

特 集 ソーラーハウス

# ソーラーハウスの冷暖房・給湯システムの熱特性

## Thermal Performance in Solar Heating, Cooling and DHW System

日野谷 勝 弘\*

Katsuhiko Hinotani

### 1 太陽冷暖房・給湯システムの熱収支

太陽熱を利用する冷暖房・給湯システムは一般的に、システム中の熱の流れに沿って、図-1の様に示す事が出来る。即ち、太陽冷暖房システムには集熱・蓄熱のためのサブシステム、エネルギー転換・分配のためのサブシステム及び建物(冷暖房・給湯負荷)が含まれる。

集熱・蓄熱サブシステムの機能は低密度で且非定常な太陽エネルギーを有効に利用出来る熱形態にするために、熱輸送媒体を昇温し蓄熱することである。このサブシステムの目的は冷暖房・給湯用の化石燃料(灯油、都市ガス及び電力)の節約である。

エネルギー転換・分配サブシステムの機能は給湯、

暖房、或いは冷房を具体的にを行うことである。機器としては従来の冷暖房・給湯用機器(ヒーター、ヒートポンプ、吸収冷凍機及び温水器等)とそれ等に附属する部品類(ポンプ、ファン、熱交換器、制御器、弁、配管及びダクト等)がある。集熱・蓄熱サブシステムから送り込まれた集熱量が化石燃料による熱源(太陽エネルギー側から見た時には補助熱源)からの供給熱量のバックアップを受け、機器の運転によって、建物の必要場所に、給湯、暖房或いは冷房用として配分される。

上述した様に、図-1はソーラーハウスに降り注いだ太陽エネルギーが若干の補助熱源によるバックアップを受け、給湯用、暖房用或いは冷房用として有効に利

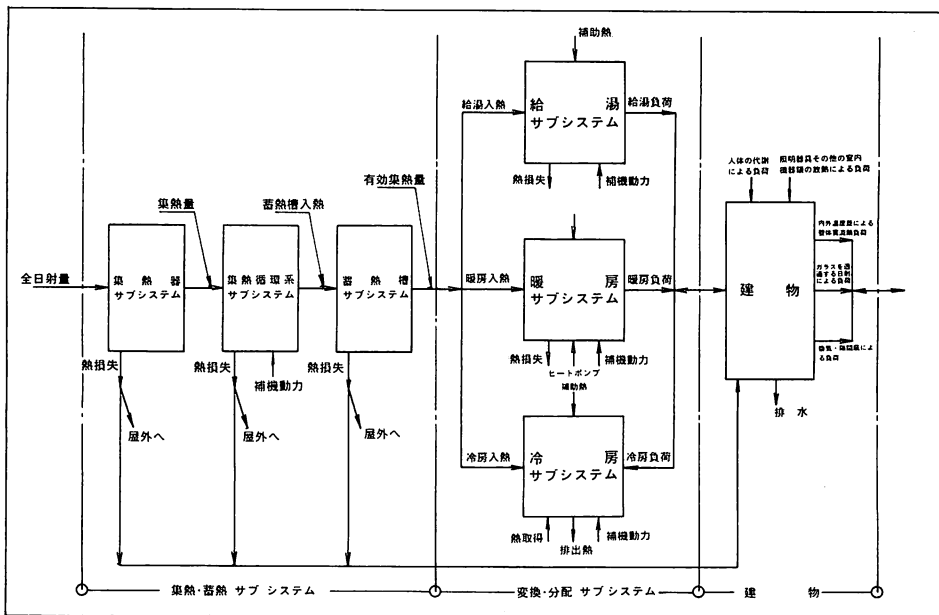


図-1 太陽冷暖房・給湯システムにおける熱の流れ図

\* 三洋電機(株)技術本部中央研究所第2研究部部長

用された後、ソーラーハウスの屋外に排出されるに至る迄の、システム中の熱の流れを示すものである。

システム中の熱の流れはサブシステムの熱収支を測定する事によって明らかになる。熱収支はサブシステム（即ち機器）への入熱がサブシステムからの出熱とサブシステム中での蓄熱との和となる事によって表わされる。一般に、入出熱は時間的に変動し、機器の熱容量の影響を受けるために、熱収支の測定は一定時間間隔で周期的に行なわれる。熱損失はサブシステムの各点に於ける蓄熱の無効分である。サブシステムの断熱材を通して屋外に失なわれるものが熱損失の大部分である。機器の設置場所によって、断熱材を貫流した熱損失のうちにも建物熱負荷の低減に役立ち有効成分となるものがある。

サブシステムの各点に於ける熱量は

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \dot{m} c_p (T_o - T_i) d\tau \quad (1.1)$$

で与えられる。但し、 $\dot{m}$  は熱媒体の質量流量 [kg/hr]、 $c_p$  は定圧比熱 [J/kg-K]、 $T_o - T_i$  は出入口温度差 [°C] である。 $\dot{m}$ 、 $c_p$  及び  $T_o$ 、 $T_i$  は温度又は時間の関数であるが測定間隔を十分に短時間に取る事によって、各点の熱量は

$$Q = \sum_{\tau_1}^{\tau_2} \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (1.2)$$

で積算される。

サブシステム中の機器の効率（又は成績係数）は(1.2)式の機器の入熱側 ( $Q_2$ ) と出熱側 ( $Q_1$ ) の値によって

$$N = \frac{\sum_{\tau_1}^{\tau_2} Q_1}{\sum_{\tau_1}^{\tau_2} Q_2} \quad (1.3)$$

で与えられる。

太陽熱を冷暖房・給湯に利用したために節約した化石燃料の割合によって、システムの性能を評価するものとして、化石エネルギー換算システム成績係数；SCOPE及び化石エネルギー換算全システム成績係数；TSCOPEを次の様に定義する。

$$\text{SCOPE} = L_t / A_c \quad (1.4)$$

$$\text{TSCOPE} = L_t / A_{ce} \quad (1.5)$$

但し、 $L_t$  は冷暖房・給湯負荷、 $A_c$  は補助燃料消費量、 $A_{ce}$  は補助燃料消費量と補機動力の和である。

## 2 計測結果

前章では、太陽熱を利用して冷暖房・給湯を行うシステム中での一般的な熱の流れについて述べた。次に、具体的なシステムを取り上げて、太陽冷暖房給湯システムに於ける熱の流れを定量的に解析する。取り上げたシステムは工業技術院サンシャイン計画による枚方ソーラーハウスのものである。このシステムは図-2に示す様に、主要機器として真空ガラス管型太陽集熱器と蓄熱槽2槽及び吸収冷凍機を用いた実現性が高く基本的なシステムである。又、このソーラーハウスは平均的家族構成4人（夫婦及び子供2人）を想定した一般住宅である。

ソーラーハウスに設置した計測システムは、外界条件（日射量、外気温、風向風速）、室内温度、システム状態（温度、温度差、熱流、熱量、流量、電力消費量、機器動作状況）等に関する計測点を計測対象とし、必要に応じ1分間から15分間隔でこれらの計測データを

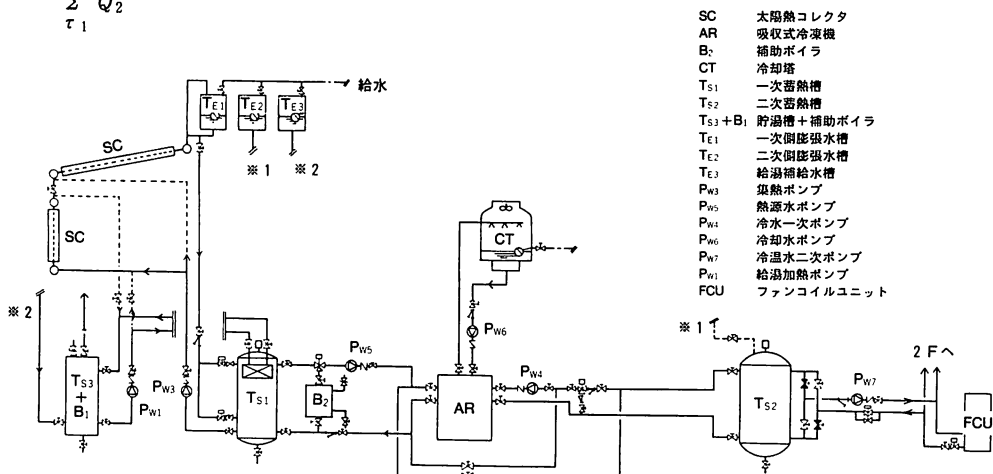


図-2 ソーラーシステム概略図

集録し、システム各部での熱量計算処理を行ったデータを磁気テープに出力するものである。

枚方ソーラーハウスでは昭和53年4月より実際に家族(夫婦・子供2人)が居住し、年間のシステム及び構成機器の性能評価を行うための実験計測を続けて来た。この運転結果の年間計測結果にもとづいて、熱収支を検討する。計測期間は昭和54年5月より昭和55年3月までのデータであって、システムの改造工事、計測システムの故障、見学者が多いなどの理由によって計測出来なかったり、正常な運転が行なわれなかった日をのぞくと、284日分のデータである。

表1は昭和54年5月1日より6月14日迄の春季中間期の44日分のデータを月別にまとめて、熱収支及び評価指数の一覧表としたものである。表1にもとづいて、昭和54年5月の熱収支及び評価指数について説明する。ソーラーハウスへの日射量は水平面で日平均値が4,380kcal/m<sup>2</sup>・day、傾斜面で4,500kcal/m<sup>2</sup>・dayである。傾斜面日射量とは集熱板の設置傾角15°に相当する傾斜面での日射量のことである。集熱器の集熱板への有効日射量を集熱面日射量とする。集熱器はソーラーハウスの屋上に設置したと同時に、真空ガラス管形太陽集熱器の特長の1つである設置の自由度を生かして、2階南面ベランダの垂直壁面にも設置した。従って全面とは屋上面と南壁面との和である。集熱効率(集熱面日射量と集熱量の比)であり、全面では1,244/6,129 = 0.20となる。一次蓄熱槽と貯湯槽の効率は入出熱の比であって、各々439/936 = 0.47と227/

412 = 0.55となる。給湯負荷(貯湯槽出熱)、補助熱量及び補機動力の計測値は各々227kcal、0.86kcal及び57kcalであった。従って、太陽依存率は(貯湯槽入熱-補助熱量)/貯湯槽入熱となり、(412-0.86)/412 = 1と計算される。システム成績係数(SCOP)は給湯負荷(227kcal)を補助熱量(0.84)で割った値で264となる。但し、この場合の計算値264は非常に大きい値になると言うことであり、この値そのものには意味がないので表では一で示してある。全システム成績係数(TSCOP)は給湯負荷を補助熱量と補機動力の和(0.86+57)で割ったものであり、その計算値として3.9が得られる。SCOP及びTSCOPは電力2次換算値である1kWh = 860kcalを用いて換算したものであるが、SCOPF及びTSCOPFは前章で述べた様に化石換算値であるので、発送電効率; 0.351を、SCOP及びTSCOPに掛ける事によって計算される。尚、枚方ソーラーハウスでは計測値の精度を確保するために、補助熱源としては電気ヒーターを用いている。図-3は表1で示した春季中間期の期間データ(44日分)を用いて、システム図上に各サブシステムの熱収支を明らかにする事によって、熱の流れの状態を示したものである。

表2は昭和54年夏季冷房期の83日分の計測データを7月、8月及び9月の月別にまとめた熱収支及び評価指数の一覧表である。冷房期には一次蓄熱槽の出熱は冷房用と給湯用に配分され、その和が全出熱である。その効率は入熱と全出熱の比で、54年7月ではその値

表1 春季中間期給湯運転の熱収支及び評価

	日射量		集熱系									一次蓄熱槽		
	kcal/m <sup>2</sup> ・day		集熱面日射量 kcal			集熱量 kcal			集熱効率			入熱 kcal	出熱 kcal	効率
	水平面	傾斜面	屋上面	南壁面	全面	屋上面	南壁面	全面	屋上面	南壁面	全面			
昭和54年5月(30日)	4,380	4,500	5,481	648	6,129	1,138	106	1,244	0.21	0.16	0.20	936	439	0.47
昭和54年6月(14日)	3,610	3,670	2,084	246	2,330	363	40	403	0.17	0.16	0.17	279	164	0.59
中間期44日	4,140	4,240	7,565	894	8,459	1,501	146	1,647	0.20	0.16	0.19	1,215	603	0.50

	貯湯槽			給湯負荷 kcal	給湯用補助熱量 kcal	補機動力 kcal	太陽依存率	システム評価係数			
	入熱 kcal	出熱 kcal	効率					SCOP	TSCOP	SCOPF	TSCOPF
昭和54年5月(30日)	412	227	0.55	227	0.86	57	1.00	—	3.9	93	1.4
昭和54年6月(14日)	158	94	0.59	94	2.6	18	0.98	36	4.6	13	1.6
中間期44日	570	321	0.56	321	3.5	75	0.98	92	4.1	32	1.4

は  $1222 / 1537 = 0.80$  となる。負荷及び補助熱量も冷房用と給湯用がある。冷房に対する太陽依存率は一次蓄熱槽の冷房側出熱を同じ一次蓄熱槽の冷房側出熱と冷房用補助熱量の和で割った値であり、7月の場合は  $930 / (930 + 86) = 0.92$  となる。冷房と給湯の全体の太陽依存率は両者の負荷と太陽依存率の積の和を全負荷で割ったものである。即ち、7月では  $(478 \times 0.92 + 126 \times 1) / 604 = 0.93$  となる。図-4は表2で示した夏季冷房期の期間データ(83日分)を用いて、システム中の熱の流れを示す矢図である。即ち、この期間中にソーラーハウスに入射した日射がソーラーハウス中で冷房用及び給湯用として利用された後、最終的にソーラーハウス外に排出される迄の熱の流れを示すものである。83日分の日射量は15115 Mcalであった。そのうち、7355 Mcalは集熱ポンプが閉の時の日射量であり、2309 Mcalは集熱ポンプが開の時の日射量であるが集熱器によって有効に集熱されなかったものである。残りの5451 Mcalが集熱器によって実際に集熱された日射量になる。但し、集熱ポンプが閉の間に集熱器中に滞留していた水が日射によって昇温し、それに続く集熱ポンプの開によって、有効に集熱される熱量は集熱量に含まれる。一次蓄熱槽の出熱の716 Mcal分が給湯側へ配分され、304 Mcalの給湯負荷となる。冷凍機には一次蓄熱槽出熱と補助熱源からの熱(3456 Mcal)が供給されて、冷凍機を駆動し、室内から1927 Mcalの熱を除去する。そのうち、279 Mcalは二次蓄熱槽での

熱損失で無効となり、結局、冷房負荷としては1648 Mcalとなる。最終的に、 $5383 - 279 = 5104$  Mcalが冷却塔を介して屋外に放出される。以上が冷房期のソーラーハウスの熱の流れの一部始終である。図-4より、システム中の機器(集熱器、蓄熱槽及び冷凍機)の動作状況、給湯と冷房との配分状況、及び熱損失発生場所と量を知る事が出来る。

図-5は秋季中間期(昭和54年10月17日～11月19日)の給湯運転の結果を示す期間データ(34日分)である。太陽依存率は0.99、TSCOPF及びSCOPFはそれぞれ1.5と28であった。

図-6は昭和54年12月1日から昭和55年3月29日までの冬季暖房期の113日分の計測データによるシステム中の熱収支を表す矢図である。凍結防止は冬季に特長のある運転様式であって、集熱器内に挿入した温度センサーが所定温度に達した時、集熱器内に一定時間だけ温水を循環する事によって凍結を防止するシステムを採用している。この凍結防止運転のために消費した熱量が318 Mcalであった。その他については冷房期の場合と同様であり、ソーラーハウスに入射した日射が最終的に給湯及び暖房用として使用された後、外気に排出されるに至る一部始終を知る事が出来る。即ち、図-6は、冬季暖房期に於けるシステム中の機器(集熱器、蓄熱槽及び冷凍機)の動作状況、給湯と暖房との配分状況、及び熱損失発生場所と量を示すものである。

中間期給湯運転 昭和54年5月1日～昭和54年6月14日(44日間)

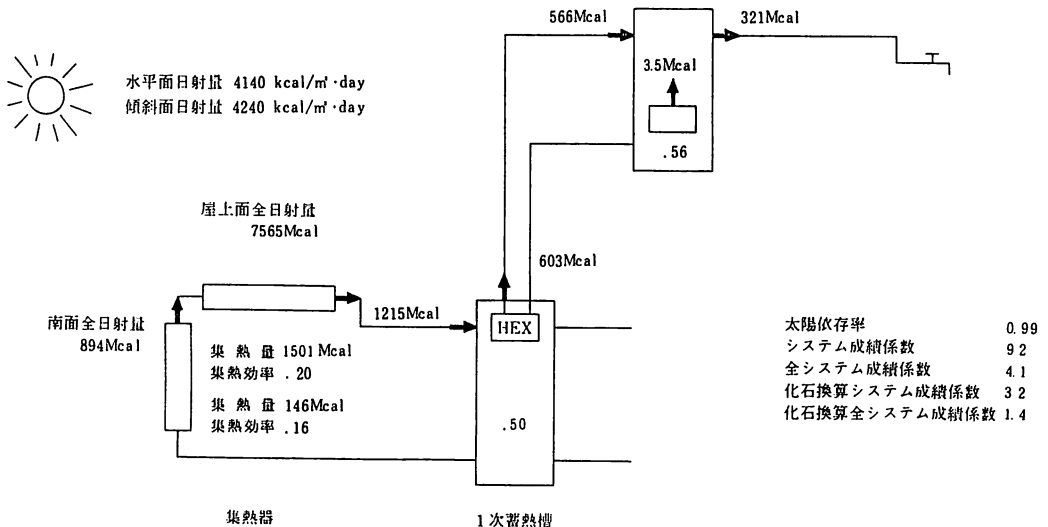


図-3 中間期給湯運転熱収支

表2 夏期冷房給湯運転の熱収支及び評価

	日射量		集熱系									一次蓄熱槽				冷凍機			二次蓄熱槽					
	kcal/m <sup>2</sup> ·day		集熱面日射量 Mcal			集熱量 Mcal			集熱効率			入熱				効 率			入熱			出熱		
	水平面	傾斜面	屋上面	南壁面	全 面	屋上面	南壁面	全 面	屋上面	南壁面	全 面	Mcal	冷 房	給 湯	全出熱	効 率	入 Mcal	除去熱 Mcal	COP	入熱 Mcal	出熱 Mcal	効 率		
昭和54年7月(29日)	4.050	4.090	4.819	570	5,389	1,637	117	1,754	0.34	0.21	0.33	1,537	930	292	1,222	0.80	1,010	523	0.52	523	478	0.91		
昭和54年8月(31日)	4.110	4.310	5.425	641	6,066	2,283	273	2,556	0.42	0.43	0.42	2,449	1,867	230	2,097	0.86	1,867	1,120	0.60	1,120	960	0.86		
昭和54年9月(23日)	3.220	3.510	3.273	387	3,660	1,054	87	1,141	0.32	0.22	0.31	1,034	579	194	773	0.75	579	284	0.49	284	210	0.74		
冷房期83日	3.840	4.010	13,517	1,598	15,115	4,974	477	5,451	0.37	0.30	0.36	5,020	3,376	716	4,092	0.82	3,456	1,927	0.56	1,927	1,648	0.86		

	貯湯槽			負 荷 Mcal		補助熱量 Mcal			補助動力 Mcal	太陽依存率			システム評価係数				
	入熱 Mcal	出熱 Mcal	効 率	冷 房	給 湯	全負荷	冷 房	給 湯		全	冷 房	給 湯	全	SCOP	TSCOP	SCOPF	TSCOPF
昭和54年7月(29日)	277	126	0.45	478	126	604	86	0	86	322	0.92	1.00	0.93	7.0	1.5	2.5	0.52
昭和54年8月(31日)	218	75	0.34	960	75	1,035	0	0	0	585	1.00	1.00	1.00	-	1.8	-	0.62
昭和54年9月(23日)	184	103	0.56	210	103	313	0	0	0	155	1.00	1.00	1.00	-	2.0	-	0.71
冷房期83日	679	304	0.45	1,648	304	1,952	86	0	86	1,062	0.98	1.00	0.98	23	1.7	8.0	0.60

3 運転様式と最適化

前章で述べたソーラーシステムの熱収支および評価指数のデータから、システム成績係数を向上させるには、集熱面積、蓄熱槽容量及び冷凍機能力を考慮した機器間の整合性、ポンプ容量の適正化、配管系の断熱の強化、及び運転の最適化が必要である事が分る。ここでは、此等の必要々素の中でも重要な運転の最適化について述べる。

図-2にはソーラーシステム概略図上に運転のための制御要素の配置場所も示した。集熱ポンプ等のポンプ類は記号 P<sub>w</sub>で、又切り換え弁、3方弁は記号 V で示された位置にある事が分る。これ等がソーラーシステム運転用の制御要素である。制御要素別に取りつけたセンサーからの制御信号によって独立に制御する方式を改めて、マイコンを用いて制御する方式によって運転の最適化が可能になる。すなわち、マイコンを用いた制御方式では要素機器及び制御要素の設定温度を集中管理し、システム全体を監視しながら運転を行なう事が出来るので運転の最適化が可能になる。

表3はソーラーシステムの運転の基本的様式(運転モード)とそれぞれの運転モードに対応する制御要素の動作状態を示す一覧表である。例えば、集熱運転モードは冷暖房・給湯運転のすべてに共通するモードであり、集熱ポンプ P<sub>w3</sub>は運転、弁 V<sub>c1</sub>は開、弁 V<sub>c2</sub>は閉、給湯加熱ポンプは運転休止等の状態にある。凍結防止の運転モードは冬季に特長のあるモードである。給湯

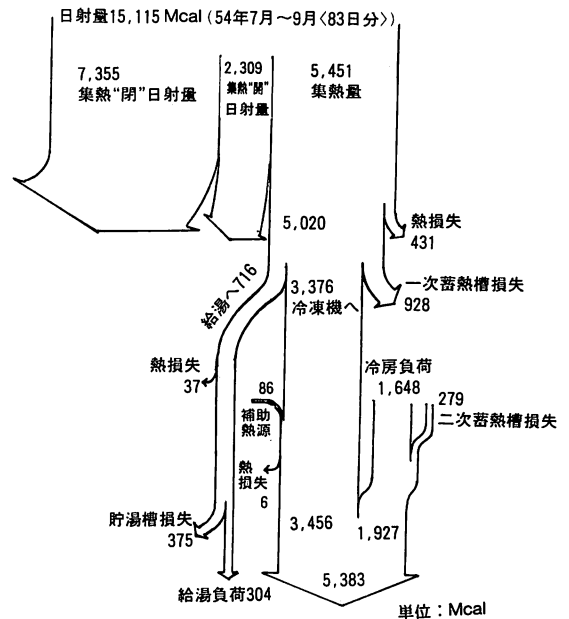


図-4 冷房期システム中の熱の流れ矢図

運動はソーラ給湯以下6種類の運転モードに分類される。この中でソーラ給湯とは集熱器で加熱された温水によって給湯が行なわれるモードを言い、貯湯給湯とは貯湯槽の温水による給湯のことである。暖房及び冷房の場合も、表3に示す様にそれぞれ6種類の運転モードに分類される。マイコンによる運転制御はこの様に分類される運転モードを、時々刻々変化する運転状況(日射量, 外気温, 機器各点の温度, 負荷の使用状態(使用量, 使用時間帯))に応じて、その組み合わせを最適化し、最も経済的で効果のある運転結果を得ようとする

中間期給湯運転 昭和54年10月17日～昭和54年11月19日(34日間)

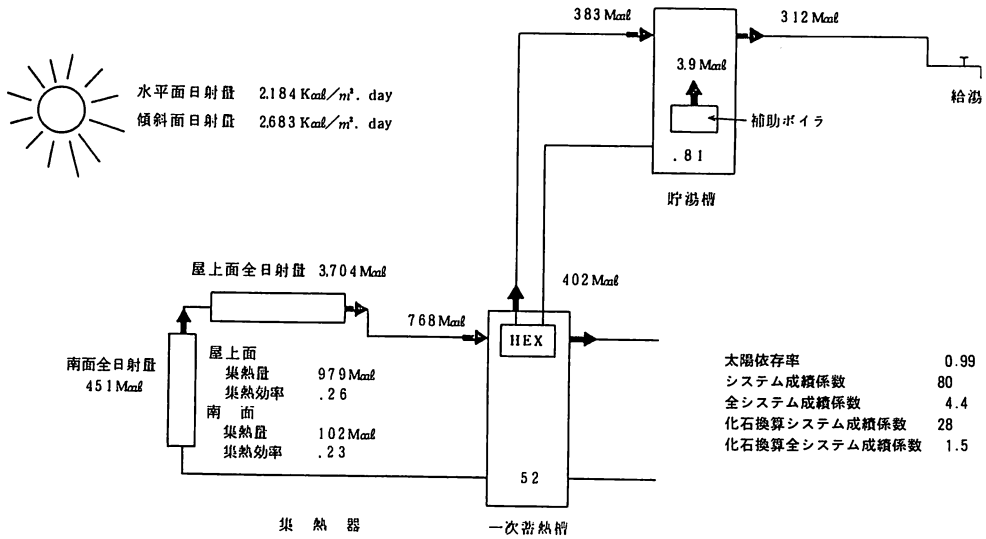


図-5 中間期給湯運転熱収支

ものである。

表4は中間期給湯運転の場合を取り上げて、従来の制御による場合(昭和54年5月)をマイコン制御によって最適化された場合(昭和54年10月)と比較したものである。5月の給湯負荷(7.6 Mcal)と10月の給湯負荷(8.1 Mcal)はほぼ同じ値になっているが、一次蓄熱槽と貯湯槽の入熱をみると5月の方がかなり大きい。集熱温度の変更(5月は95℃, 10月は85℃)にもよるが5月において必要以上に熱源が供給されている事が分る。TSCOFは5月が1.4, 10月で1.7となっているが、5月の日射量のはるかに大きく、また日射量が大きい日は集熱ポンプ及び給湯熱交換ポンプの電力消費量が少なくなることからいって、マイコン制御による運転の最適化に、成績係数の差以上の効果があったと考えられる。

太陽熱を利用する冷暖房・給湯システムの経済性は冷房まで含めると石油コストに比較してまだまだ経済的でないといわれている。これを経済的にするためにはシステム成績係数を向上させるためのシステムの熱収支を向上しなければならない。システムの熱収支の向上のためには上述した様にソーラーハウスの計測結果を詳しく解析し、その解析結果にもとづいてシステムの改良に結びつける事が有益である。すなわち、機器間の整合性、補機動力の適正化、断熱の強化に対する配慮、運転制御の最適化が必要である。太陽冷暖房・給湯システムの経済性の確立はシステムの熱性能の向上とシステムを構成する機器のコストダウンによるコ

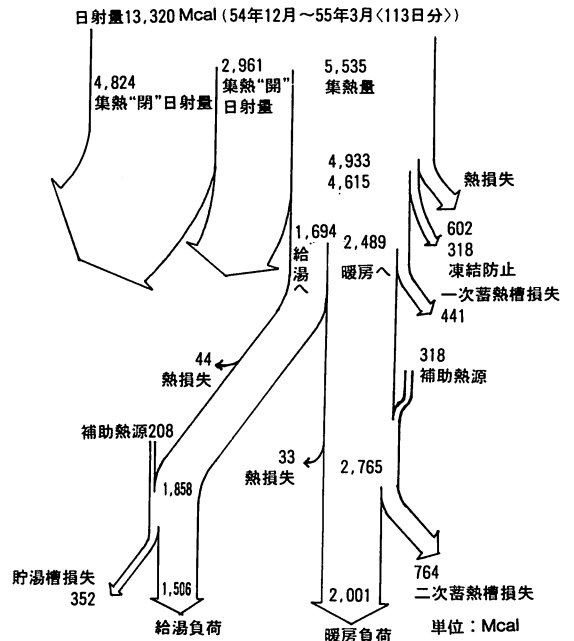


図-6 暖房期システム中の流れ矢図

ストパーフォーマンスの向上によってはじめて可能になると考える。

尚、上述した計測データ及び解析結果は工業技術院サンシャイン計画の一環として行われた委託研究の研究成果に基づくものである。本委託研究の遂行にあたり御指導戴いた工業技術院サンシャイン推進本部のたがたに深く謝意を表する。

表3 運転の基本的様式と各要素の位置と動作状態を示す表

運転様式	制 御 要 素																					
	Pw3	Vc1	Vc2	Pw1	Vh1	Vh2	B1	HL	Vs1	Vs2	B2	Pw5	AR	CT	Pw6	Pw4	Vs3	Pw7	Vsw1	Vsw2	Vsw3	Vsw4
集熱	Y	O	C	N	C	C	N	C	O	C	N	N	N	N	N	N	N	N	B	B	B	B
凍結防止	Y	C	O	N	C	C	N	C	C	O	N	N	N	N	N	N	N	N	C	C	O	O
給湯	Y	O	C	Y	O	C	N	O														
ソーラ給湯	Y	O	C	Y	O	C	N	O														
貯湯給湯	N	C	C	N	C	C	N	O														
補助給湯	N	C	C	N	C	C	Y	O														
ソーラ貯湯	Y	O	C	Y	O	C	N	C														
蓄熱貯湯	N	C	C	Y	O	C	N	C														
補助貯湯	N	C	C	N	C	C	Y	C														
暖房																						
ソーラ暖房	Y	O	C	N	C	C	N	C	O	C	N	Y	N	N	N	N	O	Y	C	C	O	O
蓄熱暖房	N	C	C	N	C	C	N	C	C	O	N	N	N	N	N	N	C	Y	C	C	O	O
蓄熱暖房(2)	N	C	C	N	C	C	N	C	O	C	Y	N	N	N	N	N	O	Y	C	C	O	O
補助暖房	N	C	C	N	C	C	N	C	C	O	Y	Y	N	N	N	N	P	Y	C	C	O	O
ソーラ蓄熱	Y	O	C	N	C	C	N	C	O	C	N	Y	N	N	N	N	O	N	C	C	O	O
蓄熱	N	C	C	N	C	C	N	C	O	C	N	Y	N	N	N	N	O	N	C	C	O	O
冷房																						
ソーラ冷房	Y	O	C	N	C	C	N	C	P	P	N	Y	Y	B	Y	Y	P	Y	O	O	C	C
蓄熱冷房	N	C	C	N	C	C	N	C	C	O	N	N	N	N	N	N	C	Y	O	O	C	C
蓄熱冷房(2)	N	C	C	N	C	C	N	C	P	P	N	Y	Y	B	Y	Y	P	Y	O	O	C	C
補助冷房	N	C	C	N	C	C	N	C	C	O	Y	Y	Y	B	Y	Y	P	Y	O	O	C	C
ソーラ蓄熱	Y	O	C	N	C	C	N	C	P	P	N	Y	Y	B	Y	Y	P	N	O	O	C	C
蓄熱	N	C	C	N	C	C	N	C	P	P	N	Y	Y	B	Y	Y	P	N	O	O	C	C

Y; 運転 N; 休止 B; 運転又は休止 O; 弁開 C; 弁閉 P; 弁比例制御

表4 中間期給湯運転の日平均熱収支および評価の比較

	日射量 kcal/m <sup>2</sup> ·day		集 熱 系									一 次 蓄 熱 槽		
			集熱面日射量Mcal			集 熱 量 Mcal			集 熱 効 率			入 熱 Mcal	出 熱 Mcal	効 率
	水平面	傾斜面	屋上面	南壁面	全 面	屋上面	南壁面	全 面	屋上面	南壁面	全 面			
昭和54年10月	2,527	3,074	124.8	14.9	139.7	31.6	2.8	34.5	0.25	0.19	0.25	24.2	10.9	0.45
昭和54年5月	4,380	4,500	182.7	21.6	204.3	37.9	3.5	41.5	0.21	0.16	0.20	31.2	14.6	0.47

	貯 湯 槽			給湯負荷 Mcal	給湯用 補助熱量 Mcal	補機動力 Mcal	太 陽 依存率	シ ス テ ム 評 価			
	入 熱 Mcal	出 熱 Mcal	効 率					SCOP	TSCOP	SCOPF	TSCOPF
昭和54年10月	10.5	8.1	0.77	8.1	0.13	1.5	0.99	64.0	4.9	23	1.7
昭和54年5月	13.7	7.6	0.55	7.6		1.9	1.00		3.9	93	1.4

参 考 文 献

- サンシャイン計画  
太陽冷暖房・給湯システム研究開発成果  
昭和55年2月  
通産省工業技術院サンシャイン計画推進本部  
発行：(財)日本産業技術振興協会
- 全上発表会追補資料集  
昭和56年10月22日  
発行：(財)日本産業技術振興協会
- Data Requirements and Thermal Performance Evaluation Procedures for Solar Heating and Cooling System May 1979  
IEA Solar Heating and Cooling Program
- 日野谷・佐野：「サンシャイン計画」太陽冷暖房・給湯システムの研究開発に於ける太陽熱利用住宅の設計，三洋電機技報 11, 2号, 3 (昭和54年)
- 日野谷・大隅・松本・飯田：「サンシャイン計画」実験住宅の計測システム，三洋電機技報 12, 2号, 3 (昭和55年)

以上