

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

Parametric investigation on a vertical multiple-effect diffusion-type solar still coupled with a flat plate mirror

田 中 大 *
Hiroshi TANAKA

中 武 靖 仁 *
Yasuhito NAKATAKE

Abstract

A simple solar still, which consists of a vertical multiple-effect diffusion-type still and a flat plate mirror, was theoretically analyzed to determine the distillate productivity on a summer solstice and a spring equinox days, and also the parametric investigation was performed to determine the decrease in productivity caused by poorness of construction and operating skills. It was found that in spite that the productivity of the proposed still under poor design and operation conditions would be about 50 % less than that under the optimum conditions, the productivity under poor conditions would be still greatly larger than the single-effect stills.

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-type, Flat plate mirror

1. 緒言

太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器は、発展途上国において、持続的に利用可能な小型分散型の淡水供給手段としての利用が期待されている。

太陽熱蒸留器は、単効用型および多重効用型の二つに大別することができる。単効用型は、太陽エネルギーを蒸留器内部で一度だけ利用するものであり、一般的に蒸留器の構造が単純であり、製作が簡単であるという利点があるが、反面、その蒸留性能には限界があり、蒸留量は最大でも $5\text{kg}/\text{m}^2\text{day}$ 程度しか得られないため、蒸留量を増加させるためには広い敷地面積を必要とする。一方、多重効用型は、水蒸気が凝縮する際に放出する潜熱を再利用して、海水の蒸発・凝縮の過程を蒸留器内部で複数回繰り返す構造をしており、単効用型と比較すると蒸留器の構造がやや複雑になるが、蒸留性能は単効用型の数倍になる。

多重効用型の中でも、Cooper¹⁾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、構造が単純であり、かつ、その性能は高く、これまでに多くの研究が行われてきた^{2)~12)}。この蒸留器は、ウィックと呼ばれる保水性の高い布を接着させた仕切り板を、一定の間隔で平行に複数枚配置した構造をしており、ウィックには海水が連続的に供給される。1枚目の仕切り板が太陽熱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・凝縮の過程が蒸留器内部で何度も繰り返されることにより、蒸留量は大幅に増加する。

これまでの研究により、平行平板構造の多重効用型蒸留器において、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減少させ、かつ、仕切り板の枚数すなわち蒸発・凝縮過程の回数を増加させることにより、その蒸留性能が大幅に向上することが明らかにされている。さらにTanaka¹⁰⁾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と仕切り板の間隔を数mm以下と非常に狭くすることができることを、長期間にわたる屋外実験で明らかにし、仕切り板を鉛直に設置することの利点が非常に大きいことを指摘している。

著者らは前報¹³⁾において、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考案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、新しい型の太陽熱蒸留器を提案し、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、幾何学的モデルを用いて計算した。その結果、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日の積算日射量が大幅に向上することを明らかにした。さらに、蒸留器内部の熱・物質移動をモデル化し、数値シミュレーション計算によって本蒸留器の蒸留量を試算した結果、本蒸留器の蒸留性能が単効用型と比較して5倍

* 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
(原稿受付：2004年9月13日)

以上になることを予測した。

本蒸留器は、発展途上国において、現地の人々が現地で調達できる材料を利用して製作し、これを手動で運転することを想定している。そのため、製作技術水準が低い場合、理想的な設計条件における計算値よりもある程度の蒸留性能の低下が生じることが予想される。そこで本研究では、本蒸留器における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い、理想的条件および技術水準の低さを考慮に入れた実用的条件における蒸留器の蒸留性能を比較・検討することを目的とする。

2. 平板反射鏡と組み合わせた鉛直平行平板構造太陽熱蒸留器

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、蒸留器の下部にはキャスターが設置され、蒸留器の向きを手動で変えられるようになっている。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成り、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、ウィックには常時、一定量の海水が蒸留部の上部から連続的に供給される。1枚目の仕切り板の前には、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。平板反射鏡は、1枚目の仕切り板が効率的に太陽光を吸収できるよう、その角度を自由に調節することができる。

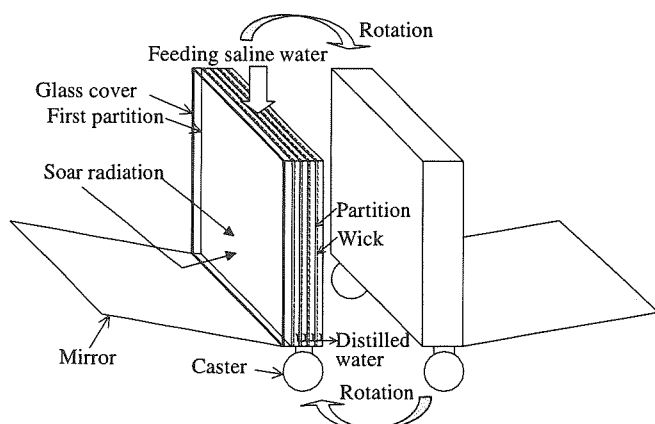


Fig. 1 Schematic diagram of a proposed solar still

斜めから入射する直達光、反射鏡からの反射光および散乱光がカバーガラスを透過して、1枚目の仕切り板で吸収される。この太陽エネルギーは、蒸留器内部で海水の蒸発・凝縮の過程を何度も繰り返すことにより再利用され、蒸留量は増加する。

なお、前報³⁾で報告したように、蒸留器の向きは1日に何回も変える必要はなく、太陽の南中時に1回変えるだけで十分であり、その結果、1枚目の仕切り板における1日の積算日射量は大きく増加する。このことは、自動制御の追尾機構を持たせるのではなく、手動で向きを変えることを想定している本蒸留器にとって、非常に好都合であるといえる。

3. 理論解析および数値シミュレーション

理論解析の詳細は前報¹³⁾で報告したので、ここではその概要のみを述べる。蒸留部のカバーガラスおよび各仕切り板の温度が一様であると仮定して、カバーガラスおよび各仕切り板に関する熱収支式を導き、これらの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、各構成要素を出入りする熱流束および各凝縮面での凝縮量を計算した。また、蒸留器の方位角および鏡の角度を考慮に入れて、前報で報告した方法を用いて、1枚目の仕切り板が吸収する直達、反射および散乱光を計算した。

本数値シミュレーション計算で使った蒸留器の設計および操作条件、気象条件を表1に示す。なお、それぞれのパラメータ計算においては、計算の対象となるパラメータのみを変化させ、それ以外の条件については表1に示す値で一定とした。

なお、本蒸留器と同様の構造を持つ鉛直多重効用型蒸留器と、Basin型を組み合わせた蒸留器について、数値シミュレーション結果と屋外実験結果は7%程度の誤差で一致したと報告されている¹⁰⁾。Basin型蒸留器と組み合わせた場合の、鉛直多重効用型蒸留器に関する数値シミュレーションモデルは、前報で報告したモデルとほぼ同じであるため、本蒸留器に関する数値シミュレーション結果の誤差は、7%程度であることが予想される。

表1. 気象条件、および蒸留器の設計および操作条件

気象条件

周囲空気温度=25℃（春分）および33℃（夏至）

周囲空気風速=1m/s

水平面直達日射量および水平面散乱日射量：北緯26° および太陽定数1370W/m²を用いて、それぞれBouguer¹⁴⁾およびBerlageの式¹⁴⁾より算出

設計および操作条件

- ・ 反射板：長さ1m×幅1m、反射率0.95
- ・ 仕切り板：高さ1m×幅1m×厚さ0.5mm、放射率0.9
- ・ カバーガラス：高さ1m×幅1m×厚さ3mm、放射率0.9
- ・ 仕切り板と仕切り板の間隔：5mm
- ・ 1枚目の仕切り板前面：吸収率0.9、放射率0.2
- ・ ウィックへの海水供給温度=周囲空気温度
- ・ ウィックへの海水供給量：1枚目の仕切り板の日射吸収量が南中時の水平面全天日射量に等しいと仮定して算出された各ウィックからの定常状態における蒸発量の2倍

4. 結果

4.1 前報における数値シミュレーション結果

前報において、1枚目の仕切り板における日射吸収量が最大となる、反射鏡の角度および蒸留器の方位角について詳細な計算を行った結果、太陽の南中時に1回だけ蒸留器の方位角を変えることにより、1枚目の仕切り板における1日の積算日射吸収量は大幅に増加し、蒸留器が北緯26°に設置された場合、夏至においては反射鏡の角度が15°、および午前および午後における蒸留器の方位角がそれぞれ-90°および90°の場合に、春分にお

いては反射鏡の角度が 8° 、および午前および午後における蒸留器の方位角がそれぞれ -60° および 60° 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になることを明らかにした。なお、蒸留器の方位角は、真南を0として、時計回りを正とした値であり、例えば -90° は真東、 90° は真西を表す。

さらに、蒸留器の向きを南中時に1回だけ変えた場合の、夏至における1枚目の仕切り板の日射吸収量および蒸留器全体から得られる総蒸留量の経時変化を明らかにするとともに、夏至および春分において、蒸留器を南向きに固定しかつ反射鏡を設置しない場合、蒸留器を南向きに固定した場合、および蒸留器の向きを南中時に1回だけ変えた場合の3通りについて、1日の総蒸留量を比較した結果、蒸留器を南向きに固定しかつ反射鏡を設置しない場合は蒸留量がほとんど得られないが、反射鏡を設置してかつ南中時に蒸留器の向きを1回だけ変えることにより、蒸留量が著しく増加することを明らかにした。

4.2 夏至および春分における蒸留挙動

1枚目の仕切り板の日射吸収量および総蒸留量の経時変化

4.1で述べたように、本蒸留器が北緯 26° に設置され、かつ、太陽の南中時（正午頃）に1回だけその向きを変える場合、午前および午後における蒸留器の方位角が、夏至においては -90° および 90° の場合に、春分においては -60° および 60° の場合に、1枚目の仕切り板が吸収する1日の積算日射量が最大となる。また、反射鏡の最適角度は、夏至および春分においてそれぞれ 15° および 8° である。したがって本論文における計算は全て、夏至においては蒸留器の方位角は午前が -90° 、午後が 90° 、反射鏡の角度 15° 、および春分においては蒸留器の方位角は午前が -60° 、午後が 60° 、反射鏡の角度 8° の条件で行った。

本蒸留器が北緯 26° に設置されたと仮定した場合の、夏至における1枚目の仕切り板の日射吸収量および蒸留器全体から得られる総蒸留量の経時変化を図2に示す。なお、本論文においては、蒸留量は蒸留部の各仕切り板の単位面積当たりの値で示す。図中に点線で示す水平面全天日射量は、正午頃にピーク値を取るが、1枚目の日射吸収量は午前10時頃および午後2時頃にそれぞれピーク値を取る。これは、蒸留器が午前中には真東（方位角 -90° ）および午後には真西（方位角 90° ）を向いているためである。1枚目の仕切り板の1日の積算日射吸収量は約 $22.8\text{MJ}/\text{m}^2\text{day}$ であり、太陽の南中時に蒸留器の向きを1回変えるだけで、水平面全天日射量（約 $28.1\text{MJ}/\text{m}^2\text{day}$ ）の約81%になることがわかる。

総蒸留量は1枚目の仕切り板の日射吸収量から約10分遅れるが、これは蒸留部の熱容量によるものである。総蒸留量のピーク値は約 $1.22\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ であり、1日の総蒸留量は約 $34.5\text{kg}/\text{m}^2\text{day}$ である。

春分の日における、図2と同様の変化を図3に示す。春分においては夏至に比べて太陽高度が低く、太陽光は蒸留器に対して斜めから入射するため、1枚目の仕切り板で吸収することができる直達光および反射鏡からの反射光が増加し、その結果、1枚目

の仕切り板の1日の積算日射吸収量（約 $21.5\text{MJ}/\text{m}^2\text{day}$ ）は、水平面全天日射量（約 $22.9\text{MJ}/\text{m}^2\text{day}$ ）の約94%となる。春分における総蒸留量のピーク値（約 $1.31\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ）は夏至（約 $1.22\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ）よりも大きい、これは1枚目の仕切り板の日射吸収量のピーク値が春分（約 $800\text{W}/\text{m}^2$ ）の方が夏至（約 $730\text{W}/\text{m}^2$ ）よりも大きいためである。一方、春分における1日の総蒸留量は約 $31.3\text{kg}/\text{m}^2\text{day}$ であり、夏至（約 $34.5\text{kg}/\text{m}^2\text{day}$ ）よりも小さいが、これは春分の方が夏至に比べて日照時間が短いためである。

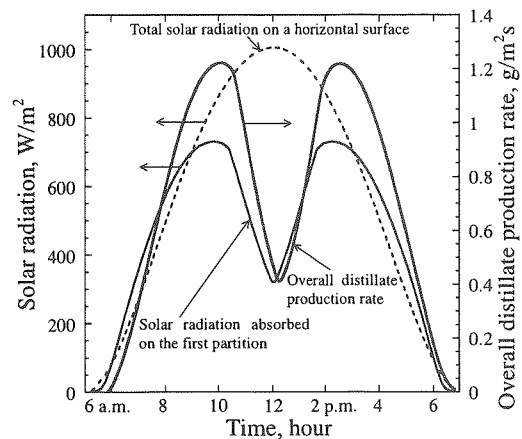


Fig. 2 Time variation of the solar radiation absorbed on the first partition and the overall distillate production rate of the still on a summer solstice day

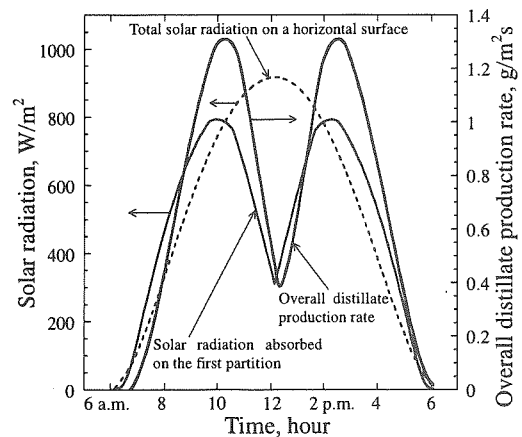


Fig. 3 Time variation of the solar radiation absorbed on the first partition and the overall distillate production rate of the still on a spring equinox day

蒸留器内の温度分布および凝縮量分布

夏至および春分において、蒸留器全体から得られる総蒸留量がピーク値を取る時間における、蒸留器内部の温度分布を図4に示す。いずれの日においても、1枚目の仕切り板(p1)で温度は最も高く、蒸留部の外側ほど温度は低下する。また、1枚目の仕切り板とカバーガラス(g)の間の温度差は 30°C 程度であり、カバーガラスによりよく断熱されていることがわかる。1枚目の仕切り板の温度は夏至および春分においてほぼ同じであるが、蒸留部外側の仕切り板ほど春分の方が温度は低い。これは、1枚目の仕切り板の日射吸収量のピーク値が夏至よりも春分の方が高いが、一方、周囲空気温度が春分（ 25°C ）よりも夏至（ 33°C ）の方が

高いためである。

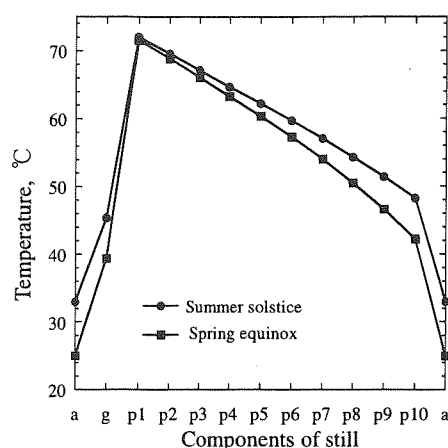


Fig. 4 Distribution of temperature in the still at the peak of the overall production rate on the summer solstice and spring equinox days

夏至および春分における、各凝縮面の1日の総凝縮量を図5に示す。なお、蒸留器全体の総蒸留量は5分の1の縮尺で示す。いずれの日においても、凝縮量は2枚目の仕切り板(p2)で最も多く、蒸留部の外側ほど凝縮量は減少する。全ての凝縮面において夏至の方が常に凝縮量は多いが、これは、1枚目の仕切り板における1日の積算日射吸収量が夏至の方が大きく、また、周囲空気温度も夏至の方が高いためである。その結果、蒸留器全体から得られる1日の総蒸留量は夏至の方が春分に比べて約10%多くなる。

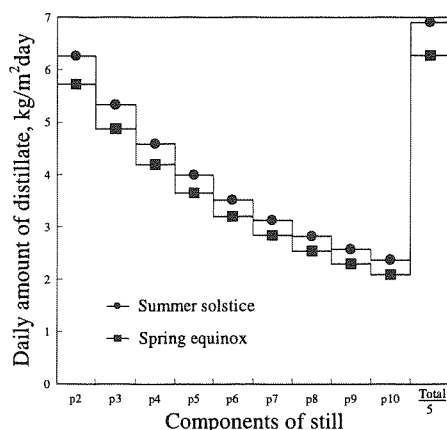


Fig. 5 Daily amount of distillate on all partitions in distilling section on the summer solstice and spring equinox days

4.3 蒸留性能におよぼす各種パラメータの影響

仕切り板と仕切り板の間隔の影響

仕切り板と仕切り板の間隔を変化させた場合の、蒸留器全体から得られる1日の総蒸留量の変化を図6に示す。仕切り板の間隔が狭いほど蒸留量は増加し、特に間隔が10mm以下の場合にはその増加割合が顕著である。しかし、仕切り板と仕切り板の間隔、すなわち蒸発用ウィックと凝縮面の間隔が小さい場合、ウィックと凝縮面が接触しやすくなる。ウィックの一部だけが凝縮面に接触した場合でも、ウィックによる凝縮水の吸収が大きく、凝縮水の回収率が大幅に低下するため、ウィックと凝縮

面の接触を防止することは非常に重要である。

Tanakaら¹⁰⁾は、仕切り板の間隔が5mmの場合でも、仕切り板間に適切な数のスペーサーを設置することによりウィックと凝縮面の接触は防止できるものの、スペーサーを設置しなかった場合には、ウィックが凝縮面と接触し、ウィックが凝縮水を吸収することにより凝縮水の回収率が6割程度に減少したと、一方、仕切り板の間隔が10mmの場合には、スペーサーを設置しない場合でもウィックと凝縮面の接触はほとんど生じなかったことを報告している。

本蒸留器の製作において、スペーサーを仕切り板に固定するために接着剤が使用されることが予想されるが、接着剤は一般的に高温・高湿度に弱いため、長期間の運転中に外れる可能性がある。また、仕切り板の間隔を数mmにした場合においての、ウィックと凝縮面の接触を十分に防止するためのスペーサーの個数および形状についての定量的な研究は、十分に成されていないのが現状である。したがって本蒸留器においては、仕切り板と仕切り板の間隔は、スペーサーを用いなくてもウィックと凝縮面が接触しない、10mm程度が妥当であると考えられ、この場合、仕切り板の間隔が5mmの場合と比較すると蒸留量は約17%減少する。

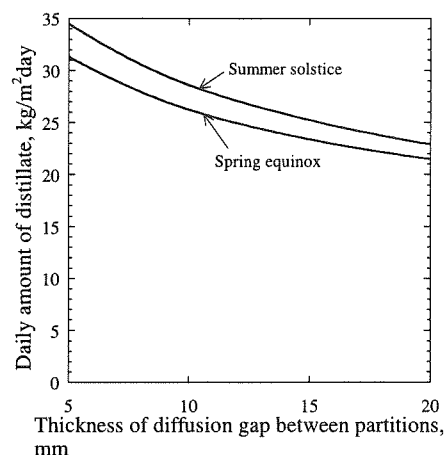


Fig. 6 Daily amount of distillate with varying the thickness of diffusion gap between partitions

1枚目の仕切り板前面の放射率の影響

本蒸留器の性能向上のためには、1枚目の仕切り板前面は選択吸収膜処理されることが望ましいが、発展途上国においては選択吸収膜材は入手が困難であることが予想され、その代替として黒色塗料を用いる方が蒸留器の製作が容易になると考えられる。そこで、1枚目の仕切り板前面の放射率と蒸留器全体から得られる1日の総蒸留量の関係を図7に示す。1枚目の仕切り板前面の放射率の増加にともない蒸留量は減少するが、これは、1枚目の仕切り板からカバーガラスへの放射熱流束が増加し、蒸留部で利用できる太陽エネルギーが減少するためである。選択吸収膜(放射率0.2)の代わりに黒色塗料(放射率0.9)を用いた場合の蒸留量の減少割合は、いずれの日においても12%程度であることがわかる。

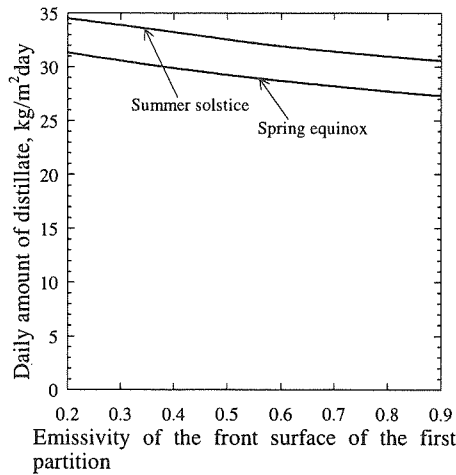


Fig. 7 Daily amount of distillate with varying the emissivity of the front surface of the first partition

反射鏡の反射率の影響

本蒸留器において、反射鏡の反射率は重要なパラメータの一つであり、反射鏡には鏡面仕上げした金属板などの反射率の高いものを使用することが理想的であるが、より反射率の低い材料、例えば裏面鏡等を用いる方が、特に発展途上国等においては入手が容易であり、取り扱いも簡単である。また、反射率の高い材料を使用した場合においても、使用環境によってはほこり等により反射率が低下することが予想される。

そこで、平板反射鏡の反射率と総蒸留量の関係を図8に示す。反射率の低下にともない蒸留量は減少し、反射率が0.95から0.5まで低下することにより蒸留量は30%程度減少する。ただし、一般的に入手が容易な鏡を使用し、定期的に鏡表面のほこり等を除去すれば、鏡の反射率は0.8程度を保持できることが予想されるため、この場合には、反射率の高い鏡面仕上げの金属板（反射率0.95）と比較して、蒸留量の減少割合は約10%である。

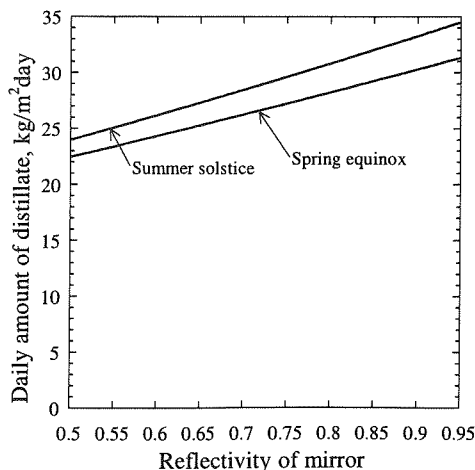


Fig. 8 Daily amount of distillate with varying the reflectivity of mirror

各ウィックへの海水供給量の影響

蒸留部の各仕切り板のウィックへの海水供給量 m_{fpi} と総蒸留量の関係を図9に示す。ここで、図中の m_{fpi}^* は、1枚目の仕切り板の日射吸収量が南中時の水平面全天日射量に等しいと仮定し

て計算した、定常状態における各ウィックからの蒸発量である。海水供給量 m_{fpi} の増加とともに蒸留量は減少するが、これは、 m_{fpi} の増加とともに供給海水を加熱するための顕熱エンタルピーが増加し、蒸留部の外側ほど仕切り板間の湿り空気層を通過する熱流束が急激に減少するためである。

ウィックへの海水の供給は、海水供給容器およびそれに接続された毛細管群によって行うことができるが、その供給量は、容器のヘッドおよび毛細管の長さによって調節することができる。毛細管としては、注射針や内径1mm程度の金属製の細管等が比較的入手しやすいと考えられるが、市販の注射針や細管の内径にはばらつきがあることが多い。毛細管からの流量は内径の4乗に比例するため、仮に毛細管の内径が1割大きいと、流量は約50%増加する。そのため、流量が設計値の $m_{fpi}/m_{fpi}^*=2$ の1.5倍、すなわち $m_{fpi}/m_{fpi}^*=3$ となった場合、蒸留量は約15%減少することがわかる。

ただし、毛細管からの流量は予備的な試験により簡単に計測することが可能であるため、内径にばらつきのある毛細管を使用する場合はあらかじめその流量を測定し、毛細管を適切な長さに加工することが重要である。

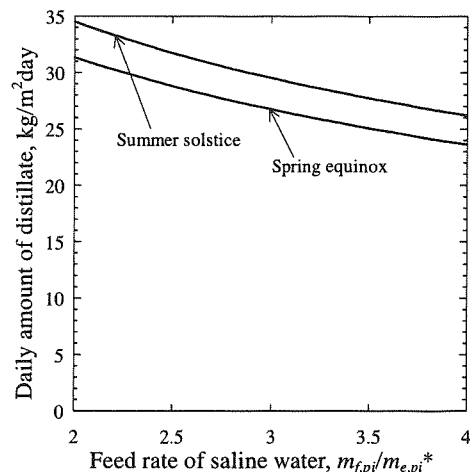


Fig. 9 Daily amount of distillate with varying the feed rate of saline water to the wicks

蒸留部の仕切り板の枚数の影響

蒸留部の仕切り板の枚数と総蒸留量の関係を図10に示す。図中の黒塗りの記号は理想的な条件における結果であり、白抜きの記号は技術水準の低さを考慮に入れた実用的条件における結果である。なお、理想的条件および実用的条件については表2に示す通りである。いずれの場合も、蒸留量は仕切り板の枚数の増加とともに始め急激に増加し、その後飽和する傾向を示す。実用的条件の場合、理想的な条件と比較して蒸留量は5～6割程度しか得られず、また、仕切り板の枚数の増加にともなう蒸留量の増加割合は小さい。したがって、仕切り板の枚数によって蒸留器の製作コストが大きく左右されることを考慮に入れると、実用的条件の場合には仕切り板の枚数をある程度少なくすることが望ましいことがわかる。

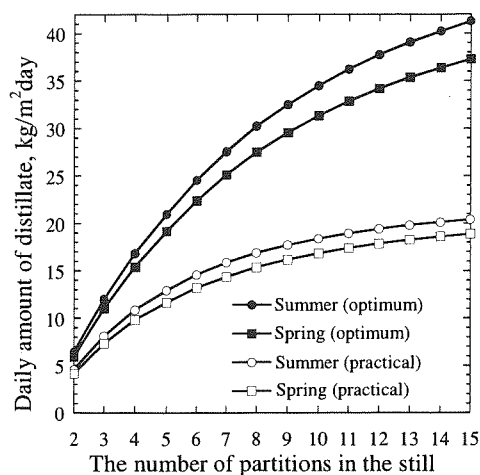


Fig. 10 Daily amount of distillate with varying number of partitions in the still

表2. 蒸留器の理想のおよび実用的条件

	理想的条件	実用的条件
仕切り板の間隔	5mm	10mm
1枚目の仕切り板前面の放射率	0.2	0.9
反射鏡の反射率	0.95	0.8
ウィックへの海水供給量	$m_{fpi}/m_{epi}=2$	$m_{fpi}/m_{epi}=3$

仕切り板の枚数が10枚の場合、理想的な条件においては、夏至および春分においてそれぞれ約34.5および31.1kg/m²dayの蒸留量が得られるのに対して、実用的条件の場合においてはそれぞれ約18.4および16.9kg/m²dayの蒸留量しか得られず、これは理想的な条件の半分程度である。しかし、実用的条件の場合においても、本蒸留器の蒸留部と同じ敷地面積を有する単効用型蒸留器の一般的な蒸留量（約5kg/m²day）に比べると非常に高いことがわかる。また、製作および運転技術は試行錯誤により向上することが予想されるため、本蒸留器の蒸留量は、今回試算した実用的条件下におけるものよりも向上することが可能であると考えられる。

5. 結言

著者らは、鉛直平行平板構造の太陽熱多重効用型蒸留器と平板反射鏡を組み合わせた蒸留器の、夏至および春分における蒸留挙動、および本蒸留器の蒸留性能を低下させ得るいくつかの要因についての計算を行い、以下の知見を得た。

1. 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、夏至および春分における1枚目の仕切り板が吸収する1日の積算日射量は、それぞれの日の水平面全天日射量の約81%および約94%になり、1日の総蒸留量はそれぞれ約34.5および31.3kg/m²dayとなることが予測された。
2. 仕切り板の間隔が10mmの場合、5mmの場合に比べて蒸留量は約17%減少する。
3. 1枚目の仕切り板前面を選択吸収膜処理する代わりに、黒色塗料で塗布した場合、蒸留量は約12%減少する。

4. 反射鏡の反射率が0.95から0.8まで低下すると、蒸留量は約10%減少する。
5. ウィックへの海水供給量が1.5倍になると、蒸留量は約15%減少する。
6. 蒸留器の製作技術水準が低い場合、理想的な設計条件の場合に比べて蒸留量は半分程度になることが予想されるが、その場合においても、本蒸留器の蒸留量は単効用型に比べて非常に高い。

記号表

a: 周囲空気

g: カバーガラス

m_{epi} : 定常状態における蒸発量, kg/m²s

m_{fpi} : ウィックへの海水供給量, kg/m²s

pi: i枚目の仕切り板

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) 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 and K. Murase, Dynamic Characteristics of a Multistage Thermal Diffusion Type Solar Distillator, *Desalination*, 67(1987), 21
- 5) R. C. Ouahes and P. J. Le Goff, A Hardy, High-Yield Solar Distiller of Brackish Water, *Desalination*, 67(1987), 43
- 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) K. Ohshiro, T. Nosoko and T. Nagata, A Compact Solar Still Utilizing Hydrophobic Poly(Tetrafluoroethylene) Nets for Separating Neighboring Wicks, *Desalination*, 105(1996), 207
- 8) B. Boucekima, B. Gros, R. Ouahes and M. Diboun, Performance Study of the Capillary Film Solar Distiller, *Desalination*, 116(1998), 185
- 9) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, A highly productive basin-type - multiple-effect coupled solar still, *Desalination*, 130(2000), 279
- 10) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Experimental study of basin-type, multiple-effect, diffusion-coupled solar still, *Desalination*, 150(2002), 131
- 11) 田中大・中武靖仁・平澤国男, 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
- 12) K. Fukui, T. Nosoko, H. Tanaka and T. Nagata, A new maritime lifesaving multiple-effect solar still design, *Desalination*, 160(2004), 271
- 13) 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
- 14) 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