

事例 1

太陽熱を利用した 海水淡水化蒸留器について

久留米工業高等専門学校 田中 大*

*たなか ひろし：機械工学科 教授

はじめに

日本では水不足に悩まされることがあっても、水道の取水制限もほぼなく、汚れた水を飲んで健康被害にあうことは特殊なケースを除いてほとんどないと言ってもよい。しかし、経済的に豊かではない国々においては、インフラ施設の整備が不十分な地域も多く、そのような地域においては、いまだに非衛生的な水の摂取による、特に乳幼児の健康被害は深刻な問題となっている。

著者自身、もう25年以上前の話にはなるが、NGOのボランティアの一員としてインドネシアのとあるNGO団体を訪問し、そのNGO団体の活動を紹介されたときの衝撃が、その後の大学院から現在まで続けている研究活動の原点となっている。現在ではもうすでに改善されているかもしれないが、当時、インドネシアの農村では、溜池をつくって雨季の間に水を溜め、その水を乾季の間に利用しているところが多いという内容であった。雨季の間は溜池の水も澄んでおり、それを直接飲むのも問題はないが（池の水を直接飲むということも、当時大学生の著者には衝撃だったが）、乾季に入ると溜池の水の濁りもどんどんひどくなり、その濁った水を直接飲み、そのために体を壊す人も多い、ということであり、そのNGO団体はこれを改善するための活動をしているとのことであった。

改善の方法は、濁った水を壺に汲み、その中に、ある植物の種をすりつぶしたものをに入れて水を攪拌すると、静電気がイオンの効果によって泥の粒子がすりつぶした種に吸い寄せられ、数時間安置すると泥が沈殿し、上澄みを汲めば澄んだ水を利用できるというものであった。また、その植物も村に普通に自生しているものということだった。この方法では、泥を除去できるだけで、日本の基準ではその上澄みも決して衛生的とは言えないものであるが、この手法をある農村に取り入れ、さらに上澄みを煮沸してから飲むように指導したところ、その村の健康被害は劇的に少なくなり、村の住民から感謝されているとの説明を受けた。

蛇口をひねれば飲むことのできる水をいつでもどこでも手に入れることができる日本で育った著者にとって、衛生的な水を飲むことができない地域があるということがまず非常に衝撃的であった。また、日本では高価かつ複雑な機械を使って問題を解決しようとしがちだが、現地に当たり前にあるもの（壺や自生している植物の種）を利用して問題を解決するという、持続可能な解決手段を考案するという非常に感銘を受けた。NGO団体の職員いわく、高価な装置を導入しても、1度壊れるとその後は使い物にならないため、現地で購入可能なもので問題を解決しないと、村の人にずっと使ってもらうようにはできないということだった。

当時、工学部の学生だった著者は、自分の学ん

でいることが世の中のどこに役立っているのかわからず、将来何をすべきなのかということについてまったく考えがなかったのだが、このときの経験がきっかけで、大学院から太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器の研究を始めることとなった。なお、日本は幸い水資源に恵まれた国であるため、この分野の研究者は多くないが、水不足に苦しむ地域(南アジア・中東・アフリカなど)においては、研究が非常に盛んである。

太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器

太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器(以下、太陽熱蒸留器)の中でも、最も単純な構造を持つ、水盤型蒸留器の概略を図1に示す。水盤型蒸留器は、海水の入った水盤とカバーガラスから構成され、蒸留器は密閉されている。カバーガラスを透過した太陽光は水盤内の海水に吸収され、海水が加熱・蒸発する。発生した水蒸気が自然対流によって蒸留器内部を上昇し、カバーガラス下面で冷却・凝縮し、蒸留水として回収される。なお、洗濯物が常温で乾燥するのと同様に、水盤内の海水温度が沸点に達しなくてもこの蒸発・凝縮が生じる。

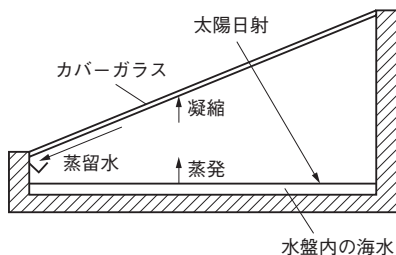


図1 水盤型蒸留器

一方、水盤型蒸留器の水盤の代わりにウイックと呼ばれる保水性の高い布を用いた蒸留器が傾斜ウイック型蒸留器(図2)である。ウイックには一定量の海水が連続的に供給され、海水を含んだウイックが水盤の代わりとなる。傾斜ウイック型蒸留器は、蒸留器を設置する場所や季節に合わせて蒸留器を最適な角度で設置ことができ、加熱する海水の量を水盤型蒸留器と比較して大幅に減少

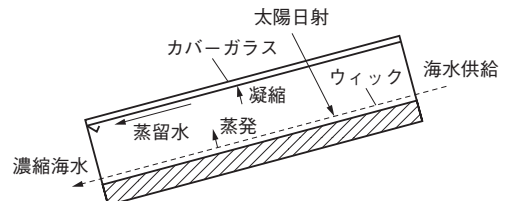


図2 傾斜ウイック型蒸留器

できることが利点であるが、一定量の海水を連続的に供給するための装置が必要となることが欠点である。

水盤型蒸留器および傾斜ウイック型蒸留器は、水蒸気が凝縮する際に放出する凝縮潜熱をカバーガラスから蒸留器外部に捨てることになるため、蒸留器内部で生じる蒸発・凝縮の過程は1回のみであり、単効用型蒸留器と呼ばれる。水の蒸発に必要なエネルギー(蒸発潜熱)は1kg当り、約2.5MJであり、1日の日射量(地上に降り注ぐ太陽エネルギー)が夏季において1日1m²当り、おおむね25MJである。したがって、太陽エネルギーのすべてを損失なく水の蒸発に利用できた場合でも、集光面積1m²の蒸留器では1日に10kgの淡水化能力が限界であり、各種の損失を考慮すると1日1m²当り5kg程度の淡水化能力となる。人間が1日に必要とする水分量は、緊急時において2kg程度、通常時では5kg程度である。1日1m²当り5kgの淡水化能力の場合、5人家族であればその要求量を満たすためには最低でも5m²の敷地面積を持つ単効用型蒸留器が必要となるため、かなり大型の装置となる。この、太陽エネルギー密度の低さに起因する太陽熱蒸留器の淡水化能力の限界が、太陽熱蒸留器が広く普及しない最大の理由である。

この弱点を克服するために考案されたのが、多重効用型蒸留器である。多重効用型蒸留器の一例(上方加熱式多重効用型蒸留器)を図3に示す。この蒸留器は、カバーガラスおよび狭い間隔で平行に配置された複数枚の仕切り板で構成される。各仕切り板の下面にはウイックが貼り付けられ、各ウイックには一定量の海水が連続的に供給される。蒸留の原理は以下の通りである。太陽光はカバー

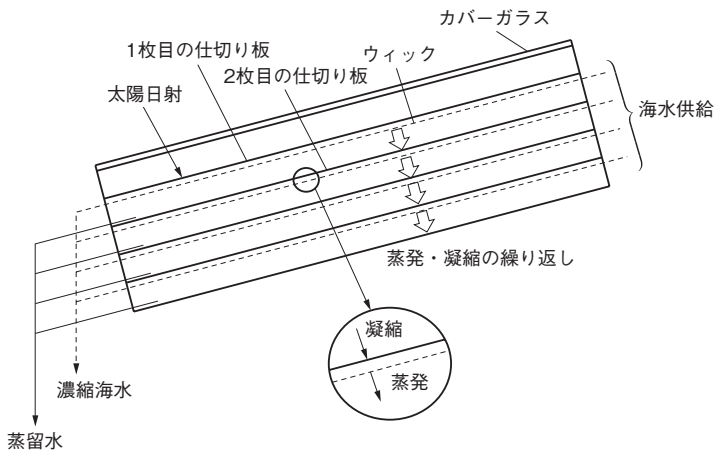


図3 上方加熱式多重効用型蒸留器

ガラスを透過して、1枚目の仕切り板上面で吸収される。この太陽エネルギーにより、1枚目仕切り板下面のウィック中の海水が加熱・蒸発する。発生した水蒸気は狭い湿り空気層を拡散して2枚目の仕切り板上面に達し、ここで凝縮して淡水として回収される。単効用型蒸留器では、この凝縮により発生する凝縮潜熱は蒸留器外部へ捨てられるが、多重効用型蒸留器においては、この凝縮潜熱によって2枚目の仕切り板下面のウィック中の海水が加熱・蒸発する。そして、発生した水蒸気が3枚目の仕切り板上面で凝縮する。このように、多重効用型蒸留器においては、蒸発・凝縮の過程が1枚目の仕切り板から最下部の仕切り板まで繰り返され、太陽エネルギーは最終的に最下部の仕切り板から外部に放出される。したがって、水蒸気の凝縮潜熱を蒸留器内部で複数回再利用することにより、蒸発・凝縮の過程が繰り返され、蒸留量は大幅に増加する。太陽集熱パネルと組み合わせた鉛直多重効用型蒸留器（仕切り板を鉛直に配置した蒸留器）の場合、18回の蒸発・凝縮を繰り返すことにより、1日の日射量が約25 MJ/m²の日に、集熱面積1 m²当り1日に最大で40 kg程度の淡水化が可能であることが報告されており¹⁾、単効用型蒸留器と比較して8倍以上の淡水化能力となる。一方、多重効用型蒸留器は、単効用型蒸留器と比較して蒸留器の構造が複雑になり、製造・保守費

用も高くなることから、広く実用化された例はない。

そのほか、集光用の鏡、太陽集熱パネル、蓄熱材量などの利用による太陽熱蒸留器の性能改善といった研究が盛んに行われているが、実用化には大きなブレークスルーが必要であると考えられる。

太陽熱蒸留器の蒸留量予測

太陽熱蒸留器内部においては、熱と物質（水蒸気）の移動が生じるため、熱物質移動現象モデルとして興味深い対象となる。著者は、久留米高専の専攻科において「移動現象論」の授業を担当しているが、そのケーススタディの1つとして水盤型蒸留器の蒸留量の計算を行っている。ここでは、その内容を紹介する。なお、研究レベルにおいてはより詳細な計算が必要となるが、概略計算ではこの内容でも十分だと考えられる。

水盤型蒸留器内部の熱・物質移動モデルを図4に示す。本計算モデルの主な仮定は以下の通りである。

- ①蒸留器は十分広く、側壁の影響は無視できる
- ②蒸留器内部では自然対流が生じる
- ③水盤底面から断熱材を通して熱伝導が生じる
- ④非定常項は無視できる

太陽光はその一部がカバーガラス (g) に吸収され、カバーガラスを透過した太陽光が水盤内の海水 (b) に吸収される。したがって、カバーガラスおよび水盤内の海水で吸収される太陽エネルギー、

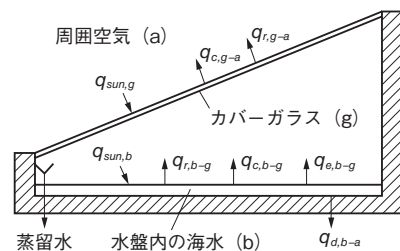


図4 水盤型蒸留器における熱・物質移動