

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)

A newly designed vertical multiple-effect-diffusion type solar still coupled with
heat-pipe solar collector

(2nd Report: Effect weather conditions on still's productivity)

田 中 大 *
Hiroshi TANAKA

中 武 靖 仁 *
Yasuhito NAKATAKE

Abstract

We numerically analyzed a vertical multiple-effect-diffusion type solar still coupled with heat-pipe solar collector, which has some advantages: the still's size is compact, the still can produce distilled water without electricity, and the productivity is greater than that of conventional multiple-effect-diffusion type stills. We theoretically predicted the optimum angles of the solar collector in the spring and autumn equinox and the summer and winter solstice days, and we also performed parametric investigations of some conditions, such as ambient temperature, wind velocity, temperature of feeding saline water to wicks, and the number of partitions, to determine the effect of these parameters to still's productivity. It is found that at large number of partitions in the multiple-effect still, it is better to use a simple and inexpensive device which can increase temperature of the feeding saline water to wicks about 10 K rather than to increase the number of costly partitions to improve the still's productivity.

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、数値計算

Key Words: Solar distillation, Solar still, Multiple-effect, Solar collector, Heat-pipe, Numerical simulation

1. 諸言

淡水資源の乏しい地域における飲料水確保の手段の一つとして、これまでに太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器の研究が広く行なわれてきた。太陽熱蒸留器は、太陽熱によって海水を蒸発させ、その水蒸気を凝縮させることにより淡水を得るという単純な構造をしており、また、電気エネルギーや化石燃料が不要であるため、小型分散型の蒸留システムに適している。

これまでに研究してきた太陽熱蒸留器の中でも、水蒸気の凝縮潜熱を再利用し、海水の蒸発・凝縮を複数回繰り返し行なう多重効用型蒸留器の性能は最も高く、中でも、ウィックを貼り付けた仕切り板を一定の間隔で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単純であり、かつ、性能も高いため、これまでに多くの研究者によって研究が行なわれてきた⁽¹⁾⁻⁽¹³⁾。

平行平板構造の多重効用型蒸留器は、以下の構造により蒸留量を増加することができる。すなわち、この蒸留器の各仕切り板のウィックに常時一定量の海水が供給され、まず1枚目の仕切り板が太陽エネルギーにより加熱され、その背面のウィックか

ら水蒸気が発生する。この水蒸気が2枚目の仕切り板で凝縮する際に放出する凝縮潜熱により、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し、太陽熱を何度も再利用することにより蒸留量は飛躍的に向上する。平行平板構造の多重効用型蒸留器は、ウィックを流下する海水量を適切に調節することにより、海水の加熱に必要な顯熱量を小さくすることができ、さらに、仕切り板の枚数を増やすだけで蒸留回数を増加できるため、蒸留器を小型化しやすい、という利点を持つ。

これまで、蒸留器を水平に近い角度で斜めに傾け、1枚目の仕切り板を太陽光により直接加熱する上方加熱式の平行平板構造多重効用型蒸留器の研究が実験的・理論的に広く行われ^{(1), (3)-(7), (10)-(13)}、仕切り板の間隔を狭くすることにより、仕切り板と仕切り板の間の伝熱抵抗が大幅に減少し、蒸留量が大幅に向上することが明らかにされた^{(4), (5), (11)}。

Dunkle⁽²⁾は、鉛直平行平板構造の多重効用型蒸留器とポンプ循環式平板型太陽集熱器を組み合わせた蒸留器の理論解析および屋内実験を行い、仕切り板の間隔を狭くすることにより蒸留量が増加すること、また、仕切り板と仕切り板の間の空間を空気よりも分子量の小さい気体で満たすことにより、水蒸気の拡散

* 久留米工業高等専門学校機械光学科
(〒830-8555 久留米市小森野1-1-1)
e-mail : tanakad@kurume-nct.ac.jp
(原稿受付 : 2003年4月10日)

抵抗が減少し、蒸留量が増加することを報告している。Kiatsiriroat⁽⁸⁾らは、Dunkleと同様の蒸留器について理論解析および屋外実験を行い、集熱面と蒸留器の蒸発面の面積比が蒸留量へおよぼす影響について報告している。しかし、彼らの報告は限定的なものであり、蒸留性能におよぼす各種条件等の影響は不明である。

田中ら⁽¹⁴⁾⁽¹⁸⁾は、鉛直平行平板構造の多重効用型とBasin型を組み合わせた蒸留器について理論的および実験的に詳細な研究を行い、仕切り板を鉛直に設置す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させ、蒸留水に海水を混入させることなく、仕切り板の間隔を非常に狭くすることが可能であり、その結果、蒸留器の蒸留性能が飛躍的に向上することを明らかにした。

著者らは、前報⁽¹⁹⁾において、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太陽熱蒸留器（図1）を提案した。本蒸留器に用いるヒートパイプ式太陽集熱パネルは、DunkleおよびKiatsiriroatらの場合と異なり、集熱器から蒸留器への熱輸送はヒートパイプによって行われるため、電力を必要とする循環ポンプが不要となり、より単純な構造となる。前報では、数値シミュレーション計算によりその基本的な蒸留特性を明らかにし、本蒸留器の性能が従来の多重効用型蒸留器よりも向上することを明らかにした。

本蒸留器の大きな特徴の一つは、季節毎に変動する太陽高度に合わせて集熱パネルの角度を自由に調節し、太陽エネルギーをより効率的に吸収できる点である。そこで本報では、亜熱帯地域に蒸留器が設置されることを前提として、各季節における集熱パネルの最適角度を求めるとともに、各季節における蒸留挙動および気象条件等への蒸留量の依存性を、数値シミュレーション計算により明らかにすることを目的とした。

2. ヒートパイプと組み合わせた多重効用型蒸留器

本蒸留器の概略を図1に示す。本蒸留器は、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。なお、ここでは例として蒸留部の仕切板が4枚の場合を示す。蒸留部の外側の面を除く全ての仕切り板の背面にはウィックが張り付けられており、仕切り板は狭い空気層を介して平行に配置されている。ウィックには常時、一定量の海水が供給される。集熱パネルの蒸発管群と蒸留部前面の凝縮流路を、2本のつなぎ管で連結することで閉ループを構成し、ここに作動流体であるエタノールを注入してループ内部を減圧することにより、ヒートパイプを成す。凝縮流路の前面および集熱板下面は断熱材で断熱される。

カバーガラスを透過した太陽光は集熱板で吸収され、集熱板下面に接着された銅管中のエタノールを加熱・蒸発させる。エタノール蒸気は、つなぎ管を通って仕切り板p1前面の凝縮流路上端に移動し、仕切り板p1前面に凝縮しながら流下する。凝縮液は、重力の作用によってつなぎ管を経て集熱板の銅管中に戻

る。仕切り板p1の前面で凝縮したエタノールの潜熱は、仕切り板p1を通過し、その背面に貼り付けられたウィック中を流下する海水を加熱・蒸発させる。発生した水蒸気は湿り空気層を拡散し、仕切り板p2の表面で凝縮し、その際に放出される潜熱により、さらに仕切り板p2背面のウィックから水蒸気が発生する。この蒸発・凝縮の過程が多重効用部で繰り返されることにより、熱はリサイクルされ、蒸留量を増加させる。

本蒸留器において、集熱パネルの角度は自由に調節することが可能であり、季節によって変動する太陽高度に合わせて、最も効率よく太陽光を吸収できる角度に設定することが出来る。また、集熱パネルおよび蒸留部の厚さはそれぞれ数十mmであるため、運搬時には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できる。

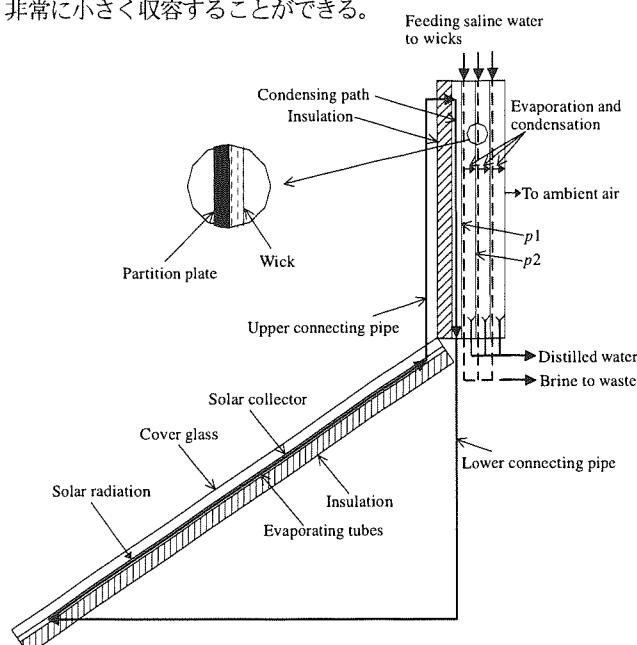


Fig. 1 Vertical multiple-effect-diffusion type solar still coupled with heat-pipe solar collector

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⁽¹⁹⁾に記述したので、ここではその概要のみを述べる。集熱パネルおよび蒸留部の各構成要素の温度が一様であると仮定して、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。

なお、本数値シミュレーション計算における主な仮定は以下の通りである。

- (1) カバーガラス、集熱板、蒸発管および各仕切り板はそれぞれ温度が一様である。
- (2) 集熱板とカバーガラス間、および仕切り板と仕切り板の間隔は非常に狭く、対流は生じない。
- (3) 蒸留部の上部・下部の壁および集熱パネルと蒸留部の側壁からの熱移動は無視できる。

(4) 蒸発管に流入したエタノールは、流入後すぐに蒸発温度まで加熱され、蒸発管の全域において核沸騰が生じる。

(5) 凝縮流路において、エタノール蒸気は仕切り板p1前面に層流液膜を形成しながら凝縮し、凝縮温度は凝縮流路全域において一定である。

(6) 散乱日射は天空の全ての角度において一様な強度をもつ。

本数値シミュレーション計算で使用した装置の寸法、操作および気象条件を表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、それ以外の条件は表1に示す値で一定とした。なお、図1においては仕切り板の枚数が4枚の場合を示しているが、本数値シミュレーション計算は仕切り板が何枚の場合でも適用できる。

本数値シミュレーション計算では、まず、春分、夏至、秋分および冬至における集熱パネルの角度の最適値を求めるとともに、夏至および冬至における蒸留器の特性を明らかにし、周開空気温度、周開空気の風速、ウィックへの海水供給温度および蒸留部の仕切り板の枚数が蒸留性能に与える影響を明らかにした。

表1. 数値シミュレーション計算で使用した気象条件、および蒸留器の寸法、操作条件

気象条件

設置場所：北緯 26°

周開空気温度 T_a =春分 25°C、夏至 33°C、秋分 30°C、冬至 20°C
相対湿度=60%、供給海水温度 $T_f = T_a$ 、周開空気風速 $u_a=1\text{m/s}$
水平面直達および散乱日射量：北緯 26°、太陽定数 1370W/m^2 を用いて、それぞれ Bouguer および Berlage の式⁽²⁰⁾より算出

設計および操作条件

太陽集熱パネル

- 集熱板：選択吸収膜処理アルミ板

長さ 2m×幅 1m×厚さ 1mm

吸収率=0.9、放射率=0.2

- カバーガラス

長さ 2m×幅 1m×厚さ 3mm

- 蒸発管：銅管

内径 4mm、30mm ピッチ

- 集熱板とカバーガラスの間隔：10mm

- カバーガラスと水平面の成す角度

春分 26°、夏至 10°、秋分 26°、冬至 50°

蒸留部

- 仕切り板：ステンレス板

高さ 1m×幅 1m×厚さ 0.5mm

- ウィック：木綿布

高さ 1m×幅 1m×厚さ 0.5mm

- 仕切り板と仕切り板の間隔：5mm

集熱板底面および凝縮流路前面の断熱材

厚さ 20mm、熱伝導率 0.04W/mK

ウィックに供給する海水の量

計算する日の南中時の日射量が定常に蒸留器に当たり続けると仮定して算出された個々のウィックからの蒸発量の 2 倍

4. 数値シミュレーション計算結果

4.1 各季節における集熱パネルの角度の最適値

春分、夏至、秋分および冬至の晴天日において、集熱パネルの角度 θ_{sp} を変化させた場合の、蒸留器全体から得られる1日の総蒸留量を図2に示す。春分、秋分においては、集熱パネルの角度 θ_{sp} が約26°で蒸留量はなだらかなピーク値を取る。これは、春分、秋分における南中時の天頂角、すなわち天頂と太陽光線の角度が緯度(=26°)と等しくなるため、1日のカバーガラス面日射量も θ_{sp} が26°の場合に最大となるためである。冬至においては、 θ_{sp} が約54°で蒸留量はなだらかなピーク値を取る。これは、冬至における南中時の天頂角が約50°であるため、カバーガラス面日射量は θ_{sp} が約50°において最大値を取るが、一方、太陽光線のカバーガラスへの入射角は南中前後の数時間免除して θ_{sp} が54°の場合の方が50°の場合よりも小さくなり、その結果、カバーガラスを透過して集熱板で吸収される太陽エネルギーの1日の総和は θ_{sp} が54°の場合の方が若干増加するためである。しかし、 θ_{sp} が50°あるいは54°の場合でも、蒸留量の差はわずかである。したがって、春分、秋分、冬至においては、それぞれの日の南中時の天頂角と集熱パネルの角度が等しい場合に、1日の総蒸留量はほぼ最大値を取るため、それぞれの日の南中時ににおける天頂角、すなわち、春分、秋分では26°、冬至では50°を集熱パネルの最適角度とした。

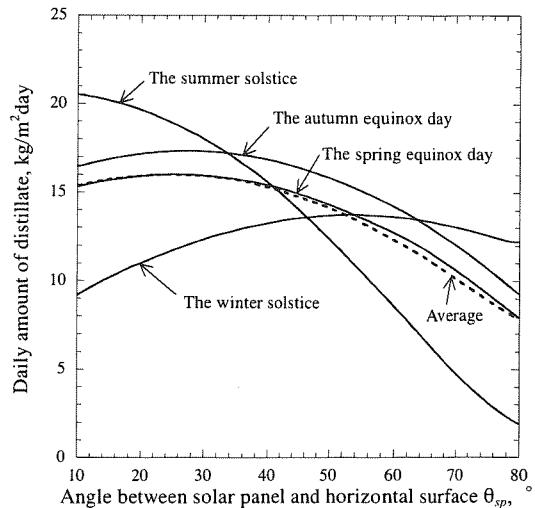


Fig.2 Calculated daily amount of distillate with varying angle of solar panel θ_{sp}

夏至においては、集熱パネルの角度 θ_{sp} の増加に伴い1日の総蒸留量は単調に低下するため、集熱パネルの角度は水平に近いほど蒸留量は増加する。しかし、集熱パネルの角度が水平に近くなると、集熱パネル下面の蒸発管群で発生したエタノール蒸気がヒートパイプを逆流し、集熱パネルから蒸留部への熱伝達が阻害される恐れがある。したがって、本シミュレーション計算では、夏至における集熱パネルの最適角度は10°とした。

春分、夏至、秋分および冬至における蒸留量の平均値を図中に破線で示す。平均値は春分の日とほぼ同じ変化を示し、 θ_{sp} が約26°でなだらかなピーク値を取る。したがって、集熱パネル

の角度を季節によって変化させず、年間を通して固定して使用する場合には、集熱パネルの角度 θ_p は 26° で最適値を取ることがわかる。

以降の数値シミュレーション計算では、それぞれの季節における集熱パネルの角度は、表1に示す角度として計算を行った。

4.2 夏至および冬至における蒸留器の蒸留特性

夏至および冬至の晴天日における、蒸留器全体から得られる総蒸留量の経時変化を図3に示す。夏至および冬至において、総蒸留量はほぼ同様の変化を示す。夏至の方が冬至に比べて蒸留量は大きいが、これは、夏至の方がカバーガラス面日射量が大きく、かつ、周囲空気温度が高いためである。集熱パネルの角度 θ_p を一年を通して 26° で固定した場合と比較して、その角度を夏至(10°)および冬至(50°)の最適値にした場合、蒸留量は1日を通して常に大きくなり、1日の総蒸留量は夏至および冬至においてそれぞれ約9%および約16%増加する。

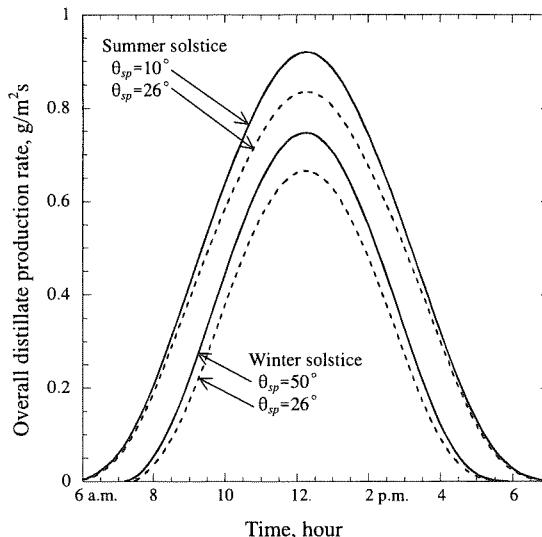


Fig. 3 Time variation of overall production rate of the still on the summer and winter solstice days

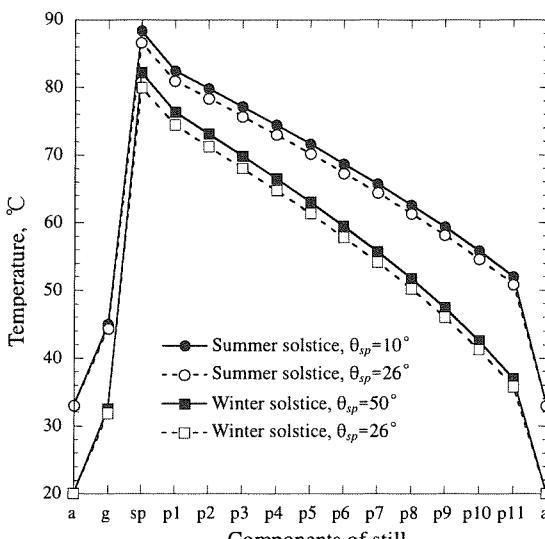


Fig. 4 Distribution of temperature in the still on the summer and winter solstice days

夏至および冬至の晴天日における、総蒸留量が最大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。いずれの場合も温度は集熱板(sp)で最も高く、蒸留器の外側ほど温度は低下する。この時間における集熱板での太陽エネルギー吸収量は、 θ_p を 26° からそれぞれの日の最適値にすることにより、夏至および冬至においてそれぞれ8%および5%増加するため、 θ_p を最適値にした場合の方が集熱板および仕切り板p1からp11の温度は常に高くなる。蒸留部において、 θ_p が 26° の場合と最適値にした場合の同じ仕切り板における温度差は、夏至および冬至ともに仕切り板p1でもっとも大きく、蒸留部の外側ほど小さくなる。これは、 θ_p を最適値にした場合の方が仕切り板p1を通過する熱量は大きいが、各仕切り板の温度が高いほどウィックに供給した海水を加熱するための顯熱エンタルピも増加するため、蒸留部の外側ほど仕切り板を通過する熱量の差が小さくなるためである。

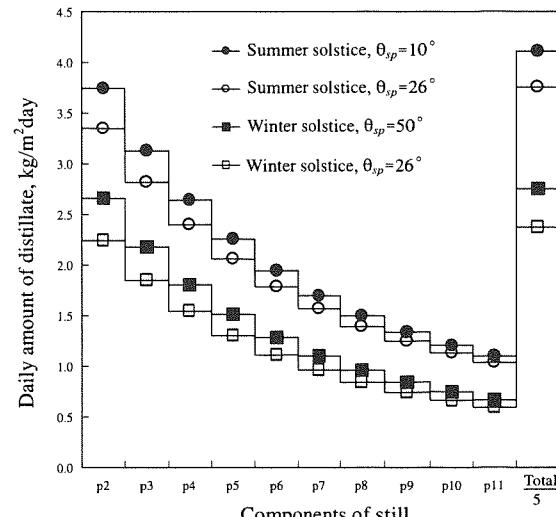


Fig. 5 Daily amount of distillate on all partitions in distilling section on the summer and winter solstice

夏至および冬至の晴天日における、蒸留部の各凝縮面における1日の凝縮量を図5に示す。なお、グラフを見やすくするため、蒸留器全体から得られた総蒸留量は1/5の縮尺で示す。いずれの場合も仕切り板p2において凝縮量は最も大きく、蒸留部外側ほど小さくなる。夏至および冬至において、集熱パネルの角度 θ_p が 26° の場合と最適値にした場合の凝縮量の差は、仕切り板p2で最も大きく、蒸留部外側ほど小さくなる。これは、蒸留部の外側ほど仕切り板を通過する熱量の差が小さくなり、かつ、仕切り板の温度差も小さくなる(図4)ためである。

夏至において、 θ_p が 26° および最適値(10°)の場合、1日のカバーガラス面日射量および蒸留器全体から得られる総蒸留量はそれぞれ $24.8 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ 、 $18.8 \text{ kg/m}^2\text{day}$ および $27.4 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ および $20.6 \text{ kg/m}^2\text{day}$ であり、カバーガラス面日射量の増加が約10%に対して総蒸留量の増加は約9%である。冬至において、 θ_p が 26° および最適値(50°)の場合、1日のカバーガラス面日射量および蒸留器全体から得られる総蒸留量はそれぞれ $20.2 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ 、 $11.8 \text{ kg/m}^2\text{day}$ および $21.7 \text{ MJ/m}^2\text{day}$ 、 $13.7 \text{ kg/m}^2\text{day}$ であり、カバーガ

ラス面日射量の増加が約7%に対して総蒸留量の増加は約16%である。なお、本蒸留器における日射量と総蒸留量の詳細な関係については、現在準備を進めている屋外実験の結果等をふまえて、今後明らかにしていく予定である。

4.3 周囲空気温度

春分、夏至、秋分および冬至において、周囲空気温度 T_a が変化した場合の蒸留器から得られる1日の総蒸留量を図6に示す。ここで、 T_a^* はそれぞれの季節において設定した表1に示す温度である。いずれの温度差においても、蒸留量は夏至が最も多く、次いで秋分、春分、冬至の順番である。いずれの季節においても、周囲空気温度 T_a の増加とともに蒸留量はほぼ線形に増加し、周囲空気温度 T_a が±5K変化すると、総蒸留量は±5%増減する。これは、周囲空気温度 T_a が低いほど、カバーガラスから周囲空気への対流による熱流束 $q_{c,g-a}$ (式(1))および集熱板下面の断熱材を通して逃げる熱流束 $q_{d,sp-a}$ (式(3))が増加するため、集熱パネルから蒸留部への熱流束が減少し、かつ、各ウィックへ供給する海水を加熱するための顯熱エンタルピ $q_{f,pi}$ (式(4))が増加し、各ウィックからの蒸発量が減少するためである。

$$q_{c,g-a} = h_{g-a}(T_g - T_a) \quad (1)$$

$$h_{g-a} = 5.7 + 3.8u_a \quad (2)$$

$$q_{d,sp-a} = \lambda_{ins}/\delta_{ins} \times (T_{sp} - T_a) \quad (3)$$

$$q_{f,pi} = m_{f,pi}c_p(T_{pi} - T_f) \quad (4)$$

ここで、 h_{g-a} はカバーガラスと周囲空気の間の熱伝達率、 T_g はカバーガラスの温度、 u_a は周囲空気の風速、 λ_{ins} および δ_{ins} は断熱材の熱伝導率および厚さ、 T_{sp} は集熱板の温度、 $m_{f,pi}$ は i 枚目の仕切り板のウィックへの海水供給量、 c_p は海水の比熱、 T_{pi} は i 枚目の仕切り板の温度および T_f はウィックへの海水供給温度である。

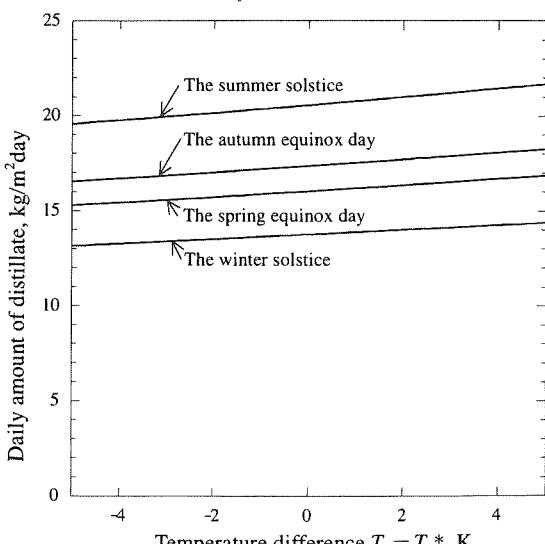


Fig.6 Calculated daily amount of distillate with varying ambient temperature T_a

4.4 周囲空気の風速

春分、夏至、秋分および冬至において、周囲空気の風速 u_a が変化した場合の蒸留器から得られる1日の総蒸留量を図7に示す。いずれの季節においても、風速 u_a の増加とともに蒸留量はわずかに減少する。これは、風速 u_a が大きいほど、特にカバーガラスから周囲空気への熱伝達率 h_{g-a} (式(2))の増加に伴い対流熱流束が増加し、集熱パネルから周囲空気への放熱量が増加し、蒸留部への熱流束が減少するためである。しかし、風速 u_a が0m/sから10m/sまで増加した場合でも蒸留量の減少は数%であり、蒸留量への風速の影響は小さい。

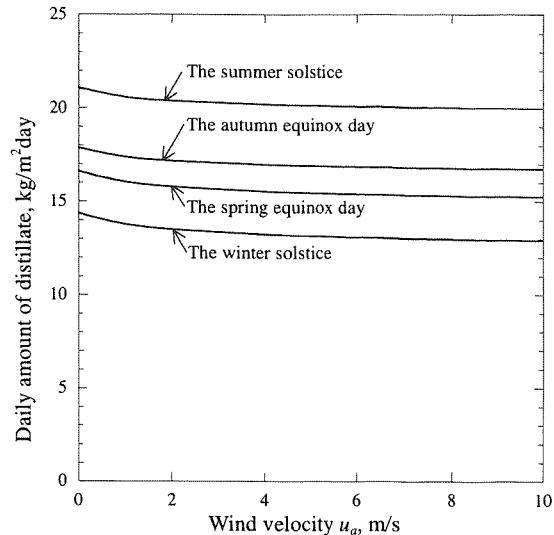


Fig.7 Calculated daily amount of distillate with varying wind velocity u_a

4.5 ウィックへの海水供給温度

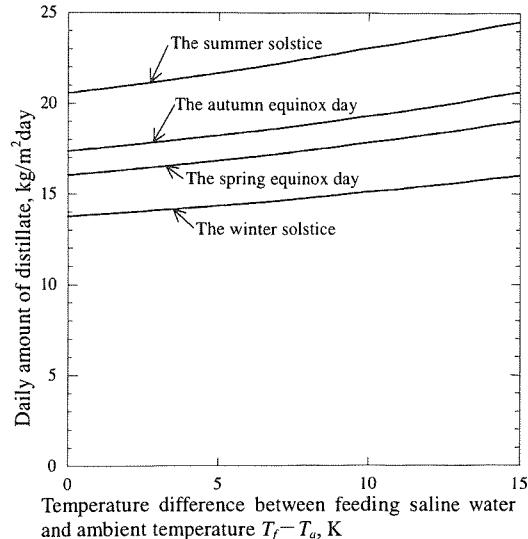


Fig.8 Calculated daily amount of distillate with varying feeding saline water temperature T_f

春分、夏至、秋分および冬至において、海水供給温度 T_f を変化させた場合の蒸留器から得られる1日の総蒸留量を図8に示す。海水供給温度 T_f は、例えば、海水タンク出口から黒いホースを数mのばし、海水がこのホース内をゆっくりと流れた後ウィックに供給されるようにすることで、特別な機器を使用することなく周囲空気温度よりも高くすることができます。例えば、夏

至において海水供給量が全体で約2g/sとすると(ピーク時の蒸留量の約2倍(図3参照))、日射量が500W/m²の時刻においては、直径40mmの黒色ホースを7mのばし、これを太陽光で加熱することにより、ホース入口と出口の海水温度差は概算で約8Kとなる。

いずれの季節においても、海水供給温度 T_f の増加とともに蒸留量は増加し、海水供給温度 T_f が周開空気温度 T_a からそれより10K増加した場合に総蒸留量は約11%、15K増加した場合に総蒸留量は約17%増加する。これは、海水供給温度の増加にともない各ウィックへ供給する海水を加熱するための顯熱エンタルピ $q_{f,pi}$ (式(4))が減少し、蒸留部の各仕切り板のウィックからの蒸発量が増加するためである。

4.6 蒸留部の仕切り板の枚数

秋分、夏至、春分および冬至において、仕切り板の枚数を変化させた場合の蒸留器から得られる1日の総蒸留量を図9に示す。いずれの季節においても、仕切り板の枚数の増加に伴い蒸留量は始め急激に増加し、その後飽和する傾向を示す。

仕切り板は、高耐食性を有する金属板に保水性の高い布を恒久的に接着しなければならないため、その材料費・加工費は高く、本蒸留器の制作費の中でも大きな部分を占める。仕切り板の枚数が多い場合、例えば11枚の場合、仕切り板の枚数を15枚へと増やすことによる蒸留量の増加は、いずれの季節においても10%程度であるが、仕切り板の枚数を11枚とし、海水供給温度を10K増加することにより、仕切り板の枚数を15枚に増やした場合と同程度の蒸留量の増加が見込める(図8)。したがって、高価な仕切り板の枚数はある程度少なくし、簡単な方法で海水供給温度を上昇させることのできる機器を使用するほうが望ましいと考えられる。

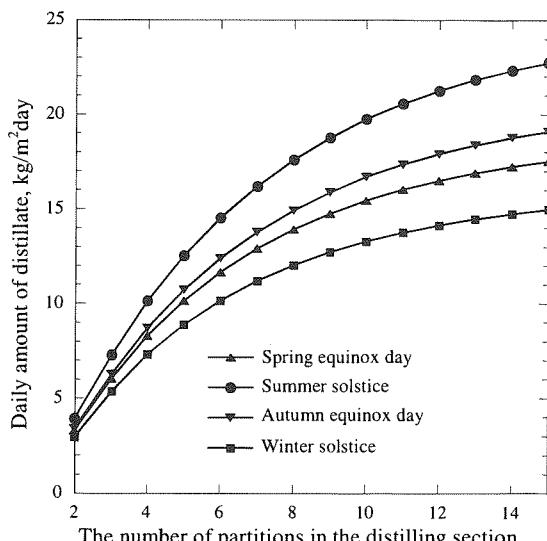


Fig. 9 Calculated daily amount of distillate with varying number of partitions in distilling unit

5. 結言

著者らは、ヒートパイプ式集熱パネルと鉛直平板構造の多重効用型蒸留器を組み合わせた蒸留器について数値シミュレーション

計算を行い、気象条件がおよぼす蒸留性能への影響について予測した。得られた結果は以下のように要約される。

- 1 本蒸留器が北緯26°に設置された場合、集熱パネルの角度は春分、秋分で26°、夏至で10°、冬至で50°の場合に最適値を取り、年間を通して角度を固定する場合には、その角度は約26°で最適値を取る。
- 2 集熱パネルの角度を年間を通して26°に固定した場合よりも、夏至で10°および冬至で50°にした場合、蒸留量はそれぞれ約9%および約16%増加する。
- 3 周開空気温度が±5K変化した場合、蒸留量は約±5%変化する。
- 4 周開空気の風速が蒸留性能に与える影響は小さい。
- 5 ウィックへの海水供給温度を周開空気温度から、それより10K高くすることにより、蒸留量は約10%増加する。
- 6 仕切り板の枚数が多い場合、高価な仕切り板の枚数をそれ以上に多くするよりも、簡単な方法でウィックへの海水供給温度を上昇させることのできる機器を使用するほうが望ましい。

記号表 :

- c_p : 海水の比熱, kJ/kgK
 h_{ga} : カバーガラスと周開空気との間の熱伝達率, W/m²K
 $m_{f,pi}$: i 枚目の仕切り板のウィックへの海水供給量, kg/m²s
 p_i : i 枚目の仕切り板
 $q_{c,g,a}$: カバーガラスから周開空気への対流による熱流束, W/m²
 $q_{d,p,a}$: 集熱板下面の断熱材を通して逃げる熱流束, W/m²
 $q_{f,pi}$: i 枚目の仕切り板のウィックへ供給する海水を加熱するための顯熱エンタルピ, W/m²
 T_a : 周開空気温度, °C
 T_a^* : 各季節において設定した周開空気温度, °C
 T_f : 海水供給温度, °C
 T_g : カバーガラスの温度, °C
 T_{pi} : i 枚目の仕切り板の温度, °C
 T_p : 集熱板の温度, °C
 u_a : 周開空気風速, m/s
 δ_{as} : 集熱板下面の断熱材の厚さ, m
 λ_{as} : 集熱板下面の断熱材の熱伝導率, W/m K
 θ_p : 集熱パネルの角度, °

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, *International Heat Transfer Conference, University of Colorado, U.S.A.*, Part 5, 1961, 895
- 3) 田中耕太郎、慶應大学、博士論文、(1985)
- 4) 津村健児・山下正幸・渡辺裕人・稻葉秀達、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) H. M. Yeh, S. W. Tsai and N. T. Ma, Multiple-Effect Solar Distiller, *22nd Intersocial Energy Conversion Engineering Conference, vol. 4, Philadelphia, Pennsylvania*, August 10-14(1987), 1723
- 8) T. Kiatsiriroat, 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
- 9) 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）、日本機械学会論文集(B編), 53-496(1987), 3771
- 10) 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
- 11) K. Ohshiro, T. Nosoko and T. Nagata, A Compact Solar Still Utilizing Hydrophobic Poly(Tetrafluoroethylene) Nets for Separating Neighboring Wicks, *Desalination*, 105(1996), 207
- 12) K. Ohshiro, T. Nosoko, T. Shinzato and T. Nagata, A Compact Solar Still Utilizing Hydrophobic Nets for Separating Neighboring Wicks (Part2 Dependence of Productivity on Design and Operation Parameters), *The Ninth International Symposium on Transport Phenomena in Thermal-Fluids Engineering, Singapore*, June 25-28, 1996, 1152
- 13) B. Bouchekima, B. Gros, R. Ouahes and M. Diboun, Performance Study of the Capillary Film Solar Distiller, *Desalination*, 116(1998), 185
- 14) 田中大・琉球大学・博士論文、(2001)
- 15) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, A Highly Productive Basin Type – Multiple Effect Coupled Solar Still, *Desalination*, 130(2000), 279
- 16) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Parametric Investigation on a Basin Type – Multiple Effect Coupled Solar Still, *Desalination*, 130(2000), 295
- 17) 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
- 18) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, Experimental study of basin-type, multiple-effect, diffusion-coupled solar still, *Desalination*, 150(2002), 131.
- 19) 田中大・中武靖仁・平瀬国男、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
- 20) 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
- 21) M. A. S. Malik and Van Vi Tran, A simplified mathematical model for predicting the nocturnal output of a solar still, *Solar Energy*, 14(1973), 371