UDC 697.329

計算機による太陽熱利用システムの集熱量計算

Collected Heat Energy of Solar System Using Computerized Calculation

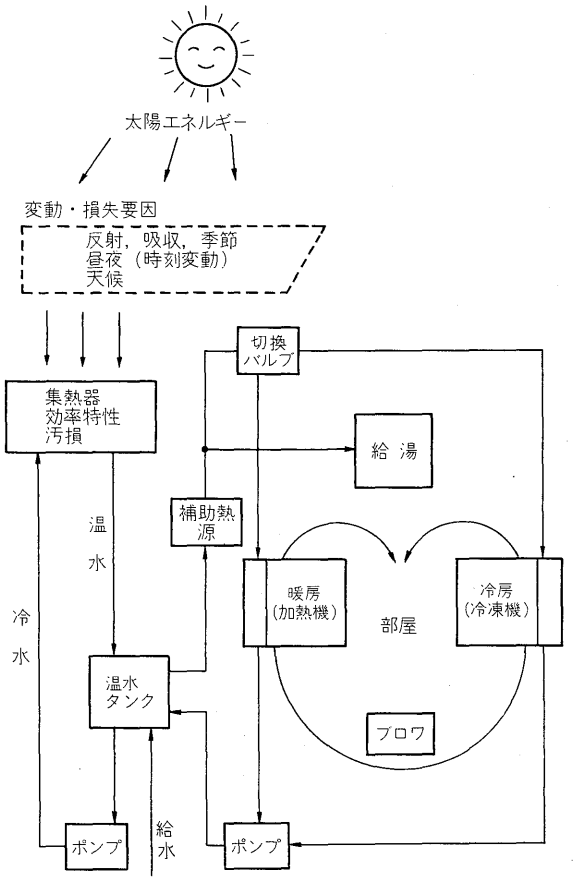
佐々木荘* Sakari Sasaki・杉浦　賢** Satoshi Sugiura・渡辺泰正** Yasumasa Watanabe・渡辺清雄*** Kiyoo Watanabe

I. まえがき

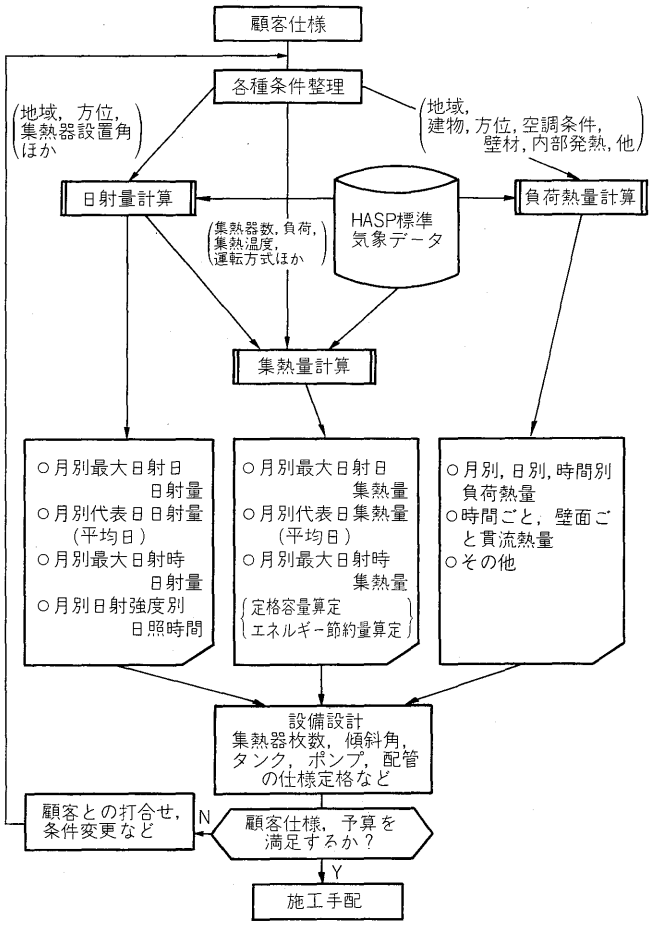
太陽から放射されるエネルギーのスペクトル分布は，約6,000℃の黒体放射にほぼ等しく，そのエネルギーは太陽定数（太陽－地球間の平均距離で地球の大気圏外に置いた太陽光束に垂直な1 cm^2 の面が単位時間に受けるエネルギー）で表される。この値は1.94～2.00 $cal/cm^2/min$（1.395 kW/m^2）であるが，大気圏での雲や微粒子等の反射，吸収があるため，地表面に到達するエネルギーは快晴日で1.4～1.6 $cal/cm^2/min$ となる。太陽熱集熱器で熱エネルギーを集める場合，天候（気温，水温，雲量），集熱器性能，集熱温度，時刻などにより変化し，上記値よりも小さなものとなる。太陽熱利用システム（ソーラーシステム）による太陽エネルギーの利用概念図を，第1図に示す。集熱量，負荷熱量の時間的・季節的変化を考慮し，省エネルギーシステムとして経済的に最適なソーラーシステムを設計する場合，正確な集熱量を予測計算し，方式の評価や節約エネルギー量の検討を行うことが重要である。集熱量計算は，過去の気象データを基礎にして1年間分の熱収支計算を，対象となる各種ソーラーシステムの各仕様ごとに実行する必要があり，そのばく大な計算量は人手では困難である。富士電機では，各種仕様に対処できる太陽熱計算システムを開発整備したので以下に紹介する。

II. 集熱量計算の基礎と気象データ

ソーラーシステムの設備設計においては，設計数値の把握上集熱量と負荷熱量の計算が必要である。この一連の熱計算の流れは，第2図に示すとおりである。また，富士電機では熱計算の基礎データとなる気象データは，HASP標準気象データを用いている。



第1図　太陽エネルギーの利用概念
Fig. 1. Application concept of solar energy system



第2図　熱計算システム流れ
Fig. 2. Flow diagram of heat calculation system

* メカトロ・省エネ技術センター　ソーラーシステム部　**(株)富士電機総合研究所　製品化研究所　***富士ファコム制御(株)システム本部

HASP標準気象データとは，気象庁が各地の気象台や測候所において永年観測し，蓄積している原資料に，平均化のための吟味を行い，代表性をもつように1年間分のデータを再構成し，これに必要な加工を加えて整備した8,760時間（1年間）から成るデータである。このデータは①外気乾球温度，②外気湿度，③直達日射量，④天空散乱日射量，⑤雲量，⑥風向，⑦風速の7項目から構成されている。地域的に見ると，東京，名古屋，大阪，福岡，札幌などを代表として現在18地区のデータが整備（一部開発中）されており，日本建築設備士協会の配布サービスが受けられる。

III.　日射量と集熱量

1.　日射量計算

太陽熱利用の基礎となる日射量はできる限り正確に把握する必要があり，集熱器を設置する際は，その受光面の角度を選定することによって，入射エネルギーの最大化を図るのが一般である。したがって，傾斜角度をもった受光面への日射量を正しく推算する必要がある。

日射量の基本的計算法としては，次の二つがある。

(1)　HASP標準気象データを使用する。

(2)　水平面全天日射量から直散分離操作を行い，傾斜面へ換算する。

富士電機では計算機による大量データ処理能力のメリットと気象データに対する信頼性を考慮して，(1)の方法を採用した。以下にその詳細を述べる。

いま，傾斜面の方位角を η°（北を基準に東回り），傾斜角を ε°（水平面が基準）とするとき，この傾斜面へ入射する日射量（I）は，直達日射成分 H_D，天空日射成分 I_S，反射成分 I_R の3成分の和で表現できる。

すなわち，

傾斜面日射量（I）＝直達日射量（I_D）

＋天空日射量（I_S）＋地面反射成分（I_R）……(1)

ここで各成分は，法線面直達日射量 I_{ND}（kcal/m²·h），水平面天空日射量 I_{HS}（kcal/m²·h），地面へ入射する日射量 $I_{ND}\cdot\sin\varphi+I_{HS}$（kcal/m²·h）をもとに次式で計算できる。

①　直達日射成分

$$I_D = I_{ND}\cdot\cos\beta \quad\cdots\cdots(2)$$

$$\cos\beta = \cos\varepsilon\cdot\sin\varphi+\sin\varepsilon\cdot\cos\varphi\cdot\cos(\theta-\eta) \quad\cdots\cdots(3)$$

$\cos\beta$ は法線面直達日射量の傾斜面への換算係数

②　天空日射成分

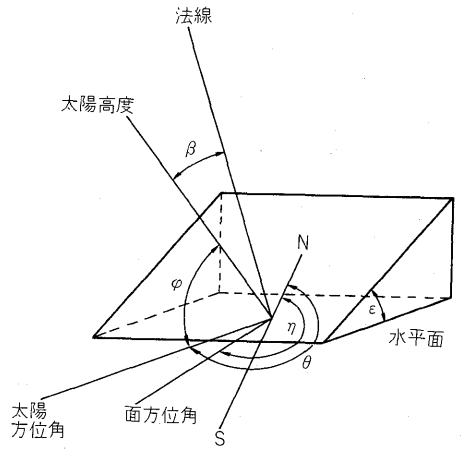
$$I_S = I_{HS}(1+\cos\varepsilon)/2 \quad\cdots\cdots(4)$$

③　反射成分

$$I_R = (I_{ND}\cdot\sin\varphi+I_{HS})(1-\cos\varepsilon)\cdot\rho/2 \quad\cdots\cdots(5)$$

ただし，φ（°）：太陽高度

θ（°）：太陽方位角



第3図　傾斜面における日射量計算参考
Fig. 3.　Reference for calculation global radiation on a inclined surface

次に式(2)，(5)の計算を実行する上で必要な太陽高度，太陽方位角の計算法を述べる。

まず赤道座標系では，恒星の運動に沿って座標軸が定められており，その成分に，時角 H（°）と，赤緯 δ（°）とがある。時角は天球上での経度に相当するものであり，設置点での子午線を基準（0°）として西側を－，東側を＋で表す。また赤緯とは，天球上の緯度に相当し，天の北極を＋90°，赤道を0°と表す。

いま，元日から起算した当日までの日数を T（d），当日内での時刻を t（h），設置点経度を L（°），均時差を e（min）とすると，

$$H = 15^\circ\times\left(t-12+\frac{L-135}{15}+\frac{e}{60}\right) \quad\cdots\cdots(6)$$

$$\delta = 23.44^\circ\times\sin\left(360^\circ\frac{T-80}{365}\right) \quad\cdots\cdots(7)$$

式(6)中の均時差 e とは，南中時刻の日変化であり，地球の公転軌道が楕円形であるために生ずる中心差と，黄道が赤道に対して傾斜しているために生ずる赤道への整約による2成分があり，ここでは計算機処理上，

$$e = A\sin\left(360^\circ\frac{T+a}{365}\right)+B\sin\left(360^\circ\frac{T+b}{182.5}\right) \quad\cdots\cdots(8)$$

で近似した（ただし，A，B，a，b は数値計算により別途決定した定数）。

式(6)，(7)で得られた時角 H（°）と赤緯 δ（°）を用いて，設置点緯度 ϕ（°）における太陽高度 φ（°），太陽方位角 θ（°）を地平座標系で表すと，

$$\varphi = \sin^{-1}(\sin\phi\cdot\sin\delta+\cos\phi\cdot\cos\delta\cdot\cos H) \quad\cdots\cdots(9)$$

$$\theta = \sin^{-1}(\cos\delta\cdot\sin H/\cos\varphi)+180^\circ \quad\cdots\cdots(10)$$

ただし，θ の範囲には制約があり，季節により補正計算を要する。

2.　日射量計算例

今回開発したプログラムによる日射量計算結果の例を

第1表に示す。

3. 日影考慮による日射量補正

日射量の計算において，集熱器を南北方向に2列以上にわたって設置する場合や，真空ガラス管形集熱器の集熱板に角度をもたせて設置する場合，後列の集熱面上に前列集熱板の影が生ずる。この影による後列集熱器の日射量低下分を無視することができない場合がある。日影の影響は集熱器間隔，集熱器傾斜角，季節，時刻などにより変化し，特に太陽高度の低い冬期には，その影響が最も大きくなる。そこで本システムでは，日影を考慮した日射量計算も可能なように，オプション機能として日影計算プログラムを用意した。

影の影響の計算は次の2項目から構成される。

(1) 直達日射成分補正のための直射影面積計算〔第4図(a)参照〕

(2) 天空日射成分，反射成分補正のための前列集熱器を見込む立体角補正〔第4図(b)参照〕

(1)は前列集熱器によって生ずる後列集熱器上での影面積を求めて，集熱器面積に対する影面積の比率を算出し，直達日射成分に乗じる操作である。(2)は後列集熱器の中

第1表　日射量計算結果

Table 1. Calculation results of fulx of solar radiation

(a) 日射強度別日照時間（h）

*** MODULE AZIMUTH = 180.00　DEG. ***　　*** HOUR ***

SLOPE = 25.	KCAL/H*M**2	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JULY.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
	100	58	62	72	102	92	121	110	93	82	73	66	54
	200	33	38	39	50	70	54	62	57	57	58	37	37
	300	35	22	27	31	47	41	52	55	41	36	27	42
	400	25	34	29	26	48	43	41	57	39	29	35	36
	500	42	28	48	38	46	38	39	44	26	40	28	29
	600	25	31	20	25	32	20	22	27	17	17	30	25
	700	27	18	19	27	6	10	9	5	7	2	8	6
	800	5	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
AVEL.	KCAL/D*M**2	2,961	2,885	3,580	3,146	3,319	3,013	3,045	3,280	2,520	2,351	2,456	2,370
MAX.	KCAL/H*M**2	767	764	808	760	674	694	702	686	699	672	677	682
MAXDAY	KCAL/D*M**2	4,670	5,028	5,885	5,609	5,367	5,342	5,654	5,334	4,670	4,509	4,130	3,888

SLOPE = 30.	KCAL/H*M**2	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JULY.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
	100	56	61	71	103	95	121	111	93	81	72	64	53
	200	32	35	39	51	71	54	65	59	57	55	39	37
	300	35	25	26	31	45	45	52	55	40	36	20	36
	400	25	31	30	26	48	44	37	55	39	30	40	36
	500	35	26	43	37	47	33	39	44	26	37	25	29
	600	27	32	42	27	32	23	25	27	18	18	31	26
	700	29	22	31	25	3	7	6	4	7	6	12	13
	800	11	3	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0
AVEL.	KCAL/D*M**2	3,074	2,964	3,609	3,106	3,264	2,973	3,006	3,245	2,526	2,403	2,523	2,487
MAX.	KCAL/H*M**2	803	785	814	755	666	681	692	673	707	688	700	715
MAXDAY	KCAL/D*M**2	4,905	5,176	5,913	5,554	5,265	5,234	5,561	5,256	4,710	4,620	4,298	4,085

(b) 月別最大日射日時間推移日射量（kcal/m²·h）

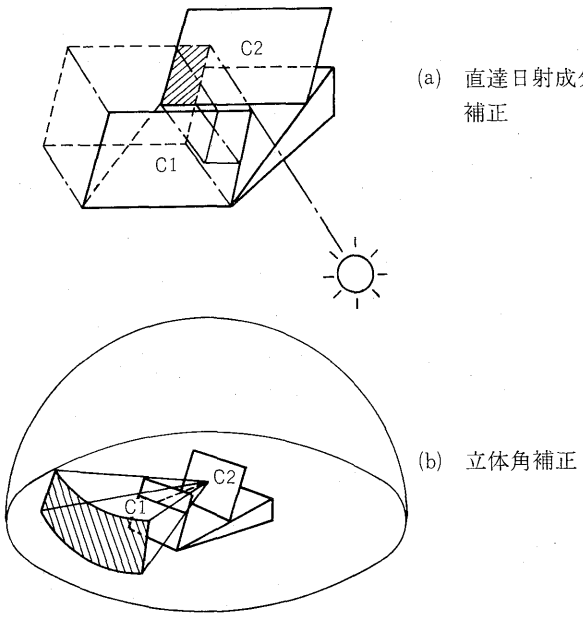
*** MODULE AZIMUTH = 180.0　DEG. ***

SLOPE = 25.0　DEG.

月＼時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN.	0	0	0	0	0	0	23	271	516	690	767	760	706	542	318	71	0	0	0	0	0	0	0	0
FEB.	0	0	0	0	0	0	293	357	511	670	745	764	707	584	398	174	20	0	0	0	0	0	0	0
MAR.	0	0	0	0	0	37	368	493	649	736	788	808	752	599	305	295	131	18	0	0	0	0	0	0
APR.	0	0	0	0	9	120	328	500	630	719	760	750	692	593	353	104	45	1	0	0	0	0	0	0
MAY.	0	0	0	0	43	220	255	429	519	610	640	645	574	464	385	289	134	52	0	0	0	0	0	0
JUN.	0	0	0	0	53	149	340	380	522	624	685	691	632	529	409	262	129	30	0	0	0	0	0	0
JULY	0	0	0	0	38	214	315	418	546	623	677	699	664	560	422	285	148	37	0	0	0	0	0	0
AUG.	0	0	0	0	22	200	203	395	484	585	658	686	659	570	377	202	163	24	0	0	0	0	0	0
SEP.	0	0	0	0	0	59	156	403	499	604	699	667	610	427	271	146	23	0	0	0	0	0	0	0
OCT.	0	0	0	0	0	17	189	427	561	641	672	652	525	443	269	99	9	0	0	0	0	0	0	0
NOV.	0	0	0	0	0	1	53	356	498	604	660	638	561	416	209	29	0	0	0	0	0	0	0	0
DEC.	0	0	0	0	0	0	33	286	461	581	674	682	589	410	151	14	0	0	0	0	0	0	0	0

SLOPE = 30.0　DEG.

月＼時刻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
JAN.	0	0	0	0	0	0	25	290	545	725	803	795	740	569	335	73	0	0	0	0	0	0	0	0
FEB.	0	0	0	0	0	0	98	372	227	689	765	785	726	600	409	179	20	0	0	0	0	0	0	0
MAR.	0	0	0	0	0	37	267	495	653	741	794	814	757	602	305	295	130	17	0	0	0	0	0	0
APR.	0	0	0	0	9	120	318	492	624	714	755	746	687	587	348	102	44	1	0	0	0	0	0	0
MAY.	0	0	0	0	44	223	348	415	507	598	629	634	564	454	374	283	133	52	0	0	0	0	0	0
JUN	0	0	0	0	55	150	236	368	509	611	673	678	620	517	397	257	128	29	0	0	0	0	0	0
JULY	0	0	0	0	41	218	309	405	535	613	667	689	654	550	412	277	146	36	0	0	0	0	0	0
AUG.	0	0	0	0	23	204	296	385	475	577	650	678	650	561	370	196	161	24	0	0	0	0	0	0
SEP.	0	0	0	0	0	59	258	406	504	610	707	674	616	430	272	146	22	0	0	0	0	0	0	0
OCT.	0	0	0	0	0	17	195	440	576	657	688	667	536	454	276	100	9	0	0	0	0	0	0	0
NOV.	0	0	0	0	0	1	164	374	520	627	684	661	582	432	217	29	0	0	0	0	0	0	0	0
DEC.	0	0	0	0	0	0	35	307	488	610	706	715	618	431	157	14	0	0	0	0	0	0	0	0

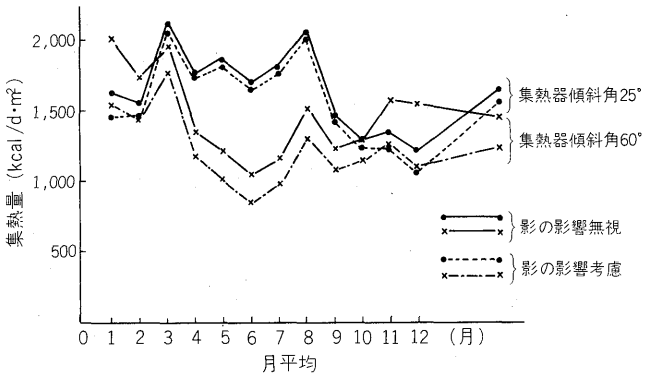


第4図　影による日射量補正参考図
Fig. 4.　Correct of solar radiation due to shadow

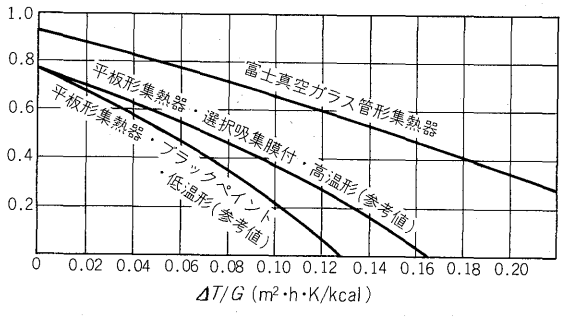
心から見た前列集熱器によって遮られる天空立体角，及び地面を見込む反射立体角を求める計算である。各時間帯での式(2)，(4)，(5)の計算に対して上記(1)，(2)を加味することによって日射量補正ができる。

4.　影による集熱量の減少計算例

影の影響を考慮した場合と考慮しない場合の集熱量比較例を第5図に示す。



第5図　影による集熱量の減少比較
Fig. 5.　Comparison of collected heat energy due to shadow



第6図　集熱効率
Fig. 6.　Collector efficiency

5.　集熱量計算

1節で算出した日射量をもとに，集熱効率特性に基づいた集熱量を求める。集熱効率特性は，集熱器の性能評価基準としても重要なファクタとなる数値であり，第6図に代表的集熱器の効率特性を示す。

一般に効率 η は，

$$\eta = f(T_i,\ T_o,\ T,\ G) \quad \cdots\cdots (11)$$

で表現される曲線であり，ここでは実験値をもとに関数近似を行って得た，$X = \Delta T/G$ に関する二次関数で表現した。すなわち，

$$\eta = A + BX + CX^2 \quad \cdots\cdots (12)$$

ただし，T_i：集熱器入口側水温
T_o：集熱器出口側水温
T：外気温度
G：日射量
$\Delta T = 0.5(T_i + T_o) - T$

式(12)における係数 A，B，C はインプットデータで指定する故，各種集熱器への対応が可能である。また効率，設備設計と関連して，運転方式別の集熱量評価も必要である。強制循環方式における運転形態を分類すると，

(1)　流量制御（可変流量）方式
(2)　定流量方式

がある。流量制御方式は，一般的に大規模なシステムに適用されるケースが多く，集熱器出口側湯温が一定（設定温度）になるように，日射強度に応じて通水流量を制御するシステム構成であり，日射量，時刻に関係なく一定温度の温水が得られるメリットがある反面，ポンプの可変速制御装置が必要である。一方，定流量方式では，

第2表　集熱量計算入出力情報一覧
Table 2.　Calculation list of collected heat gain

	基礎データ	HASP 標準気象データ
入力データ	変更可能な基礎データ	集熱効率(二次多項式近似)係数，集熱器有効面積，定流量方式時水温増分初期値，集熱器汚れ係数，配管熱損失率
	システムごとに指定を要するデータ	計算タイトル，緯度，経度，架台方位角，架台傾斜角，フィン傾斜角，架台ピッチ，集熱器直列接続数，集熱器並列接続数，集熱方式（定流量方式，流量制御方式），負荷熱量(各月ごとに1時間刻みで指定可)，月別水温平均値，蓄熱タンク容量，流量制御方式時集熱温度
出力データ		月別最大日射日時間推移集熱量，月別平均日射日時間推移集熱量，月別最大日射時(1時間)集熱量，月別最大日射日蓄熱量，月別平均日射日蓄熱量，月別最大日射日時間推移蓄熱槽水温(定流量方式時)，月別最大日射日時間推移蓄熱湯容量(流量制御方式時)，月別平均日射日時間推移蓄熱槽水温(定流量方式時)，月別平均日射日時間推移蓄熱湯容量(流量制御方式時)，月間集熱量，年間集熱量，太陽依存率

第 3 表　集熱量計算結果例

Table 3. Calculation results of collected heat energy

(a)　月別最大日射日時間推移日射量（kcal/h・m²）

月＼時刻	1 13	2 14	3 15	4 16	5 17	6 18	7 19	8 20	9 21	10 22	11 23	12 24
1	0 740	0 569	0 335	0 73	0 0	0 0	25 0	290 0	545 0	725 0	803 0	795 0
2	0 726	0 600	0 409	0 179	0 20	0 0	98 0	372 0	527 0	689 0	765 0	785 0
3	0 757	0 602	0 305	0 295	0 130	37 17	267 0	495 0	653 0	741 0	794 0	814 0
4	0 687	0 587	0 348	0 102	9 44	120 1	318 0	492 0	624 0	714 0	755 0	746 0
5	0 564	0 454	0 374	0 283	44 133	223 52	348 0	415 0	507 0	598 0	629 0	634 0
6	0 620	0 517	0 397	0 257	55 128	150 29	236 0	368 0	509 0	611 0	673 0	678 0
7	0 654	0 550	0 412	0 277	41 146	218 36	309 0	405 0	535 0	613 0	667 0	689 0
8	0 650	0 561	0 370	0 196	23 161	204 24	296 0	385 0	475 0	577 0	650 0	678 0
9	0 616	0 430	0 272	0 146	0 22	59 0	258 0	406 0	504 0	610 0	707 0	674 0
10	0 536	0 454	0 276	0 100	0 9	17 0	195 0	440 0	576 0	657 0	688 0	667 0
11	0 582	0 432	0 217	0 29	0 0	1 0	164 0	374 0	520 0	627 0	684 0	661 0
12	0 618	0 431	0 157	0 14	0 0	0 0	35 0	307 0	488 0	610 0	706 0	715 0

(b)　月別最大日射日時間推移外気温度（℃）

月＼時刻	1 13	2 14	3 15	4 16	5 17	6 18	7 19	8 20	9 21	10 22	11 23	12 24
1	0.00 6.00	0.0 0.00	0.0 7.00	−1.00 5.00	−1.00 4.00	−1.00 3300	−1.00 2.00	0.0 2.00	2.00 1.00	3.00 1.00	4.00 0.0	5.00 1.00
2	1.00 8.00	1.00 1.00	0.0 9.00	0.0 9.00	0.0 8.00	0.0 7.00	0.0 5.00	0.0 4.00	2.00 4.00	5.00 4.00	6.00 4.00	8.00 3.00
3	2.00 13.00	2.00 12.00	1.00 13 00	1.00 13.00	1.00 12.00	1.00 11.00	2.00 10.00	6.00 9.00	8.00 8.00	10.00 7.00	12.00 6.00	12.00 5.00
4	10.00 18.00	9.00 19.00	9.00 18.00	9.00 18.00	9.00 17.00	9.00 16.00	11.00 15.00	12.00 14.00	14.00 14.00	15.00 14.00	16.00 14.00	17.00 13.00
5	17.00 28.00	16.00 26.00	16.00 25.00	15.00 24.00	16.00 22.00	17.00 21.00	19.00 20.00	22.00 20.00	24.00 19.00	25.00 19.00	26.00 18.00	27.00 18.00
6	18.00 25.00	18.00 28.00	18.00 25.00	18.00 24.00	18.00 23.00	18.00 22.00	19.00 22.00	20.00 21.00	22.00 21.00	23.00 20.00	24.00 20.00	25.00 20.00
7	25.00 30.00	25.00 35.00	25.00 30.00	24.00 30.00	24.00 28.00	26.00 28.00	27.00 27.00	30.00 26.00	31.00 26.00	32.00 25.00	31.00 25.00	30.00 25.00
8	25.00 33.00	25.00 35.00	24.00 32 00	24.00 32.00	24.00 31.00	25.00 30.00	27.00 29.00	30.00 28.00	31.00 28.00	32.00 27.00	32.00 27.00	32.00 26.00
9	18.00 26.00	18.00 28.00	17.00 25.00	17.00 25.00	17.00 24.00	17.00 24.00	18.00 24.00	20.00 23.00	22.00 23.00	24.00 23.00	25.00 23.00	25.00 22.00
10	11.00 19.00	10.00 10.00	10.00 18.00	9.00 18.00	8.00 17.00	8.00 16.00	9.00 16.00	11.00 15.00	13.00 15.00	15.00 15.00	17.00 13.00	19.00 11.00
11	7.00 14.00	6.00 16.00	6.00 13.00	5.00 12.00	6.00 11.00	5.00 10.00	5.00 9.00	7.00 8.00	8.00 8.00	10.00 8.00	12.00 7.00	13.00 8.00
12	5.00 11.00	5.00 15.00	4.00 11.00	4.00 10.00	3.00 9.00	5.00 9.00	4.00 9.00	5.00 8.00	7.00 6.00	8.00 5.00	9.00 4.00	10.00 4.00

(c)　月別最大日射日時間推移集熱量（kcal）

月＼時刻	1 13	2 14	3 15	4 16	5 17	6 18	7 19	8 20	9 21	10 22	11 23	12 24
1	0.0 245,851.19	0.0 281,486.00	0.0 299,203.81	0.0 299,203.81	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	12,142.00 0.0	44,790.62 0.0	91,488.50 0.0	144,456.50 0.0	197,109.44 0.0
2	0.0 244,685.75	0.0 283,327.25	0.0 307,284.12	0.0 312,999.12	0.0 312,999.12	0.0 0.0	0.0 0.0	18,483.96 0.0	49,622.26 0.0	93,886.00 0.0	144,267.12 0.0	196,694.37 0.0
3	0.0 289,849.50	0.0 329,345.44	0.0 345,674.69	0.0 361,303.06	0.0 363,419.00	0.0 363,419.00	10,299.34 0.0	39,391.08 0.0	81,077.06 0.0	130,096.56 0.0	183,605.94 0.0	238,796.19 0.0
4	0.0 281,014.87	0.0 319,662.06	0.0 339,957.62	0.0 340,528.19	0.0 340,528.19	0.0 340,528.19	15,922.07 0.0	45,630.23 0.0	85,918.00 0.0	133,389.50 0.0	184,289.94 0.0	234,720.87 0.0
5	0.0 253,429.50	0.0 283,069.94	0.0 306,430.31	0.0 322,549.56	0.0 326,232.37	9,574.52 326,232.37	29,479.31 0.0	55,004.09 0.0	88,029.25 0.0	128,384.94 0.0	171,325.87 0.0	214,941.56 0.0
6	0.0 242,587.06	0.0 276,639.44	0.0 301,495.37	0.0 315,314.75	0.0 318,527.62	3,597.29 318,527.62	14,480.46 0.0	35,884.41 0.0	68,352.06 0.0	108,924.75 0.0	154,454.31 0.0	200,735.81 0.0
7	0.0 275,276.37	0.0 312,945.31	0.0 340,066.87	0.0 356,831.87	0.0 362,907.87	1,101.50 362,907.87	29,567.40 0.0	55,847.11 0.0	92,282.12 0.0	134,961.75 0.0	181,622.19 0.0	229,746.12 0.0
8	0.0 263,004.00	0.0 302,171.12	0.0 326,531.37	0.0 337,516.25	0.0 345,535.50	9,694.83 345,535.50	27,093.01 0.0	51,852.36 0.0	83,792.06 0.0	123,735.87 0.0	169,324.62 0.0	217,125.06 0.0
9	0.0 244,321.19	0.0 271,819.75	0.0 286,840.19	0.0 291,923.19	0.0 291,923.19	0.0 0.0	11,924.98 0.0	35,910.49 0.0	67,881.62 0.0	108,487.31 0.0	156,798.81 0.0	202,666.50 0.0
10	0.0 232,558.69	0.0 260,660.81	0.0 274,679.50	0.0 274,679.50	0.0 274,679.50	0.0 0.0	5,067.81 0.0	29,942.05 0.0	65,829.75 0.0	108,376.06 0.0	153,814.19 0.0	198,162.75 0.0
11	0.0 218,540.00	0.0 244,581.81	0.0 253,537.94	0.0 253,537.94	0.0 0.0	0.0 0.0	2,176.5 0.0	21,779.59 0.0	52,917.81 0.0	92,883.69 0.0	137,661.62 0.0	180,976.81 0.0
12	0.0 216,089.81	0.0 241,862.87	0.0 245,992.00	0.0 245,992.06	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	14,477.46 0.0	43,494.06 0.0	82,191.50 0.0	128,542.69 0.0	175,879.81 0.0

(d)　月別最大日射日時間推移湯量（l：80℃ 集熱時）

月＼時刻	1 13	2 14	3 15	4 16	5 17	6 18	7 19	8 20	9 21	10 22	11 23	12 24
1	0.0 3,300.02	0.0 3,778.34	0.0 4,016.16	0.0 4,016.16	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	162.98 0.0	601.22 0.0	1,228.03 0.0	1,939.01 0.0	2,645.76 0.0
2	0.0 3,302.10	0.0 3,823.58	0.0 4,146.88	0.0 4,224.01	0.0 4,224.01	0.0 0.0	0.0 0.0	249.45 0.0	669.67 0.0	1,267.02 0.0	1,946.92 0.0	2,654.45 0.0
3	0.0 4,076.65	0.0 4,632.14	0.0 4,861.81	0.0 5,081.62	0.0 5,111.38	0.0 5,111.38	144.86 0.0	554.02 0.0	1,140.32 0.0	1,829.77 0.0	2,582.36 0.0	3,358.60 0.0
4	0.0 4,225.79	0.0 4,806.95	0.0 5,112.14	0.0 5,120.72	0.0 5,120.72	0.0 5,120.72	239.43 0.0	686.17 0.0	1,292.00 0.0	2,005.86 0.0	2,771.28 0.0	3,529.64 0.0
5	0.0 4,100.80	0.0 4,580.42	0.0 4,958.42	0.0 5,219.25	0.0 5,278.84	154.93 5,278.84	477.01 0.0	890.03 0.0	1,424.42 0.0	2,077.43 0.0	2,772.26 0.0	3,478.02 0.0
6	0.0 4,083.96	0.0 4,657.23	0.0 5,075.68	0.0 5,308.33	0.0 5,362.42	60.56 5,362.42	243.78 0.0	604.11 0.0	1,150.71 0.0	1,833.75 0.0	2,600.24 0.0	3,379.39 0.0
7	0.0 4,634.28	0.0 5,268.44	0.0 5,725.03	0.0 6,007.27	0.0 6,109.56	186.89 6,109.56	497.77 0.0	940.19 0.0	1,553.57 0.0	2,272.09 0.0	3,057.61 0.0	3,867.78 0.0
8	0.0 4,420.23	0.0 5,078.50	0.0 5,487.92	0.0 5,672.54	0.0 5,807.32	162.94 5,807.32	455.34 0.0	871.47 0.0	1,408.27 0.0	2,079.59 0.0	2,845.79 0.0	3,649.16 0.0
9	0.0 4,234.34	0.0 4,710.91	0.0 4,971.28	0.0 5,059.32	0.0 5,059.32	0.0 0.0	206.67 0.0	622.37 0.0	1,176.46 0.0	1,880.20 0.0	2,717.48 0.0	3,512.42 0.0
10	0.0 3,831.25	0.0 4,294.25	0.0 4,525.20	0.0 4,525.20	0.0 4,525.20	0.0 0.0	83.49 0.0	493.28 0.0	1,084.51 0.0	1,785.44 0.0	2,534.01 0.0	3,264.63 0.0
11	0.0 3,271.56	0.0 3,661.41	0.0 3,795.48	0.0 3,795.48	0.0 0.0	0.0 0.0	32.58 0.0	326.04 0.0	792.18 0.0	1,390.47 0.0	2,060.80 0.0	2,709.23 0.0
12	0.0 3,009.61	0.0 3,368.56	0.0 3,426.07	0.0 3,426.07	0.0 0.0	0.0 0.0	0.0 0.0	201.64 0.0	605.77 0.0	1,144.73 0.0	1,790.29 0.0	2,449.58 0.0

ポンプを一定速度で運転し，集熱器と蓄熱タンク間を循環的に通水させることによって，徐々に水温を上昇させて行き，日射が弱まりタンク内温度と集熱器内湯温との温度差が小さくなった時点でポンプを停止するシステムとなる。本熱計算プログラムでは(1), (2)双方の運転方式に対処できる機能を備えた。なお，集熱量計算の入出力情報を第2表に示す。

6. 集熱量計算例

東京における下記条件の集熱量計算例を第3表に示す。計算条件並びに使用データは次のとおりである。

(1) HASP 標準気象データ：東京（平均年）
(2) 集熱器方位角：180°（真南）
(3) 集熱器傾斜角： 30°
(4) 接続方式：25並列2直列（計50枚）
(5) 汚れ係数：3％
(6) 配管損失：5％
(7) 負　　荷：全時間帯で0（無負荷）
(8) 水　　温：参考文献(6)から引用

IV. 負荷熱量の計算

適切なソーラーシステムの設計には，動的，静的な負荷熱量の把握が必要である。富士電機では既に，建物の負荷熱量計算のための空調負荷計算プログラムを保有しており，計算実績も豊富にあるが，この際見直しをして最新のものとした。この内容紹介は別の機会に行いたい。

V. あとがき

ソーラーシステムの中でも最も基本的な部分を占めている熱計算用関連プログラムの紹介を行ってきたが，ここで紹介したプログラムは，今後も継続的にレベルアップを図って行く予定であり，最終的な姿ではない。

関連部署の御指導と御協力を頂きながら，新規開発プログラムも含めて努力を重ねて行きたい。

参考文献

(1) 田中俊六・浅野裕一郎・ソーラーハウスの設計と施工, pp. 29～119, オーム社（1981）
(2) 日本太陽エネルギー学会編：太陽エネルギーの基礎と応用, pp. 1～84, オーム社（1978）
(3) 日本太陽エネルギー学会編：太陽エネルギー読本, pp. 1～108, オーム社（1975）
(4) 日本建築設備士協会編：空調設備動的負荷計算入門, pp. 131～147, pp. 235～244, 日本建築設備士協会（1980）
(5) J. Appelbaum & J. Bany：Shadow Effect of Adjacement Solar Collectors in Large Scale Systems Solar Energy, 23, pp. 497～507
(6) Project 8987 Final Report：Application Analysis of Solar Total Energy Systems to the Residential Sector III, Conceptual DesignAppendix A, Collector Performance Characteristics
(7) 東京天文台編：理科年表（1980）
(8) ソーラーシステム振興協会編：太陽熱給湯暖冷房システムの計画入門

e-Front runners

＊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。