

平板反射鏡を用いた多重効用型太陽熱蒸留器の屋外実験

Outdoor experiments on a vertical multiple-effect diffusion solar still with a flat plate reflector

田 中 大 *
Hiroshi TANAKA

Abstract

A vertical multiple-effect diffusion solar still which consists of a glass cover and the parallel partitions in contact with saline-soaked wicks coupled with a flat plate reflector was constructed and the distillate productivity of the still was measured on several days from September 2006 to March 2007 at Fukuoka, Japan. The experimental results show that the distillate productivity can be drastically increased by increasing the number of partitions. The still consisting of 7 partitions and 5-mm diffusion gaps produced 13.46 kg/m²day at a day of 13.4 MJ/m²day of global solar radiation on a horizontal surface and 15.3 MJ/m²day of solar radiation absorbed on the first partition, showing that the proposed still is more than 5 times greater productive than the conventional single-effect stills. The experimental values for the distillate productivity are lower than the predicted one, and the discussion on this discrepancy is presented.

キーワード：太陽エネルギー、太陽熱蒸留器、多重効用、平板反射鏡、屋外実験

Key Words: Solar energy, Solar still, Multiple-effect, Flat plate reflector, Outdoor experiment

1. 緒言

地球温暖化にともなう異常気象および工場・農業廃水による河川水や地下水の汚染が世界各国で深刻化する中、衛生的な飲料水を確保することが困難な地域が発展途上国を中心にさらに広がっており、これらの地域においては、非衛生的な水の摂取に起因する健康被害が深刻な問題となっている。このような地域には経済的に恵まれない人々が居住することが多いため、このことが、衛生的な飲料水の確保をさらに困難なものとしている。このため、安価でかつ持続的に利用可能な淡水供給手段の実用化に対する期待は極めて高い。太陽熱を利用して海水あるいは泥水を蒸発させ、発生した水蒸気を凝縮させて衛生的な淡水を得ることのできる太陽熱海水淡水化蒸留器は、地域的な偏在の少ない太陽エネルギーのみを熱源とするため、小規模で分散型の飲料水供給手段として、発展途上国等の飲料水不足を解決する手段となり得る。

太陽熱蒸留器の歴史は古く、多くの研究者によってさまざまなタイプの太陽熱蒸留器が研究されてきた。太陽熱蒸留器は、単効用型および多重効用型の2種類に大別できる。単効用型蒸留器は、蒸留器内部で蒸発・凝縮の過程を一度だけ行うものであり、構造が単純である反面その性能は低く、蒸留器の敷地面積1m²当り最高で約5kg程度の蒸留量しか得られない。一方、多重

効用型蒸留器は、水蒸気が凝縮する際に放出する潜熱を利用して、蒸留器内部で蒸発・凝縮の過程を何度も繰り返すことにより太陽熱を再利用するため、その蒸留性能は単効用型の数倍に達する。しかしその反面、多重効用型蒸留器の構造は、単効用型と比較すると複雑になるため、このことが多重効用型蒸留器の実用化を困難にしている一因だと考えられる。多重効用型蒸留器の研究は多くの研究者によって行われており¹⁾²³⁾、日本においても津村ら⁴⁾、田中ら⁵⁶⁾、Toyamaら⁸⁾、棚谷ら¹⁰⁾、Nosokoら¹¹⁾¹³⁾、Nishikawaら²²⁾および著者ら¹⁶⁾¹⁸⁾によって研究されてきた。

多重効用型蒸留器の中でも、ウィック（保水性の高い布）を接着させた仕切り板（薄い金属板）を狭い間隔で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は、構造が比較的単純であり、かつ、その性能は高い¹⁾¹⁸⁾。この蒸留器においては、一定量の海水が各ウィックに連続的に供給される。まず1枚目の仕切り板が太陽熱により加熱され、その背面のウィック中の海水が加熱・蒸発する。発生した水蒸気は2枚目の仕切り板前面で凝縮するが、その際に放出される潜熱によってさらに2枚目の仕切り板背面から水蒸気が発生する。この蒸発・凝縮の過程を蒸留器内部で繰り返すことにより、蒸留量は増加する。

平行平板構造の蒸留器においては、仕切り板と仕切り板の間隔、すなわち水蒸気の拡散距離を小さくすることによりその蒸留性能が飛躍的に向上する。しかし、仕切り板の間隔を狭くした場合、仕切り板の自重および熱膨張によるたわみなどの影響で隣り合う仕切り板同士が接触し、蒸留水に海水が混入したり、

* 久留米工業高等専門学校機械工学科 准教授
(〒830-8555 久留米市小森野1-1-1)
e-mail: tanakad@kurume-nct.ac.jp
(原稿受付：2007年5月23日)

逆に蒸留水が蒸発用ウィックに再吸収される恐れがある。仕切り板を鉛直に設置する鉛直平行平板構造の蒸留器¹⁷⁾¹⁰⁾¹³⁾¹⁶⁾¹⁸⁾は、仕切り板の自重によるたわみを大幅に減少させることが出来るため、仕切り板を斜めに設置する構造の他の平行平板型の蒸留器と比較して、仕切り板と仕切り板の間隔を非常に狭くすることが可能である。

しかし、鉛直蒸留器の場合、1枚目の仕切り板すなわち太陽光集熱面が鉛直になるため、1枚目の仕切り板における太陽エネルギーの吸収量を増加させるための付加的な装置が必要となるという欠点がある。このため従来の研究では、鉛直蒸留器を太陽集熱パネル¹⁷⁾¹⁸⁾やBasin型蒸留器¹⁶⁾¹⁷⁾と組み合わせることにより、1枚目の仕切り板を加熱するという手法を用いている。しかし、太陽集熱パネルは、構造が比較的複雑であり、その製作や維持に技術や費用が必要になるという欠点があり、一方、Basin型蒸留器と組み合わせた場合には、蒸留器全体の容積および重量が大きくなり、運搬や保管が困難になるという欠点があった。

そこで著者らは、容易に製作・運転が可能で、かつ、性能の高い太陽熱蒸留器を開発することを念頭において、図1に示す新しい型の蒸留器を考案した²⁴⁾。本蒸留器は、鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器と平板反射鏡から構成される。直達光、散乱光および反射鏡からの反射光は、カバーガラスを透過し、1枚目の仕切り板で吸収される。この太陽エネルギーが蒸留器内部で繰り返し再利用され、蒸留量は増加する。

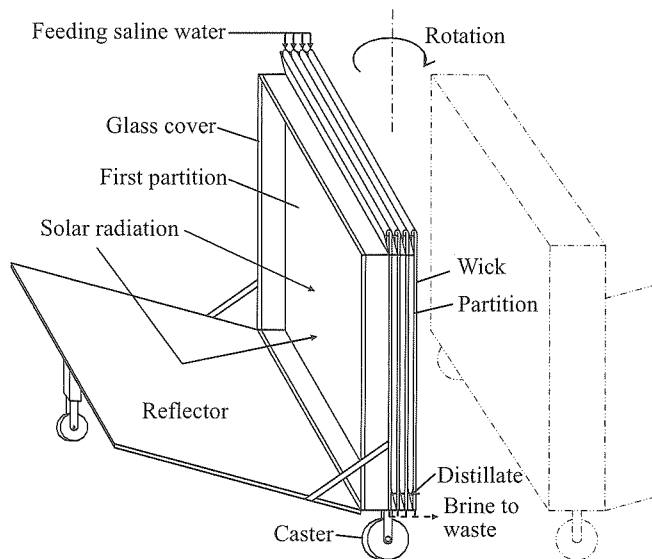


Fig. 1 Schematic diagram of proposed still.

著者らはまず、1枚目の仕切り板が吸収する直達、散乱および反射鏡からの反射日射量を幾何学モデルを用いて計算するとともに、本蒸留器に関する熱・物質移動の様子を数値計算により予測した。その結果、反射鏡の角度および蒸留器の向きを季節や緯度に合わせて適切に決定し、かつ、蒸留器の向きを太陽の南中時に1回だけ変えることにより、1枚目の仕切り板における1日の積算日射吸収量および蒸留器の1日の総蒸留量が大幅に増加することを明らかにした²⁴⁾。さらに、本蒸留器の蒸留性能に影響を及ぼすことが予測されるいくつかの要因についてパラメータ計算を行った²⁵⁾。

さらに前報²⁶⁾においては、福岡県久留米市（北緯33.2°、東経130.2°）に本蒸留器を設置すると仮定した場合の、反射鏡の角度および蒸留器の向きについての最適条件を数値計算によって決定するとともに、得られた最適条件の下で、久留米市において夏季から冬季の期間の実際の日照下で屋外実験を行った。その結果、屋外実験結果は数値計算結果と10%程度以下の誤差でよく一致し、本蒸留器の1枚目の仕切り板における日射吸収量を計算するための幾何学モデル²⁴⁾が妥当であることが確認できた。しかし、前報²⁶⁾においては、蒸留器を単効用（蒸発・凝縮の過程が1回のみ）として実験を行ったため、蒸留器を多重効用とした場合の蒸留性能の検証は出来ていなかった。

そこで本研究では、蒸留器の効用数（蒸発・凝縮の回数）を4および6（仕切り板の枚数が5枚および7枚）とした多重効用型蒸留器を製作し、福岡県久留米市の久留米高専構内において2006年9月から2007年3月の期間に屋外実験を行い、その蒸留性能を検証した。

そこで本研究では、蒸留器の効用数（蒸発・凝縮の回数）を4および6（仕切り板の枚数が5枚および7枚）とした多重効用型蒸留器を製作し、福岡県久留米市の久留米高専構内において2006年9月から2007年3月の期間に屋外実験を行い、その蒸留性能を検証した。

2. 平板反射鏡を用いた鉛直平行平板構造多重効用型蒸留器

本蒸留器の概略を図1に示す。なお、図では例として3効用（仕切り板の枚数は4枚）の蒸留器を示す。本蒸留器は、鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器であり、蒸留器前方に平板反射鏡が水平または水平に近い角度で設置される。蒸留器は、狭い空気層を介して鉛直かつ平行に配置された複数枚の仕切り板から構成される。全ての仕切り板の背面にはウィックが接着され、各ウィックには常時一定量の海水が供給される。1枚目の仕切り板前面には、断熱のために狭い空気層を介してカバーガラスが設置される。反射鏡の角度および蒸留器の向きは手動で変えることが出来るが、反射鏡の角度は1日を通じて固定され、蒸留器の向きは、午前中に東の方向に、午後（太陽の南中以降）に西の方向になるように1日に1回だけ変えられる。なお、反射鏡の最適角度および蒸留器の最適方向は、次章で述べるように季節に依存して変化する。

3. 実験装置および実験方法

実験装置の概略および外観を図2および図3に示す。蒸留器は、カバーガラス（厚さ5mm）、1枚目の仕切り板（厚さ2mmの銅板）および2枚目以降の仕切り板（厚さ0.5mmのステンレス板）から構成され、1枚目の仕切り板の受光面積は約0.097m²（高さ0.294m、幅0.330m）である。1枚目の仕切り板の前面には選択吸収塗料（ソーラーペイントAP-1A（オキツモ株式会社）；放射率0.32、吸収率0.92）を塗布し、アクリルで製作した枠にカバーガラスおよび1枚目の仕切り板をシリコンシーラントで接着し、その間隔を10mmとした。仕切り板と仕切り板の間の両側端には、厚さ5mmまたは10mmのアクリル製の角材を挿入し、蒸留器全体をクランプで挟むことにより仕切り板間隔を5mmまたは10mmに保持した。なお、仕切り板間の空気層の上端部にウレタンフォー

ムを挿入して、蒸気漏れを防止した。各仕切り板にはウィック（厚さ約0.5mmのネル生地）を毛管力によって接着させた。仕切り板の間隔が5mmの実験においては、仕切り板同士の接触を防止するために、仕切り板の凝縮面側にスペーサーとして5mm角の亚克力を等間隔で9個接着した。ウィックには海水の代わりに水道水を供給し、その供給量はオーバーヘッドタンクのヘッドおよび毛細管の長さを変えることで調節した。なお、各ウィックへの水道水の供給量は、数値計算で予測された各ウィックからの1日の最大蒸発量の2倍程度とした。各仕切り板からの凝縮水は、仕切り板の下部に接着した樋により回収した。反射鏡には、1枚目の仕切り板の受光面とほぼ等しい面積を持つ鏡面仕上げされたステンレス板（反射率0.7²⁷⁾）を用いた。

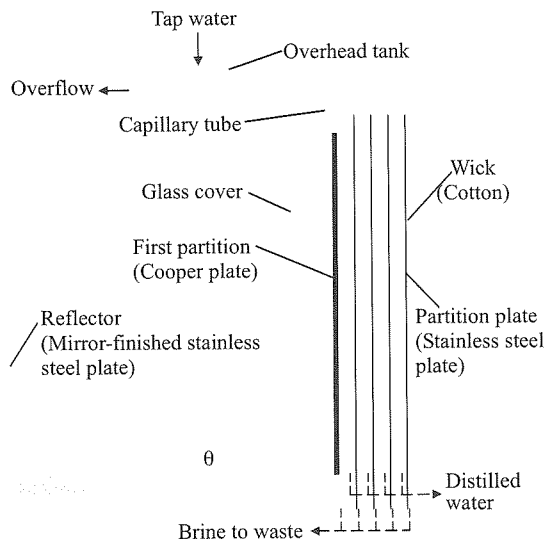


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

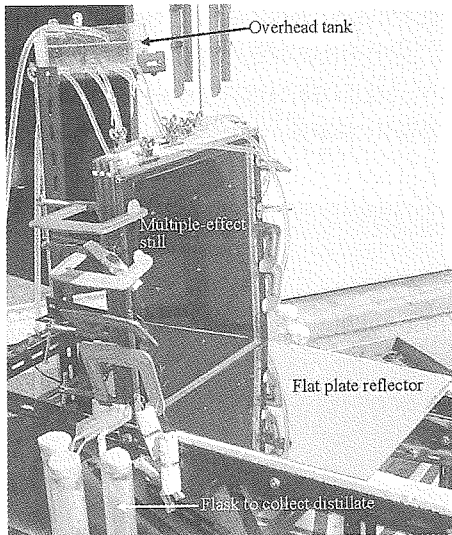


Fig. 3 Snap shot of experimental apparatus.

蒸留器の方向 γ および反射鏡の角度 θ は、前報²⁶⁾で求めた久留米市における各月毎の最適条件に設定した（図4）。なお、図4中の蒸留器の最適方向 γ は、真南を0として時計回りを正にした値であり、例えば $\pm 90^\circ$ は午前中が -90° （真東）、午後（太陽の南中以降）が 90° （真西）を表し、 $\pm 22.5^\circ$ は午前中が -22.5° （南南東）、午

後が 22.5° （南南西）を表す。反射鏡の最適角度 θ は、図2に示すように水平面からの角度である。

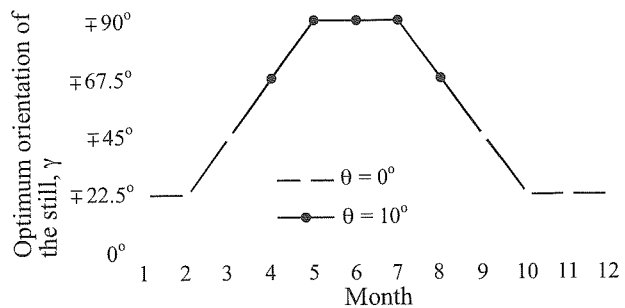


Fig. 4 The optimum flat plate reflector angle θ and optimum orientation of the still γ throughout the year at Kurume, Japan.

表1. 実験条件

実験日	効用数	仕切り板 間隔, mm	気温 ℃	実験時間
2006/09/27	4	10	25.0 - 27.5	8:35 - 16:25
2006/09/28	4	10	23.0 - 29.0	8:35 - 17:01
2006/10/13	4	5	26.2 - 28.0	7:25 - 16:01
2006/11/17	4	5	9.6 - 24.8	8:00 - 16:58
2007/01/19	6	5	6.0 - 18.0	8:50 - 16:25
2007/02/15	6	5	11.0 - 22.0	9:45 - 17:00
2007/02/19	6	5	9.7 - 23.0	8:30 - 17:00
2007/02/20	6	5	10.0 - 25.2	8:20 - 17:00
2007/02/21	6	5	6.0 - 25.0	8:00 - 17:00
2007/03/12	6	5	11.0 - 21.0	9:40 - 17:35
2007/03/13	6	5	12.2 - 21.0	9:30 - 17:35

実験開始後、約1時間毎に各仕切り板からの凝縮量を電子天秤で測定した。日射量は全天日射計で、周囲空気温度を気温計で測定した。なお、実験は全て福岡県久留米市の久留米高専構内で行ったが、実験場所の都合上、早朝および夕方以降は蒸留器が周囲の建物の影に入るため、それぞれの実験日における実験は表1に示す時間帯に行った。

なお、本実験においては各仕切り板の温度は計測していない。これは、鉛直平行平板構造の他の多重効用型蒸留器を用いた屋外実験において、各仕切り板の温度が数値計算結果とよく一致することが確認できており、さらに、今回の実験においては実験をするたびに実験装置を実験室から屋外に移動させたため、熱電対を設置することによるトラブルを防止するためである。

4. 屋外実験結果

2006年9月28日においては、効用数4（仕切り板の枚数5枚）および仕切り板の間隔10mmとして実験を行った。この日の実験時間は8時35分から17時1分までである。水平面全天日射量(Global)、1枚目の仕切り板の日射吸収量(Absorption)および蒸留器全体からの総蒸留量の実験結果(Exp.)および計算結果(Cal.)の経時変化を図5aに示す。なお、1枚目の仕切り板の日射吸収量は、測定した水平面全天日射量から計算した。また、各仕切り板で得られた1日の蒸留量（凝縮量）の実験結果および計算結果を図5bに示す。なお、図5bにおいて、p2からp5は2枚目から5枚目の仕切り

板を表しており、蒸留器全体から得られた総蒸留量については1/3の縮尺で示す。なお、1枚目の仕切り板(p1)は太陽光を吸収して背面から水蒸気を発生させるだけであり、凝縮水は得られない。本論文において、蒸留量は全て太陽光が透過するカバーガラスの単位面積当りの値で示す。

数値計算方法の詳細については、1枚目の仕切り板における吸収日射量および多重効用型蒸留器内部の熱移動について²⁴⁾、また、屋外実験結果の検証のための計算方法の修正について²⁸⁾をそれぞれ既報に記述している。

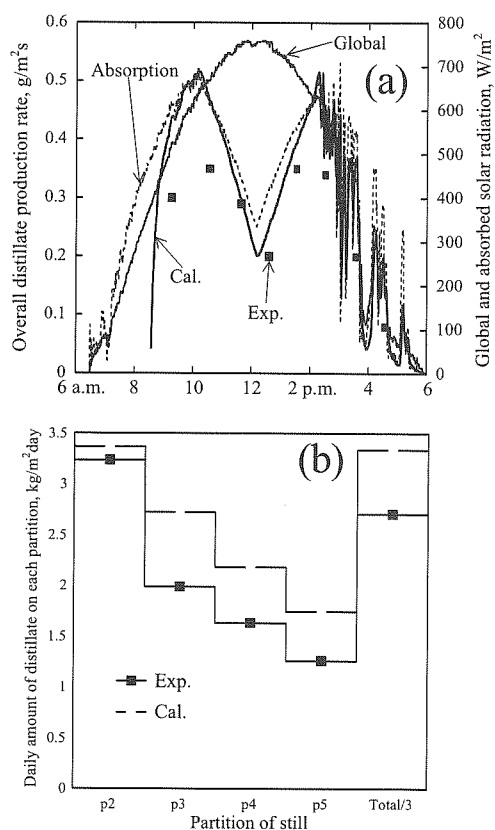


Fig. 5 (a) Hourly variations of global solar radiation on a horizontal surface (Global), absorption of solar radiation on the front surface of the first partition (Absorption), and experimental results (Exp.) and theoretical predictions (Cal.) of the overall distillate production rate of the still, and (b) the experimental results and theoretical predictions of daily amount of distillate on each partition on 28 Sep. 2006.

この日は、午後2時頃まではほぼ快晴であるが、それ以降は曇りが多かった。このため、午後2時以降の1枚目の仕切り板の日射吸収量および蒸留量の計算値は、水平面全日射量の変動にともなって激しく増減を繰り返している。全日射量が正午頃にピークとなるのに対して、蒸留量および1枚目の仕切り板の日射吸収量は午前および午後それぞれピーク値を取る。これは、図4に示すように、蒸留器の方位角を午前以南東(−45°)、午後(太陽の南中以降)に南西(45°)としたためである。

各仕切り板における凝縮量は、蒸留器後方ほど小さくなるが、これは、1枚目の仕切り板の温度が最も高く、蒸留器後方ほど温度が低下するため、それにとまって各仕切り板における飽和

水蒸気圧が低下するためである。各仕切り板における凝縮量の計算値は、直前の仕切り板の凝縮量の計算値の約80%であり、その割合は蒸留器後方に行くほど若干低下するものの、仕切り板の温度の低下にともなう飽和水蒸気圧の低下割合よりも小さくなる。これは、仕切り板の温度が低いほど供給した原水を加熱するための顕熱エンタルピーも減少するため、後方の仕切り板ほどこの顕熱エンタルピーが減少し、飽和水蒸気圧の低下にともなう蒸留量の減少を抑制するためである。

1枚目の仕切り板の日射吸収量が小さい時間帯においては、蒸留量の実験値と計算値はよく一致しているが、日射吸収量がピーク値を取る時間帯(10時および2時頃)において、蒸留量の実験値は計算値よりもやや小さい。また、各凝縮面における蒸留量(Fig. 5b)は、2枚目の仕切り板(p2)において実験値と計算値がほぼ一致しているものの、3枚目(p3)以降の仕切り板における実験値が計算値よりもかなり減少しており、特に3枚目の仕切り板における蒸留量の減少が著しい。これは、特に日射量が最大となる時間帯において、2枚目の仕切り板(p2)背面に接着したウィックに、図6に示すような気泡が複数発生したためだと考えられる。なお図6は、この日と同様に蒸留量の実験値が計算値と比較してかなり小さかった日の実験終了後に、蒸留器を分解して撮影したウィックの様子である。2枚目の仕切り板(p2)の背面のウィックに気泡が発生した場合、仕切り板とウィックの間に空気層が形成され、仕切り板とウィック間の熱移動が著しく阻害される。その結果、2枚目(p2)と3枚目(p3)の仕切り板の温度差が増大し、3枚目の仕切り板の温度が低下する。単効用当りの蒸留効率、すなわち蒸発面から凝縮面への全熱流束の内、蒸発・凝縮による熱流束が占める割合は、蒸発面と凝縮面の平均温度に依存し、平均温度が低下するほど減少する¹¹⁾。したがって、この日の実験においては、2枚目の仕切り板(p2)背面のウィックに気泡が生じたことにより、3枚目以降の仕切り板(p3~p5)の温度が低下し、その結果、蒸留量の実験値が計算値よりも低くなったと考えられる。

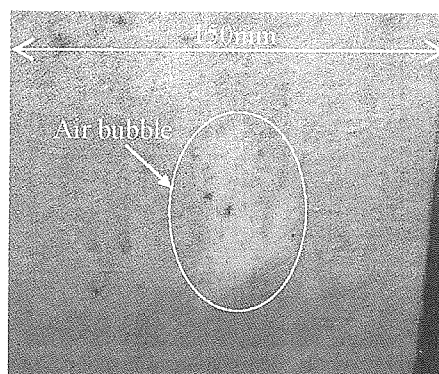


Fig. 6 Pictorial view of evaporating wick on which an air bubble partly occurred.

なお、ウィックへの気泡の発生のメカニズムは明らかではないが、ウィックの供給水に含まれる溶存空気が水の蒸発にともなって発生し、それが成長したのではないかと予測している。この気泡の発生を防止するため、2007年2月以降においては、市

販の熱接着テープを用いてウィックの全面を仕切り板に接着して実験を行った。その結果、いずれの実験においてもウィックへの気泡の発生は観察されなかった。

上記の理由から、この日の蒸留器全体から得られた1日の総蒸留量の実験値($8.11 \text{ kg/m}^2\text{day}$)は、計算値($10.00 \text{ kg/m}^2\text{day}$)の8割程度であった。しかし、この日の水平面全天日射量および1枚目の仕切り板における吸収日射量の実験時間中の積算値 (16.7 および $14.5 \text{ MJ/m}^2\text{day}$) の下での一般的な単効用型蒸留器 (Basin型蒸留器²⁹⁾および傾斜ウィック型蒸留器³⁰⁾の蒸留量が約 $2.2 \text{ kg/m}^2\text{day}$ であることを考慮すると、この日の本蒸留器の実験値は単効用型の約3.5倍であり、蒸留器を多重効用 (この場合は4効用) とすることで蒸留性能が非常に高くなることが分かる。

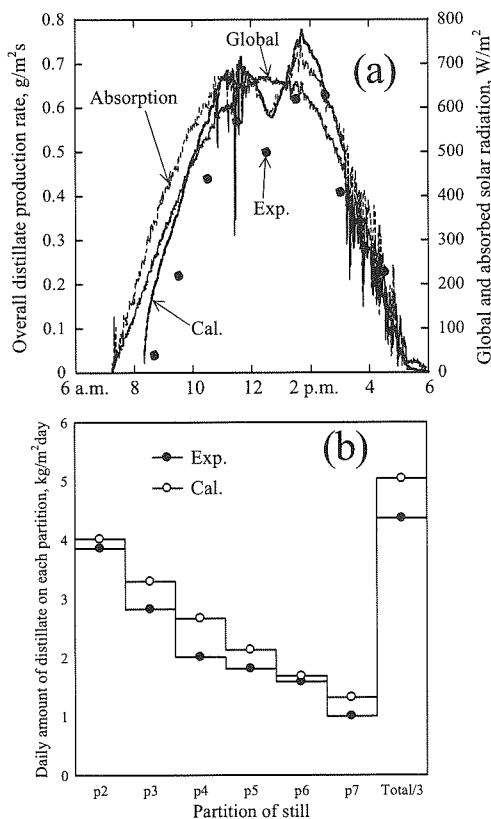


Fig. 7 (a) Hourly variation of global and absorbed solar radiation and overall distillate production rate, and (b) daily amount of distillate on 20 Feb. 2007.

2007年2月20日の水平面全天日射量、1枚目の仕切り板の吸収日射量および蒸留量の経時変化を図7aに、各仕切り板の1日の蒸留量を図7bに示す。この日は効用数7 (仕切り板8枚) および仕切り板の間隔5mmとして実験を行った。実験時間は8時20分から17時までであり、天気は概ね快晴であった。図5aの場合と同様に、水平面全天日射量が正午頃にピークを取るのに対して、1枚目の仕切り板の日射吸収量および蒸留量は午前および午後それぞれピーク値を取る。しかし正午頃の日射吸収量および蒸留量の減少割合は図5aの場合よりも小さい。これは、2月においては蒸留器の向きを $\pm 22.5^\circ$ (午前に南南東および午後に南南西) にしたため、9月 ($\pm 45^\circ$) よりも蒸留器がより南向きになっており、

正午頃の日射吸収量の減少が抑えられたためである。なお、図4に示した各月毎の蒸留器の最適方向は、本蒸留器の向きを太陽の南中時にのみ1回だけ変えると仮定して求めたものである。したがって、蒸留器の向きを複数回変えることが出来る場合には、蒸留器の方向を正午頃に真南を向くように運転することにより、図5aに見られるような正午頃の蒸留量の減少を抑制することができ、蒸留量をさらに増加させることが可能である。

この日の各仕切り板における蒸留量および蒸留器全体からの総蒸留量の実験値は、計算結果よりも若干少ないものの、概ねよく一致しており、図5bに見られるような後段における蒸留量の極端な減少はなかった。なお、3枚目(p3)および4枚目(p4)の仕切り板における蒸留量の実験値は計算値よりも若干低い。これは、本実験では各仕切り板の下部に接着した凝縮水回収用の樋の深さが13mmであったのに対し、この実験においては仕切り板と仕切り板の間隔を5mmとしたため、凝縮水回収用の樋の幅も小さくなり、そのために樋から凝縮水が若干量あふれ出たためだと考えられる。仕切り板の間隔を狭くする場合、凝縮水回収用の樋については、その形状や樋の傾け具合などに工夫が必要であるため、今後、蒸留器の開発をしていく上での課題である。

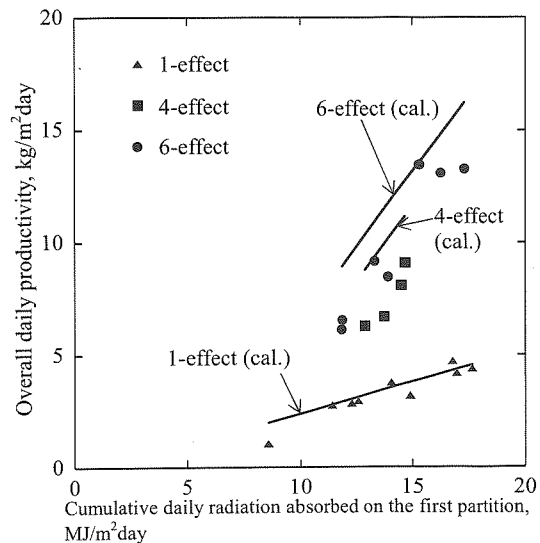


Fig. 8 Comparison of experimental results with theoretical predictions in overall daily productivity; experimental and theoretical values for the still with 1-, 4- and 6-effects.

各実験日の実験時間において、蒸留器全体から得られた1日の総蒸留量と1枚目の仕切り板における積算日射吸収量の関係を図8に示す。なお、蒸留器を単効用 (仕切り板が2枚) とした場合の実験結果もあわせて示すが、これは前報²⁶⁾で報告した実験結果に、2007年7月31日および8月1日に行った実験の結果を加えたものである。図中の実線は、効用数が1、4および6の場合の各実験の1日の総蒸留量の計算値をそれぞれ線形近似したものである。

なお、表1に示すように各実験日における気温は季節によって大きく変化する。太陽熱蒸留器の蒸留量は、一般的に気温が高いほど増加し、本蒸留器のように外部から原水を供給する場合

にはその影響が大きくなる。しかし、気温による影響を言及するだけのデータ量が無いため、ここではその影響に関する説明は割愛する。

日射吸収量の増加にともなって蒸留量も増加するが、効用数が多いほど蒸留量が大きくなる。これは、効用数が多いほど太陽エネルギーを再利用して蒸発・凝縮の過程をより多く繰り返すことができるからである。しかし、図5bおよび図7bからも分かるように、各仕切り板における蒸留量は蒸留器の後段に行くほど減少するため、効用数が多くなるほど、効用数をさらに一つ多くすることによる蒸留量の増加は少なくなる。したがって、蒸留器の効用数、すなわち仕切り板の枚数は、蒸留器の製造コストおよび蒸留性能の双方を考慮に入れ、前報⁸⁾で報告したような方法で決定する必要がある。

本実験(効用数4および6)において、蒸留量は計算値と20%程度以下の誤差で一致しているが、蒸留量の減少の原因は前述した通りである。したがって、本蒸留器を多重効用にした場合においても、本蒸留器の蒸留性能が数値計算によって予測されたものとはほぼ同等であることが屋外実験によって実証できた。

本実験においては、2007年2月15日(水平面全日射量および1枚目の仕切り板における日射吸収量の実験時間中の積算値がそれぞれ13.4および15.3 MJ/m²day)において、最大蒸留量である約13.46 kg/m²dayが得られた。この蒸留量は、本蒸留器を単効用型として使用した場合の約3倍であり、代表的な単効用型蒸留器(Basin型²⁹⁾および傾斜ウィック型³⁰⁾の5倍以上に達する。平行平板構造の多重効用型蒸留器の屋外実験としては、上方加熱式蒸留器を用いた岡村ら⁹⁾(カバーガラス面日射量が約20 MJ/m²dayの日にカバーガラス面積当たり約13 kg/m²day)およびBasin型蒸留器と組み合わせた鉛直型蒸留器を用いたTanakaら¹⁷⁾(カバーガラス面日射量が21.4 MJ/m²dayの日にカバーガラス面積当たり18.8 kg/m²day)の実験結果が世界でも最高水準と考えられる。実験を行った場所や気候条件などが異なるため単純な比較はできないが、本蒸留器の蒸留性能は世界でも最高水準のこれらの蒸留器と同程度であると考えられる。

今後は、仕切り板の枚数を増加させ、かつ、一年を通じたより詳細な屋外実験を行い、本蒸留器の蒸留性能をさらに検証していく予定である。

5. 結言

平板反射鏡を用いた鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器を製作し、2006年9月から2007年3月までの期間に福岡県久留米市(北緯33.2°、東経130.2°)の久留米高専構内において屋外実験を行った。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 蒸留器全体から得られる総蒸留量の経時変化および各仕切り板における1日の凝縮量の実験結果は、数値計算結果と概ね一致したが、数値計算結果よりも若干少なかった。
- (2) 蒸留水の回収量を増加させるためには、ウィックへの気泡の発生および凝縮水回収用の樋からの水漏れを十分に防止する必要がある。

(3) 効用数6(仕切り板が7枚)、仕切り板の間隔5mmの蒸留器を用いた2007年2月15日の実験において、水平面全日射量および1枚目の仕切り板における日射吸収量の実験時間中の積算値がそれぞれ13.4および15.3 MJ/m²dayに対して、最大蒸留量である13.46 kg/m²dayが得られた。

(4) 効用数を6とした多重効用型蒸留器の蒸留量は、一般的な単効用型蒸留器の蒸留量の5倍以上に達した。

(5) 本蒸留器の蒸留性能は、これまでに報告されている他の高性能な多重効用型蒸留器と同程度である。

記号表

γ : 蒸留器の最適向き

θ : 反射鏡の最適角度

参考文献

- 1) R.V. Dunkle, Solar water distillation: the roof type still and a multiple effect diffusion still. *Proc. ASME International Developments in Heat Transfer: University of Colorado, U.S.A.*, Part 5, 1961, 895.
- 2) 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.
- 3) M.M. Elsayed, K. Fathalah, J. Shams and J. Sabbagh, Performance of multiple effect diffusion stills, *Desalination*, 51(1984), 183.
- 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) 田中耕太郎・岡村秀昭・菅誠・渡部康一, 多重効用型太陽熱蒸留器の性能に関する基礎研究(第2報, 下方加熱方式蒸留器の屋外日照条件下における実験結果について), 機論(B編), 53-496(1987), 3771.
- 6) 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.
- 7) T. Kiatsirirot, S.C. Bhattacharya, P. Wibulswas, Performance analysis of multiple effect vertical still with a flat plate solar collector, *Solar & Wind Technology*, 4-4(1987), 451.
- 8) S. Toyama, T. Aragaki, H.M. Salah, K. Murase, Dynamic characteristics of a multistage thermal diffusion type solar distillator, *Desalination*, 67(1987), 21.
- 9) R.C. Ouahes, P.J. Le Goff, A hardy, high-yield solar distiller of brackish water, *Desalination*, 67(1987), 43.
- 10) 棚谷吉郎・佐藤伸一, イオン風による強制対流型多重効用ユニットの研究(蒸留・濃縮特性と放電電極数の影響), 太陽エネルギー, 22-6(1996), 67.
- 11) K. Ohshiro, T. Nosoko, T. Nagata, A compact solar still utilizing hydrophobic poly (tetrafluoroethylene) nets for separating neighboring wicks, *Desalination*, 105(1996), 207.
- 12) K. Fukui, T. Nosoko, H. Tanaka, T. Nagata, A new maritime lifesaving multiple-effect solar still design, *Desalination*, 160(2004), 271.
- 13) T. Nosoko, T. Kinjo, C.D. Park, Theoretical analysis of a multiple-effect diffusion still producing highly concentrated seawater, *Desalination*, 180(2005), 33.
- 14) B. Boucekima, B. Gros, R. Ouahes, M. Diboun, Performance study of the capillary film solar distiller, *Desalination*, 116(1998), 185.
- 15) H.M. Yeh, C.D. Ho, Energy and mass balances in multiple-effect upward solar distiller with air flow through the last-effect unit, *Energy*, 25(2000), 325.
- 16) H. Tanaka, T. Nosoko, T. Nagata, A highly productive basin-type - multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 279.
- 17) H. Tanaka, T. Nosoko, T. Nagata, Experimental study of basin-type, multiple-effect, diffusion-coupled solar still, *Desalination*, 150(2002), 131.
- 18) H. Tanaka, Y. Nakatake, A vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector, *Desalination*, 160(2004), 195.
- 19) M.K. Selcuk, Design and performance evaluation of a multiple-effect, tilted solar distillation unit, *Solar Energy*, 8-1(1964), 23.
- 20) J. Franco, L. Saravia, A new design for a passive atmospheric multistage still, *Renewable Energy*, 4-1(1994), 119.
- 21) H.S. Kwatra, Performance of a solar still: predicted effect of enhanced evaporation area on yield and evaporation temperature, *Solar Energy*, 56-3(1996), 261.

- 22) H. Nishikawa, T. Tsuchiya, Y. Narasaki, I. Kamiya, H. Sato, Triple effect evacuated solar still system for getting fresh water from seawater, *Applied Thermal Engineering*, 18(1998), 1067.
- 23) B.A. Jubran, M.I. Ahmed, A.F. Ismail, Y.A. Abakar, Numerical modeling of a multi-stage solar still, *Energy Conversion & Management*, 41(2000), 1107.
- 24) 田中大・中武靖仁, 平板反射鏡と組み合わせた多重効用型太陽熱蒸留器の提案, 太陽エネルギー, 30-4(2004), 72.
- 25) 田中大・中武靖仁, 平板反射鏡と組み合わせた多重効用型太陽熱蒸留器の性能解析, 太陽エネルギー, 31-1(2005), 59.
- 26) 田中大・中武靖仁, 平板反射鏡を用いた鉛直太陽熱蒸留器の最適運転条件の決定および屋外実験, 太陽エネルギー, 32-5(2006), 55.
- 27) 日本機械学会, 伝熱工学資料第4版, (1986), 184, 日本機械学会, 東京
- 28) 田中大・中武靖仁, 平板反射鏡を用いた鉛直太陽熱蒸留器の屋外実験, 太陽エネルギー, 32-2(2006), 45.
- 29) P.I. Cooper, The maximum efficiency of single-effect solar stills, *Solar Energy*, 15-3(1973), 205.
- 30) 田中耕太郎・渡部康一, 傾斜ウィック型太陽熱蒸留器とその性能, 太陽エネルギー, 9-5(1983), 38.