

太陽熱利用（外部集熱方式）による温室の暖房技術に関する研究（第1報）

I 簡易集熱器（サンコイルパネル）の性能試験 II 簡易集熱器の各種条件による集熱量

望月正之・中村 宏*・平岡達也

Studies on Solar Green House Heated by Means of an External Collection System (No.1)

Experiment on the Properties of simple Solar Collection

Masayuki MOCHIZUKI, Hiroshi NAKAMURA and Tatsuya HIRAOKA

緒 言

太陽熱を利用した省エネルギーのための施設野菜栽培で、水を媒体として集熱するものに、グリーンソーラーや水封マルチなどがあり、さらにコレクター利用などがある。

外部集熱型の集熱器による集熱方法には、集光型、平板型があり、集光型集熱器は集熱面積に比べて放熱面積が少ないため高温領域での集熱効率にすぐれるが、コストが高い。したがって温室の暖房では、一般に平板型集熱器が使用されている。⁵⁾

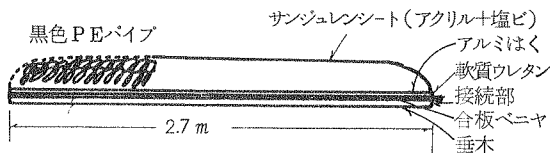
集熱器に関しては、最近、家庭用のものを含め、集熱能力を高めるため、また耐久性、コスト等などの面からも種々の工夫がなされ、材質についても検討されている。

本試験では農業用集熱器ということで、多少の集熱能力が落ちて、コストが安く、扱いが容易で、しかも簡易な集熱器を目標として考察したものである。ここではその特性について報告する。

I 簡易集熱器（サンコイルパネル）の性能試験

1. 試験方法

本試験で使用した簡易集熱器のサンコイルパネルは、第1図に示すように、大きさはタテ270cm×ヨコ91cmで、黒色のポリエチレンパイプ（内径15mm、外径17mm、肉厚1mm）を200m巻いてできているものである。このサンコイルパネルを5台連結して、45°の傾斜角度に設置した。



第1図 サンコイルパネル

大 き さ	外寸法 91 cm×270 cm
バ イ プ	太 さ 内径15mm 外径17mm
(黒色PE	肉厚1mm
バ イ プ)	長 さ 200 m
	パイプ内の水量 35ℓ

集熱能力を検討するため、第1表に示すようにパイプ内に流れる水量と送水水温条件を変えて、1980年5月2日～27日の晴天日に試験を実施した。送水量は集熱器入

* 現農業大学校

第1表 試験区

送水口水温	流 量	測定年月日
A 低温(水道水温)	中量(3.4kg/min)	1980年5月2日
B " (")	少量(1.8kg/min)	12日
C " (")	多量(4.5kg/min)	14日
D 高温(45℃)	中量	23日
E 中温(31℃)	"	27日

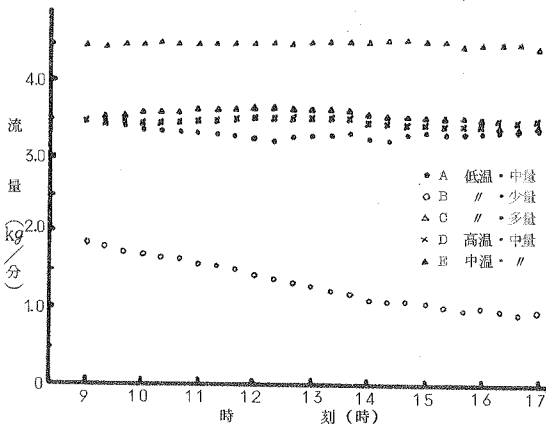
口のバルブ操作により、多量区4.5kg/分、中量区3.5kg/分、少量区1.8kg/分に調節した。多量区の4.5kg/分の流量は、日立浅井戸用ポンプ(400W, 1.7A)の圧力で連続して運転する最大流量であり、中量区の3.5kg/分は実際に使用している流量である。

送水水温条件は、低温区が16~20℃(水道水温)、中温区31℃、高温区45℃として、ほぼ一定の温度の水を送水した。

水温は10分毎に、各々5台の集熱器の入口と出口の水温を熱電対で直接測定した。また、流量は20分毎に、1分間当りの重量を3回測定して、平均値で示した。日射量はエブリーにより水平全天日射量を測定した。尚、送水ポンプは朝7時30分頃に始動させて、サンコイルパネル内にあった水の影響がなくなった。9時頃からデータを集収した。

2. 結果

流量調査の結果は第2図に示した。中量区と多量区の

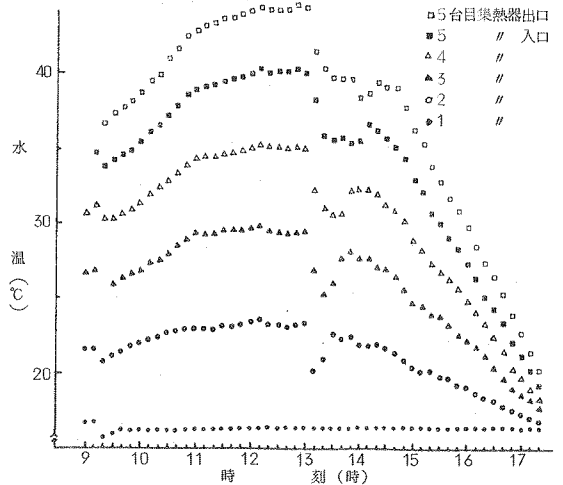


第2図 流量調査

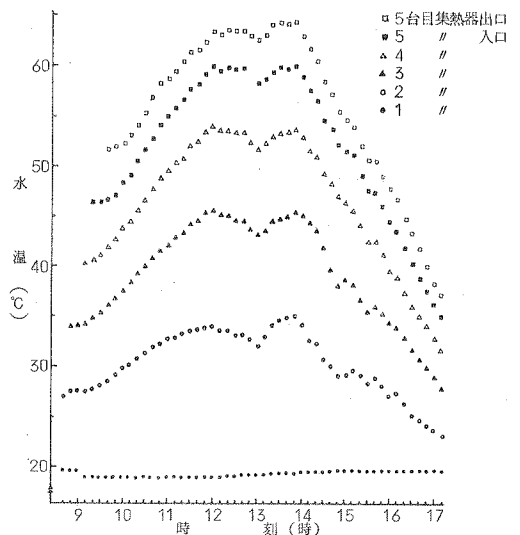
試験開始時から終了時までの流量の変化は、試験区によってやや異なるが、日中水温の上昇とともにやや流量も増加する傾向がみられた。しかし、大きな流量変化はなかった。これに対して、少量区では時間の経過とともに流量が減少して、調査開始時1.8kg/分であったのに、終了時には約0.9kg/分と半分程度であった。

各試験区の5台の集熱器の入口と出口との温度調査の結果は第3~7図に示す通りであった。低温・中量区では、5台の集熱器で12~13時頃で最も水温が高くなり、1台目の集熱器入口の水温16.4℃のものが5台目集熱器出口では44.6℃で28.2℃の温度上昇が見られた。同様に、低温・少量区では18.8℃が63.7℃で44.9℃、低温・多量区20.2℃が42.6℃で22.4℃、高温・中量区43.0℃が59.4℃で16.4℃、中温・中量区30.8℃が52.8℃で22℃の温度上昇が見られた。低温・中量区、低温・少量区で13時過ぎに、太陽が雲にさえぎられて、一時的に水温が急降下した。

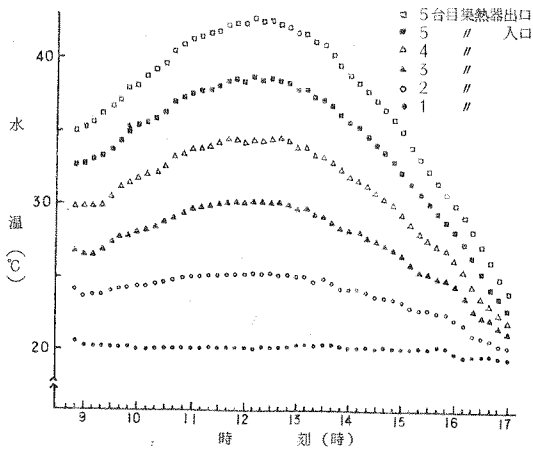
高温・中量区では15時30分頃から集熱器入口の水温より出口の水温が低くなり、集熱器による放熱が見られた。



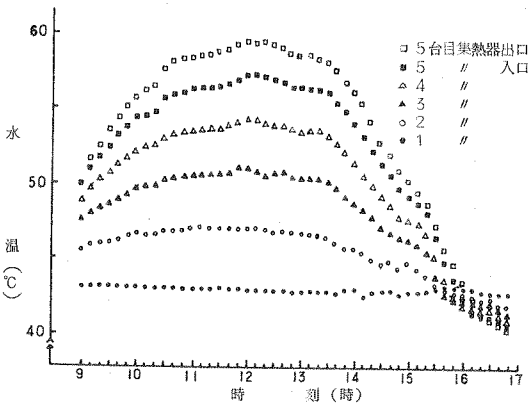
第3図 低温・中量区の集熱器出入り口の水温



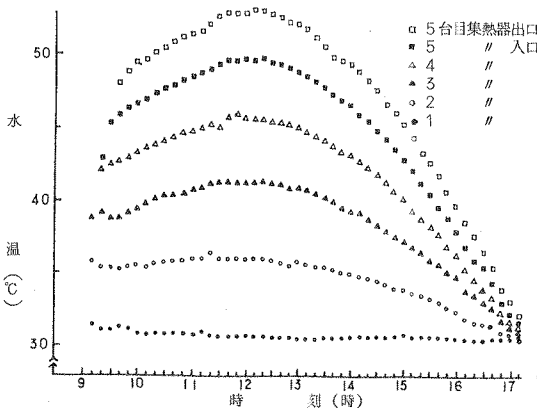
第4図 低温・少量区の集熱器出入口の水温



第5図 低温・多量区の集熱器出入り口の水溫



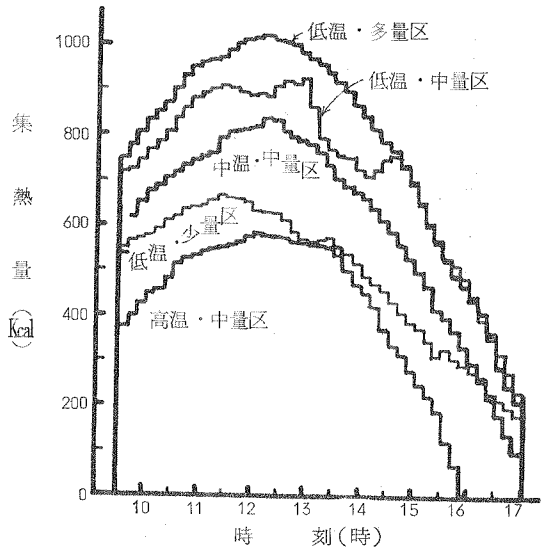
第6図 高温・中量区の集熱器出入り口の水溫



第7図 中温・中量区の集熱器出入り口の水溫

いずれの試験区でも1台目の集熱器の温度上昇が最も大きく、2, 3, 4, 5台目と後になる集熱器ほど、入口と出口の水溫差が小さくなった。

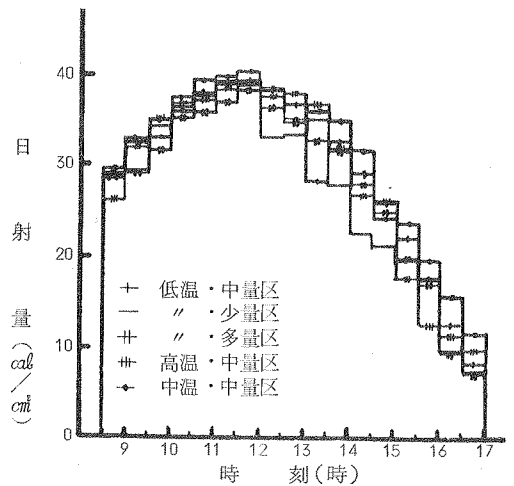
第8圖は各試験区における、10分毎の集熱器5台の集熱量を示めた。集熱量は低温・多量区>低温・中量区>中温・中量区>低温・少量区>高温・中量区であった。



第8圖 試験区別の集熱量

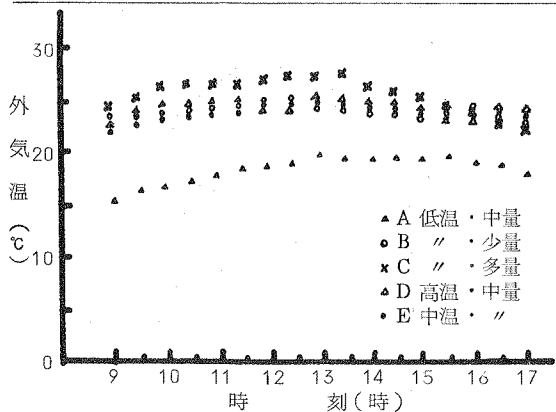
低温・多量区の12~13時の5台の集熱量は約1,000 Kcal/10分で、集熱量の最も少なかった高温・中量区のはば倍であった。

環境条件として、各試験区での30分ごとの日射量を第9圖に示した。各区の日射量のピークは12時前後にきて



第9圖 日射量調査

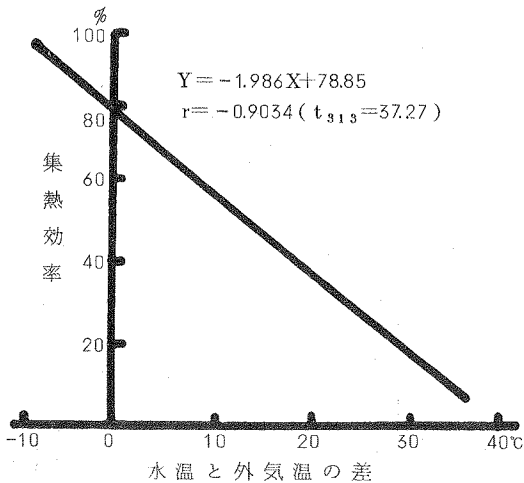
おり、14時頃から急激に少なくなっている。水溫を測定した5月2日の9時30分~17時までの1cm当りの日射量は439.8 cal, 12日は413.9 cal, 14日は422.0 cal, 27日は462.5 calで、23日の9時30分~16時では414.8 calであった。外氣溫(第10圖)は低温・中量区を測定した5月2日で他区より5℃程度低かった。他区では低温・多量区



第10図 外気温調査

の14日でやや高い傾向がみられたが、大きな差はなかった。外気温の最も高くなるのは各区とも13時前後であり、それ以降は徐々に下降した。

以上の結果から、30分当りの各試験区の集熱効率を縦軸に、送水水温と外気温の差を横軸にとったところ、第11図に示すように、低温・中量区の水気温差は約2~28℃、低温・少量区6~35℃、低温・多量区7~12



第11図 集熱効率と水気温の差

℃、高温・中量区18~33℃、中温・中量区6~26℃の範囲にあった。

集熱効率は送水水温と外気温の差に反比例し、水温と外気温の差が大きいほど、集熱効率は小さくなり $Y = -1.986X + 78.85$ (Y : 集熱効率 X : 水温と外気温の差) という式が成り立った。つまり、水温と外気温の差が0℃の時は約80%の集熱効率で、10℃では60%、20℃では40%、30℃で20%というように水気温差が10℃ふえることにより、約20%づつ集熱効率が悪くなった。

3. 考察

簡易集熱器サンコイルパネルの性能調査で、送水流量の少ない、低温・少量区の流量が試験開始時と終了時ではほぼ半分の水量になった。これは流量の少ない区では水温の上昇率が大きくなるために気泡が発生しやすく、さらにサンコイルパネル一台に200mのポリエチレンパイプが巻いてあるので流量が少ないと発生した気泡が押し出されずパイプの中に残ってしまうためであろう。このことは、重量による流量測定と同時に行った流量計のメーター測定でも試験開始時と終了時ではほぼ半量になっていたことや、試験終了後、流量を多くして、圧力を加えると、エア抜きから、多量のエアが抜けてきたことから、パイプに気泡がたまっただけに流量が少なくなったことがわかる。他の中量区、多量区で、日中やや流量が多くなったのは、水の密度から考えると温度上昇により、流量が減少するであろうが、温度上昇によるパイプの膨張が水の膨張より大きくなるため、日中、やや流量が増えるものと考えられた。本試験において流量が少ないと気泡が発生して、流量が少なくなることがわかったが、集熱効率への影響については、はっきりしなかった。しかし、実際問題としては、パイプ内に気泡が多くなることは熱の伝導という点から水温があたまりにくくなるということが想像できる。また、ポンプの負担ということから、パイプ内に気泡がたまらないようにする必要がある。そのためには、少なくとも3kg/分以上の水量を送るようにしたい。

各々の試験区で集熱器入口と出口の温度差は1台目で最も大きく、2, 3, 4, 5台目と順を追って温度差が小さくなった。これは、日射量、外気温などの環境条件はほぼ同じ状態であることを前提に考えると、2, 3, 4, 5台目と後になる集熱器ほど入口の水温が高まっていることに密接に関係しているものと思われた。また、各試験区で、流量が同じで、送水水温を異にした場合、低温区で最も集熱量が多く、送水水温が高い程、集熱量が少なくなった。

送水水温が同じ場合は、流量が多い程、集熱量は多くなったが、このことは集熱には、送水水温の低い状態で集熱することが、集熱量を多くすることに結びつのがわかる。

平板型集熱器の性能を検討する場合には、集熱効率をしらべるが、集熱に影響する要因としては、透明板の太陽光線透過率、集熱板の太陽光線吸収率、受熱面日射量、集熱器の裏側、側面熱通過率、集熱器の側面部面積、有効集熱面積など個々に検討しなければならない。^{1,5)}

ここでは、集熱器の性能を本質的に研究することではなく、実用上、温室暖房をするのに、おおよその性能をわかりさせておいて、暖房設計をする時の参考にするという目的からの性能調査である。その結果、集熱効率は送水水温と外気温の差に非常に影響されることがはっきりした。サンコイルパネルでは $Y = -1.986X + 78.85$ (Y :集熱効率 X :水温と外気温の差)の式が成り立った。

なお、野菜試の施設栽培部では、太陽熱集熱板を使用した試験で、集熱効率は $S/\Delta t$ (ただし、 S :受熱面日射量 Δt :水温一気温 $^{\circ}C$)の一次関数として表わすことができ、 $Y = 1.077X + 0.17$ (Y :集熱効率 X : $S/\Delta t$ Δt 出口水温+入口水温/2-気温)の式を導きだしている。⁷⁾

また、東郷ら⁶⁾は試作した簡易集熱器の性能で、1~3月における集熱効率は、循環開始水温によって異なり、戸外水平面日射量を基準にした場合、 $Y = -0.019X + 1.14$ (Y :集熱効率 X :循環開始水温)の式が成り立ち、循環開始水温 $20^{\circ}C$ では80%の集熱効率、 $30^{\circ}C$ では60%、 $40^{\circ}C$ では40%、 $50^{\circ}C$ では20%の関係があることを示している。この結果は、本報の水気温の差と、循環開始時の水温との違いはあるが簡易集熱器の場合、水気温差が $10^{\circ}C$ ですと集熱効率は20%程度悪くなることでは、ほぼ一致した結果であった。

II 簡易集熱器の各種条件による集熱量

1. 試験方法

サンコイルパネルの性能試験で得た $Y = -1.986X + 78.85$ (Y :集熱効率 X :水温と気温の差)の式を用いて、集熱器の接続方法、蓄熱槽の各種条件(蓄熱方法、水量、集熱開始時の水温)により集熱量がどのようになるかを検討した。

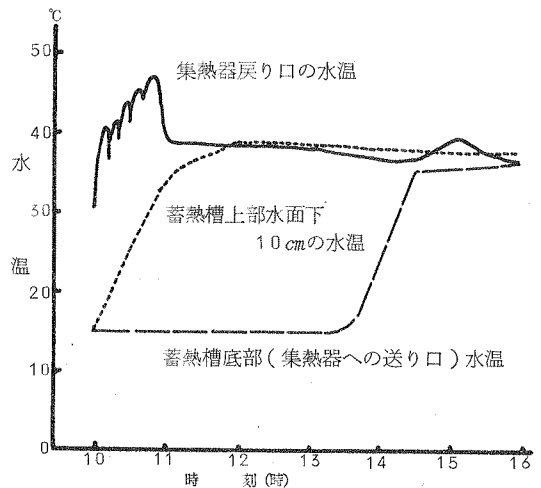
実際の集熱はサンコイルパネルを 45° の傾斜角度で、40台南向きに設置し、浅井戸用ポンプで本管からサンコイルパネル5台を直列に接続して、1セットとし、8セット並列で行った。蓄熱槽は1基3.75tで、2基7.5tに集熱した。循環水量は1セット約3.5 ℓ /分に、集熱ポンプの制御はタイマーで9~10時に始動し、止まるのはサンネルソーラーシステムコントローラー(集熱器と蓄熱槽の水温差による制御)により、集熱器出口の水温が蓄熱槽の水温より低くなった場合にセットした。

推定値の計算は1981年2月2日の7時~16時30分までの30分毎の水平日射量、平均気温を求めて、 $Y = -1.986X + 78.85$ の式から第2表に示すように集熱量を得た。蓄

熱槽の蓄熱方法で、混合型は集熱器から戻ってきた水が蓄熱槽の水と混合して、蓄熱槽全体の水温が30分毎に均一になるものとし、分離型は集熱前の水と集熱後の水が集熱中に混合しないものとした。また、推定値も、実際の集熱と同じように、集熱器40台、蓄熱槽7.5t、循環水量3.5 ℓ /分を基準に計算した。なお、集熱器サンコイルパネルの面積は1台2457 m^2 である。

2. 結果

1981年の2月2日は実際の集熱で最も集熱量の多い日であった。2月2日の実際の集熱状態は第2図に示すように、集熱前の蓄熱槽の水温は2基平均で $15^{\circ}C$ であっ



第2図 1981年2月2日の集熱状態(サンコイルパネル40台、 45° 角度、蓄熱槽7.5t、循環流量1セット3.5 ℓ /分)

注:蓄熱槽3.75tのものを2基に集熱、図は2基の平均を示す。

た。集熱ポンプを10時に始動するようにセットしておいたところ、10分後に $40^{\circ}C$ の水温が蓄熱槽に戻ってき、50分後に $48^{\circ}C$ の最高水温になった。11時以降集熱器戻りの水温に急激な変化はなく、 $37\sim 40^{\circ}C$ の水温がもどってきた。蓄熱槽から集熱器に送り出される水温は、13時30分頃まで、 $15^{\circ}C$ であり、それ以降は集熱された水温により蓄熱槽の底の部分(集熱器への送水部)の水温も高くなり、高い温度の水が集熱器に送り出された。そのために15時過ぎに、それまで集熱器戻り口の水温は徐々に低くなっていてもかかわらず、 $40^{\circ}C$ 近くの高い水温が戻ってきた。集熱は16時にサンネルソーラーシステムコントローラーにより止まった。最終蓄熱槽の水温は $37.0^{\circ}C$ で、16.5万Kcalの集熱量になった。

この2月2日の外気温と日射量から($Y = -1.986X + 78.85$ の式を用いて)蓄熱槽の蓄熱方法、水量、水温の

条件を変えて、日射量のある間は集熱できるものとして、集熱量を推定した。その結果は第2～4表に示す通りであった。第2表は集熱前の蓄熱槽水温を異にした場合での集熱量である。集熱器は5台直列にし、蓄熱槽の水量は937.5ℓの混合型として計算した。(集熱器40台、水量7.5tに相当)15℃の水温の場合は15518Kcal、20℃は13238Kcal、25℃は10958Kcalとなり、集熱前の水温が

低い15℃では、20℃、25℃に比較して、1.17倍、1.42倍の集熱量になった。同様に、混合型の蓄熱槽の水温、水量を変えた場合での集熱効率を第3表に示した。集熱効率は集熱前の水温が低い程、また蓄熱槽の水量が多い程、良くなっている。第3図に示すように、水量が3.75tでは、水温が1℃高くなると、1.43%、水量が7.5tでは1.25%、15tでは0.95%と集熱効率が悪くなった。

第2表 蓄熱槽水温を異にした時の集熱量(集熱器5台直列、蓄熱槽完全混合型)

時刻	日射量 cal/cm ²	外気温 ℃	937.5ℓの水量15℃		20℃		25℃	
			集熱量 Kcal	水温 ℃	集熱量 Kcal	水温 ℃	集熱量 Kcal	水温 ℃
7.00～7.30	2.8	-2.4	148.4	15.2	115.7	20.1	81.9	25.1
7.30～8.00	6.7	-1.0	361.6	15.5	285.4	20.4	209.1	25.3
8.00～8.30	10.7	0.9	592.3	16.2	476.9	20.9	361.4	25.7
8.30～9.00	13.5	3.0	770.8	17.0	632.5	21.6	494.2	26.2
9.00～9.30	15.7	4.8	910.6	18.0	757.9	22.4	605.2	26.9
9.30～10.00	19.7	7.0	1150.3	19.2	972.2	23.5	794.0	27.7
10.00～10.30	21.9	8.5	1264.9	20.5	1079.2	24.6	893.4	28.7
10.30～11.00	23.0	9.8	1312.8	21.9	1128.6	25.8	944.5	29.7
11.00～11.30	23.6	10.4	1302.6	23.3	1123.8	27.0	945.0	30.7
11.30～12.00	25.3	10.8	1326.3	24.8	1147.0	28.2	967.6	31.7
12.00～12.30	24.2	11.0	1224.3	26.1	1060.0	29.4	895.7	32.7
12.30～13.00	23.0	11.0	1117.4	27.2	967.4	30.4	817.5	33.5
13.00～13.30	21.3	11.4	1017.4	28.3	883.1	31.3	748.9	34.3
13.30～14.00	18.5	11.6	873.2	29.3	759.0	32.1	644.7	35.0
14.00～14.30	16.3	11.8	760.2	30.1	661.6	32.9	563.1	35.6
14.30～15.00	12.9	11.0	575.9	30.7	498.4	33.4	420.8	36.1
15.00～15.30	10.1	10.0	426.6	31.1	366.1	33.8	305.6	36.4
15.30～16.00	6.2	9.6	259.3	31.4	221.7	34.0	184.2	36.6
16.00～16.30	3.4	7.0	122.8	31.6	102.0	34.1	81.2	36.7
集熱量合計	198.8		15517.6Kcal		13237.8Kcal		10958.0Kcal	

第3表 完全混合型蓄熱槽の水量、水温による集熱※

水量	水温	集熱量	集熱効率	集熱後水温	水温上昇
3.75t	15℃	96060Kcal	32.7%	40.6℃	25.6℃
	20	82117	28.0	41.9	21.9
	25	68172	23.2	43.2	18.2
	30	54230	18.5	44.5	14.5
7.50t	15	124140	42.3	31.6	16.6
	20	105902	36.1	34.1	14.1
	25	87664	29.9	36.7	11.7
	30	69132	23.5	39.2	9.2
15.00t	15	142382	48.5	24.5	9.5
	20	121318	41.3	28.1	8.1
	25	100254	34.1	31.7	6.7
	30	79190	27.0	35.3	5.3

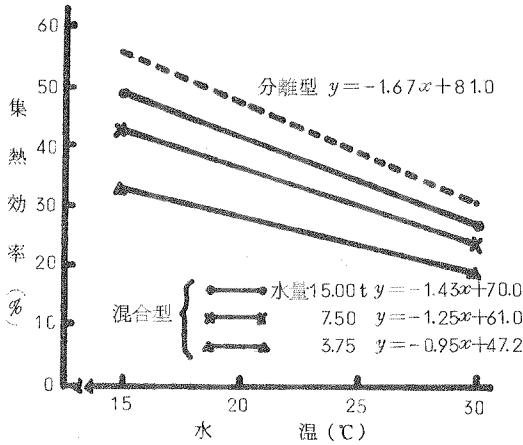
※ 集熱器40台、5台直列

第4表 分離型蓄熱槽の水温による集熱量※

水温	集熱量	集熱効率	集熱後水温	水温上昇
15℃	164,225Kcal	55.9%	25.3℃	10.3℃
20	139,750	47.6	28.7	8.7
25	115,274	39.3	32.2	7.2
30	90,798	30.9	35.7	5.7

※ 集熱器40台、5台直列の8セット
 水量 15,960ℓ=循環流量(210ℓ)×並列数(8セット)×集熱時間(95時間)

蓄熱槽が分離型では集熱前の水と集熱後の水が集熱中に混合しないということから、蓄熱槽の水量は集熱器5台直列の場合、流量(3.5ℓ/分)×並列セット数(8セット)×集熱時間(95時間)で約16tになった。集熱量



第13図 水温および水量による集熱効率
(集熱器40台, 5台接続)

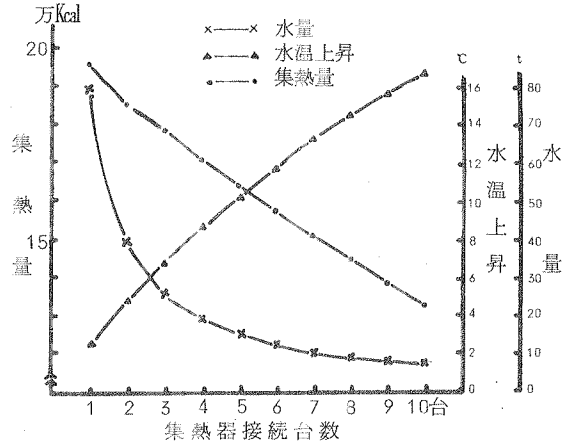
は混合型と同様に、低水温の状態では集熱量を多くし、1℃水温が高くなると1.7%集熱効率は悪くなった。

集熱器の直列接続台数毎の集熱量は、混合型の蓄熱槽で、集熱器1台1台を本管に接続するのが集熱量も多く、有利であった。(第5表) 分離型の蓄熱槽でも、第14図に示すように、1台接続は集熱量が多く、10台接続の

第5表 混合型蓄熱槽での熱器接続台数による集熱量*

接続台数	集熱量	上温上昇	水温
1台	141,006 Kcal	18.8℃	3.38℃
2	136,553	18.2	3.32
3	132,258	17.6	3.26
5	124,141	16.6	3.16

* 集熱器40台, 蓄熱槽7.5t, 初期水温15℃



第14図 分離型蓄熱槽での集熱器接続台数による集熱量、水温上昇、水量(集熱器40台)

注: 水量=時間当りの流量(3.5ℓ/分)×集熱時間(9.5時間)×並列数(40台/接続台数)

水温上昇=集熱量÷水量

約2倍の集熱量であった。しかし、分離型では集熱前の水と集熱後の水が混合しないということから、水量が非常に多くなり、1台接続では80tになる。そのため集熱量は多くても、水温上昇が少なかった。

実際に使用した蓄熱槽は13時30分頃までは、密度変化を利用して、集熱した高温水は上層部に、集熱前の低温水は下層部になり、内部での混合を防ぐ温度成層利用方式であった。それ以降は最初に集熱されて高くなった水温から順次集熱器に送りだされた。

温度成層利用方式で、7.5tの蓄熱槽を使用して、集熱器の接続台数、ポンプの運転時間による推定集熱量を計算した。その結果、第6表に示すように、1セット当り

第6表 集熱器接続台数による蓄熱槽の水量の循環回数

接続台数	並列数	1時間当り流量	循環時刻	時間															
				7	8	9	10	11	12	13	14	15	16時						
1台	セット	ℓ	時分																
1	40.0	8,400	5.4	①7.54	②8.48	③9.42	④10.36	⑤11.30	⑥12.24	⑦13.18	⑧14.12	⑨15.06	⑩16.00						
2	20.0	4,200	1.47	①8.47		②10.34		③12.21		④14.08		⑤15.56							
3	13.3	2,793	2.41	①9.41			②12.22			③15.03									
4	10.0	2,100	3.34	①10.34				②14.08											
5	8.0	1,680	4.28	①11.28						②15.56									
6	6.7	1,400	5.22	①12.22															
7	5.7	1,200	6.15	①13.15															
8	5.0	1,050	7.09	①14.09															

* 並列数=40台÷接続台数

** 流量=並列数×1セット当り流量(210ℓ/時間)

*** 循環=蓄熱槽水量(7.5t)÷流量

の流量は210ℓ/時間になるので、直列接続台数が多くなると、並列数が少なくなり、循環水量も少なくなる。1台接続では54分で、7.5tの流量になり、蓄熱槽の水が1回循環する。すなわち、1台接続では集熱中に蓄熱槽の水が10.6回循環し、2台で5.3回、3台で3.5回、4台で2.7回、5台で2.1回、6台で1.3回の循環であった。

7時のポンプ始動では、集熱器の接続台数を2台にするのが集熱量を多くし、水温上昇が大きかった。9時の

ポンプ始動では接続台数が6台で最大集熱量になった。(第7表)

1月6～8日、2月2、4日の実測値と $Y = -1.986X + 78.85$ の式を用いて、日射量と外気温から算出した推定値を第8表に示した。1月6日の実測集熱量は12.2万Kcalに対して、推定値7.8万Kcal 同様に、7日は14.3万Kcalに対して、9.6万Kcal、8日は12.6万Kcalに対して8.1万Kcalとなり、推定値は実測値のほぼ62%前後であった。2月2日は16.5万Kcalに対して、13.5万Kcal、4日は13.5万Kcalに

第7表 集熱器接続台数とポンプ始動時間による集熱量(集熱器40台蓄熱槽7.5t)

接続台数	7時ポンプ始動			9時ポンプ始動*		
	集熱量	水温上昇	集熱後水温	集熱量	水温上昇	集熱後水温
1	140,628 Kcal	18.8℃	33.8℃	132,030 Kcal	17.6℃	32.6℃
2	142,604	19.0	34.0	134,580	17.9	32.9
3	141,565	18.9	33.9	134,039	17.9	32.9
4	140,784	18.8	33.8	133,198	17.8	32.8
5	138,464	18.5	33.5	135,080	18.0	33.0
6	134,824	18.0	33.0	136,208	18.1	33.1
7	134,093	17.9	32.9	131,639	17.5	32.5
8	133,518	17.8	32.8	129,940	17.3	32.3

* 9時に15℃の水温から集熱

蓄熱槽は温度成層利用方式で、蓄熱槽の水が集熱器を一回転した時、蓄熱槽の水温が均一になるものとして計算する。

第8表 サンコイルパネルによる集熱量(集熱器40台、蓄熱槽7.5t)

年月日	日射量 (cal/cm ² ・day)	実 測 値			推 定 値			推定値/実測値 ×100
		集熱前水温	集熱後水温	集熱量	集熱前水温	集熱後水温	集熱量	
1981年		℃	℃	万Kcal	℃	℃	万Kcal	%
1月6日	243	23.8	40.0	12.2	23.8	33.6	7.4	61
7	260	23.5	42.5	14.3	23.5	35.5	9.0	63
8	236	25.0	41.8	12.6	25.0	35.1	7.6	61
2月2日	298	15.0	37.0	16.5	15.0	33.0	13.5	82
4	297	21.5	39.5	13.5	21.5	36.3	11.1	82

注、推定値の蓄熱は実測に近い温度成層利用方式、集熱器5台接続

に対して、11.1万Kcalになり、推定値は実測値の82%であった。

第15図は、1980年12月20日～1981年3月17日での晴れた日の集熱量と日射量との相関をみた。12～1月では $Y = 0.0478X + 0.8939$ (Y:集熱量万Kcal X:日射量cal/cm²・day)

2～3月では $Y = 0.0353X + 0.4792$ の式が成り立ち、12月～1月では200 cal/cm²・dayで約10万Kcal、2～3月では約7.5万Kcalになった。

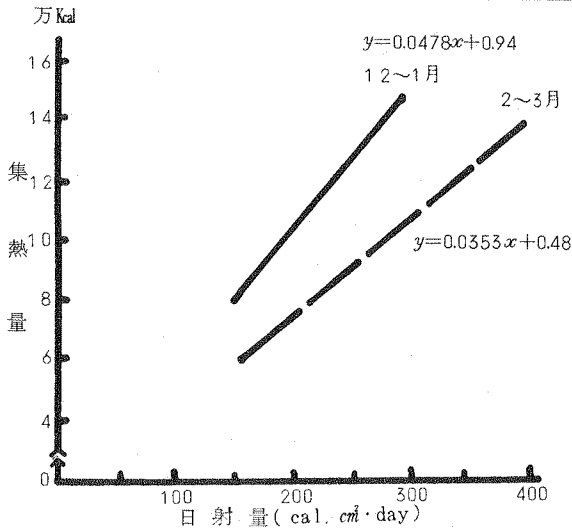
3. 考 察

2月2日の実測で、10時にポンプを運転させた時、10分毎に5回水温の上昇と下降が繰り返えされて、40～48

℃の水温が集熱器から蓄熱槽に戻ってきた。この水温の上昇、下降は集熱器と集熱器の連結部に原因している。サンコイルパネルのパイプ内の容量は1台約35ℓであり、循環水量は約3.5ℓ/分であったので、10分毎に、5台の連結部での水温の下降が見られたものと考えられた。

2月2日の最低気温は-3.9℃であり、サンコイルパネル内に残った水は凍らないが、0℃に近い水温になっていたと思われた。²⁾ この0℃に近い水を循環させないで、10時頃まで集熱した場合には40℃程度の水温になった。

11～14時過ぎまで、蓄熱槽の15℃の水温が集熱器を循環して37～39℃になって戻ってくる。すなわち、集熱器5台のポリエチレンパイプ1kmの長さで、22～24℃の水



第15図 サンコイルパネルによる日射量と集熱量
(40台, 45°傾斜角度, 蓄熱槽 7.5 t)

温上昇が見られた。

サンコイルパネルの性能調査の結果の $Y = -1.986X + 78.85$ の式を用いて、各種条件下での集熱量を計算した。蓄熱槽が混合型の場合には低温水で、蓄熱槽の水量を多くして集熱するのが集熱効率を高め、集熱量を多くする。水量を半分にして、集熱開始前の水温を2倍にすると集熱効率は $\frac{1}{2}$ 以下になる。このように集熱効率は、水量と水温によって非常に影響を受ける。また、集熱器の接続は1台1台を本管に並列に接続する方法が集熱量を多くし、水温も上昇する。

蓄熱槽が分離型の場合は、混合型より集熱効率が良くなり、集熱量も多くなる。また、いずれの蓄熱方法よりも集熱効率が良く、最大集熱量を示すものと考えられた。本管に1台1台接続の場合、19.6万Kcalの最大集熱量になり、混合型より40%多い集熱量になった。しかし、分離型での問題として、集熱前の水と集熱後の水とが集熱中に混合しないということから、蓄熱槽の水量は40台並列にした場合、1時間当り流量(3.5ℓ/分×60分)×並列数40セット)×集熱時間(9.5時間)で、79.8tと膨大な量になる。また、集熱量は多くても、水温の上昇は2.5℃と小さく、放熱に利用しにくい。集熱器の直列台数を多くすることにより、水量も少なく、水温も上昇するが、集熱量は少なくなる。

実際問題として考えた場合、蓄熱槽を混合型にするためには、配管、器具機械を使用しなければならないし、集熱という点でもメリットがない。また、分離型では集熱量は多くなるが水量も多くなりすぎる。これらのことから、蓄熱槽としては、本試験に使用したような、密度

変化を利用して、内部での混合を防いだ温度成層利用方式が適しているように考えられた。なお、放熱の場合でも、混合型よりも温度成層利用方式による有利性が示されている。⁴⁾

温度成層利用方式で、集熱器の接続台数を変えることにより循環流量が変わり、集熱量に差が見られた。接続台数を少なくして、並列数を多くすることは、1セット毎の1回の水温上昇は少ないが、蓄熱槽の水量の回転を多くして、その都度、蓄熱槽の水温を上昇させる方法である。これに対して、接続台数を多くして、並列数を少なくするのは、集熱器で順次水温を上昇させて、蓄熱槽に蓄え、蓄熱槽の水を回転させない方法である。

朝7時からポンプを始動させたとき、集熱器内の水温も蓄熱槽の水温と同じ15℃あるとして、集熱量を計算すると、2台接続で最も集熱量が多く、水温上昇も大きくなった。このことは、蓄熱槽の水の循環をやや多くして、集熱器の接続台数を多くしないのが良いことを示している。しかし、実際問題として、サンコイルパネルの場合には、水抜きができず、パイプ内に水が残る。外気温が-5℃程度では凍らないが、0℃に近い水温になる。この集熱器の水温が蓄熱槽の水温と同程度になるのは、放熱後の蓄熱槽の水温、外気温、日射量等により異なるが、ほぼ8時30分～9時である。2月2日は蓄熱槽の水温が15℃と低かったので、9時には集熱器の水温も15℃程度になっていると考えられる。そこで、9時に集熱器と蓄熱槽の水温が15℃になると仮定して、9時から集熱した時の集熱量は集熱器を6台接続した場合で最大の集熱量を示した。しかし、2～6台接続では集熱量に大きな差がなかった。実際の使用にあたって、集熱器のトラブルがあるような時には集熱器の接続台数はできるだけ少ないのが良い。その外、集熱器の接続台数によってポンプの性能も異なってくるので、総合的に判断する必要がある。

1981年1月6～8日の集熱量で、推定値は実測値に対して62%前後であり、2月2, 4日では82%であった。推定値は水平日射量で計算しているが、実際には45°の角度で集熱している。関原²⁾は傾斜面に入射する日射量の計算例として1月で傾斜角0°で240 cal/cm²·day, 45°で376 cal/cm²·day, 2月で0°で234 cal/cm²·day, 45°で287 cal/cm²·day になったとしている。1月では傾斜角0°に対して45°は1.57倍、2月で1.23倍になっている。この数値から推定値も45°の角度で計算すると1月で実測値に対して97%、2月で101%と、ほぼ実測値と推定値で同じになった。しかし、この他に実際の集熱では、

集熱後、集熱器に30℃程度の水温が回収されないで無駄になってしまっている。推定値では9時にポンプを運転させて、蓄熱槽の水が一循環したときに、全体の水温が均一になるようにしているの、二順目の初期水温は高くなり、集熱量はやや少なくなっているように、いずれもさらにやや多く集熱されているものと考えられた。

サンコイルパネル40台で、45°の傾斜角度で集熱した場合、12～1月では2～3月に比べて、同じ日射量でも、30%程度集熱量が多くなっている。この一つの原因としは2～3月になると放熱量が少なく、蓄熱槽の水温が高くなり、水気温差が大きい状態で集熱していることも考えられるが、基本的には集熱器の傾斜角度が重要になり、1月の寒い時期で集熱量を多くするには45°程度の傾斜角度が必要であるように考えられた。

摘 要

1. 簡易集熱器サンコイルパネルの性能調査をした結果、集熱効率は水温と外気温の差に強く影響されて、 $Y = -1.986X + 78.85$ (Y:集熱効率 X:水温と気温の差)の式が成り立った。つまり、水温と外気温の差が10℃で大きくなると、集熱効率は20%悪くなる。
2. サンコイルパネルの集熱効率は蓄熱槽の水量と集熱前の水温によって大きく影響を受けた。蓄熱槽の水量を多くして、低い水温の状態で集熱するのが集熱量を多くする。しかし、集熱量は多くなるが、集熱後の水温は高くない。
3. 蓄熱方法としては、密度変化を利用して、内部での混合を防いだ温度成層利用方式が適していると考えられた。
4. 温度成層利用方式の蓄熱槽で、集熱器の接続台数により、集熱量が変る。集熱器の並列数を多くし、流量を

多くして、蓄熱槽の水の循環回数を多くする集熱方法と集熱器の直列接続台数を多くし、流量を少なくして、蓄熱槽の水を循環させないで、集熱器で高温水にさせる集熱方法がある。最大の集熱量は6台接続であったが、2～6台接続では大きな差はなかった。

5. 1980年12月20日～1981年3月16日の試験で、40台の集熱器の集熱量は日射量との相関がみられ

$$12 \sim 1 \text{ 月} \quad Y = 0.0478X + 0.8939$$

$$2 \sim 3 \text{ 月} \quad Y = 0.0353X + 0.4792$$

上記の式が成り立った。(Y:集熱量万Kcal X:日射量cal/cm²・day)すなわち、12～1月では200cal/cm²・dayで約10万Kcal、2～3月では約7万Kcalになった。12～1月と2～3月での集熱量の差は集熱器45°の傾斜角度と各月による入射角度の差異が大きく影響しているものと考えられた。

引 用 文 献

- 1) 石橋敏宏:太陽エネルギーの基礎と応用 オーム社 59～84 (1978)
- 2) 望月正之, 平岡達也:神奈川農総研葉根菜成績書 No.13 116～149 (1982)
- 3) 日本太陽エネルギー学会:太陽エネルギー読本 オーム社 1～100 (1975)
- 4) 大原源二, 内藤文男:農及園 56(6), 741～746 (1981)
- 5) 高倉直:温室設計の基礎と実際 養賢堂 238～243 (1980)
- 6) 東郷弘之, 石田栄一:施設園芸における省エネルギー対策技術に関する試験研究 野菜試130～131 (1981)
- 7) 野菜試施設栽培部:施設園芸における省エネルギー対策技術に関する試験研究 野菜試 121 (1981)

Summary

- 1) From the performance study on simple solar collector (Sun Coil Panel), it was proved that the efficiency of this equipment depends much on temperature difference between supplied water and open air.

Utilized and the following formula was utilized for efficiency calculation.

$$Y = -1.986X + 78.85$$

Y: Efficiency of Solar Collector

X: Difference between Water and Air Temperature

The difference of 10℃ makes 20% less for the efficiency of a solar collector.

- 2) The efficiency of a simple solar collector was also affected by the volume of water in heat storage tank and water temperature before heating. The increasing of water

supply to the tank and collecting of heat energy at lower water temperature will increase the total collected heat energy. The above method produced much heat energy but did not raise water temperature in the tank.

- 3) It was confirmed that a system for utilizing solar energy heat absorption and its recyclation by storing solar energy in water; and using of heat gradient available in upper heated water layer, was useful for providing necessary heat to green house.
- 4) The study in heat collection was conducted in two ways;
 - A. Increasing the connected collector in parallel, increasing water flow and water cycle.
 - B. Increasing the connected collector in series, reducing water flow and stopping water cycle.

The most sufficient heat collection was obtained with 6 connected collector. But there was not much difference of heat collection volume among 2 - 6 units.

- 5) Studies in utilizing 40 units heat collectors for three month (Dec. 20, 1980-Mar. 16, 1981) led the following interrelation figure on the amount of collected heat energy and solar radiation in the collector.

Through Dec. - Jan. $Y = 0.0478X + 0.8939$

.. Feb. - Mar. $Y = 0.0353X + 0.4792$

Y: Amount of Collected Energy/10,000Kcal

X: Amount of Solar Radiation/cal·cm²·day

It collected approximately 100,000 Kcal in December/January and 70,000 Kcal in February/March (Basis 200 cal/cm² Solar Radiation per Day). The tilt angle change during months has caused difference for heat energy quantity in the collector, and tilt angle was set at an angle of 45° toward the sun.