

平板反射鏡を用いた鉛直太陽熱蒸留器の屋外実験

Experimental study of a vertical diffusion solar still coupled with a flat plate reflector

田 中 大 *¹
Hiroshi TANAKA

中 武 靖 仁 *²
Yasuhito NAKATAKE

Abstract

Outdoor experiments were performed for a vertical single-stage diffusion still, which structure is equivalent to the first distilling cell of the vertical multiple-effect diffusion solar still, coupled with a flat plate reflector, during summer season with an angle of the flat plate reflector of 0° (horizontal) and 33°, and we found that the time variations of the distillate production rate on the second partition as well as temperature distribution in the still were in fairly good agreement between the experimental results and theoretical predictions, and this indicates that the solar absorption on the first partition of direct and diffuse radiation, and the radiation reflected from flat plate reflector for the proposed still can be calculated correctly with a geometrical model proposed in our previous paper.

キーワード：太陽熱、淡水化、蒸留器、多重効用、平行平板構造、平板反射鏡

Key Words: Solar energy, Desalination, Solar still, Multiple-effect, Diffusion, Flat plate reflector

1. 緒言

発展途上国においては、衛生的な飲料水を確保することが困難な地域が多く、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。太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器は、持続的に利用可能な小型分散型の淡水供給手段となり得るが、いまだ広く実用化された例はない。このため、発展途上国の現地において自作が可能な、安価かつ高性能な太陽熱蒸留器の実用化に対する期待は極めて高い。

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・凝縮の過程を蒸留器内部で複数回繰り返す多重効用型蒸留器の性能は高いが、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）を一定の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（図1の蒸留部と同様の構造）は、構造が比較的単純であり、かつ、その性能は高い。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が、まず、1枚目の仕切り板が太陽光により直接あるいは間接的に加熱されることにより、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り、さらに2枚目の仕切り板背面のウィック中の海水が蒸発する。この蒸

発・凝縮の過程を蒸留器内部で何度も繰り返すことにより、蒸留量は増加する。平行平板構造の多重効用型蒸留器は、Dunkle¹⁾およびCooperら²⁾によって提案され、その後40年以上にわたって多くの研究がなされてきた^{3)~6)}。その結果、仕切り板と仕切り板の間隔を狭くし、かつ、仕切り板の枚数を増加させることにより、その蒸留性能が飛躍的に向上することが明らかにされてきた。

しかし、Cooperら²⁾が提案した従来の上方加熱式の多重効用型蒸留器は、仕切り板が水平に近い角度で斜めに設置され、蒸発・凝縮の過程が上から下向きに繰り返される構造（図1の蒸留部を時計回りに60°程度傾けた構造）をしていたため、太陽光を1枚目の仕切り板で直接吸収できるという利点がある反面、海水を含んだウィックが凝縮面の上方に位置するため、仕切り板の間隔を狭くした場合、蒸留水に海水が混入しやすいという欠点があった。海水の蒸留水への混入は、仕切り板が自重により変形することにより、仕切り板と仕切り板、すなわち海水を含んだウィックと凝縮面が接触しやすいこと、また、ウィックからけぼが垂れ下がり、このけぼを伝って海水が凝縮面に滴下しやすいことが主な原因であるが、仕切り板を傾斜させて設置する構造では、これらの問題を解決することが難しく、仕切り板の間隔を狭くすることが困難であった。

Tanakaら⁹⁾は、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大幅に減少させ、かつ、蒸留水へ海水を混入させることなく仕切り板の間隔を数mmまで非常に狭く

*1 久留米工業高等専門学校機械工学科 講師

*2 久留米工業高等専門学校機械工学科 助教授
(〒830-8555 久留米市小森野1-1-1)

e-mail: tanakad@kurume-nct.ac.jp

(原稿受付：2005年9月29日)

できることを明らかにし、その結果、平行平板構造の多重効用型蒸留器の蒸留性能を著しく増加させることが可能であることを明らかにした。しかし、蒸留器を鉛直に設置した場合、特に日射量が大きくなる正午頃の時間帯においては、太陽高度が高く、太陽光の角度が鉛直に近くなるため、1枚目の仕切り板で効率良く太陽光を吸収するためには、付加的な装置が必要になるという欠点がある。

Tanakaら⁹⁾は、鉛直の多重効用型蒸留器をBasin型蒸留器と組み合わせた蒸留器、すなわち、片屋根式重カパーガラスBasin型蒸留器の背面に鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器を配置した蒸留器を提案している。彼らの蒸留器においては、鉛直に近い角度で入射する太陽光をBasin型蒸留器の水盤で吸収することができるため、1枚目の仕切り板は、斜めから入射する太陽光に加えて、水盤から発生する水蒸気の凝縮潜熱も吸収できる構造をしている。彼らは、この蒸留器に関する詳細な理論解析⁹⁾¹⁰⁾および長期間にわたる屋外実験¹¹⁾を行い、その蒸留性能が、従来の上方加熱式の多重効用型蒸留器よりも高くなることを明らかにした。しかし、鉛直の多重効用型蒸留器をBasin型蒸留器と組み合わせた場合、蒸留器の重量および体積の大部分をBasin型蒸留器が占めることになるため、蒸留器を小型・軽量化することが困難であるという欠点があった。

そこで著者らは、蒸留器の小型・軽量化を実現するため、ヒートパイプ式太陽集熱パネルと組み合わせた鉛直の多重効用型蒸留器を考案した¹²⁾。この蒸留器においては、ヒートパイプ式太陽集熱パネルと蒸留器は2本のつなぎ管で連結され、集熱パネルから蒸留器へと太陽エネルギーが潜熱輸送される。この蒸留器は、集熱パネルの厚さが10cm程度と薄いため、Basin型と組み合わせた場合と比較するとサイズを非常に小さくすることが可能である。著者らはこの蒸留器に関する理論解析¹³⁾および室内実験¹⁴⁾を行い、その蒸留性能がBasin型と組み合わせた場合とほぼ同等かそれ以上になることを明らかにした。しかし、ヒートパイプは高い気密性を必要とし、その製作には比較的高度な技術が必要になるため、発展途上国等で自作することは困難であることが予測される。

そこで著者らは、発展途上国等の現地において、容易に製作・運転が可能な太陽熱蒸留器を開発することを念頭において、鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器と平板反射鏡を組み合わせた、新しい型の蒸留器を考案した¹⁵⁾。著者らはまず、蒸留器の方位角および反射鏡の角度と1枚目の仕切り板が吸収する日射量の関係を、幾何学モデルを用いて計算し、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枚目の仕切り板が吸収する1日の積算日射量および1日の総蒸留量が大幅に増加することを明らかにした¹⁵⁾。さらに、本蒸留器を発展途上国の現地で製作した場合、製作技術水準の低さから蒸留性能の低下が生じることが予想されるため、蒸留性能低下の要因となりうるいくつかの設計・操作条件に関するパラメータ計算を行った¹⁶⁾。その結果、製作技術水準が低い場合には、理想的な設計条件の場合と比較して蒸留性能が半減するという結果が得られたが、その場

合においても、本蒸留器の蒸留量は、Basin型を代表とする単効用型蒸留器（蒸発・凝縮の過程が1回のみ行われる）に比べて非常に高くなることを明らかにした。

一方、著者の一人がボランティアとして活動を行っている東京在のNGO (APEX) とインドネシア在のNGO (DianDesa) は、太陽熱蒸留器の共同開発を目的として、2005年2月にインドネシアのジョグジャカルタにおいて太陽熱蒸留器に関するワークショップを開催し、著者の一人が講師として参加した¹⁷⁾。その際に、本蒸留器の製作に必要な材料（ステンレス薄板、布、ガラス板、金属鏡等）がインドネシアの現地においても比較的安価に入手することが可能であり、かつ、本蒸留器の性能が現地の需要に見合うものであることを現地のNGOの技術スタッフと確認した。このため、本蒸留器のインドネシア国内での普及を目指し、著者らとインドネシアのNGOが本蒸留器に関する共同研究を始めた。

本蒸留器の蒸留性能は、1枚目の仕切り板における日射吸収量に強く依存するが、その日射吸収量は、蒸留器の方位角および反射鏡の角度によって大きく変化し、さらに、蒸留性能を最大とする蒸留器の方位角および反射鏡の角度は、蒸留器が設置される場所の緯度によって大きく異なることが数値シミュレーション計算によって予測された¹⁵⁾¹⁸⁾。本蒸留器の実験を実際の日照下において行い、その実験結果と数値シミュレーション結果を比較・検討し、1枚目の仕切り板における日射吸収量を算出するための幾何学モデルの妥当性を検証することは、本蒸留器の開発に不可欠であり、さらに、本蒸留器をインドネシア国内の各地に設置した場合の蒸留性能の予測にも有用である。そこで本研究では、多重効用型蒸留器の1段を模した鉛直単段蒸留器を製作し、平板反射鏡の角度を0°（水平）および33°として、夏季の日照下で屋外実験を行い、実験結果と数値シミュレーション計算結果を比較・検討した。

2. 平板反射鏡を用いた鉛直平行平板構造太陽熱蒸留器

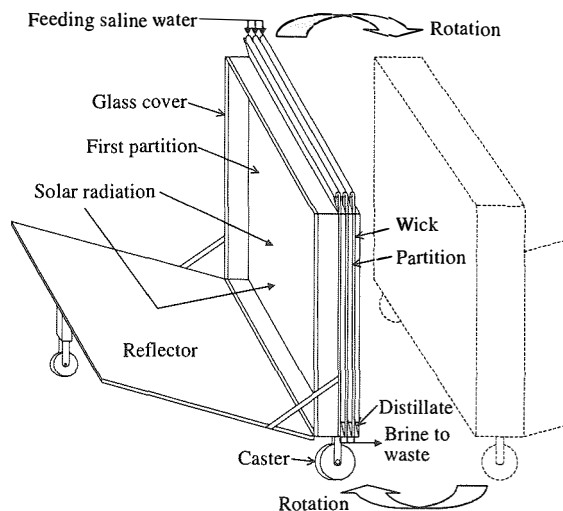


Fig. 1 Schematic diagram of a proposed still

本蒸留器の概略を図1に示す。本蒸留器は、平板反射鏡と、鉛

直平行平板構造の多重効用型蒸留器（以降、蒸留部と呼ぶ）から構成され、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度は手動で変えることができる。蒸留部は、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なり、最外部を除く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、一定量の海水が連続的に供給される。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。

斜めから入射する直達光・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部内部で繰り返し再利用されることにより、蒸留量は増加する。

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。なお前述したように、本研究では、1枚目の仕切り板が吸収する直達光・散乱光および反射鏡からの反射光を算出するために用いた幾何学モデル¹⁵⁾の妥当性を検証することを目的としたため、蒸留部は多重効用ではなく単効用とし、2枚目の仕切り板には蒸発用ウィックの観察のために金属板の代わりにガラス板を用いた。

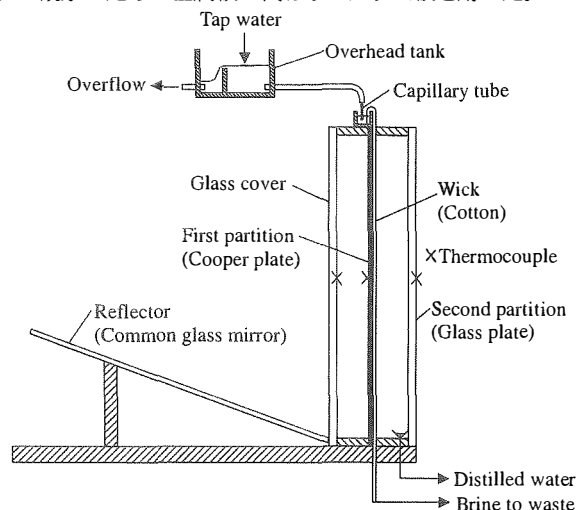


Fig. 2 Schematic diagram of an experimental apparatus

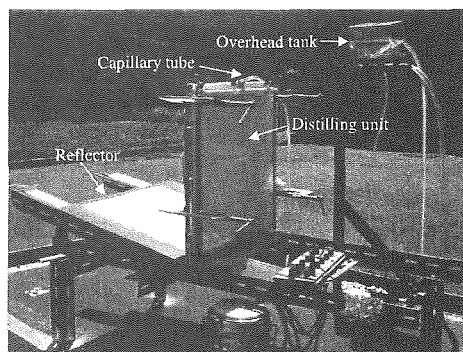


Fig. 3 Snap shot of an experimental apparatus

蒸留部は、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枚目の仕切り板（厚さ5mmのガラス板）から構成され、1枚目の仕切り板の受光面積は約 0.097m^2 （高さ0.294m、幅0.33m）である。1枚目の仕切り板の前面にはソーラ

ーペイントAP-1A（オキツモ株式会社製：放射率0.32、吸収率0.92）を用いて選択吸収膜処理を施し、アクリルで製作した枠にカバーガラスおよび1枚目の仕切り板前面をシリコンシーラントで接着することにより、その間の空気層を密閉し、間隔を10mmに保った。1枚目と2枚目の仕切り板の両側端にはアクリル製の厚さ10mmの角材を挿入し、蒸留部全体をクランプで挟むことによりその間隔を10mmに保った。また、1枚目と2枚目の仕切り板の間の空気層の上端部にはウレタンフォームを設置し、蒸気漏れを防止した。1枚目の仕切り板背面には水に濡らしたウィックを毛管力によって密着させた。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により調節した。ウィックからの排水および2枚目の仕切り板における凝縮水は、下部に設け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のガラス裏面鏡を用いた。カバーガラス、1枚目および2枚目の仕切り板の中央の図2に示す位置にT型熱伝対を接着した。

なお、実際に海水を用いて運転を行う場合には、ウィックに塩が析出しないように海水の供給量を適切に設定し、かつ、供給海水中的のごみ等をフィルターで十分に取り除く必要がある。また、海水を用いた場合、塩分濃度の上昇にともなう沸点上昇のために飽和水蒸気圧が低下するが、供給海水の塩分濃度が3.44wt%の場合でも、飽和水蒸気圧の低下に起因する蒸留性能の低下は、純水の場合と比較して3%以下である⁹⁾。

蒸留器は、午前中は真東向きに、午後（太陽の南中時以降）は真西向きに設置し、ウィックには水道水を連続的に供給した。なお、ウィックへの水道水供給量は一定とし、その供給量は、1枚目の仕切り板の日射吸収量が夏至の水平面全日射量の最大値に等しいと仮定して算出した、定常状態におけるウィックからの蒸発量の約2倍とした。実験開始後、1時間毎に2枚目の仕切り板における凝縮水およびウィックからの排水の量を電子天秤で測定するとともに、各熱伝対の起電力をデジタルマルチメータで測定し、周囲空気温度を気温計で測定した。日射量は全天日射計で測定した。なお、実験は全て福岡県久留米市の久留米高専構内（北緯33.2°、東経130.2°）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建物の影に入らため、実験は午前8時から午後6時までの間に行った。また、前報¹⁵⁾において、本蒸留器を北緯26°に設置した場合、夏至および春分においては、本蒸留器の反射鏡の角度がそれぞれ15°および8°の場合に、1枚目の仕切り板における1日の積算日射吸収量が最大となることを明らかにしたが、本実験においては、1枚目の仕切り板における日射吸収量を算出するための幾何学モデルが妥当かどうかを検証するため、反射鏡の角度は0°（水平）および33°として実験を行った。

4. 数値シミュレーション計算

数値シミュレーション計算の詳細は前報に記述したため、ここではその概略および前報との相違点について述べる。数値シ

ミュレーション計算においては、1枚目の仕切り板が吸収する直達日射量、散乱日射量および反射鏡からの反射日射量を算出するため、水平面直達日射量および水平面散乱日射量を求める必要がある。前報においては、晴天の日における大気透過率を仮定し、水平面直達日射量(G_{dr})及び散乱日射量(G_{df})をそれぞれ、太陽定数 1370W/m^2 を用いて、以下に示すBouguer¹⁹⁾およびBerlage¹⁹⁾の式から算出した。

$$G_{dr} = I_0 \sin \phi \cdot \tau_{atm}^{1/\sin \phi} \quad (1)$$

$$G_{df} = \frac{1}{2} I_0 \sin \phi \cdot (1 - \tau_{atm}^{1/\sin \phi}) / (1 - 1.4 \ln \tau_{atm}) \quad (2)$$

ここで、 I_0 は大気外日射強度、 ϕ は太陽高度である。本実験においては、日射量は水平面全天日射量 G_h を全天日射計を用いて10秒間隔で測定したため、太陽定数 1370W/m^2 を用いて、

$$G_h = G_{dr} + G_{df} \quad (3)$$

を満たす各測定時刻における大気透過率 τ_{atm} を算出し、得られた τ_{atm} を式(1)、(2)に代入して、各測定時刻における直達日射量 G_{dr} および散乱日射量 G_{df} を求めた。

前報においては、反射鏡には鏡面仕上げアルミ板(反射率0.95)を、カバーガラスには厚さ3mmのガラス板を用いると仮定して、反射鏡の反射率およびカバーガラスの透過率を決定したが、本実験においては、反射鏡にはガラス裏面鏡(ガラス厚さ5mm)を、カバーガラスには厚さ5mmのガラス板を用いたため、反射鏡の反射率 ρ_m およびカバーガラスの透過率 τ_g は、入射角 β の関数として、以下の式で算出した²⁰⁾。

$$\rho_m = 0.539 \cos^4 \beta - 0.240 \cos^3 \beta - 1.622 \cos^2 \beta + 1.982 \cos \beta \quad (4)$$

$$\tau_g = 0.674 \cos^4 \beta - 0.300 \cos^3 \beta - 2.029 \cos^2 \beta + 2.478 \cos \beta \quad (5)$$

上記の方法で算出した直達及び散乱日射量、および測定した気温や原水供給量などの条件のもとで、カバーガラスおよび1枚目および2枚目の仕切り板に関する熱収支式を解くことにより、蒸留部内の温度および2枚目の仕切り板における凝縮量の経時変化を計算した。

5. 実験結果および考察

2005年7月27日における、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2枚目の仕切り板における凝縮量の経時変化を図4(a)に、測定した全天日射量をもとにして算出した、1枚目の仕切り板における直達光(Direct)、散乱光(Diffuse)および反射鏡からの反射光(Reflected)の吸収量を図4(b)に示す。なお、この日は反射鏡の角度を 0° として実験を行った。この日はほぼ晴天であり、全天日射量は正午頃にピークとなるのに対して、1枚目の仕切り板の日射吸収量は午後9時および午後4時ごろにピーク値を取る。これは、本実験において蒸留器の

向きを午前中は真東向き、午後は真西向きとしたため、直達光および反射光の吸収量がそれぞれの時間においてピーク値を取ったためである。また、正午頃の日射吸収量は非常に低い値となるが、これは、正午頃における太陽高度が高く、日射がほぼ垂直となり、さらに反射鏡の角度が水平であったため、直達光および反射光を1枚目の仕切り板でほとんど吸収することが出来ず、散乱光のみを吸収しているためである。

2枚目の仕切り板における凝縮量の実験値は、凝縮量が午後1にピークを迎える時間帯(午後3時から午後5時程度)において、計算値よりも若干低い値を取るが、全体として実験値は計算値とよく一致している。

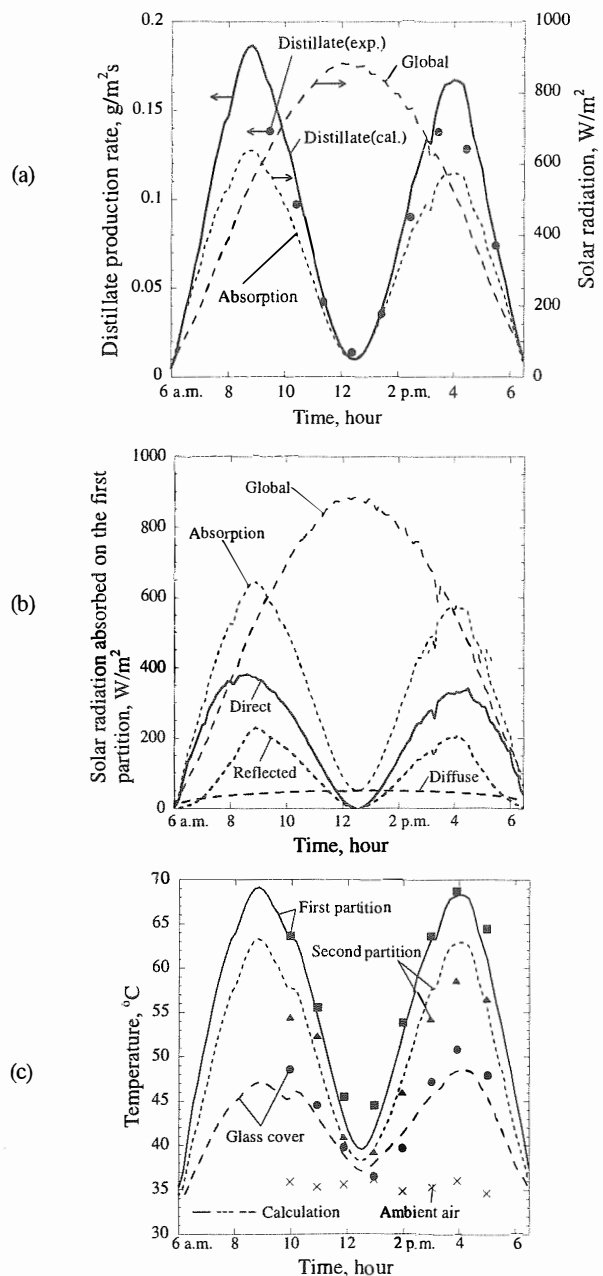


Fig. 4 Time variation of (a) distillate production rate and solar radiation, (b) direct, reflected and diffuse solar radiation absorbed on the first partition, and (c) temperatures in the still on July 27, 2005

同じ日の蒸留部内の温度の経時変化を図4(c)に示す。蒸留器の温度も、1枚目の仕切り板における日射吸収量と同様に午前および午後にピークを取るが、実験値と計算値は同様の変化をすることが分かる。なお、蒸留器内の温度の実験値と計算値には若干の差がある。これは、本実験においては、カバーガラスおよび1枚目および2枚目の仕切り板の中央に熱電対を1つだけ接着して温度を測定したが、実際にはカバーガラスおよびそれぞれの仕切り板内部に温度分布が生じていることが予想されるため、実験値と計算値に誤差が生じたものだと考えられる。

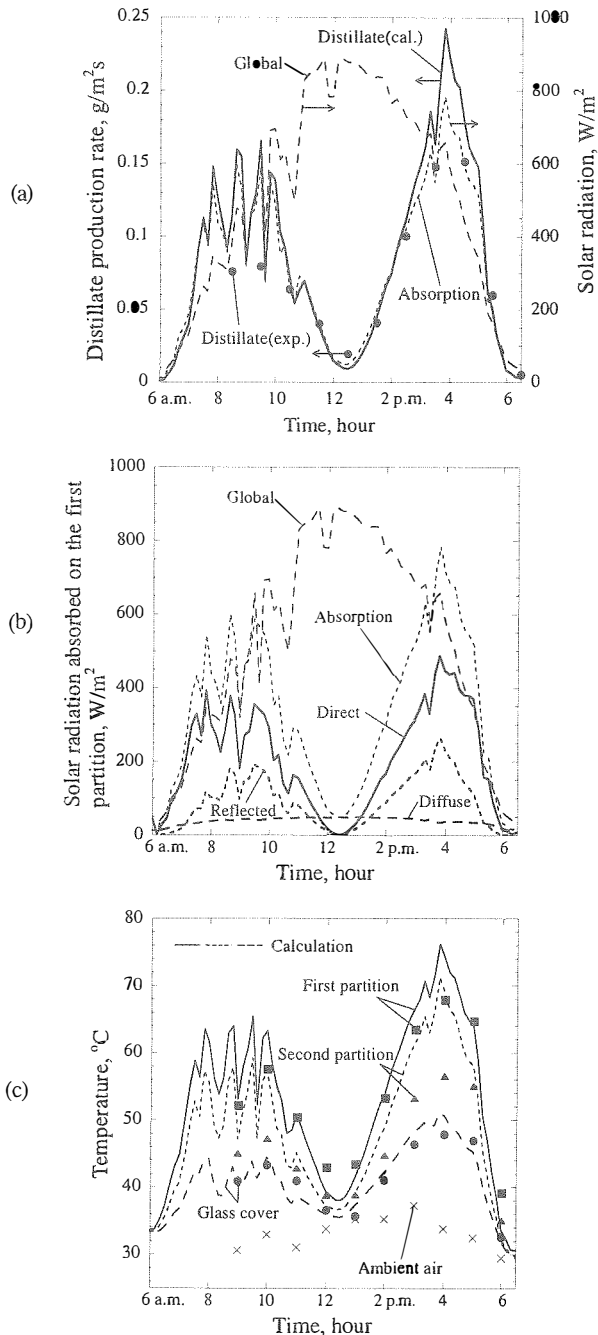


Fig. 5 Time variation of (a) distillate production rate and solar radiation, (b) direct, reflected and diffuse solar radiation absorbed on the first partition, and (c) temperatures in the still on August 18, 2005

2005年8月18日における、全日射量、日射吸収量および凝縮量の経時変化を図5(a)に、直達光、散乱光及び反射光の吸収量を図5(b)に示す。この日も反射鏡の角度を0°（水平）として実験を行った。この日は特に午前中は曇りが多く、全日射量および1枚目の仕切り板の日射吸収量は特に午前中に大きく変動している。凝縮量の実験値は計算値とほぼ同様の変化を示すが、特に午後に日射吸収量がピークとなる時間帯において、実験値は計算値よりも低くなっている。これは、この日の実験においては、1枚目と2枚目の仕切り板の間の湿り空気層上部に設置した蒸気漏れ防止用のウレタンフォームのサイズが若干小さかったため、日射吸収量が大きくなる時間において2枚目の仕切り板（ガラス板）に温度上昇による熱膨張が生じ、それとともに湿り空気層の上部に隙間ができたことにより、蒸気漏れが生じていた事を目視にて確認した。このため、日射吸収量がピークとなる時間帯における凝縮量の低下は、この蒸気漏れが主要因であると考えられる。

同じ日の蒸留部内の温度の経時変化を図5(c)に示す。温度の実験値と計算値は同様の変化を示すが、午後に日射吸収量がピークとなる時間帯において、特に2枚目の仕切り板の温度の実験値は計算値よりも低い値をとる。これは、前述したように温度測定を中央部の1点のみで行ったことに加えて、1枚目と2枚目の仕切り板の間の湿り空気層の上部から蒸気漏れが生じたためだと考えられる。他の原因としては、本論文における数値シミュレーション計算において、周囲空気の流れを1m/sと仮定しているが、実験中の風速を計測していなかったため、2枚目の仕切り板から周囲空気への対流による熱流束が、数値シミュレーション計算の見積もりよりも大きかった可能性がある。

2005年9月1日における、全日射量、日射吸収量および凝縮量の経時変化を図6(a)に、直達光、散乱光および反射光の吸収量の経時変化を図6(b)に、蒸留部内の温度の経時変化を図6(c)に示す。なお、この日は反射鏡の角度を33°として実験を行った。この日は正午頃に曇りが多かったが、それ以外は良く晴れていた。1枚目の仕切り板の日射吸収量は、7月27日および8月18日と同様に午前および午後にピークを取るが、そのピーク値は低い。これは、秋季における反射鏡の角度の最適値が38°である¹⁵⁾のに対して、反射鏡の角度を33°として実験を行ったためである。また、7月27日および8月18日の実験においては、正午頃の日射吸収量が低く、直達光および反射光がほとんど得られないのに対し、9月1日においては正午頃における日射吸収量の減少は小さい。これは、両日に比べて9月1日は秋分に近いために太陽高度が低くなり、かつ、反射鏡の角度が水平ではなく33°であったため、正午頃には両日と同様に直達光を吸収できないものの、反射光の吸収量が正午頃にピークを取ったためである。その結果、2枚目の仕切り板における凝縮量は、正午頃に極端に減少せず、ある程度の量が得られている。この傾向は、前報で報告した数値シミュレーション計算の結果¹⁵⁾ともよく一致している。

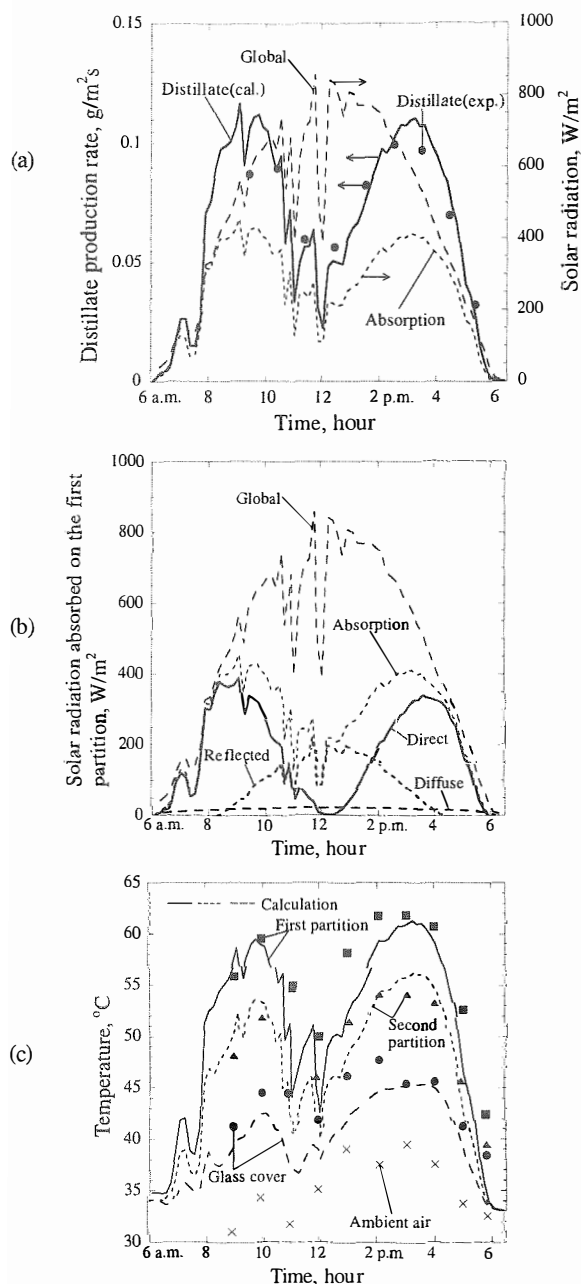


Fig. 6 Time variation of (a) distillate production rate and solar radiation, (b) direct, reflected and diffuse solar radiation absorbed on the first partition, and (c) temperatures in the still on September 1, 2005

この日の実験においては、蒸留部の上部をクランプではさむことにより蒸気漏れを十分に防止した。その結果、凝縮量および温度の経時変化の実験結果は計算結果とよく一致した。

以上の結果より、2枚目の仕切り板における凝縮量および蒸留器内の温度の屋外実験結果は、反射鏡の角度が0°および33°の場合において計算結果とよく一致し、1枚目の仕切り板における日射吸収量を算出するための幾何学モデルの妥当性を確認することができた。今後は、それぞれの季節に応じて、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度を最適な値に設定した場合についての実験を行うとともに、本蒸留器を大型化かつ多重効用として屋外実

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。

6. 結言

著者らは、反射鏡を用いた鉛直平行平板構造の多重効用型太陽熱蒸留器について、前報¹⁵⁾で報告した数値シミュレーション計算に用いた、1枚目の仕切り板における日射吸収量を算出するための幾何学モデルの妥当性を検証するため、多重効用型蒸留器の1段を模した鉛直単段蒸留器を製作し、平板反射鏡の角度を0°(水平)および33°として、夏季の日照下で屋外実験を行い、以下の知見を得た。

1. 蒸留器の向きを午前中は真東、午後(太陽の南中以降)は真西になるように蒸留器の向きを1日に1回だけ変えた場合、蒸留量は午前および午後にそれぞれピークを取り、正午頃の蒸留量は極めて少なくなる。
2. 蒸留器からの蒸留量および蒸留器内の温度の経時変化の実験値は、数値シミュレーション計算結果とよく一致し、1枚目の仕切り板における日射吸収量を算出するために用いた幾何学モデルの妥当性を確認できた。
3. 1枚目と2枚目の仕切り板の間の湿り空気層から蒸気漏れが生じると蒸留性能が低下するため、適切なスペーサー等を用いて蒸気漏れを十分に防止することが重要である。

記号表

- I_0 : 大気外日射強度, W/m²
- G_{gf} : 水平面散乱日射量, W/m²
- G_{da} : 水平面直達日射量, W/m²
- G_h : 水平面全天日射量, W/m²
- β : 入射角
- ϕ : 太陽高度
- ρ_m : 反射鏡の反射率
- τ_{atm} : 大気透過率
- τ_g : カバーガラスの透過率

参考文献

- 1) 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
- 2) P. I. Cooper, J. A. Appleyard, The construction and performance of a three-effect, wick-type, tilted solar still. *Sun at Work*, 12-1(1967), 4
- 3) 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
- 4) S. Toyama, T. Aragaki, H. M. Salah, K. Murase, Dynamic characteristics of a multistage thermal diffusion type solar distillator, *Desalination*, 67(1987), 21
- 5) 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
- 6) K. Ohshiro, T. Nosoko, T. Nagata, A compact solar still utilizing hydrophobic poly(tetrafluoroethylene) nets for separating neighboring wicks, *Desalination*, 105(1996), 207
- 7) B. Boucekima, B. Gros, R. Ouahes, M. Diboun, Performance study of the capillary film solar distiller, *Desalination*, 116(1998), 185
- 8) K. Fukui, T. Nosoko, H. Tanaka, T. Nagata, A new maritime lifesaving

- multiple-effect solar still design, *Desalination*, 160(2004), 271
- 9) H. Tanaka, T. Nosoko, T. Nagata, A highly productive basin-type – multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 279
- 10) H. Tanaka, T. Nosoko, T. Nagata, Parametric investigation of a basin type – multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 295
- 11) H. Tanaka, T. Nosoko, T. Nagata, Experimental study of basin-type, multiple-effect, diffusion-coupled solar still, *Desalination*, 150(2002), 131
- 12) 田中大・中武靖仁・平簗国男、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
- 13) H. Tanaka, Y. Nakatake, K. Watanabe, Parametric study on a vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector, *Desalination*, 171(2004), 243
- 14) H. Tanaka, Y. Nakatake, M. Tanaka, Indoor experiments of the vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector, *Desalination*, 177(2005), 291
- 15) 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
- 16) 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
- 17) 田中大・中武靖仁、インドネシアのNGOとの太陽熱蒸留器の技術協力、第42回日本伝熱シンポジウム講演論文集、1(2005)、117
- 18) H. Tanaka, Y. Nakatake, A simple and highly productive solar still: a vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a flat-plate mirror, *Desalination*, 173(2005), 287
- 19) 太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会、太陽エネルギー利用ハンドブック、(1985)、20、温故堂印刷株式会社、東京
- 20) セントラル硝子株式会社、板ガラス総合カタログ、(2002)、177、セントラル硝子株式会社硝子営業部、東京