

潜熱蓄熱方式による施設暖房の 実用化に関する研究 (第2報)

新蓄熱装置の暖房性能及び熱交換特性について

佐々木 皓二・高橋 基・板木 利隆

Kohji SASAKI, Motoi TAKAHASHI and Toshitaka ITAGI

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

Heating efficiency and thermal properties of a newly developed storage material and the improved heat storage box.

I 緒 言

前報(6)では、硫酸ナトリウム10水塩を基材とする融点22°Cの蓄熱材を平板状の容器に封入し、これを多段に積み重ねて循環ファンを取り付けた装置を蓄熱槽とし、トマトを供試したガラス温室内で暖房性能の検討を行った。その結果、当地(中郡二宮町)において、屋外気温が-3~-5°Cまでの低下であれば、室温を8~10°Cに保持でき、内外気温差は13~15°Cを得、ほぼ地中熱交換装置に相当する暖房効果を認めた。しかし、蓄熱槽内の位置によって蓄熱材の融解程度に差が生じたこと、また蓄熱量は装置の設計容量に対し、最大70%を得たにとどまったことから、蓄熱材、蓄熱槽とも更に改良を加える必要が認められた。

本年は、融解を容易にするため融点、凝固点を前年より下げた新たな蓄熱材を用い、また蓄熱槽は融解の均一化をはかるため1基当りの容積を小型化し、蓄熱材の収納法もつり下げ方式にして簡易化した改良装置を供試し、暖房性能の検討を行った。その結果、蓄熱材、蓄熱

槽とも改良効果による性能向上が認められたので、ここにその成績について報告する。

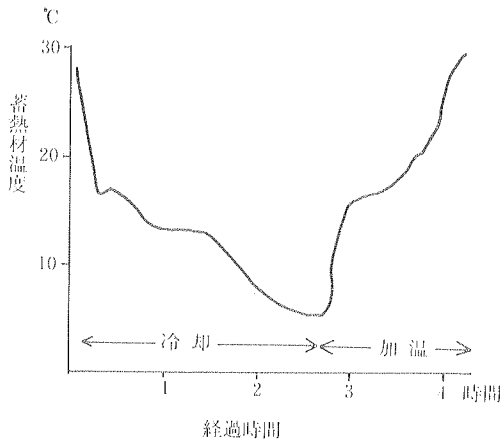
本試験を行うにあたり松下技研K. K. 竹田武司博士及び町田育彦研究員の多大な協力を得た。ここに深く感謝の意を表す。

II 材料及び方法

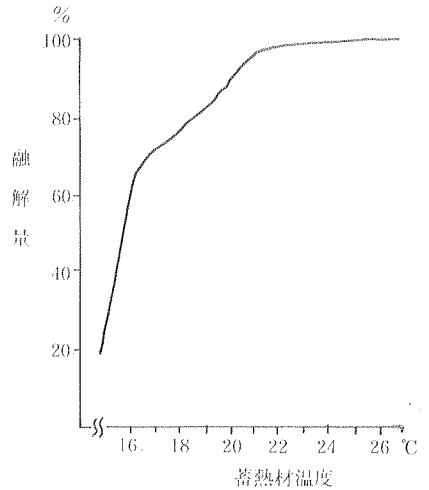
1. 供試蓄熱材及び蓄熱装置

本試験に用いた蓄熱材は、竹田ら(7)によって改良が加えられた資材で、主成分は硫酸ナトリウム10水塩と尿素の混合物である。本蓄熱材の融点は16°Cと21°C、凝固点は18°Cと13°Cのそれぞれ異なる二点にある。竹田ら(7)による通風試験から測定された蓄熱材の融解～凝固過程における温度変化を第1図に、また蓄熱材温度と融解量の値を第2図に示した。

蓄熱材の封入容器はアルミラミネートポリエチレンフィルムで、その形状は第3図のとおりである。容器の1個重は7.5 kgである。蓄熱槽の構造は第4図に示したとおりで蓄熱材を20列、三面に合計60個を風の流れと平行



第1図 融解～凝固過程における蓄熱材温度変化



第2図 蓄熱材温度と融解量

につり下げ、その一端に200V、200Wの送風ファン（定格風量 $63\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ）を1台取り付けました。蓄熱槽1基当りの蓄熱材総重量は450kgであり、これを計4基（総重量1,800kg）を温室内の北側に設置した。蓄熱材の総重量は前年の熱収支の試算をもとに、前年より約18%減らした。本装置の設計最大蓄熱容量は85,000kcalである。

2. 供試施設及び作物

供試施設は前年と同一の床面積 352m^2 、保温比0.63のフェンロー型ガラス室を用い、内部保温カーテンは天井二層（塩ビ+不織布）、サイド二層（塩ビ二層）被覆とした。

供試作物はトマトを用いたが、本施設内は前年根腐れ萎ちょう症の発生を全面に認めためたので品種「瑞秀」を対照に抵抗性品種「瑞健」の導入もはかった。これらの品種は、9月20日には種し、11月16日温室内に定植した。

3. 運転方法及び温度管理

日中の蓄熱開始設定温度は 20°C とした。ただし、15～17時は室内気温が蓄熱材温度より低いにもかかわらず

ファンが運転される場合があったので、この時間帯は強制的に運転を停止させた。日中は 26°C で天窓換気を行った。

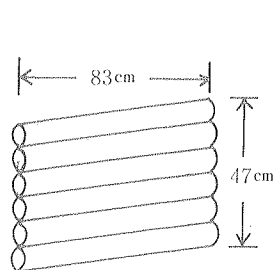
夜間の暖房設定温度は 12°C （17～21時）～ 11°C （21～23時）～ 8°C （23～8時）の変夜温管理とした。補助暖房に温風暖房機を備え、室温が 7°C 以下になった時作動させた。

4. 温度・湿度・CO₂濃度の調査及び蓄熱・放熱量の算出、節油率の推定

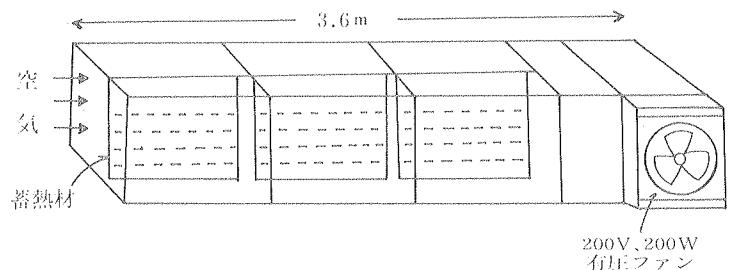
温度の測定は、室内中央部、蓄熱槽吸入口・吹出口、蓄熱材の材温3点（吸入口付近、槽中央部、吹出口付近）及び屋外気温について行った。これらの温度測定には熱電対式自記温度計を用いた。

相対湿度は室内中央部において通風式自記湿度計によって測定した。

CO₂濃度は湿度と同一位置において赤外線ガス分析計により測定した。



第3図 蓄熱材容器の形状



第4図 蓄熱槽の構造

蓄熱・放熱量は第2図の関係をもとに蓄(放)熱運転開始前及び運転終了後の蓄熱材温度から算出した。

節油率は、数日間温風暖房機だけを運転して暖房デグリアワーと重油消費量を求めておき、実際本装置を運転した日の暖房デグリアワーとの比較から温風暖房機を使用したと仮定した場合の重油量を算出し、これと実際の重油消費との比から推定した。

III 成績

1. 循環風量

ファン吹出口の風速をアネモマスターで計測し、循環風量を求めたところ $192\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ($48\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \times 4$)であった。この値から蓄熱槽内を通過する風速は $2.2\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ と推定された。

2. 暖房性能・温度特性

暖房設定温度を 8°C とした後夜半(23~5時, 5~8時)の時間帯における屋外最低気温, 室内気温, 内外気温差, 重油消費量及び節油率を第1表に示した。本年は、例年に比べて屋外気温の低下が著しく、しかも夜間の早い時間帯から低下するのが特徴であった。暖房性能を時間帯別にみると、前夜半(17~21時, 21~23時)については本表には示さなかったが、設定温度($12\sim 11^\circ\text{C}$)は確実に保持でき、設定値以下になることはなかった。また、23~5時の時間帯では大部分の日で設定温度を保

第2表 低日照日における運転状況

月 日	蓄熱材温度 最低気温 時間	蓄熱材温度 °C	放熱時間	補助暖房運転時間	屋外最低気温 °C
1. 3—4	2.7	16.5	5.0	0	-1.0
12—13	2.0	19.0	5.0	4.0	-4.5
16—17	0	17.0	6.5	1.5	-5.0
20—21	2.6	16.5	4.8	8.5	-2.0
21—22	0	14.5	7.6	0	2.0
25—26	2.4	15.5	5.4	6.6	-4.0
2. 12—13	0.5	17.0	10.0	0	0.5
13—14	0	14.5	3.6	0	0
15—16	0	14.5	6.4	5.0	-4.0

持しており、それ以下となっても $0.5\sim 1.2^\circ\text{C}$ 程度であった。しかし、5~8時の時間帯では、屋外気温が 0°C 以下に低下した場合は設定温度を保った日は少なく、ほとんどの日で補助暖房が稼動した。本年度において本蓄熱装置から得られた内外気温差は、屋外最低気温出現時に補助暖房が稼動されていたため前年よりやや低く、最大 $10\sim 13^\circ\text{C}$ であった。

補助暖房の稼動時間は3~4時間の場合が多く、最大は最低極温(-8°C)を記録した日(2月7~8日)の7時間であった。補助暖房機の稼動による重油消費量は1日当り最大 15.5l 、平均約 8l であった。

蓄熱装置の運転による節油率は最大100%, 最小47%

第1表 暖房性能, 補助暖房稼動時間, 節油率

月 日	23~5時 最低気温 °C	同 室 左 温 °C	5~8時 最低気温 °C	同 室 左 温 °C	内外 気温差 °C	補助暖房 稼動時間 時間	重油 消費量 l	必要 重油量 l	節油 率 %
12. 26—27	-5.2	6.8	-6.1	*	12.0	4.0	8.1	32.0	75
28—29	-4.0	7.5	-4.5	*	11.5	3.0	7.1	20.4	65
31—1.1	-3.5	7.6	-4.3	*	11.1	4.6	10.5	24.3	57
1. 1—2	-3.0	8.0	-3.1	7.0	11.5	0	0	9.6	100
2—3	-2.1	8.0	-3.5	7.0	10.5	0	0	10.1	100
4—5	-4.0	7.2	-5.3	*	11.2	5.0	13.5	24.7	47
6—7	-4.0	7.4	-4.5	*	11.4	2.7	6.6	23.6	72
8—9	-4.0	7.5	-4.7	*	11.5	2.7	6.8	19.8	66
9—10	-3.0	7.5	-3.9	*	10.5	2.0	4.9	20.6	76
2. 1—2	-1.2	8.0	-1.7	8.0	10.4	0	0	4.7	100
2—3	-1.8	8.0	-2.4	8.0	10.4	0	0	3.5	100
7—8	-4.5	7.0	-8.0	*	11.5	7.2	15.5	31.5	51
8—9	-5.3	7.3	-7.0	*	12.6	4.2	7.2	27.2	75
9—10	-5.5	7.3	-6.5	*	12.8	4.5	9.5	27.0	65
10—11	-4.0	8.0	-4.6	*	12.0	1.5	2.6	20.7	87

* 補助暖房稼動

であり、平均約75%と推定された。

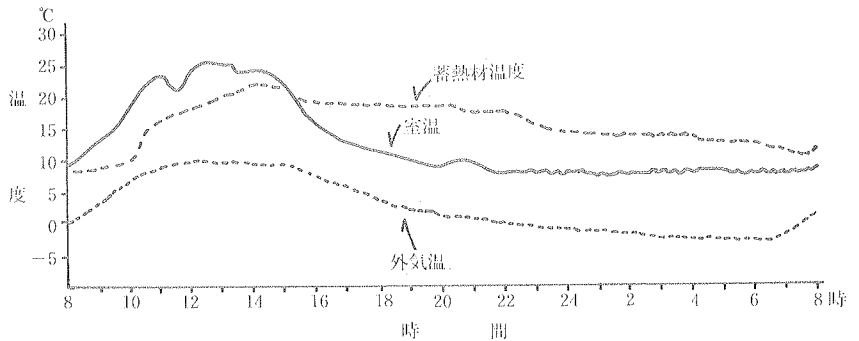
第5～6図は晴天日における屋外・室内中央気温及び蓄熱材温度（槽中央部）の経時変化を例示したものである。朝方、9時～9時30分の間は室温20℃以上の場合強制的に天窓を開けて換気したので、ファンは10時頃から蓄熱運転を開始し、3時に停止した。ファン作動後約30分で蓄熱材は最初の融点温度（16℃）に到達し、その後約2時間で次の融点（21℃）に達した。夜間は、室温が暖房設定温度に低下するとファンはON-OFFを繰り返す、3

時以降連続運転になる場合が多かった。

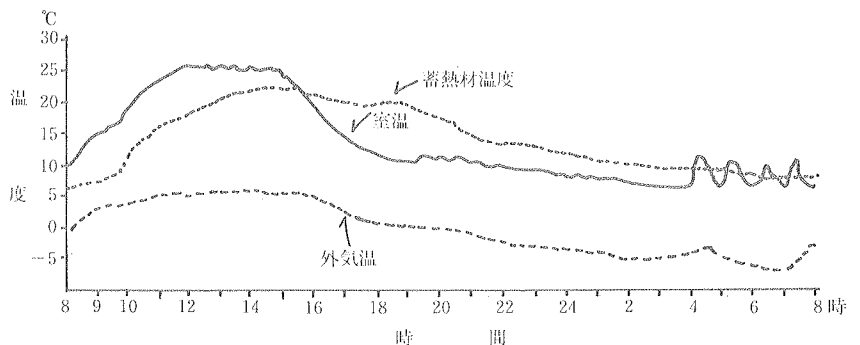
低日照日で蓄熱運転が行われなかったか、または極く短時間の場合における本装置と補助暖房の運転状況を第2表に示した。蓄熱運転がないか、短時間の場合でもその当日までの蓄熱により蓄熱材温度が14℃以上に保持されているならば本蓄熱装置によって相当長時間設定温度を維持できることが認められた。また、曇天日で屋外気温が高い場合には暖房負荷が小さくなるのでほとんど補助暖房が稼働することはなかった。

3. 蓄熱材の熱特性

第3表に晴天日における日中の最高室温、蓄熱運転時間、蓄熱材最高・最低温度及び蓄熱量・放熱量について示した。なお、蓄熱材最高温度は蓄熱運転終了後、最低温度は放熱運転終了後の測定値である。本年度は夜間の屋外気温の低下が著しいだけでなく、日中の気温も低く経過したため、1月中旬頃までは室内気温が換気温度の26℃に達する日はほとんどなかった。しかし、日中の蓄熱運転時間は晴天日で4～5.5時間あり、蓄熱材の最高温度は21℃を越えた。晴天日の蓄熱運転終了後、蓄熱槽



第5図 各位置の温度経時変化（1月1—2日）



第6図 各位置の温度経時変化（2月8—9日）

内の蓄熱材に触れることにより融解を確認することができた。

蓄熱運転後の蓄熱材上昇温度から求めた蓄熱量は晴天日においては7万kcalを越え、最大値では8.6万kcalを得、設計蓄熱容量の100%に達した。また、放熱量も最大では8.6万kcalでこれも設計容量の100%値を示し、本蓄熱槽のもつ性能を最大に発揮させることができた。

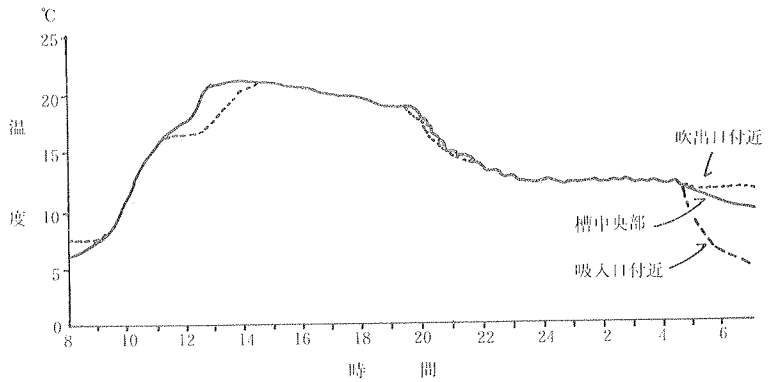
第7図は蓄熱槽内各位置における蓄熱材温度の経時変化を示した例である。吸入口、槽中央部、吹出口付近の蓄熱材とも最初の融点に到達するまでは、ほとんど温度差がなく均一に融解しているが、次の融点に達するまでは吹出口付近の蓄熱材において温度上昇がやや遅れ、入口付近に比べ最大の3℃温度差が生じた。しかし、融点まで上昇した後は全く温度差は生じなかった。放熱時は後半吸入口付近の蓄熱材温度の降下が早く、放熱の終了が早いことを示していたが、大部分の時間帯は位置による差が極めて小さかった。このように本年の蓄熱槽は均一な融解・凝固を認め、位置による融解むらを解消することができた。

第 3 表 最高室温、蓄熱運転時間、蓄熱材温度、蓄熱量、放熱量

月 日	最高室温 °C	蓄熱 運転 時間	蓄熱材温度		蓄熱量 ×10 ³ kcal	設計値 比 %	放熱量 ×10 ³ kcal	設計値 比 %
			最高	最低				
1. 1—2	25.0	5.6	22.3	7.1	83.6	98	75.5	89
2—3	25.0	5.9	22.4	9.5	76.0	89	62.0	73
4—5	25.6	4.2	21.6	6.8	74.1	87	81.4	96
5—6	25.5	4.2	21.9	7.2	77.8	92	77.6	91
6—7	24.0	5.6	21.8	6.5	83.1	98	82.6	97
7—8	25.3	5.4	22.3	13.4	83.7	98	55.6	65
8—9	24.6	5.4	22.5	6.9	56.2	66	84.3	99
9—10	25.5	5.2	22.5	6.9	83.9	99	83.2	98
26—27	26.5	4.2	22.5	6.6	82.1	97	82.4	97
27—28	26.5	5.1	22.8	7.1	85.7	101	82.7	97
28—29	26.5	4.2	23.0	6.2	82.8	97	86.0	101
2. 7—8	26.0	4.5	22.8	5.1	28.1	33	86.5	102
8—9	26.5	5.2	23.0	5.9	86.7	102	86.1	101
9—10	26.5	5.0	22.6	5.5	86.1	101	86.6	102
10—11	26.5	5.3	22.6	11.0	86.2	101	85.0	100

4. 室内の相対湿度

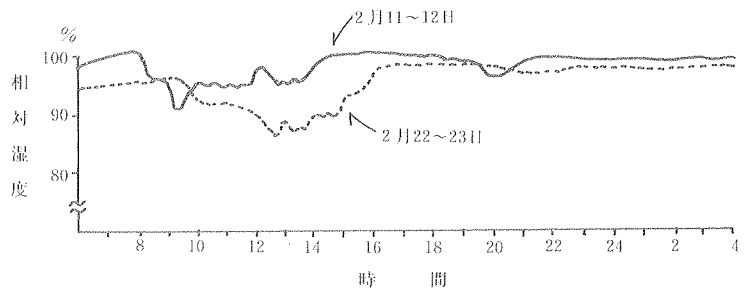
第 8 図は晴天日において天窓が閉鎖されたままの状態及び午後度々開放された場合の相対湿度の経時変化を例示したものである。天窓が閉鎖されたままの状態では日中の相対湿度は常に90%以上の値で推移し、また天窓が開いてもその時間が短かったため85%以下に低下することはなかった。夜間はいずれも95~100%の状態を保ち、朝夕は室内に‘もや’の発生が認められた。



第 7 図 蓄熱材の位置別温度変化 (1月24—25日)

5. 室内の炭酸ガス濃度

第 9 図に前記の相対湿度変化測定と同日におけるCO₂濃度の経時変化を示した。室内のCO₂濃度は作物体の呼吸や土壌中からの発生により、夜間は450~500ppmまで上昇するが、早朝の光合成開始とともに急速に低下し、天窓開放前には約100ppm、閉鎖



第 8 図 相対湿度変化

状態では約50ppmとなり、外気の30%以下の濃度までに降下した。換気を行っても短時間であったため250ppm程度までしか回復せず、また閉鎖状態では著しい低CO₂濃度の状態が続き、CO₂施用の必要性を認めた。

6. トマトの生育・収量

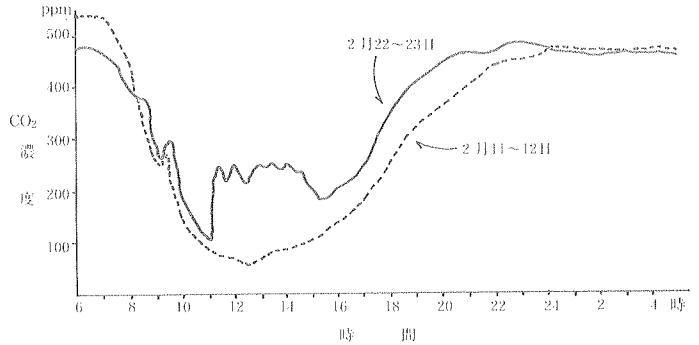
定植後から生育中期にかけてはトマトは順調な生育状態を示した。しかし、1月中旬から根腐れ萎ちょう症が発生し、特に‘瑞秀’では生育阻害が著しく約20%の株が枯死した。このため、第10図に示したように‘瑞秀’では6段花房までで2.5kg/株の収量を得たにとどまった。しかし、抵抗性品種の‘瑞健’は根腐れ萎ちょう症の発生は認められず、4.1kg/株の収量を得、本作型ではほぼ標準的な値であった。

IV 考 察

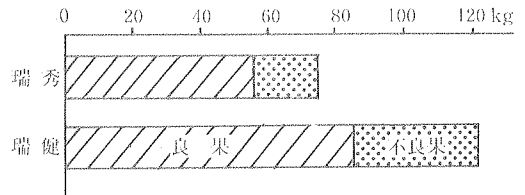
本試験に使用した蓄熱材は融点が16℃と21℃、凝固点は18℃と13℃のそれぞれ異なる2点にあり、前報(6)の融点22℃の蓄熱材に比べ低く改良されている。蓄熱槽は、前報の装置では吸入口―吹出口の長さが4.7mであったのに対し、本試験のそれは3.6mと短くし、1基当りの収納蓄熱材重量も1,250kgから450kgに減少させた。また、蓄熱材の配置は、平板状の容器を多段に積み重ねる方式からつり下げ方式に簡易化した。このように、本試験は蓄熱材の融解を容易にし、熱交換率の向上、蓄熱槽内位置による融解むらの解消及び装置の簡易化による設備費の軽減を目的として、蓄熱材、蓄熱槽とも改良を加えて暖房性能の検討を行ったものである。

暖房性能は、暖房設定温度を12~11℃とした前夜半(17~21時, 21~23時)は設定値を確実に保持し、また後夜半の23~5時の時間帯においても大部分の日で設定温度の8℃を保ち、それ以下となっても0.5~1.2℃の範囲内であった。しかし、早朝の5~8時の時間帯では、屋外気温が0℃以下に低下した場合設定温度(8℃)を保持した日は少なく、ほとんどの日で補助暖房が稼動し、後半放熱量の不足を認めた。これは、本年は屋外気温の低下が著しく、当初の設計値以上に暖房負荷が増大し、それに見合う蓄熱材の量が確保されていなかったことによるものである。

本試験に供試した蓄熱材の量は、前報の成績をもとに



第9図 CO₂濃度変化



第10図 トマトの収量 (30株当たり)

一夜の暖房必要熱量を85,000kcalとし、蓄熱材の顕熱も含めた蓄熱量を46kcal・kg⁻¹ (85,000÷46=1,800kg)として求め、前報の場合よりも約30%減らした。しかし、本年は、この暖房負荷の試算値を上回る日が多数出現し、前報(6~7万kcal)以上の蓄熱量を得た(最大8.6万kcal)のにもかかわらず、早朝の5時以前には当日の蓄熱量をほとんど放出し、それ以後は補助暖房によって必要熱量がまかなわれたことになる。このような暖房特性は蓄熱量・放熱量が限定されている本方式の特徴と言える。

従って本年の気象条件のもとでは補助暖房の稼動時間を短縮し、節油率を高めるためには蓄熱材の量を更に増やす必要があることになる。しかし、蓄熱材をこれ以上に増加させることについては、常に本年のような気象条件を想定することが適切かどうか、また装置の設置経費や補助暖房の効率的利用については、本方式は様々な気象変動に対応するためその備えが不可欠なだけに、実際場面では一定の稼動をはかって利用効果を高める方策を考えることも重要と思われる。地中熱交換方式の調査事例(4)(5)によれば、暖房必要熱量の10~20%程度は補助暖房によってまかなわれている例が多く、その場合でも慣行の温風暖房方式より優れる経済効果を認めている。こ

の例から言えば、本年得られた節油率70～75%は決して低い値とは言えず、必要熱量の25～30%を補助暖房に求めることは実用上許容範囲に入ると言えよう。なお、蓄熱装置と補助暖房との経済的、効率的な運転組合せの方法については今後更に検討が必要な課題である。

蓄熱装置の性能を示す指標に設計蓄熱容量に対して日中得た蓄熱量と夜間暖房のため放出した熱量との値がある。本装置の設計蓄熱容量は85,000kcalであり、晴天日における蓄熱量は7万kcal以上の日が多く、最大では8.6万kcalを越え、設計容量の100%に達している。放熱量も同様に最大8.6万kcalを得、設計容量の100%に達している。このように、蓄熱量・放熱量の値から本蓄熱装置はその性能を十分発揮したと言える。

また、蓄熱槽内位置別の蓄熱材温度の調査において、融点到達時と凝固終了時に短時間温度差が生じる場合があったものの、大部分の時間帯は各位置の蓄熱材とも温度差がなく経過した。蓄熱材の位置によって温度差が生じないことは、蓄熱槽内の蓄熱材は均一に融解・凝固していることを示している。前報では融解・凝固むらの問題点として指摘したが、本装置ではこれがほぼ解消され、高蓄熱量・放熱量を確保できた大きな要因と思われる。

本蓄熱装置がこのような高い性能を示した理由としては、試験目標であった蓄熱材や蓄熱槽の改良効果が達成された結果と考えられる。なかでも、蓄熱材の融点、凝固点が低下したことは有効に作用し、本年は日中の気温が低い1月中旬頃までは最高室温が換気温度の26%まで達しなかったにもかかわらず高い蓄熱量を得たことや低日照日であっても蓄熱材温度が14～17℃に保持されていれば相当長時間の暖房運転を確保できたことからそのことが言える。また、蓄熱槽の小型化や吸入口・吹出口長さの短縮も性能向上に大きく貢献したと思われる。蓄熱槽の構造については、仁科ら(3)による空気流路に関する研究があり、蓄熱槽内は吸入口から吹出口に向かうに従い熱交換率、熱交換量とも低下していく傾向にあるので同一容積であれば蓄熱槽は分割した方が効率的であるとしている。前年及び本年の成績はこれを裏づける結果となっている。

また、仁科ら(1)は蓄熱材の特性調査や暖房実験の結果から、本方式を確立するための課題として次のような事項をあげている。①空気集熱方式に適した融点17～20℃の蓄熱材の開発、②蓄熱材容器及び蓄熱材封入技術の開発、③空気集熱方式における潜熱蓄熱槽の最適設計、④作物の種類に応じた暖房システムの最適設計、ま

た別報(2)において、⑤蓄熱容器表面での水蒸気の凝結を考えた、蓄熱槽の熱交換特性の解明、⑥融点と凝固点の間にヒステリシスがない蓄熱材の開発、をあげている。これらの課題のなかで①と③については、本試験の蓄熱装置の性能に関する成績から、ほぼ実際場面に適用し得るまでに確定できたと考えられる。

室内の相対湿度は日中85～95%、夜間は97～100%の値を示し、前報同様やや多湿な状態で推移した。本年は換気温度を26℃としたのにもかかわらず、日中の室温があまり上昇せず天窓の開放時間が短かったことが一つの要因と思われる。また、蓄熱材をつり下げ方式としたので日中蓄熱材容器表面に凝縮した水分の大部分を回収(約25 l/日)でき、いわば除湿機の役割を果たしたが、湿度低下の効果については確認できなかった。また、水分の凝結及び蒸発に伴う潜熱伝達量については、今回は高精度に測定できなかったが、先の仁科らの指摘の⑤にあるようにこれらは熱の授受に重要な役割を果たしていると考えられるので、今後更に解明が必要な課題である。

室内のCO₂濃度は、日の出後光合成開始とともに急速に低下し、閉鎖状態では最低50ppmと大気の約1/6の濃度まで低下した。このような低CO₂濃度の状態は、蓄熱運転による冷房作用により換気量が減少することに起因するが、反面地中熱交換ハウス同様(5)CO₂濃度を任意に調節しやすいことも意味している。この特徴を積極的に利用しCO₂施用を行うなら増収及び品質向上の効果が期待できる。

トマトの収量は根腐れ萎ちょう症の被害を受けた‘瑞秀’は低収であったが、抵抗性品種の‘瑞健’はこれまでの実績に相当する収量を得た。なお、低CO₂濃度の影響や空気流動の効果については生育状況から明確な判別はできなかった。

予備試験を含め3カ年にわたる試験により、潜熱蓄熱方式の暖房性能が明らかになり、また空気集熱方式に適した低融点蓄熱材が選定され、設計性能を發揮し得る蓄熱槽の構造についてもほぼ確定することができた。これらの成績から実用化に向けて明るい見通しを得たわけであるが、更に本システムの確立にあたって必要な検討課題を述べると次のとおりである。

(1) 経済規模温室における現地実証 地中熱交換方式の実用化の場合と同様、場内試験の結果をもとに現地実証試験を実施し、大型施設における暖房特性のは握、経済効果の検討、また普及場面における利用上の留意点等を整理し、現地農家への普及にあたって必要な資料を整え

ておくことが重要である。

(2) 経済効果の算出 本方式の実用化にあたっては経済効果のは握は欠かせない課題である。しかし、本方式はまだ開発途上にあり、経済効果を求めるための確定的な数値は提示できないが、その検討にあたって必要な項目は①装置の設備費、②蓄熱材の耐用年数、③運転経費、の三点である。①のうち蓄熱材の価格については、仁科ら(1)は200円・kg⁻¹と試算しているが、装置全体としての費用はまだ明らかでない。しかし、目標としては、地中熱交換方式との比較からその実績(250~300万円/10a)以下であることが望まれる。②は一定年数経過後でなければ正確な判定はできないが、竹田ら(7)の繰り返し試験によれば、1,000 サイクルまでは蓄熱材の性能はほとんど変わらないことを認めている。この値は、使用期間3カ月、1サイクル/日で稼動するとすれば10年間使用できることを示している。③の電気料金は、地中熱交換方式の実績値をほぼ適用できるものと思われる。

(3) 補助暖房との効率的な組合せ 太陽熱利用暖房方式においては補助暖房の備えは欠かせない。従って蓄熱装置だけで100%の節油効果をねらうのではなく、補助暖房の一定の稼動をはかり、その場合の設備費、運転経費、石油代の値が最小になるよう節油率を求め、蓄熱材の量を決定する必要がある。

(4) 劣化した蓄熱材の処理 本方式が普及に移され蓄熱材が耐用年数に達した後の問題であるが、性能が低下した蓄熱材の処理についても明らかにしておく必要がある。竹田ら(7)によれば蓄熱材の劣化の主因は、融解・凝固の繰り返しとともにNa₂SO₄の結晶粒が次第に成長することにあるが、これを回収して再処理することにより元の性能を回復させることは可能であるとしている。従って、新蓄熱材と再処理蓄熱材の流通システムが確立すれば個々の農家による廃棄の問題は生じないことになる。

この他、潜熱が大きく、特性が安定して安価な蓄熱材の開発や最適蓄熱装置の設計もまだ検討を進めなければならない課題であり、中高温性作物に対する暖房システムについては未検討の段階にある。これら課題の解決のため、今後多くの研究の取組みがなされ、その進展が望まれる。

V 摘 要

融点が16°Cと21°C、凝固点が18°Cと13°Cのそれぞれ異なる二点にもち、硫酸ナトリウム10水塩と尿素を基材と

する蓄熱材を用い、これをつり下げ方式で収納した蓄熱装置を4基設置し、暖房性能、蓄熱材の熱特性について検討を行った。

1. 蓄熱材はアルミラミネートポリエチレンフィルムに封入されており、1個の重量は7.5 kgである。これを0.63×1.0×3.6 mの容積をもつボックス内につり下げ方式で合計60個収納し、200 V、200 Wの有圧ファンを1台取りつけて蓄熱槽とした。この蓄熱槽を床面積352 m²、保温比0.63のフェンロー型ガラス室内に4基設置した。蓄熱材の総重量は、1,800 kg、設計蓄熱容量は85,000 kcalである。

2. 暖房設定温度を12~11°Cとした時間帯(17~23時)は設定温度を確実に保持し、また23~5時の時間帯においてもほとんどの日で設定温度の8°Cを保った。しかし、5~8時の時間帯では、屋外気温が0°C以下の場合、設定値の保持が困難で補助暖房が稼動することが多かった。本年は、屋外気温の低下が著しく、設計値以上に暖房負荷が増大したため後半放熱量が不足した結果によるものである。

3. 蓄熱装置から得られた内外気温差は10~13°Cであった。

4. 蓄熱装置の運転による節油率は平均75%と推定された。

5. 蓄熱量はともに最大8.6万kcalが得られ、設計容量の100%に達した。蓄熱槽内における蓄熱材の融解むらは極めて小さかった。蓄熱材、蓄熱槽とも前報に比べて顕著な改良効果が認められた。

6. 室内の相対湿度は日中80%以上、夜間は97~100%の状態で推移した。

7. 室内のCO₂濃度は、光合成開始とともに急速に低下し、閉鎖状態のままでは最低50ppmまで低下した。

8. ほ場内に根腐れ萎ちょう症が発生したため、トマト'瑞秀'の収量は低かったが、抵抗性品種の'瑞健'は標準的な収量を得た。

引用文献

- 仁科弘重・高倉 直(1983). 潜熱蓄熱方式による太陽熱温室暖房に関する研究(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.
- ・—————・竹田武司・町田有彦(1984). —————(2) 空気集熱方式による模型温室の暖房実験 農業気象 39(4): 311~314.

3. —————・—————・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
4. 佐々木皓二・板木利隆・清田 勇 (1981). 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8報) 現地事例における成果と改善点について 昭和56年秋園芸学会発表要旨: 254~255.
5. —————・高橋 基・金目武男・佐藤紀男・板木利隆 (1982).

(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.

6. —————・—————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.
7. 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

Using a newly developed phase change material (PCM) which have melting points of 16°C and 21°C, freezing points of 13°C and 18°C, and a heat of fusion of 40 cal.g⁻¹, an experiment of solar heating was carried out in a venlo type greenhouse from 1983 to 1984. The PCM is made mainly from Na₂SO₄·10H₂O and CO(NH₂)₂. The floor and surface areas of the greenhouse were 352m² and 560m² respectively, and two layers thermal screens were furnished for heat insulation at night. Tomatoes were grown in this green house.

1. Batches of PCM weighting 7.5kg were wrapped in a aluminium laminated plastic film (2×47×83cm), and 60 bags were hunged in the heat storage box. At the end of the box, an electric fan (200W, 200V) was attached and the other end was use for drawing hole for air intake. Four heat storage boxes were installed in the greenhouse. The total amount of the PCM was 1,800kg and the potential value of heat to be released was 85,000 kcal.

2. In daytime, the fans of the heat storage units were operated to store heat when the inside air temperature was above 22°C. At night, the fans were operated to radiate the heat of PCM, when the

inside air temperature was below the set point (12°C for 17:00-21:00, 11°C for 21:00-23:00 and 8°C for 23:00-8:00). During 17:00-21:00 and 21:00-23:00, the inside air temperature was certainly maintained above the set point, and during 23:00-5:00 it was kept the set point except a few days. But during 5:00-8:00 the temperature could not be maintained the set point, when the outside air temperature declined sharply. Therefore at this time period hot air heating operated frequently.

3. The maximum inside-outside air temperature difference was maintained at 10°C-13°C.

4. The coefficient of oil reduction was over 70%.

5. The maximum amount of stored heat into the PCM and radiated heat from the PCM was both of 86,000kcal on fine days. The thermal effectiveness of heat storage unit amounted to 100%. The PCMs was melted almost equally in the heat storage boxes.

6. Relative humidity in greenhouse was over 80% in daytime and 97-100% at night.

7. CO₂ concentration in greenhouse was maintained 450-500ppm at night but felled to 50ppm in tightly-closed greenhouse in daytime.

8. Yield of tomato was about 4kg per plant.