

# 太陽熱蒸留器用多重効用ユニットの性能に 対するイオン風の強制対流効果

## FORCED-CONVECTION EFFECT OF IONIC WIND ON PERFORMANCE OF MULTIPLE-EFFECT UNIT FOR SOLAR DISTILLATION SYSTEM

棚谷 吉郎<sup>\*1</sup>  
Yoshiro TOCHITANI

谷口 隆生<sup>\*2</sup>  
Takao TANIGUCHI

### Abstract

An experimental study is carried out, using a small size apparatus, to examine the single-stage performance of multiple-effect unit, in which vaporization, movement of humid air, and condensation are augmented by effect of forced-convection caused by ionic wind, which is generated by corona discharge. A thin, metal wire, which is used as a discharge electrode, is set in a space between a wick and a condensation plate, which are used as collecting electrode. High dc voltage, from 4.8 kV to 6 kV, is applied between the electrodes. The position of the discharge electrode, at which maximum distillate rate is obtained, is revealed. Effect of temperature and flow rate of the hot water on distillate rate, heat flux to the next stage, and electric power to generate ionic wind are obtained. Application of the wind give about 1.4-2.5 times larger distillate rate, and maximum electric power needed is about 2 W/m, by unit length of the discharge electrode.

**Key words** : Solar Distillation, Multiple-Effect, EHD, Electro-hydrodynamics, Ionic Wind, Corona Discharge.

### 1. 緒 言

太陽熱蒸留器の性能向上を目的とする数多くの研究が行われている。例えば、Basin型蒸留器内の雰囲気中に冷却水や原水を流した凝縮管を設け、凝縮を効果的に行うことを狙ったもの<sup>(1)(2)</sup>があるが、その性能向上は比較的小幅にとどまっている。

Rahim and Taqi<sup>(3)</sup>は、ファンを用いて、Basin型蒸留器内で発生した湿り空気を、原水中に通した管に導き、管内で強制対流凝縮を起こして、高収量化に成功している。このように、ファン用に若干の電力を使うことで強制対流効果を加え、性能向上を狙った研究も見受けられる。<sup>(4)~(8)</sup>

一方、蒸留操作の凝縮過程で放出される潜熱を再度蒸発に利用する多重効用型蒸留器の研究例も少なくなく<sup>(4)(5)(9)~(13)</sup>、その効果が示されている。

以上の報告は、蒸留器の強制対流化、多重効用化がその性能の向上に有効であることを示している。しかし、いずれの方法も蒸留装置そのものの複雑化は避けられず、さらにその結果として保守、点検の必要性を増し、全体として造水コストを押し上げる。また、装置内に通常のファンを設置する場合は、その潤滑系等による蒸留水の汚染対策に伴うコストの増加も見込まなければならない。

ここで大切な点は、装置の複雑化やファン等の設置によるコスト増を低減する方法、またはその増加に見合う性能を得られる方法が開発できるかどうかである。

一つの方向として、多重効用ユニットの段数低減や小型化が考えられる。この場合、一段あたりの性能向上が不可欠であり、ユニット内におけるウィックからの蒸発、湿り空気の移動、凝縮面での凝縮を促進する必要がある。これらの三現象はユニット内に強制対流効果を付与すれば促進できる。

本研究の目的は、多重効用ユニット内に流れを付与した場合におけるその性能向上の可能性と程度とを、単段の室内実験により明らかにすることである。とく

\* 原稿受付 平成6年6月30日

\*1 会員、金沢工業大学(〒921 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

\*2 非会員、金沢工業大学大学院、現在、中外炉工業㈱(〒550 大阪市西区京町堀2-4-7)

に、流れの発生にファンを用いず、電気流体力学的な方法によっている点に特徴がある。なお、本研究では性能の向上のみに注目しており、蒸留水の水質検査は行っていない。

## 2. 流れの発生方法

気体中で、高電圧を印加して発生した不平等電界中では、放電電極とコレクタ電極との間でコロナ放電が起こり、前者から後者に向かって気体の流れが発生する。この流れはイオン風、コロナ風等と呼ばれ、電気流体力学 (Electro-hydrodynamics, EHD) 的現象の一つとして知られている。

このイオン風を多重効用ユニット内の雰囲気中で発生させ、蒸発面または凝縮面に向かって吹きつけると、前述の促進を実現することができる。イオン風による蒸発や伝熱の促進に関する研究はこれまでに多数報告されており、その効果が示されている。<sup>(14)</sup>

風の発生に必要な要素は、放電電極とコレクタ電極、および外部の高電圧電源である。多重効用ユニットでは、放電電極として金属細線、コレクタ電極として蒸発板、凝縮板を利用するのが便利であり、ユニット内に設置するものは金属細線のみとなる。コロナ放電では放電電流は僅かであり、高電圧電源は小電流のもので十分である。したがって、電力的にも小さく、大幅なコスト上昇にはならないと考える。

この流れ発生法は、機械的部分をもたないこと、小型、軽量、構造が簡単、系を汚染する可能性が低い、促進が必要な位置で局所的に送風できる、制御が容易で効率的な運転が期待できる、低騒音等の特徴をもつ。送風効率はいちのもの、効率が低い分は最終的に熱に変わり、僅かながら原水の加熱や蒸発に寄与するはずであり、問題にならないと考える。

必要電力が小さければ、電源に太陽電池を使用できる可能性があり、太陽熱と太陽電池で得た電気とを結合して性能向上が実現できることになる。将来的にみて、従来の脱塩等への利用に加え、水処理等への利用の可能性もあろう。

なお、本研究は基礎実験の段階にあり、電源に太陽電池を使用していない。

## 3. 実験

### 3.1 実験装置本体

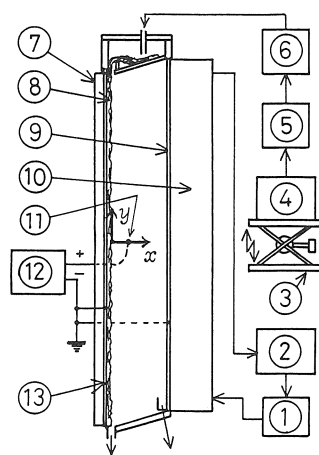
図1は試験部と実験装置全体の概略を示している。試験部は、鉛直方向に保持され、互いに向かい合う蒸

発板⑬と凝縮板⑨をもつ。上、下板、両側板は透明の亚克力樹脂板でできており、内部の観察が可能である。原水が凝縮液中に流入することのないよう、凝縮板は蒸発板より少しもち上げてある。

蒸発板には厚さ0.3mmの銅板を使用し、後述のウィック⑧が貼りつけられている。凝縮板は#1000のエメリ布で磨かれた同じ厚さの銅板である。両面の有効面積は90mm×120mm、ウィック表面と凝縮板表面との間隔 $d$ は30mmである。両面間の空間は単に蒸気の通路であり、狭くすれば小型化できるが、本研究ではこの部分に放電電極⑩を入れる必要がある。上記の値は安定なコロナ放電を維持できる $d$ として選んだものである。

蒸発板の背面には、前段での凝縮による温度条件を模擬するための電気ヒータ⑦が取り付けられており、供給電力は指示調節計により自動的に調節される。一方、凝縮板の背面には後段に供給される原水による温度条件を模擬するための冷却水槽⑫が取り付けられており、調温された水を循環させることにより凝縮板温度が一定に保たれるようになっている。

蒸発板、凝縮板の温度は、 $\phi 0.1\text{mm}$ のT型熱電対で検出される。その設置位置は、各々の面について、上下左右の中心と、中心から上、下50mmの点の合計3点



Drainage Condensate

- ① Pump ② Cool Water Bath ③ Jack ④ Feeding Water Tank ⑤ Flow Meter ⑥ Water Heater ⑦ Electric Heater ⑧ Wick ⑨ Condensation Plate ⑩ Cooling Bath ⑪ Discharge Electrode ⑫ High Voltage DC Power Supply ⑬ Vaporization plate

図1 実験装置概略

である。

原水を模した蒸留水は試験部の上方から供給される。原水は一旦装置上部のヘッダに入れられ、毛细管現象によりウィックに吸い上げられた後、ウィック中を流下する。原水温度はヘッダ部に設けられた熱電対で測定され、これが一定になるように原水加熱槽⑥のヒータへの供給電力が指示調節計で制御される。原水流量はジャッキ③による原水タンク④のヘッドおよびピンチコックで調節され、医療用の輸液セットにより測定される。この原水の一部が装置内で蒸発した後、装置外部へ排出され、その体積が測定される。蒸発した原水は凝縮板表面で凝縮し、流下した凝縮液は装置外部へ導かれる。一定時間に収集された凝縮液の体積はメスシリンダによって測定される。

### 3・2 ウィック

ウィック素材として、紙、セルロース系繊維による不織布、高吸水性タオル等を実験的に検討した結果、保水性等の点で高吸水性タオルを採用した。これとは別に、二重にして縫い合わせたガーゼ（日本薬局方準拠）をウィックとする実験を一部条件で行った結果、タオルの場合とはほぼ同じ収量が得られたので、繊維の種類による収量の差は無視できると判断した。

ウィックの接着方法は原水の流れ、滞留時間などのほか、前段からの伝熱抵抗をも左右すると考えられる。全面接着を含む種々の接着法を検討した結果、接着面積が蒸発面有効面積の約2.6%となるように接着剤を塗布して貼りつけた。接着剤についても数種類を検討したが、耐水性の点でシリコンシーラントを接着剤として採用した。この材料は熱伝導率が小さいため、上記のように塗布面積をできる限り小さくし、また塗布厚さをできる限り薄くして用いた。

### 3・3 イオン風発生系

放電電極には $\phi 0.14\text{mm}$ の鉄-クロム線を用い、ウィック、凝縮面に平行かつ水平に設置した。その設置位置は、図1のように装置を側面から見て、ウィック表面上の、上下方向の中心を原点とする座標( $x$ ,  $y$ )により表示される。放電電極は、側板を通過する部分のみテフロンチューブに通して絶縁され、側板外側で適当な張力をかけた状態でネジ止めされて、高電圧電源の正出力に接続されている。

コレクタ電極は蒸発板、凝縮板とし、ともに高電圧電源の負出力（接地側）に接続されている。前者にはウィックが貼り付けてあり、その中を原水が流れるため、実質的なコレクタ電極はぬれたウィック表面となる。一方、凝縮板ではその表面または凝縮液面が実質的電極となる。イオン風は放電電極から近い方の面に

向かって発生するので、イオン風が向かう面は $x=15\text{mm}$ を境にして変わる。しかし、どちらの面に向かって吹いても狭い空間内であり、その影響は他面にも及び、蒸発、湿り空気の移動、凝縮が促進される。

高電圧電源には自作のものとメーカー製（パルス電子、HDV-80K5ST）の2種類を使用した。自作のものは、高電圧トランス（一次電圧 100V、二次電圧 15000V）の出力をブリッジ整流した後、コンデンサで脈流を抑えたものであり、出力電圧の調節は一次電圧をスライドトランスにより変化させて行った。

### 3・4 実験条件

本装置は多重効用ユニットの一段分を模擬している。実機の蒸発面温度、凝縮面温度は熱・物質バランスによって定まるが、本研究では実験の便宜上、前者を蒸発板中央で代表させてこの温度を一定に保ち、後者については循環水の温度を一定に保った。循環水は十分な流量を供給しているので、その温度はほぼ凝縮面温度と考えてよい。本研究における蒸発板温度は前段の凝縮面温度に、また冷却水温度は次段の蒸発板温度に大雑把に対応するとみてよい。なお、イオン風付与時における蒸発板上3点の温度の平均値は、原水温度を一定に保っても同じ温度にはならず、それらの差は原水温度 $80^{\circ}\text{C}$ 、イオン電流 $30\mu\text{A}$ のときが最大で、平均温度の方が約4 K高くなった。

原水入口温度は蒸発板中心の温度と同温度になるように指示調節計で制御した。以下では原水入口温度を代表値として用いることにする。

イオン電流は0, 10, 20,  $30\mu\text{A}$ とし、一部 $40\mu\text{A}$ での実験も行った。実験に先立ち十分な時間をかけて凝縮面を凝縮液により自己洗浄してから実験を開始した。なお、実験に用いた大きさの装置では側面など凝縮板以外への凝縮量が無視できない量になるが、収量にはこれらを加えていない。

## 4. 結果と検討

### 4・1 観察結果

イオン風を付与しない条件下では、全ての実験について、側板を通して試験部内の観察が可能であった。また、全ての流量条件でウィック表面に原水液面を見ることができず、また凝縮面での凝縮状態は膜状凝縮であった。一方、イオン風を付与すると側板の内面がくもり、観察が不可能になった。イオン風の付与による内部の強制対流化が装置内全体に影響し、蒸発、湿り空気の移動、凝縮を促進していると判断できた。

実験後、内部を観察したところ、全ての原水温度、

流量について、ウィックは全面がぬれており、その顕著な浮き上がり、伸び等は観察されなかった。

#### 4・2 放電電極の位置の影響

放電電極の最適位置を求めるため、電極位置を変えて実験を行った。 $y$  方向については、 $y=0\text{mm}$ と、装置の高さの1/4, 3/4の点である $y=\pm 30\text{mm}$ の3点とした。また、 $x$ により収量が変化する可能性があるため、ウィックに近い方の代表点として $x=10\text{mm}$ 、凝縮面に近い方の点として $x=20\text{mm}$ を選んで実験した。

$x=20\text{mm}$ の場合、収量 $m$ の $y$ による変化は無視できる程度であったのに対し、 $x=10\text{mm}$ のときには $y=0\text{mm}$ で最大となり、 $y=\pm 30\text{mm}$ では少し小さくなる傾向を示した。また、後述のイオン風の発生に要する電力 $P$ との比、 $m/P$ も $y=0\text{mm}$ で最大になった。電極をウィック側に設置する場合は、蒸発板温度の検出位置がイオン風の衝突位置から離れることによって加熱条件が変化することや、内部における対流の片寄り等が蒸発に影響し、 $m$ を減少させるものと思われる。以上の結果より、 $y$ 方向については $y=0\text{mm}$ と定めた。

$x$ 方向については、 $7.5\text{mm} \leq x \leq 22.5\text{mm}$ で $m$ の変化を調べた。これを越える $x$ の範囲では火花放電への移行の可能性があるためと判断し、実験を省略した。

図2は $x$ 方向電極位置による $m$ の変化を示している。ここに、 $t_1$ 、 $t_2$ はそれぞれ原水温度、冷却水温度、 $Q$ は原水流量、 $I$ はイオン電流である。 $x/d=0.33$ 、 $0.67$ 付近においてピークをもち、 $x/d=0.5$ 付近で最小になっている。 $x/d=0.5$ においては風がウィック側、凝縮面側に二分され弱くなること、またそれぞれの流れは各面に衝突した後、もう一方の面に向かって流れて衝突するため、互いの勢力を弱め合うこと、安定な対流ができにくいことなどにより効果を減じるも

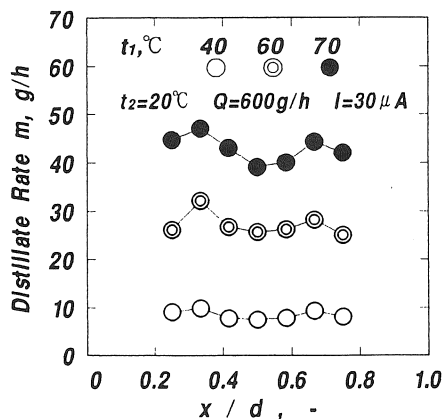


図2  $x$ 方向電極位置による収量の変化

のと思われる。ピークを発生する $x/d$ は内部の対流を最適な促進状態にすることを示すと考えられる。しかし、それらにおける $m$ の差は小さく、どちらが最適かの判断は難しい。

ここで、イオン風の発生に要する電力 $P$ を考慮することにし、次式で求める。

$$P = E \cdot I \quad (1)$$

ここに、 $E$ は印加電圧である。したがって、 $P$ にはポンプ動力など、他の必要エネルギーは含んでいない。

図3は $m/P$ の一例である。 $m/P$ は $x$ によって変化する、 $x/d=0.33$ のときに最大となる。

以上の結果から、電極の最適位置は $x/d=0.33$ 、すなわち点(10,0)であると判断し、以下の実験はこの位置に放電電極を設置して行った。

この条件下では、放電電極近傍の雰囲気は、蒸発板に向かって水平に流れ、ウィックに衝突後、上下方向に分かれるものと考えられる。これらの流れは、図1の方向からみて、上方に時計回り、下方に反時計回りの流れを発生し、それらは蒸発板、凝縮板間の循環流となるであろう。以上から、性能の向上は、

- 1) ウィックへの衝突流による、蒸発の促進と高い雰囲気温度の保持
- 2) 水蒸気と雰囲気との効果的混合、および混合気速やかな移動による蒸発、凝縮の促進などによるものと考えられる。

実機においては、凝縮板にフィン付き面を用いることが多いと考えられる。この場合の $m$ は、本研究の値よりも大きくなる可能性がある点を指摘しておきたい。

#### 4・3 原水温度、原水流量の影響

図4は $m$ および次段への伝熱量 $q$ に対する $t_1$ の影響を示している。 $q$ は $m$ と凝縮潜熱から算出した次段へ供給される熱流束であり、損失は考慮していない。

白抜きのプロットはイオン風を付与した場合を示している。それらは全て、イオン風を付与しない場合を示す●のプロットよりも上方にあり、イオン風の付与による $m$ の増加を示している。また、 $I$ の増加は $m$ を

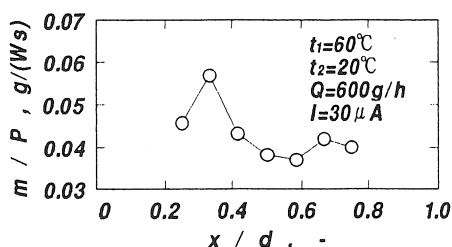


図3 単位消費電力あたりの収量

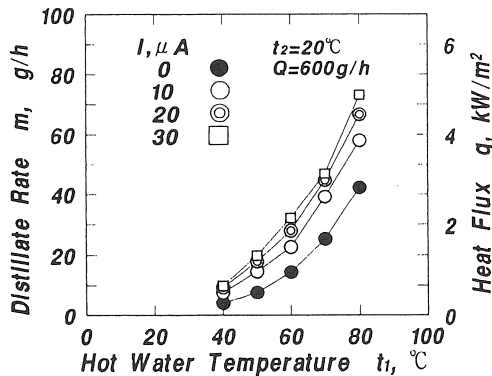


図4 収量に対する原水温度の影響

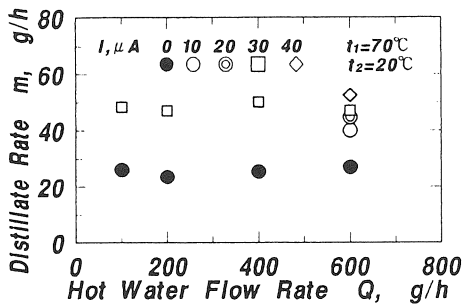


図5 収量に与える原水流速の影響

増加させる。以上のことから、イオン風は多重効用ユニットの性能向上に有効であると判断できる。

図5は $Q$ が $m$ に与える影響を示している。 $I$ の影響は $Q=600\text{g/h}$ の場合についてのみ調べ、他の $Q$ については $I=0, 30\mu\text{A}$ のみで実験した。各プロットは $Q$ に対してほぼ一定とみなすことができる。一般的には、 $Q$ の減少は流入する顕熱の減少を招き、その結果雰囲気温度の低下により $m$ の低下が起こると考えられるが、本実験では蒸発面温度を一定としており、 $Q$ の低下による流入顕熱の減少の効果が小さいためと考えられる。

#### 4・4 収量に対する原水温度と冷却水温度の影響

図6は $m$ に対する $t_2$ の影響を、 $t_1$ ごとに、 $I=0, 30\mu\text{A}$ について示している。

この図から、原水温度、冷却水温度（次段の原水温度）を与えて、 $n$ 段の多重効用ユニットの全収量 $M$ を見積もることができる。 $i$ 段目の冷却水温度（ $i+1$ 段の原水温度） $t_{2i}$ を横軸上で選び、供給される原水温度 $t_{1i}$ に対応する曲線との交点を求めると、縦軸からその段の $m$ が分かる。この見積りを段数分繰返し、得られた $m_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) から $M=\sum m_i$ が計算できる。

図の $m$ の値は $t_1$ によって大きく変化している。蒸発現象、凝縮現象の推進力は水蒸気分圧の差であり、 $m$ の変化は分圧差の違いによると考えられる。このことから、与えられた $t_1, t_2$ 間で働く $n$ 段の多重効用ユニットの $t_{2i}$ は、水蒸気の質量濃度を考慮して、決定されるべきであろう。

多重効用ユニットのように凝縮現象が重要な役割を演ずる場合には、図6の $m_i$ から大きい凝縮面積をもつ実機の $M$ を正確に見積もることは困難である。その理由は、凝縮面積が大きくなると、下部にいくほど液膜厚さが増加し、凝縮量が低下するためである。

#### 4・5 収量と消費電力

図7に $m$ に対する $P$ の影響を示す。 $P$ の増加にともなって $m$ も増加するが、その増加割合は $P$ の増加と共に減少し、頭打ち傾向を示す。本実験の範囲ではまだ増加の途中にあるものの、 $E, I$ を大きくして $P$ を大きくしても大幅な $m$ の増加は期待できないと考える。

本研究で用いた装置においては、 $P$ は最大でも $0.18\text{W}$ 程度であり、放電電極の単位長さあたりに換算しても約 $2\text{W/m}$ である。実機では、数本以上の放電電極の設置が必要であるが、その場合でも $P$ は大きい値にならず、このことは前述の太陽電池による電力供給が可能

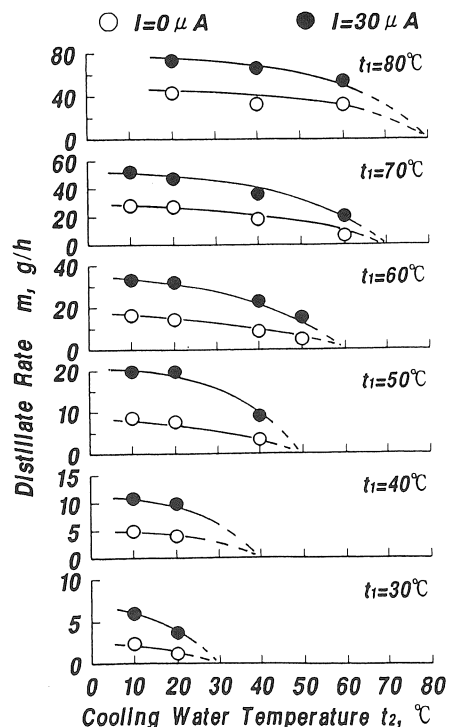


図6 収量に与える冷却水温度の影響

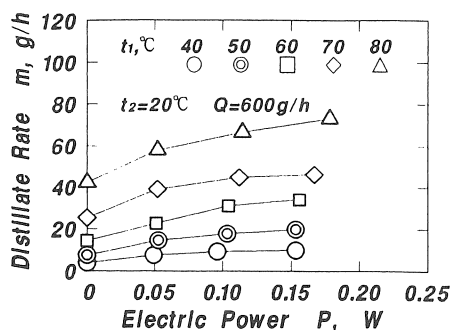


図7 電力と収量

と考える背景になっている。

#### 4・6 収量比

図8は収量比  $a$  と  $P$  の関係を示している。ここに、

$$a = m_I / m_{I=0} \quad (2)$$

であり、 $m_I$ はイオン風を付与した時の  $m$ 、 $m_{I=0}$ はイオン風を付与していないときの  $m$  である。全体的にみると、 $P$  の増加につれて  $a$  も増加している。温度条件によるが、イオン風の付与は収量を約1.4～2.5倍に増加する。

$a$  は  $t_1$  が小さい方が大きく、図では  $t_1=40, 50^\circ\text{C}$  付近で最大になっている。 $t_1$  が増加すると  $a$  は低下するが、これは蒸発が対流条件よりも熱的条件に強く支配されるようになることと、凝縮量の増加により凝縮液膜の厚さが増加し、熱抵抗が増大するためと考えられる。 $t_1=40, 50^\circ\text{C}$  では0.15W程度で約2.5倍、 $70^\circ\text{C}$  では約0.18Wで約1.8倍の収量が得られている。

#### 4・7 次段への供給熱の増加量と単位消費電力の比

図9は、単位消費電力あたりの  $q$  の増分  $\Delta q / P$  に対する  $t_1$  の影響を示している。ここに、

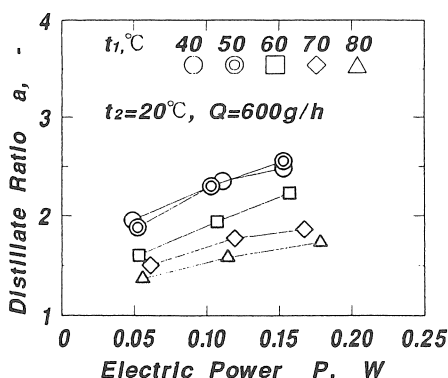


図8 収量比に対する必要電力

$$\Delta q = q_I - q_{I=0} \quad (3)$$

で、 $q_I$ はイオン風を付与した時の  $q$  を、また  $q_{I=0}$ はイオン風を付与していないときの  $q$  を表している。

$\Delta q / P$  は  $I=10\mu\text{A}$  で最大で、 $I$  が大きいほど小さい。多重効用段にイオン風を付与すると、イオン風発生に要した電力の数10倍から200倍程度の熱量を次段へ追加供給できることが分かる。また逆に、 $P$  は  $\Delta q$  の数%以下であり、 $P$  による系の加熱が蒸発、凝縮に与える影響は小さいことも分かる。

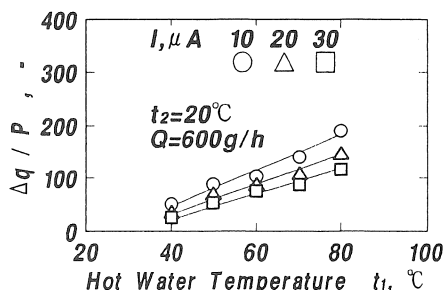


図9 次段への増加供給熱量と消費電力の比

#### 4・9 印加電圧とイオン電流の関係

図10は  $E$  と  $I$  の関係を示している。 $E$  は4.8～6kV程度であり、 $I$  は前述のとおり、最大で  $30\mu\text{A}$  である。

放電電極の交換は細心の注意を払って行ったにもかかわらず、同じ  $I$  を流すのに要する  $E$  が交換前後で異なることがあり、元の値に対して最大10%近くになることもあった。原因としては、交換による線電極の設置位置やたわみ等の変化、装置側板部の絶縁状態の変化等が考えられるが、詳細は明らかにできていない。

なお、本条件および試行した  $I=40\mu\text{A}$  の条件では、実験中に火花放電への移行や、放電が不安定になるなどの現象は見られなかった。

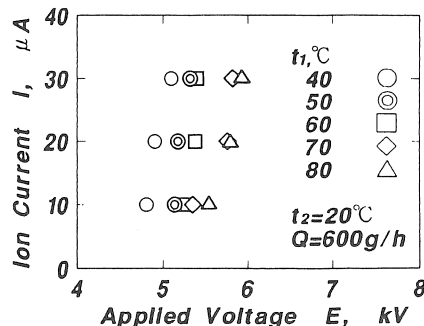


図10 印加電圧とイオン電流の関係

#### 4・9 実用化上の課題

以上の結果より、本方法は性能向上に有効であると判断できるが、今後以下の点の検討が必要である。

イオン風の発生は前述のようにコロナ放電によっており、条件によってはオゾンが発生することが知られている。オゾン発生程度、その水（原水、蒸留水）、装置等への影響についての検討が必要である。オゾンは蒸留水の滅菌に利用できる可能性があるほか、オゾネーションによる熱交換器の防汚技術の研究<sup>(15)</sup>も行われており、装置内で有効に活用できる可能性もある。

蒸発板、凝縮板には電流が流れるため、それらからの金属イオンの流出についても検討を要する。飲料水としての利用を考えると、蒸留水が触れる部分および電流が流れる部分の材質を検討すること、蒸留水の水質検査により水中の溶解物質について安全性を確認することなどが必要であろう。

電気伝導性をもつ水（海水など）を扱う場合には、高電圧系からの漏電が問題になる可能性があり、電極支持部等の絶縁、漏電対策が必要である。本研究で用いた方法は、実験室レベルでは十分機能したが、実機での適否については別途検討を要する。

高効率の高電圧電源や、太陽電池を電源とする高電圧電源などについても検討が必要である。太陽電池を用いる場合は、DC-DCコンバータによる昇圧が必要であり、実用化の点でこの部分の効率は太陽電池の効率と共に問題となるところであろう。

本研究ではとくに問題はなかったが、実機では放電電極の劣化が問題になる可能性がある。放電電極をはじめ電氣的部分の定期的保守、点検は必要であると思われる。

#### 5. 結 言

多重効用型太陽熱蒸留器用の多重効用ユニットの性能向上を目的として、ユニット内部に電気流体力学的流れを付与する方法を実験的に検討した。実験は単段で行い、実用化上の課題についても検討した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) イオン風の付与は収量を増加させた。温度条件により異なるが、イオン風を付与しない場合の1.4倍から2.5倍程度であった。
- 2) イオン風の発生に要する電力は小さく、最大でも、放電電極1 mあたりに換算して約2 Wであった。
- 3) イオン風の付与で増加する次段への供給熱量は、イオン風発生用電力の数10倍から200倍程度であった。
- 4) 収量を最大にする放電電極の位置を実験的に知る

ことができた。

謝辞 本研究は文部省科学研究費補助金（課題番号04650202）を受けて行ったものである。装置の試作、製作、実験では青木幹也、石原稚基、岡本 裕、清水宏之、中川輝雄の諸君の協力を、また佐藤伸一君には加えてデータの整理でも協力を得た。謝意を表する。

#### 文 献

- (1) Abdul-Jabbar N. Kharifa, Evaluation and Energy Balance Study of a Solar Still with an Internal Condenser, *Journal of Solar Energy Research*, 3-1(1985), 1.
- (2) S.T. Ahmed, Study of Single-Effect Solar Still with an Internal Condenser, *Solar & Wind Technology*, 5-6(1988), 637.
- (3) N. A. Rahim and E. Taqi, Comparison of Free and Forced Condensing Systems in Solar Desalination Units, *Renewable Energy*, 2-4/5(1992), 405.
- (4) W. N. Grune, R. A. Collins and T. L. Thompson, Forced-convection, Multiple-effect Solar Still for Desalting Sea and Blackish Waters, *Proceedings of the United Nations Conference on New Sources of Energy*, 6(1961), 205, Rome.
- (5) M. K. Selcuk, Design and Performance Evaluation of a Multiple-effect, Tilted Solar Distillation Unit, *Solar Energy*, 8-1(1964), 23.
- (6) Ho-Ming Yeh and Zhi-Fang Chen, Energy Balances in Wick-type Double-effect Solar Distillers with Air Flow through the Second-effect Unit, *Energy*, 17-12(1992), 1239.
- (7) W. N. Grune, R. B. Hughes, and T. L. Thompson, *Solar Stills*, Water & Sewage Works, Oct. (1961), 378.
- (8) H.M. Ali, Effect of Forced Convection Inside the Solar Still on Heat and Mass Transfer Coefficients, *Energy Conversion and Management and Energy Conversion*, 34-1(1993), 73.
- (9) 田中耕太郎・梅原規司・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1報, 室内実験結果に関する検討）, 日本機械学会論文集B編, 52-479(1986), 2697.
- (10) 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.
- (11) 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, *太陽エネルギー*, 14-6(1988), 27.
- (12) A. K. Singh and G. N. Tiwari, Performance of Thermal Evaluation of Multi-effect Distillation System, *Heat Recovery Systems & CHP*, 12-5(1992), 445.
- (13) D.K. Dutt, Ashok Kumar, J.D. Anand and G.N. Tiwari, Improved Design of a Double Effect Solar Still, *Energy Conversion and Management and Energy Conversion*, 34-6(1993), 507.
- (14) 例えば, S.E. Sadek, R.G. Fax and M. Hurwitz, The Influence of Electric Fields on Convective Heat and Mass Transfer from a Horizontal Surface under Forced Convection, *Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer*, 94(1972), 144.
- (15) 上原春男・池上康之・宮良明男・鶴健士・住友博之・山崎起男, オゾネーションによる熱交換器防汚技術の評価, 第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集(1992-5), 208, 大阪.