

## ヒートパイプを用いた太陽熱蒸留器の屋内実験

Indoor experiments of the diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector

田中 大 \*<sup>1</sup>  
Hiroshi TANAKA中武 靖仁 \*<sup>1</sup>  
Yasuhito NAKATAKE田中 真人 \*<sup>2</sup>  
Masahito TANAKA

## Abstract

We performed the indoor experiments of single-effect solar still of which structure is equivalent to the first distilling cell of the vertical multiple-effect diffusion-type still, coupled with a heat-pipe solar collector, and found that the time variation of temperatures of the collector plate of the solar collector, and the first and the second partitions of the single-effect still were in good agreement between the experiments and theoretical predictions, and this indicates that the heat-pipe can transport thermal energy well from the solar collector to the multiple-effect still. Further, the difference of the distillate production rate between the experiments and the theoretical predictions was less than 6% when the radiation on the glass cover from heating lamps was more than 500W/m<sup>2</sup>.

キーワード：太陽熱淡水化、太陽熱蒸留器、多重効用、集熱パネル、ヒートパイプ、屋内実験

Key Words: Solar distillation, Solar still, Multiple-effect, Solar collector, Heat-pipe, Indoor experiment

## 1. 緒言

発展途上国においては、水不足が慢性的な問題となっており、非衛生的な水の摂取に起因する健康被害を防止することが緊急の課題となっている。また、東南アジアの島嶼国においては、発電施設を持たない離島が多数存在しているため、電力や化石燃料を必要としない、持続的に使用可能な海水淡水化装置への需要は高い。このため、自然エネルギーである太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器は、小型分散型の淡水供給手段として、これらの地域のニーズを満たし得るものである。

太陽熱蒸留器の中でも、水蒸気の凝縮潜熱を再利用し、蒸発・凝縮の過程を複数回繰り返す、多重効用型蒸留器の性能は高いが、特に、ウィック（保水性の高い布）を貼り付けた仕切り板（薄い金属板）を平行に複数枚配置した平行平板構造の多重効用型蒸留器（Fig. 1の蒸留部と同様の構造）は、サイズが小さくかつ構造が単純だが、その性能は高い<sup>1)2)</sup>。Tanakaら<sup>13)17)</sup>はこれまでに、平行平板構造の多重効用型蒸留器を鉛直に設置することによる利点が非常に大きいこと、すなわち、仕切り板を鉛直に設置することにより仕切り板の自重によるたわみを減少できるため、仕切り板と仕切り板の間の湿り空気層の厚さを非常に小さくし、水蒸気の拡散抵抗すなわち伝熱抵抗を著しく減少することが可能であり、その結果、蒸留量が飛躍的に増加す

ることを屋外実験および理論解析により明らかにした。

著者らはこれまでに、鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器とヒートパイプ式太陽集熱パネルを組み合わせた新しい型の蒸留器を提案し<sup>18)21)</sup>、本蒸留器の基礎的な蒸留特性および蒸留性能におよぼす気象、設計および操作条件の影響を数値シミュレーション計算によって明らかにし<sup>19)20)</sup>、その結果、本蒸留器の蒸留性能が従来の多重効用型蒸留器よりも向上することが予測された。さらに、本蒸留器に用いるヒートパイプ式集熱パネルの特性を明らかにするため、集熱パネルおよび1枚目の仕切り板のみで構成される実験装置を製作し、屋内実験を行い、ヒートパイプ内に注入する作動流体の量がヒートパイプに与える影響、特に集熱パネルの蒸発管群における作動流体の蒸発挙動に与える影響を明らかにした<sup>22)</sup>。

そこで本研究では、本蒸留器の蒸留性能を確認するため、本蒸留器の試作および屋内実験を行い、得られた結果を数値シミュレーション計算結果と比較・検討した。なお、本研究では、特にヒートパイプによる潜熱輸送が良好に行われるかを確認するため、蒸留器は多重効用ではなく単効用（蒸発・凝縮の過程が1回のみ）で実験を行った。

## 2. 蒸留器の概略

本蒸留器の概略をFig. 1に示す。本蒸留器は、平板型ヒートパイプ式太陽集熱パネルと鉛直平行平板構造多重効用型蒸留器（以降、蒸留部と呼ぶ）から構成される。蒸留部は、狭い空気層を介して平行かつ鉛直に配置された複数枚の仕切り板で構成

\*<sup>1</sup> 久留米工業高等専門学校機械工学科  
(〒830-8555 久留米市小森野1-1-1)  
e-mail: tanakad@kurume-nct.ac.jp

\*<sup>2</sup> 久留米高専専攻科機械・電気システム工学専攻学生  
(原稿受付：2004年3月9日)

され、蒸留部の最外面を除く全ての仕切り板の背面にはウィックが貼り付けられており、各ウィックには常時一定量の海水が供給される。蒸留部の1枚目の仕切り板前面には蛇行状に加工された銅管（凝縮管）が接着され、この凝縮管と集熱板上の蒸発管群が2本のつなぎ管により連結されることにより閉ループを構成し、ここに作動流体である蒸留水を注入して、閉ループ内部を減圧することによりヒートパイプを成す。なお、集熱パネル下面および蒸留部の前面は断熱材により断熱される。

太陽集熱パネルで吸収された太陽エネルギーは、ヒートパイプの作用により蒸留部に移動し、まず1枚目の仕切り板背面のウィック中の海水を加熱・蒸発させる。発生した水蒸気は2枚目の仕切り板前面で凝縮するが、この際に放出される凝縮潜熱によりさらに2枚目の仕切り板背面のウィックから海水が蒸発する。この蒸発・凝縮の過程を蒸留部で繰り返すことにより蒸留量は増加する。

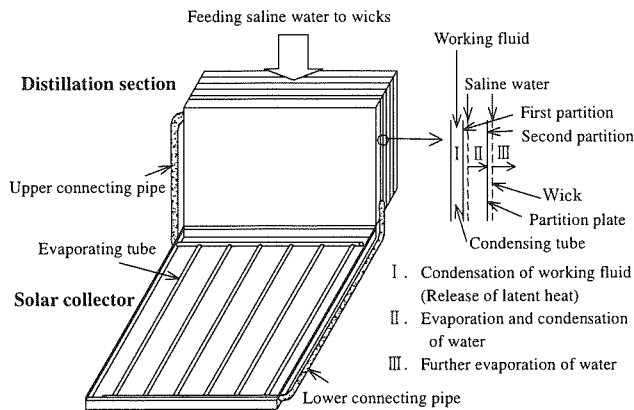


Fig. 1 Schematic diagram of multiple-effect diffusion-type still coupled with a heat-pipe solar collector

本蒸留器は電力等を利用することなく、離島などの遠隔地において海水を淡水化することが可能である。また、本蒸留器の集熱パネルおよび蒸留部の厚さはそれぞれ数十mm程度と薄く、さらに集熱パネルと蒸留部を分離することにより非常に小さく収容することが出来るため、運搬・保管等が容易である。さらに、集熱パネルの角度は、設置場所や季節によって変化する太陽高度に合わせて自由に調節することが可能であり、異なる条件下においてもその性能を最大限に保つことが出来る。

### 3. 屋内実験装置および実験方法

屋内実験装置の外観および概略図をFig. 2およびFig. 3に、集熱板および1枚目の仕切り板と凝縮管の概略図をFig. 4示す。集熱板は幅280mm、長さ570mm、厚さ1mmの銅板であり、この銅板上に内径5mmの銅管を50mmピッチの間隔で伝熱セメント（サーモコンE）で接着し、黒色に塗布した後、24mmの空気層を介して厚さ3mmのガラス板を設けて集熱パネルとした。集熱パネルの底面および側面は厚さ30mmのウレタンフォームにより断熱した。凝縮管は、内径11.2mmの銅管を蛇行状に加工し、これを1枚目の仕切り板（幅320mm、高さ280mm、厚さ1mmの銅板）に伝熱セメント（サーモコンE）で接着した。1枚目の仕切り板前

面は厚さ20mmのガラスウールで断熱した。集熱板上の銅管群と凝縮管は、2本のつなぎ管（内径10mmの銅管）で連結し、つなぎ管は厚さ10mmのガラスウールで断熱した。なお、本実験装置においては、Fig. 3に示すように、集熱板の上端の位置が、1枚目の仕切り板の半分の高さ、すなわち1枚目の仕切り板の上端から140mmの位置になるように設置し、集熱パネルの角度は $26^\circ$ とした。2枚目の仕切り板には厚さ5mmの強化板ガラスを用い、蒸発用ウィックの様子を観察できるようにした。なお、1枚目と2枚目の仕切り板の間の湿り空気層の厚さは4.5mmとした。

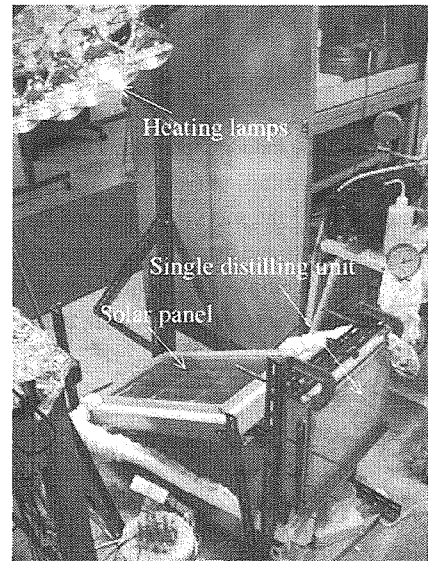


Fig. 2 Snap shot of the experimental apparatus

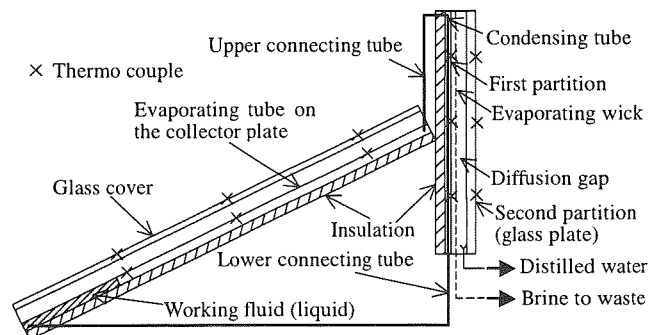


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental apparatus

集熱板およびカバーガラスの温度はFig. 4(a)に示す位置において、1枚目および2枚の仕切り板の温度はFig. 4(b)に示す位置においてT型熱電対により測定し、ヒートパイプ内部の圧力は真空ゲージ圧計により測定した。なお、屋内実験用の光源には赤外線電球8個を使用し、赤外線電球群は集熱パネルと約850mmの間隔で平行になるように配置した。カバーガラス面上の光量測定には全天日射計を使用した。カバーガラス面上の光量は一律でないため、カバーガラス面を面積の等しい32区画に分割し、それぞれの区画の中心点における測定値の平均を光量とした。

実験手順は以下の通りである。まず、ヒートパイプ内に所定の量の作動流体（蒸留水）を注入し、真空ポンプにより数分間減圧し、蒸留水内部の溶存空気を十分に除去した。その後、赤

外線電球に所定の電圧を印加することにより集熱板を加熱し、設置した熱電対の起電力をデジタルマルチメータ（分解能0.001mV）によりサンプリング周期1秒で測定した。なお、1枚目の仕切り板のウィックには、定常状態における蒸発量の約2倍の水を連続的に一定量供給し、2枚目の仕切り板で得られた蒸留量は電子天秤（分解能0.01g）により測定した。なお、本実験においては、ウィックへの供給水として海水の代わりに水道水を使用した。

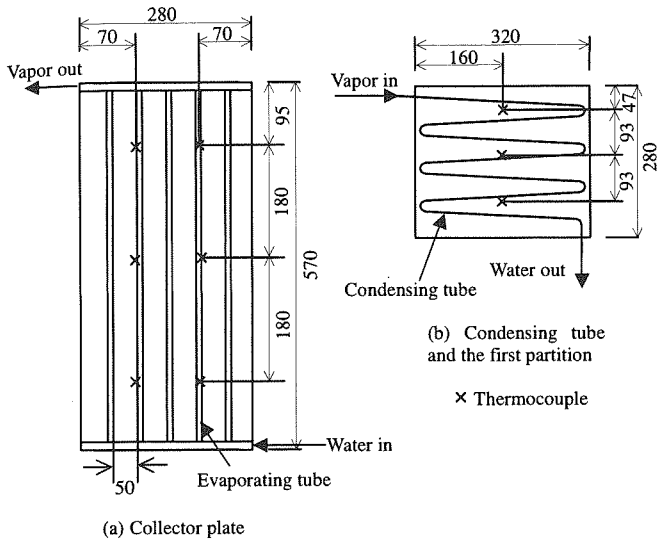


Fig. 4 Collector plate and evaporating tubes, and condensing tube and the first partition of the indoor experimental apparatus

なお、前報<sup>22)</sup>で報告したように、作動流体の量が少ない場合、蒸発管の上部において、蒸発管内表面の濡れ性の悪化にともなう空焚きが原因と考えられる温度上昇が生じ、それにもなつて集熱板と1枚目の仕切り板の温度差が大きくなり、ヒートパイプの性能が低下することが確認された。また、本実験装置の設計条件では、各蒸発管の作動流体で満たされた部分の長さが230mm以上の範囲においては、凝縮管の下部の一部が常に水で満たされた状態になり、その部分で凝縮が生じなくなる。したがって、本研究のいずれの実験においても、作動流体の量がほぼ最大となるように、ヒートパイプに注入する作動流体の量は一定とし、実験開始前に各蒸発管の長さの約4割（約230mm）が作動流体で満たされるようにした。ただし、作動流体の量が多いほど、作動流体の過熱度（沸騰温度と作動流体（液体）の温度の差）が大きくなり、激しい突沸による大きな圧力変動が生じやすくなることも観察された<sup>22)</sup>ため、本実験装置（集熱パネルの長さが570mm）を大型化し、例えば市販の集熱パネル（長さが2000mm）を使用する場合については、蒸発管内表面の濡れ性や作動流体の過熱度等の影響を考慮に入れ、ヒートパイプ内に注入する作動流体の量をより詳細に検討する必要があると考えられる。

#### 4. 数値シミュレーション計算

本研究では、得られた実験結果を数値シミュレーション計算と比較・検討したが、数値シミュレーション計算の詳細は前報<sup>18)</sup>

に記述したため、ここでは、前報で報告した数値シミュレーション計算と本報での計算の主な違いについて記述する。

- (1) 前報ではヒートパイプ内の作動流体をエタノールとして計算したが、本報では作動流体は水として計算を行った。
- (2) 前報では、集熱板とカバーガラスの間隔は十分狭く(10mm)、対流の影響は無視できるとしたが、本報ではその間隔が24mmのため、集熱板とカバーガラス間のNu数には対流を考慮した次式<sup>23)</sup>を用いた。

$$Nu = 1 + 1.44 \left( 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \theta} \right)^* + \left\{ \left( \frac{Ra \cdot \cos \theta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right\}^*$$

ここで、 $\theta$ は集熱パネルの角度であり、\*は括弧内が負の場合に0となることを示す。なお、本式は、 $Ra \cdot \cos \theta$ が臨界レイレー数(1708)以下の場合には対流が生じず、さらに $Ra \cdot \cos \theta$ が臨界レイレー数よりも大きくなるにつれて、集熱板とカバーガラス間の空気層に不規則な流れが生じ始めることを示している。

- (3) 前報では光源は太陽としたが、本報では光源は赤外線電球とし、赤外線電球からの光に対するガラスの透過率を0.83<sup>9)</sup>として計算を行った。
- (4) 前報では、凝縮流路を矩形流路とし、凝縮面で層流液膜が生じると仮定して凝縮の熱伝達率を計算したが、本報では、凝縮管内の凝縮の熱伝達率 $h_{cd}$ には次式<sup>24)</sup>を用いた。

$$h_{cd} = h_l (0.55 + 2.09 / p_r^{0.38})$$

ここで、 $h_l$ は管内を液のみが流れると仮定した場合の熱伝達率、 $p_r$ は飽和蒸気圧 $p_s$ と水の臨界圧力 $p_c$ の比( $p_r = p_s / p_c$ )である。

- (5) 前報では、集熱板表面は選択吸収膜処理（吸収率=0.9、放射率=0.2）されると仮定したが、本報では集熱板は黒色塗料で塗布したため、赤外線電球からの光に対する吸収率=0.9および放射率=0.9として計算を行った。
- (6) 前報では、仕切り板の厚さは十分薄く(0.5mm)、仕切り板内部の温度降下は無視できると仮定したが、本報では2枚目の仕切り板には厚さ5mmのガラス板を使用したため、ガラス板内部の温度降下 $\Delta T$ は次の式で計算した。

$$\Delta T = q \times \delta / \lambda$$

ここで、 $q$ はガラス板を通過する熱流束、 $\delta$ はガラス板の厚さ(=5mm)、 $\lambda$ はガラス板の熱伝導率(=1.03W/mK)である。

- (7) 前報では、カバーガラスおよび最外部の仕切り板と周期空気間の熱伝達率は、強制対流を仮定して計算したが、本報においてはほぼ無風の状態で屋内実験を行ったため、これらの熱伝達率は、自然対流が生じるとして次式<sup>25)</sup>を用いて計算を行った。

$$Nu = 0.022 \times Ra^{2/5}$$

ここで、Nuはヌセルト数、Raはレイレー数である。

- (8) 前報では、ウィックへの供給水は塩分濃度3.44wt%の海水を仮定したが、本報では水道水を使用したため、塩分濃度0%として計算を行った。なお、塩分濃度を考慮した場合との蒸留量の

差は3%程度と見積もることが出来る<sup>17)</sup>。

以上の仮定のもと、集熱パネルおよび蒸留部の各構成要素に関する熱収支式および関連する式の連立方程式を解くことにより、各構成要素の温度および2枚目の仕切り板における凝縮量を計算した。

5. 実験結果および考察

カバーガラス面上の光量 $I$ を $748\text{W/m}^2$ とした場合における、集熱板、1枚目の仕切り板および2枚目の仕切り板の温度の経時変化をFig. 5に示す。照射開始後、温度は急激に上昇するが、約80分以降には温度の上昇はなだらかになる。測定の全ての時間帯において、集熱板および1枚目の仕切り板には周期的な温度の振動が生じており、集熱板における数 $K$ の温度低下と1枚目の仕切り板における数 $K$ の温度上昇が同時に生じている。これは、集熱板上の蒸発管群において周期的な突沸が生じており、この突沸によって、水蒸気が集熱板上の蒸発管群から1枚目の仕切り板に接着された凝縮管に輸送されていることを示している。なお、前述したように、今回のいずれの屋内実験においても、各蒸発管の全てを作動流体（蒸留水）で満たすのではなく、各蒸発管は、その下端から約230mmの部分（各蒸発管の長さの約4割）が水で満たされた条件で実験を行ったが、光量 $I=748\text{W/m}^2$ の場合には、蒸発管の上部においても極端な温度の上昇は見られなかった。これは、突沸によって蒸発管内部の水（液体）が水蒸気とともに蒸発管の上部へ移動し、その結果、蒸発管内表面の全域にわたって比較的良好な濡れが確保されたためだと考えられる。本実験結果は数値シミュレーション計算結果とよく一致しており、本蒸留器におけるヒートパイプ式集熱パネルが良好に作動していることを確認できた。

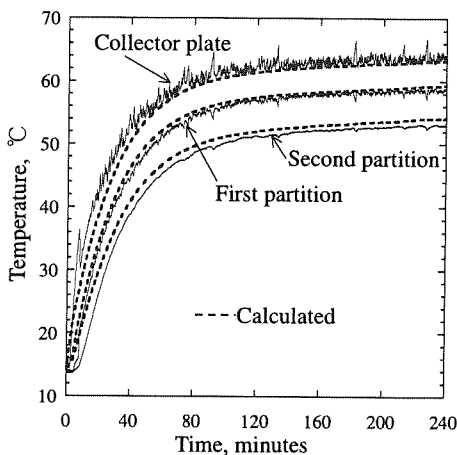


Fig. 5 Time variation of temperatures of the collector plate and the first and second partition at  $I=748\text{W/m}^2$ .

カバーガラス面上の光量 $I$ を $500\text{W/m}^2$ とした場合における、集熱板、1枚目の仕切り板および2枚目の仕切り板の温度の経時変化をFig. 6に示す。光量 $I=500\text{W/m}^2$ の場合も、光量 $I=748\text{W/m}^2$ の場合と同様の経時変化を示しているが、光量 $I=500\text{W/m}^2$ の場合の方が光量 $I=748\text{W/m}^2$ の場合と比べて温度変化の振動の周期は長くなり、その振幅も大きくなっている。これは、光量が低下した

ことにより、突沸から突沸までの間隔が長くなるため、作動流体の過熱度（沸騰温度と作動流体（液体）の温度差）が増加し、さらに突沸の周期が長くなることにより、突沸により一時的に濡れた蒸発管上部の内表面に乾きが生じ、その部分において空焚きが生じたためであると考えられる。この結果、定常状態における集熱板と1枚目の仕切り板の温度差の実験値と計算値の差は、光量 $I=500\text{W/m}^2$ の場合の方が光量 $I=748\text{W/m}^2$ の場合に比べて大きくなっている。

また、特に実験開始後約40分以降および約150分以降には、集熱板温度の著しい上昇と同時に1枚目および2枚目の仕切り板の温度の著しい低下が見られるが、これも前述したように作動流体に著しい過熱度が生じたためだと考えられる。このような、集熱板温度の著しい上昇は、特に光量 $I$ が小さい場合によく生じ、光量 $I$ が $748\text{W/m}^2$ の場合ではほとんど見られなかった。

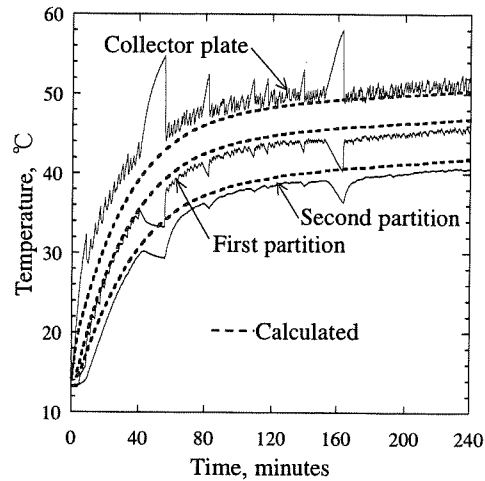


Fig. 6 Time variation of temperatures of the collector plate and the first and second partition at  $I=500\text{W/m}^2$ .

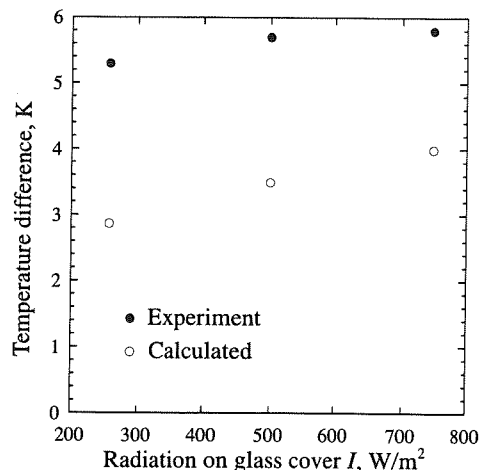


Fig. 7 Temperature difference between collector plate and first partition varying with radiation on glass cover

カバーガラス面上の光量 $I$ を $748\text{W/m}^2$ 、 $500\text{W/m}^2$ および $248\text{W/m}^2$ とした場合の、集熱板と1枚目の仕切り板の温度差をFig. 7に示す。光量が増加するほど温度差の実験値および計算値はそれぞれ増加するが、光量が小さいほど実験値と計算値の差が大きくなる。

これは主に、数値シミュレーション計算では蒸発管内表面全域で核沸騰が生じると仮定しているが、実験においては、前述したように、光量が小さい場合、蒸発管内表面の一部に乾き面が生じ、その部分において空焚きが生じ、さらに作動流体の過熱度が大きくなるためだと考えられる。

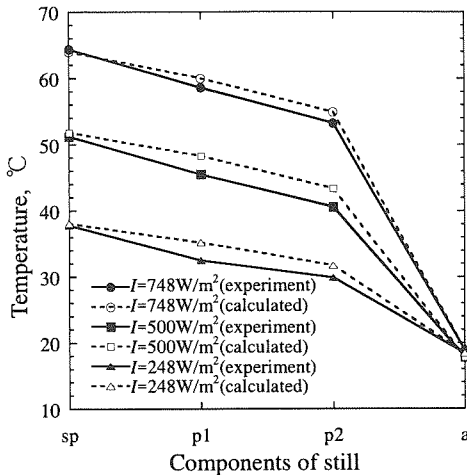


Fig. 8 Distribution of temperature in the still at steady-state

カバーガラス面上の光量を748W/m<sup>2</sup>、500W/m<sup>2</sup>および248W/m<sup>2</sup>とした場合、定常状態における集熱板(sp)、1枚目の仕切り板(p1)および2枚目の仕切り板(p2)および周囲空気(a)の温度分布をFig. 8に示す。なお、図に示す温度は、ほぼ定常状態とみなせる実験開始後230分から240分までの平均値である。光量が大きいほど各部の温度は高く、いずれの光量の場合も集熱板で最も温度が高く、1枚目および2枚目の仕切り板へと温度は低下する。いずれの光量においても、1枚目および2枚目の仕切り板の温度の実験値は、計算値よりも数K低く、その温度差は光量が小さいほど大きくなる傾向を示す。これは前述したように、光量が小さいほど集熱板と1枚目の仕切り板の温度差の実験値と計算値の差が大きくなり(Fig. 7)、それに伴ない1枚目および2枚目の仕切り板の温度の実験値も低下するためである。

カバーガラス面上の光量が748W/m<sup>2</sup>、500W/m<sup>2</sup>および248W/m<sup>2</sup>の場合の定常状態における、2枚目の仕切り板における凝縮量をFig. 9に示す。なお実験値は、定常状態になった後の3時間の平均値であり、凝縮量は集熱板の単位面積当たりの値である。光量が小さいほど実験値が計算値よりも低くなる傾向を示しているが、これは光量が小さいほど集熱板と1枚目の仕切り板の温度差が大きくなり(Fig. 7)、1枚目および2枚目の仕切り板の温度の実験値が計算値よりも低くなる(Fig. 8)ためだと考えられる。また、光量Iが500W/m<sup>2</sup>および748W/m<sup>2</sup>いずれの場合も、実験値と計算値の誤差は6%以下であるが、光量Iが248W/m<sup>2</sup>の場合はこの誤差が約18%となっている。これは、光量Iが小さくなるほど、Fig. 6の約40分あるいは約150分以降に見られる様な、長時間にわたって蒸発管における突沸が生じず、集熱板温度が著しく上昇するという現象が生じやすくなり、その結果集熱パネルから蒸留部へのヒートパイプによる潜熱輸送が悪化するためであり、光量

I=248W/m<sup>2</sup>の場合はその影響が大きくなったためだと考えられる。しかし、いずれの光量においても、実験値と計算値はほぼ一致しており、本蒸留器の蒸留挙動が良好であることを確認できた。

なお、集熱パネルを大型化した場合、蒸発管群の長さも大きくなるため、蒸発管群内における蒸発挙動は、本実験装置で観察された蒸発挙動とは異なることが予想されるため、今後、実験装置を大型化し、実機レベルでの実験を行う予定である。

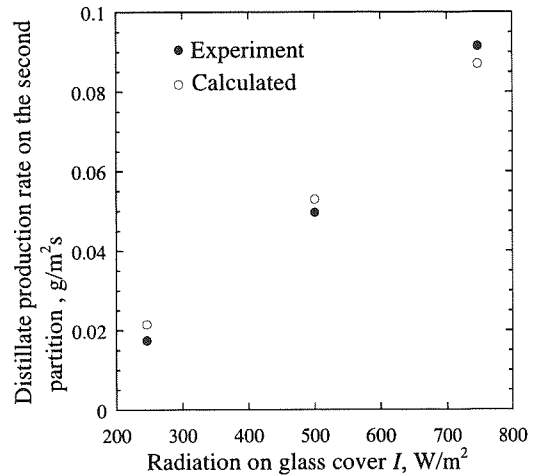


Fig. 9 Distillate production rate on the second partition varying with radiation I

6. 結言

鉛直平行平板構造多重効用型蒸留器の1段を模した鉛直単段蒸留器と、平板型ヒートパイプ式集熱パネルを組み合わせた蒸留器の屋内実験および数値シミュレーション計算を行い、以下の知見を得た。

1. カバーガラス面上の光量が748W/m<sup>2</sup>の場合、蒸留器内の温度の経時変化は、実験結果と計算結果がよく一致し、ヒートパイプ式集熱パネルが良好に作動していることが確認できた。
2. カバーガラス面上の光量が低下するほど、集熱板と1枚目の温度差の実験値と計算値の差が大きくなることがわかった。
3. 2枚目の仕切り板における凝縮量の実験結果と計算結果はほぼ一致し、特にカバーガラス面上の光量が500W/m<sup>2</sup>以上の場合の実験値と計算値の誤差は6%以下であった。

記号表

a: 周囲空気	$h_{cd}$ : 凝縮の熱伝達率, W/m <sup>2</sup> K
$h_i$ : 管内を液のみが流れると仮定した場合の熱伝達率, W/m <sup>2</sup> K	
I: カバーガラス面上の光量, W/m <sup>2</sup>	
Nu: ヌセルト数	p1: 1枚目の仕切り板
p2: 2枚目の仕切り板	p <sub>c</sub> : 臨界圧力, Pa
p <sub>r</sub> : 圧力比	p <sub>s</sub> : 飽和蒸気圧, Pa
q: 熱流束, W/m <sup>2</sup>	Ra: レーレー数
sp: 集熱板	$\Delta T$ : ガラス板の温度降下, K
$\delta$ : ガラス板の厚さ, m	$\lambda$ : ガラス板の熱伝導率, W/mK
$\theta$ : 集熱板の角度	

参考文献

1) P. I. Cooper and J. A. Appleyard, The Construction and Performance of a Three-Effect, Wick-Type, Tilted Solar Still. *Sun at Work*, 12-1(1967), 4

- 2) R. V. Dunkle, Solar Water Distillation: The Roof Type Still and a Multiple Effect Diffusion Still, *Proc. International Heat Transfer Conference, University of Colorado, U.S.A., Part 5, 1961*, 895
- 3) 田中耕太郎, 太陽熱を利用した海水淡水化蒸留システムに関する基礎研究, 慶応大学, 博士論文, (1985)
- 4) 津村健児・山下正幸・渡辺裕人・稲葉秀達, 太陽直射多重効用蒸留装置における集熱面温度と蒸留水収量の関係, *日本海水学会誌*, 39-3(1985), 129
- 5) S. Toyama, T. Aragaki, H. M. Salah and K. Murase, Dynamic Characteristics of a Multistage Thermal Diffusion Type Solar Distillator, *Desalination*, 67(1987), 21
- 6) R. C. Ouahes and P. J. Le Goff, A Hardy, High-Yield Solar Distiller of Brackish Water, *Desalination*, 67(1987), 43
- 7) T. Kiatsiroat, S. C. Bhattacharya and P. Wibulswas, Performance analysis of multiple effect vertical still with a flat plate solar collector, *Solar & Wind Technology*, 4-4(1987), 451
- 8) 岡村秀昭・田中耕太郎・渡部康一, 多重効用型太陽熱蒸留器の性能に関する研究 (上方加熱方式蒸留器の屋外実験結果とシミュレーション解析), *太陽エネルギー*, 14-6(1988), 27
- 9) K. Ohshiro, T. Nosoko and T. Nagata, A Compact Solar Still Utilizing Hydrophobic Poly(Tetrafluoroethylene) Nets for Separating Neighboring Wicks, *Desalination*, 105(1996), 207
- 10) B. Bouchekima, B. Gros, R. Ouahes and M. Diboun, Performance Study of the Capillary Film Solar Distiller, *Desalination*, 116(1998), 185
- 11) K. Fukui, T. Nosoko, H. Tanaka and T. Nagata, A Maritime Lifesaving Solar Distiller, *Thermal Science & Engineering*, 10-4(2002), 63
- 12) K. Fukui, T. Nosoko, H. Tanaka and T. Nagata, A new maritime lifesaving multiple-effect solar still design, *Desalination*, 160(2004), 271
- 13) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, A highly productive basin-type - multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 279
- 14) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Parametric investigation on a basin-type - multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 295
- 15) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Improvement of performance of a basin type-multiple effect coupled solar still by increasing the number of distillation cells with narrow diffusion gaps, *Proc. 4th JSME-KSME Thermal Engineering Conference, Kobe, Japan, October 1-6, 2000*, 1-253
- 16) 田中大・野底武浩・長田孝志, Basin-多重効用複合型海水淡水化装置に関する実験および理論的研究, *太陽エネルギー*, 27-2(2001), 59
- 17) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Experimental study of basin-type, multiple-effect, diffusion-coupled solar still, *Desalination*, 150(2002), 131
- 18) 田中大・中武靖仁・平瀆国男, ヒートパイプと組み合わせた太陽熱蒸留器の提案とその特性, *太陽エネルギー*, 28-6(2002), 33
- 19) 田中大・中武靖仁, ヒートパイプと組み合わせた太陽熱蒸留器の特性 (第2報: 気象条件がおよぼす蒸留性能への影響), *太陽エネルギー*, 29-5(2003), 49
- 20) 田中大・中武靖仁, ヒートパイプと組み合わせた太陽熱多重効用型蒸留器の特性 (第3報: 蒸留器の設計および操作条件), *太陽エネルギー*, 30-1(2004), 41
- 21) H. Tanaka, Y. Nakatake, A vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector, *Desalination*, 160(2004), 195
- 22) 田中大・中武靖仁・渡邊勝宏・田中真人, 太陽熱蒸留器に用いるヒートパイプ式太陽集熱パネルの屋内実験, *J. Ecotech. Res.*, 10-1(2004), 15
- 23) K. G. T. Hollands, T. E. Unny, G. D. Raithby and L. Konicek, Free Convective Heat Transfer Across Inclined Air Layers, *Trans. ASME J. Heat transfer*, 98(1976), 189
- 24) M. M. Shah, A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 22(1979), 547
- 25) 日本機械学会, 伝熱工学資料第4版, (1986), 69, 日本機械学会, 東京