

潜熱蓄熱材を利用した太陽熱温室暖房に関する研究

** ** **
西口 郁夫・伊藤 重雄・山口 省吾

Studies on the Solar Heating of Greenhouse by
the Latent Heat Storage Materials

Ikuo NISHIGUCHI, Shigeo ITŌ and Shogō YAMAGUCHI

緒 言

施設園芸において昭和49年の第一次石油危機以来、エネルギー不足を背景として、各種の省エネルギー対策がとられてきた。なかでも保温技術の向上などの暖房負荷を少なくして石油消費量を軽減する方法や、石油代替熱源利用技術の開発等が積極的に行われてきた。特に後者は一般的に利用しやすい自然エネルギーである太陽熱利用が多く、現地での利用はもっぱら内部集熱型の地中熱交換方式に集中している。この方式はすぐれたものではあるが、土壌を蓄熱体とするため地下水位の高い場所や既設の温室での施工には問題が残り、立地条件の考慮が必要である。

仁科ら⁴⁾はより普遍的で、高温性作物にも適用の可能性のある潜熱蓄熱方式で検討を進め、その有効性を示唆した。この潜熱蓄熱方式とは地中熱交換方式と同心内部集熱型で、物質が融解あるいは凝固する際に吸収あるいは放出する熱量を利用して蓄熱しようとするもので、水や土を利用した顕熱方式に比べて、装置の小型化や施工の簡便さがはかられる。具体的には熱交換ファンと組合せた蓄熱材の入った装置を、ベンチの下あるいは温室のすみや、あいている所へ設置するだけでよい。

第1表 試験方法の年度別比較

年 度	'80	'81	'82	'83
蓄 熱 槽	<A>PEG・棚板方式 700kg、2台	<A>PEG・棚板方式 700kg、2台	PEG・パイプ方式 700kg、1台 (吐出口改良)	<C>芒硝系吊り下げ方式 900kg、1台
		PEG・パイプ方式 700kg、1台	<C>芒硝系棚板方式 500kg、1台	
対照温室熱源	温風機3kw	なし	温風機3kw	なし
温室内部被覆	塩ビ一層カーテン	塩ビ一層カーテン	塩ビ一層カーテン	二層カーテン (サンシルバー+ラブシート)
供 試 作 物	なし	なし	トマト	トマト・シュンギク

* 本研究の一部は昭和59年度園芸学会秋季大会で発表した。

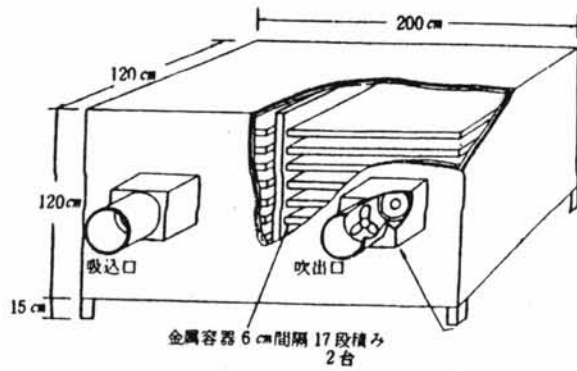
** 園芸部

しかし潜熱蓄熱材には農業用として利用できる温度域を持つものは限られ、小坂²⁾が指適するような蓄熱材として望まれる条件を備えた資材は少なかった。そこで比較的好条件であるポリエチレングリコールを選び、将来この分野の開発が進み、さらにより蓄熱材が得られるまでの暫定的な資材として利用した。

1980年から3年間はこのポリエチレングリコールを用いて、潜熱蓄熱効果と蓄熱装置の改良を検討した。さらに1982年から2年間はそれにかわる、よりすぐれた芒硝系蓄熱材を用いてそれらを検討した結果、実用化の見通しを得たのでここに報告する。

材料および方法

1980年12月から1983年3月まで潜熱蓄熱材を収納した空気集熱式蓄熱槽を用いて、当センター内のビニール温室で太陽熱利用の暖房の可能性を検討した。第1表に示すように年次ごとに蓄熱槽の構造や蓄熱材に改良を加え、供試温度や供試作物との組合せで比較を試みた。'80・'81年度はポリエチレングリコール(以下PEGとする)装置の改良を、'82年度はPEGと芒硝系資材を用いたトマトの栽培比較を、'83年度は芒硝系資材での実用化を主に検討した。



第1図 PEG・棚板方式 (A)

1. 1980年度

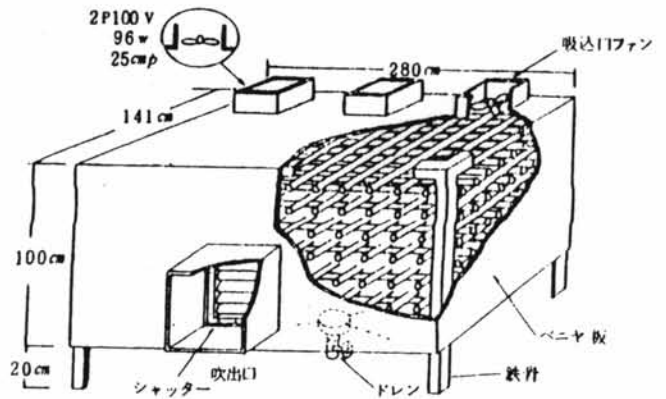
蓄熱槽は第1図に示すように、内部を発泡スチロール板で断熱したベニア板張りである。蓄熱材は中部電力総合技術研究所で調整したPEGの400番が40%と600番が60%の混合材を用いた。融点は20℃、凝固点は15.5℃、融解潜熱は約35 cal/gである。これを縦横各90 cm、厚さ2~4 cmの亜鉛鉄板製の容器に封入し、蓄熱槽1台に34枚を棚状にならべて700 kgのPEGを納めた。空気は吸入口から入り、奥で角度をかえ、吹出口側の100 V 36 Wの熱交換ファンで出される。ファンは室内中央部に置かれたサーモスタットにより昼間20℃で稼働させて集熱し、夜間の放熱は8℃で稼働させた。なお、蓄熱材の必要量は内外温度差10℃のときの値を求め、それをPEGの潜熱熱量で10時間放出してまかなうものとして決めた。

試験温室にはPEG蓄熱槽を2台設置し、補助熱源として1.2 kWの温風機を併設し、これは6℃以下で稼働させた。対照温室は3 kWの温風機を設置し、暖房効果は消費電力量で比較した。両温室は南北棟で間口4.5 m、奥行10 m、高さ2.2 m、保温比0.50の塩化ビニルフィルム一重被覆のパイプハウスで、内部は塩化ビニルの一層カーテンである。

2. 1981年度

前年度の蓄熱槽と第2図に示す蓄熱槽を設置した温室(前年度と同じ仕様)2棟と、無加温の対照温室の合計3棟で、暖房効果を主に夜温で比較した。

PEGパイプ方式蓄熱槽は薄型鋼管パイプ(外径 ϕ 31.8 mm、内径 ϕ 29.4 mm)の2.75 mと1.37 mの2種類を井桁に組合せ、メーカーへ依頼したPEG520番(前年度と同質のもの)をパイプに封入し、700 kgを収納している。装置は前年度と同じ熱交換ファンを3台とりつけた吸入口と、シャッターつき吐出口1個で、昼間20℃、夜間8℃で作動するようにした。

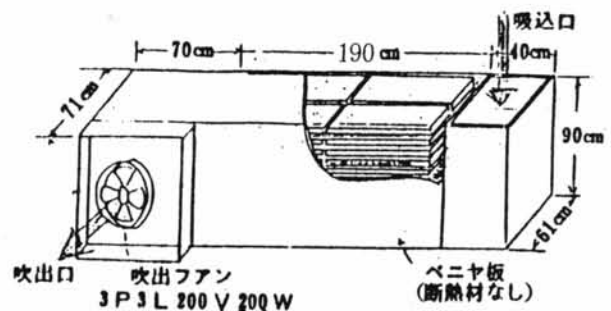


第2図 PEG・パイプ方式 (B)

3. 1982年度

吐出口を改良したPEGパイプ方式、芒硝系資材による棚板方式と対照として3 kWの温風機の3種類の熱源による温室で、トマト栽培して、消費電力量と夜温で暖房効果を検討した。供試した温室の仕様は'80年度と同じである。

芒硝系蓄熱材は松下技研製の $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 NaCl (モル比で9:9:2)の混合物で、融点23℃、融解潜熱40 cal/gである。これを幅30 cm、長さ90 cm、厚さ約2 cmのアルミラミネートポリエチレンフィルム容器に封入して、80枚・500 kgを収めた。装置は第3図に示した。風量75 m³/minの3相200 V 200 W熱交換ファンを吐出側に設置し、空気を上方から吸入する。1983年1月21日以降は通風口を一部閉鎖して、約280 kgの資材で集放熱をくり返した。なお、蓄熱材の必要量は前年度と同じ方法で求めた。



第3図 芒硝系棚板方式 (C)

PEGと芒硝系の各試験温室は昼間23℃、夜間8℃で熱交換ファンが稼働し、補助熱源として1.2 kWの温風機を併設し、6℃以下で稼働するようにした。対照温室は3 kWの温風機で暖房した。

供試作物はトマト(瑞健)を用い、は種は10月20日、定植は12月20日、収穫は3月下旬から5月下旬まで行った。栽培床は幅80 cm、長さ6 mのFRP製隔離ベッドを2本用い、株間30 cmで1条植の4段階摘芯栽培とし、施

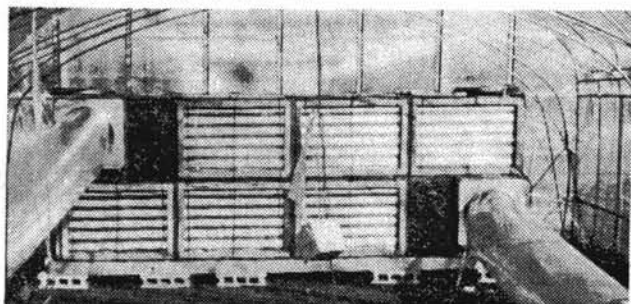
肥量は株あたりN 7 g、 P_2O_5 8 g、 K_2O 7 gとした。施設内気象の測定は主に熱電対で蓄熱槽の吸入・吐出口や内部および室温・地温を調べた。日射量や相対湿度も測定し、消費電力量や熱交換ファンの稼動時間数も調査した。

4. 1983年度

供試温室は南北棟で間口5.4 m、奥行18.05 m、高さ2.9 m、保温比0.51の塩化ビニルフィルム一重被覆パイプハウスを用いた。内部は屋根面にサンシルバーとラプシート製の二軸二層カーテンを用い、サイド部の外側はポリフィルム製の固定張りとした。北妻面はサンシルバーと塩化ビニルの、南妻面の入口は塩化ビニルの二層張りである。

試験温室は第4図に示すように蓄熱槽を上下に2台設置し、1台の蓄熱材は450 kgを収納した。その構造は蓄熱材をキルティング状のアルミラミネートのポリエチレンフィルム容器(85 cm×55 cm、厚さ1.5 cm)に7.5 kg封入し、4 cm間隔で20枚吊したものを空気の流れる方向に3個ならべ、端に3相200 V 200 W、風量65 m³/minの熱交換ファンをとりつけた。昼間の集熱開始温度は23℃で、夜間の暖房設定温度は主に8℃とした。

蓄熱材は同じ芒硝系ではあるが前年度と少し異なり、 $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ と $CO(NH_2)_2$ の混合材(モル比で2:3)で融点は17~21℃、凝固点は13~17℃、融解潜熱は40 cal/gである。



第4図 芒硝系吊り下げ方式(C')

第2表 消費電力量と最低夜温

年・月	A 温室(棚板方式)				対照温室		平均最低 外気温 ℃	平均屋外 日射量 kcal・m ⁻² ・日 ⁻¹
	温風機(補助) kwh	熱交換ファン kwh	計 kwh	平均最低夜温 ℃	温風機 kwh	平均最低夜温 ℃		
'80・12	136.4 (38)	54.4	190.8 (54)	6.6	356.9	6.9	1.9	2,070
'81・1	247.2 (46)	62.2	309.4 (58)	6.4	537.3	7.2	-0.4	2,270
'81・2	100.4 (24)	57.8	158.2 (39)	6.8	410.7	7.8	0.4	2,200
'81・3	20.4 (13)	39.8	60.2 (40)	8.5	152.1	8.8	3.5	2,720
計	504.4 (35)	214.2	718.6 (49)	-	1,457.0	-	-	-

()内は対照温室の温風機消費電力量に対する百分率

対照温度は無加温で、試験温室の熱交換ファンと同調させた小型のファンを設置した。この2棟を囲むように北側と西側に高さ3 mの防風ネットを張った。

温度測定は熱電対を用いて温室中央部、蓄熱槽吸入・吐出口、蓄熱材表面温度、外気温を調べた。相対湿度は通風型抵抗温度計で、日射量は農試電試型日射計で、地中伝熱量は熱流板で地面下1 cmの所を、蓄熱材表面の結露状況は結露センサで、熱交換ファンの消費電力量は積算電力計で測定した。

供試作物は地中伝熱の影響を少なくするために、シュンギクを全栽培床の3/4へ12月22日には種し、残りの1/4へトマト(瑞健)を1月12日に定植した。

結果

1. PEG装置の暖房効果とその改良('80・'81年度)

棚板方式蓄熱装置を用いた温室と温風機を用いた対照温室の消費電力量と最低夜温を第2表に示した。対照温度の消費電力量と比べて、蓄熱材の効果は補助温風機の電力量を差し引いた値が相当することになり、平均約65%をまかなっている。しかし装置としては熱交換ファンの電力量も含むので平均50%となり、また試験温室の平均夜温が対照温室より低いので、蓄熱材の暖房効果はさらに低くなる。

この方式を改良したパイプ方式と棚板方式および無加温の3温室の平均夜温を第3表に示した。パイプ方式は棚板方式に比べて、1・2月で早朝6時の室温は0.1~0.2℃高く、対照温室と比べて2~2.2℃高かった。しかし日射量の多くなる3月ではPEGの量が多い棚板方式のほうが高くなった。

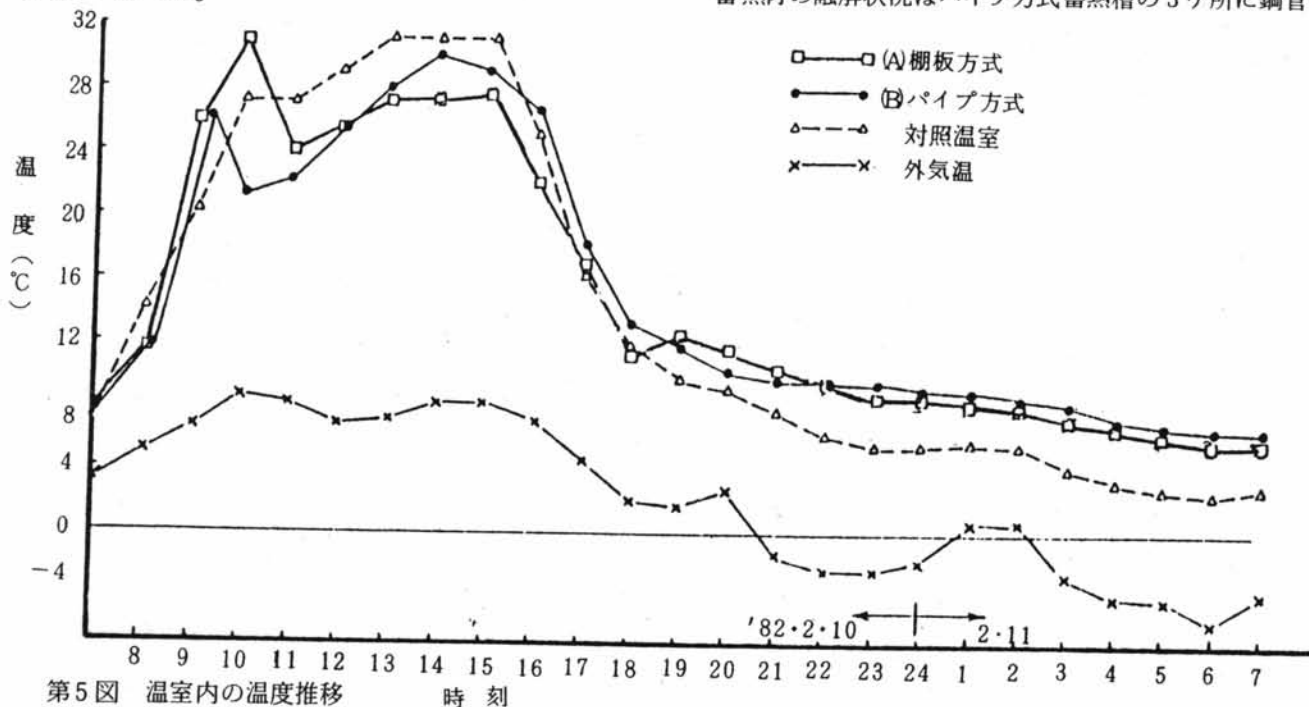
第5図は外気温が-5.9℃と極値を示した1982年2月10~11日の温度推移を示した。屋外日射量が3,438

第3表 温室別平均夜温

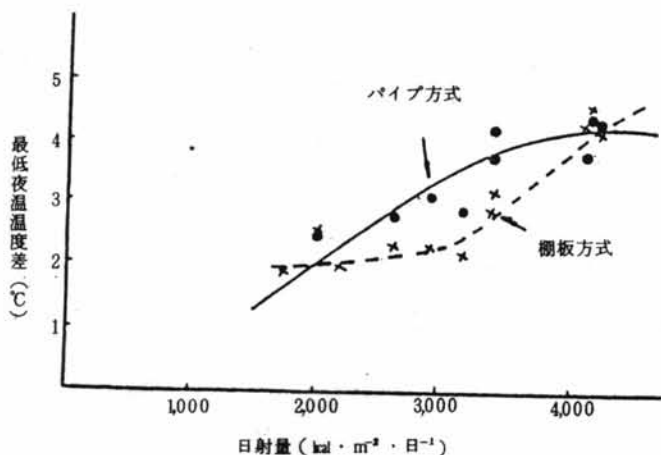
年・月	A温室(棚板方式)		B温室(パイプ方式)		対照		温度		平均		外気温		平均屋外日射量 kcal・m ⁻² ・日 ⁻¹
	0時	6時	0時	6時	0時	6時	0時	6時	0時	6時	0時	6時	
'82・1	8.6	7.0	8.6	7.2	6.7	5.2	2.3	1.7	2,042				
'82・2	9.9	8.1	9.7	8.2	7.8	6.0	2.9	2.0	2,665				
'82・3	13.4	10.9	12.8	10.4	10.6	8.2	6.1	4.2	2,884				

kcal/m²と多かったので、対照温室は昼間に一番温度が上り、さらに、温度差を試験温室と対照温室の最低夜温で、しかも外気温が0℃以下の場合の前日の屋外日射量との関係をみると第6図のようになる。パイプ方式では日射量が3500 kcal/m²程度で温度差は最大となり、この日射量は冬季の最大値に近い。棚板方式は3000 kcal/m²までは差はないが、それ以上になると温度差は大きくなる。極値時の前者の室温は6.5℃、後者は5.5℃で内外温度差は12℃前後であった。

蓄熱材の融解状況はパイプ方式蓄熱槽の3ヶ所に鋼管と



第5図 温室内の温度推移



第6図 屋外日射量と最低夜温温度差

同径の透明塩ビパイプを設置して観察をした。第4表に示すように朝9時頃から熱交換ファンが稼動して、約4時間後に上部に設置したパイプが透明となり完全に融解した。この時の中・下部は半透明で、パイプとPEGの接触部や端が一部透明となっていた。部位によって融解にかなりの差がある。またPEGが溶けていない場合はパイプ表面につく水滴の量が多く、PEGが溶けると水滴はほとんどなくなる。凝結水を時刻毎にティシュペーパーでふきとって重量を調べると、下部のパイプほど多く最大2.7g/m・hrの水がついていた。日平均で1mあたり約8gの水がつくので、パイプ全長1210mには約9.7ℓ凝結し、それを気化することになる。この凝結水は棚板方式では亜鉛板上にたまり、集めることはできなかった。パイプ方式では

当初は少量の水を下部のコックから集められたが、鋼管であるため早くから表面が錆びて後半はほとんど集水できなかった。

第4表 凝結水の日変化（'82. 1. 22, パイプ1mあたり）

時刻	上部	中部	下部
	g	g	g
9:00	0.19	0.91	2.36
10:00	1.27	1.22	0.58
11:00	0.86	1.43	1.10
12:00	0.93 Δ	1.73 Δ	1.95 Δ
13:00	0.46 \circ	1.59 Δ	2.57 Δ
14:00	0.04	0.21 \circ	2.74 Δ
15:00	-	-	-
16:00	0.08	0.23	1.26 \circ
計	3.83	7.32	12.56

Δ 半透明 \circ 透明（完全融解）

第5表 PEGの潜熱量の変化

PEG	使用年数	融解熱		凝固熱	
		使用前	使用后	使用前	使用后
メーカー（パイプ）	1	cal/g	cal/g	cal/g	cal/g
		24.6	21.9	22.2	21.9
中電（棚板）	2	21.2	23.1	20.5	22.6

PEGの経年変化は使用期間が短かったため変化は認められなかった。むしろ作成方法によって潜熱量に差がみられ、予想した35cal/gより極めて低かった。中電作成

第6表 消費電力量と平均室温

年・月	B'温室（PEGパイプ方式）				C温室（芒硝系棚板方式）				対照温室		6時平均外気温	平均屋外日射量
	温風機	熱交換ファン	計	6時平均室温	温風機	熱交換ファン	計	6時平均室温	温風機	6時平均室温		
'83・1	kwh	kwh	kwh	℃	kwh	kwh	kwh	℃	kwh	℃	℃	kcal・m ⁻² ・日 ⁻¹
	57.4	30.1	87.5	6.8	55.2	74.0	129.2	6.1	221.0	7.2	1.7	2120
'83・2	10.7	36.4	47.1	6.6	18.6	86.3	104.9	6.6	135.9	6.4	0.9	2850
計	68.1 (19)	66.5	134.6 (38)		73.8 (21)	160.3	234.1 (66)		356.9 (100)			

()内は対照温室の温風機消費電力量に対する百分率

第7表 生育調査

温室	'82・12・22		'83・2・4		'83・3・9		果房間茎長			
	草丈	展開葉数	草丈	展開葉数	草丈	展開葉数	双葉 ~第1	第1 ~第2	第2 ~第3	第3 ~第4
B' (PEGパイプ方式)	cm	7.1	cm	17.1	cm	25.1	cm	cm	cm	cm
	27		86		144		40	22	28	28
C (芒硝系棚板方式)	28	7.3	76	16.6	139	24.5	41	20	26	29
対 照	27	6.8	77	16.5	121	24.0	39	19	22	23

のPEGは使用後の値が高いが、資材の混合むらが大きかったためサンプリングによる差が生じたものと思われる(第5表)。

2. トマト栽培におけるPEGと芒硝系資材の暖房効果（'82年度）

PEGで比較的暖房効果のあるパイプ方式で吐出口を改良した方式と、新資材である芒硝系を用いた従来の棚板方式で、消費電力量により対照温室の温風機と比較した(第6表)。対照温室の消費電力量と比べて、PEGパイプ方式の補助熱源は19%、芒硝系棚板方式は21%でまかなえた。しかし熱交換ファンの電力量も加えると前者は38%、後者は66%となり、芒硝系は多量の風で熱交換をしていたことになる。この暖房効果は1月の朝6時の平均室温で比べると、PEGは0.4℃、芒硝系は1.1℃低いので、上記の値よりもさらに劣る。

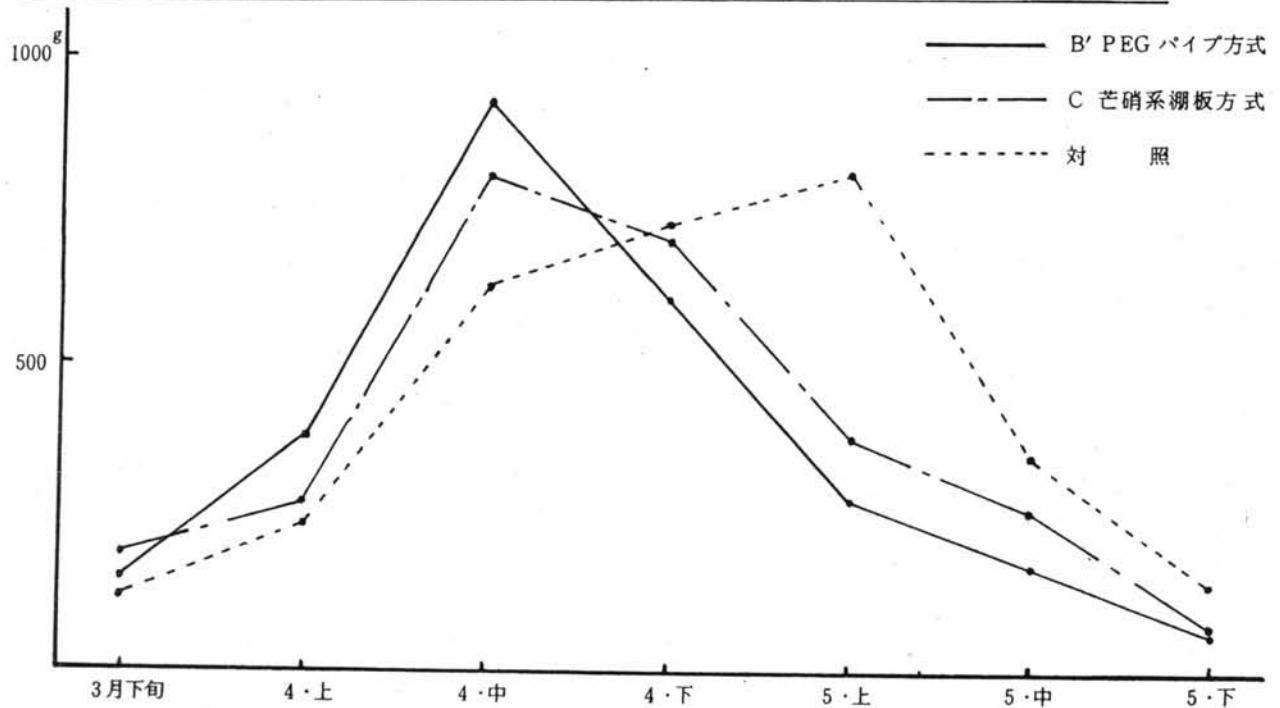
このような状況のもとでトマトの生育・収量には各温室で差がみられた。第7表に示すように定植時には苗の大きさに差はなかったが、約45日後にはPEG温室の草丈は大きく暖房の効果がみられた。やや室温の低かった芒硝系温室では草丈が小さかった。しかしその後の生育は芒硝系も大きくなり、対照温室が一番劣った。これは日射量が増加する2月後半から室内がさらに乾燥したために生育が抑制されたものと思われる。

全収量は対照温室よりわずかに劣るが、両試験温室では

早期収量が多く、果実も大きかった。尻腐果が対照温室で（第8表、第7図）少し目立ったのは相対湿度の低かったことが考えられる。

第8表 等級別収量（1株あたり）

温 室	上 物		下 物		計	
	果数	果 重	果数	果重 (尻腐果重)	果数	果 重
B' (PEGパイプ方式)	14.9	2,552 ^g	2.2	367 ^g (37) ^g	17.1	2,919 ^g
C (芒硝系棚板方式)	15.1	2,676	1.7	310 (10)	16.8	2,986
対 照	15.1	2,952	2.1	328 (66)	17.2	3,280



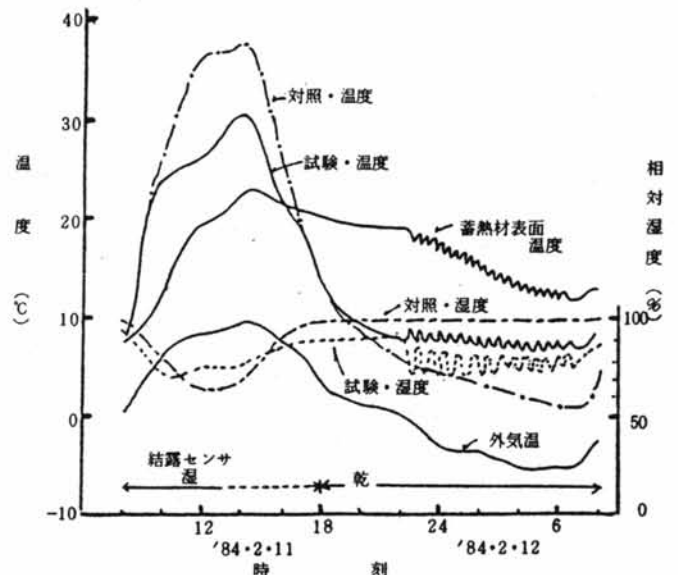
第7図 時期別収量（一株あたり上物）

3. 芒硝系資材による暖房効果（'83年度）

外気温が-5.5℃とこの冬の極値を示した1984年2月11日から12日にかけての温湿度の経時変化を第8図に示した。対照温室の最高温度は37℃で試験温室は31℃である。蓄熱材の表面温度は中央部で最高22℃に達し、蓄熱材はほぼ融解している。極値時の夜温は対照温室で1℃、試験温室は6.9℃であった。この最低室温となるまでの22時30分から6時15分までに22回の熱交換ファンのon-offがみられ、室温を約8℃に保っていた。この鋸歯状の温度変化は蓄熱量が多い時のパターンである。放熱開始温度が8℃設定の場合、平均すると7.4±0.8℃の範囲であった。

相対湿度は対照温室では昼間に低く、夜間は100%近くになるが、試験温室は対照温室ほど大きな変化はなく、夜間は室温と同調して85%前後で、鋸歯状に推移する。蓄熱材の表面は8時頃から結露しはじめ、午後には除々に乾

き、夜はほとんどの日で乾いていた。これらの温湿度変化は調査期間での一般的な傾向であった。



第8図 温湿度の経時変化

第9表 最低夜温の温度別日数（'83年度）

月・旬	試験温室			対照温室		
	6℃以上	6℃未満 4℃以上	4℃未満	6℃以上	6℃未満 4℃以上	4℃未満
1・上	10(1)	0	0	2	2	6
1・中	7(1)	2	1	1	5	4
1・下	10(1)	1	0	0	8	3
2・上	4(0)	3	3	0	3	7
2・中	9(2)	1	0	2	5	3
2・下	7(2)	0	1	-	-	-
計	47(7)	7	5	5	23	23

() 内は熱交換ファンが稼動しなかった日数

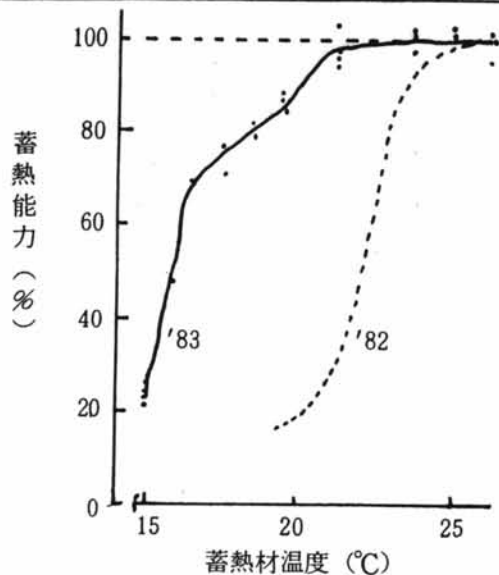
10℃設定日 1月上・中旬各5日 1月下旬2日

一層カーテン時2月下旬

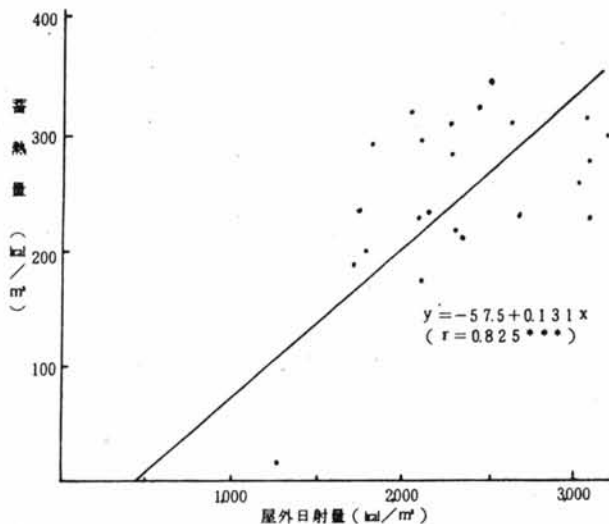
暖房効果を最低夜温でみると第9表に示す結果となった。1・2月の59調査日のうち6℃を維持できた日は試験温室が80%、対照温室が10%である。試験温室では6℃以下の日が12日もあった。その原因は1月の場合では放熱ぎれが3回、昼間の集熱なしの日が1回である。2月の場合は放熱ぎれが5回、集熱の極めて少ない日が3回あった。このうち4℃を下回る日は5回あり、最低室温の2℃の日は連日集熱が少なく外気温は0℃以下であり、対照温室の2.5℃よりも低い唯一の場合であった。

暖房がまかなえた場合とそうでない場合を第10表に示した。集放熱量の求め方は蓄熱材の表面温度で最大40cal/gの潜熱蓄熱能力を推定し（第9図）、顕熱分も加味して表した。暖房のまかなえた1月の5日間は集熱量が放熱量をほぼ上回り、熱交換ファンのon-offがみられる。2月の5日間は外気温が連日低かったため、集熱量を出しきってしまうと蓄熱材表面温度も室温近くに下がり放熱は限界となる。これを単位面積あたりく熱収支で比べるとさらに明確となる（第11表）。

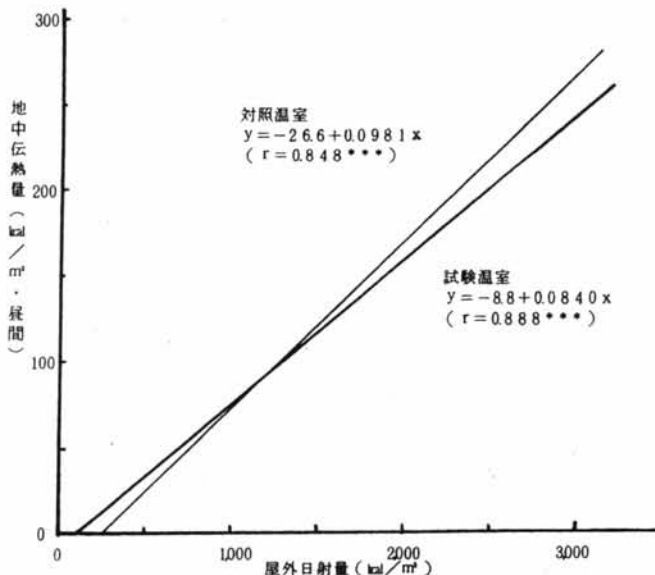
地中伝熱量は熱流板を裸地とシュンギクの栽培床の2ヶ所に設置したので面積割合で配分して表した。また昼間のそれは下向きの値を示す8時頃から16時頃までの約8時間を、夜間は16時頃から上向きの約16時間を合計して表した。地中からの放熱は日によって蓄熱槽からの放熱よりも多いことがある。



第9図 融解時の資材特性



第10図 屋外日射量と蓄熱量（'84年1月）



第11図 屋外日射量と昼間の地中伝熱量（'84年1月）

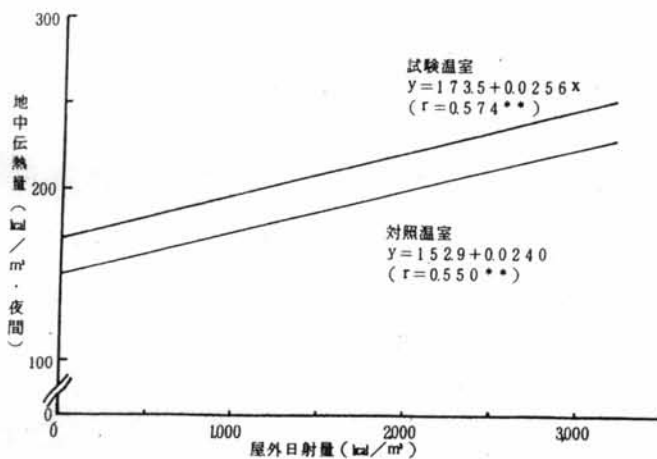
第10表 集放熱量と最高・最低温度

年・月・日	試 験 温 室			対 照 温 室		外 気 温 最低温度	蓄熱材表面**			
	集 熱 量	放 熱 量	放熱/集熱	最高温度	最低温度		最高温度	最低温度		
'84・1・26	29,391	27,441	0.93	24.0	6.7*	26.5	4.2	-0.8	16.2	7.3
27	30,018	24,843	0.83	25.5	6.5*	28.0	4.3	-0.5	17.2	12.3
28	27,195	23,790	0.87	25.5	6.5*	27.5	3.8	-1.7	18.0	12.3
29	25,410	29,040	1.14	27.0	6.6*	30.0	3.5	-3.0	18.7	11.8
30	30,408	750	0.02	27.5	7.4	32.0	5.5	0.3	19.2	13.5
平 均	28,484	21,173	0.76	25.9	6.7	29.0	4.3	-1.1	17.9	11.4
'84・2・6	18,240	35,205	1.93	25.5	4.8	30.0	2.5	-4.0	18.7	5.0
7	27,210	27,660	1.01	25.0	4.0	29.0	3.0	-2.5	16.3	4.0
8	23,325	23,775	1.02	25.0	3.0	25.5	2.0	-2.5	15.8	3.0
9	8,100	7,575	0.94	24.0	4.2	25.0	3.0	-2.0	14.5	4.2
10	27,585	26,160	0.95	24.5	6.6	29.0	3.5	-1.5	16.3	7.3
平 均	20,892	24,075	1.17	24.8	4.5	27.7	2.8	-2.5	16.3	4.7

日付は当日8:00より翌朝8:00までとした。 * on-off時の最低値 ** 3点の平均値

第11表 ハウスの熱収支 (kcal m² day⁻¹)

月・日	昼 間			夜 間			
	屋外日射量	地中伝熱量	蓄 熱 量	消費電力量	地中伝熱量	放 熱 量	消費電力量
'84・1・26	3,186	220	301	19	-246	-281	6
27	2,800	200	308	21	-252	-255	7
28	3,086	207	279	19	-262	-244	7
29	3,024	224	261	22	-271	-298	8
30	2,276	179	312	18	-232	-8	0
平 均	2,874	206	292	20	-253	-217	6
'84・2・6	2,862	215	290	18	-226	-361	29
7	2,849	210	279	10	-215	-284	32
8	2,351	195	239	7	-219	-244	35
9	1,740	153	83	2	-192	-78	33
10	2,912	235	283	11	-174	-268	19
平 均	2,543	202	235	10	-206	-247	30



第12図 屋外日射量と夜間の地中伝熱量('84年1月)

1月の屋外日射量と蓄熱量および地中伝熱量との関係を第10～12図に示した。屋外日射量の平均値は2200 kcal/m²で、蓄熱量の平均値は230 kcal/m²で日射量の約10%の利用率である。試験温室の平均地中伝熱量は昼間が189 kcal/m²、夜間は206 kcal/m²である。昼間の地中伝熱量は対照温室が、夜間は試験温室が多かった。試験温室の地中および蓄熱槽に貯められる熱量(Y)と屋外日射量(X)との関係式は $Y = -66.3 + 0.215X$ であった。熱交換ファンの消費電力量は外気温の下がった2月上旬をピークとして月平均約100kWhであった(第12表)。

第1-2表 消費電力量（'83年度）

月・旬	集熱	放熱	計
	kW	kW	kW
1・上	21.9	13.8	35.7
1・中	13.9	22.9	36.8
1・下	17.4	14.9	32.3
2・上	11.0	32.0	43.0
2・中	18.4	9.8	28.2
2・下	14.7	9.2	23.9
計	97.3	102.6	199.9

考 察

PEGを用いた蓄熱装置は2方式を試験したが、最初の棚板方式は熱交換時の空気の流れが複雑で、一部分しか通過せず集熱方法に問題が残った。一方、蓄熱材を半量としたパイプ方式では空気の流れはよくなり、熱交換も比較的良好であったが、温室内での装置の占有面積は棚板方式と同じであり、小型化という点で問題がある。さらに集熱効率が一番よいと思われた吹出口を改良したパイプ方式でも一層カーテンで、室温6℃を保てた日数は調査した56日のうち27日程度であった。屋外日射量の少ない、厳寒期の12～2月は蓄熱材を暖房必要量だけ温室へ投入しても熱交換によって全量が融解するとは限らない。外気温が上り、日射量が増加する3月になると集放熱量も増加する。このように内部集熱方式での蓄熱槽への集熱は屋外日射量の多少にかかっている。そのために蓄熱装置の構造は熱交換効率の向上をはかるのが重要で、温室内に置かれる装置なので断熱仕様はあまり必要でない。集熱効率のよい装置がまず基本であり、それによって蓄熱材の特性が生かされる。

蓄熱材を封入した容器は、高倉⁷⁾が指摘するような伝熱特性を考え、さらに凝結水を集めれるように計画した。亜鉛板容器の場合、最初は立てて並べて凝結水を集めようとした。しかし融解時に蓄熱材が下へ貯り、変形するために棚状に並べた結果、板の中央部に凝結水の貯った跡が多くみられた。そこでパイプ方式としたが表面の錆のため集水はほとんどできなかった。日射量が多くなると蓄熱材の膨張や封入方法の不備で資材がよく漏出した。資材を入れる容器は熱交換が容易で丈夫であり、凝結水を集めやすい保守法をとる必要がある。

PEGの融解潜熱は公称35cal/gであるが、精密な能力測定の結果21～24cal/gであった。しかも二種類のPEGを混合したため放熱時にピークが二つ表われ、必

ずしも均質なものでなかった。使用期間は短かかったが急激な劣化は認められなかった(与語ら¹⁰⁾)。

これらのPEGでの試験から、蓄熱装置の構造、熱交換ファンの大型化、蓄熱材の封入容器や保持方法などの改善を行い、芒硝系蓄熱材を用いて実用性を検討した。この芒硝系蓄熱材は竹田ら⁸⁾によると、一年目に使用した資材は1000サイクルの融解・凝固によっても潜熱能力の低下率は10%以内であり安定している。なお1000サイクルの使用とは冬期3ヶ月余りを1日1サイクルとして稼働させると約10年に相当する。2年目の資材は現在も実施中であるが、500サイクルではほとんど変化していない。このように安定的な資材は価格がkgあたり数十円と安く、低融点で融解潜熱量も多い。

潜熱蓄熱材を用いた暖房試験はトマトを栽培するための可能性を検討してきたが、この芒硝系吊り下げ方式での施設内気象は生育条件として好ましいものであった。ハウス内の最高温度は2月下旬になるまで全く換気をせずにはほぼ30℃以下であり、蓄熱槽への集熱は順調であった。夜温が6℃以下となった場合は生育段階に応じて、また4℃以下の場合は補助暖房が必要であり、大原ら⁵⁾も内部集熱方式での補助暖房は不可欠であるとしている。

相対湿度の日変化は無加温室と比べると芒硝系温室が少なく、昼間はやや高く夜間は低くなる。凝結水は2月下旬にかけて徐々に多くなり、集水量は最大10ℓ/日にもなる。これは蓄熱材全表面に約0.3mm結露したことになり、蒸発させるには約55kcal/m²の熱量が必要となる。この装置は凝結水をすみやかに排除する工夫が足りなかったので、槽内ではこれがくり返されていたものと考えられる。この点を改善すれば適当な湿度条件のもとで、光合成速度を下げることなくトマトの蒸散を促すことができる(高橋⁶⁾)。夜間は比較的低湿となるので、多湿条件下で発生する病害を抑えやすく(石井¹⁾)、農薬の使用は少なくすむかもしれない。また田中ら⁹⁾はトマトの期間変温管理を提唱し、果実肥大期は低温管理でも収量・品質への影響が少ないことから、省エネルギー作型を例示している。つまり厳寒期までに着果や果実形成を終えさせればよいわけで、8℃設定・6℃維持の本装置での結果は作型を選べばさらに生かされる。

熱収支からみたこの方式の集熱効率は暖房のまかなえた場合が約0.1、そうでない場合は約0.09であった。地中伝熱量を加えた場合の総合集熱効率は前者が0.18、後者が0.17である。夜温の保持は蓄熱装置のほかはこの地中

伝熱による放熱が大きく、平均約 230 kcal/m^2 である。先にも述べたが内部集熱方式での暖房当然太陽エネルギーに依存しているので、蓄熱装置への集熱量や地中伝熱量の増大を求めても限度がある。そこでこの方式での暖房は保温性を高めておくと同時に、既設の石油温風機を補助暖房として用い、蓄熱材の温度を測定して潜熱蓄熱装置と補助暖房の切り換えをはかればよい。変温管理の場合でも蓄熱材温度を目安としたシステム化をはかれば蓄熱装置をより効率的に利用できる。

熱交換ファンの消費電力量は月平均 100 kW なので、たとえば12～2月は 100 kW 、11・3月が 50 kW を使用した場合の電力料金は基本料金と電力量料金と電気税を加えて 97.5 m^2 のハウスで約2万円弱となる。これを単純に10倍して10 aあたりに換算するとしても地中熱交換方式の電気代³⁾よりも安い。

以上のことから、潜熱蓄熱装置がシステムとしてさらに改善されて普及をみる場合には、設備費が地中熱交換システムと同額かそれ以下であれば、設置の簡便さや湿度環境などの点から有利に展開されるものと思われる。

摘 要

1980年12月から1983年3月まで、当センターのビニル温室内に潜熱蓄熱材を収納した空気集熱式蓄熱槽を設置して、太陽熱利用の温室暖房の可能性を検討した。

1. 潜熱蓄熱材としてポリエチレングリコールと芒硝系資材を用いたが、潜熱蓄熱能力が大きくかつ安定的な、価格の安い芒硝系資材がすぐれていた。

2. 蓄熱装置は棚板方式、パイプ方式および吊り下げ方式を試みたが、集熱効率が高く、小型で施工の簡便な吊り下げ方式蓄熱装置が一番よかった。

3. 芒硝系蓄熱材の吊り下げ方式蓄熱装置は実用性が高く、集熱効率は約0.1で、厳寒期の室温 6°C 維持日数は調査期間中の80%であった。この温度は期間変温管理下のトマト栽培では収量・品質に問題はない。しかし調査期間中の10%にあたる 4°C の日については補助暖房が不可欠となる。

4. 相対湿度の日変化は無加温室に比べて少なく、夜間の湿度は低かった。また蓄熱材容器に付着する凝結水は午前中に多く、集水方法の改良を行えば過湿対策として有効である。

5. 以上のことから、芒硝系・吊り下げ方式潜熱蓄熱システムは既設の温風機などの補助暖房と組合せれば、同じ

内部集熱型の地中熱交換システムと同等か、それ以上の効果が得られる。

本研究の遂行にあたり、中部電力総技研・松下技研ならびに園芸部の関係各位には多大の御協力と御指導をいただいた。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 石井正義 (1984) : 施設園芸要覧, '84, 77~82。
- 2) 小坂岑雄 (1980) : 名工試報, 29, 53~57。
- 3) 内藤文男 (1984) : 施設園芸要覧, '84, 30~56。
- 4) 仁科弘重・高倉直 (1983) : 農業気象, 39, 201~211。
- 5) 大原源二・内藤文男 (1981) : 農および園, 56, 741~746。
- 6) 高橋和彦 (1984) : 施設園芸要覧, '84, 70~76。
- 7) 高倉直 (1981) : 施設園芸, 23 (4), 28~31。
- 8) 竹田武司・工藤康夫・町田育彦 (1984) : エネルギー・資源, 5, 484~489。
- 9) 田中和夫・安井秀夫 (1984) : 農および園, 59, 1427~1431。
- 10) 与語正己・古郡年昭 (1982) : 中電総技研研報 No.98。