

イオン風による強制対流型 多重効用ユニットの研究 (蒸留・濃縮特性と放電電極数の影響)

A STUDY ON MULTIPLE-EFFECT UNIT WITH FORCED CONVECTION INDUCED BY IONIC WIND
(Distillation and enrichment characteristics and effect
of number of discharging electrode)

羽 谷 吉 郎^{*1}
Yoshiro TOCHITANI

佐 藤 伸 一^{*2}
Shinichi SATOH

Abstract

An experimental study is carried out to investigate the performance of distillation and enrichment of feeding water of a multiple-effect unit, in which vaporization and condensation are enhanced by forced-convection induced by ionic wind, based on corona discharge. A discharging electrode-wire is set between vaporization plate and condensation plate, and DC high voltage is applied between the wire and the plates. A method to suppress snapping of the wire due to short-circuit is shown by experience. As a result, distillation and enrichment characteristics are made clear, and it is shown that the increase in number of the discharging electrode contribute to improve distillate rate per unit electric-power for generating ionic wind.

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

1. 緒 言

太陽熱蒸留器の性能向上法の一つに凝縮潜熱を再利用する多重効用型があり、研究が行われている。^{(1)~(7)}しかし、その構造は一般に複雑で、初期コストや保守等の面で不利である。構造が比較的簡単な少段数の場合の研究も行われているが^{(6) (7)}、いずれの場合も小型化、一段当たりの収量増加による低コスト化の工夫が望まれる。

著者の一人は、小型化、単段あたりの収量増加を目的として、単純な構造の単段ユニット内に、イオン風と呼ばれる電気流体力学的な流れを付与し、その性能

向上の程度を実験的に調べた。⁽⁸⁾その結果、ユニット内部の強制対流化は熱・物質移動を促進し、性能を向上させること等を示し、小型化、多重効用段の段数低減に貢献できる可能性があることを明らかにした。

ところで、単段あたりの収量が多くなれば、その分ユニット出口の原水濃度は高くなる。つまり、収量の増加は原水の濃縮性能の向上を意味する。多重効用ユニットの性能に関しては、これまで収量のみが注目されているが、他分野への応用を考えると、原水の濃度変化にも着目しておくべきであろう。

太陽エネルギーのような間欠的エネルギーを利用する場合、日射時にそのエネルギーを活用して成果（生産物）を産み、それを蓄えておく使い方が一つの理想であり、この点で蒸留や濃縮は適切な利用法である。ユニットの性能が向上すれば、太陽エネルギーを主とし、他のエネルギーを補助的に利用する水処理システム等を検討できる可能性もある。

本研究は、イオン風を多重効用ユニットに適用する

原稿受付 平成8年6月24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 帝国通信工業(株)
赤穂工場(〒399-41 長野県駒ヶ根市飯塚2-4-1)

ための基礎研究であり、単段の実験装置により

- (1) 大きいイオン電流を流すことで、収量の増加と、その制御範囲の拡大を目指すこと
- (2) 原水の濃縮装置という視点で見た場合の特性を明らかにすること
- (3) 大きい蒸発面、凝縮面に対してイオン風を適用するために、放電電極数を増やした場合の特性を明らかにすること

を目的とする実験的研究である。

なお、イオン風とその発生方法については、既報等

⁽⁸⁾ ⁽⁹⁾ を参照願いたい。

2. 実験

2.1 実験装置

実験装置の構成等は、いくつかの点を除き既報⁽⁸⁾と同じである。以下、異なる点を中心に概説する。

図1は装置全体の構成を示している。

試験部は、鉛直方向に保持され、互いに向かい合う蒸発面①、凝縮面②をもつ。両面はともに厚さ0.3mmの銅板製で、有効面積は0.0510m²（高さh=0.30m×幅w=0.17m）であり、両面間の間隔dは30mmである。他の壁面は透明のアクリル樹脂板製である。側壁等での凝縮液や原水が凝縮面での凝縮液に混入するのを防ぐため、凝縮面は蒸発面よりも10mm高くした。ウィックとしては、二重にして縫い合わせたガーゼを用い、約2.6%の接着面積割合で蒸発面に貼り付けた。

試験部内霧潤気温度は、後述の図2にTで示すように、天板、底板の中心から内側へ20mm、蒸発面、凝縮面から等距離の霧潤気中に設けたT型熱電対で測定、確認した。後述の試験部内の流れを考えると適切な位置とは言えないが、放電電極数を変えた場合にも熱電対への放電を回避できると判断したことによる。

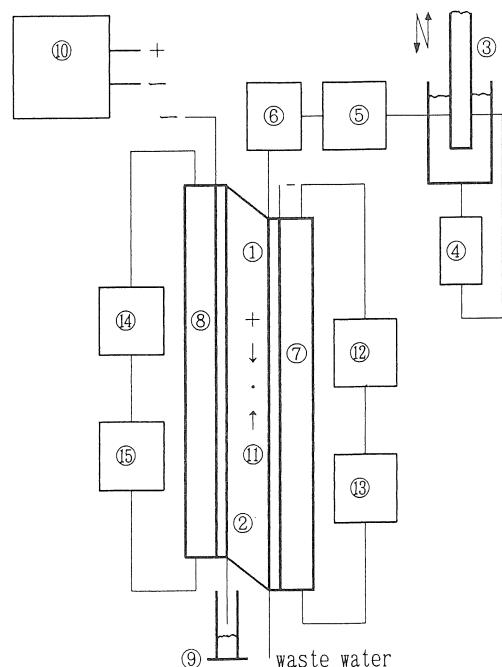
原水容器③は二重構造になっており、原水は内容器から外容器に常にオーバーフローするようにポンプ④で循環させられる。試験部に供給する原水は内容器から取り出しているので、原水の残量変化が流量に与える影響は無視できる。原水温度は、加熱槽⑥のヒーターへの供給電力をデジタル指示調節計によって制御して設定した。加熱槽内の攪拌にはマグネチックスターラーを用いた。

原水を模した蒸留水はその流量を原水容器の水頭差とピンチコックで調節された後、医療用輸液セット⑤により流量を測定され、加熱槽⑥で所定の温度まで加熱されて、試験部内のウィック上部へ送られる。ウィックを流下する原水は途中で一部が蒸発し、残りは装

置外へ排出される。

蒸発面の裏側には加熱水槽⑦を設け、温水を循環させた。水槽入口での温水温度は原水入口温度と同溫とした。一方、凝縮面の冷却は、その裏側に設けた冷却水槽⑧中に冷水を循環させて行った。既報でも述べたように、多重効用段として用いる場合には、蒸発面は前段の凝縮面の裏側になり、それらの温度は両面での熱・物質移動のバランスによって決まるが、本研究では、原水と同温の温水および冷水で代えている。冷水、温水ともその温度は水槽入口に設けた熱電対の値で代表させた。両水槽はそれぞれ断熱材で覆った。蒸発面、凝縮面の温度は各々11点で測定し、監視した。

凝縮板上で凝縮した液は集められ、装置外に導かれて、メスシリンダー⑨でその体積を測定される。凝縮



- ① Vaporization Plate with Wick(Collecting Electrode)
- ② Condensation Plate(Collecting Electrode)
- ③ Feeding Water Tank
- ④ Pump
- ⑤ Flow Meter
- ⑥ Heater
- ⑦ Heating Bath
- ⑧ Cooling Bath
- ⑨ Measuring Cylinder
- ⑩ High Voltage DC Power Supply
- ⑪ Discharging Electrode
- ⑫ Hot Water Bath
- ⑬ Pump
- ⑭ Cool Water Bath
- ⑮ Pump

図1 実験装置の構成

面以外での凝縮液は蒸発しなかったものとみなし、原水とともに排出した。

2・2 イオン風発生系

イオン風発生系は、直流高電圧電源（パルス電子技術、HDV-80K5ST）⑩と、試験部内に設置した放電電極⑪からなる。直径0.14mmの鉄一クロム線による放電電極は電源の正極に、蒸発面、凝縮面はともに負極に接続し、正イオン風を発生させた。

図2は試験部を側面からみた図であり、図中の番号1, 2, 3はそれぞれ放電電極数 $n = 1, 2, 3$ の場合の放電電極の設置位置を示している。放電電極はいずれの場合も蒸発面から10mmのところに水平に設置し、 $n > 1$ の場合の各電極は並列に接続した。10mmとした理由については既報を参照願いたい。

側壁から放電電極線を引き出す構造は基本的に既報と同じであり、上記の鉄一クロム線を絶縁用フッ素樹脂パイプに通した状態で、アクリル板製の側壁にあけた小孔から引き出している。異なる点は、水槽⑦, ⑧の側面を覆っている断熱材により、アクリル板の引き出し部分付近に外気流が直接当たらないようになっている点である。これについては後述する。

2・3 実験条件

原水温度は40~70°C、冷却水温度は20~60°Cとした。原水供給量は600 g/hで一定とした。イオン電流は短絡が起きない範囲で流せる最大電流までとした。その結果、全ての原水温度で実験できたイオン電流の範囲

は0~360μAである。原水温度が低いほどこの範囲を拡大でき、40°Cでは600μAまでの範囲で実験できた。詳細については後述する。

収量の測定は同一条件で最低でも2回行い、算術平均値を採用した。測定時間は20分を原則とし、凝縮量が少ない条件下では30分とした。

3. 結果と検討

3・1 高温・高湿度雰囲気中での短絡予防策

本研究では、放電電極の単位長さあたりのイオン電流を既報の約5倍以上まで増加させた。

一般に、コロナ放電を利用して流れを発生させる場合、使用できる最大のイオン電流値は、放電が安定で、かつ火花放電に移行する事がない範囲として決めることができる。しかし、本研究のように周囲よりも温度が高く、かつ水蒸気で飽和もしくは飽和に近い状態の空気中で放電現象を利用する場合は、イオン電流が火花放電に移行する値以下であっても凝縮液による短絡の可能性がある。

著者らのこれまでの経験によれば、短絡による放電電極の破断（溶断）は、高い確率で、放電電極を引き出すための絶縁用パイプの先端付近で起こる。この付近では側壁面からの冷却により凝縮が起りやすく、加えて放電電極の中央部分に比べて流れが弱いことなどから、パイプ表面に汚れや水滴がつきやすく、微少水滴によるブリッジもできやすいと考えられる。

以上のことから、イオン電流の最大値を増加できた理由として以下のように考える。

- (1) 試験部の側壁が、蒸発板用、凝縮板用各水槽の側壁用断熱材の厚さ分（約10mm）だけ引っ込んだ構造としたので、外気流による冷却効果が小さくなり、電極線の引き出し部付近での凝縮が起りにくくなったこと
- (2) 試験部の体積が既報の約4.7倍になり、電極引き込み部分へのイオン風の対流効果が相対的に減少し、側壁からの冷却量が減って、凝縮量が減少したこと

上記の点を定量的に評価することは困難であるが、側壁部分を外部から観察した結果はその妥当性を裏づけている。すなわち、既報においては、イオン風を付与している際は側壁内面に付着する凝縮滴で内部の観察が不可能であったのに対し、本研究では凝縮量は明らかに少なく、内部を十分観察できる状態であった。

以上の観察結果と検討から、本研究のように高湿度の条件下で安定に放電を起こし、イオン風を広い電流範囲で利用するためには、電極線引き込み部や電極の支持部での凝縮をできる限り少なくすること、具体的

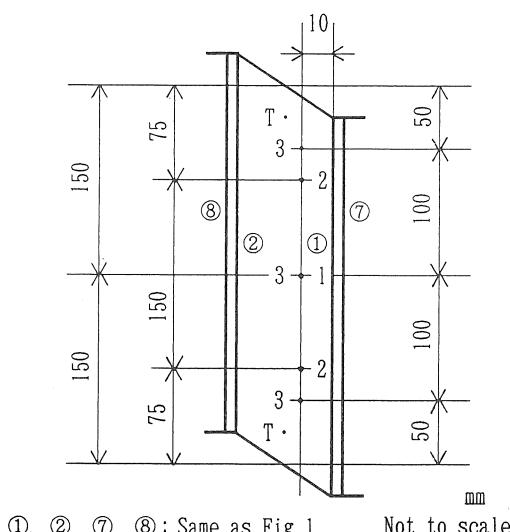


図2 放電電極と雰囲気温度用熱電対の設置位置

には引き込み部、支持部近くの壁面を断熱材で覆うなどの対策をとることが有効であると結論できる。

3・2 収量

図3は単位面積、単位時間当たりの収量 m と熱流束 q に対するイオン電流の影響を、 $n = 1$ の場合について示している。横軸は、経験的に m 、 q との関係がほぼ直線になるイオン電流 I の平方根 $I^{1/2}$ とした。 t_c 、 Q はそれぞれ冷水温度、原水供給量である。 q は m と凝縮潜熱から求めた値で、多重効用時に次段へ供給しうる最大の熱流束である。

前章で述べたように、短絡が起きない条件でのみ実験したので、原水温度 t_H が大きい程最大の I が小さくなっている。斜線部は、実験経験に基づいて、短絡の可能性がある範囲を示したものである。曲線は $t_H = 50, 60, 70^\circ\text{C}$ の条件下で実験を中止した I のうちの最小の I と、各 t_H のプロットの延長線との交点を結んだものである。しかし、この範囲は必ずしも固定的なものではない。前述のように、放電電極の引き込み部の断熱をより高性能化することで、 I の範囲を拡大できる可能性がある。また、雰囲気の飽和蒸気圧を決める雰囲気温度が原水供給量により変化することや、外気温が影響することも考えられる。

$I = 0 \mu\text{A}$ では、 t_H の増加につれて m も増加する。

一方、 $I > 0 \mu\text{A}$ では、 $I^{1/2}$ の増加につれて m も増加し、この範囲での関係は上述のようにはほぼ直線とみてよい。その増加割合は t_H の増加とともに大きくなっている。

本研究で用いた装置は、既報の装置とは大きさの他、熱的条件が一部異なるが、実験結果の大雑把な比較は可能である。 $t_H = 70^\circ\text{C}$ の q でみると、既報では $I = 3$

μA 時に 3.2kW/m^2 程度であり、また図3では $I = 360 \mu\text{A}$ 時に 3.3kW/m^2 程度であるので、 q 、したがって m の最大値に大差はない。しかし、 I の差は大きい。本研究の電極長、すなわち蒸発面、凝縮面の幅は既報の約1.9倍であり、この割合で I が増加することは理解できるが、上記の値はそれをはるかに越えている。一方、蒸発面、凝縮面の高さは既報の2.5倍、面積比は雰囲気の体積比と同じで約4.7倍である。一般に、イオン風の促進効果は後述の理由で放電電極から離れるほど低下する。本装置では高さ方向に大きくなつた分、上方、下方でイオン風による流れの効果が小さくなるため、大きい I により後述のセル状流れを強くしてこれを補っていると考えられる。

図4は図3のパラメータを t_c とした図である。 t_c の増加につれて m, q が減少し、減少の割合が大きくなっている。なお、 $t_c = 30 \sim 60^\circ\text{C}$ では3種類の I しかプロットされていないが、傾向を知る上で十分と判断したためであり、短絡等の問題があるためではない。

図5は、 $t_c = 20^\circ\text{C}$ の場合の収量比 a に対する t_H の影響を示しており、 a は次式で定義している。

$$a = m_{1>0} / m_{1=0} \quad (1)$$

ここに、 $m_{1>0}$ はイオン風を付与したときの m 、また $m_{1=0}$ はイオン風を付与しないときの m である。 $I = 600 \mu\text{A}$ の実験が可能であったのは、 t_H が 40°C と低いために雰囲気中の水蒸気圧も低く、上述の電極線引き出し部付近での凝縮量が少くなり、短絡しにくいためであると考えられる。

図から、 a は t_H により変化するものの、 $I = 60 \sim 120 \mu\text{A}$ ではほぼ2以上である。また、既報の最大値が $t_H = 40 \sim 50^\circ\text{C}$ のときに約2.5であったのに対し、 40°C で約

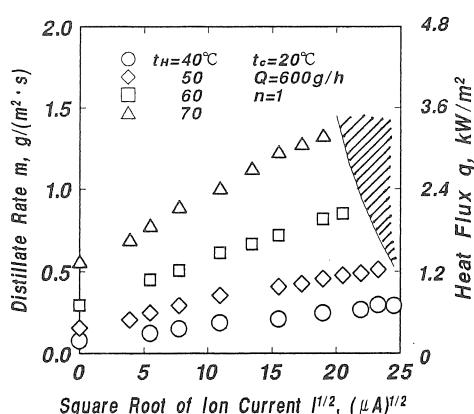


図3 収量に対するイオン電流、原水温度の影響

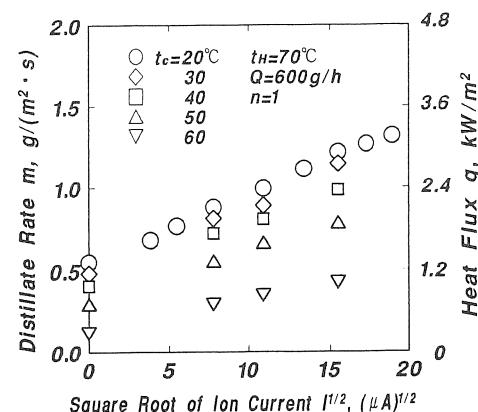


図4 収量に対するイオン電流、冷却水温度の影響

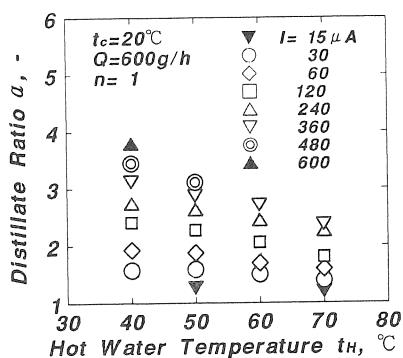


図5 収量比に対する原水温度の影響

3.8とほぼ1.5倍である。この増加は I の範囲の拡大が主因と考えられ、 I を変化することによりこの範囲で a を変化できる。

上述のように、イオン風の付与は収量を増加させる。そのメカニズムは以下のように考えられる。

電場を付与しない場合、試験部は対向する2面が加熱、冷却されるアスペクト比 $h/d=10$ の鉛直密閉層と考えてよく、内部は自然対流に支配されている。本研究のレイリー数は、 $t_H=40\sim70^\circ\text{C}$ 、 $t_c=20^\circ\text{C}$ で、約 $5\times10^4\sim9\times10^4$ 程度であり、流れの速度分布は層流境界層的⁽¹⁰⁾と考えられ、高温面(蒸発面)、低温面(凝縮面)を循環するセル状対流が発生しているものと推測される。

一方、電場を付与した場合、試験部内の流れは以下のようであると考えられる。放電電極から距離的に近いコレクタ電極、すなわち蒸発面向かってイオン風が吹き、蒸発面向に衝突する。この流れは蒸発面に沿う上昇流、下降流に分かれて面に沿って流れ、やがて蒸発面から離れて、凝縮面に衝突して再び放電電極方向に向かい、電極に吸い込まれる循環流を形成する。つまり、放電電極付近で駆動される二つの、互いに逆回転の安定なセル状流れが発生する。本装置の h/d では、これらのセル状流れはそれぞれに隣り合う、それと逆回転の、第二のセル状流れを誘起すると推測される。第三以降のセル状流れの誘起も h/d によるが、詳細は明らかでない。誘起されたセル状流れは、粘性効果により電極から離れるほど弱く、不安定である。

以上のように、試験部内には複数のセル状流れが存在し、それらは I の増大と共に速くなる。

それぞれのセル状流れは、蒸発面と凝縮面の間を循

環する。ウィックの表面は高温で水蒸気圧も高く、セル状流れへの蒸発が起こる。セル状流れ内はウィック表面に比して低温であり、温度条件により、ミストが発生すると考えられる。ミストの発生は流れ内における水蒸気圧を低下させ、蒸発量はさらに増加すると思われる。一部のミストはセル状流れにのって循環する可能性もあり、電極近傍通過時にイオンシャワーを浴びて帶電し、コレクタ電極に捕捉されることもある。

凝縮面ではセル状流れが運んできた水蒸気が凝縮するが、循環中に成長したミストの衝突、捕捉も起こると考えられる。

以上のことから、イオン風の付与による収量の増加は、ユニット内における循環流の安定化によると考えられる。

3.3 濃縮比

ユニット流入前、流出後の原水量の変化に着目する。本研究では、溶質を含まない蒸留水を原水として用いており、濃縮は水分の蒸発のみを考える。濃縮比 c を次式で定義する。

$$c = \rho' / \rho \\ = Q / (Q - M) \quad (2)$$

ここに、 ρ 、 ρ' はそれぞれ濃縮前後の原水の質量分率、 Q 、 M は原水供給量、凝縮液収量である。

図6は c に対する I の影響を示している。 $I=0\mu\text{A}$ であっても、 t_H が増加すれば m が増加し、その結果 c が増加する。 t_H の増加につれて、 c の増加割合が大きくなるが、水蒸気圧の上昇によるものである。

一方、 $I>0\mu\text{A}$ では、 I の増加により c も増加する。 t_H が大きい程、 I に対する c の増加率は大きい。なお、前述のように、短絡防止の点から t_H が大きい程 I の最

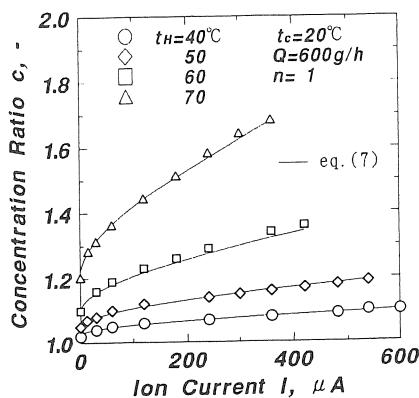


図6 濃縮比に対する原水温度の影響

大値は小さくなっている。 $t_H=70^\circ\text{C}$ では、イオン風の付与は c を1.2倍から1.7倍に、また $t_H=40^\circ\text{C}$ でも1.03倍から1.1倍に増加させる。

図の実線は $t_c=20^\circ\text{C}$, $Q=600 \text{ g/h}$, $n=1$ の場合に対して求めた最小自乗法による近似式(7)の値を示しており、実験値との差は±1.3%である。式(7)は以下の方法で得た。

$$\text{図3から } m = C \cdot I^{1/2} + D \quad (3)$$

式(3)の係数を実験結果から次式で近似する。

$$C = \alpha \cdot t_H^{\beta} \quad (4)$$

$$D = \gamma \exp(\delta \cdot t_H) \quad (5)$$

実験値をもとに α , β , γ , δ を決定すると、式(3)は

$$m = (4 \times 10^{-7} t_H^{2.71}) I^{1/2} + 0.006 \exp(0.0649 t_H) \quad (6)$$

式(6)による計算値と実測値との差は最大で±8.7%，平均では±1.4%であった。

式(2)と(6)から次式を得る。

$$c = 3.27 / \{3.27 - (4 \times 10^{-7} t_H^{2.71}) I^{1/2} - 0.006 \exp(0.0649 t_H)\} \quad (7)$$

3.4 放電電極数の影響

本研究で得られた m の値は既報のそれとほぼ同じであるが、 I の値が大幅に増加していることを図3のところで示し、その原因是蒸発面、凝縮面の高さの増加にあることに言及した。線状電極に直角の方向の促進は誘起されたセル状流れによるため、電極から離れるほど効果が小さくなる。したがって、蒸発面積、凝縮面積が増加すれば、全面に対する平均的促進効果が小さくなる。実用化の際には、1ユニット当たりの蒸発面積、凝縮面積の大幅な増加は避けられず、上記の性

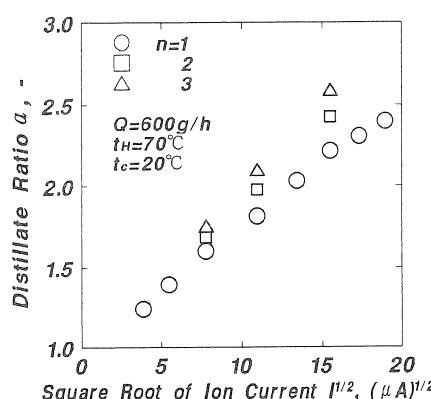


図7 収量比に対する放電電極数の影響

能低下は何らかの方法により解決されねばならない。

解決策の一つが放電電極の形状変更であるが、これは難しい。電極は不平等電界を形成するものであることが必要であり、実際に放電電極の基本的形状は針か線、もしくはそれらを組み合わせたものになる。針は局所的に強い流れを発生できるものの、広い面積に対してはやはり限界があり、その支持方法、保守等を含めて困難な問題が多い。

簡単で、かつ効果が期待できる方法は放電電極の数を増やすことである。

図7は $t_H=70^\circ\text{C}$, $t_c=20^\circ\text{C}$ の条件下で、 $n=1, 2, 3$ とした場合の a に対する $I^{1/2}$ の影響を示している。実験は n に関わりなく、 I を一定として行った。

図は、 n の増加が a の増加をもたらすことを示している、それらの $I^{1/2}$ に対する関係は、 $I=0 \mu\text{A}$ のときの a 、すなわち $a=1$ を通る直線とみなすことができる。

n の増加は放電電極1本あたりのイオン電流を $1/n$ とするのでその分イオン風も弱くなる。

Takashimaら⁽¹¹⁾は、かみそり刃状の放電電極、平板のコレクタ電極を用いて、トランス油中における流動を研究し、次の関係式を提示している。

$$u = k_1 I / (E - E_0)$$

$$E = k_2 I^{1/3} + E_0 \quad (9)$$

ここに、 u は平均流速、 E は印加電圧、 k_1 , E_0 は定数である。上記の2式より、

$$u \sim I^{2/3} \quad (10)$$

が得られる。

本研究の電極系も、二次元とみなせる電場を形成するものであり、式(10)が成立すると考えられる。 I が $1/n$ になると u は、

$$u \sim I^{2/3} / n^{2/3} \quad (11)$$

となり、 I が $1/n$ になっても u は $1/n^{2/3}$ 倍で、 I の減少に比べて u の減少割合は小さい。図7はこのことと、一本当たりの u が減少しても、 n を大きくする方が全体としての促進効果が高いことを示していると考えられる。

$n > 1$ の場合における試験部内の流れは以下のようであろう。各放電電極で前述の第一のセル状流れが発生する。放電電極間に第一のセル状流れにより誘起される第二のセル状流れが発生するか否かはアスペクト比および電極配置等の幾何学的条件により決まる。電極数の増加はその分だけ駆動されるセル状流れの数が増加し、各セル状流れのアスペクト比が1に近づき、またそれぞれが $n=1$ の場合よりも安定である。これらのことことが促進に寄与していると考えられる。

図8は印加電圧と I の $1/3$ 乗の関係を n をパラメー

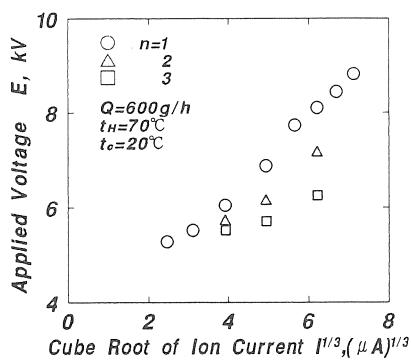


図8 印加電圧とイオン電流の関係

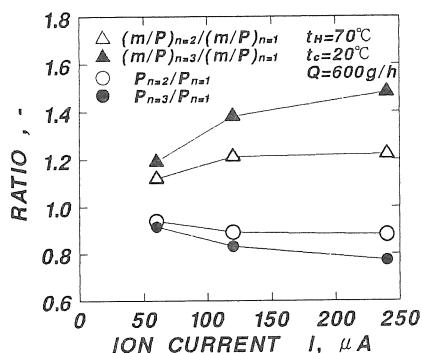


図9 電力比と単位電力当たりの収量比

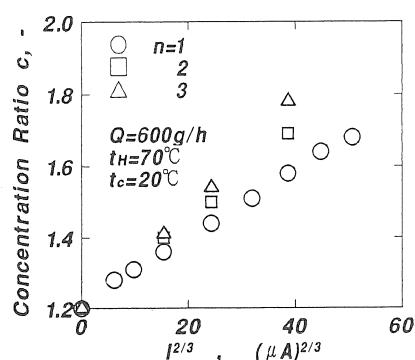


図10 濃度比に対する放電電極数の影響

タとして示している。高温、高湿度下での放電現象であり、測定時の変動が大きく、結果として図中のプロットのばらつきが大きいが、近似的には式(9)が成立しているとみなせる。それぞれの n について、プロットを結んだ線と横軸との交点は 4 kV 前後であり、放電開始電圧は 4 kV 付近と考えられる。

図において $I = \text{一定}$ としてみると、 n の増加により E は明らかに減少しており、 $n = 3$ の E が最小になっている。 $I = \text{一定}$ ならば、電力 $P = I \cdot E$ は大きい n の方が小さくなる。

図9は m に対する n の影響を、 P を考慮に入れて比較したものである。横軸は I であり、縦軸は、 $n = 1$ におけるイオン風発生に要する電力 P を基準とした電力比 $P_{n>1}/P_{n=1}$ 、および $n = 1$ を基準とする単位電力あたりの収量の比 $(m/P)_{n>1}/(m/P)_{n=1}$ である。ここに、 $P_{n=1}$ 、 $P_{n>1}$ はそれぞれ $n = 1$ および $n > 1$ のときの P を、また $(m/P)_{n=1}$ 、 $(m/P)_{n>1}$ はそれぞれ $n = 1$ および $n > 1$ のときの単位電力当たりの収量 m/P を示している。 $I = 60, 120, 240 \mu A$ に対して、それぞれ $P_{n=1} = 0.37, 0.83, 1.94 W$ 、 $(m/P)_{n=1} = 2.38, 1.20, 0.63 g/(J \cdot m^2)$ である。

電力比は $P_{n=3}/P_{n=1}$ のときが最低である。また、 $I = 240 \mu A$ では $(m/P)_{n=3}/(m/P)_{n=1}$ は 1.48 となっており、 $n = 3$ の場合の単位電力あたりの収量は $n = 1$ の場合に比べて約 50% 増となる。

図10は c に対する n の効果を示している。 $I^{2/3}=38.6(\mu A)^{1/2}$ ($I=240 \mu A$) では、 $n = 1$ の場合に対する c の比は $1.77/1.58=1.1$ となり、この条件下で n を 1 から 3 に増やすことで 10% 程度の改善がみられる。図9で示した電力の低下を考慮すれば n を増やす効果は大きい。

以上のことから、 n を増加することは m, q の増加および P の低減に有効であることがわかる。なお、 n を増加する際に、放電電極間距離が狭くなりすぎると、(1) 平等電界に近づき、イオン風発生の条件である不平等電界でなくなりコロナ放電が抑制される(2) 隣り合うセル状流れ同志の干渉が強くなるなどの理由により、逆に m, c の低下が起こることが予想される。セル状流れを考慮した最適条件下での性能の研究が望まれる。

4. 結 言

多重効用段にイオン風を付与して性能を向上させる強制対流型多重効用ユニットの基礎的実験研究を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 放電電極への引き込み線が通る壁や、放電電極の支持部付近における凝縮の低減は、短絡発生を抑え、イオン電流の範囲を拡大することに効果がある。冷却水温度20°C、原水温度40~70°Cに対し、イオン電流は600~360 μAであった。
- (2) 最大イオン電流の増大は蒸発面、凝縮面のより広い範囲に促進効果をもたらすとともに、収量に対する制御が容易になるが、単位面積当たり収量の大幅な増加は得られず、放電電極数1、イオン電流 360 μA、冷却水温度20°C、原水温度70°Cの場合、約1.4 g/(m²·s)であった。
- (3) 濃縮器として利用する際の性能およびイオン電流による濃縮・制御特性が明らかになり、濃縮割合を表す実験式の例を、原水温度、イオン電流の関数として示した。
- (4) 蒸留、濃縮性能に与える放電電極数の影響の一端が明らかになった。ある程度の本数増加はイオン風の単位電力あたりの収量、濃縮割合を増加し、省電力化に効果がある。
- Flow through the Second-effect Unit. Energy, 17-12 (1992), 1239.
- (7) D.K. Dutt, Ashok Kumar, J.D. Anand and G.N. Tiwari, Improved Design of a Double Effect Solar Still, Energy Con-versation and Management and Energy Conversion, 34-6(1993)507.
- (8) 羽谷吉郎・谷口隆生、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、太陽エネルギー, 20-6(1994) 33
- (9) 足立宜良・川崎元之、コロナ放電電界中のイオン風、静電気学会誌, 2 (1978) 158
- (10) 相原利雄、伝熱工学、裳華房(1996) p. 120
- (11) Takashima T., R. Hanaoka, R. Ishibashi and A. Ohtsubo, I-V Characteristics and Liquid Motion in Needle-to-Plate and Razor Blade-to-Plane Configurations in Transformer Oil and Liquid Nitrogen, IEEE Transactions on Electrical Insulation, 23-4 (1988) 645

謝辞 実験に協力された渋谷浩一、川戸利彦、奥村雅昭の諸君に謝意を表する。かみそり刃状電極を用いた研究についてご教示いただいた本学電気・電子系花岡良一教授に謝意を表する。

文 献

- (1) M. K. Selcuk, Design and Performance Evaluation of a Multiple-effect, Tilted Solar Distillation Unit, Solar Energy, 8-1(1964), 23.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) A. K. Singh and G. N. Tiwari, Performance of Thermal Evaluation of Multi-effect Distillation System, Heat Recovery Systems & CHP, 12-5(1992), 445.
- (6) Ho-Ming Yeh and Zhi-Fang Chen, Energy Balances in Wick-type Double-effect Solar Distillers with Air