

# 富士電機ソーラハウスの太陽熱暖房給湯システム

## Solar Heating and Hot Water Supply System of Fuji Electric Solar House

西尾道雄\* Michio Nishio・杉浦 賢\* Satoshi Sugiura

### I. まえがき

従来から、太陽は無限とも言えるエネルギー源として注目されてはいたが、エネルギー密度が低いため、その利用は最近まであまり図られてこなかった。しかしここ数年、石油価格の高騰と、石油自体の枯渇の可能性に対し、代替エネルギー資源として、世界的に太陽エネルギー利用技術の開発が推進されるようになってきている。なかでも、太陽熱によって給湯や空調を行う、いわゆるソーラハウスは、実用化の水準に達しつつある。

当社においても、暖房・給湯を目的としたソーラハウスを、古河電気工業及び東急建設との共同開発により、昭和53年2月に完成し、以降連続実用運転を行っている。以下に、このソーラシステムの概要及びその運転結果について報告する。

なお、本システムは当社・川崎工場新設の従業員クラブハウス「クラブ芙蓉」に適用され、当社はシステム設計と計測制御系及び蓄熱系を、古河電気工業が集熱系と暖房系を、東急建設が建屋と配管系を担当した。

### II. ソーラハウスの概要

本ソーラハウスは、木造総二階で延床面積330 $\text{m}^2$ 、そのうち一階の娯楽室（洋間16畳）と休憩室（和室4.5畳）計35 $\text{m}^2$ を対象に温水循環式床暖房を、また厨房と管理人用浴室を対象に給湯を、それぞれ太陽熱により行っている。ソーラハウスの外観を第1図に示す。

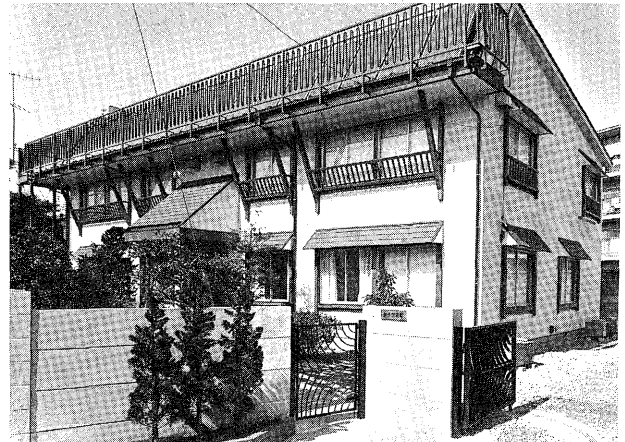
南面屋根のほぼ全幅にわたって、太陽熱集熱器を設置し、その取付角は冬季集熱量を多くするため、冬季の太陽高度を考慮して60度傾斜とした。集熱器は平板形で16枚、有効集熱面積は総計約30 $\text{m}^2$ である。

集熱系のメンテナンスを考慮して、集熱器の前部には手すり付バルコニー状歩廊を設けた。歩廊への昇降階段は、建屋西側壁面沿いにあり、その下方に蓄熱槽、ポンプなどの屋外設置機器を配置した。

### III. ソーラシステムの概要

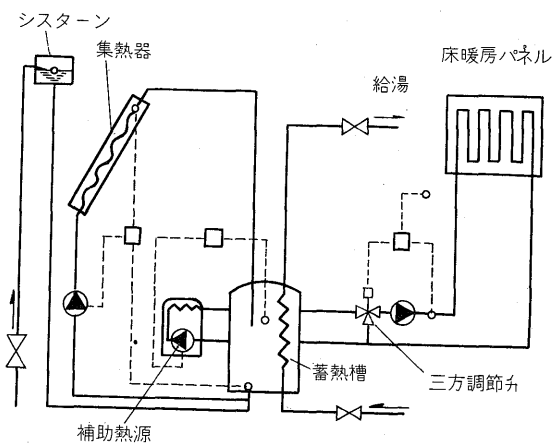
ソーラシステムの系統を第2図に、主要設備仕様を第1表に示す。

本システムは、集蓄熱系・給湯系・床暖房系から成り、集蓄熱の熱媒には水を使用している。



第1図 ソーラハウスの外観

Fig. 1. External view of the solar house



第2図 ソーラシステム系統図

Fig. 2. Schematic diagram of the solar system

集熱器において加熱された温水を、蓄熱槽に貯え、その温水を床暖房系に供給する。給湯は蓄熱槽内の熱交換器で間接加熱して、新鮮な温水を供給するようにしている。太陽集熱が十分でない時は、補助熱源により蓄熱槽を加熱する。

ループへの水の張り込みは、シスターンから行われる。このシスターンは膨張タンクを兼ねている。

以下に、システムの考え方、特徴、動作の概要を述べる。

#### 1. 集蓄熱系

\* 中央研究所 第三部

第1表 主要設備仕様  
Table 1. Specifications of main components

集熱器	形式：平板形一重ガラス 集熱板：銅板，選択吸収膜付 選択吸収面：吸収率 $\alpha \geq 0.90$ ，放射率 $\epsilon \leq 0.20$ 有効集熱面積：1.90 m <sup>2</sup>
蓄熱槽	形式：円筒形成層式 容量：750 l 材質：SUS 304 給湯用熱交換コイル内蔵（銅製ローフィンチューブ）
床暖房	温水循環式床暖房パネル パネル寸法：850×1,700 (mm)
補助熱源	ガス瞬間湯沸器 出力：12,000 kcal/h
ポンプ	集熱系：入力 150W（集熱流量 20 l/min） 床暖房系：入力 120W 補助熱源系：入力 100W

集蓄熱は、蓄熱槽水温が床暖房に必要な温度50℃を確保するように行われる。

このための集蓄熱制御（50℃集蓄熱制御）は、集熱器内の水温が55℃以上に上昇すると集熱ポンプが作動して蓄熱槽に集熱し、50℃以下では集熱ポンプが停止して、集熱器内での昇温を待つようにして行う。

このような集熱方法は、補助加熱を要せずに利用できる温度で集熱するため、エクセルギー（可使エネルギー）の観点から、太陽熱利用効率上有利と考えた。

また蓄熱槽内の上部水温を検知し、集熱が不十分で、蓄熱槽水温が45℃以下に低下すると、補助熱源系循環ポンプを作動し、50℃以上で停止するようにして50℃を確保する。

集蓄熱系では前記50℃集蓄熱制御以外に、差温制御及び凍結防止制御を行っている。差温制御は、蓄熱槽に集熱したエネルギーが集熱器から放出されることを防ぐため、集熱器と蓄熱槽下部の温度差を検知し、集熱器の方が高いときだけポンプを作動する制御で、6 K以上でオン、2 K以下でオフとした。凍結防止制御は、寒冷時に蓄熱槽内の温水を一部通流して、集熱器内における凍結を防止するため、ポンプを作動する制御である。集熱器内水温5℃以下でオン、8℃以上でオフとし、更に集熱器内の冷水が完全に温水で置換されるように、ポンプの作動時間をタイマで規定している。

2. 給湯系

給湯は、蓄熱槽内の熱交換器に市水を通流し、加温する方式とした。

給湯温度は、蓄熱槽内温水温度と給水温度、及びその流量によって決まる。前述のように、蓄熱槽内上部水温を約50℃以上に維持しているため、通常は45℃以上の給湯温度が得られるように、熱交換器の伝熱面積を選定している。

3. 暖房系

暖房運転の発停は、循環ポンプのスイッチで行う。

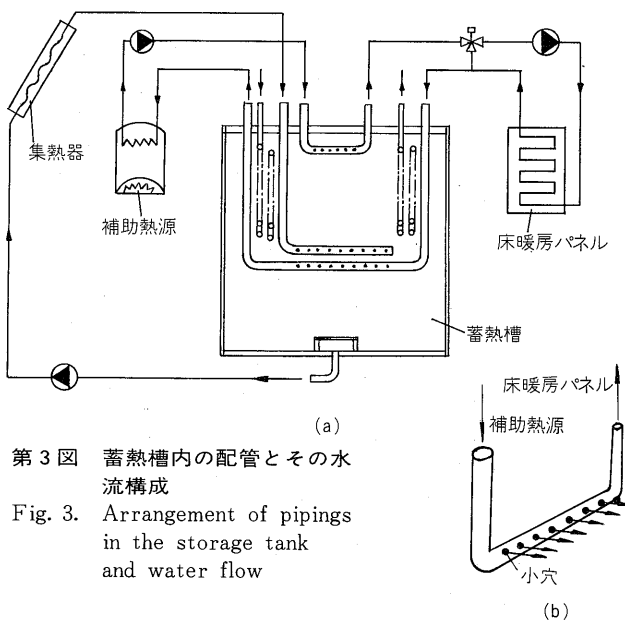
暖房温度の制御は、床暖房パネルへの送水温度が設定値になるように、三方調節弁で床暖房パネルからの戻り温水と、蓄熱槽からの温水の混合比を調節することにより行われる。

送水温度の設定値は、室内が適温となるように外気温に対応した演算標準温度を定め、演算機構により自動的に設定される。本システムの演算標準温度は、外気温0℃のとき送水温度50℃、外気温20℃のとき送水温度25℃とし、この間を直線的に結んで設定値を定めている。

本ソーラシステムは、冬季の気温が氷点下になることの少ない川崎市に設置されているため、外気温は実用上0℃以下にならないとして、蓄熱槽水温が50℃を確保するようにしている。

4. 蓄熱槽

蓄熱槽は第3図に示すごとく、集熱系・補助熱源系・床暖房系の各配管を槽内に導入し、管壁に水平1列に多数の小穴を設ける特殊構造とした。本構造によれば、水の噴出入時に上下方向の攪乱流がほとんど生じないので、槽内において押し流れによる成層効果が得られる。



第3図 蓄熱槽内の配管とその水流構成  
Fig. 3. Arrangement of pipings in the storage tank and water flow

また、補助熱源作動時に、補助熱源からの高温水が床暖房系に有効に利用できるように、第3図に示すような補助熱源から蓄熱槽に流入する高温配管と、床暖房への供給配管を槽内で連通接続し、連通管の管壁に前記のように多数小穴を設け、槽内に開口する構造とした。更に床暖房からの戻り管と、補助熱源への供給管も同様な構造とした。本構造により、補助熱源からの熱は、床暖房系の流量が多いときは大部分床暖房系に供給され、三方調節弁によって蓄熱槽からの供給流量が絞られると、余剰分は小穴から蓄熱槽に入る。このため、床暖房開始直

後の立上り時のように床暖房系流量が多いときは、補助熱源からの熱が有効に利用できる。

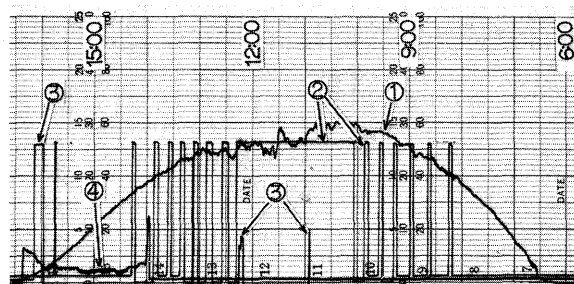
運転結果によれば、補助熱源からの水温61℃に対し、蓄熱槽水温が約50℃でも、床暖房系への水温は60℃であった。

#### IV. 運転結果

ソーラハウス竣工以来、連続実用運転によりデータ集積を行っている。運転開始後、約1年間の運転結果とデータ解析結果を以下に述べる。

##### 1. 集熱時の運転例

第4図に集熱時の運転モードの一例を、日射量・集熱系流量・給湯系流量・床暖房系流量について示す。



- ① 日射量 (FS 1,200kcal/m<sup>2</sup>·h)
- ② 集熱系流量 (FS 2,500 l/h)
- ③ 給湯流量 (FS 2,500 l/h)
- ④ 床暖房系流量 (FS 2,500 l/h)

第4図 集熱時の運転モードの一例  
Fig. 4. An example of solar heat collection mode

図中①で示す日射量は、6時30分に立ち上がり、10～11時にピークに達し、720kcal/m<sup>2</sup>·hを示している。

②で示す集熱系流量は、III章1で述べたように、50℃集熱制御及び差温制御により、ポンプがオン・オフを繰り返している状況が記録されている。集熱系流量は、約20 l/minである。

集熱は8時10分頃から始まり、10時までにポンプのオン・オフを6回繰り返して間欠集熱した。その後、10時5分頃から12時20分頃までポンプは連続運転して、連続集熱している。更に12時30分頃から14時30分までに7回、15時45分頃に1回、計8回ポンプが運転し、間欠集熱している。

午前中6回の間欠運転は、差温条件は常時ポンプオンの状態にあるが、50℃集熱制御によりオン・オフしているためである。以後の連続運転は、差温条件と50℃集熱条件を共に満たしたためである。この場合、蓄熱槽内水温が50℃以上に達しており、かつ日射量が十分なため、集熱器内での水温が52℃以上になっている。

午後8回の間欠運転は差温制御によるもので、蓄熱槽水温が50℃以上であるため、50℃集熱条件は常時満たさ

れている。14時30分までの7回は、約10分間の水の滞留で、集熱器内水温が差温条件を満たすまで昇温したためである。15時45分頃、日射量が少ないにもかかわらずポンプがオンしたのは、床暖房への熱の利用により、蓄熱槽水温が低下して、差温条件を満たしたためである。

給湯流量は③で示される。11時頃、12時15分頃、13時10分頃、及び16時頃の4回給湯されている。

④は床暖房系流量を示し、14時頃暖房が開始されている。開始直後に流量が大きいのは、床暖房パネル自体の温度が低く、それを昇温するためである。その後16時20分頃に流量が低下しているのは、暖房温度の設定を低く切り換えたためである。

##### 2. 1日の運転例

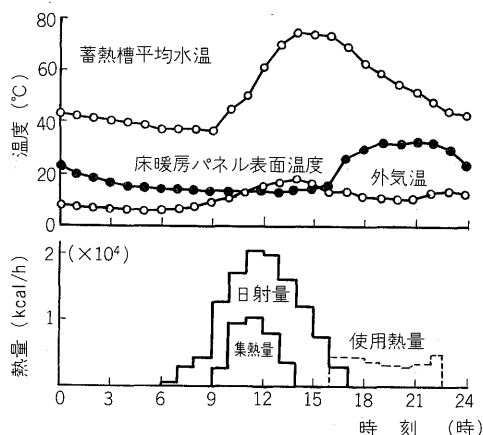
ソーラシステムの1日の運転例として、昭和53年3月8日の結果を第5図に示す。上部に蓄熱槽平均水温・床暖房パネル表面温度・外気温の変化を、下部に日射量・集熱量・使用熱量の値を1時間ごとに示す。

この日の日射量は、終日で約115,000kcal(約3,800kcal/m<sup>2</sup>·d)で、3月の晴天日としては、比較的小さい値である。

集熱は、9時から14時まで5時間にわたり、約32,000kcalを集熱し、集熱効率率は約28%であった。その結果、蓄熱槽平均水温は37℃から73℃になった。

熱の利用は、16時から22時30分まで、給湯及び暖房に約25,000kcalであった。この熱の利用により、蓄熱槽内平均水温は73℃から44℃になった。また、この日1日の日射量のうち約21%を熱として利用したことになる。

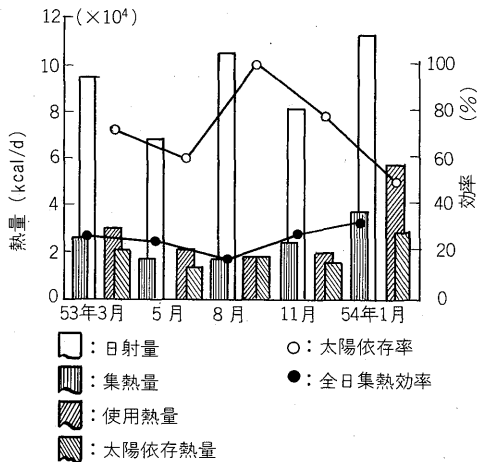
なお、この日は補助熱源は利用せず、使用熱量は100%太陽に依存している。



第5図 1日の運転結果の一例(昭53年3月8日)  
Fig. 5. An example of daily performance for March 8, 1978

##### 3. 運転性能の季節別推移

運転性能の季節別推移を第6図に示す。図中、棒グラフは日射量、集熱量及び使用熱量、太陽依存熱量を示し、丸印は全日集熱効率及び太陽依存率を示す。



第6図 運転性能の季節別推移  
Fig. 6. Monthly performance to represent each season

図に示した値は、季節の代表月について、各月の1週間~10日間を対象にしてデータ解析を行い、期間平均したものである。

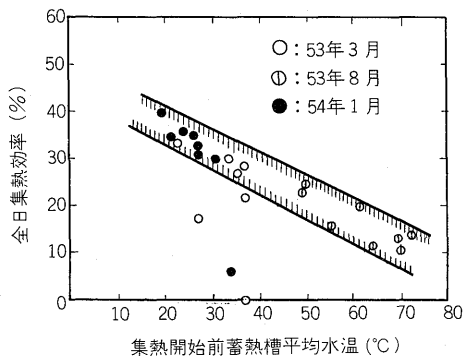
太陽依存率は、3月72%、5月60%、8月100%、11月78%、1月48%であった。8月の100%は、集熱能力が使用熱量を上回った結果である。

全日集熱効率は、3月27%、5月25%、8月18%、11月28%、1月33%で、平均的には27%程度であった。8月の効率が低いのは、日照量に対して使用熱量が少なく、集熱温度が高くなったためである(第7図参照)。5月に低いのは、曇天日が多かったためである。

太陽依存熱量は13,000~27,000kcal/dで、年平均では20,000kcal/d程度と推定され、集熱面積当たりでは約660kcal/m<sup>2</sup>・dとなる。

#### 4. 集熱効率の温度依存特性

第7図に、全日集熱効率と集熱開始前蓄熱槽平均水温の関係を示す。図中ハッチング内は、晴天日を示し、その



第7図 集熱効率の温度依存特性  
Fig. 7. Daily collector efficiency-stored water temperature relationship

れ以下は曇天日を示す。雨天日は、全日集熱効率=0である。

第7図で、8月の集熱開始前蓄熱槽平均水温は、前述のように、日照量に比べ使用熱量が少ないため、結果として高くなっている。逆に1月については、夜間の凍結防止のために熱を消費し、蓄熱槽水温は低下している。クラブハウスの営業時間の関係で、午前中の熱の利用がないため、深夜から朝にかけて補助熱源はオフされている。その結果、集熱開始前蓄熱槽平均水温は低くなっている。

第7図から、全日集熱効率は集熱開始前蓄熱槽平均水温の影響を顕著に受け、効率は水温が20℃で約40%、40℃で約30%、60℃で約20%であった。

当然のことながら、システムの熱効率上、集熱温度をできる限り下げることが重要な課題であることがわかる。

#### V. あとがき

当社・川崎工場クラブハウスの太陽熱暖房給湯システムについて、システムの概要と運転結果を述べた。

本システムの特徴は、

- (1) 集熱器内で50℃以上になるのを待って蓄熱槽へ集熱する50℃集蓄熱制御により、エクセルギーの観点から、太陽熱利用効率が良い。
  - (2) 床暖房の採用により、低温度の温水でも高い暖房効果が得られる。
  - (3) 蓄熱槽内の特殊配管構成により、蓄熱槽内温度成層効果と、補助熱源からの高温水が床暖房の温度上りに、有効に働く効果が得られる。
  - (4) 銅製集熱器の採用により、耐久性が良好である。
  - (5) 凍結防止法には温水循環方式を採用し、メンテナンスフリーである。
- などの点である。

昭和53年2月に本ハウス竣工以来、順調に連続実用運転を続け、所期性能をほぼ満足することを確認している。引き続きデータを集積し、性能の経時変化を追跡するとともに、実用面からの最適化を図っていく考えである。

#### 参考文献

- (1) 河田：富士電機川崎工場クラブハウスの太陽熱利用システムについて、建築設備 29, 7, 52~55 (昭53)
- (2) 西尾・杉浦：富士電機川崎工場クラブハウスの太陽熱暖房給湯システムについて、日本太陽エネルギー学会第4回研究発表会講演論文集 69-72 (昭53)
- (3) 西尾・杉浦：Solar Heating and Hot Water Supply System of Fuji Electric Solar House, 1979 ISES Congress Extended Abstract 382 (1979)



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。