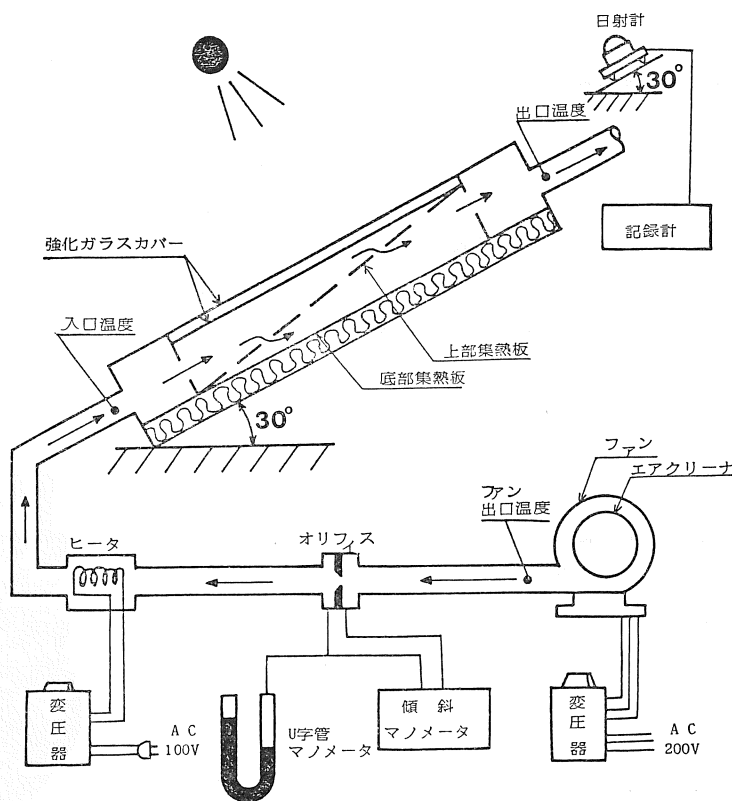


図4 実験装置概略図

を通り、集熱部で熱交換して排気側ヘッダ部に入り、出口温度 t_o が測定された後、大気に放出される。なお、集熱器入口温度 t_i 、出口温度 t_o は集熱器入口および出口部のよく断熱された管の中央で熱電対により計測し、大気温度 t_a は水銀温度計で計測した。全天日射量は集熱器に取付けられたエコー日射計で計測した。実験は空気流量の集熱効率に与える影響を調べるとき以外は空気流量をほぼ $0.017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (0.029 kg/s)一定とし、集熱器入口温度と外気温度との差を変化させると共に、上部集熱板のスリット幅およびガラスカバーの枚数を変えて行なった。またファン始動

後1時間たってから測定を開始した。

次に集熱効率の計算方法を示す。単位面積当りの全天日射量を I 、表面ガラスの日射が透過する部分の面積を A とした場合、集熱効率を次式により算出した、

$$\eta = \frac{Q}{AI} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 Q は単位時間当りの集熱量であり、空気の設定圧比熱を c_p で表わすと次式で算出される。

$$Q = mc_p(t_o - t_i) \dots \dots \dots (2)$$

集熱効率の計算においては、全天日射量が30分の積算値を使用しているの、単位時間当りの集熱量も30分間の平均値を用いた。

実験はよく晴れた日に行ない、南中時前後それぞれ1時間以内で、かつ日射量が 0.6 kW/m^2 以上の値を実験データとして採用した。

4. 実験結果及び検討

実験で得られた集熱効率の結果を図5—図8に示す。各図は縦軸に集熱効率、横軸には熱媒体平均温度と外気温度との差を集熱面全天日射量で割った値 $\{(t_i + t_o)/2 - t_a\}/I$ (以後この値を N と記す) をとってある。

図5にガラスカバーが1枚で上部集熱板無し(底部集熱板のみ)の場合、上部集熱板のスリット幅が10mm(あき面積率14%)の場合、65mm(あき面積率46%)の場合、および集熱板に孔をあけたもの(あき面積率45%)の場合で空気流量はすべて $0.017 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$ とした場合の結果を示す。スリット式集熱板のある場合は無い場合より同じ N に対する集熱効率が全体的に10~15%程向上していることがわかる。スリット式集熱板を設けることにより集熱効率が増加する理由は、熱媒体である空気と上部集熱板が集熱板の上下両面で熱交換すること、スリットを設けることにより上部

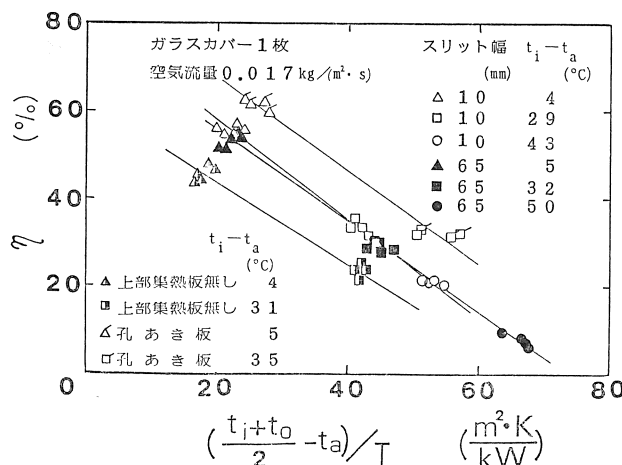


図5 集熱性能

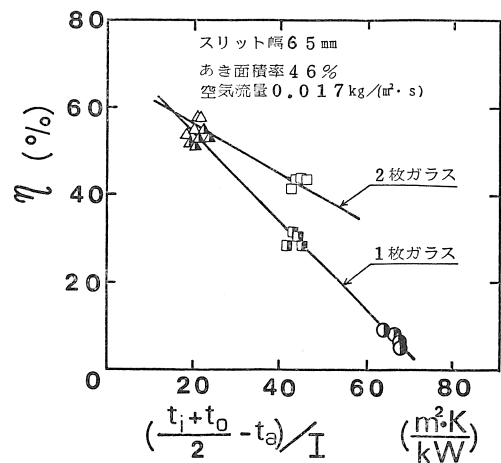


図6 集熱性能

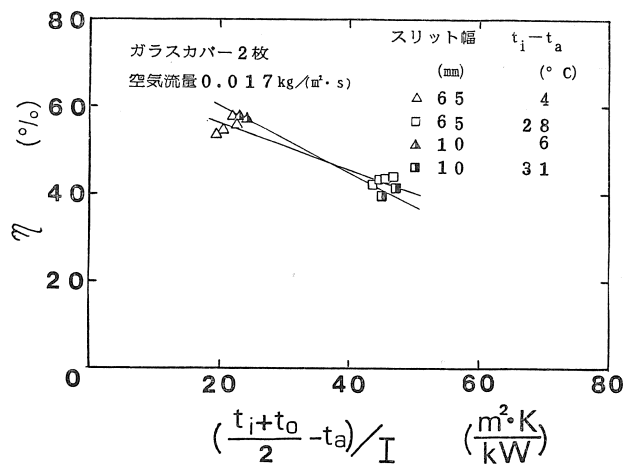


図7 集熱性能

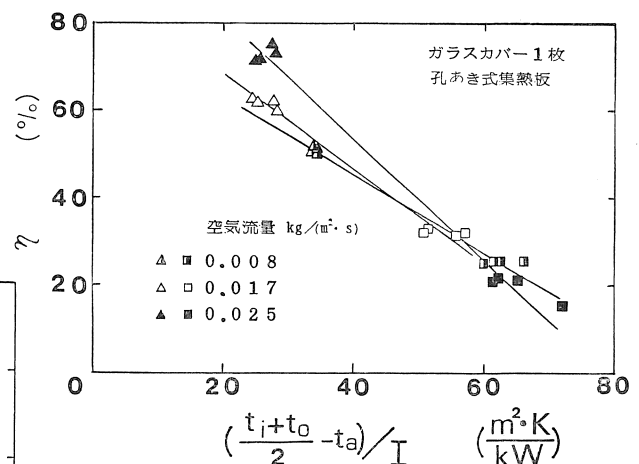


図8 集熱性能

集熱板上の速度及び温度境界層が薄くなり、各所における熱伝達率が増加すると同時に集熱板の温度上昇が少なくなり、放射による熱損失が減少するからであると考えられる。スリットのあき面積を上部集熱板の全面積の半分程度にした場合でも、あき面積率の小さい14%の場合の集熱効率とほぼ同じになるのはあき面積

率が大きい場合、上部集熱板での受光面積が少なくなり、集熱する量が減少するので、ガラスカバー付近の空気温度の上昇が少なくなり、対流による放熱が押えられるからであると考えられること、下部集熱板が厚さ1mmの鉄板でできているのでフィン効果があり下部集熱板の有効面積が日射の当る部分の面積より多くなること、また、下部から放射された熱線は上部集熱板によって一部さえぎられるので、放射の熱損失も押えられること等による。

孔あき式集熱板を用いた場合は上部集熱板無しの場合に比べて全体的に集熱効率が20~25%程向上していることが同図よりわかる。またスリット式集熱板の場合と比べると、集熱効率はおよそ10%向上している。これは孔をあけることにより空気流中に乱れが生じ熱伝達率がよくなるためであると考えられる。

図6にスリット幅65mmで空気流量 $0.017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ のときのガラスカバー1枚および2枚におけるそれぞれの集熱効率を示す。同図からわかる様に N が大きくなるにしたがってガラスカバー2枚による熱損失防止の効果が大きく表われている。

図7にガラスカバー2枚でスリット式集熱板のある場合の結果を示す。ガラスカバーが1枚のときと同様にスリット幅10mmのときと65mmのときの性能は測定範囲内では集熱効率に大きな差はなかった。

図8は孔あき式集熱板を用い、空気流量を 0.0080 , 0.017 , $0.025 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ にした場合の結果を示したものである。横軸の N の値がおよそ50以下では空気流量の多い方が集熱効率は高いが N が60以上では反対の傾向を示している。 N が大きい場合、ガラスカバーの下を高温空気が流れているため、空気流速が大きくなると空気とガラスカバーとの間の熱伝達率が増大し、ガラスカバーからの熱損失が多くなるためであると考えられる。

図9は集熱器入口温度がほぼ同じで、およそ外気温度の場合の集熱板の温度分布を示したものである。上部集熱板のない場合は、有る場合に比べて集熱器出口部の温度は高いが、逆に集熱効率は低くなっており(図5)、同じような入口条件では出口温度は低くなっている。集熱板にスリットを用いることにより熱伝達がよくなり、集熱板で受けた熱はより容易に空気に伝えられるので集熱板の温度上昇が少なくなる。一方、底部集熱板のみの場合は熱伝達が悪く、集熱板の温度が上がり、放射による放熱損失が大きくなるものと考えられる。

図10はガラスカバー1枚で孔あき式またはスリット

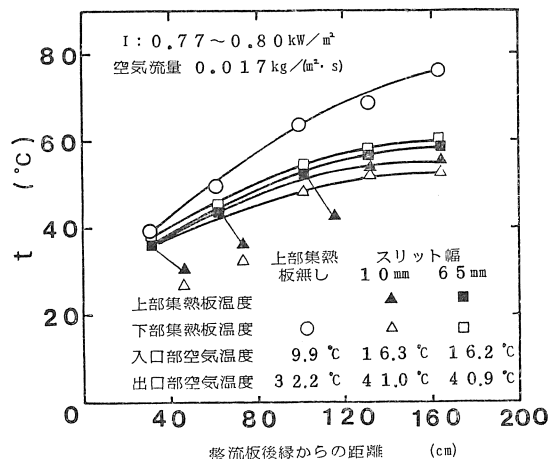


図9 集熱板温度分布

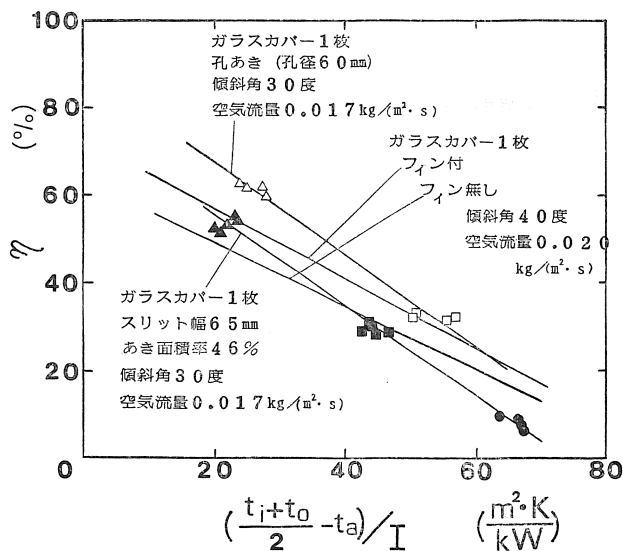


図10 集熱性能

式の本集熱器に対し、水平面に対する傾斜角 30° 、空気流量 $0.017 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ の条件で得られた結果と、小泉ら²⁾による、フィン付またはフィン無し集熱板を有する集熱器でガラスカバー1枚、空気流量 $0.020 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ の条件で得られたものとを比較した図である。この集熱器はガラスカバーと集熱板の間に空気層があり、集熱板の下側を熱媒体である空気が流れるようになっている。スリット式集熱器は、フィン無しのものに比べて N の値が20以下のように小さいとき、すなわちある日射量に対して低温で集熱するとき高い効率を示している。また、フィン付のものと比べると、 N の値が20程度で両者の集熱効率はほぼ同じになっている。しかし、熱媒体が高温になるにしたがって、効率の低下が大きくなっていることがわかる。孔あき式およびスリット式集熱器は集熱板と空気との熱伝達が良好であると考えられるため低温集熱では効率がよいが、高温集熱の場合はガラスカバーの下を強制的に高

温空気が流れるため、強制対流による熱損失が大きくなるものと考えられる。一方、集熱板とガラスカバーの間に空気層のあるフィン無しおよびフィン付の集熱板の場合は空気層により熱抵抗があるので強制対流による熱損失は少なくなり、高温集熱による集熱効率の低下はより少なくなっている。

図11は斉藤⁴⁾による、集熱部が本集熱器の上部集熱板に相当するところにセラミック集熱体を使用した空気式集熱器でガラスカバー1枚、空気流量 $0.015 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、水平面に対する傾斜角 45° のものと本実験に使用した空気式集熱器の性能（実験条件は図5と同じ）を比較したものである。セラミック集熱体の場合の集熱効率は集熱器入口温度が低いところでは性能が良いが、入口温度が高くなるにつれて孔あき式またはスリット式集熱板の場合のほうが集熱効率が高くなっている。

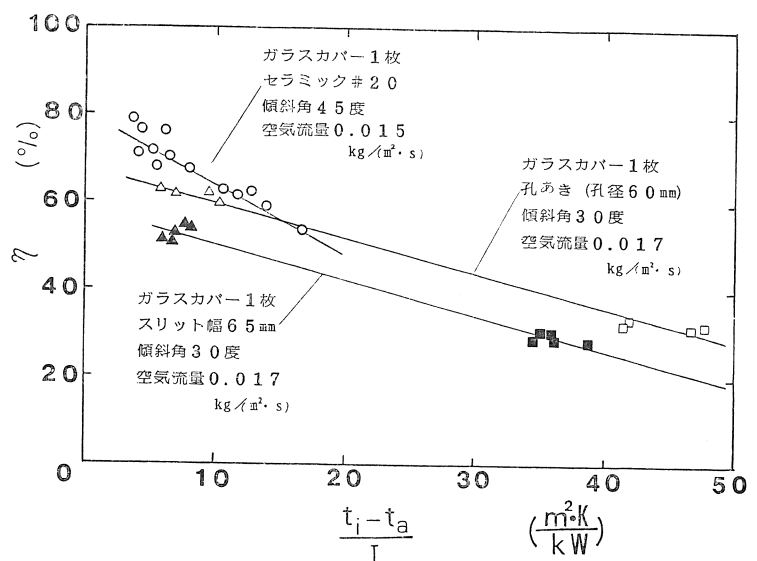


図 11 集 熱 性 能

参 考 文 献

- 1) Ward, J. C. and Löf, G. O. G., "Long-Term (18 Years) Performance of a Residential Solar Heating System," Solar Energy, Vol. 18, 301-308 (1976).
- 2) 小泉尚夫・ほか 3 名：空気式集熱器の性能比較，日本太陽エネルギー学会，第 4 回研究発表講演論文集，17 (1978)。
- 3) 田中俊六・ほか 2 名：屋根一体形空気式集熱器について，日本太陽エネルギー学会，第 5 回研究発表講演論文集，33 (1979)。
- 4) 斉藤義和：多孔質物体を用いた空気式太陽集熱器の性能について，日本太陽エネルギー学会，第 4 回研究発表講演論文集，21 (1978)。
- 5) 伊藤直明・ほか 2 名：潜熱蓄熱放熱床を用いたパッシブソーラシステムに関する実験研究，日本太陽エネルギー学会，第 7 回研究発表講演論文集，93 (1981)。
- 6) 堀部和雄・ほか 2 名：ソーラードライヤーシステムに関する基礎的研究（第 2 報）粗乾燥のための太陽コレクターシュミレーション，三重大学農学部トラクタ総合試験室研究報告，第 61 号，333 (1980)。
- 7) 佐藤純一・入江道男：太陽熱による穀物および牧草の人工乾燥，太陽エネルギー，Vol. 7, No. 4, (1981)，28。
- 8) Parker, B. F., "Derivation of Efficiency and Loss Factors for Solar Air Heaters, Solar Energy," Vol. 26, 27 (1981)。
- 9) Selcuk, K., "Thermal and Economic Analy-

5. 結 言

集熱部に孔またはスリットを有する空気式集熱器を試作し，その性能を実験的に検討した結果，次の結論を得た。

- (1) スリット式集熱板を用いると，用いない場合に比べて同じ N の値に対する集熱効率が $10 \sim 15\%$ 程度高くなった。
- (2) 孔あき式集熱板を用いると，用いない場合に比べて集熱効率は $20 \sim 25\%$ 程度高くなった。
- (3) スリット式および孔あき式の集熱板は熱伝達が良好であり，低温集熱において高い効率を示すが，1 枚ガラスの場合で高温集熱のときはガラス面と集熱板との間に高温空気が強制的に流れるため対流による熱損失が大きくなり，効率の低下が大きい。
- (4) ガラスカバーを 2 重にすると熱損失が少なくなり，空気温度が高くなっても効率はあまり低下しない。
- (5) 集熱板あき面積率が 14% のスリット幅が 10 mm のときとあき面積率が 46% の 65 mm のときの集熱効率の差はほとんどみられなかった。

本研究はリッカー株式会社より一部援助を受けて為されたもので，深く謝意を表します。また，本研究を行なうにあたり，本学卒業研究生多数の御協力を戴いたので深く感謝いたします。

- sis of the Overlapped-Glass Plate Solar-Air Heaters," Vol. 13, 165 (1971).
- 10) Hamid, Y. H. and Beckman, W. A., "Performance of Air-Cooled Radiatively Heated Screen Matrics," Trans. ASME, Journal of Engineering for Power, Vol. 93, 221 (1980).
- 11) Chau, K. V. and et al, "Performance of a Plastic Suspended Screen Solar Air Heaters," J. Agric. Engng Res. Vol. 25, 231 (1980).
- 12) Gupta, S. C., "Effectiveness of Packed-Bed Air Heaters," Solar Energy : International Progress, Vol. 2, 767 (1980).
- 13) Alben, R. and Hardcastle, K., "Theoretical and Experimental Study of an Air Solar Collector with an Evacuated Tube Cover," Trans. of the ASME, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 103, 251 (1981).
- 14) Whiller, A., "Black-Painted Solar Air Heaters of Conventional Design," Solar Energy, Vol. 8, No. 1, 31 (1964).

(昭和57年11月12日 原稿受理)