Indoor performance tests of a new type solar still (II) - effect of moist-air circulation on distillate output -

新型太陽熱蒸留器の室内性能実験 (II) —循環型にした場合の効果—

Fujio SUDA, Emi KOBAYASHI and Miyoko KUMEKAWA

Department of Resources and Environment Science, School of Humanities and Culture,
Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-12, JAPAN
TEL:81-463-58-1211 FAX:81-463-50-2208

(Received 8, November 1996 Accepted 14, May 1997)

In our previous study [J.Adv.Sci.8,57(1996)], results of the indoor performance test of a tilted-tray, wick type solar still with a condensing chamber have been reported. In the present study, this solar still has been improved so as to be a circulation type, where the moist air can circulate between the evaporator and the condenser. Performance tests were done and their results have been compared with those of the non-circulation type. The distillation efficiency was considerably improved, especially at lower solar insolation, and its performance characteristics became more stable to irradiation changes.

Key words: Solar Still, Distillation Productivity, Distillation Efficiency, Wick.

I. INTRODUCTION

本研究は太陽熱蒸留器と透析電池の組み合わせにより、海水と太陽熱から発電する「太陽熱膜電池(SMC)」¹の可能性を探る一連の研究のひとつである。SMCでは、太陽熱蒸留器は太陽熱エネルギーを塩分濃度差のエネルギーに変換し、貯蔵する装置と見ることが出来る。透析電池の発電量を増大させる為には、動作温度を高くし、かつ濃度差が大きいことが要求される。太陽熱蒸留器の効率を上げ、その収量を増大させることは、同時に排水される塩水濃度の上昇を意味し、最終的にSMCの性能向上をもたらすはずである。

太陽熱蒸留器に関しては、これまでにBasin型、傾斜型など種々なタイプ、方式のものが提案され、²一部は実用化されている。現時点において、単位集光面積当たりの収量が最も大きい蒸留器は、多重効用型蒸留器³⁻⁵である。これは傾斜ウィック型などの単段式蒸留器を多数段重ねた構造を持ち、蒸発潜熱を有効に利用するところに特徴がある。しかし、これは構造がやや複雑で、製作運転に高い技術が必要とされる。⁵そこで、われわれはあくまで構造が簡単で操作性のよい単段式蒸留器の性能改善を目指すことにした。

前報⁶においてわれわれは、「凝縮室付き傾斜

トレイ・ウィック型太陽熱蒸留器」を製作し、その室内性能測定結果について報告した。そこでは、次のような結果が得られた。(1)蒸留収量は照射強度 I に比例して増加する。(2)最適塩水流量が存在し、かつ(3)その値は I には依存しない。(4) I の小さな領域では特に、凝縮室の効果は小さいことなどが明らかになった。また、問題点として実用上重要な I の小さい領域($300 \sim 600 \text{ W/m}^2$)で収量にばらつきが見られ、安定な動作に難があった。

そこで本研究では、低照射領域での性能の安定化と効率の向上を図るため、循環型になるよう装置を改良した。この改良型循環式太陽熱蒸留器の室内性能実験を行い、非循環式の場合と比較した。

II. CIRCULATION-TYPE SOLAR STILL AND ITS PERFORMANCE TESTS

改良型循環式太陽熱蒸留器の断面図をFig.1(a)に示す。集光面積 $0.85 \times 0.70 \text{ m}^2$ 、6cm間隔13段のトレイ、黒色の新素材ソーラ α (ユニチカ製)⁷を利用した波状ウィック、温度測定のための熱電対位置($T_1 \sim T_6$)などについては前報⁶と同じである。改良点としては、蒸発室と凝縮室を分ける断熱壁の濃縮塩水出口近くに通気孔を設けることにより、蒸

FIG.1.(a) Cross-sectional structure of the improved circulation-type solar still. (b) Locations of 12 vent pipes.

留器内部の気流が循環出来るようにしたところにある。通気孔には長さ10cm、内径8mm、肉厚0.5mmの銅パイプを12本、Fig.1(b)に示す位置に設けた。これらは開閉が自由に設定出来、循環する気流の量を変化させることが出来る。

このような通気孔を設けることにより、蒸発室で発生した蒸気は加熱されつつ上昇し、一部はガラス内面で冷却され凝縮し、そこを伝わって流れ落ちT₄の出口から回収される。そして、凝縮を完了しなかった残りの湿り空気はさらに上昇し、塩水入り口近くの間隙から凝縮室に入り、そこで冷却され凝縮し、底面を流れてT₆の出口から回収される。凝縮して乾いた空気は両室の圧力差のため通気孔から蒸発室に流れ込むと予想される。

このように、循環型に改良することにより、蒸発はさらに促進され、効率の向上につながると期待されるが、逆に循環量が多過ぎる場合には、蒸発室の温度上昇が妨げられ、効率は下がってしまうはずである。従って、内部の空気の循環量にはある最適な値が存在すると考えられる。そこで、これらの12本の通気孔の内、所定の本数だけ閉じることにより通気量を調節した。Figure 1(b)中の通気孔を囲む一連の長方形は内側のものから順に、2、4、6・・・本と通気孔を開けていく場

合の通気孔の位置を表している。それにより通気孔の本数と収量の関係を求め、最適本数を決定した。

測定手順は前報とほぼ同様であるが、照射時間については一定強度で2時間照射した後、1時間放置とした。さらに、蒸留器に供給する水は3.5%の塩水ではなく、水道水をそのまま使用した。供給水量は前報で最適流量として求められた15ml/min.とし、通気孔の数は0~12本まで、2本ずつ変えた。蒸留水が出始めた時点をとし、T₁~T₆の温度、および30分ごとの収量を測定した。照射強度は屋外日射量の弱、中、強の代表値として、それぞれ300、600、900 W/m²の3通りとした。

III. RESULTS AND DISCUSSION

循環式と非循環式の太陽熱蒸留器内各位置の温度変動の様子をそれぞれFig.2(a)と(b)に示す。照射強度I=300 W/m²,供給水量m=15 ml/min.である。(a)は循環式の場合であり、通気孔を10本開放状態にしてある(N_p=10)。(b)が非循環式(N_p=0)の場合である。両者の最大の違いは、図から分かるように、

FIG.2. Comparison of the temperature variations between circulation (a) and non-circulation (b) cases.

ガラスカバー外側の温度 T_2 の変化である。(b)では、 T_2 は T_1, T_6 と同程度でほぼ外気温に近いままであるのに対し、(a)の場合には、 T_2 は 38°C にまで達し、(b)より 10°C 以上高い。これはカバーガラス内面での凝縮時の潜熱放出の結果としてガラス面外側が熱伝導により高温になったものと解釈出来る。

さらに、上部蒸留水出口水温 T_4 と流出水温 T_5 について見ると、(b)ではこれらは T_3 より 5°C 以上低い、(a)では T_3 とほぼ等しくなっている。両者のこのような温度分布の違いは、蒸発量の違いによってもたらされるものであり、これらが蒸留収量の差となって現われることは十分考えられる。

供給水量 15ml/min. で2時間照射、1時間放置した場合の集光面積 1m^2 あたりの蒸留収量 v (ml/m^2)を3種の照射強度の下で通気孔本数 N_p に対して測定した結果をFig.3に示す。図中の実線はそれぞれの照射強度における最適通気孔本数を決定するためにこの変化が放物線型になると仮定して、それを実験データに最小自乗フィッティングした結果である。

FIG.3. Distillate volume per unit area vs. number of opened vent pipes.

図から明らかなように、照射強度が強い場合 ($I=900\text{W/m}^2$)には、 N_p を増して行くと、 v は微増した後すぐに減少し始めるが、全体として見ると、殆ど一定のままである。一方、 I が小さい場合 ($I=300\text{W/m}^2$)には、 N_p の増加と共に v も増え続け $N_p=12$ になって始めて減り始めている。この結果は最適循環量が存在すること、すなわち N_p に最適本数が存在することを示している。さらにこの結果は、通気孔を設けて循環式にすることの効果が照射強度の大きい領域よりはむしろ、小さい領域

で有効であることを示している。

Figure 3の結果を、入射エネルギーと蒸発に使用される熱エネルギーの比で定義される蒸発効率 η でプロットしなおした図がFig. 4である。これからただちに、 $I=300\text{ W/m}^2$ の低照射域において、蒸留効率が著しく改善されていることがわかる：すなわち、この場合、非循環式($N_p=0$)では $\eta \approx 35\%$ であったものが、循環式にすることによって(例えば、 $N_p=8$ では)45%と10%も効率が上昇している。時間帯による日射量の変化や天候の変動などを考慮すると、このような低照射域での性能の改善は、実用上大きな意味を持つものと考えられる。

FIG.4. Distillation efficiency vs. number of opened vent pipes

最小自乗フィッティング曲線から決定した v および η の最大値を与える N_p は、 $I=900, 600, 300\text{ W/m}^2$ の場合、それぞれ2.8, 6.3, 8.2である：すなわち、 $N_p=3, 6, 8$ のとき v および η は最大となる。この最適通気孔本数を照射強度に対してプロットした図がFig. 5である。照射強度が強くなるに従って、通気孔の最適本数は少なくて済むことが分かる。

FIG.5. Optimum number of vent pipes vs. irradiation intensity.

一方、屋外に蒸留器が設置されることを考慮すれば、その時点での天候や時間帯によって通気孔の本数を変えることは実用的ではない。ただし、Fig.3で示したように、照射強度が強い場合には N_p に対してそれほど敏感ではなく、その変化は小さい。従って、全体として見れば、通気孔の本数は照射強度の弱いところに合わせた構造にするのが望ましい。本研究の場合で言えば、常に8本の通気孔を開けておくのが屋外における総合効率を上げることにつながるはずである。

IV. SUMMARY AND CONCLUSION

太陽熱膜電池への応用を考慮に入れた新型の太陽熱蒸留器に関する実験的研究を行った。前の報告において製作・性能実験を行った「凝縮室付き傾斜トレイ・ウィック型太陽熱蒸留器」に通気孔を新たに設けることにより、循環式に改良した。この改良型蒸留器の室内性能実験を行い、非循環式の場合と比較した。その結果、1) 蒸留器内湿り空気の循環量、すなわち通気孔の本数には、ある最適値が存在すること、さらに2) その最適通気孔本数は照射強度が弱いほど多くなること、そして特に、3) 低照射域における蒸留効率が著しく改善

されることが分かった。屋外での利用を考えた場合、通気孔の本数としては、低照射域における最適通気孔本数に合わせた構造にするのが望ましいと結論した。

REFERENCES

- ¹Suda, F: *Renewable Energy*, edit. by Sayigh (Pergamon, 1992) **2**, 1162-1166.
- ²Japan Solar Energy Society: *Solar Energy Utilization Handbook* (1985) Chap.10.
- ³Tanaka, T, T. Umehara and K. Watanabe: *Transactions of JSME*, Ser. **B**, **52**, 2697 (1986).
- ⁴Tanaka, T, H. Okamura M. Kan and K. Watanabe: *Transactions of JSME*, Ser. **B**, **53**, 3771 (1987).
- ⁵Okamura, H, K. Tanaka and K. Watanabe: *J. Jap. Solar Energy Soc.*, **14**, 27 (1988).
- ⁶Suda, F., N. Miyamoto and N. Sasaki: *J. Adv. Sci.* **8**[1&2], 57 (1996).
- ⁷Furuta, T: *SEN-I GAKKAISHI* **45**, 134 (1989).

'96 SAS Intelligent Symposium