

TSS を用いた太陽熱による水造水特性に関する基礎的研究

三角 彰*・石井 義裕**

(平成26年10月31日受付)

A basic study on the characteristics of the water generation using TSS with solar heat

Akira MISUMI and Yoshihiro ISHII

(Received Oct. 31, 2014)

Abstract

In the world, approximately 800 million people have difficulty in use of hygienic water. It is necessary to use the water of non-hygienic well water, pond, and river in the country which is not maintained of water service facilities. Because a water purifier and the water conversion device are expensive, and stable electricity and high technology are necessary, anyone is not a thing usable anywhere. Therefore, the use of the solar heat water conversion device is the appropriate solution in these countries. It is a reason to be a method to secure the drinking water which it is low cost, a low technique, electricity-free, and is safe. In this study, the characteristics of the water generation in the solar heat water conversion device (TSS: Tubular Solar Still) made clear by outdoor experiments in Hiroshima, Japan and indoor experiments. Basic knowledge of the relation between the production of water generation and the initial depth of the water and the reflection rate of the ground surface in the device is got in this study.

Key Words : TSS (Tubular Solar Still), water service, solar heat system, low cost, basic study

1. はじめに

日本では、水道の蛇口をひねるだけでいつでも清潔で安全安心な水をごく簡単に得ることができる。日本総人口1億余が毎日、水を使用しても水が水道から出なくなるという状況は少ない。水道水は十分に飲料水として用いることもでき、それを飲んでも健康に大きな問題はない。しかし、世界では水道設備の整った一部の先進国を除いては、水道設備が整理されず、不衛生な井戸水や河川、湖水の水を使用しなければならない地域も多い。水を居住地から遙かに離れたところまで毎日汲みに行かなければならないという状況の国もある。

例えば、バングラディッシュ南部の遠隔地はインフラが

未整備で電気も十分に届いていないような地域である。そのため、安心安全な飲料水を一定量確保することが難しく、水環境が慢性的な社会問題となっている。水資源の確保の手段の1つとして、浄水器や淡水化装置の使用が適していると考えられる。しかし、最先端の淡水化技術を用いることは不可能なため、現地では作製が安易で安価な淡水化装置が求められている。その有効な手段として考えているものがTSS (Tubular Solar Still) である。太陽熱淡水化装置であるTSSは、従来の淡水化技術と比較すると、環境への影響が小さく・低コスト・維持管理がし易い簡易的な淡水化装置である。TSSの問題点は造水性能が低いことである。TSSの造水メカニズムの解明や造水性能の向上などを目的として、本研究では福原ら¹⁾が開発した矩形型TSS

* 広島工業大学大学院工学系研究科建設工学専攻

** 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

(Tubular Solar Still) を用いて、TSS の実用化に向けた基礎的な研究として造水実験を行い、効率的な造水方法について検討した。

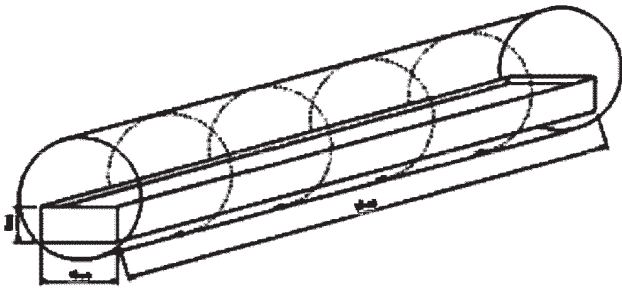


図1 実験装置

2. 実験装置・造水メカニズム

図1に示す矩形TSS（縦8cm×横10cm×長さ50cm）を段ボールで作製した。段ボールで作製した矩形TSSを黒いポリエチレンフィルムで密着し、針金で巻きつけフレームをつけた。フレームの周囲をカバー（透明のポリエチレンフィルム）する。透明のポリエチレンフィルムの透過率は約97%であり、造水に関しての影響は少ない。図2に装置の造水メカニズムを示す。太陽光によって、装置内の水が温められる。温められた水は水蒸気となる。水蒸気が凝縮し、ポリエチレンフィルムに水滴が付着し結露した水を回収する。

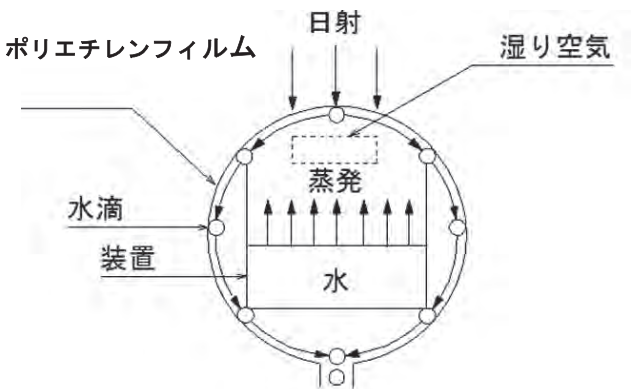


図2 造水メカニズム

3. 実験概要

本研究は、TSSの造水性能の向上・造水特性の解明を目的として初期条件を変え行った。初期水深についての比較と地表反射率についての2つの条件を変え実験を行った。

(1) 初期水深

表1に実験条件、表2に初期条件を示す。本研究では矩形TSSを3基使用し、初期水深による造水特性を比較するため、それぞれの初期水深を水深1cm、水深2cm、水深4cmとし実験を実施した。それぞれの水深に対応する装置を装置1、装置2、装置3とした。実験は大学内において8月～9月の2か月間に9回実施した。装置内に入れる初期水には水道水を使用した。水温、内気温、外気温、湿度、日射量を実験日前夜の22:00から翌日22:00まで24時間計測した。造水量は9:00から回収できなくなるまで計測した。

表1 実験条件

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7	CASE8	CASE9
日付	8月6日	8月9日	8月13日	8月20日	8月27日	9月6日	9月10日	9月13日	9月20日
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り/晴れ	晴れ	曇り/晴れ	晴れ
日最高気温(°C)	39.42	37.41	42.54	40.18	33.98	36.92	34.40	40.30	36.59
総日射量(MJ/m ²)	17.79	18.79	17.87	21.43	21.35	12.24	15.81	13.19	17.86

表2 初期条件

	初期水深 (cm)	初期水量 (ℓ)
装置1	1.0	0.5
装置2	2.0	1.0
装置3	4.0	2.0

(2) 地表反射率

地表反射率については、屋内と屋外で実験を行った。屋外実験の実験条件を表3に示す屋外実験はTSSを3基使用し、地上高1mに設置する。架台下部に反射板を設置した。反射板なしの実験装置を「N」、白色反射板を設置した実験装置を「W」、銀色反射板を設置した実験装置を「S」とする。地表面の反射率は、「N」(16%)、「W」(32%)、「S」(43%)である。装置内に入れる初期水には水道水を使用し、初期水量を1ℓ、2ℓの2種類とする。計測項目・時間は初期水深の実験と同様とする。屋内実験の実験条件を表4に示す。屋内実験はTSSを1基使用し、太陽の代わりにライト(600W)を3個使用した。ライトから装置の距離は30cmとする。ライトの場合の反射率は「N」(5%)、「W」(12%)、「S」(22%)である。初期水量を1ℓ、2ℓとする。実験は6時間行い、1時間ごとに屋外実験と同様の計測をした。

表3 実験条件 (屋外実験)

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7	CASE8	CASE9
日付	8月6日	8月9日	8月13日	8月20日	8月27日	9月6日	9月10日	9月13日	9月20日
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	曇り/ 晴れ	晴れ/ 曇り	曇り/ 晴れ	晴れ
日最高 気温(°C)	39.42	37.41	42.54	40.18	33.98	36.92	34.40	40.30	36.59
総日射量 (MJ/m ²)	17.79	18.79	17.87	21.43	21.35	12.24	15.81	13.19	17.86
初期水量 (ℓ)	1	1	1	1	1	2	2	2	2
初期水深 (cm)	2	2	2	2	2	4	4	4	4

表4 実験条件 (屋内実験)

	CASE11	CASE12	CASE13	CASE14	CASE15	CASE16
日付	1月7日	1月7日	1月8日	1月14日	1月14日	1月15日
総日射量(MJ/m ²)	40.61	42.12	39.53	35.86	37.15	37.37
初期水量(ℓ)	1	1	1	2	2	2
初期水深(cm)	2	2	2	4	4	4

表5 実験結果

	総日射量 (MJ/ m ²)	日造水量 (g)		
		装置 1	装置 2	装置 3
CASE1	17.79	60.5	59.4	57.4
CASE2	18.79	72.5	56.1	60.5
CASE3	14.87	59.5	74.6	83.4
CASE4	21.43	78.3	65.4	92.3
CASE5	21.35	76.3	69.3	89.1
CASE6	12.24	25.9	28.5	25.6
CASE7	15.80	67.8	50.6	64.4
CASE8	13.19	51.6	43.4	61.5
CASE9	17.86	60.4	57.8	88.8

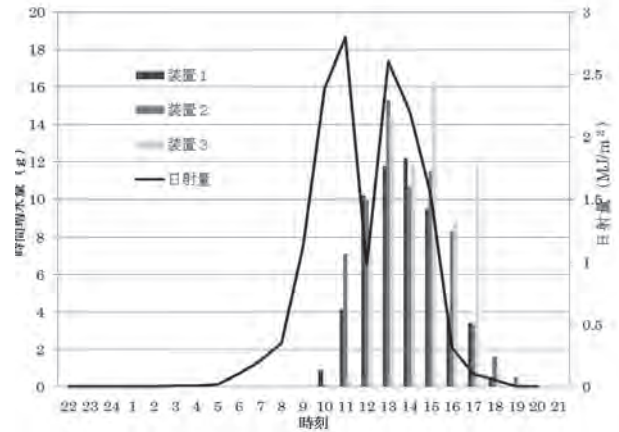


図3 日射量と時間造水量の関係 (CASE3)

4. 実験結果

(1) 初期水深の影響

表5に日造水量を示す。日造水量の最大は水深1cm(装置1)がCASE4で78.3g、水深2cm(装置2)がCASE3で74.6g、水深4cm(装置3)がCASE4で92.3gとなる。CASEごとに総日射量が異なるため総日射量の最大、最小のCASEを除き各装置の平均日造水量を求めると、装置1は64.1g、装置2は58.7g、装置3は72.2gとなった。平均日造水量は水深4cmが最も造水しているが、水深1cmが2番目に日造水量が多まっている

図3にCASE3の時間造水量と日射量の関係を示す。日の出から4~5時間後に造水が始まる。10時前後では、水深1cmが最も造水している。また時間造水量のピークを向かえる時刻も早い。日射量が上昇する時間帯は、水深1cm・2cmが良く造水する。日射量が下降する時間帯では水深4cmが良く造水している。初期水深が浅いほど、水は温まりやすく冷めやすい。温まった水は冷めにくいので、水が蒸発できる装置内の状態が長く保たれる。そのため、気温・日射量が下降しても水を回収できたと考えられる。このように初期水深によって造水の採れ方に特徴が見られた。

図4では、時間造水量と気温と水温の経時変化を示す。図から造水している時の内気温・外気温・水温に着目した。造水している時間帯では、「内気温-水温」が0℃に近づき、かつ「内気温-外気温」の差が大きくなると良く造水する傾向にある。そこで、図5に時間造水量と外気温・水温・内気温(装置内の気温)の関係を示す。図5では、横軸に内気温-外気温、縦軸に内気温-水温、第3軸を時間造水量をとした。バブルが大きいほど造水量が多い。内気温と外気温の差が20℃を超えてくると造水量が増える。内気温と水温の差は、水深1cm、水深4cmでは、差が0℃付近になると造水量が増える。水深2cmでは差が10℃でも造水していることがわかる。

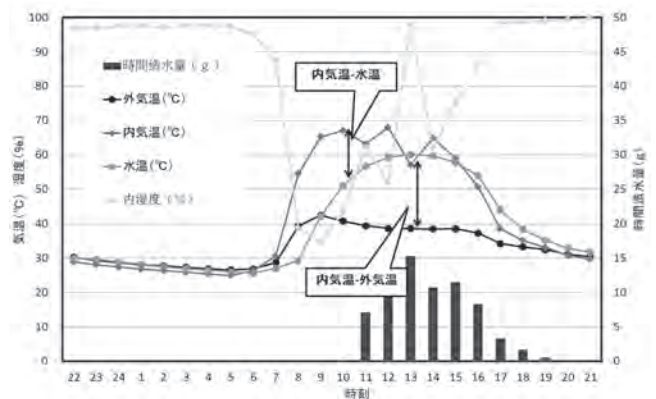


図4 時間造水量と気温と水温の経時変化 (CASE3, 装置2)

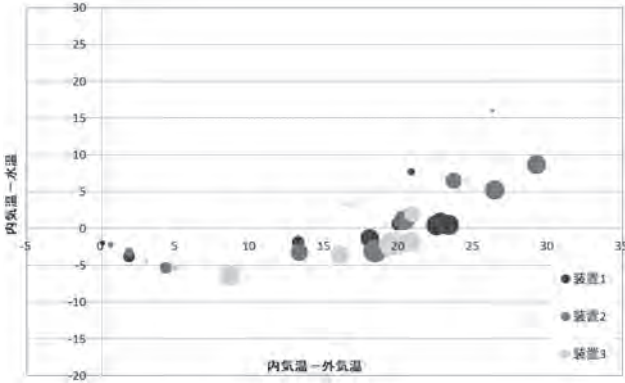


図5 時間造水量と外気温・水温・内気温の関係 (CASE3)

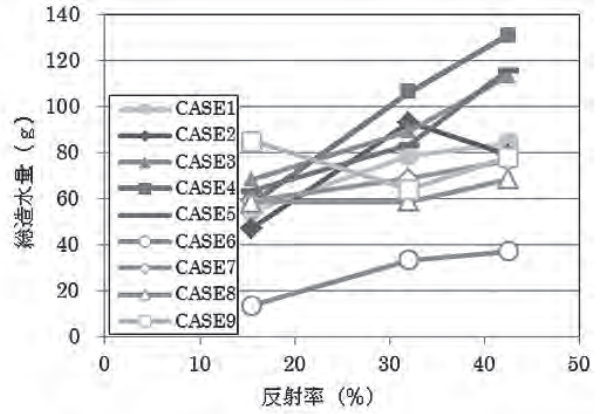


図6 総造水量と反射率 (屋外実験)

(2) 反射板の影響

図6に総造水量(24時間造水量)と太陽光の反射率の関係、図7に各反射板による各水深の平均総造水量の関係を示す。図6よりアルベドが大きいと総造水量が多くなり、総日射量が最も高いCASE4の総造水量について反射板ごとに比較すると白色反射板は反射板なしの1.8倍、銀色反射板は反射板なしの2.3倍の造水効果が得られた。図7より総造水量は水深2cmの銀色反射板が最大であった。次に反射板なしを基準とし、水深ごとに各反射板の平均総造水量を比較する。図3の■と▲に着目すると水深2cmの白色反射板は1.5倍、銀色反射板は1.8倍となり、水深4cmの白色反射板は1.0倍、銀色反射板は1.2倍となり、反射率が大きいほど造水量が多くなる。さらに各反射板の水深2cmと水深4cmの総造水量の比を反射板ごとに比較する。図7の□に着目すると水深4cmより、反射板なしが1.1倍、銀色反射板が1.6倍、白色反射板が1.6倍となり、水深が浅い方が造水量に及ぼす反射板の影響が大きい。

図8に各反射板による各水深の総造水量の関係、図9に時間造水量と内気温と外気温の差の関係を示す。図8より総造水量は水深2cmの銀色反射板が最も採れた。屋外実験と同様に反射率が高いと総造水量が多い。反射板なしを基準とし、水深ごとに各反射板の総造水量を比較する。図中の■と▲に着目すると水深2cmの白色反射板は1.5倍、銀色反射板は1.7倍となり、水深4cmの白色反射板は1.3倍、銀色反射板は1.5倍となり、反射率が高いほど造水量が多い。各反射板の水深2cmと水深4cmの総造水量の比を比較する。図中の□に着目すると水深2cmは水深4cmより、反射板なしが1.4倍、白色反射板が1.6倍、銀色反射板が1.6倍となり、水深が浅い方が反射板の影響は大きい。図9より水深2cmでは温度差が約30℃、水深4cmでは温度差が約25℃になると急激に時間造水量が増加している。

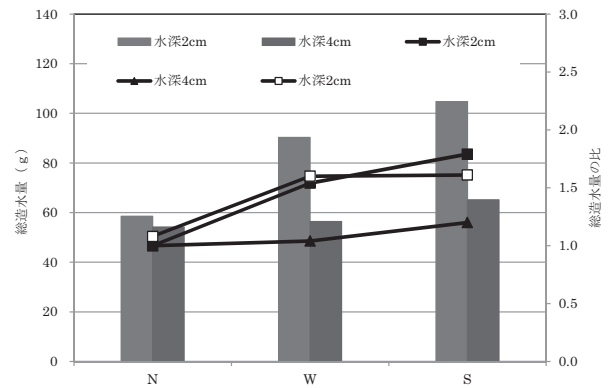


図7 反射板・水深と平均総造水量の関係 (屋外実験)

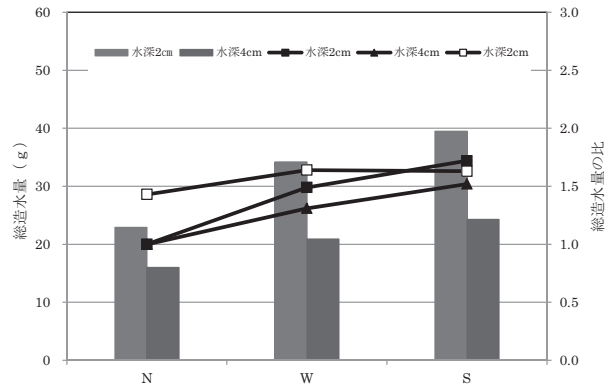


図8 反射板・水深と総造水量の関係 (屋内実験)

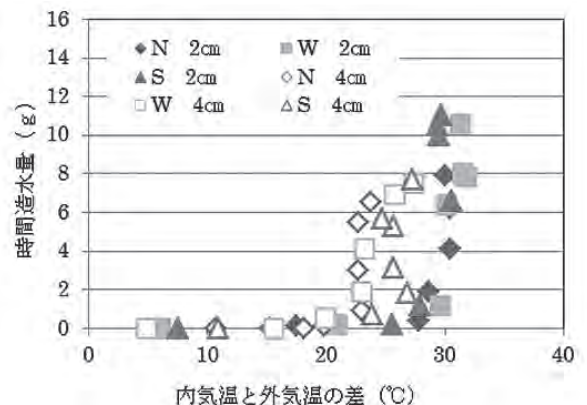


図9 時間造水量と内気温と外気温の差の関係 (屋内実験)

5. 結論

・初期水深については

- (1) 水深 2 cm を基準とし日造水量を比較すると、水深 1 cm は 1.1 倍、水深 4 cm は 1.2 倍となり水深 4 cm が最も造水した。
- (2) 水深 2 cm を基準とし回収率を比較すると、水深 1 cm は 2.2 倍、水深 4 cm は 0.61 倍となる水深 1 cm が最も造水効率が低い。
- (3) 初期水深が水温の変化に影響しているため、それぞれ造水特徴が見られた。水深 1 cm では、日射量が上昇する午前中に造水し、水深 4 cm では日射量の下降する時間帯に造水した。
- (4) 「内気温－水温」が 0℃ に近づき、かつ「内気温－外気温」の差が大きくなると良く造水する傾向にある。

・反射板については

- (1) 水深 2 cm の場合、銀色反射板を使用することで約 1.8 倍の造水効果が得られる。
- (2) 水深 4 cm の場合と比較すると、水深 2 cm の方が最大 1.6 倍の総造水量が得られる。
- (3) 造水には、内気温と外気温の温度差・内気温と水温の

温度差が影響を与えている。

- (4) 反射板を使用することで温度が上がりやすく造水効果が高い。

これらのことにより、同じ水量を使用する場合、水深 4 cm の装置よりも水深 2 cm の装置複数台を使用の方が造水量を多く採れる。さらに架台の下部に銀色反射板を設置し、反射率を高くすればより造水向上が見込める。

参考文献

- 1) 福原輝幸：アラブ首長国連邦における円筒型太陽熱淡水化装置の造水性能，地下水技術，第 48 巻，第 6 号，pp.31～35，2006.
- 2) JETRO 「水事情 バングラディッシュ」，pp.1，4～7，2013.
<www.jetro.go.jp/theme/bop/precedents/pdf/lifestyle_finance_bd.pdf> (2014/11/28 確認)
- 3) 山路昂央・寺崎寛章・福原輝幸・石井義裕：円筒型太陽熱淡水化装置（TSS）の造水慣性，土木学会論文集 B 1（水工学），Vol.69，No.4，1_14441-1_1446，2013.

