

シンビジウム温室におけるソーラーシステムの 暖房効率について

吉井 宗利・仙頭 照康

まえがき

太陽エネルギーの有効利用は、化石エネルギーに代わる省エネルギー対策として、施設園芸においても重要課題である。

太陽熱の園芸利用には、昼間施設の土壤に蓄熱し、夜間暖房に利用する地中熱交換ハウスシステムと、太陽熱によって得た温湯を蓄熱槽に貯熱し、これを夜間温室に導き、その放熱によって暖房し、さらに集熱した温湯を熱媒として冷水をつくり、温室の夜間冷房を図るシステムとがある。

この報告は、附属農場に設置した集熱器と、蓄熱槽とによる短期蓄熱システムにおいて、1983年12月から1984年2月までの集熱量、暖房使用熱量などを調査し、集熱効率および太陽熱依存率について検討をおこなったものである。

1. ソーラーシステムの概要

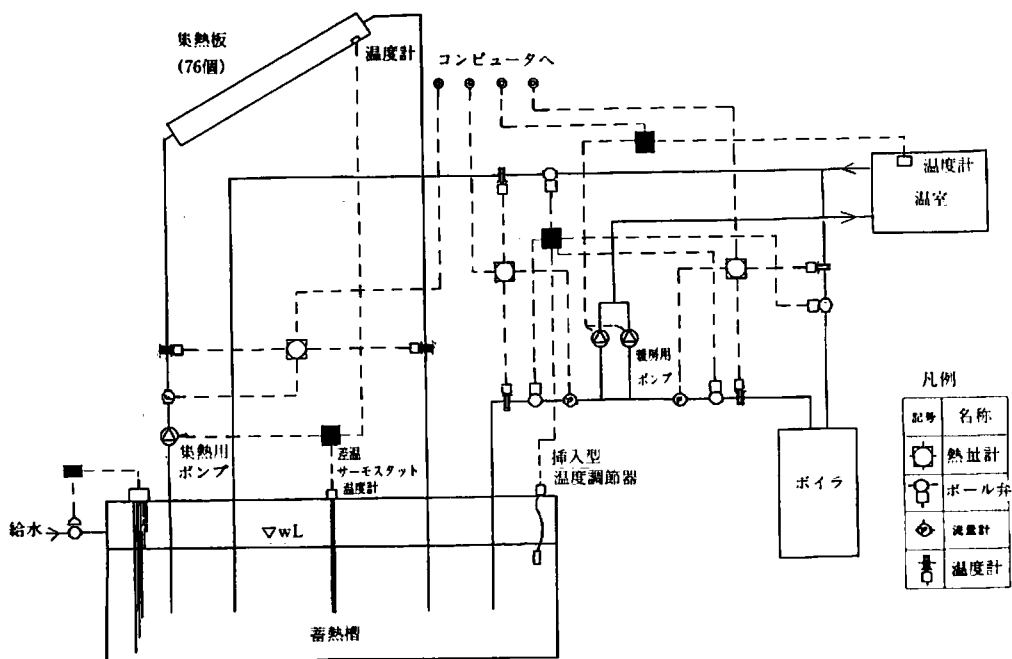


表-1 集熱器の設備仕様 (ダイキ商事)

項 目		設 備 仕 様
形 式		FAM-S2C-2VR-SW
有 効 面 積		1.94m ²
選 択 吸 収 膜 特 性		吸収率 α : 0.91 放射率 ϵ : 0.12
保 有 水 量		1.5 ℓ
重 量		空時37.5kg 運転時39kg
使 用 圧 力		5 kg/cm ² -G以下
出 入 口		22 ²² ×0.18t 直管(C-1220-0)
主 要 構 成 部 材	集熱板	エレメント 水 管 ヘッダー管
		アルミニウム 押出形材 選択吸収膜付 9.53 銅管(C-1220-0) 22 ²² 銅管(C-1220-0)
	底 板	アルミニウム押出形材+電着アルマイト
	低 面 断 熱 材	0.27mmカラー銅板+15mm t 硬質発泡ウレタン
	側 面 断 熱 材	25mm t グラスウール 24kg/m ²
	透 過 体	20mm t グラスウール 32kg/m ²
	パッキン上面	3.2mm t 強化ガラス
	パッキン下面	3 mm t EPDM独立発泡圧縮パッキン
	ブラケット	3 mm t 押出成形パッキン
	使 用 ビ ス	4 mm t アルミニウム押出形材+1.2t SUS304 SUS304

ソーラーシステムの概要は、図-1に示した。最も機能的な場所と思われる研究棟屋上に、表-1の設備仕様をもつ76個の集熱器(有効集熱面積147.44m²)を、南向き45度で設置した(図-2、図-3)。蓄熱槽は容積約18m³(3.3×6.18×0.9m)で、ボイラ室地下に鉄筋コンクリート枠をつくり、内側に図-4に示した断熱材を使用した。この蓄熱槽の上には、出力2.2kW、揚程20mにおける揚水量0.18m³/minの集熱用ポンプおよび出力1.5kW、揚程15mにおける揚水量0.95m³/minの暖房用給湯ポンプを付設し、ほかに1台の予備ポンプを置いた。集熱用ポンプは、集熱板に取り付けた高温側検出端と、蓄熱槽に設けた低温側検出端による温度差3°Cで作動させ、0.5°Cで停止させたが、運転は差温サーモスタットで自動制御した。集熱板および配管内の水は、ポンプによって強制的に蓄熱槽との間を循環

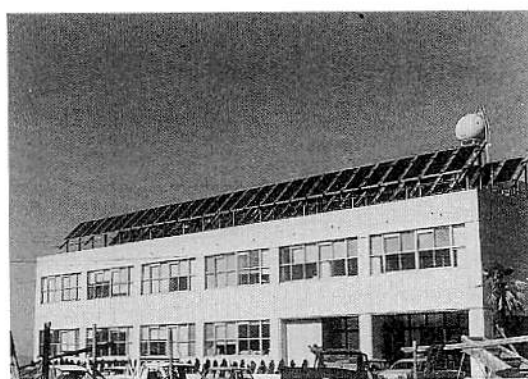


図-2 研究棟屋上に設置した集熱器

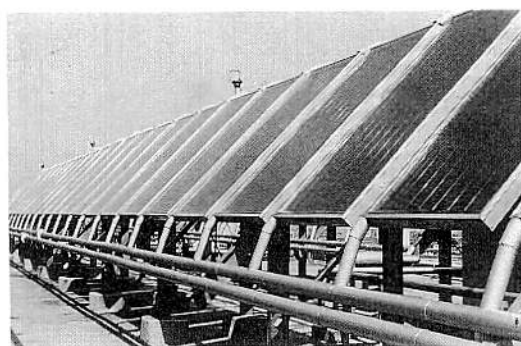


図-3 集熱板を設置した太陽熱利用装置

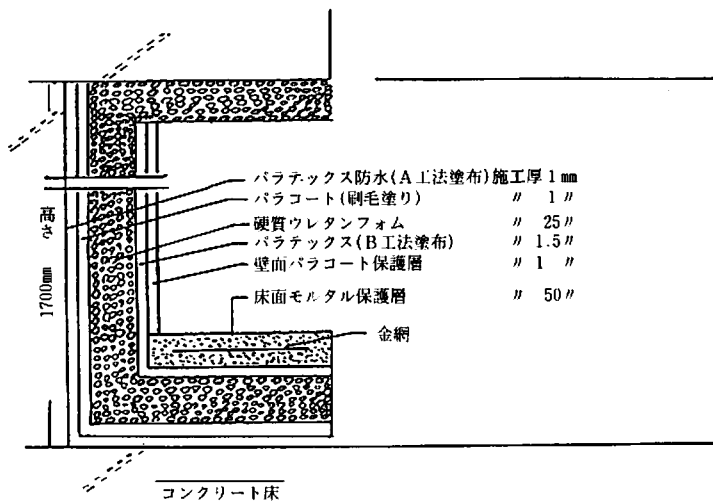


図-4 蓄熱槽保温断熱詳細断面図

しながら、蓄熱槽の水温を上昇させるが、シンビジウム温室(角丸式、108m²)における暖房用ポンプの運転は、温室内温度8°Cで開始し、10°Cで自動的に停止するように設定した。この場合、蓄熱槽水温が35°C以下になると、ボイラ熱暖房に切り換えたが、この操作は挿入型温度調節器と、電動ボール弁との組み合わせによって自動化した。

2. 調査方法

測定項目は集熱量、使用熱量、電力消費量、蓄熱槽水温、温室内温度、外気温および日射量とした。集熱量は図-1に示したように、集熱往管の集熱ポンプからの出口と、復管の蓄熱槽入口とで、流量計測部、测温抵抗体および熱量演算部がセットになっている積算熱量計(山武ハネウエル)を用いて測定した。使用熱量は前記の積算熱量計で、太陽熱利用量と、ボイラ熱使用量とを測定したが、前者は暖房用給湯管の蓄熱槽出入口、後者は給湯管のボイラ出入口において、それぞれおこなった。電力消費量は、ソーラーシステムの制御盤内の普通電力量計で、毎9時に記録した。蓄熱槽水温は、槽のほぼ中央、深さ45cmの位置で、水中温度計を用いて測定した。温室内温度は温室中央の地上1.2mで、外気温および日射量は戸外の気象観測装置で、それぞれ測定した。なお、電力消費量以外の測定値は、毎正時コンピュータのフロッピーディスクシートに印字させた。

3. 水平面日射量および傾斜面日射量

冬季両者は異なる数値を示すが、前者の測定値から、後者の集熱板が受ける日射量を求めるには、この場合、水平面日射量に対する南向き45度の傾斜面日射量の換算比が必要となる。しかし、この農場では、これに要する観測データが不足するため、松山地方気象台の資料をもとに、12~2月の換算比を求めた。それによると、12月:1.5、1月:1.4、2月:1.2となった。なお、集熱効率は換算比で算出した傾斜面日射量で求めた。

4. 集熱状況

(1). 晴天日における集熱量および集熱効率

1984年の2月19日と、20日との集熱量、蓄熱槽水温、室内温度、外気温および日射量の日変化を図-5に、集熱効率の経時変化を表-2に示した。外気温における最高は、19日：6.8°C、20日：8.8°C、集熱時間内平均は、19日：4.6°C、20日：6.0°C、日射量は19日：3,828kcal/m²、20日：3,626kcal/m²であった。

集熱開始は8時ごろで、集熱量は日射量の増加に従ってふえ、13時に最大となり、この時間の集熱量は19日：57Mcal/h、20日：54Mcal/hであった。この集熱量は日射量の減少に従って少なくなり、17時ごろには集熱できなくなった。総集熱量は19日：311Mcal、20日：272Mcalであった。一方集熱効率は、両日共日射量および集熱量の増減に従って変化し、最高は19日11～13時の55%、平均は19日：47%、20日：43%であった。蓄熱槽水温は両日共、集熱開始直後の9時ごろ最低であったが、その後、集熱の進行に従って上昇し、集熱終了前の16時ごろ最高となった。上昇温度は19日：17°C、20日：14.6°Cであった。

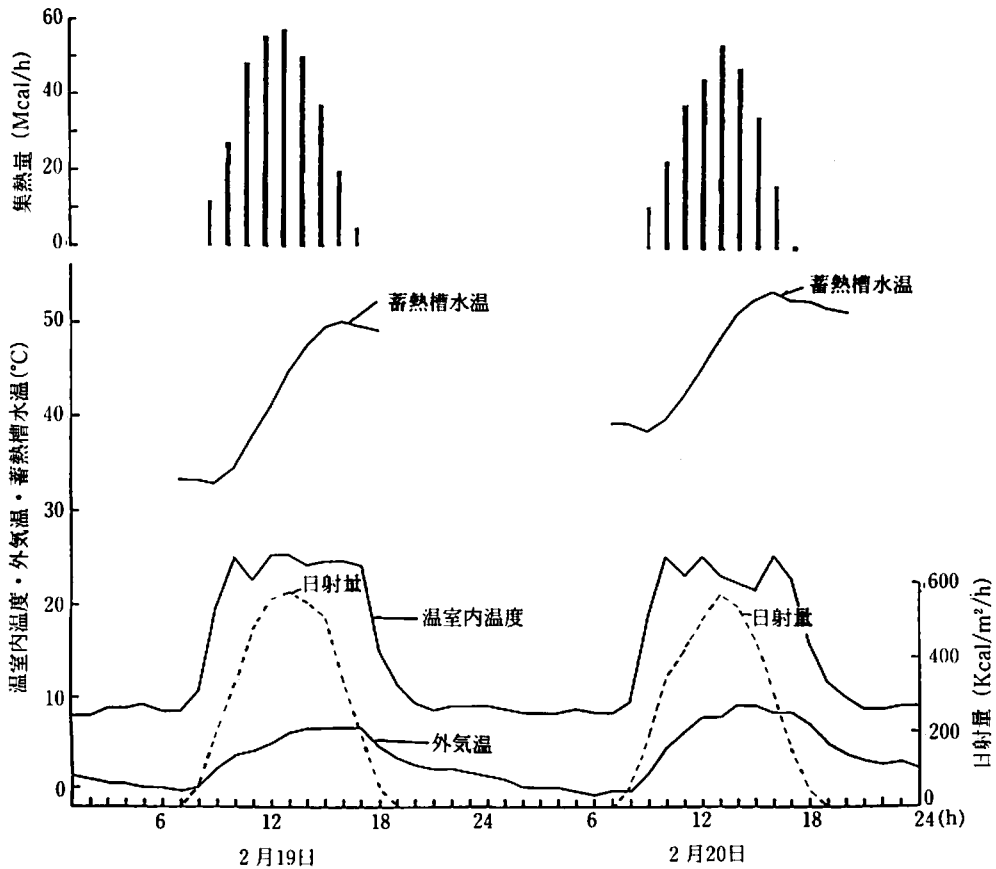


図-5 室内温度、外気温、蓄熱槽水温、日射量および集熱量の日変化

(2). 集熱量

表一 晴天日における集熱効率の経時変化

時 間		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	合計	平均
19 日	日射量(Kcal / m ² / h)	50	208	333	488	564	585	552	467	335	197	49	3828	
	受熱面日射量(*)		36	59	86	100	104	98	83	59	35		660	
	集熱量(Mcal / h)		12	27	48	55	57	50	37	20	5		311	
	集熱効率(%)		34	46	55	55	55	51	44	34	14			47
20 日	日射量(Kcal / m ² / h)	55	175	343	420	502	579	543	459	326	176	48	3626	
	受熱面日射量(*)		31	61	74	89	102	96	81	58	31		623	
	集熱量(Mcal / h)		11	23	38	45	54	48	35	17	1		272	
	集熱効率(%)		35	37	51	50	53	50	43	29				43

(*)Mcal/147.44m²/h

表一 3 日別の集熱量および集熱効率

日	1983 年 12 月					1984 年 1 月					1984 年 2 月				
	集熱量 (Mcal)	日射量 (Kcal/m ²)	利用日 射量 (Kcal/m ²)	受熱面 日射量 (*)	集熱効 率 (%)	集熱量 (Mcal)	日射量 (Kcal/m ²)	利用日 射量 (Kcal/m ²)	受熱面 日射量 (*)	集熱効 率 (%)	集熱量 (Mcal)	日射量 (Kcal/m ²)	利用日 射量 (Kcal/m ²)	受熱面 日射量 (*)	集熱効 率 (%)
1	170	2320	2230	493	34	192	2240	2100	433	44	285	3090	2880	509	56
2	143	2350	2140	473	30	146	1900	1620	334	44	40	1430	900	159	25
3	99	1990	1900	420	23	0	660	0	0	-	117	2320	2060	364	32
4	194	2480	2260	500	39	8	730	170	35	23	145	2380	2090	369	39
5	43	1660	1150	254	17	130	1890	1530	316	41	164	2610	2350	415	39
6	219	2580	2460	544	40	117	1940	1580	326	36	85	1790	1360	240	35
7	114	1880	1630	360	31	78	1690	1510	311	25	147	2630	2370	419	35
8	142	2130	1770	319	41	58	1510	1220	252	23	106	2330	2080	368	29
9	184	2520	2400	530	35	81	1610	1140	235	34	243	3290	3130	553	44
10	183	2470	2420	535	34	117	1730	1500	309	37	207	3040	2820	499	41
11	78	1680	1440	318	24	101	1740	1500	309	32	12	1650	360	63	19
12	140	2140	1960	433	32	113	2010	1880	388	29	0	470	0	0	-
13	202	2490	2450	542	37	119	1890	1620	334	35	303	3460	3340	591	51
14	149	2250	2190	484	31	157	2150	1950	402	39	232	3040	2910	514	45
15	149	2260	2100	464	32	16	720	460	95	17	98	2390	1870	330	29
16	47	1560	1090	241	19	48	1430	1090	225	21	296	3610	3350	592	50
17	117	1980	1710	378	31	92	1860	1520	314	29	0	480	0	0	-
18	94	1640	1440	318	29	15	1250	530	109	13	154	3100	2800	495	31
19	67	1290	970	214	31	72	1460	910	187	38	311	3870	3720	659	47
20	192	2310	2180	482	40	270	2880	2700	557	48	272	3680	3520	623	43
21	250	2560	2490	550	45	13	1020	400	82	16	250	3540	3290	582	43
22	0	440	0	0	-	95	1810	1250	258	37	81	1880	1580	279	29
23	29	1100	460	102	28	225	2540	2260	466	48	0	470	0	0	-
24	26	1260	960	212	12	260	2700	2520	520	50	272	3650	3520	622	44
25	56	1560	1390	307	18	36	1280	710	146	24	146	2850	2650	468	31
26	131	1890	1820	402	32	151	2210	2030	419	36	55	1670	1210	214	26
27	81	1620	1440	318	25	102	1810	1410	291	35	224	3660	3490	617	36
28	77	1630	1330	294	26	177	2490	2210	456	39	187	3160	2880	509	36
29	13	970	460	101	13	187	2540	2470	510	36	31	1660	950	168	18
30	63	1370	1040	203	31	25	1080	730	150	16					
31	54	1150	660	146	37	0	780	0	0	-					
平均	3506 116	57530 1855	49940 1664	10937 364	32	3201 110	53550 1727	42520 1466	8769 302	36	4463 171	73200 2524	63480 2441	11221 431	39

(*)Mcal/147.44m²

日別集熱量、日射量、利用日射量および受熱面日射量を表-3に示した。ただし曇雨天のため集熱できなかった日が6日あった。集熱は日射量が約700Kcal/m²以上でおこなわれ、日射量が増加するに従って、集熱量がふえたが、集熱量は日によってかなりのばらつきがあった。これは集熱板の受ける日射量、集熱板をおおっているガラス面の透過率、集熱板熱吸収率、総合熱貫流率、蓄熱槽水温および外気温などが関与するためである。集熱量が1日当たり200Mcalに達した日は、12月：3日、1月：3日、2月：11日、計17日であった。月別集熱量は、12月：3,506Mcal、1月：3201Mcal、2月：4,463Mcal、計11,170Mcalで、1日当たりの平均は、12月：116Mcal、1月：110Mcal、2月：171Mcalであった。2月に集熱量が多かったのは、好天に恵まれたほか、日照時間が長くなり、且つ日射量が増加したためで、最高は19日の311Mcalであった。消費電力は12月：316kW、1月：254kW、2月：347kW、計917kWであった。

(3). 集熱効率

表-4 旬別の集熱効率

項目	旬	1983 年 12 月			1984 年 1 月			1984 年 2 月			全期間
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
受熱面日射量(*)		4428	3874	2635	2551	2920	3298	3895	3865	3459	30925
集熱量(Mcal)		1491	1235	780	927	1003	1271	1539	1678	1246	11170
集熱効率(%)		33	32	29	36	34	38	39	43	36	36

(*)Mcal/147.44m²

表-3に示したように、日別集熱効率は30~40%が多く、平均36%、最高は2月1日の56%であった。表-4に旬別の受熱面日射量、集熱量および集熱効率を示した。旬別集熱効率40%以上は、2月中旬にみられ、そのほかは12月下旬の29%を除くと、32~39%であった。月別集熱効率は12月：31%、1月：36%、2月：39%であった。また、日射量から求めた総合集熱効率は、12月：27%、1月：29%、2月：34%であった。

5. 暖房状況

(1). 太陽熱利用による暖房

2月19日17時から20日8時までの太陽熱暖房における利用熱量、蓄熱槽水温、温室内温度および外気温の経時変化を図-6に示した。21時から翌朝8時までの暖房中の使用熱量は、95Mcalで、1時間当たり約10Mcalであった。この期間、外気温平均：1.4℃、最低：-1.1℃、温室内温度は当初の23.8℃が順次低下し、暖房中8~9℃で推移した。蓄熱槽水温は19日17時：49.5℃、21時：47.9℃、その後1時間ごとに約1℃ずつ低下し、翌朝8時には38.8℃となった。

(2). ボイラ熱暖房

曇雨天のため太陽熱による集熱ができない場合は、蓄熱槽水温が低下し、温室の必要最低温度が維持できないため、ボイラ熱暖房に切り換えざるを得なかった。温室暖房がおこなわれる17時から翌朝7時までの蓄熱槽水温、温室内温度および外気温の経時変化を表-5に示した。暖房効率は、蓄熱槽水温の

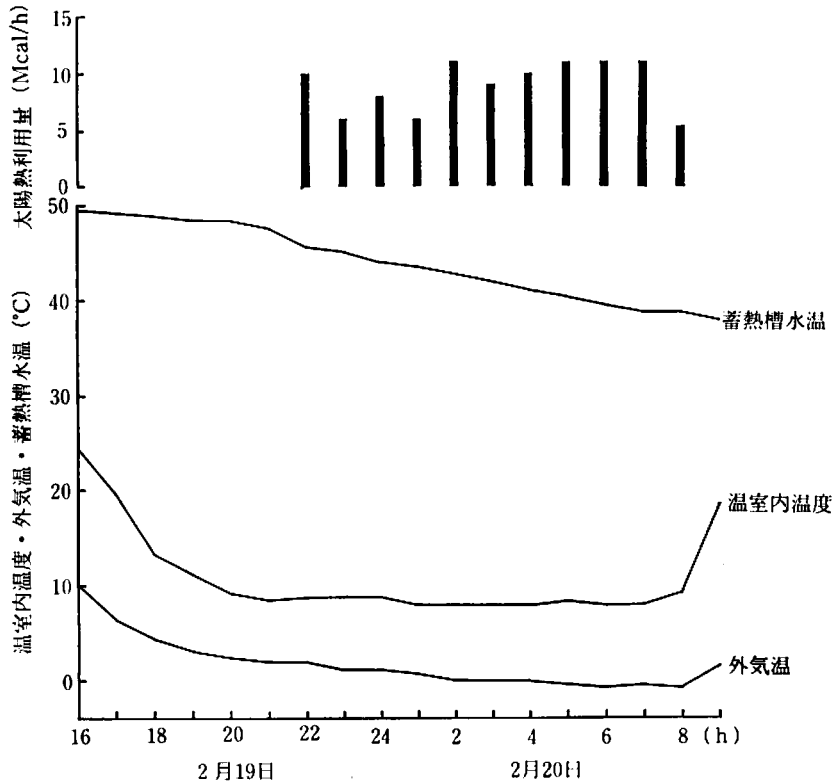


図-6 温室内温度、外気温、蓄熱槽水温および太陽熱利用量の経時変化

低下に従って悪くなり、3時には蓄熱槽水温35°C、外気温0°C、温室内温度8.7°C、5時には蓄熱槽水温33.6°C、外気温0°C、温室内温度7.7°Cとなった。シンビジウム温室は、最低温度を8°Cに設定したため、蓄熱槽水温が35°Cに達しない時点でボイラ熱暖房に切り換えた。

表-5 蓄熱槽水温、温室内温度および外気温の経時変化(1983,1,22-23)

時 間	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
蓄熱槽水温(°C)	43.0	42.3	41.4	40.4	39.7	38.8	38.0	37.1	36.5	35.6	35.0	34.2	33.6	32.9	32.3
温室内温度(°C)	14.6	14.2	13.6	12.6	11.3	10.6	9.7	9.5	9.3	9.1	8.7	8.3	7.7	7.3	7.0
外 気 温(°C)	3.8	2.7	2.3	2.5	1.8	0.9	0.4	-0.3	0.2	0.3	0.0	-0.1	0.0	-0.5	-1.0

(3). 使用熱量

日別の使用熱量、太陽熱利用量およびボイラ熱使用量を表-6に示した。使用熱量は12月は比較的少なかったが、気温低下の1月上旬より増加し、下旬には1日当たり、ほとんど100Mcalを超えた。また、2月上旬は異常寒波におそわれ、外気温の最低平均が-1.8°Cとなったため、使用熱量も多く、特に6~9日は1日当たり200Mcal以上となった。中旬もほとんど100Mcalを超えたが、下旬は寒さがいく分和らぎ、使用熱量が減少した。月別使用熱量は、12月：1,096Mcal, 1月：2,832Mcal, 2月：3,619Mcal,

表一 6日別の熱量使用量および太陽熱依存率

日	1983年12月				1984年1月				1984年2月			
	使用熱 量 (Mcal)	太陽熱 利用量 (Mcal)	ボイラ熱 使用量 (Mcal)	太陽熱 依存率 (%)	使用熱 量 (Mcal)	太陽熱 利用量 (Mcal)	ボイラ熱 使用量 (Mcal)	太陽熱 依存率 (%)	使用熱 量 (Mcal)	太陽熱 利用量 (Mcal)	ボイラ熱 使用量 (Mcal)	太陽熱 依存率 (%)
1	17	17	—	100	29	19	10	65	102	34	68	33
2	—	—	—	—	63	41	22	65	102	68	34	66
3	—	—	—	—	11	—	11	0	171	56	115	33
4	—	—	—	—	15	—	15	0	138	51	87	37
5	—	—	—	—	82	—	82	0	117	42	75	36
6	6	6	—	100	76	9	67	12	208	45	163	22
7	19	19	—	100	25	10	15	40	260	100	160	38
8	12	12	—	100	7	—	7	0	202	19	183	9
9	32	32	—	100	19	—	19	0	239	83	156	35
10	7	7	—	100	40	—	40	0	161	134	27	83
11	20	20	—	100	57	44	13	77	113	56	57	50
12	38	38	—	100	106	37	69	35	176	—	176	0
13	25	25	—	100	78	19	59	24	110	35	75	31
14	—	—	—	—	58	30	28	52	85	85	—	100
15	35	35	—	100	66	31	35	47	107	107	—	100
16	24	24	—	100	193	—	193	0	133	77	56	58
17	74	74	—	100	131	—	131	0	120	96	24	80
18	74	74	—	100	78	—	78	0	115	35	80	30
19	43	30	13	70	90	6	84	6	119	48	71	40
20	56	21	35	37	84	30	54	36	97	97	—	100
21	70	70	—	100	90	39	51	43	70	70	—	100
22	—	—	—	—	76	31	45	41	74	74	—	100
23	51	51	—	100	163	107	56	66	39	39	—	100
24	77	—	77	0	135	110	25	81	67	44	23	66
25	99	—	99	0	165	33	132	20	46	46	—	100
26	48	17	31	35	141	11	130	8	37	37	—	100
27	51	16	35	31	145	21	124	14	115	94	21	82
28	79	7	72	9	153	40	113	26	127	118	9	93
29	51	—	51	0	138	46	92	33	169	62	107	37
30	60	—	60	0	145	44	101	30				
31	28	—	28	0	173	—	173	0				
計	1096	595	501		2832	758	2074		3619	1852	1767	
平均	44			54	91			27	125			51

計7,547Mcalとなり、これを1日当たり平均で示すと、12月：44Mcal、1月：91Mcal、2月：125Mcalとなる。このうち最大は、2月7日の260Mcalであった。

使用熱量のうち太陽熱は、12月：595Mcal、1月：758Mcal、2月：1,852Mcal、計3,205Mcalで、一方ボイラ熱は、12月：501Mcal、1月：2,074Mcal、2月：1,767Mcal、計4,342Mcalとなり、太陽熱利用量より約1,100Mcal多かった。

(4). 太陽熱依存率

表一6に示したように、太陽熱依存率が100%は、12月の15日間と、2月中～下旬の8日間、計23日(27%)、0%の日数は16日(19%)、そのほか46日(54%)であった。

表-7に旬別の使用熱量、太陽熱利用量、ボイラ熱使用量および太陽熱依存率を示した。これによ

表-7 旬別の太陽熱依存率

項目	1983年12月			1984年1月			1984年2月			全期間
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
使用熱量(Mcal)	93	389	614	367	941	1524	1700	1175	744	7547
太陽熱利用量(Mcal)	93	341	161	79	197	482	632	636	584	3205
ボイラ熱使用量(Mcal)	0	48	453	288	744	1042	1068	539	160	4342
太陽熱依存率(%)	100	87	26	21	20	31	37	54	78	42

ると、太陽熱依存率は12月上、中旬および2月下旬が高く、78%以上になったが、12月下旬、1月上旬および中旬は、20~26%で、かなり低くなった。全期間における平均太陽熱依存率は42%であった。

6. 蓄熱槽における熱損失

表-8 集熱量・太陽熱利用量および蓄熱槽水温の日変化(1984.2.19-20)

時間	集熱量 (Mcal/h)	太陽熱 利用量 (Mcal/h)	蓄熱槽 水温 (°C)
8			33.1
9	12		32.9
10	27		34.4
11	48		37.6
12	55		41.0
13	57		44.5
14	50		47.5
15	37		49.3
16	20		49.9
17	5		49.5
18			49.0
19			48.5
20			48.1
21			47.9
22		10	45.9
23		6	45.3
24		8	44.3
1		6	43.7
2		11	43.1
3		9	42.1
4		10	41.4
5		11	40.6
6		11	39.8
7		11	39.1
8		2	38.8

表-8に2月19日の集熱開始の8時から20日8時までの集熱量、太陽熱利用量および蓄熱槽水温の日変化を示した。すなわち、集熱量は311Mcal、蓄熱槽水温の最高は49.9°Cで、上昇水温は16.8°Cであった。19日22時から20日8時までの太陽熱利用量は95Mcalで、蓄熱槽水温は38.8°Cに低下し、下降水温は11.1°Cであった。1日当たりの集熱量と、使用熱量との差は、216Mcalで、この熱量が蓄熱槽に貯熱されたことになる。この場合、蓄熱槽水温は、1日当たり5.7°C上昇しているが、この温度をカロリー数に換算すると、102Mcalとなり、貯熱量216Mcalに比べると、114Mcal少ない。この熱量は実質損失分であり、集熱量の約1/3に相当する。

表-9 旬別の蓄熱槽熱損失量

項目	1983 年 12 月			1984 年 1 月			1984 年 2 月			合計
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
集 熱 量 (Mcal)	1491	1235	780	927	1003	1271	1539	1678	1246	11170
太陽熱利用量 (Mcal)	93	341	161	79	197	482	632	636	584	3205
熱 損 失 量 (Mcal)	1398	894	619	848	806	789	907	1042	662	7965

表-9に旬別の集熱量、太陽熱利用量および熱損失量を示した。全期間の集熱量11,170Mcalのうち、太陽熱利用量は3,205Mcalで、この利用熱量は全期間集熱量の約29%で、残りの7,965Mcalは未利用となったが、これらの大半は、蓄熱槽から失われたものと考えられる。

あ と が き

以上のように、シンビジウム温室において、暖房に要した熱量のうち、太陽熱利用熱量は、3,205Mcalで、その依存率は42%であった。この熱量を農場設置のボイラによって暖房した燃料に換算すると、A重油約1tに相当する。しかしソーラーシステムの設備費、減価償却費、所要電力費などを考慮すると、この場合、太陽熱暖房はコスト高と言わざるを得ない。

これらの調査結果から、全使用熱量は、7,547Mcalとなっているが、この熱損失がなければ、太陽熱暖房のみでまかなえるであろう。このため、蓄熱槽の容量、構造を見直し、断熱材を改良して、放熱を出来る限り防止すると共に、冷房装置を早急に付設し、夏季における温室の夜間冷房を行なうなど、システムの効率をより高めることが必要である。

参 考 文 献

- 1) 仙頭照康, 田原三男, 吉井宗利, 綱本ミヨ子, 藤田政利 (1985) コンピュータ温室におけるシンビジウムの省力栽培。愛媛大学農学部農場報告 6:57-64。
- 2) 気象観測 (1985) 愛媛大学農学部農場報告 6:125-136。

- 3) 仙頭照康 (1984) 愛媛大学農場システム。新農業システム総合技術。R & Dプランニング 555-579。
- 4) 田中俊六 (1977) 太陽熱冷暖房システム。オーム社 1-219。
- 5) 三原義秋編著 (1983) 温室設計の基礎と実際。養賢堂 182-204。
- 6) 木村建一 (1980) ソーラーハウス入門。オーム社 59-121。