

助成番号 0611

簡易構造かつ高性能の多重効用・海水蒸発濃縮器の開発

野底 武浩

琉球大学工学部

概要 1. 研究目的 著者らは、太陽熱による海水淡水化を目的に研究されて来た平行平板型の多重効用海水蒸留器を海水の蒸発濃縮器に応用することを提案し、理論モデルに基づく計算によって高い蒸発倍率(入力熱量に対する総蒸発量の熱量換算の比)が得られることを示した(Nosoko, et al., *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jan.*, 58, 102-109, 2004)。本研究では、理論予測された性能が実際に可能であるかを実証するため、実機レベルの平行平板型多重効用海水蒸発濃縮器(以下、蒸発器と称す)を製作し、運転試験を行った。

2. 平行平板型多重効用蒸発器の構造 蒸発器の第一段(初段)平板の下面には蒸気ジャケットを設け、ボイラーからの蒸気により初段平板を加熱する。初段から最終段までの平板上面には海水が浸透するウィック(布)(以下、蒸発ウィック)を毛管力により貼り付け、第二段以降の平板下面には凝縮液が浸透するウィック(以下、凝縮ウィック)を貼り付けた。各々の平板間にプラスチック製メッシュを挟み、海水と凝縮水の混入を防いだ。蒸発器を水平から約9°傾け、海水を蒸発ウィックの上端から供給し、下端から濃縮海水を回収する。凝縮水も下端から回収する。蒸発ジャケットの加熱により、初段蒸発ウィック中の海水が蒸発し、発生した蒸気はメッシュの網目を拡散して向い合う凝縮ウィックに凝縮して第二平板を加熱する。同様に、第二平板上面の海水が蒸発し、拡散、凝縮が生ずるといふふうに順次最終段までこの過程が繰り返される。ウィック間の蒸気拡散速度が蒸発器の生産速度を律することから、平板の間隔をできる限り狭くすることが求められる。

3. 結果および考察 製作した蒸発器は1 m × 2 mの加熱面積を有し、濃縮水と凝縮水が混入することなく平板間距離5 mmという狭い間隔を実現した。蒸発器は水平に近い傾斜であり、蒸発ウィック、メッシュ、凝縮ウィック、平板を順に重ねて置くだけであるので組み立てと分解が大変容易である。5段のもので組み立ては、二人で40分程度、分解には10分程度を要した。蒸発量は、初段から第4段にかけて3.9から2.6 kg/hrまで減少し、最終段では、周囲空気中への自然対流に促進されて3.6 kg/hrに増大した。蒸発倍率は3.6倍、総蒸発量(生産速度)は16.6 kg/hrであった。この結果は、比較的理想的な条件下で得られた理論値予測の88%と74%に達する。

1. はじめに

現在広く利用されている多重効用真空式蒸発缶では、缶の蒸発室の圧力を第1缶から順次低くなるようにして、第1缶で発生した高いエンタルピーの蒸気を熱源として第2缶で海水を蒸発させ、さらにその蒸気を熱源として第3缶で蒸発させるという機構により、第1缶への入力蒸気のみにより最終缶までの蒸発を実現している。効用数を増やせば、蒸発倍率(入力蒸気量に対する総蒸発量の比)は増加するが¹⁾、各缶の伝熱面積を大きくする必要があり設備費が高価になる。

一方、太陽熱を熱源とする海水淡水化の研究分野においては、簡易な構造の多重効用蒸留器が考案され多くの研究がなされている。いくつかに分類される蒸留器の中でも、海水を浸透させたウィック(布など)を薄い平板に貼り

付け、その平板を数mm～十数mmの間隔を設けて平行に並べた構造のものは、単純な構造であるとともに器内を真空に引くことはないので製作が容易である。加えて、多くの研究により高い蒸発倍率を達成し得ることが明らかにされている²⁻⁵⁾。

著者らは、この平行平板型の多重効用蒸留器を海水濃縮に応用することを提案した⁶⁾。平行平板型の海水蒸発濃縮器(以下、蒸発器と称する。)は単純な構造であるとともに、100℃前後の低エクセルギー熱源を利用できるという利点を持つ。生産速度が低いという欠点を有するが、これは蒸発器の台数を多くすることで補い得る。それには、単純な構造で製造コストが低く、運転操作とメンテナンスが容易であることが求められる。

著者らは、平行平板型の蒸発器内の熱移動および海

水と凝縮水の移動、蒸気拡散を理論的に解析した。その解析モデルに基づく数値計算の代表的な結果を図1に示す。

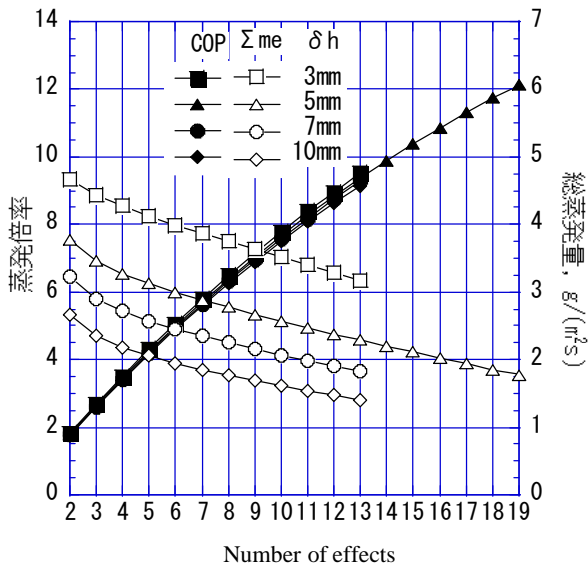


図1 理論モデル予測の蒸発倍率と生産速度

効用数の増加とともに蒸発倍率は増加し、板の間隔 5 mm の場合 19 段効用で約 12 倍に達する。一方、総蒸発量(生産速度)は効用数とともに低下し、効用数 19 で加熱面積 1 m²あたりの総蒸発量が約 6.3 kg/(m²hr) という結果である。蒸発倍率は板の間隔にはあまり依存しないが、総蒸発量は、板の間隔に強く依存し間隔が狭いほど大きく増加する。

この結果から、平行平板型の多重効用蒸発器の開発に

おいては、平板の間隔をできるだけ狭くして蒸気の拡散抵抗を低減するとともに、その狭い空間を介して向かい合うウィック中を浸透する海水と凝縮水が互いに混入することなく蒸発と凝縮を行わせ得る構造にすることが鍵となる。

以上の知見を踏まえ、本研究では、平行平板型の多重効用海水蒸発濃縮器を実用化することを目的に、実機レベルの多重効用蒸発器を作成し、試験運転とその結果に基づく改良を行った。

2. 平行平板型の多重効用蒸発器の構造と器内の熱移動

2.1 構造

提案する多重効用蒸発器の構造を図2に示す。簡易な構造であるとともに組み立て分解とメンテナンスが容易になること、および平板の間隔を可能な限り狭くすることの3点を優先した構造である。図に沿って説明すると、第1段(初段)の板の背面(下面)には加熱のための蒸気ジャケットを設け、もう一方の面(上面)には海水を浸透蒸発させるウィック(布)を貼り付けてある。第2段以降の板には、下面に凝縮用のウィック(布)(以下、蒸発ウィックと称する)を、上面に海水浸透用のウィック(布)(以下、蒸発ウィックと称する。)を貼り付けている。それらの板の間にはメッシュまたは多数のスペーサーが挟まれており、蒸発ウィックと濃縮ウィックの接触を防いでいる。なお、図2では簡便のため3枚の平板の蒸発器を示したが、板は何枚でも重ねることができるため、効用数を最適な数に増加することができる。

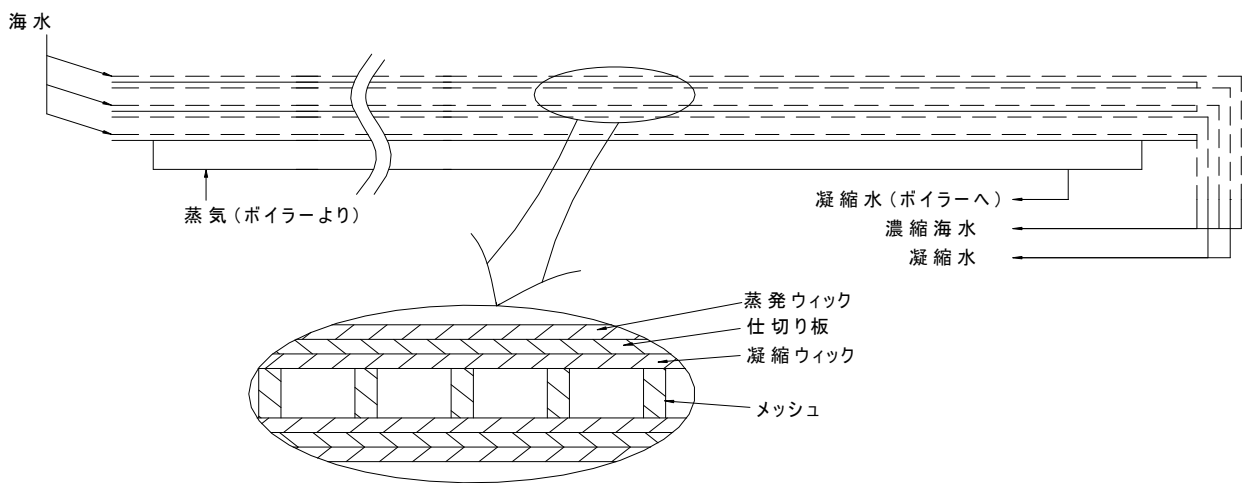


図2 平行平板型多重効用蒸発器

各板の左端から海水を蒸発ウィックに供給し、ウィック全面に浸透させる。また、濃縮された海水と凝縮水は、板の右端で互いに混入することなく回収される。

本蒸発器は、海水供給側の端が他方の端より高く設置されればいかなる角度での設置も可能であるが、自重による板のたわみや熱ひずみがあっても蒸発ウィック中を海水が均等に流下する角度が望ましい。これは不均一な流下の場合には、ウィック中の低流量部で塩の析出やスケールが発生しやすくなり、トラブルの原因となり得るからである。本研究では蒸発器を鉛直にした場合と、水平に近い角度(水平から約 9°)に傾けた場合の二つの蒸発器を制作した。

2.2 器内の熱移動

平板型の多重効用蒸発器における熱移動を図3を用いて説明する。各段において、平板の上端で供給された海水は、ウィックを浸透・流下しつつ板からの加熱により温度上昇し、蒸発する。その後は温度一定のまま蒸発濃縮が進行する。発生した蒸気は湿り空気層を拡散し、向かいのウィックに達して凝縮する。これにより蒸気を持つ高いエンタルピーが次段の平板へ輸送される。同時に伝導と放射によって湿り空気層を熱が通過するが、蒸気のエンタルピー輸送に比べてその割合は小さい。なお、両ウィックの間に挟まれたメッシュ(またはスペーサー)を通過しての熱伝導もある。凝縮水と濃縮海水は、高温のまま板の下端から器外へ流出し顕熱の形で熱を持ち去る。その量は、板上端部での供給水の顕熱上昇にはほぼ等しい。

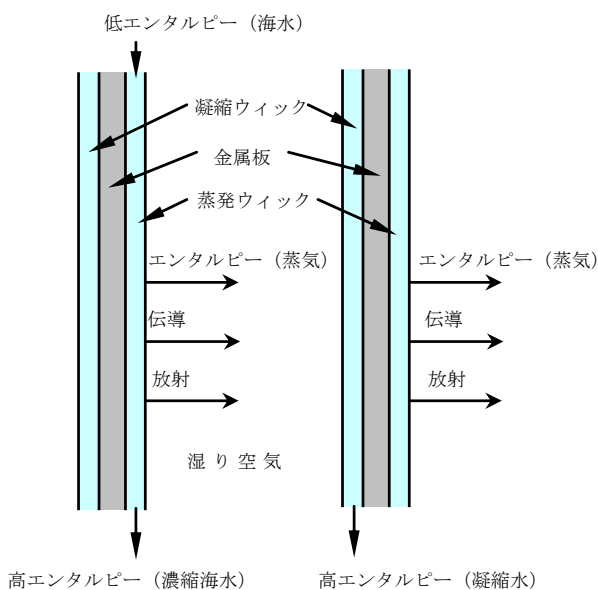


図3 蒸発器内の熱移動

このように凝縮水と濃縮海水が顕熱を器外へ運び去るため、各段の板への伝達熱量からその顕熱を差し引いた量が次段への伝達熱量となる。このような熱移動の機構が順次最終段まで行われ全ての段で蒸発・濃縮が進行する。また、各段の通過熱量は後の段に行くほど減少する。

最終段の蒸発ウィックは周囲空気と接しており、ウィックからの蒸発は自然対流により促進される。

3. 鉛直設置の平板型多重効用蒸発器

3.1 鉛直設置の蒸発器の構造

本研究では、最初に、鉛直に設置した多重効用蒸発器を制作した。その側面図を図4に示す。各平板はその上部に取り付けられた栈の左右の端がレールに載せられていて前後への移動が可能であり、組み立てが容易である。

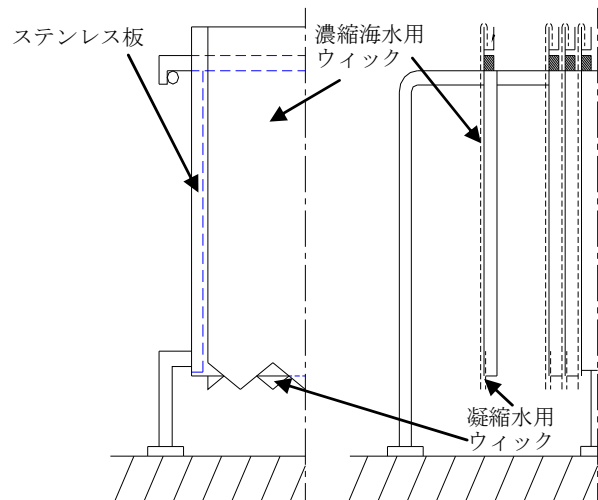


図4 鉛直設置の蒸発器

図5に各平板の上端の海水供給部の断面を示す。海水は毛細管を経て各々の海水溜めへ流入し、ウィック(布)中を浸透し、吸い上げられ、板の頂点を経て反対側の面の海水蒸発ウィック中を浸透・流下する。

図6に板の下端における濃縮海水と凝縮水の回収部を示す。海水蒸発ウィックおよび凝縮水回収ウィックの下端は三角形状に切断されており、両ウィックの三角形の頂点(底点)が半周期ずれるようにしてある。濃縮海水と凝縮水は、各々の回収ウィックの三角形の底点から滴下し回収される。凝縮水回収ウィックは板の下端部のみに接着剤を用いて図6のように貼り付けた。この工夫により、板と板の間隔がわずか5 mm程度と狭くても、濃縮海水と凝縮水を

互いに混入することなく分離回収することができた。

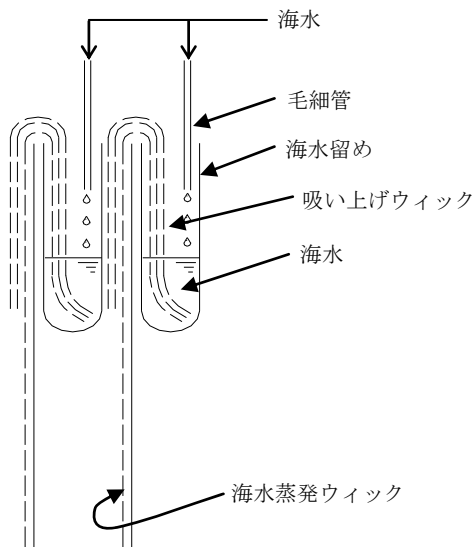
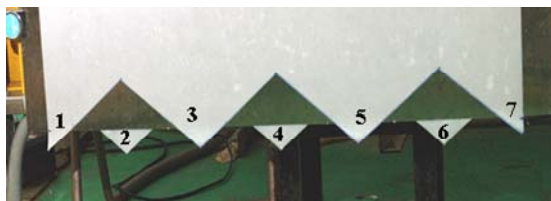


図5 鉛直蒸発器の海水供給



図7 海水が浸透・流下しているウィック



(a) 仕切り板の海水蒸発ウィックの面



(b) 背面に貼付けられた凝縮水回収ウィック

図6 濃縮海水と凝縮水の回収部

3.2 鉛直設置の蒸発器の試験結果

供給海水の均一な浸透流下

上端に供給した海水がウィック中を浸透する様子を図7に示す。ウィックの上端から浸透し始めてから30分後の写真である、ウィックの上部の暗い色の所は海水が浸透しており下方の白い所は乾いている。両領域の境界の浸透の前縁線はほぼ水平を保って下方へ前進していることから、ウィック中の海水の浸透・流下はほぼ均一であると判断できる。

海水供給能力の不足(問題点)

図5に示す構造の海水供給の方法では、蒸発ウィックからの蒸発に必要な海水量を十分には供給できないことが明らかになった。供給用のウィック(布)の種類と枚数(厚さ)を変えて実験を行ったが、満足のいく結果は得られなかった。板と板の間隔を狭く(5 mm程度以下)にする必要があるが、海水溜めと海水供給ウィックが板と板の間に挟まれることから5 mmの隙間に海水溜めの分も確保する必要があるため、供給ウィックを厚くするには限界がある(図5参照)。

4. 水平に近い傾斜の蒸発器と試験運転

4.1 本体の構造と構成要素

水平に近い傾斜で設置した多重効用蒸発器の写真を図8に示す。水平に近い角度での設置の場合、板の間にスペーサーを挟む方法では、板の自重によるたわみが生ずるためスペーサーが多数必要になることから、スペーサーではなくメッシュを挟む方法に変更した。また、板の下面で凝縮が生ずるため、そのままでは水平に近い傾斜の板の下面から凝縮液が滴下して濃縮海水に混入することから、それを防ぐため凝縮水を保持し、浸透・流下させるためのウィックを板の下面に貼り付けた。貼付けには、接着剤等を用いず、濡れたウィックの毛管力のみによるもの

とした。図9に示すように、仕切り板の間隔を約5mmに狭くすることができた。

蒸発器の構造要素とその寸法を表1に示す。今回の運転では、効用数を5段とした。市販の金属板やメッシュ・布(ウィック)を利用し、それらの市販品を使って寸法が最大になるように制作した。



図8 水平傾斜の蒸発器の写真



図9 蒸発器の板間隔

表1 蒸発器の構成要素

初段平板	110 cm × 240 cm, 5t, アルミニウム
蒸気ジャケット	加熱面積 101 cm × 201 cm, 木枠とアルミニウム
他の平板	104 cm × 204 cm, 0.8t プリキ板
蒸発ウィック	1 m 幅の綿布
凝縮ウィック	1 m 幅のアクリル製不織布
メッシュ	網目 7.5 × 7.5 mm, 1 m 幅 ポリエスル

4.2 改良した海水供給部

水平に近い傾斜の蒸発器の海水供給部を図10と11に

示す。海水は、ヘッドタンクから毛細管を経て各々の海水溜めに流入する。各々の海水溜めには二重のウィックの端が挿入されており、海水溜めと平板上の蒸発ウィック上端との間の橋渡しをしている。海水は二重ウィックに浸透して吸い上げられた後、二重ウィック中を浸透して蒸発器内の平板上面の蒸発ウィック中を浸透流下する。鉛直蒸発器の海水供給方法と原理は同じであるが、異なる点は橋渡しのウィックに折れがないことである。鉛直設置の蒸発器の海水供給方法では、板の上端でウィックが360°折れており(図5)、水平に近い傾斜のものではそのようなウィックの折れがない。

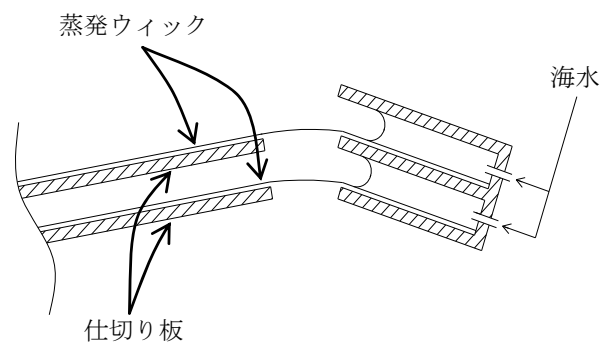


図10 水平に近い傾斜の蒸発器の海水供給



図11 供給部の写真

4.3 濃縮海水と凝縮水の分離回収部

水平に近い傾斜の蒸発器の回収部を図8と12に示す。濃縮水と凝縮水の分離回収の原理は鉛直蒸発器のものと同じであり、各々のウィックの下端の三角形底点から濃縮水と凝縮水を回収した。図12に示す通り、プラスチック

フィルムとメッシュにより、隣りあう濃縮水浸透ウィックと凝縮水浸透ウィックを分離した。図12のように、分離用のフィルムはウィック下端のみに設置した。

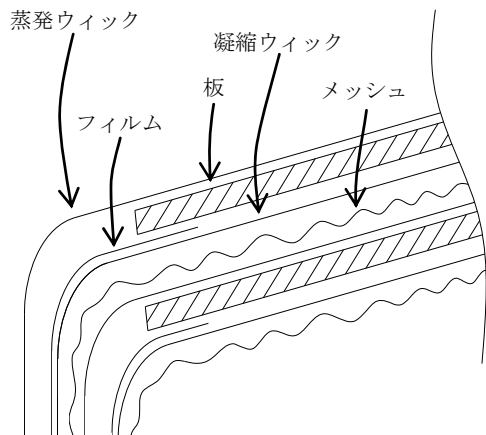


図12 水平に近い傾斜の蒸発器の濃縮海水回収部

4.4 試験運転の手順

下面に蒸気ジャケットを備えた第一平板の上面に蒸発ウィック、メッシュ2枚、凝縮ウィック、亜鉛メッキ鉄板を順に4セット重ねて置くことにより5段効用の蒸発器を組み立てた。最終段の板の上面には蒸発ウィックを置く。組み立てでは、各々の蒸発ウィックと凝縮ウィックができるだけ正確に重なるようにし、かつウィックにしわができないように重ねる。二人の作業で40分程度で組み立てが完了した。分解は約10分で完了した。

ヘッドタンクを介して、各海水溜めに水道水(今回は原水として海水ではなく水道水を使用)を供給し始め、下端の三角形底点からの水の滴下(蒸発ウィック全面に浸透したことを確認した後、第一段板の蒸気ジャケットにボイラーから水蒸気を供給し加熱を開始する。数時間待って定常状態になってから表2の項目を測定した。

表2 試験運転における測定項目

各ウィック下端からの濃縮水の回収量
各ウィック下端からの凝縮水の回収量
最終段の蒸発ウィックへの供給量
蒸気ジャケットからの凝縮水量
最終段蒸発面の温度分布
気温と室球温度
供給水(溜め部内)の温度

各々の段の左右上下端からの蒸気の濡れは観察されなかったため、蒸発量は測定した凝縮量に等しいとした。最終段蒸発ウィックからの周囲空気への蒸発量は、供給量から濃縮水量を差し引いて算出した。蒸気ジャケットからの凝縮水量を測定し、消費した蒸気量とした。

5. 試験結果と考察

5.1 単純な構造と容易な組み立て分解

ウィック(布)とメッシュと仕切り板は特別な加工を必要とせず、それらを重ねるだけという、大変単純な構造である。また、第一板の蒸気ジャケットについても、内圧が大気圧と差がない。今回の蒸発器では、木枠とアルミニウム板をネジ止めし、蒸気の漏れ止めのために充填材でシールしただけの単純な構造である。

前項で説明した通り、組み立てはウィック、メッシュ、板を重ねるだけのものであり、大変容易である。この組み立ての容易さはメンテナンスをも容易にする。

5.2 非加熱条件下の原水供給の実験

供給量の改善

上述の通り、鉛直設置から水平に近い傾斜の設置への変更に伴って、海水供給方法も変更した。表4の運転試験の結果に示される通り、運転に必要な水量(4.3~5.5 kg/hr)を供給することができた。

周囲空気の湿度が低い時や風速が大きい時には、全ての段で蒸発量が大きくなることから、それらを想定して供給量を表の値の約1.5倍にしてみたが、改良した方法は十分機能した。今回は供給部から蒸発ウィックへの橋渡しに、各々2枚のウィックを用いているが、さらに枚数を増やすことにより供給量の上限をさらに大きくすることも可能である。

このように、本方法により十分な流量で海水の供給が可能になった。この改善の最大の理由は、海水溜めから仕切り板への橋渡しのウィックの曲率を小さくしたことによると考えられる。

ウィック中浸透・流下の流量分布

図13に各々ウィックの下端の三つの三角形底点から回収した流量を示す。この図は、各ウィック中を浸透流下する水の流量のスパン方向の分布をおおまかに示す。本測定は、加熱は行わず蒸発のない条件で行った。第1、4、5段のウィック中の流れはほぼ均一であるが、第2、3段のウィックの流れの不均一である。

この不均一の原因については現在調査中であるが、流

量の均一性は海水溜めの水平設置と海水溜めから板までの橋渡しの距離、その間のウィックのしわの様子などに強く影響される傾向がある。それらの影響を把握すれば、蒸発ウィック中の均一な流下の実現は十分に可能であると考えられる。なお、供給部の設置が同じではないので、図13に示される流量分布と後述の加熱蒸発運転時の流量分布は異なると考えられる。

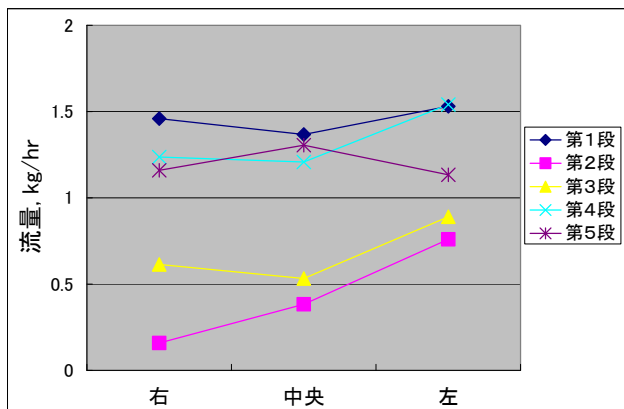


図13 三角形底点から回収した流量

5.3 蒸発運転試験

ボイラーから蒸気ジャケットに蒸気を送り、加熱蒸発の運転を行った。その際の周囲空気の状態を表3に示す。蒸発器は実験室内に置かれ、実験室の一つあるシャッターを開いて行ったが、特に風が吹き込むことはなかった。雨の日であり気温は24℃、湿度91%であった。

表3 周囲空気の状態

気温	24.35℃
湿球温度	23.3℃
相対湿度	91%
絶対湿度	0.0176 kg/kg'
風	ほぼ無風

濃縮水と凝縮水の分離回収

回収された濃縮水と凝縮水の写真を図14に示す。

濃縮水の方は、青色の綿布の蒸発ウィックから染料が溶け出して青くなっているが、一方、凝縮水の方は全くの透明である。これは濃縮水と凝縮水の混入がなかったことを示唆している。なお、凝縮ウィックには染料が使用されていないアクリル製不織布を用いた。

また、これとは別に、海水を供給して蒸発運転を行い回

収された凝縮水と濃縮海水の濃度を測定したが、凝縮水からは塩分は検出されなかった。濃縮海水の濃度は高くなっており、その値は蒸発量(凝縮量)から算出される濃度とほぼ一致した。



図14 回収された濃縮水と凝縮水

以上の結果より、蒸発面と凝縮面の間にメッシュを挟み、約5mmの間隔を保つという今回の方法により海水(原水)と凝縮水の混入を防止し得ると結論できる。

最終段蒸発面の温度分布

図15に蒸発器の最上面である最終段蒸発面の温度分布を示す。その面からは周囲空気中へ蒸発が生じている。図中の「左端」と「右端」は1m幅の蒸発ウィックの左右の端から10cm内側の線上を示す。蒸発面の温度は板の上端から流下方向距離約100cm(蒸気加熱の上端から約80cm)にかけて上昇し、その後はほぼ一定値をとる。

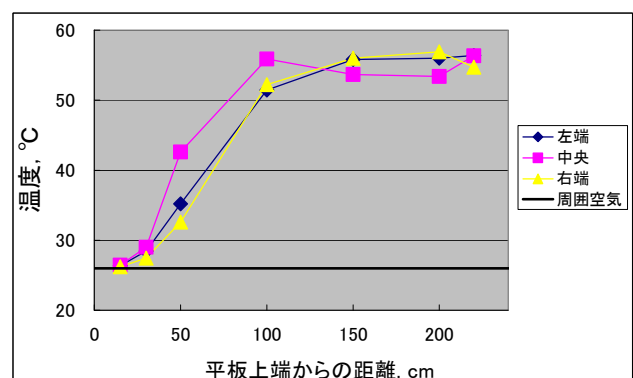


図15 最終段蒸発面の温度分布

各段の蒸発量および濃縮水量

表4に各段での蒸発量と濃縮水量を示す。また図16に各段の蒸発量を示す。初段から第4段にかけて蒸発量は低下する。そして、最終の第5段では、自然対流により

表4 蒸発量と濃縮量の測定結果 [単位は kg/hr]

効用数	1st	2nd	3rd	4th	5th	全体
蒸発量	3.87	3.09	2.97	2.63	3.59	16.59
濃縮水	0.51	2.18	1.32	2.18	1.85	8.04
供給量	4.38	5.27	4.29	4.81	5.44	23.56
消費蒸気	6.28	—	—	—	—	6.28

促進されて蒸発量が増大する。初段から第4段までの蒸発量の減少は、温度減少に伴い単段蒸発効率(全通過熱量に対する蒸気エンタルピー輸送量の割合(図3参照))が低下すること、また後の段ほど通過熱量が低下することの二つの理由による。前述の通り、凝縮水と濃縮水が各段からエンタルピーを持ち出すため通過熱流量が低下する。

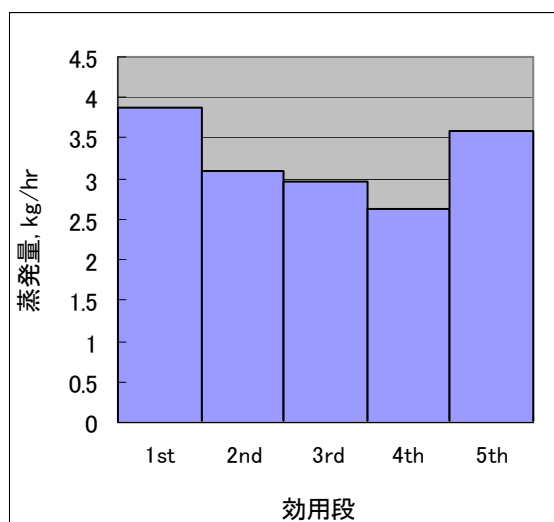


図16 各段蒸発量

初段への入力熱量と蒸発倍率

初段への入力熱量と蒸発倍率などの算出を表5に示す。この表では、熱量を蒸気量で示しており、表中の値に蒸発潜熱 2,400 kJ/kg を積算した値が熱量(kJ/hr)である。蒸気ジャケットから初段への入力熱量は、初段における供給水の顕熱上昇量と蒸発量および伝熱・放射熱量の和である(図3)。初段の温度は 100°C に近く、単段蒸発効率(全通過熱量に対する蒸発量の割合)は 90% 以上と見積もられることから、伝導・放射熱量は無視して初段への入力熱量を算出した。

蒸気ジャケットで消費された蒸気量から初段入力熱量を差し引いたものが蒸気ジャケットからの熱損失であり、約

29%の損失があったと見積もられる。この熱損失は、初段の板の左右端がジャケットの加熱面より約 5 cm 広くその部分が断熱されていないこと、およびジャケット下面の不完全な断熱によるものと考えられる。これらの改善によりこの熱損失は十分小さくできるものと考えている。

表5 蒸発倍率などの算出 (熱量を蒸気量で表示)

初段内の顕熱上昇量 = 供給量×比熱×温度上昇÷蒸発潜熱 = $4.38 \times 4.2 \times (100 - 26.3) \div 2400 = \underline{0.57 \text{ kg/hr}}$
初段への入力熱量 = 顕熱上昇量 + 蒸発量 = $0.57 + 3.87 = \underline{4.44 \text{ kg/hr}}$
熱損失 = 消費蒸気量 - 初段内への入力熱量 = $6.28 - 4.44 = \underline{1.84 \text{ kg/hr}(30\%)}$
蒸発倍率 = $\frac{\text{全蒸発量}}{\text{初段入力熱量}}$ = $16.59 / 4.44 = \underline{3.6 \text{ 倍}}$
生産速度 = $\frac{\text{全蒸発量}}{\text{蒸気ジャケットの加熱面積}}$ = $16.59 / 2.03 = \underline{8.17 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{hr)}}$

初段入力熱量に対する全段での蒸発量の総和の比を蒸発倍率と定義した。本運転の蒸発倍率は 3.6 倍であり、蒸気生産速度は $8.3 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{hr)}$ と算出された。運転条件は多少異なるが、野底らが理論モデルを用いて行った計算結果(図1)によれば、5段の蒸発器において蒸発倍率が約 4.2 倍、蒸気生産速度が蒸気加熱面 1 m^2 当たり $11.2 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{hr)}$ である⁶⁾。本蒸発器の蒸発倍率は理論の予測値より約 12% 低い。これは本蒸発器では蒸発面と凝縮面の間にメッシュが挟まれており、蒸気の拡散面積が小さいことによると考えられる。

一方、生産速度については、本蒸留器の値は理論値に比較して約 26% 低い。その理由は、理論では器外に流

出する高温の濃縮水や凝縮水からの熱回収を行っての予測であるが本運転では熱回収されていないこと、メッシュを用いたことによる蒸気拡散面積の減少などが考えられる。

以上の結果から、今回製作した蒸発器は、熱損失がない等の理想的条件下で理論予測された高い蒸発倍率と蒸気生産速度にかなり近い性能を示したものと判断できる。

6. まとめと今後の展望

単純な構造で高い熱効率の平行平板型海水濃縮器を開発することを目的に、実機に近い寸法の蒸発器を制作し試験運転を行った。最初に、蒸発ウィック中を海水が均一に流下する点を重視して鉛直に設置する蒸発器を制作した。海水の均一な流下は実現したが、その構造上の制限から海水の供給量が十分に行えないという問題が明らかになった。

次に、水平に近い傾斜の蒸留器を制作し、5段効用のものについて試験運転を行った。なお、今回の蒸発濃縮の試験運転では海水の代わりに水道水を原水として用いた。

得られた知見は、以下のようにまとめられる。

- (1) 制作した蒸発器は単純な構造であり、分解と組み立てが容易である。
- (2) 原水が浸透蒸発するウィックと凝縮水が浸透流下するウィックの間にプラスチックのメッシュを挟むことにより、蒸発濃縮された原水と凝縮水の混入を防止することができた。その際の蒸発面と凝縮面の蒸気拡散距離は約5 mmと見積もられる。
- (3) 蒸発ウィックと凝縮ウィックの下端を三角形にし、スパン方向に半周期ずらすことにより、各々のウィックの三角形底点から濃縮水と凝縮水を分解して回収することができた。
- (4) 原水供給部から蒸発ウィック上端までの橋渡しの間のウィックの折れを無くすことにより、水平に近い傾斜の蒸留器では十分な量の原水供給を実現した。
- (5) 原水供給部設置のわずかな差によって、いくつかの蒸発ウィック中の流下に不均一が生じたが、その他の段のウィックの中では均一な流下を実現した。
- (6) 蒸発器最上面の蒸発面の温度は流下方向に上昇し、板の上端から約100 cmの所から下流ではほぼ一定値をとる。

(7) 蒸発量は初段から第4段にかけて順次減少し、最終の第5段では自然対流に促進されて蒸発量は増加する。

(8) 本蒸発器は、蒸発倍率が約3.6倍、蒸気産速度が約8.3 kg/(m²hr)という性能を示した。これは理想条件下で理論予測された蒸発倍率の約88%、生産速度の74%に達する。

今回の試験運転で示された本蒸発器の性能は、実用化に向けて高く評価できると判断している。今後は、理論モデルに基づく性能予測との比較から明らかになった課題を解決するため蒸留器の改良を進め、性能をさらに向上させる予定である。

また、海水を蒸発器に供給しての運転を長時間行い、平板へのスケーリングの発生とウィックへの塩析出の有無についても調べる予定である。これらを通して、平行平板型海水蒸発器の実用化を早期に実現する所存である。

参考文献

- 1) K. Okuyama, *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.*, **57**, pp.365-367 (2003) (Japanese)
- 2) P.I. Cooper and J.A. Appleyard, "The Construction and Performance of a Three-Effect, Wick-Type, Tilted Solar Still", *Sun at Work*, **12**, pp. 451-490 (1994)
- 3) K. Ohshiro, T. Nosoko and T. Nagata, "A Compact Solar Still Utilizing Hydrophobic Poly (tetrafluoroethylene) Nets for Separating Neighboring Wicks," *Desalination*, **105**, pp. 207-217 (1996)
- 4) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, "Improvement of Performance of a Basin-Type-Multiple-Effect Coupled Solar Still by Increasing the Number of Distillation Cells with Narrow Diffusion Gaps," *Proc. of the 4th JSME-KSME Thermal Engineering Conf.*, **1**, pp. 253-258 (2000)
- 5) H. Tanaka, T. Nosoko and T. Nagata, "Experimental Study of Basin-Type-Multiple-Effect Diffusion Coupled Solar Still," *Desalination*, **150**, pp. 131-144 (2002)
- 6) T. Nosoko, T. Kinjo and S. Gima, *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.*, **58**, pp. 102-109 (2004) (Japanese)

No.0611

Development of High-Performance Multiple-Effect Diffusion Still Producing Highly Concentrated Seawater

Takehiro Nosoko

Department of Mechanical and Systems Engineering, Faculty of Engineering,
University of the Ryukyus

Summary

Multiple-effect diffusion stills producing concentrated seawater were examined to find their performance. The stills consist of a series of seawater-soaked wicks stuck on closely-spaced parallel plates with the first plate steam-heated at 100°C and the last plate cooled by evaporation into the ambient air. Seawater evaporates from the wicks, and the vapor diffuses through the narrow spaces and then condenses on the other sides of plates. The first plate has a steam jacket for heating the first plate.

Two stills were constructed; all parallel plates were hung vertically for a still, and the second to the last plates were laid down on the first plate tilted at 9° from the horizon for another still. Wicks were stuck underneath the second to the last tilted plates to soak the condensate, and plastic meshes were sandwiched between the plates. Seawater was fed at the top ends of the seawater-soaked evaporating wicks, and concentrated seawater and condensate were collected at the bottom ends of wicks. The plates were spaced with 5mm gaps between them for both stills without any local contact between the concentrated seawater and the condensate.

Every plate has a small reservoir, and a wick soaks up seawater in the reservoir to feed it to the evaporating wick stuck on the plate. Seawater flows more uniformly in wicks on the vertical plates than those on the tilted plates. The wicks are capable to feed more amount of seawater to the evaporating wicks on the tilted plates than those on the vertical ones.

We tested the performance of the tilted still with 5 wicks of 1 m by 2 m evaporating area, feeding it tap water in place of seawater. The tap water fed to the fifth wick increases its temperature in around 1 m in the flow direction and then keeps it nearly constant downstream. The first wick showed the largest evaporation rate of 3.9 kg/hr, and the rate becomes smaller on the second, the third and the fourth wicks in order. The fifth wick in contact with the ambient air showed the second largest rate of 3.6kg/hr because of the evaporation enhanced by the natural convection.

The still showed a coefficient of performance (the ratio of total heat of evaporation from all wicks to the heat input into the first plate) of 3.6 and a 16.6 kg/hr production rate (total amount of evaporation from all wicks). These are respectively 88% and 74% of theoretical predictions by Nosoko et al. (*Bull. Soc. Seawater Sci., Jpn.* **58**, 102-109, 2004)..