

太陽熱温水システムの利用率向上のための 居住基礎データの収録とその解析

稲垣 弘子

Dwelling Data Acquisition and Analysis of Domestic Solar Hot Water System for Improvement of the System Performance

Hiroko INAGAKI

1. 緒言

地球環境問題は人類が取り組まなければならない最も重要な共通認識となってきた。このような観点から、地球上で最終的に持続可能な太陽エネルギーの有効利用が、これからも重要な課題となると考えられる。第1次石油危機の1973年以降、太陽エネルギー利用の技術開発が本格的に取り組まれるようになった。筆者は1981年に自宅を新築するにあたり、空気集熱ソーラーシステムを採用した。このシステムは、全室太陽熱暖房、冷房ができ、給湯は集熱ダクト内に設置した空気-水熱交換器で得られた湯を貯湯槽上部に取り込んで層状に貯え、下部の水と攪拌されることなく、必要ときに高温の湯の供給を可能にするシステムである。

従来のソーラー給湯システムは、①水を強制循環させ集熱器に直接水を入れる方式で、高い集熱温度が確保できる反面、冬期における水の凍結問題の解決が困難である。②水に変えて不凍液を使用する方式で、集熱器で加熱された不凍液によって貯湯槽下部に設置された熱交換器を通して、貯湯槽内部の水を加熱する方法である。この方式によると冬期の水の凍結の問題は解決するが、貯湯槽内部の水全体に対流が生じるため、水温がなかなか昇温せず、熱効率が著しく低下するという問題が生じている。これらの点を解決するために水に変えて空気を利用して熱交換を行う方式が空気集熱ソーラーシステムである。また空気集熱ソーラーシステムの特徴とする点は、①広い集熱面を屋根一体に安価に組み込むことができるため集熱性能が得やすい。②集熱を空気で行うため、凍結や材料腐食の問題が少なく、耐久性が高く、保守・取り扱いが容易である。

空気集熱ソーラーシステムが今後一般化していくための条件として考えられることは、太陽熱利用率を高めるための集熱効率の高い集熱装置の開発があげられるが、給湯システムに関しては、①できるだけ高温で集熱して利用しやすくすること。②高温で集熱した湯がぬるい湯と攪拌されてしまうと非常な無駄が生ずるので、そのような点を注目したきめ細かい制御システムを開発していくこと。の点が上げられる。

本調査では、空気集熱ソーラーシステムを利用した貯湯槽について、年間を通しての内部の成層状の温度分布に関して測定を行った。特に冬期および夏期に関して、日単位で、集熱時の状態と給湯時の状態で貯湯槽内部の成層状の温度分布にどのような変化が生じるかについても測定、解析を行った。

2. 研究方法

(1) 空気集熱ソーラーシステムの概要

①建築物及び空気集熱ソーラーシステム

建築物は横浜市港北区に、昭和56年完成した専用住宅である。延床面積は、149m²の総2階建てとなっている。

空気集熱ソーラーシステムは図-1に示すように空気集熱屋根(有効面積29m²)、集熱ファン、碎石蓄熱槽が直列ダクトで結ばれており、このダクトの内部に空気-水熱交換器が設置されている。集熱動作は、空気集熱屋根に設置した集熱板が太陽光を受けて暖められ、約50℃に達すると集熱ファンが作動し温風集熱を開始する。それと同時に集熱ポンプも作動し空気-水熱交換器に水を送り、集熱温風で水を加熱する。そのため冬期には集熱板で得られた温風はま

ず給湯用水を加熱し、残りの温風を碎石蓄熱槽に送り蓄熱したり、空調ファンの稼働により各室の暖房用として供される。また、夏期にはダンパー操作により集熱屋根に外気を供給し空気-水熱交換器を通過した温風は外部に放出される。また、夏期には、夜間、外気をコレクターにとおし放射冷却効果も利用し蓄熱槽の碎石を冷やし冷房に使用する。

表1 空気集熱ソーラーシステム機器仕様

	仕 様	備 考
コレクター	屋根一体型 空気集熱型 有効集熱面積29m ²	方位 南15東 傾斜角45度
蓄熱槽	碎石蓄熱 容量 22m ³	
空調補助熱源	ヒートポンプ3 HP	
集熱ファン	50W	
給湯熱交換器	フィンチューブ式 形状 500×700×2枚 250×420×2枚	フィン アルミ
貯湯槽	460ℓ	
給湯補助熱源	電気温水器 90ℓ	
熱交換器循環ポンプ	40W	
給湯補助熱源	深夜電力電気温水器 300ℓ	

②給湯システム

給湯システムは、集熱ダクトの中に設けられた空気-水熱交換器に水を循環して貯湯槽（460ℓ）に貯える。空気-水熱交換器は2段に設けて、暖房用の温風温度があまり低下しないように設計されている。夏期には集熱全量が温水用に利用されるため、高温水が得られる。

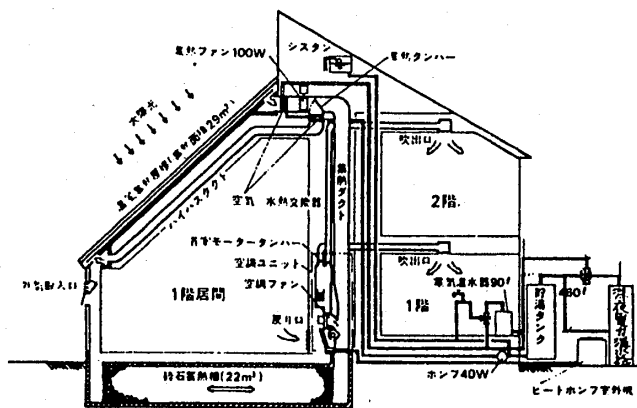


図-1 空気集熱ソーラーシステム構成図

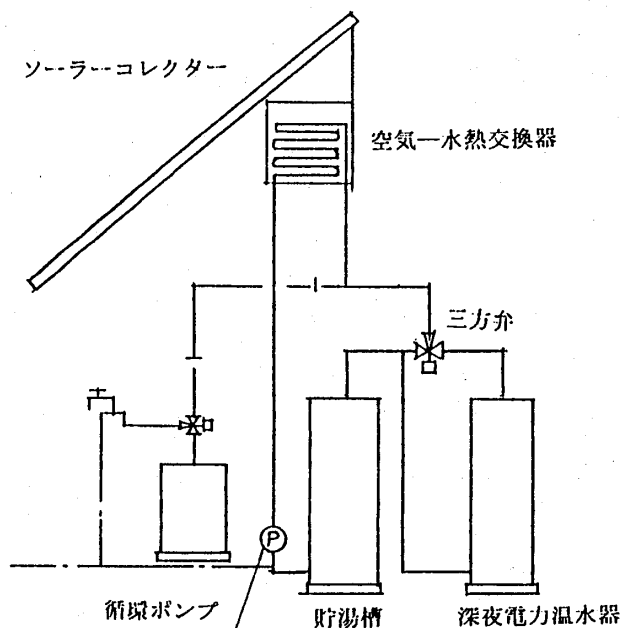


図-2 ソーラー給湯システム構成図

(2) 測定

①方法

空気集熱ソーラーシステムにおける温水利用の特質として、住宅における温水の利用目的から、入浴可能な温水がどの程度確保できるかが課題となっている。

測定方法としては、貯湯槽（高さ160cm）を64の成層に分け、各層に熱伝対を取り付け、15秒間隔の温度状況を測定した。

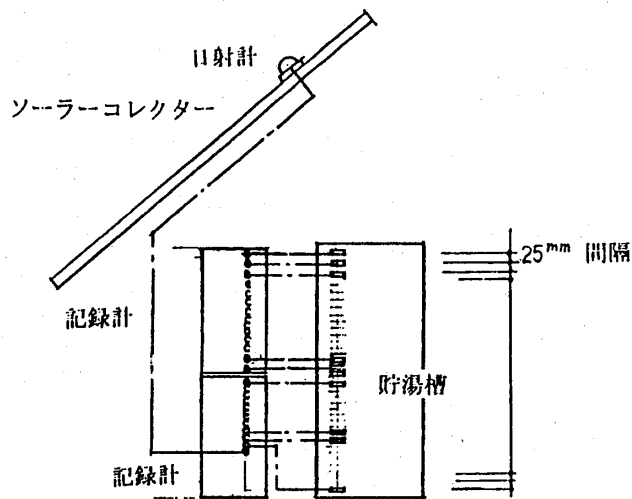


図-3 測定方法概要図

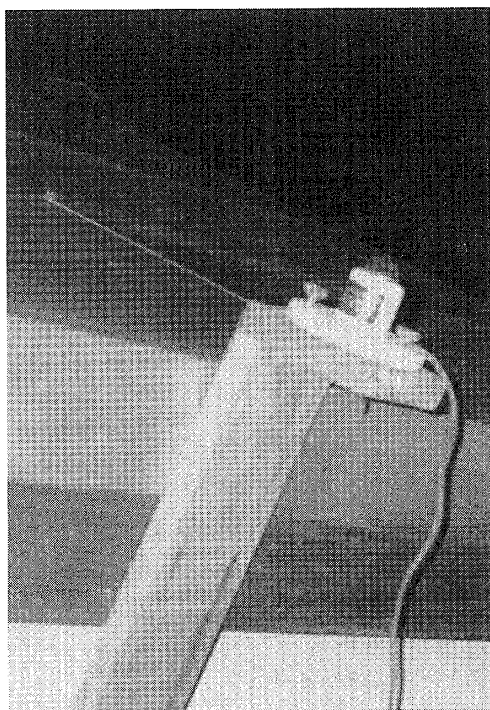
②測定機器

- ・貯湯槽 460ℓタイプ
(外径寸法：670φ×2005H 内径寸法：600φ×1600H)



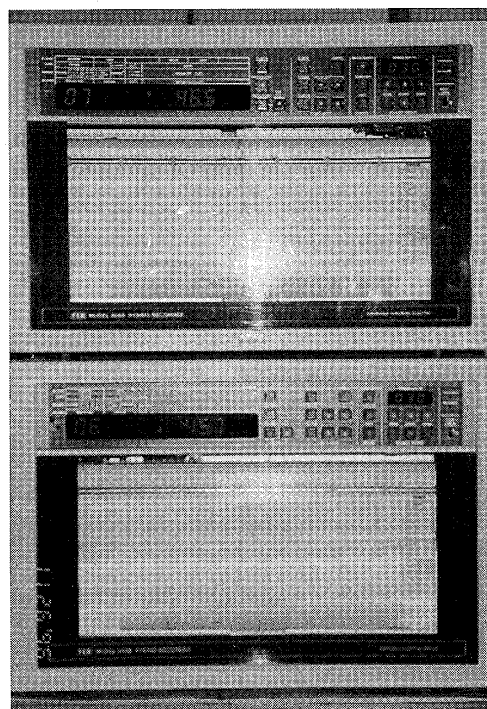
図－4 貯湯槽

- ・日射計 ソーラーメーター MS 100型



図－5 日射計

- ・記録計 MODEL3088ハイブリットレコーダー
(スキャンタイム 15秒間隔) 2台



図－6 記録計

③測定結果

貯湯槽に設置した熱伝対により各層の温度分布を年間を通して測定した。図-7は1日の記録チャートである。これを時間毎の各層の温度分布の変化として解析した。解析にあたっては、夏期および冬期について代表的な2日を選定してそれぞれ各1日に関して

- ・前日の温水が残っている状態からの集熱（残湯有）
- ・前日の温水を全部利用して水からの集熱（残湯無）

を検討した。

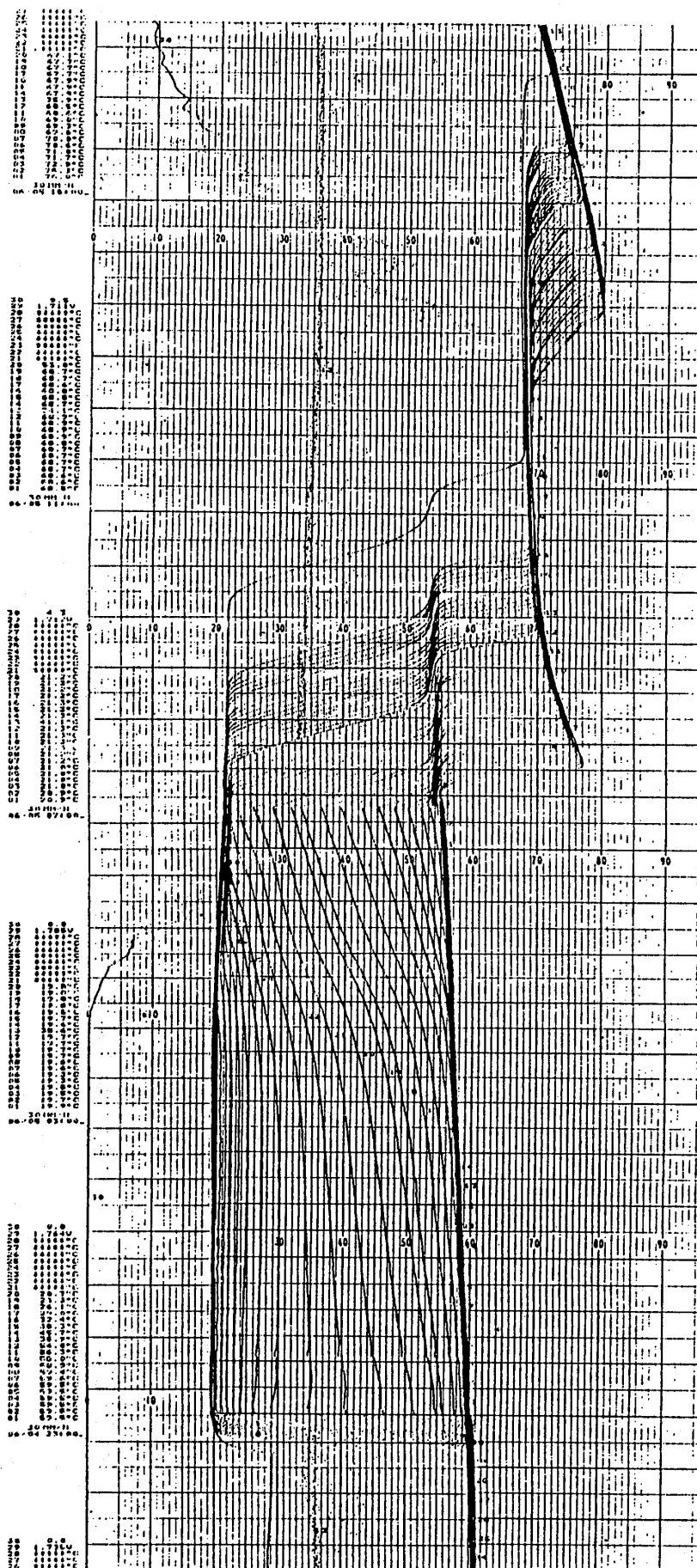


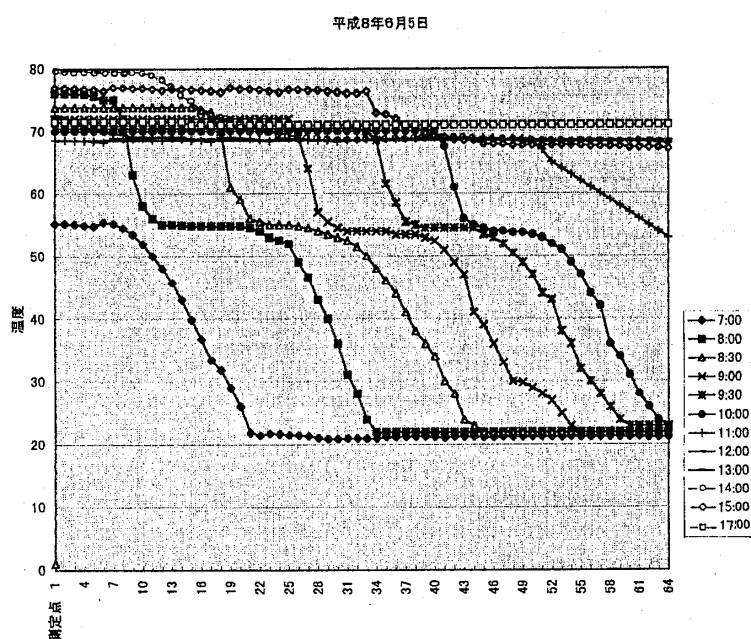
図-7 記録チャート

●夏期測定結果－残湯有

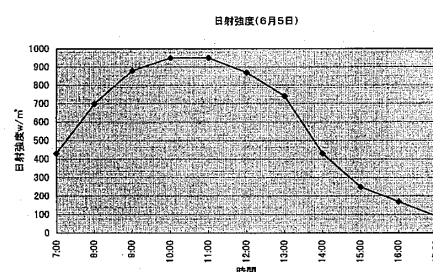
図－8は1996年6月5日の集熱時時間別貯湯槽内温度分布を示す。

前夜の温水使用により集熱開始前の7時には貯湯槽上部より32cm (91%) が45℃以上で、下部から105cm (294%) が21℃の水であり、記録チャートが示すように、その間は成層状態となっている。集熱が開始され1回転目に貯湯槽全体が55℃以上となり、2回

目で70℃前後、3回目で72℃～79℃、ピーク時(14時)には上部より27.5cm (77%) が79℃以上、集熱終了時の17時には貯湯槽全体が71℃以上を示している。この日は快晴で集熱時間が9時間40分と長くその間に貯湯槽上部より85cm (238%) が76℃以上の高温水になっていたにもかかわらず集熱が続けられたため、貯湯槽上部の温度を下げる結果となっている。



図－8 夏期測定結果－残湯有 (集熱時)

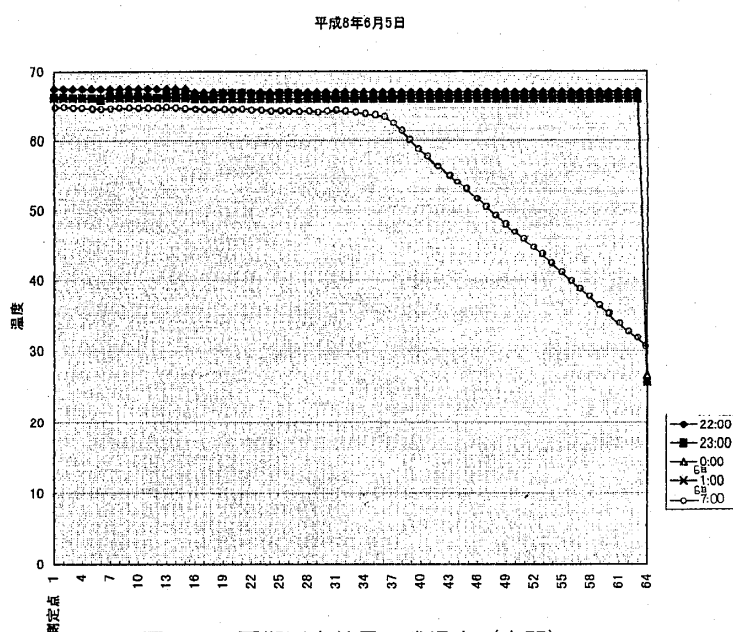


(参考) 日射強度 6月5日

図－9は1996年6月5日22時～6月6日1時までの貯湯槽内の温度分布を示す。

この間貯湯槽全体が67℃から66℃に保たれており3時間の温度降下は1℃である。

集熱終了時は17時、71℃から8時間経過後の温度降下は5℃であることが示されている。

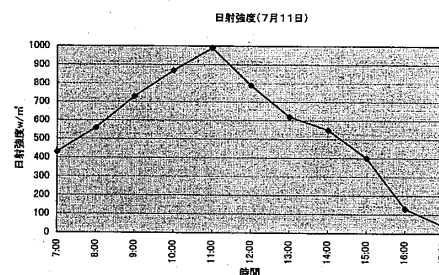
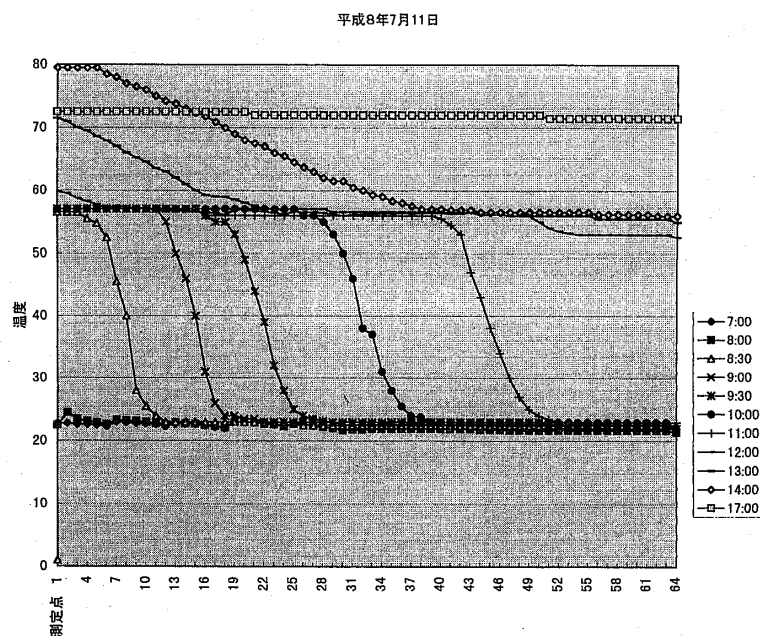


図－9 夏期測定結果－残湯有 (夜間)

●夏期測定結果－残湯無

図－10は1996年7月11日集熱時貯湯槽内の温度分布を示す。集熱開始時の7時には、貯湯槽全体が22℃を示している。1回転で57℃になり、ピーク時には

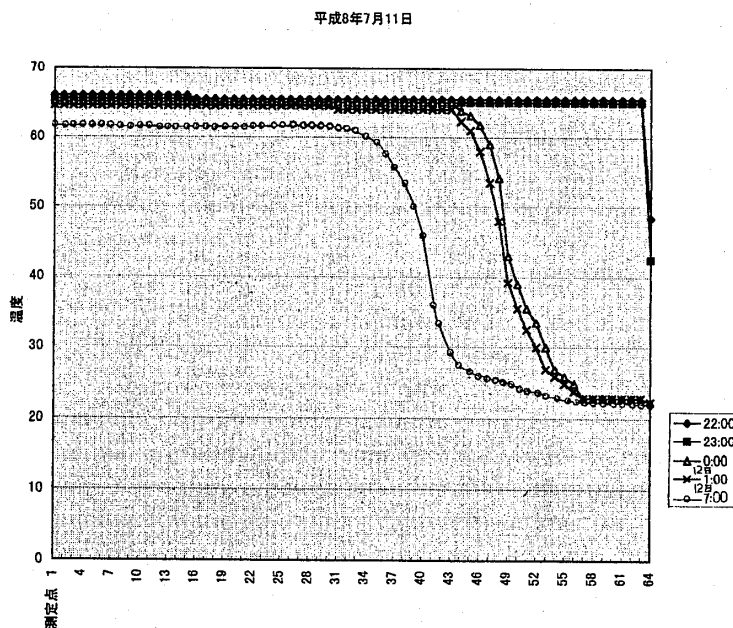
貯湯槽上部10cm (28%)に80℃の温水が貯えられた。集熱終了時17時には貯湯槽内全体が72℃になっている。



(参考) 日射強度 7月11日

図－10 夏期測定結果－残湯無 (集熱時)

図－11は1996年7月11日夜間、給湯使用時の貯湯槽内の温度分布を示す。23時には全体が65℃を示している。集熱終了時から8時間経過した温度降下は7℃である。7月12日0時は、下部17.5cm (49%)が23℃の水温になっているが、上部110cm (308%)は65℃を示している。翌7月12日の集熱前段階で、上部80cm (224%)が62℃以上あり、下部50cm (140%)が26℃となっている。夜間7時間経過後も上部の温度降下は3℃であり、成層状態を保ちながら熱伝導による温度降下が起きていることを示している。

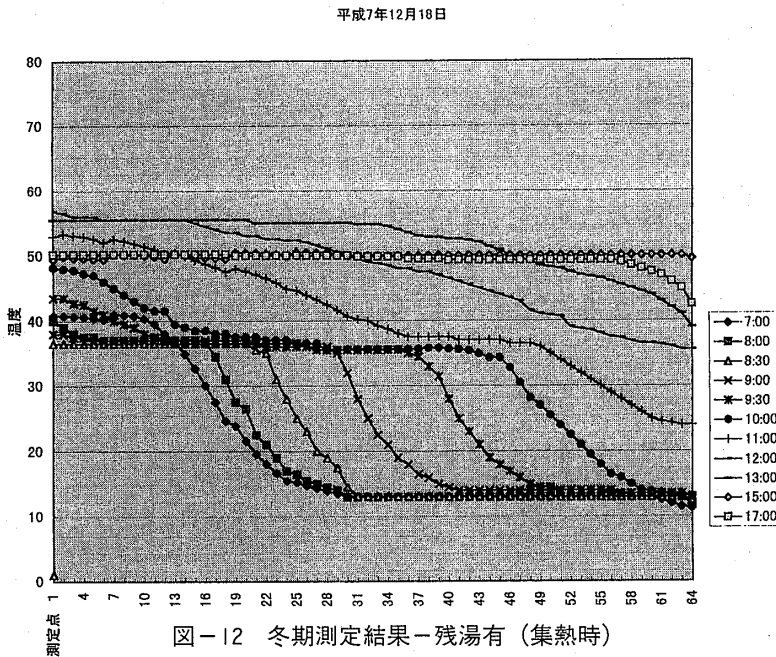


図－11 夏期測定結果－残湯無し (夜間)

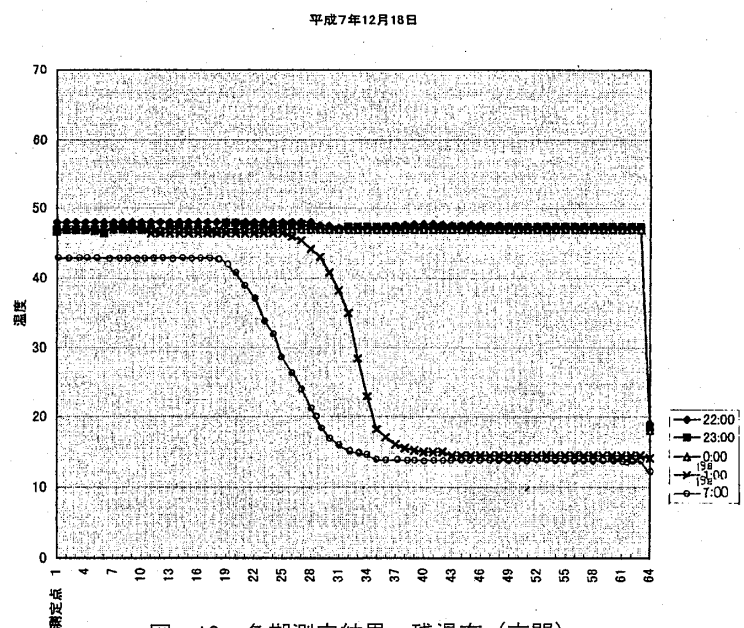
●冬期計測結果－残湯有

図－12は1995年12月18日集熱時貯湯槽内温度分布を示す。集熱時の7時に、貯湯槽上部より、25cm (70%) が40℃、下部75cm (210%) が13℃である。集熱

ピーク時13時には上部より85cm (238%) が55℃を越えているが、集熱終了時、15時には貯湯槽全体が50℃を示している。冬期における5℃差は大きい。



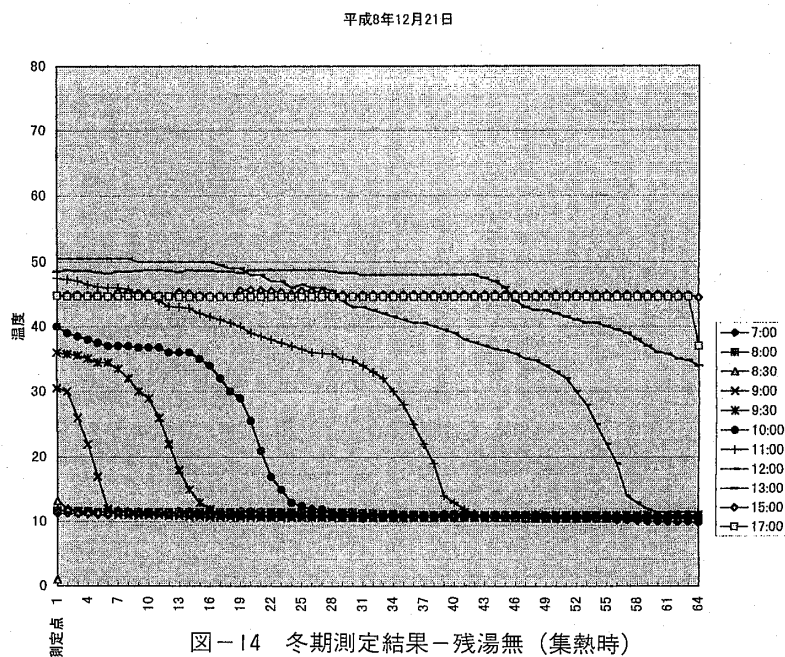
図－13は1995年12月18日夜間、給湯使用時の温度分布を示す。12月19日0時には、貯湯槽全体が47℃を示している。1時に給湯使用後上部72.5cm (203%) は45℃以上を保っている。下部67.5cm (189%) は、水温15℃である。45℃が203%あることは、翌日にも入浴が可能であることを示している。



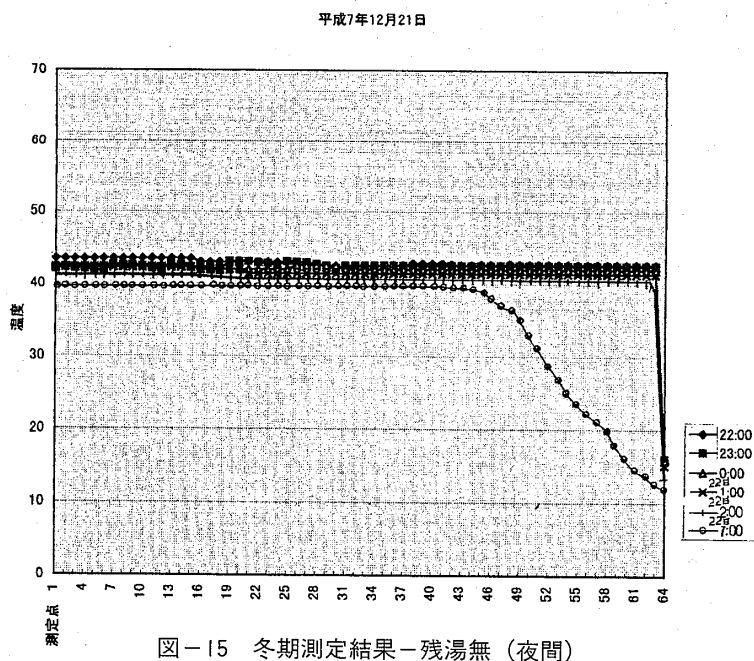
●冬期測定結果－残湯無

図－14は1995年12月21日の貯湯槽内温度分布を示す。集熱時前の7時は貯湯槽内全体が11℃の水温を示している。集熱ピーク時13時には、上部より107.5cm(301

ℓ) までが47℃であるのに、集熱終了時には貯湯槽内全体が45℃を示している。冬期の夜間の外気温降下を考えると2℃の差は入浴可能かどうかにかかわってくる。



図－15は1995年12月21日夜間の貯湯槽内温度分布を示す。12月22日2時に使用して温度降下が見られるが、22日7時に上部より112.5cm(315ℓ)が39℃以上である成層状態が保たれていることを示す。



3. 解析及び考察

給湯システムを使いやすくするには、高温で集熱した湯は水と混じることなく高温のまま保持することである。高温ならば、水との混合でどのような温度の湯にもできるからである。

貯湯槽内の温度分布の測定結果から、温度分布は良好に保たれていることが分かったが、集熱ポンプの運転や出湯の水流により温度成層に対流拡散が及んで、成層の熱拡散を早めているかどうかを確認するために、温度成層の熱拡散の解析と実験値の比較を試みた。温度成層内の熱拡散を、対流の全くない熱伝導だけとすると、固体の中の熱伝導と同じになり、図-16のような温度の異なる1つの固体を接触させた後の温度変化と同じと考えられる。

この熱拡散の過程は解析解が求められており、温度 Θ と $-\Theta$ の2つの固体の接触から t 時間後の固体内温度分布は式(1)

$$\theta = \frac{2\Theta}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{at}}} e^{-\rho^2} d\rho \quad (1)$$

θ : 固体内の温度
 a : 固体の温度伝導率
 X : 接触面からの距離

水の温度伝導率は a

0°C	0.133mm ² /sec	
50°C	0.155mm ² /sec	5.58×10 ⁻⁴ m ² /h
100°C	0.167mm ² /sec	

であるので、50°Cにおける水の a 値5.58×10⁻⁴m²/hを

(1)式にいれると接触1時間後の境界層の厚さは94.5mm、4時間後は2倍の189mm、9時間後は3倍283.5mmと求められる。7月11日の測定データとこの熱伝導拡散の計算値を比較すると測定値では図-10に示す通り8時30分に湯-水境界層厚さ108mm、2.5時間後の11時には168mmと測定された。(1)式で計算すると、境界層厚さ108mmの厚さから2.5時間後には184mmになると計算される。測定値と比較するとこれは測定誤差の範囲内で一致していると考えられるので、集熱過程における湯-水境界層内の熱拡散は熱伝導だけで、対流は全く生じていないことがわかる。

同様に7月11日の出湯過程の湯-水境界層内の温度分布、図-11を見ると出湯直後の湯-水境界層厚さがすでに177mmもあり、これは計算値では接触4時間後の境界層厚さに相当するので、出湯過程では湯-水境界層に水流が及んでいることがわかる。貯湯槽への水の供給口の形状を改善し、水流の影響が及ばないようにすることが必要と考えられる。

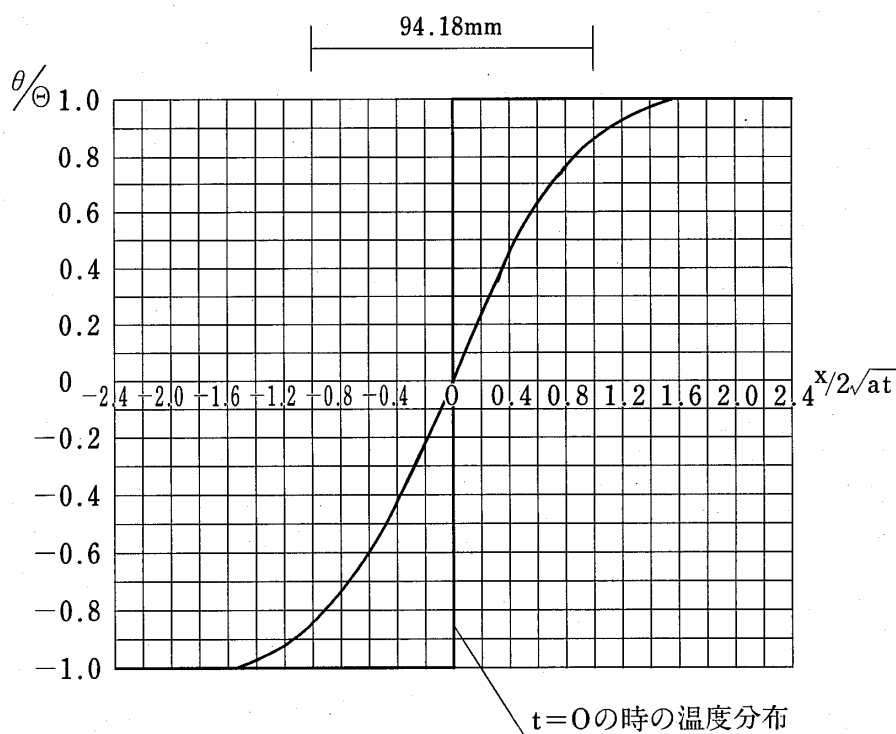


図-16 異なる温度の固体接合部の温度分布計算式(1)のグラフ

4. まとめ

ソーラー温水システムを効率よく利用するためには、高温度で集熱した温水は水と混じることなく高温のまま保持することが必要であり、そのため集熱時および温水使用時の貯湯槽内温度成層状態を調べてみた。測定結果からは、温度成層が良好に保たれていることが判明した。

温度成層の熱拡散の解析と測定値の比較から、湯－水境界層内の熱拡散は熱伝導だけで、対流が生じていないことがわかった。しかし温水使用の出湯直後では、湯－水境界層内に水流が及んでいることがうかがえた。貯湯槽への水の供給口の改善が必要と考えられる。

集熱ピーク時と集熱終了時の温度差が約 5°C に下がる日が多く、特に冬季には入浴できるか否かの境界

になりやすい。今後、1年間にわたり、収録したデータを総合的に分析し、年間の太陽熱依存率の向上のためには集熱制御がどうあるべきかを検討し提案することと、改善した集熱制御方法を用いれば年間の太陽熱依存率がどれぐらい上昇するかを調べることが課題である。

参考文献

- (1) 神谷是行 (関東学院大学)
金山公夫 (北見大学) 著
温度選択蓄熱槽のソーラーシステムへの適用
太陽／風力エネルギー講演論文集 (1994)
- (2) 藤本武助 著
伝熱学概論 共立出版 (1956) P48