

論文要旨

論文題目： Basin—多重効用複合型太陽海水淡水化蒸留器の研究・開発

砂漠地帯などの乾燥地域や、土壌の保水能力が低い離島などでは、年間を通して慢性的な水不足に悩まされており、また、年間降水量の多い熱帯地方においても乾季には降雨がほとんどないため、これらの地域において、飲料水の確保は重要な課題である。また、発展途上国の貧しい集落では、上水道整備の遅れから衛生的な飲料水の確保が困難であり、非衛生的な水の摂取による乳幼児の健康への影響も深刻である。このため、高度な技術が必要としない、安価な分散型の淡水化装置が求められているが、太陽熱を熱源とする海水淡水化装置(蒸留器)はそのニーズを満たし得るものである。

太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器の研究は古くから行われており、これまでに様々な型の蒸留器が考案されてきた。中でも、Basin型蒸留器は最も簡単な構造をしており、海水の入った水盤および水盤を覆う透明なカバーから構成されている。水盤内の海水は太陽熱により加熱され、発生した水蒸気がカバー下面で凝縮し、淡水として回収される。Basin型蒸留器の構造は大変単純であるが、1日に得られる蒸留量が水盤面積 1m^2 あたり最大で5~6kg程度と少ないことが欠点である。

多重効用型蒸留器は、水蒸気の凝縮潜熱を再利用し、海水の蒸発・凝縮の過程を複数回繰り返し行う構造であり、これまで研究されてきた太陽熱蒸留器の中で最も性能が高い。CooperとAppleyardは、カバーガラス板、上面が太陽光吸収面である仕切り板および3枚の仕切り板を、上から順に、空気層を介して平行に配置した3段効用(3回の蒸発・凝縮過程の繰返し)の蒸留器を製作し、屋外実験を行った。最下面を除く全ての仕切り板の下面には、ウィックが貼り付けられ、海水が一定流量で供給される。太陽光集熱板の下面のウィックから発生した水蒸気は、空気層を拡散し2枚目の仕切り板の上面で凝縮する。その際に放出される潜熱は、2枚目の仕切り板の下面のウィックに伝わり、ウィック中の海水を加熱

氏名 田中 大

(様式第3号)

し、水蒸気を発生させる。この蒸発・凝縮の過程が2段目、3段目で繰り返されること（すなわち、熱の再利用）により、装置全体の蒸留量は増大する。

しかし、従来の多重効用型蒸留器は、海水を含んだウィックが凝縮面の上方に位置するため、海水が蒸留水に混入しやすいという欠点を持っている。海水の蒸留水への混入は、多くの場合、仕切り板の自重によるたわみによりウィックと凝縮面が接近し、かつ、ウィックのけばが海水を含むことにより重くなり、向かい合う凝縮面に触れることによって生じる。

本論文は、Basin型と鉛直の多重効用型を組み合わせた、新しい型の、Basin—多重効用複合型太陽熱海水淡水化蒸留器を提案し、その蒸留特性を理論的および実験的に解明するものである。まず、従来の多重効用型の欠点である、海水の蒸留水への混入の原因を明らかにすること、および海水を蒸留水に混入させることなく、蒸発面と凝縮面を何mmまで小さくできるかを調べることを目的とし、多重効用部内の一段を模擬した単段の鉛直蒸留器を製作し、屋内実験を行い、ウィックの表面状態の観察および蒸留性能試験を行った。次に、本複合型蒸留器についての理論解析モデルを作成し、数値シミュレーション計算を行い、気象、設計および操作パラメータについての様々な条件における本複合型蒸留器の蒸留性能を予測し、最適な設計および操作条件を明らかにした。最後に、得られた知見に基づいて本複合型蒸留器の実験装置を設計・製作し、本学（琉球大学西原キャンパス）において実際の太陽日射の下で屋外実験を行い、理論解析モデルの妥当性を確認するとともに、本蒸留器の高効率、メンテナンスの容易さを実証した。さらに、本蒸留器の結果を他の太陽熱蒸留器の屋外実験結果と比較することにより、本複合型蒸留器の蒸留性能の高さを確認した。

本論文の第1章の緒論は、本研究の背景について、特に従来の多重効用型蒸留器について詳細に述べた。

第2章では、新しい型のBasin—多重効用複合型蒸留器を提案し、その蒸留原理および特徴を述べた。本複合型蒸留器は、従来の片屋根式Basin型蒸留器の太陽に向かう斜面に二重

氏名 田中 大

(様式第3号)

カバーガラスを、他の鉛直面に、ウィックを貼り付けた仕切り板を狭い空気層を介して多数枚配置した多重効用部を持つ構造をしており、多重効用部で蒸発・凝縮の過程を繰り返すことにより、太陽熱を再利用し、多くの蒸留量を得ることができる。本複合型蒸留器において、仕切り板を鉛直に設置することによって生ずる利点、蒸留量の季節変動が小さいこと、製作およびメンテナンスが容易であることを概説した。

第3章では、多重効用部内の一段を模擬し、凝縮面にガラス板を用いてウィック表面の観察を可能にした単段の鉛直な蒸留器を製作し、室内実験を行うとともに数値シミュレーション計算により解析し、得られた結果について述べた。蒸留器を鉛直に設置することにより、ウィックからのけばが自重により垂れ下がり、ウィックに貼り付くことを観察し、蒸発面と凝縮面の間隔を2mmまで狭くしても、海水が凝縮（蒸留）水に混入しないことを確認した。また、ウィックへの海水供給量をウィックからの蒸発量の1.6倍まで少なくした場合でも、ウィックに乾き面が生じないことを確認した。さらに、仕切り板の間隔を狭くすることにより、蒸留器の蒸留効率が向上し、蒸発面と凝縮面の間の湿り空気層の伝熱抵抗が指数関数的に減少することを明らかにした。

第4章では、本複合型蒸留器に関する理論解析モデルおよび数値シミュレーション方法について述べるとともに、シミュレーション結果について記述した。本数値シミュレーションの結果、蒸留器内の熱の流れおよび太陽高度の蒸留性能への影響が明らかになり、さらに、各種条件の蒸留性能に及ぼす影響が明らかになった。特に、隣り合う仕切り板の間隔を狭くすることにより、仕切り板の枚数を増加することが可能になり、両者の効果として蒸留量が著しく増加することが明らかになった。得られた結果を元に、本複合型蒸留器の最適設計条件を求めるとともに、シミュレーション計算結果を従来のBasin型蒸留器のシミュレーション計算結果と比較、検討した。

第5章では、4章で得られた理論解析の結果を元に設計、製作した本複合型蒸留器の屋外実験結果について述べた。琉球大学構内に本蒸留器を設置し、蒸留量および日射量の1日の経時変化、1日に得られた各凝縮面からの凝縮量を測定し、シミュレーション計算結果と比

氏名 田中 大

(様式第3号)

較することにより、本理論解析モデルの妥当性を確認するとともに、本蒸留器の高効率およびメンテナンスの容易さを実証した。さらに、屋外実験の結果を従来の多重効用型蒸留器の屋外実験結果と比較することにより、本複合型蒸留器の蒸留性能が、従来の蒸留器よりも優れていることを明らかにした。


最後に第6章で本論文の結論を述べる。


氏名 田中 大


2007年2月22日


琉球大学大学院
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 長田 孝志 

副査 氏名 親川 兼 


副査 氏名 森田 大 

副査 氏名 野底 武浩 

学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 生産工学氏名 田中大 学籍番号 
指導教官名	長田 孝志
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格 最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格
論文題目	Basin—多重効用複合型太陽熱海水淡水化蒸留器の研究・開発
<p>審査要旨（2000字以内）</p> <p>砂漠地帯などの乾燥地域や、土壌の保水能力が低い離島などでは、慢性的な水不足に悩まされている。また、発展途上国の貧しい集落では、衛生的な飲料水の確保が困難であり、非衛生的な水の摂取による乳幼児の健康への影響も深刻である。このため、高度な技術を必要としない、安価な分散型の淡水化装置が求められているが、太陽熱を熱源とする海水淡水化装置（蒸留器）はそのニーズを満たし得るものである。</p> <p>太陽熱蒸留器の中で最も構造が簡単なものにBasin型蒸留器がある。これは、海水の入った水盤および水盤を覆う透明なカバーから構成されている。海水は太陽熱により加熱され、発生した水蒸気がカバー下面で凝縮し、淡水として回収される。Basin型蒸留器の構造は大変単純であるが、1日に得られる蒸留量が少ないことが欠点である。</p>	

審査要旨(つづき)

一方、多重効用型蒸留器は、水蒸気の凝縮潜熱を再利用し、海水の蒸発・凝縮の過程を複数回繰り返す構造であり、これまで研究されてきた太陽熱蒸留器の中で最も性能が高い。太陽熱で加熱された仕切り板の裏面にウィックを貼付し、そのウィックに海水を一定量流し発生した水蒸気は空気層を拡散し、2枚目の仕切り板表面で凝縮する。その際放出する潜熱は裏面貼付のウィックに伝わり、ウィック中の海水を再び加熱し水蒸気を発生させる。この蒸発・凝縮の過程が2段目以降で繰り返されることにより装置全体の蒸留量が増大する。

著者は、上述の Basin 型と鉛直の多重効用型を組み合わせた、新しい型の、Basin—多重効用複合型太陽熱海水淡水化蒸留器を提案し、その蒸留特性を理論的および実験的に解明している。まず、①従来の多重効用型の欠点である、海水の蒸留水への混入の原因を明らかにすること、および蒸発面と凝縮面を何 mm まで小さくできるかを調べるため、多重効用部内の一段を模擬した単段の鉛直蒸留器を製作し屋内実験を行った。次に、②本蒸留器についての理論解析モデルを作成し、数値シミュレーション計算を行い、様々な条件における蒸留性能を予測し、最適な設計および操作条件を明らかにした。最後に、③得られた知見に基づいて本蒸留器の実験装置を設計・製作し、琉球大学において屋外実験を行い、理論解析モデルの妥当性を確認するとともに、メンテナンスの容易さを実証した。さらに、実験結果を他の太陽熱蒸留器の結果と比較することにより、本蒸留器の蒸留性能の高さを確認した。

これらの研究を通して得られた具体的な知見は以下の通りである。

1 単段の鉛直な蒸留器の室内実験と数値シミュレーション計算の結果より、

(1)蒸留器を鉛直に設置することにより、ウィックのけがが自重により垂れ下がり、ウィックに貼り付くことを観察し、蒸発面と凝縮面の間隔を2mmまで狭くしても、塩水が凝縮水に混入しないことを実験的に確認した。

(2)仕切り板の間隔を狭くすることにより、蒸留器の蒸留効率が向上し、蒸発面と凝縮面の間の伝熱抵抗が指数関数的に減少することを理論計算により明らかにした。

2 本蒸留器およびBasin型蒸留器の数値解析モデルを作成し、そのシミュレーション結果より、

(1)蒸留器内の熱の流れが明らかになった。

(2)太陽高度が低いほど多重効用部への熱流束が大きくなり、蒸留量が増加する。

(3)本蒸留器のカバーガラスの角度は $40\sim 45^\circ$ の範囲で最適値を取る。

(4)多重効用部の仕切り板の間隔 δ_p が狭いほど、また効用数 n が大きいくほど蒸留量が増加する。

3 本蒸留器の実験装置を製作し、屋外実験とシミュレーション計算の結果より、

(1)多重効用部の各ウィックに塩水を供給して実験を行い、凝縮水に塩分は検出されなかった。

(2)屋外実験の測定値はシミュレーション計算値とよく一致し、本シミュレーションの妥当性を確認した。

(3)仕切り板と仕切り板の間にスペーサーを設置することで、ウィックと凝縮面の接触をある程度防止できることが明らかになった。

(4)2000年10月2日の実験において最高の蒸留量が得られ、その日の日射量は $21.4\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ であり、得られた総蒸留量は $18.8\text{kgm}^{-2}\text{day}^{-1}$ であった。この実験結果は、世界でもトップレベルの性能である他の多重効用型蒸留器よりも高く、本蒸留器が非常に高い性能を有していることが明らかになった。

以上要するに、本論文は、新しい Basin—多重効用複合型太陽熱蒸留器を提案しその蒸留性能および蒸留特性を理論的、実験的に検討し最適設計および操作条件を提示するとともに、本蒸留器ならびに Basin 型蒸留器に関する熱・物質移動の解析モデルとシミュレーション方法の有効性を検証しており、伝熱工学上寄与するところが大きい。

最終試験は論文発表会をもって充てた。仕切り板の材料選択、カバーガラスの最適角度の根拠、解析モデルの一般性、海水の物性とウィック材の汚損・劣化およびシミュレーションへの影響、蒸留性能の比較基準等についての質疑ならびに環境への影響に関するコメントがあり、著者はこれらについての確に回答し理解が得られた。

よって本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認め、最終試験も合格と認める。