

太陽熱利用による自然循環伝熱

宮 部 喜代二*
浜 武 俊 朗*

1. はしがき

太陽エネルギーは低密度エネルギーであるため、高密度化の手段として、集熱器を用いることが多い。低温集熱の場合、伝熱の三形態である伝導、ふく射、対流がいずれも同程度の支配的因子となって混在する点に特長があり、集熱器改善への問題点でもある。

ところで、上記の伝熱三形態（1）伝導、（2）ふく射、（3）対流に関する改善方法の具体例を示すと、それぞれつぎのようになる。

（1）熱伝導率の良し悪しによる材料の選別
 （2）選択性吸収膜の塗布あるいは蒸着
 （3）流体の循環、攪拌などによる対流伝熱の促進
 以下本報告で述べる内容は、上記（3）項の考えに基づき太陽熱を自然循環伝熱に利用してより効率の良い温水器を試作するための予備的実験である。表題中の「自然循環伝熱」なる用語は、従来の太陽熱用集熱器の一つの形として用いられている「自然循環」ではなく、ボイラの一形式である自然循環ボイラ中の流体の運動原理の説明に用いている「自然循環」と同義の現象に対するものである。

2. 記号

- D : 管内径
 H : 仕切板の長さ
 V_g : 空気吹込量
 W_t : 循環水流速
 Q : 集熱量
 t_l : 集熱筒内水温
 t_a : 気温
 t_{lm} : 従来型温水器の同一時刻における水温の平均値
 $\Delta t_m = t_{lm} - t_v$
 $\Delta t_r = t_l - t_a$
 Δt : 簡易日射計で測定された電位差 mV を温度差に換算した値
 G_d : 吹込み空気重量 kg/h
 α_w : 水のみが単相で流れた場合の熱伝達係数

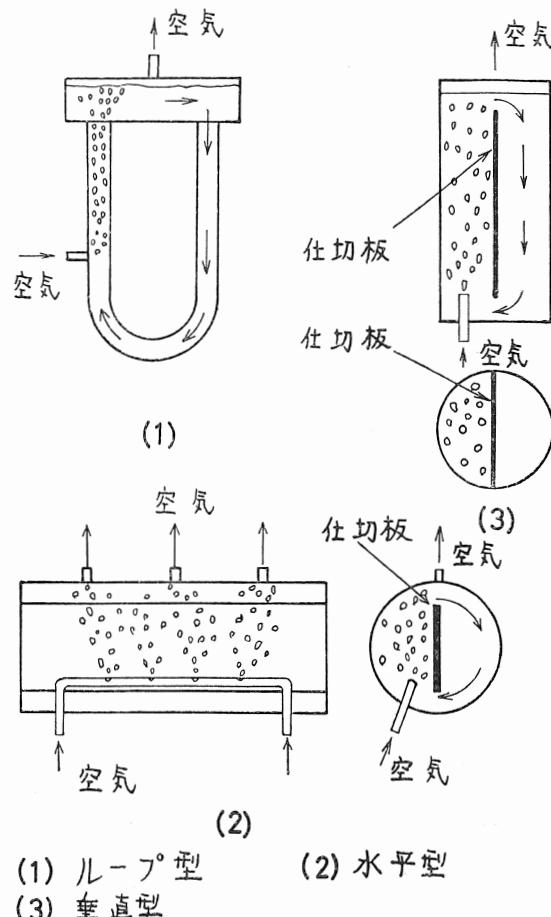


図1 自然循環流の三形式

α_{TP} : 水と空気の二相流の場合の熱伝達係数

3. 自然循環伝熱

自然循環ボイラにおいては、ループ内の二相流体と単相流体との間の比重差により生じる流動様相がある。この現象を模型的あるいは他の目的のために実現させる方法として、空気を流体中に吹込む、いわゆる気液二相流がある。図1-(1)にこのループの略図を示す。

自然循環流を伝熱の面から眺めてみると、単相流体のみが流れている場合に比べて、二相流体の流動伝熱

*大分大学工学部

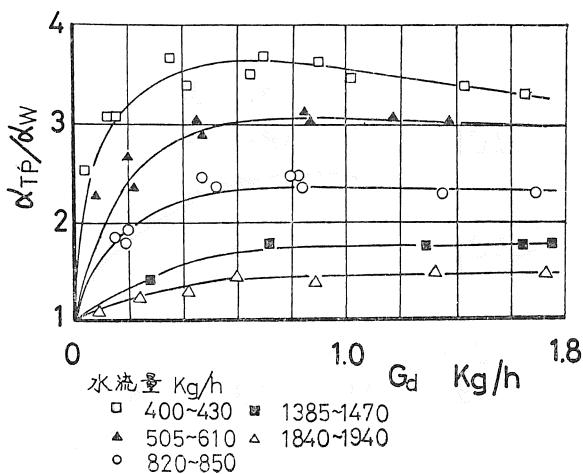


図 2 「空気流量 G_d 」と「二相流と単相流の熱伝達比」との関係

の方が伝熱特性の秀れていることは良く知られている。その理由は、気泡の攪拌効果による伝熱促進、すなわち、沸騰熱伝達の形態が出現するためと考えられる。

気液二相流の伝熱実験結果⁽¹⁾によれば、わずかの空気吹込量によって二相流体の熱伝達係数が単相流体のそれより急激に大きくなることが知られている。図2にその一例を示す。縦軸には単相流と二相流の熱伝達係数比 α_{TP}/α_w を、横軸には空気流量 G_d を取り、水流量をパラメータとして示した図である。同図から分るように、わずかの G_d の増加とともに α_{TP}/α_w の値は急激に大きくなる。さらに G_d が増しても、その値はほぼ一定値か、わずかに減少する傾向を示している。

すなわち、わずかの空気吹込量により、熱伝達係数は単相流の場合の値よりかなり良くなるが、さらに空気量を増しても伝熱特性はそれ程改善されない。

したがって、伝熱特性改善の観点からみて、必要最小限の空気吹込量を用いた自然循環伝熱装置を、太陽熱温水器として用いれば、希望到達温度をより短時間により効果的に実現しうると考え、本研究に着手した。

3. 1 自然循環ループ

空気吹込みによる気液二相流の自然循環ループとしては、つぎに示す方式が考えられる。

(1) 垂直ループ、(2) 水平型、(3) 垂直型

図1にそれぞれの略図を示した。今回の実験は(3)の垂直型について行なったが、一般的に言えば、(2)、(3)は非円形断面自然循環流とでも称すべきであろう。

(3)の垂直型ループによる実験としては、(i)

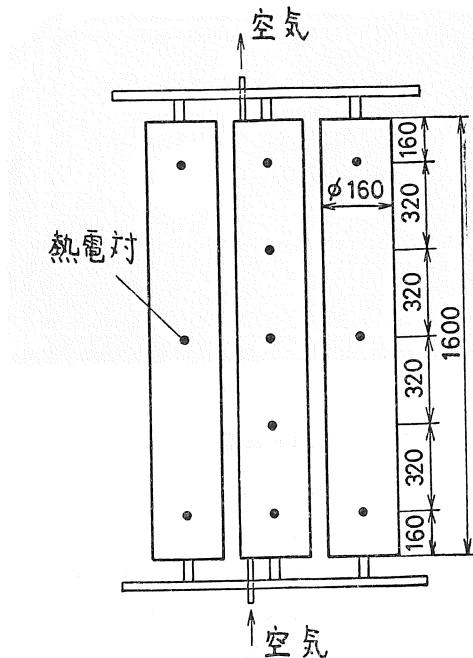


図 3 自然循環型温水器

非加熱装置による流动様相の観察および空気吹込量と循環水流速との間の法則性の解明、(ii) 市販の太陽熱温水器を改良製作した垂直自然循環型温水器による太陽熱利用の実験を実施した。

(i) 項は現在実験進行中であり、近く別の機会に発表する予定である。したがって、現在は(i)項の実験結果の一部を、(ii)の温水器内の空気吹込量から循環水流速を推定する方法として利用していることを記すに止める。

3. 2 自然循環型温水器

市販の温水器(日立化成製、集熱筒直径160 mm、長さ1600 mm、6本構成)を改造して使用した。従来型式と自然循環型の場合の性能を比較するため、両形式による実験測定を行った。

従来型は温水器枠などをそのままにして、図3に示すように集熱筒3本を用い、左右の集熱筒では各3点、中央の集熱筒では5点、計11点の測定点を定め、Cu-C₀ 热電対を用いて管内水温を測定した。中央の集熱筒は主たる測定対象としたため測定点が多くなっている。

自然循環型も従来型と同様集熱筒は3本用いたが、中央集熱筒の内部に仕切板を設け、かつ筒の下部に空気吹込孔を設けてある点が異なる。仕切板は入射太陽光に対し、ほぼ平行とほぼ垂直な位置に挿入設定したが、その理由は集熱効果の相異を検討するためである。

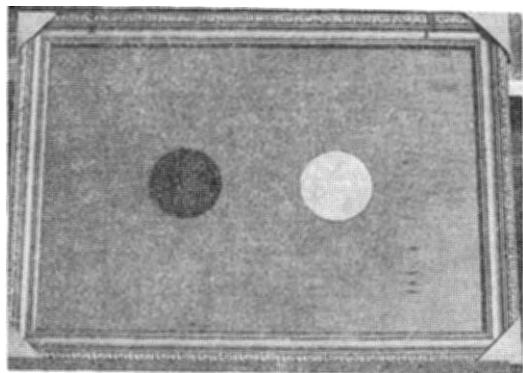


図4 簡易日射量測定装置

3.3 簡易日射量測定装置

市販の日射量測定機器の購入が遅れたため、以下に述べる簡易測定装置を製作使用した。直径 63 mm, 厚さ 0.5 mm のアルミ円板 2 枚の中、1 枚の表面は十分研磨し、他の 1 枚の表面はカーボン粉末（試薬品）を黒ラッカと混ぜて塗装したものを用い、これら両者の裏面に熱電対の両端を接着する。両円板を透明ガラス付額縁を利用して固定し、両円板間の電位差を記録計に記録して日射量の目安を得ることとした（図4 参照）。この方法では日射量の絶対値の測定は不可能であるが、異なる日時の記録紙の時間変化の傾向記録を重ね合わせて、良く一致するものを取り出せば、日射量がほぼ同一量で変化した日時を推定することができる。

前述自然循環型の仕切板の位置 2 種と従来型計 3 種

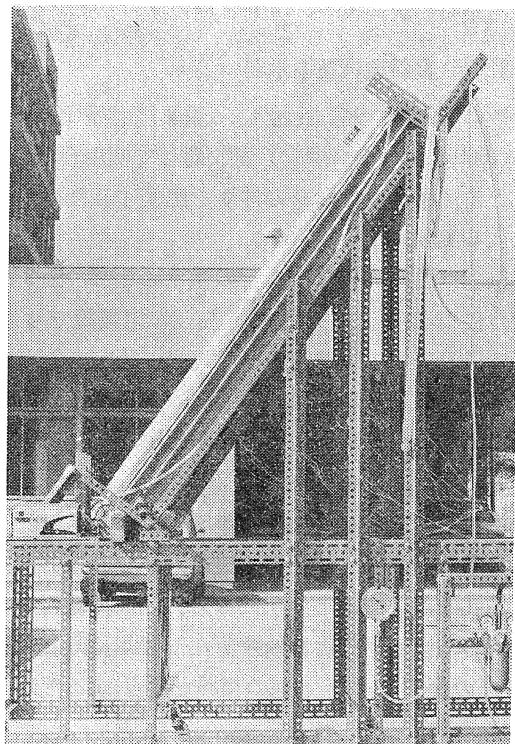


図5 溫水器実験装置

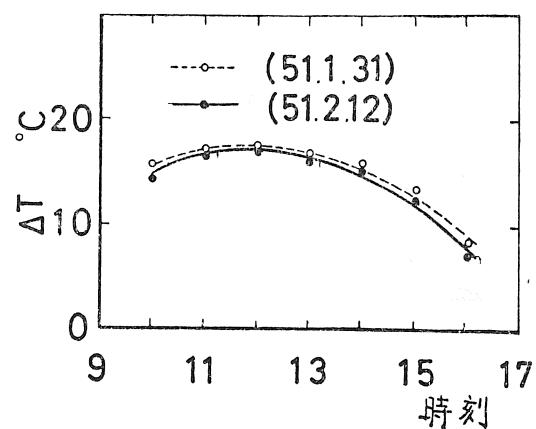


図6 簡易日射量測定装置による測定例

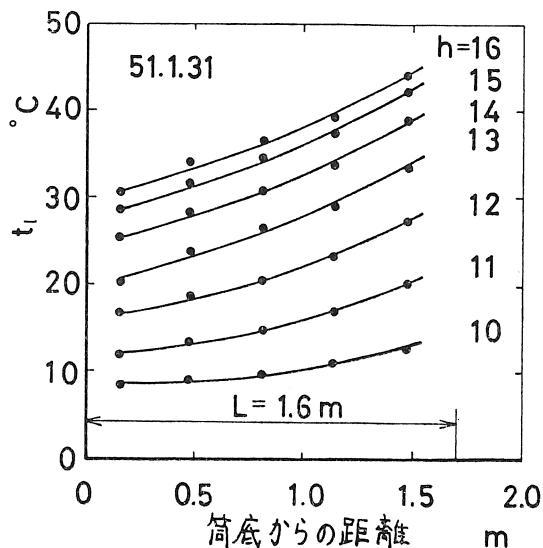


図7 従来型温水器の測定例

の装置は、同時に実験できなかったので、上述の簡易日射計の測定記録より同一日射量とみなせる日時を選定して比較考察を行った。

4. 実験測定および結果の考察

温水器は地面に対し 55° の傾きで真南方向に定置し、測定は昭和 51 年 1 月下旬～2 月中旬、時間は 9:30～16:00 の範囲で主として快晴とみられる日を選んで行った。自然循環型装置の空気吹込量は流量計により測定し、0.10, 0.16 l/s 2 種の値につき実験を行った。側面から見た装置の概観を図 5 に示す。

前述の簡易日射量測定装置を用いて、日射量の時間変化を測定した結果から、図 6 に示すように 51.1.31 および 51.2.12 の傾向がかなり良く一致することが認められたので、以下、この両日の測定値の比較・考察を主体に述べる。

従来型 (51.1.31) および自然循環型 (51.2.12)

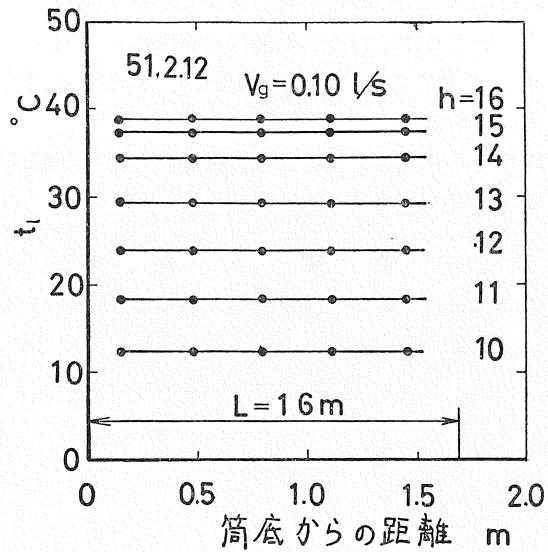


図 8 自然循環型温水器の測定例

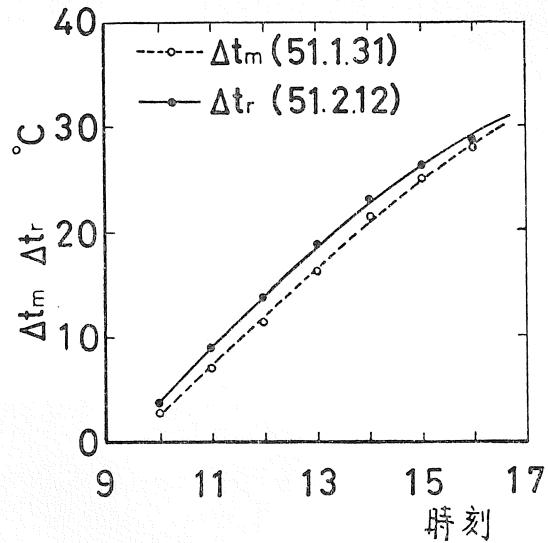


図 9 従来型と自然循環型との比較

の各中央集熱筒の測定点温度をそれぞれ図7および図8に示す。両図から分るように、従来型では同一時刻の各点水温が異なるが、自然循環型では測定点に無関係に同一時刻同一温度となっている。この傾向は、主として前者が熱伝導伝熱、後者が強制対流伝熱の性格を持つからである。

図7および図8によって従来型と自然循環型の比較検討を行うのは適当でないので、つぎのように整理して図9に示した。すなわち、従来型の同一時刻における平均水温 t_m を算出し、同時刻の大気温度 t_a との差 Δt_m を縦軸に、横軸に時刻 h を用いて示したのが同図の実線である。また、同図破線は自然循環型の測定値である。この場合、縦軸は図8の縦軸の値 t_l と t_a との差 Δt_r を用いる。

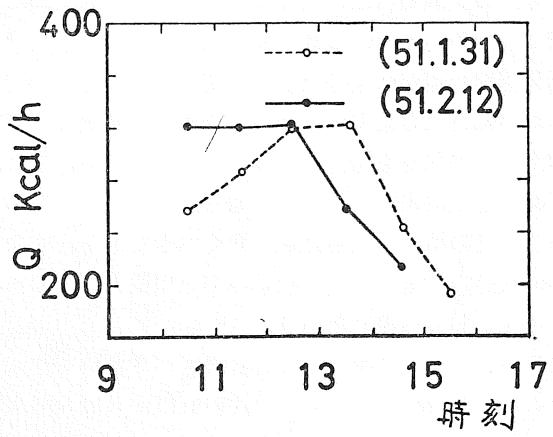
図 10 集熱量 Q の時刻による変化の傾向

図6と図9を対応させて眺めると、日射量はむしろ従来型(51.1.31)の方がやや多いと見られるのに、筒内水温の上昇は自然循環型(51.2.12)の方が早く、温水器としてより有効なことを示している。

図9の勾配を用いて荒い計算ながら時間当たり集熱量 Q kcal/h を求めて示したのが図10である。同図から分るように、従来型では正午以後に集熱量のピークが現われ、14時以降 熱損失の方が大きくなるとともに Q は減少する。自然循環型では循環流が始まるとともに集熱量 Q はほぼ最大値となり、正午以後となると在来型より早く Q の減少傾向を示す。この理由は、自然循環型では気泡の攪乱作用で熱伝達が促進されるため、循環開始と同時に集熱量も最大に近くなるが、水温と外気との温度差も早く大きくなるため、熱損失も早く大きくなり、結果として図10のような傾向を示すのであろう。

なお、自然循環型の実験例(51.2.12)は空気吹込量 $V_g=0.1 l/s$ 、循環水流速 $W_e \approx 30 cm/s$ (推定)で行われた。また、大分地方は北緯 $33^{\circ} 14'$ 、東経 $131^{\circ} 37'$ である。

5. まとめ

以上述べたことをまとめると以下のようである。

- (1) 太陽熱温水器に自然循環伝熱の一方式である垂直型の装置を用いて実験を行い、従来型と比較して、同一時間内の到達水温が10~20%高めとなり、したがって受熱量の最大値到達も早いことを確めた。
- (2) 非加熱自然循環流動の実験については現在も実施中なので、詳細にふれることは避け、その実験結果の一部を循環水流速 W_e の推定に利用したことを述べるに止めた。

今回の実験報告は、表題についての予備的実験の段階に属するもので、気液二相流的流動を応用した自然循環型温水器が従来型とどの程度の相異となるかを知るために行なった実験である。今後は単相流の自然循環との得失をも検討してみるつもりである。また、表題の型の渴水器としての最適寸法も知るべきであろうし、その持つ欠点も知っておくべきである。すなわち、吹込み空気の温度、吹込み空気用動力などの事柄も考えておくべきであろう。

このように、今後多くの解決すべき事柄を持っているが、筆者らとしては、表題の装置が多量の温水を

貯えるに適したものとなりうるかどうかを明らかにしてみたいと考えている（給湯用、蓄熱用、中温度熱源用など）。多くの方々からの御意見、御助言を頂ければ幸いである。

終りに当り、本実験に種々御援助頂いた東芝総研坂本守義主任研究員に厚く謝意を表したい。

参考文献

- (1) 勝原、風間：日本機械学会論文集 24巻144号
(昭33—3), 552.

(原稿受理 昭和52年2月14日)

