

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

Outdoor Experiments to Determine Optimum reflector Angle and Optimum Orientation of the Vertical Diffusion Solar Still Coupled with a Flat Plate Reflector

田 中 大 *¹
Hiroshi TANAKA

中 武 靖 仁 *²
Yasuhito NAKATAKE

Abstract

We show the results of outdoor experiments for a vertical single-effect diffusion solar still. This structure is equivalent to the first distilling cell of a vertical multiple-effect diffusion solar still, coupled with a flat plate reflector. First, we performed theoretical analysis to determine the optimum angle of the flat plate reflector and the optimum orientation of the still, both of which would vary according to month, throughout the year at Kurume, Japan (33.2°N latitude) assuming that the angle of the flat plate reflector is fixed throughout the day and the orientation of the still is changed just once a day at southing of the sun. After that, we performed outdoor experiments from July to November 2005 at Kurume, Japan. The experimental results of the daily productivity agree with the theoretical predictions with about a $\pm 10\%$ error margin. The daily productivity is greatest in autumn in spite of the fact that the global solar radiation on a horizontal surface is greatest in summer, and the daily productivity is almost proportional to the solar radiation absorbed on the first partition of the still.

キーワード：太陽エネルギー、淡水化、太陽熱蒸留器、多重効用、平行平板構造、平板反射鏡

Key Words: Solar energy, Desalination, Solar still, Multiple-effect, Parallel arranged partition structure, Flat plate reflector

1. 緒言

東南アジアやアフリカ等の発展途上国においては、電力や上水道などのインフラが未整備である地域が多く存在するため、衛生的な飲料水を供給する手段の開発が急務である。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に適しているが、いまだ広く実用化された例はない。

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繰り返すことにより蒸留量を増加させる、多重効用型蒸留器の性能は高いが、中でも、Dunkle¹⁾およびCooper²⁾によって提案され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、性能が高い。この蒸留器は、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構造をしており、各仕切り板のウィックには一定量の海水が連続的に供給される。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され、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繰り返すことにより、太陽エネルギーは複数回繰り返し再利用され、蒸留量は飛躍的に増加する。

平行平板構造の多重効用型蒸留器は、1枚目の仕切り板前面がカバーガラスあるいは断熱材によって断熱されるが、1枚目の仕切り板で吸収された太陽エネルギーの一部は、このカバーガラスあるいは断熱材を通過して周囲空気へと放出され、残りのエネルギーが蒸留に利用される。このため、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狭くすることにより、1段（1回の蒸発・凝縮の過程）当りの伝熱抵抗が減少し、それにもなつて蒸留器全体の伝熱抵抗が減少するため、1枚目の仕切り板から周囲空気への放熱量が減少する。加えて、水蒸気の拡散距離の減少にともない、1段当りの蒸留効率、すなわち蒸発面から凝縮面への総熱流束（放射、伝導および蒸発・凝縮による熱流束）の内、蒸発・凝縮による熱流束の占める割合が増加する。したがって、これまでの多くの研究結果^{1)~4)}が示すように、平行平板構造の多重効用型蒸留器においては、仕切り板と仕切り板

*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：2006年6月12日)

の間隔を減少することにより、1枚目の仕切り板から周囲空気への放熱量が減少するとともに、各段における蒸留効率が増加し、その結果、蒸留器の蒸留性能は飛躍的に向上する。

平行平板構造の多重効用型蒸留器を、1枚目の仕切り板が上方に来るように斜めに設置し、蒸発・凝縮の過程を上から下向きに繰り返す上方加熱式蒸留器には、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。しかし、海水を含んだウィックが凝縮面の上方に位置し、かつ、斜めに設置した仕切り板（薄い金属板）に自重によるたわみが生じるため、海水を含んだウィックが凝縮面に接触し、蒸留水が海水に混入しやすいという欠点があった。

一方、仕切り板を鉛直に設置する鉛直蒸留器の場合、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できるため、仕切り板を斜めに設置する上方加熱式蒸留器と比較して、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吸収面も鉛直になるため、太陽光の吸収量を増加させるために付加的な装置が必要になるという欠点がある。

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、Basin型⁹⁾¹¹⁾あるいはヒートパイプ式太陽集熱パネル¹²⁾¹⁴⁾を組み合わせた新しい型の蒸留器を考案し、詳細な理論計算を行うことによって、鉛直蒸留器の蒸留性能が上方加熱式蒸留器よりも高くなることを明らかにした。さらに、Basin型と組み合わせた鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器を用いた2年間にわたる屋外実験では、仕切り板の面積 1.2m^2 、仕切り板の間隔 5mm および仕切り板の枚数11枚の条件において、カバーガラス面積当りの蒸留量は最大で $18.8\text{kg/m}^2\text{day}$ （カバーガラス面日射量は $21.4\text{MJ/m}^2\text{day}$ ）に達した¹¹⁾。これは、屋外実験による上方加熱式蒸留器の蒸留量の最高値である $13\text{kg/m}^2\text{day}$ （カバーガラス面日射量は $25\text{MJ/m}^2\text{day}$ ）⁹⁾より約45%大きく、また、Basin型蒸留器に代表される単段蒸留器の最大蒸留量（ $5\text{kg/m}^2\text{day}$ 程度）の約4倍である。しかし、鉛直蒸留器をBasin型蒸留器と組み合わせた場合、Basin型蒸留器の容積および重量が大きくなり、運搬や保管が困難となる。一方、ヒートパイプ式太陽集熱パネルと組み合わせた場合、蒸留器のサイズが小さくなる反面、高い気密性を必要とするヒートパイプの製作に比較的高度な技術が必要となる。

そこで著者らは、容易に製作・運転が可能、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¹⁵⁾。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、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。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。

著者らはまず、蒸留器の向き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シミュレーション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¹⁵⁾。さらに、本蒸留器の蒸留性能低下の要因となりうるいくつかの設計・操作条件について、その影響をパラメータ計算によって予測した¹⁶⁾。

前報¹⁷⁾では、鉛直多重効用型蒸留器の1段を模した鉛直単段蒸留器を用いた、夏季の日照下における屋外実験結果を報告した。その結果、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。

本蒸留器を運転する際の蒸留器の向きおよび反射鏡の角度には、蒸留器が設置される場所および運転する季節に依存した最適条件があることが、数値シミュレーション計算結果によって予測される¹⁵⁾¹⁸⁾。しかし、前報¹⁷⁾で報告した夏季の日照下における屋外実験では、経験的に、反射鏡の角度を 0° あるいは 33° に、また、蒸留器の向きを午前中に真東、午後（太陽の南中以降）に真西に決定しただけであり、設置場所および季節毎の最適条件は不明のままであった。

そこで本論文では、本蒸留器を福岡県久留米市（北緯 33.2° 、東経 130.2° ）に設置した場合の、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度の各月毎の最適条件を数値シミュレーション計算で明らかにするとともに、得られた最適条件のもとで屋外実験を行った。

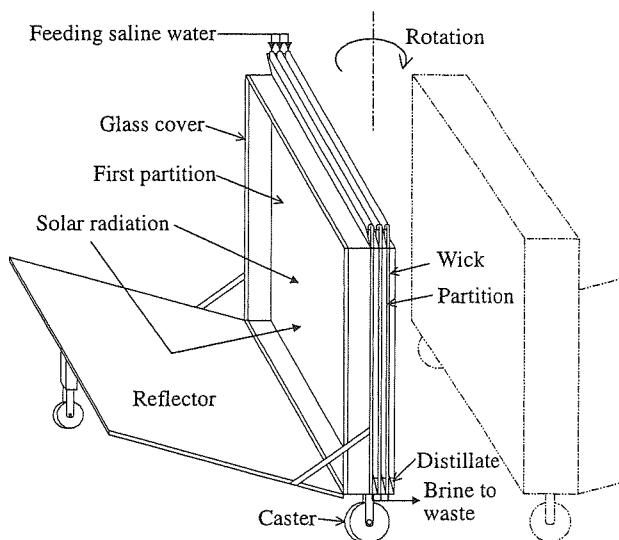


Fig. 1 Schematic diagram of a proposed still

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を図2に示す。なお、前報と同じく、多重効用ではなく単段蒸留器を用い、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。実験装置および実験方法の詳細は前報¹⁷⁾に記述したため、実験装置に関する代表的な寸法等を表1に、各実験日における実験条件を表2に示す。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

建物の影に入るため、各実験日においては表2に示す時間帯に測定を行った。表2中の蒸留器の向き γ は、真南を0として時計回りを正とした値であり、 $\mp 90^\circ$ は午前中が -90° （真東）、午後（太陽の南中以降）が 90° （真西）を表し、 $\mp 22.5^\circ$ は午前中が -22.5° （南南東）、午後が 22.5° （南南西）を表す。反射鏡の角度 θ は、図2に示すように水平面からの角度である。

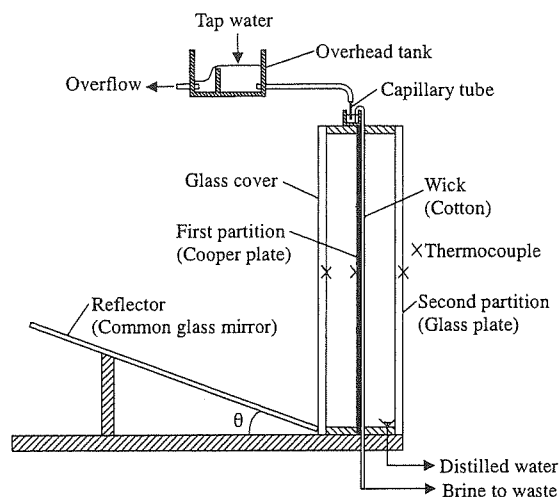


Fig. 2 Schematic diagram of an experimental apparatus

表1 実験装置の設計条件

- ・1枚目の仕切り板：銅板（高さ0.294m、幅0.33m、受光面積0.097m²）
- ・2枚目の仕切り板：ガラス板（厚さ5mm）
- ・ウィック：ネル生地（厚さ約0.5mm）
- ・1枚目の仕切り板とカバーガラスの間隔：10mm
- ・1枚目と2枚目の仕切り板の間隔：10mm
- ・1枚目の仕切り板前面：選択吸収膜塗布（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）
- ・反射鏡：ガラス裏面反射鏡（ガラス厚さ5mm、長さ0.32m、幅0.34m、面積0.109m²）
- ・ウィックへの供給水：水道水
- ・ウィックへの供給水の供給量：1枚目の仕切り板の日射吸収量が実験日の水平面全天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

表2 実験条件

実験日	反射鏡の角度 θ	蒸留器の向き γ	気温 ℃	実験時間
7/27	0°	$\mp 90^\circ$	31.7-36.1	9:00 - 18:00
8/18	0°	$\mp 90^\circ$	28.2-37.2	7:10 - 19:00
10/19	0°	$\mp 22.5^\circ$	20.7-28.1	8:05 - 17:00
10/20	0°	$\mp 22.5^\circ$	18.0-27.1	8:13 - 17:00
10/27	0°	$\mp 22.5^\circ$	16.7-28.0	8:11 - 17:03
11/22	0°	$\mp 22.5^\circ$	7.1-15.6	8:45 - 17:00
11/25	0°	$\mp 22.5^\circ$	10.1-19.8	8:43 - 16:36

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、供給海水中のごみ等をフィルターで十分に取り除く必要がある。長期間の運転により、ウィックに塩が析出する可能性があるが、その場合、ウィックに一時的に多量の海水を流すことにより析出した塩を除去するか、あるいは、ウィックの劣化が著しい場合にはウィックを交換するなどの対策が必要となる。なお、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、純水と比較して3%以下である⁹⁾。

日射量は、全天日射計（ソーラーエース(MS-601)、栄弘精機株式会社製）を用いて測定し、データロガー（DATAMARK(LS-2000)、白山工業株式会社製）を用いて10秒間隔で記録した。

3. 蒸留器の向きおよび反射鏡の角度の最適条件

本蒸留器を運転する際の、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度の最適条件を明らかにするために、本蒸留器（仕切り板の枚数10枚、仕切り板の間隔5mm）が久留米市に設置されたと仮定した場合の、7月から12月における、1日の総蒸留量におよぼす蒸留器の向き γ および反射鏡の角度 θ の影響の数値シミュレーション計算結果を図3に示す。なお、数値シミュレーション計算の詳細は前報¹⁰⁾に記述したが、全ての計算は、反射鏡の角度がそれぞれの日で1日中固定され、かつ、蒸留器の向きを太陽の南中時に1回だけ変えると仮定して行った。水平面直達および散乱日射量には、前報と同様にBouguerおよびBerlageの式を用いた¹⁰⁾。周囲空気温度は、1月から3月が25℃、4月から6月が33℃、7月から9月が30℃および10月から12月が20℃と仮定した。なお、蒸留器の運転を容易にすることを考慮に入れて、反射鏡の角度は0°から30°までの10°刻みに、かつ、蒸留器の向きは0°（真南）から $\mp 90^\circ$ （真東および真西）までの $\mp 22.5^\circ$ 刻みに限定して設定すると仮定した。蒸留量は、蒸留器の向き γ および反射鏡の角度 θ によって大きく変化するが、各月において、蒸留量を最大とする γ および θ が本蒸留器の最適運転条件であるといえる。

なお、前述したように、前報⁷⁾において、本蒸留器を単効用とした場合の屋外実験を行ったが、実験結果と数値シミュレーション計算結果はよく一致し、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。さらに著者らは、鉛直平行平板構造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について長期間にわたる屋外実験を行い、多重効用型蒸留器から得られる蒸留量の屋外実験結果と数値シミュレーション計算結果が7%程度の誤差でよく一致することを明らかにした¹¹⁾。本蒸留器を多重効用とした場合の屋外実験はまだ行っていないが、本研究における鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器に関する数値シミュレーション計算は、Basin型と組み合わせた場合とほぼ同様であるため、本数値シミュレーション計算結果は、Basin型と組み合わせた場合と同程度の誤差で屋外実験結果と一致すると予想される。

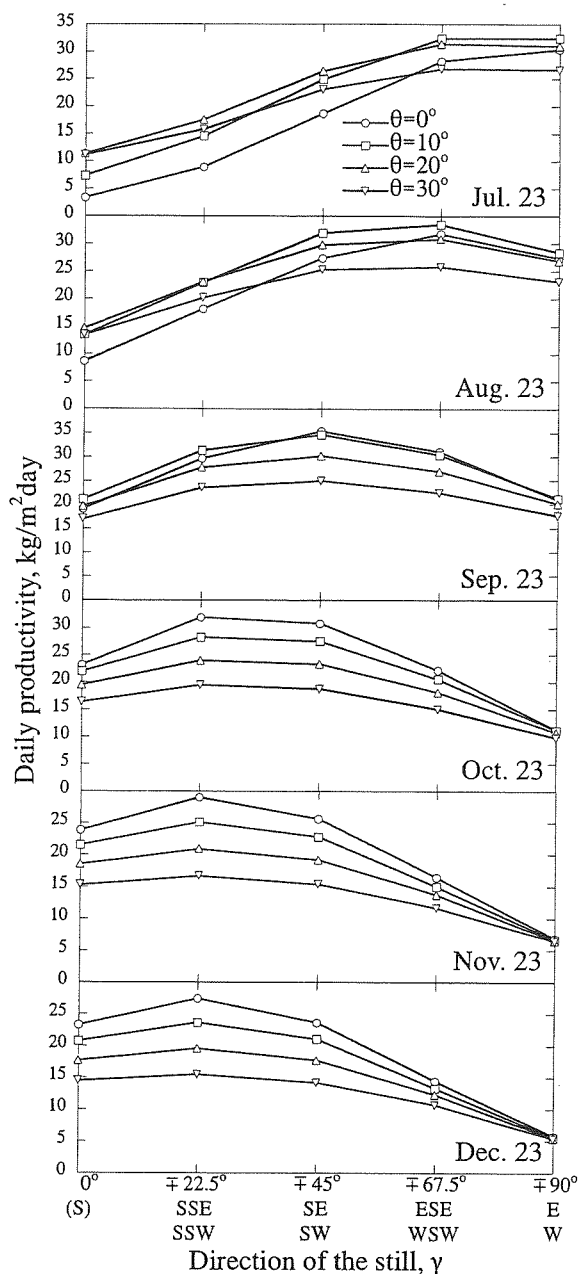


Fig. 3 The daily productivity of the still from July to December at Kurume, Japan (33.2°N latitude) varying with the flat plate reflector angle θ and the orientation of the still γ

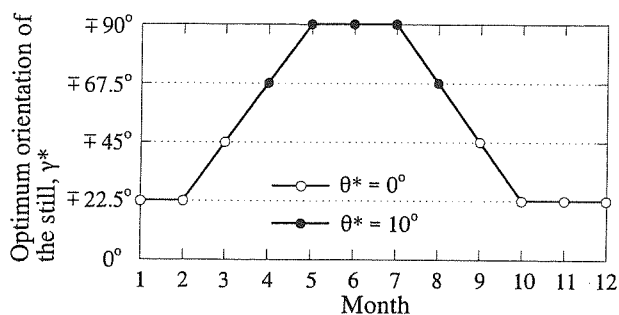


Fig. 4 The optimum flat plate reflector angle θ^* and optimum orientation of the still γ^* throughout the year at Kurume, Japan (33.2°N latitude)

久留米市における、各月毎の、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度の最適条件 (γ^* および θ^*) を図4に示す。なお、1月から6月についても、図3と同様の計算を行うことにより最適条件を求めた。蒸留器の最適な向き γ^* は、夏季の $\pm 90^\circ$ から冬季の $\pm 22.5^\circ$ まで変化するが、これは、夏季から冬季にかけて太陽の軌道が南側に移動するためである。反射鏡の最適角度 θ^* は、冬季 (9月から3月) は 0° で夏季 (4月から8月) は 10° であるが、これは、夏季よりも冬季の方が太陽高度が低く、水平に設置された反射鏡 ($\theta=0^\circ$) がより効率的に太陽光を1枚目の仕切り板に反射するためである。

4. 屋外実験結果

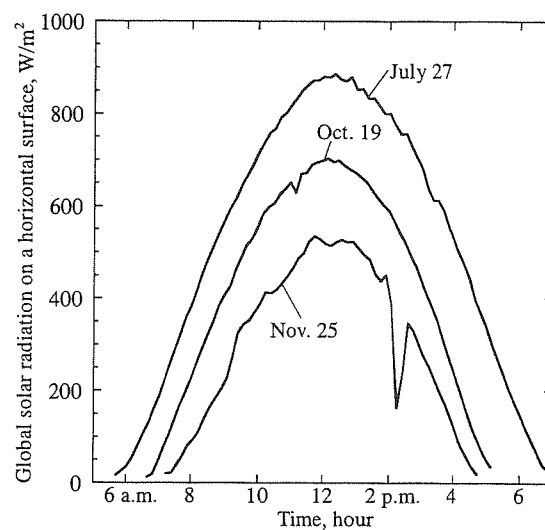


Fig. 5 Hourly variation of the global solar radiation on a horizontal surface on July 27, Oct. 19 and Nov. 25 in 2005

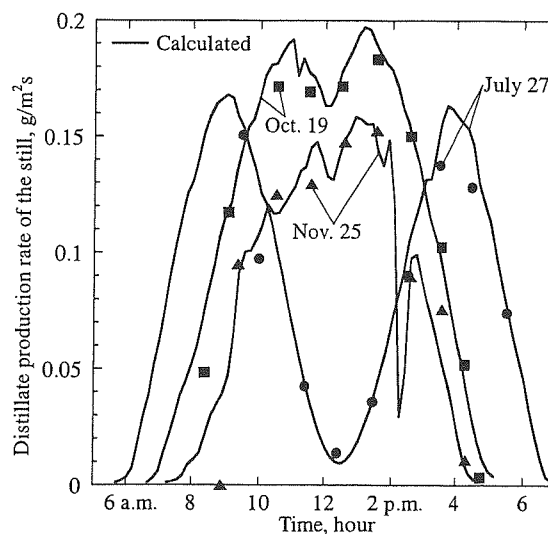


Fig. 6 Hourly variation of the distillate production rate of the still on July 27, Oct. 19 and Nov. 25 in 2005.

2005年7月27日、10月19日および11月25日の水平面全日射量および蒸留器からの蒸留量の経時変化を図5および図6に示す。

なお、表2に示すように、本論文における10月以降の屋外実験は、本数値シミュレーション計算により明らかにした、最適な蒸留器の向き γ^* および反射鏡の角度 θ^* に設定して行ったが、7月および8月の実験は、本数値シミュレーション計算を行う前に実施し、その際には γ および θ を経験的に決定したため、最適な γ^* および θ^* とは若干異なる。測定した水平面全天日射量を用いて算出した、蒸留量の数値シミュレーション計算結果も図6に示すが、単段蒸留器の屋外実験に関する数値シミュレーション計算の詳細は前報¹⁷⁾で報告した通りである。水平面全天日射量は、夏季の7月27日が最も大きく、秋季の10月19日、冬季の11月25日になるにつれて減少する。一方、蒸留量は、7月27日には午前および午後にピーク値を取り、正午頃に著しく減少するが、秋季(10月)、冬季(11月)になるにつれて午前および午後のピークの時間差が短くなるとともに正午頃の減少も少なくなる。これは、夏季においては正午頃に太陽高度が 90° 近くになり、鉛直面では直達光および反射鏡からの反射光がほとんど吸収できないのに対して、秋季および冬季においては、正午頃における太陽高度が夏季に比べて小さくなるため、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度を適切に設定する事により、鉛直面でも十分に多くの太陽光を吸収できるからである。

なお、ウィックへの供給水量が少ない場合や、ウィックの保水性および浸透性が悪い場合、蒸発用ウィックに乾き面が生じ、その結果、蒸留量は著しく減少する。前述したように、本実験においては2枚目の仕切り板には金属板の代わりにガラス板を用い、蒸発用ウィックの観察を行った。その結果、本研究における全ての実験において蒸発用ウィックには乾き面の発生は観察されず、本実験に用いたウィックの良好な濡れ性を確認した。

2005年7月から11月までに行った屋外実験における、水平面全天日射量と蒸留量の関係を図7に示す。なお、前述したように、本研究における屋外実験は、日の出から日没まで行ったのではなく、表2に示す時間帯に行った。したがって、水平面全天日射量の測定値および蒸留量の実験値および計算値については、日の出から日没までの総和ではなく、それぞれの日の実験時間帯における積算値を示す。なお、図中の直線は、田中¹⁹⁾によるBasin型蒸留器の屋外実験結果の回帰直線である。蒸留量の実験値および計算値は、ほとんどの実験日で誤差10%程度以下で一致しており、夏季から冬季に本蒸留器を運転した場合においても、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¹⁵⁾が妥当であることが確認できた。Basin型蒸留器においては、蒸留量は水平面全天日射量にほぼ比例して増加するが、本蒸留器においては、水平面全天日射量が中程度となる秋季(10月)において蒸留量が最大となり、夏季(7月8月)および冬季(11月)においては、水平面全天日射量が大きく異なるにもかかわらず蒸留量の差は小さい。これは、鉛直蒸留器においては、太陽高度が低いほど吸収できる太陽エネルギーが増加する一方、夏季においては、水平面全天日射量が最大となる正午頃は太陽高度が 90° 近くになり、直達光および反射鏡からの反射光とともに1枚目の仕切り板でほとんど吸収できず、蒸留

量が著しく減少するためである(図6)。一般的に、日射量が最大となる夏季において淡水への需要は増大するため、本蒸留器においては、夏季の正午頃の太陽エネルギーをより有効に利用するための改善が課題であるといえる。

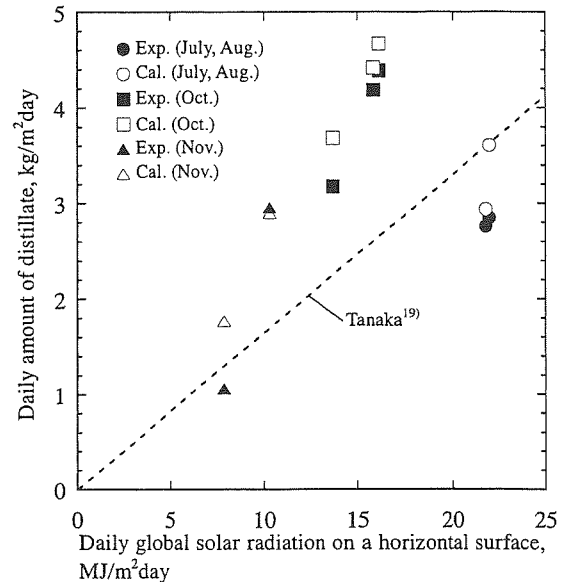


Fig. 7 Daily global solar radiation on a horizontal surface and daily amount of distillate in 2005.

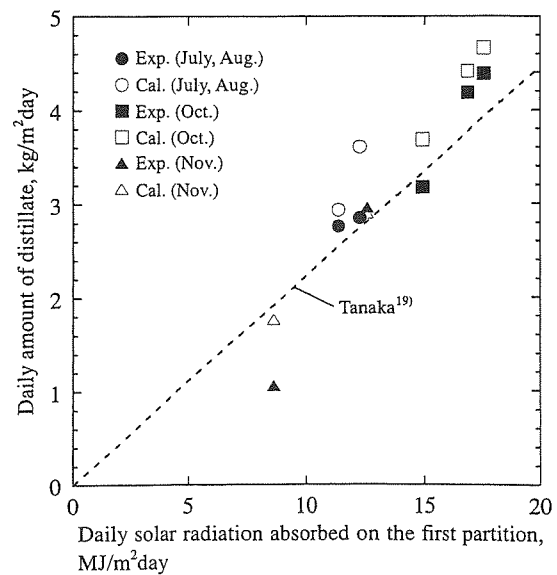


Fig. 8 Daily solar radiation absorbed in the first partition and the daily amount of distillate in 2005.

1枚目の仕切り板における日射吸収量および蒸留量の関係を図8に示す。日射吸収量および蒸留量ともに、図7中の値と同じく、それぞれの日の実験時間帯における積算値である。田中¹⁹⁾による傾斜ウィック型蒸留器の屋外実験の結果から算出した回帰直線をあわせて示す。なお、日射吸収量の計算方法は以下の通りである。前報¹⁷⁾に記述したように、各時刻における全天日射量の測定値およびBouguerおよびBerlageの式を用いて大気透過

率を算出することにより直達および散乱日射量を求め、これらの直達および散乱日射量を元にして、前報¹⁵⁾に詳細を記述した幾何学モデルによって、1枚目の仕切り板が吸収する直達および散乱日射量および反射鏡からの反射日射量を計算した。蒸留量は、日射吸収量にほぼ比例して増加し、図7に見られるような季節によるばらつきはほとんど無い。また、本実験結果は、田中による屋外実験結果ともよく一致している。したがって、いずれの季節においても、反射鏡の角度および蒸留器の向きを適切に決定し、直達光および反射鏡からの反射光をいかに1枚目の仕切り板で吸収させるかが、本蒸留器の運転において重要であると言える。

5. 結言

著者らは、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について、本蒸留器が福岡県久留米市に設置され、かつ、蒸留器の向きを太陽の南中時に1回だけ変えると仮定した場合の、蒸留器の向きおよび反射鏡の角度の各月毎の最適条件を数値シミュレーション計算により明らかにした。さらに、得られた最適条件のもとで、鉛直平行平板構造の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反射鏡を用いて、2005年7月から11月までの期間に屋外実験を行い、以下の知見を得た。

1. 反射鏡の最適角度は、冬季(9月から3月)が 0° (水平)で、夏季(4月から8月)が 10° である。
2. 蒸留器の最適な向きは、夏季の $\mp 90^\circ$ (午前は真東、午後(太陽の南中以降)は真西)から冬季の $\mp 22.5^\circ$ (南南東および南南西)まで変化する。
3. 蒸留量は秋季が最も大きく、夏季および冬季においては水平面全天日射量が大きく異なるにもかかわらず、蒸留量の差は小さい。
4. ほとんどの屋外実験において、蒸留量の実験値と計算値は誤差10%程度以下でよく一致した。
5. 蒸留量は、1枚目の仕切り板における日射吸収量にほぼ比例して増加し、季節によるばらつきはほとんどない。

記号表

γ : 蒸留器の向き	γ^* : 蒸留器の最適な向き
θ : 反射鏡の角度	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. 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. Bouchekima, 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) H. Tanaka, Y. Nakatake, A vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a heat-pipe solar collector, *Desalination*, 160(2004), 195.
- 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, 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.
- 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) 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, 博士論文, 慶応大学, p. 100-103.