

D1 太陽熱利用膜構造蒸留器内の熱収支評価

The estimation of heat budget in solar still with envelope architecture

共生環境評価領域

08E08070 松尾智仁 (Tomohito MATSUO)

Abstract: In this study, the simulation model for estimating temperature, vapor and condensation in solar stills with envelope architecture was developed. The model consists of heat budget on four layers (outer side and inner side of envelope, inner air, and water). Temperature on four layers was obtained from the heat budget of sensible heat flux, and latent heat flux, radiation heat flux and conductive heat flux. In order to estimate the heat flux through the condensing surface on the still, the theory that the size distribution of the dropwise condensation obeys to the fractal law was used. From comparison with the model with the filmwise condensation, it was found that the model with dropwise condensation made heat flux large.

Keywords: solar still, heat budget, fractal, dropwise condensation

1.はじめに

地球人口の増加とともに淡水需要が増加している一方、森林減少や路面舗装などにより環境の淡水保持力は低下している。本研究で扱う蒸留器は、淡水需要に応えるための技術の一つである。

水蒸気が固体表面で凝結するとき、凝結の形態として滴状凝結(dropwise condensation)と膜上凝結(filmwise condensation)の2形態があり、滴状凝結の方が凝結面を通過する熱フラックスが大きいことは広く知られる。Meiら¹⁾によると、凝結面上の液滴サイズ分布は凝結がある程度進行すると定常状態となる。また、Meiら²⁾によると凝結面を通過する熱フラックスは凝結面上の液滴分布と液滴ひとつあたりの熱輸送から計算することができる。蒸留器内の熱収支を詳細に検討した研究は少なく、特にその凝結面の熱フラックスが液滴凝結によるものであることに注目している研究はほとんどない。そこで本研究ではMeiら²⁾のモデルを導入した蒸留器内の熱収支モデルを構築することで蒸留器内の熱収支のより詳細な評価を行うことを目的とする。また、本研究で構築した熱輸送モデルの妥当性の検証のため、紀田³⁾の研究を参照して紀田の実験結果との比較を行うとともに、一般的な熱輸送モデルを用いて蒸留器内の熱収支を評価するモデルを構築して比較を行った。

2. 蒸留器内熱輸送モデル

本研究では1次元モデルによるシミュレーションによって蒸留器内の熱収支、造水量などを評価した。蒸留器内を膜、内部空気、水の3層に分け、さらに膜は外側と内側の2層に分けた。これら4層を蒸留器と定義し、各層の流入出フラックスの計算により蒸留器内の熱収支を評価した。

2.1 基礎方程式

上述1次元モデルの各層に対し、顕熱、潜熱、放射のフラックスを計算した。

本研究で構築したモデルでは、凝結面を通過する熱フラックスをMeiら²⁾のモデルによって求める。このモデルでは、まず凝結面の液滴のサイズ分布を求める。Meiら¹⁾によれば凝結面の液滴のサイズ分布はフラクタル則に従うため、フラクタル則を微分することで凝結面の液滴のサイズ分布関数の導関数(式(1))を導出できる。

$$N'(r_c) = N_0 d_f \frac{r_{c,\max}^{d_f}}{r_c^{d_f+1}} \quad (1)$$

r_c :液滴半径(m)、 $N'(r_c)$:半径 r_c の液滴の密度(/m)、 N_0 :定数(-)、 d_f :液滴分布のフラクタル次元、 $r_{c,\max}$:凝

結面に存在する液滴の最大半径(m)

また、Meiら²⁾は液滴ひとつあたりの熱輸送式(式(2))を導出している。

$$H_s + E_s = \frac{\Delta T - \frac{2T_s \gamma}{h_{fg} \rho r_c}}{\frac{1}{2\pi h_i r_c^2} + \frac{1}{4k\pi r_c}} \quad (2)$$

H_s :液滴ひとつあたりの顕熱輸送(W)、 E_s :液滴ひとつあたりの潜熱輸送(W)、 ΔT :内部空気と膜内側の温度差(K)、 T_s :内部空気温度(K)、 γ :表面張力(N/m)、 h_{fg} :蒸発潜熱(J/kg)、 π :円周率(-)、 h_i :液滴表面の伝熱係数(W/m²·K)、 k :水の熱伝導率(W/m·K)

式(1)、式(2)の積をすべての液滴半径について積分することで凝結面を通過する熱フラックスが求められる。

3.シミュレーション結果

図1に示す冬季条件でのシミュレーション結果では、13~17時の水温が紀田による実験値よりも3~4K程度高くなったが、それ以外の時間帯ではよく一致した。また、膜温は1日を通してよく一致した。しかし、積算造水量は大きくずれた。ここから蒸留器内部の自然対流の影響をモデルが過小に見積もっていることが示唆される。

図2に示す夏季条件でのシミュレーションでは、膜状凝結モデルと滴状凝結モデルの結果に違いがみられた。この違いは凝結面を通過する熱フラックスの計算モデルの違いであると考えられる。膜状モデルに比べて滴状モデルは日中の内部空気と膜内側の温度差が小さくなっており、これは滴状モデルにおける内部空気から膜内側への熱フラックスが膜状モデルよりも大きいことを意味する。

一般に、滴状凝結面の熱輸送は非凝結面や膜状凝結面の熱輸送よりも大きくなるのが知られるため、膜状モデルに対して滴状モデルの熱フラックスが大きくなったことは、本研究で構築したモデルの妥当性を示唆している。

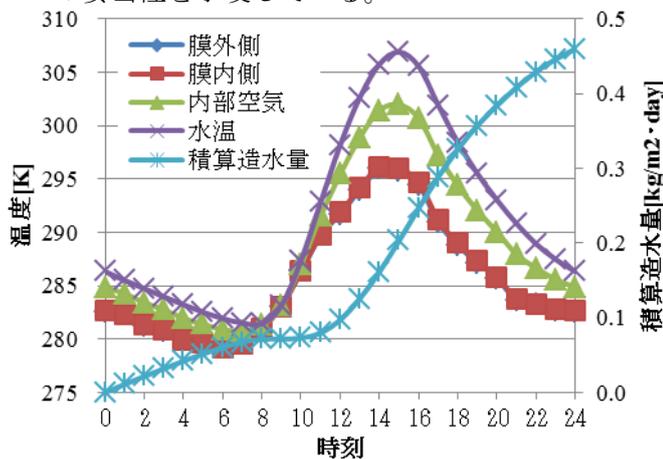


図1 冬季条件でのシミュレーション結果

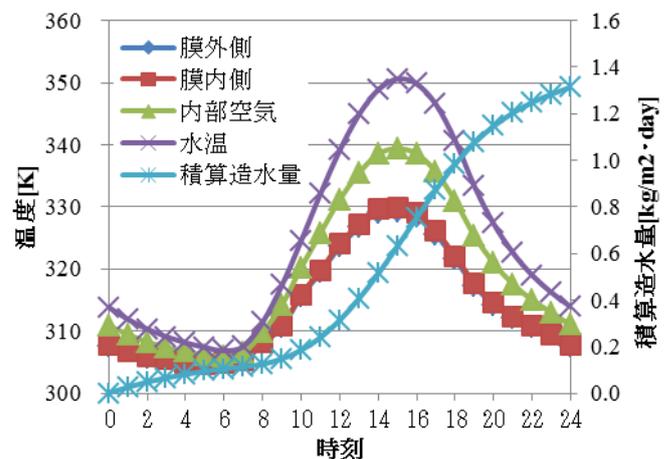


図2 夏季条件でのシミュレーション結果

参考文献

- 1) M. Mei, B. Yu, M. Zou, L. Luo, "A numerical study on growth mechanism of dropwise condensation", International Journal of Heat and Mass Transfer 54 pp.2004-2013, 2011.
- 2) M. Mei, B. Yu, J. Cai, L. Luo, "A fractal analysis of dropwise condensation heat transfer", International Journal of Heat and Mass Transfer 52 pp.4823-4828, 2009.
- 3) 紀田征也, "太陽熱利用膜構造蒸留器による海水淡水化システム", 大阪大学卒業論文(1998)