

潜熱蓄熱方式による施設暖房の

実用化に関する研究 (第3報)

経済規模温室を用いた暖房試験

佐々木 皓二・高橋 基

Kohji SASAKI, Motoi TAKAHASHI

Studies on the heating of greenhouse by the latent energy storage materials. III.

Heating properties situations using commercial greenhouses.

I 緒 言

前報(8, 9)までの試験で、内部集熱に適する低融点の蓄熱材の選定や熱交換効率の優れる蓄熱装置の確定、又これら装置を用いた場合の暖房性能、室内気象特性及びトマトの生育に対する影響について検討を行ってきた。その結果、硫酸ナトリウム10水塩と尿素の混合物を基材とする蓄熱材を平板状容器に封入し、これを一定間隔でつり下げ、一端にファンを取り付けた装置を蓄熱装置として供試したところ、内部の蓄熱材は均一な融解・凝固を繰返してほぼ目標とする蓄熱・放熱量を得、又促成トマトに対して70～100%の節油率を認め、実用化への可能性を見いだすことができた。

本試験はこれらの結果をもとに、更に実用化を推し進めるため蓄熱装置を県内の生産農家の経済規模温室に導入して現地実証を行い、普及利用に当たって必要な基礎資料を得ようとしたもので、ここにその成績について報告する。

本試験を行うに当り平塚農業改良普及所及び園主鎌島

信昭氏の多大な協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。

II 材料及び方法

1. 試験実施場所

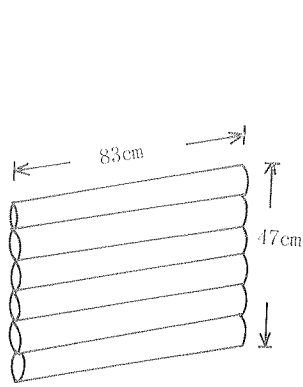
平塚市土屋 鎌島信昭氏は場

2. 供試温室

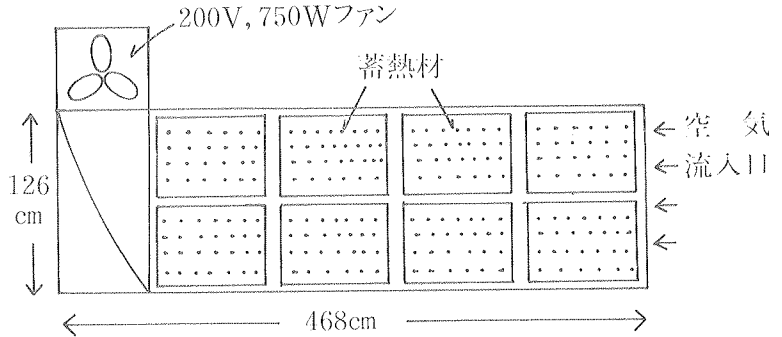
本試験に供試した温室は床面積1,033 m^2 (間口 8.2m \times 3連棟 奥行42.0m)、保温比0.70のガラス温室で、保温カーテンは天井にはウレタン樹脂の両側をポリエチレンフィルムで被覆した資材(商品名ローデンマット)を、側壁部にはポリエチレンフィルム(一層)を用いた。試験には同型同面積、同一保温カーテンの2棟の温室を使用し、1棟は潜熱蓄熱装置を設置した蓄熱温室、もう1棟は温風暖房機だけを備えた対照温室とした。また蓄熱温室にも対照温室と同型の温風暖房機(熱出力87,000 kcal/h、熱効率0.86)を備え補助暖房とした。

3. 供試蓄熱材、蓄熱装置の構造及び運転方法

供試蓄熱材(農畜産技研KK製)は前報(9)で用いた



第1図 蓄熱材の形状



〔正面図〕

第2図 蓄熱装置の構造

ものと全く同一で、硫酸ナトリウム10水塩と尿素の混合物を基材とし、これに過冷却防止剤や増粘剤が添加されている。蓄熱材の融点は16°Cと21°C、又凝固点は18°Cと13°Cである。蓄熱材はアルミラミネートポリフィルムに封入されており、その形状は第1図のとおりで、1個の重量は7.8 kgである。

蓄熱装置の構造は第2図に示したとおりで、第1図の蓄熱材容器を3.5 cm間隔で20個つり下げたものを1ユニットとし、このユニットを上下2段に積み重ね、更に空気の流れ方向に四つ並べて、その一端に有圧ファン(200 V, 750W)を1台取り付け、反対側を空気吸入口とした。装置の外側は厚手のビニルシートで覆った。蓄熱材重量は蓄熱装置1基当たり1,250 kgであり、この蓄熱装置を温室北側に4基設置した。蓄熱材総重量は5,000 kgとなる。蓄熱材の蓄熱可能量は、潜熱40kcal/kg、顕熱5 kcal/kgで4基合計では225,000kcalである。蓄熱材量の決定に当っては既往(6, 8)の成績をもとに一夜の暖房負荷を30~35万kcalと推定し、その必要熱量のうち70%は蓄熱装置で供給し、残り30%は補助暖房で補うこととした。なお、蓄熱装置4基が温室面積に占める割合は約3% (31㎡)である。

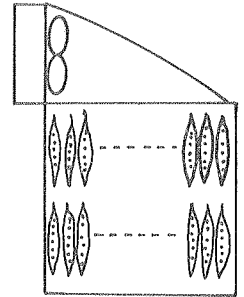
日中の蓄熱開始温度は18°Cとし、2月以降は日中蓄熱した熱を夕方放出させないよう14時30分から17時まではファンの運転は停止させた。暖房設定温度は10~11°C (18~5時)、11~10°C (5~8時)とし、補助暖房の設定値は8~9°Cとした。なお、補助暖房が稼動した場合、蓄熱装置には暖房能力がないとみなして、その夜はそれ以降蓄熱装置が作動しないよう制御した。

日中の天窓換気は1月上旬まで灰色かび病の発生をみたため湿度低下を目的に22°Cとしたが、それ以降は24~

25°Cで管理した。

4. 供試作物

供試作物は両温室ともトマトであるが、品種は蓄熱温室は「瑞秀」、対照温室は「千葉ファースト」を用い、9月15日には種し、11月25~27日に定植した。蓄熱温室と対照温室で品種が異なったのは園主の希望によるものである。



〔側面図〕

5. 調査項目、測定方法

温度測定は、蓄熱温室については屋外気温、室内中央、蓄熱装置入口、出口の乾球、湿球及び蓄熱材5点について行った。対照温室は室内中央部の乾球、湿球温度を測定した。これらの温度測定にはC-C熱電対を用いた。地中伝熱量は熱流板を地表面下0.5 cmのところに埋めこんで測定した。蓄熱量、放熱量は各日ごとに蓄熱材の最高最低温度から算出した。温風暖房機の重油消費量はアワメータ及び油量計により調査した。なお、蓄熱装置入口、出口及び蓄熱材温度は蓄熱装置1基だけを代表して測定し、他も同一な温度変化しているものとみなした。

III 成 績

1. 蓄熱装置の循環風重

アナモマスターにより吹出口の風速を計測して循環風

量を求めたところ蓄熱装置1基当たり $117\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ となり、蓄熱装置間にほとんど差は認められなかった。

2. 暖房性能

第1表に蓄熱温室及び対照温室内外の最高・最低気温及び重油消費量について示した。本年は屋外の最低気温は比較的高く経過し、試験期間中の最低極温は -5.1°C (1月25日)で、 0°C 以上の日が多く出現した。日中の蓄熱量は室温に左右されるが、蓄熱温室の最高室温をみると1月中旬(1月19日)までは灰色かび病の発生で換気量をやや多くしたため $20\sim 21^\circ\text{C}$ までの昇温にとどまっている。1月中旬以降は午前中天窓を密閉するようにしたので室温は $24\sim 26^\circ\text{C}$ まで上昇し、蓄熱量の増大をはかることができた。一方、対照温室の日中の温度管理は園

主の慣行法によってなされたが、最高室温は 22°C 前後でやや低温な管理法であった。夜間における蓄熱温室の最低室温は $8\sim 10^\circ\text{C}$ に保持されているが、蓄熱装置だけで設定温度を保たれた日は極くわずかで、後夜半には多くの日で補助暖房が稼動した。蓄熱温室の補助暖房稼動による重油消費量は、 $0\sim 71\text{l}$ と日により大きな差が生じ、特に1月19日までの消費量が多い傾向を示した。2月28日から3月4日までの総計では 551l であった。これに対し、対照温室の重油消費量は $30\sim 60\text{l}$ の日が多く、3月4日までは $1,635\text{l}$ となった。両温室の重油消費量から比較した節油率は個々の日では $30\sim 100\%$ となり、日中の管理温度が低く蓄熱量が不足した1月19日までは蓄熱温室の消費量 296.1l に対し対照温室は 548l

第1表 最低外気温、最高・最低室温、重油消費量

月 日	最低 外気温	蓄 熱 温 室		対 照 温 室		重 油 消 費 量		節 油 率
		最 高	最 低	最 高	最 低	蓄 熱 [Ⓐ]	対 照 [Ⓑ]	
	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	l	l	$\%$
12. 28	-1.9	20.9	7.8	19.9	7.9	10.6	27.7	62
29	-4.3	20.0	7.9	18.3	7.7	36.7	54.3	32
1. 1	-3.4	20.2	7.7	19.1	6.8	27.0	41.5	35
3	-1.2	14.7	9.1	14.3	8.0	71.4	69.2	—
8	0.4	20.3	7.4	20.3	8.5	15.4	36.2	57
9	-0.1	20.5	7.3	20.9	8.9	15.4	40.4	62
10	-2.0	21.4	8.2	22.3	8.7	24.1	43.6	45
12	0.0	20.1	8.1	22.3	8.9	17.4	38.3	55
15	1.0	21.5	7.7	21.3	10.0	15.4	54.3	72
18	-2.8	18.5	9.3	20.5	9.6	35.7	55.3	35
19	-2.1	21.9	9.3	20.4	10.0	27.0	56.4	52
12. 28—1. 19						296.1	548.0	46
22	-0.3	23.3	7.9	22.3	11.0	10.6	57.5	82
23	0.6	22.9	8.4	21.8	11.2	1.9	46.8	96
24	-1.1	15.4	8.0	15.7	9.9	22.2	53.2	58
25	-5.1	23.0	8.4	21.2	10.0	40.5	76.6	47
28	-0.9	24.1	7.9	22.9	10.5	6.8	43.6	84
29	-3.4	17.0	7.6	17.7	10.5	56.0	87.3	36
2. 1	2.4	25.3	7.9	21.8	10.1	7.4	30.1	75
2	0.7	25.2	9.6	22.6	10.1	4.1	16.5	75
3	-0.4	24.9	6.9	22.8	10.1	15.3	38.4	60
4	4.0	26.1	10.7	24.9	9.5	0.4	11.4	96
7	4.2	26.1	11.9	23.9	11.0	0.0	0.0	—
8	5.0	16.9	9.3	16.2	9.4	0.0	7.4	100
1. 22—2. 8						194.1	544.7	64
12. 28—3. 4						550.9	1,635.4	66

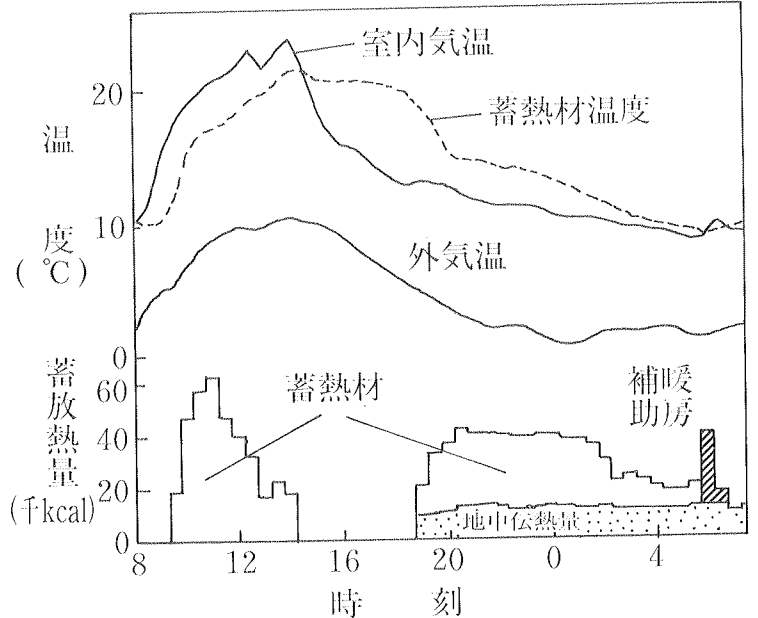
で節油率は46%の低い値にとどまったが、それ以降日中の温度管理を改善してからは節油率は64%に向上した。3月4日までの総計では66%となり、ほぼ設計節油率（70%）に近い値になった。

第3図は晴天日、又第4図は曇天日における蓄熱温室内外の気温、蓄熱材温度(装置中央部)、蓄熱量、放熱量、地中伝熱量及び補助暖房機からの放熱量の各経時変化を示した例である。晴天日においては、日中の最高室温は23℃まで上昇し、蓄熱材温度は20℃を越え総蓄熱量では設計容量のほぼ100%に達している。従って夜間は蓄熱装置からの放熱によって暖房設定温度（10～11℃）が保持され、補助暖房が稼動したのは朝方の極く短時間であった。これに対し、曇天日では室温は蓄熱開始温度の18℃まで達せず日中の蓄熱が全くなかったため、夜間蓄熱装置からの放熱はほとんど得られず、温度保持は大部分補助暖房機によってなされた。又、この両図から夜間の暖房必要熱量に対し、地中伝熱量の占める割合がかなり高いことが示され、第3図の場合では全体の39%となっている。

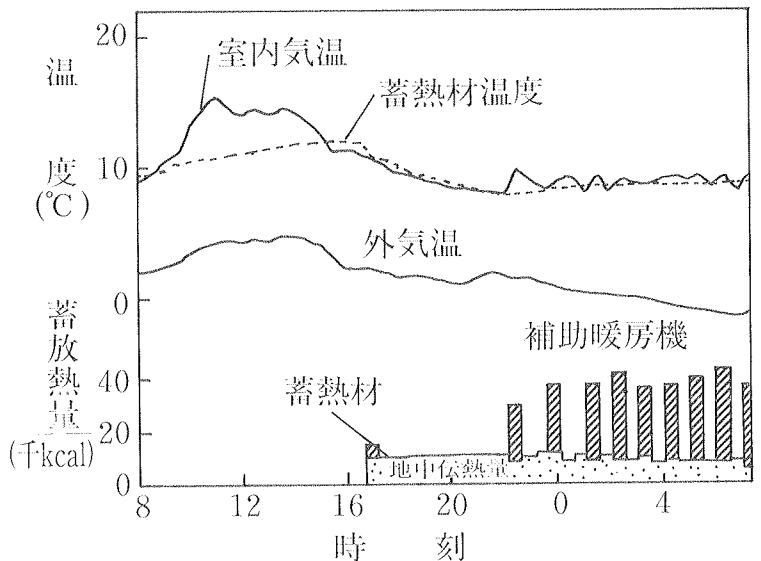
3. 蓄熱装置の性能特性

蓄熱材の上昇及び下降温度差から求めた蓄熱装置の蓄熱量、放熱量を装置内の位置別及び合計を第2表に示した。設計蓄熱容量（225,000kcal）に対して得られた蓄熱量は日中の管理温度がやや低かった1月19日までは80%以下にとどまったが、温度管理改善後は増大して最大100%に達するようになり、本蓄熱装置の熱交換効率の高いことが示された。又、放熱量をみると前日得た蓄熱量とほぼ同一の値になっており、日中得た熱はその日の夜間にほとんど放出していることを示し、蓄熱装置の

蓄熱・放熱システムは基本的には1日サイクルであると言える。しかし、2月8日のように、その日の蓄熱がない場合でも、それ以前の蓄熱があれば十分利用可能であった。蓄熱装置内の位置別蓄熱量は空気流入側2列と



第3図 晴天日における各経時変化（1月23日）



第4図 曇天日における各経時変化（1月24日）

流出口側 2 列との間にやや差が生じ、1 月 10 日の例では流入口側 2 列の平均値 49.0 千 kcal に対し、流出口側 2 列は 41.6 千 kcal で約 15%、又 1 月 23 日では 57.6 千 kcal に対し 56.1 千 kcal となって約 3% の差を認めた。28 日間の平均では約 10% の差となって現われた。放熱量についてもほぼ同様な傾向にあった。

第 5 図は蓄熱、放熱量を入口-出口の空気温度変化に伴う熱（顕熱）と空気中水分の蓄熱材容器表面への凝結、蒸発に伴う熱（潜熱）とに分けて時間帯別に示した例である。蓄熱時では得られた全熱量に対し潜熱伝達量が 47% を占め、水の凝結に伴う熱量の大きいことが分り、又放熱時においても 30% の値を占めた。放熱時の潜熱伝達量が蓄熱時よりもやや低かったのは凝結水の多くを蓄熱装置外へ排出したためである。排出量については正確に計測できなかった。又、この図は全蓄熱量に対し午前中の蓄熱割合が極めて高いことを示しており、この例では 76% に達している。

4. 室内の相対湿度変化

第 6 図に晴天日における蓄熱温室と対照温室の相対湿度変化を示した。両温室とも日中は 80~90% の範囲にあり、夜間は 95% 前後で推移した。両温室間の湿度差は小さく、蓄熱温室が特に多湿状態にあるとは言えなかった。

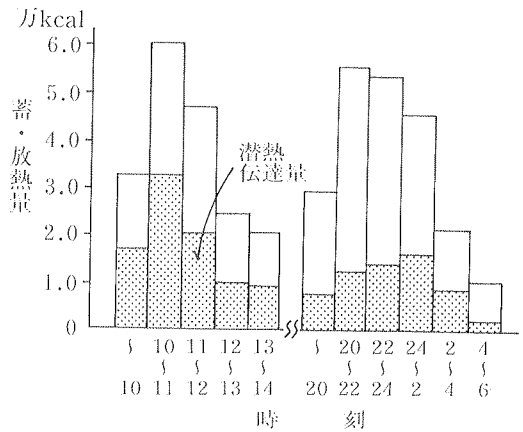
5. トマトの生育

試験開始時の 12 月下旬にはトマトは両温室とも 4~5 段果房が開花していた。試験開始後、蓄熱温室は夜間温

室北側の気温が高く、南側の気温が低い温度勾配が認められ、南側のトマトの生育が劣る傾向にあった。このため、蓄熱装置のダクトを南妻側まで伸ばし、又、補助暖房機のダクトも北側へ向かう風量を抑える措置をとった。収穫は 2 月中旬から始まったが、両温室ともほとんど差はなく、果実肥大も差はないと観察された。又、温室別の収量調査は行わなかったが、両者に大きな差はないと言う園主の判断であった。灰色かび病の発生は両温室とも認められ、蓄熱温室でやや多発する傾向にあった。

6. 蓄熱装置の設置費用

本蓄熱装置を設置するに当たって要した費用を第 3 表に



第 5 図 時間帯別蓄放熱量・潜熱伝達量(1 月 23 日)

第 2 表 蓄熱槽位置別及び合計蓄・放熱量

月 日	蓄 熱 量				放 熱 量				蓄熱量 合計	同左設 計値比 %	放熱量 合計
	入 口 ①	→ ②	出 口 ③	④	入 口 ①	→ ②	出 口 ③	④			
	× 10 ⁴ kcal				× 10 ⁴ kcal				10 ⁴ kcal		10 ⁴ kcal
12. 28	4.3	4.3	3.7	3.8	4.3	4.3	3.8	3.9	16.2	72	16.3
1. 1	3.6	3.8	3.1	3.3	3.9	3.8	3.1	3.3	13.8	61	13.6
8	3.9	3.9	3.4	3.4	3.8	3.9	3.0	3.1	14.7	65	13.8
10	5.0	4.8	4.1	4.2	4.9	4.7	4.0	4.1	18.1	80	17.7
15	4.2	4.1	2.1	2.0	4.3	4.3	3.9	4.0	12.4	55	16.5
19	4.7	4.6	4.2	4.2	4.6	4.6	4.2	4.1	17.7	79	17.5
23	5.8	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7	5.6	5.6	22.7	101	22.6
25	5.4	5.2	5.0	4.8	5.3	5.0	3.9	3.3	20.4	91	17.4
28	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.6	5.3	4.6	23.2	103	21.2
31	5.7	5.6	5.4	5.4	5.8	5.7	5.6	5.0	22.3	99	21.9
2. 1	5.8	5.7	5.6	5.0	5.7	5.6	4.3	4.0	22.2	99	19.6
4	5.7	5.6	4.5	4.5	5.7	5.7	5.6	5.7	20.3	90	22.7

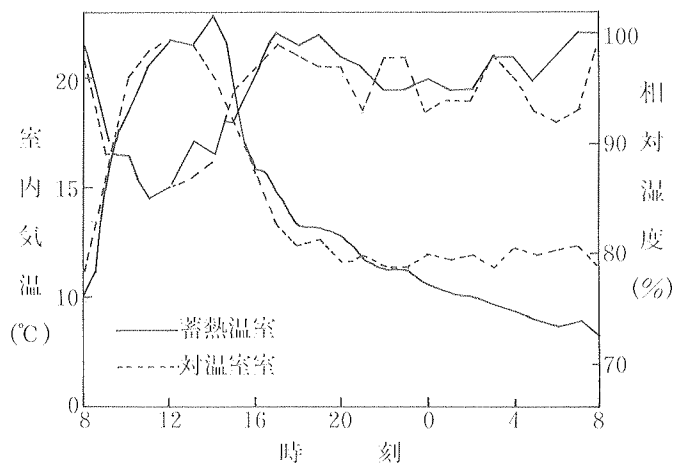
示した。蓄熱材や運搬費、組立て費用等総額は約372万円であった。総費用のうち蓄熱装置本体が約331万円で全体の約90%を占め、次いで運搬費、制御器の順となった。この費用は地中熱交換方式の実績値に比べ約30%高額であった。

IV 考 察

潜熱蓄熱暖房に関する研究は仁科ら(3)によるポリエチレングリコールを用いた小型温室の実験から始まり、その後塩化カルシウム6水塩や硫酸ナトリウム10水塩など蓄熱材の選定が進み(1)(2)(7)、特に、内部集熱に適する低融点の蓄熱材が開発されて(4)(10)の実用化への可能性が生じ、前報まで(8)(9)の成績ではほぼ地中熱交換方式に相当する暖房効果を認めるまでに至った。本試験はこれまでの成績をもとに本暖房方式の実用化を推し進めるため、潜熱蓄熱装置を経済規模温室に導入して現地実証をはかったもので、その結果を考察すると次のとおりである。

本試験に使用した蓄熱材は前報(9)と全く同一で硫酸ナトリウム10水塩と尿素の混合物を基材とし、融点は16℃と21℃、凝固点は13℃と18℃にある。蓄熱装置の設置に当っては、蓄熱材の量は既往の成績(6)(8)をもとに、温室の1夜の暖房必要熱量を30~35万kcalと試算し、又蓄熱材の蓄熱可能量は45kcal/kgであるので(30~35万kcal ÷ 45kcal = 6700~7800kg)と求め、更にこの蓄熱装置によって得られる節油率を70%に設定して(6700~7800 × 0.7 = 4690~5460)の式から5,000kgの量を決定した。従って、本蓄熱装置の1基当り蓄熱材重量は1,250kgを基準としているので設置台数は4基となる。このように本システムの設計に当っては、一夜の暖房負荷のうち70%は蓄熱装置からの放熱に求め、残り30%は補助暖房機で補うことを前提とした。この理由は、太陽熱利用暖房においては異常低温や日照不足等様々な気象変動に対応するため補助暖房の補えは欠かせず、その利用効率を高めるためには一定の稼働をはかり、又蓄熱材量を最小限に抑えて設備費を低減させた方が得策と考えたからである。

今年の気象条件は最低外気温が-5℃以下に低下する日はほとんどなく、0以上の日が多く出現し、いわゆる暖冬と呼ばれる年であった。又3~4月は晴天日が少なく、日照不足の日が続き結果の考察は3月4日までとし



第6図 室内相対湿度及び温度の変化（1月23日）

た。このような気象条件のもとにおける本蓄熱装置の暖房性能について述べるのと次のとおりである。

当初試験の実施に当り日中の室温管理は25~26℃を目標としたが、試験開始時において蓄熱・対照温室とも灰色かび病が発生し、その対策として室内の湿度低下をはかるため換気量をやや多くしたので1月中旬(1月19日)までは最高室温は20~21℃までしか上昇しなかった。このため日中の蓄熱量は設計値容量の80%以下にとどまり、従って夜間は蓄熱装置から得られる放熱量も少なく補助暖房の運転時間は長く、相当量の重油を消費する結果となった。この期間の重油消費量は蓄熱温室296 l、対照温室548 lで節油率は46%の低い値であった。当初設計では、一夜の暖房負荷が30~35万kcalであれば、重油の発熱量8,770kcal・l⁻¹、暖房機熱効率0.86(実測値)として対照温室の重油消費量が40~46l{(35~35万kcal) ÷ 8,770kcal・l⁻¹ × 0.86}なら70%の節油率が得られるはずであるが、1月9日及び15日にその値に近似した

第3表 蓄熱装置設置費用

項 目	単 価	金 額
	円	円
蓄熱装置一式	828,000	3,312,000
制 御 器	133,000	133,000
組立て設置一式	79,000	79,000
電気配線一式	52,000	52,000
運 搬 費	140,000	140,000
総 額		3,716,000

以外設計節油率に達した日はなかった。

1月20日からは午前中蓄熱温室の天窓を密閉し、室温管理の改善をはかったところ最高室温は24~26℃まで上昇した。その結果蓄熱量は増大し、設計値容量の100%にまで達するようになり、従って夜間の放熱量も増大して補助暖房の運転時間は短縮された。1月22日以降の節油率をみると、1月23、28日のように70~95%の値が得られ、ほぼ設計値かそれ以上の日が多く認められるようになり、2月8日までの節油率では64%となった。このように、本蓄熱装置は室温を一定値以上に保ち、蓄熱量を確保したならば目標とした暖房性能を発揮させることは可能であると判断された。

しかし、12月28日から3月4日までのトータルで見ると、その節油率は66%で設計節油率に近い数値であるが、本年のやや暖冬に推移した気象条件のもとで対照温室の重油消費量が平年値以下(6)であったことを考えるなら決して十分な暖房効果を示した値とは言えない。この原因は先に述べたように1月中旬までの日中の室温管理にあり、又暖房設定温度が10~11℃のほぼ恒温管理としたため放熱終了時間がやや早かったことがあげられる。今後は日中の室温管理を改善して蓄熱量の確保をはかることと変夜温管理法を用いて暖房負荷を低減させることが重要と考えられ、この点を留意して更に検討を続ける必要がある。

蓄熱装置の熱的性能は槽内の位置別蓄熱・放熱量及び設計蓄熱容量に対して得られた総蓄熱・放熱量によって表わされる。装置内の位置別蓄熱量は、室内から吸い込まれた空気が流出口へ向かうに従い次第に冷されていくので当然差は生じることになるが、その差は流入側蓄熱材2列と流出口側2列の間でやや大きくなる傾向を示した。前報(9)の装置では1基当りの蓄熱材量が少なかった(450kg)ので装置内の蓄熱材は均一な融解を示したが、本蓄熱装置はその約2.7倍の量を収納しており、全体を均一に融解させることはやや困難となった。しかし、その差は平均で約10%程度であり、装置の構造を改善させるまでの必要性がある値とは思われない。一方、1月中旬以降の総蓄熱量をみると最大で20万kcalを越え、ほぼ設計値容量の100%に達しており、位置による蓄熱量差も小さい。放熱量も同様で、日中得た蓄熱量を夜間にほとんど放出している。この点においては本蓄熱装置のもつ性能は十分発揮できたと見え、熱交換効率が優れていたと判断される。前報(9)及び仁科ら(5)の試験では、蓄熱材の均一な融解をはかるためには、蓄熱装置を小単位に分割した方が効果的であるという成績を示し

ているが、実用場面で考えるなら、設備費や組立て作業又設置面積の点から一定容積を保持せざるをえない。その収納重量は本試験の結果から1基当り1,000~1,200kgが適当と考えられる。

蓄熱装置内を空気が通過する際、蓄熱材容器表面に水分が凝結、蒸発する現象が認められる。このことは前報においても報告し、その水分の凝結、蒸発に伴う潜熱が蓄熱・放熱に重要な役割を果たすことを述べたものの、その量については正確に測定できなかった。本試験で蓄熱装置入口・出口の乾湿球温度をもとにこれらの潜熱伝達量を求めたところ、蓄熱時では全熱量に対して47%に達し、又放熱時では30%を占めることが明らかになった。放熱時が蓄熱時よりもやや低い値を示すのは凝結した水を落下させて装置外へ排出したためで、この場合蓄熱装置は除湿機の役割を果たしていることになる。凝結水の排出量は正確に計測できなかったが前報(9)の成績では約 $25 \text{ l} \cdot \text{day}^{-1} \cdot 352 \text{ m}^{-2}$ の量を認めている。

日中の蓄熱量を時間帯別に分けてみたところ、午後よりも午前中の蓄熱割合が極めて大きく、晴天日の調査事例では全蓄熱量に対し76%に及んだ。このことは、朝方放熱終了後の蓄熱材温度が低く、蓄熱運転開始後蓄熱材が融点温度に達するまで、室温との間に高い温度差を確保でき、又蓄熱材容器表面への水分凝結量が多くその際の潜熱伝達量が大いいためと考えられる。従って、日中の蓄熱運転においては午前中の室温上昇を重視して蓄熱量の増大をはかることが重要であり、換気は午後を主体とする方が作物生理の面からも望ましい管理法と言えよう。

室内の相対湿度は蓄熱・対照温室との間に昼夜とも大きな差は認められなかった。一般に地中熱交換温室では換気量が少ないことやパイプ内に凝結した水分が夜間蒸発して室内の相対湿度を高める傾向にあることが知られている(6)が、本方式では午後における換気や蓄熱装置内の凝結水を外部に排出したことが有効であったと考えられる。

灰色かび病の発生は両温室で認められ、蓄熱温室でやや発生が多いと観察された。この原因は蓄熱装置のダクトから吹き出される風が菌の飛散に影響したと思われるが、まだ確定的なことは言えず今後も引き続き発生状況の調査が必要である。又、蓄熱装置や補助暖房機のダクト配置の仕方によって温室内に温度勾配が生じ、トマトの生育に影響を与えたので、今後その配置には十分注意が必要である。両温室のトマトの生育、収量にはほとんど差はないと思われた。

蓄熱装置の設置経費は総額で372万を要し、地中熱交換の実績値⁽⁶⁾に比べ約1.5倍の経費であった。これはまだ確定した値ではなく、又蓄熱材の耐用年数がまだ明確になっていないので慣行、あるいは地中熱交換方式との正確な経済性比較はできない。しかし、仮りに蓄熱材の耐用年数を10年⁽¹⁰⁾とし、先の経費をそのまま適用すれば蓄熱装置の年間償却費は37.2万円となり、地中熱交換の約16万円⁽⁶⁾に対して約2倍であり、温風暖房機の3倍以上となる。しかも、本年の対照温室の重油消費量が平年値以下で、蓄熱温室の節油率も十分とは言えなかったため本年の成績だけでは経済効果を見いだすことはできない。今後、経済効果を高め、普及をはかるためには設備費の低減策を明らかにすることが最も重要であり、少なくとも地中熱交換に相当する費用にすることが当面の目標となろう。

V 摘 要

潜熱蓄熱暖房方式の実用化を推進するため、蓄熱装置を経済規模温室に導入して、暖房性能や蓄熱装置の熱的性能、室内気象特性等について検討した。

1. 供試温室は床面積1,033 m²のガラス温室で内部カーテンは天井、側壁部とも一層被覆した。試験には同型、同面積の温室を2棟使用し、1棟は蓄熱温室、もう1棟は温風暖房機だけを備えた対照温室とした。蓄熱温室には補助暖房として温風暖房機も備えた。

2. 蓄熱材は硫酸ナトリウム10水塩と尿素の混合物を基材とし、融点は16°Cと21°C、凝固点は18°Cと13°Cである。蓄熱装置は1個7.8 kgの蓄熱材容器を20個つり下げたものを1ユニットとし、これを上下2段に4つ並べてその一端に有圧ファンを取り付け、反対側を空気流入口とした。蓄熱装置は4基温室北側に設置した。

3. 蓄熱材総重量は5,000kgで、総蓄熱容量は225,000 kcalである。暖房設定温度は10~11°C、補助暖房設定温度は8~9°Cである。節油率は70%を目標にした。

4. 1月中旬までは換気量を多くしたため室温は20~21°Cまでしか上昇せず、蓄熱量が不足し、この間の節油率は46%にとどまった。しかし、その後午前中天窓を密閉したところ室温は24~26°Cまで上昇して蓄熱量は増大し、節油率は64%に向上した。全期間での節油率は66%であった。

5. 蓄熱装置内の蓄熱材に空気流入口側2列と流出口側2列との間に平均約10%の蓄熱量差が生じた。室温が24~26°Cまで上昇した場合、設計値容量の100%に達す

る蓄熱量が得られ、装置の性能を最大に発揮させることは可能であった。

6. 蓄熱材容器表面の水分の凝結・蒸発に伴う潜熱伝達量は蓄熱時で47%、放熱時では30%であった。

7. 1日の全蓄熱量に対し、午前中の占める割合は70%以上であった。

8. 室内の相対湿度は蓄熱・対照温室との間に大きな差は認められなかった。

9. 蓄熱装置の設置経費は総額372万円であった。

引用文献

1. JAFFRIN, A. and P. CADIER (1982). Latent heat storage applied to horticulture. *Solar Energy* 28 : 313~321.

2. KECN, M. and P. A. AIDRICH (1979). Phase change energy storage in a greenhouse solar heating system ASAE Paper No. 79 : 4078.

3. 仁科弘重・高倉直 (1983). 潜熱蓄熱方式による太陽熱利用暖房に関する研究 (1) 潜熱蓄熱材の特性試験と小型温室における暖房実験 *農業気象* 39 (3) : 201~211.

4. ————・———・竹田武司・町田育彦 (1984). ———— (2) 空気集熱方式による模型温室の暖房実験 *同上* 39 (4) : 311~314.

5. ————・———・後藤英司 (1982). 潜熱蓄熱方式による太陽熱利用温室の実用化に関する研究 (1) 潜熱蓄熱槽の熱交換特性の実験的解析 昭和58年度日本農業気象学会全国大会講演要旨

6. 佐々木皓二・高橋基・金目武男・佐藤紀男・板木利隆 (1982). 地中熱交換方式による施設暖房の実用化に関する研究 (第4報) 現地大型施設における暖房性能、室内環境特性、トマトの生育収量および経済効果について *神奈川園試研報* 29 : 29~37.

7. ———— (1983). 潜熱蓄熱方式による施設暖房について *関東の農業気象* 4 : 2~4.

8. ————・高橋基・板木利隆 (1983). 潜熱蓄熱方式による施設暖房の実用化に関する研究 (第1報) 低融点蓄熱材を用いた装置の暖房性能、温度特性および蓄熱材の熱特性について *神奈川園試研報* 30 : 46~53.

9. ————・———・——— (1984). ———— (第2報) 新蓄熱装置の暖房性能及び熱交換特性について *同上* 31 : 24~32.

10. 竹田武司・工藤康夫・町田育彦 (1984). 芒硝系蓄熱材を利用した温室暖房 エネルギー・資源 5(5) : 484~489.

Summary

A solar heating system using latent energy storage materials was installed in the commercial glasshouse and assessed. From 1984 to 1985, the experiments were carried out to investigate heating efficiency, thermal conditions of the phase change materials (PCM) and growth of tomatoes.

1. Two glasshouses were used in experiments, one was provided with the solar heating system and warm-air heating, and the other was provided only with the warm-air heating. The floor and surface areas of glasshouses were 1,033m² and 1,476m² respectively. In the glasshouses a layer thermal screen was furnished for heat insulation at night. Tomatoes were grown in both of glasshouses.

2. The PCM is made mainly from Na₂SO₄·10H₂O and CO(NH₂)₂. The PCM have melting points of 16°C and 21°C, freezing points of 13°C and 18°C and a heat of fusion of 45cal⁻¹g. Batches of PCM weighting 7.8kg were wrapped in an aluminium laminated plastic film. Twenty bags of PCM were used for one unit and 8 units were hunged in the heat storage box. At the end of box, an electric fan (200V, 750 W) was attached and the other end was used for drawing hole for air intake. Four heat storage boxes were installed in the glasshouse.

3. The total amount of the PCMs was 5,000kg and the potential value of heat to be released was 225,000kcal. The amount of PCMs calculated with an aim of 70% oil reduction. During the daytime, the fans of the heat storage boxes were operated to store heat when the inside air temperature was above 18°C. At night, the fans were operated to

radiate the heat of PCMs, when the inside air temperature was below 10–11°C. The warm-air heating in solar glasshouse was operated when the inside was below 8–9°C.

4. Until the middle of January, the inside air temperature in solar glasshouse was confined to 20–21°C in the daytime because of considerable amount ventilation and amount of stored heat was not obtained to the maximum possible value, so that at night the warm-air heating operated frequently. In this period the coefficient of oil reduction was 46%. But since the top ventilation of solar glasshouse was shut completely in the morning, the inside air temperature rose to 24–26°C in the daytime and the amount of stored heat increased to maximum potential. The coefficient of oil reduction was improved above 60%. In the period of 28 December–4 March, the coefficient was 66%.

5. The amount of stored heat in two units near the drawing hole was excellent about 10% more than the two units near the fan. In case the inside temperature of the solar glasshouse rose to 24–26°C, the maximum amount of stored heat and radiated heat amounted to 100% of the potential value.

6. The amount of stored heat in the daytime was about 70% in the morning and about 30% in the afternoon.

7. Relative humidity in solar glasshouse and control glasshouse was both 80%–90% in daytime and about 95% at night.

8. The price of this solar heating system was about 372 million yen in total.