

■ 技術報告 ■

芒硝系蓄熱材を利用した温室暖房

Greenhouse Heating Using Glauber's Salt-Based Thermal Energy Storage Materials

竹田 武司*・工藤 康夫**・町田 育彦***

Takeshi Takeda, Yasuo Kudoh, Yasuhiko Machida

1. ま え が き

潜熱蓄熱材の研究がはじめられてから数十年の歳月が経過した。太陽熱の有効利用，エネルギーの効率的利用を目的としたこの研究の歴史は，必ずしも実りの多いものとはいえず，材料特性面での解決すべき種々の問題の他に，トータルシステムとしての経済的課題がたえず実用化への大きな障壁として立ちふさがってきた。この様な歴史の中で，最近再び潜熱蓄熱材の研究が活気を帯びてきている。その最大の理由は，施設園芸をはじめとするいくつかの分野にかなりの確度で適用できる見通しが得られたことによるものである。

わが国には，約35,000ヘクタール(約1億坪)の温室(ガラス，ビニル)があり，その約40%が暖房機器を保有し¹⁾，これによる石油消費量は年間約150万klに達する。これまでの度重なる石油ショックを契機として，石油にかわるエネルギーとして太陽熱の利用に関する研究が急速に進められつつある。太陽エネルギーは，クリーンで無尽蔵である反面，密度が低く間欠的であるという特徴をもつ。したがって，一般の太陽熱利用システムでは，「集熱」と「蓄熱」が不可欠の要素となるが，太陽熱を利用した温室暖房システムでは，温室そのものが集熱機能をもつため，コストアップの要因となる集熱器(ソーラコレクター)を必要としないという大きな利点がある。このシステムでは，昼間の温室内の高温空気の熱を夜間の暖房に使用するまで蓄えておくだけでよいため，比較的実用化されやすく，蓄熱材として土や水を利用したシステムが，現在約47ヘクタールの温室に普及しはじめて¹⁾いる。

土や水の温度上昇を利用して熱を蓄える顕熱蓄熱方式にくらべ，物質の融解や転移などの相変化を利用し

た潜熱蓄熱方式では，体積あたりの蓄熱量を顕熱蓄熱方式のそれに比べ大巾に大きくできることや，相変化を行う小さな温度領域で大きな熱量の出し入れができるといった特長がある。したがって，装置の小型化，設置の容易性，大がかりな工事を必要としないなど実用上すぐれた利点が発揮される。

潜熱蓄熱材を用いた温室暖房の研究は，わが国では高倉，仁科によって先鞭がつけられた²⁾。実用的なシステムとしては，空気集熱方式が主体とならざるを得ないが，温室内の空気温度の上限が作物管理の面から28~30℃に設定されるため，20℃前後で相変化し，安価で，安定した特性を示す潜熱蓄熱材の開発の必要性が指摘された³⁾。

筆者らは，硫酸ナトリウム10水塩($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，芒硝)を主材とした蓄熱材の研究を進め，温室暖房に適した新しい組成をもつ材料の開発と，それらを用いた蓄熱装置の試作を行い，公的機関での実証実験に供した。本稿では，材料開発に主体をおき，その概要を述べる。

2. 芒硝の問題点と対策

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ は，32℃に融点をもつ有名な潜熱蓄熱材であるが，実用化には以下の問題を解決する必要があった。すなわち， $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ は非調和融解を示し，融解時に解放された水に Na_2SO_4 が完全には溶解せず一部(約15重量%)の Na_2SO_4 が沈澱し相分離をおこす。また，融解・凝固(蓄・放熱)のくり返しと共に次第に Na_2SO_4 の結晶粒が成長する。相分離や， Na_2SO_4 の結晶粒成長が発生すると，凝固時の水和反応が遅くなったり，不完全なものになったりするため，回収可能な熱量が低下し，蓄熱特性が劣化する⁴⁾。この問題の解決策として，化学量論比以上の水を添加して融解時に Na_2SO_4 を完全に溶解する方法⁵⁾，容器を回転させながら凝固させる方法⁶⁾，融解時の溶液を増粘することによって Na_2SO_4 の沈澱を防ぎ均一に分散

* 松下技術開発研究開発部門主任研究員

〒214 川崎市多摩区東三田3-10-1

** 松下技術開発研究開発部門技師

*** 松下技術開発研究開発部門主任研究員

し⁷⁾、さらに、 Na_2SO_4 の結晶粒成長を抑制するための晶癖変性剤を添加する方法^{8,9)}が提案されているが、前2者は、それぞれ、蓄熱量が約1/2に低下することや、容器回転のためのエネルギーを投入する必要のあることなどの問題があり、実用的には第3の方法が望ましい。

筆者らは、有機高分子の一種である架橋型アクリル酸重合体が、融解時の $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 系をゲル状に増粘し不溶の Na_2SO_4 の沈澱を防止すると共に、融解・凝固のくり返しによる Na_2SO_4 の結晶粒成長の抑制にも効果のあることを見出し、第3の方法による特性劣化の改善に最も有望な添加剤であるとの結論を得た¹⁰⁾。架橋型アクリル酸重合体を添加しない $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 系蓄熱材では、融解・凝固を数10サイクルくり返すと蓄熱量が初期値の25~30%にまで低下するのに対し⁸⁾、2~5重量%添加すると、後述のように、1,000サイクル程度のくり返し後にも初期蓄熱量の90%以上が保持される。このような著しい効果は、線状構造のアクリル酸重合体では得られず、橋かけ構造すなわち3次元の網目構造をもつ場合のみ観測される¹⁰⁾。種々の架橋剤で架橋されたアクリル酸重合体の添加効果についての報告があるが^{11,12)}、本稿で述べる蓄熱材では、その中でも最も効果的である多価アルコールのポリアルケニルポリエテルで架橋されたアクリル酸重合体のナトリウム塩が使用された。架橋型アクリル酸重合体以外の増粘剤として、たとえば、アタパルガイト型粘土⁷⁾を使用した場合には、 Na_2SO_4 の結晶粒成長によって100サイクル程度のくり返しで蓄熱量は50%程度に低下する⁸⁾。筆者らはオレイン酸ナトリウム($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COONa}$)が⁹⁾、また、S. Marksはヘキサメタリン酸ナトリウム($(\text{NaPO}_3)_6$)が⁸⁾、 Na_2SO_4 の結晶粒成長の抑制に効果のあることを見出し、増粘剤と併用することによって架橋型アクリル酸重合体を用いた場合にかなり近い特性を得ている⁸⁾。

以上の方法によって、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ の特性劣化は実用上殆んど問題のない程度にまで改善されるが、実際に温室暖房に適用するには、その融点 32°C を低下させ前述の様に 20°C 前後に制御する必要がある。この目的のために、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と種々の物質の共融混合物系の検討を進め、炭酸ナトリウム10水塩($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)との混合系、ひきつぎ、尿素($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)との混合系を開発した。以下に、これら新しい組成をもつ蓄熱材の特性とそれらを用いた温室暖房の実証実験について述べる。

3. 開発した蓄熱材と実証実験

3.1 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 系

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ は、約 32°C で結晶水の一部を解離して10水塩から7水塩に、さらに約 35°C で1水塩に変化する潜熱蓄熱材の1種である。 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ とこの物質の混合系での蓄熱特性を以下に述べる。

試料の作成は、蓄熱主材である Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 と所定量の水に、過冷却防止剤(ホウ砂、 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)と増粘剤(架橋型アクリル酸重合体)を蓄熱主材100重量部に対し、それぞれ、3重量部と2~3重量部添加し、高速回転ミキサーで混練して行った。融解・凝固プロファイルの測定は、試料約30gを密閉型ポリエチレン容器に入れ、中心部に熱電対を挿入して水槽内に入れ、水温を変化させて行った。蓄熱量(融解潜熱)の測定は、DSC(示差走査熱量計)、および、断熱型熱量計を用いて行ったが、両者での測定結果はよい一致を示した。特性劣化の評価は、試料をアルミラミネートポリエチレンのフィルム容器(フィルム厚約0.1mm)に封入し、3~4回/日の割合で空気中で融解・凝固させ、一定のサイクル後に試料を取り出し蓄熱量を測定することによって行った。アルミラミネートされたフィルムを使用したのは、長期間にわたって水分の透過を防止するためである。

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 擬2元系の状態図を図-1に示す。モル比で0.4:0.6付近に融点約 25°C

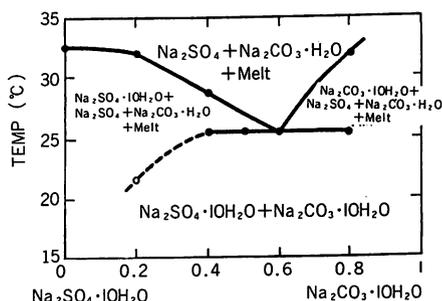


図-1 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 擬2元系状態図(横軸は $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ のモル分率)

をもつ共融混合物が得られ、融解潜熱は約 45cal/g である。この融点は、温室暖房用としては若干高過ぎるため、塩化ナトリウム(NaCl)を添加してさらに低融点化をはかった。 NaCl の添加量と共に融点は低下するが、融解潜熱も小さくなるため、 $0.45\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.45\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.1\text{NaCl}$ (モル比で0.45:0.45:0.1の混合物)が実証実験で使用された。融解

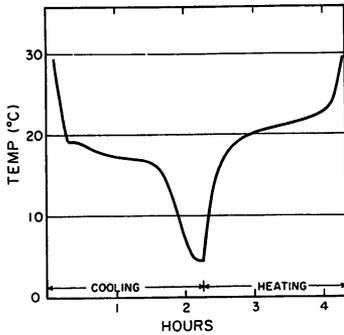


図-2 融解・凝固のプロファイル
($0.45\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.45\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.1\text{NaCl}$)

・凝固のプロファイルを図-2に示すが、融解は19~20°Cからはじまり23~24°Cで完了し、凝固は18~19°Cからはじまり16~17°Cで完了する。融解潜熱は約40cal/gであり、試料が完全に融解した時の蓄熱量(顕熱分は含まず)に相当する。実際の温室では、日照条件によって蓄熱材が完全には融解しない日も相当数あると予想されるが、この様な日の蓄熱量を見定めるための基礎データを図-3に示す。横軸は試料到達温度、縦軸は到

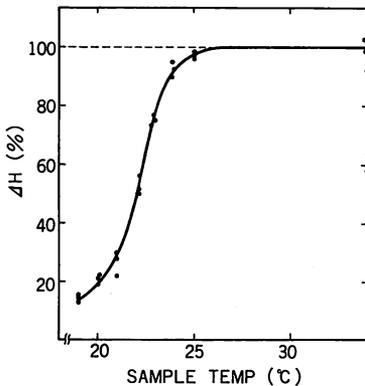


図-3 試料到達温度と $\Delta H(\%)$
($0.45\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.45\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.1\text{NaCl}$)

達温度における潜熱量の完全に融解した時の潜熱量に対する割合($\Delta H(\%)$)である。たとえば、試料が22°Cまで到達した時の $\Delta H(\%)$ は約50%であり、融解潜熱として約20cal/g蓄熱したことになる。

融解・凝固をくり返した時の融解潜熱の変化を図-4に示すが、1,000サイクルのくり返し後でも低下率は10%以内であり安定した特性が得られた。年間冬期の3ヶ間余り1サイクル/日で稼働されるものとして、1,000サイクルは約10年に相当する。

3.2 第1次実証実験(1982年12月~1983年3月)

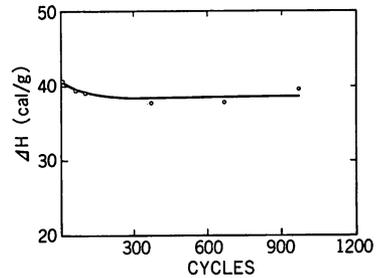


図-4 融解・凝固のくり返しに対する融解潜熱の変化
($0.45\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.45\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.1\text{NaCl}$)

3.1で述べた蓄熱材を用いた蓄熱装置を試作し、神奈川県園芸試験場のガラス温室(床面積 $A_g = 352\text{m}^2$, 表面積 $A_s = 560\text{m}^2$, 保温カーテンあり)と三重県農業技術センターのビニル温室($A_g = 45\text{m}^2$, $A_s = 98\text{m}^2$, 保温カーテンあり)での実証実験に供した。供試作物は、いずれもトマトである。

それぞれの温室に設置すべき蓄熱材の量の概算を以下の如く行った。温室内から外へ逃げる時間当りの貫流熱量を q_t (kcal/h)、温室内へ地中から供給される時間当りの地中伝熱量を q_{so} (kcal/h)とすると、蓄熱材から温室内へ供給すべき時間当りの熱量 q (kcal/h)は

$$q = q_t - q_{so} \quad (1)$$

$$q_t = k_t \cdot (1 - f_r) \cdot A_s \cdot (\theta_{in} - \theta_{out}) \quad (2)$$

$$q_{so} = B_{so} \cdot A_g \quad (3)$$

である。ここで、 k_t : 熱貫流率(kcal/m²·h·°C)、 f_r : 保温カーテンによる熱節減率、 θ_{in} : 室内設定温度(°C)、 θ_{out} : 外気温(°C)、 B_{so} : 地中伝熱量(kcal/m²·h)である。 k_t はガラスで5.0kcal/m²·h·°C、ビニルで5.5kcal/m²·h·°C、 f_r は2層カーテンの場合0.45とされている¹³⁾いま、内外温度差($\theta_{in} - \theta_{out}$)を10°Cとすると、 B_{so} は15kcal/m²·hとなり¹³⁾、夜間の暖房時間を10時間とすると、蓄熱材から供給すべき熱量は、それぞれの温室で、101,200kcal、22,900kcalとなる。蓄熱材の最大蓄熱能力を潜熱40cal/g、顕熱5cal/g(比熱0.5cal/g·°C、温度差10°Cで使用するとした)の合計45cal/gとすると、蓄熱材の必要量はガラス温室で2,249kg、ビニル温室で509kgとなる。これをもとに、それぞれの温室に2,500kgと500kgを設置した。

蓄熱装置は、巾61cm、長さ90cmのトレイ上にアルミラミネートポリエチレンのフィルム容器に厚さ約2cmで充填封止された蓄熱材を12.5kg配置し、空気流路として1.5cmの間隔をあけて積層し、空気流通方向にも複数個配列し、一端に送風ファンを取付けた構造とした

(積層構造)。ガラス温室にはトレイ 100 枚から成る蓄熱装置(巾61cm, 長さ500cm, 高さ90cm, ファン400W)を2台, ビニル温室にはトレイ40枚から成る蓄熱装置(巾61cm, 長さ300cm, 高さ70cm, ファン200W)を1台設置した。風量は, それぞれ, 144 m³/min(72 m³/min × 2台)と75 m³/minであった。

昼間温室室内気温が22℃以上になるとファンを動作して蓄熱運転が行われ, 夜間は室内気温が設定温度(ガラス温室では12℃→11℃→8℃の変温管理, ビニル温室では8℃の恒温管理)に低下すると再びファンを動作して放熱運転が行われた。第1次実証実験の期間中, ガラス温室では最低外気温が-6℃にまで低下した日をのぞいて室内最低気温はほぼ8℃に保持された¹⁴⁾。

蓄熱装置が動作した日の蓄・放熱量の平均値は40,000~60,000 kcal, 最大値は70,000~75,000 kcalであり, 蓄熱装置全体の最大能力を115,000 kcal(45 kcal/kg × 2,500 kg)とすると, 蓄熱装置の有効利用率は平均約45%, 最大70%弱となる。本期間中は暖冬であったため, 夜間の放熱量が少なく, そのために翌日蓄熱される熱量も少なかったことも有効利用率を低下せしめる原因と考えられるが, 蓄熱材の最高到達温度も22.0~22.5℃の日が多く, 完全に融解したと判断される日は殆んどなかった。暖房実験の詳細は文献(15)を参照されたい。一方, ビニル温室では, 蓄熱材の最高到達温度はガラス温室の場合にくらべ1℃程度低く, 平均有効利用率は30%程度であり, ガラス温室における程の暖房効果が得られず, 設定温度を保持できない日が多数あった。以上の結果から, 蓄熱装置の有効利用率を向上させることが必要で, そのためには蓄熱材の融点をさらに1~2℃低下させることが望ましいと結論された。

昼間の温室内空気は高温多湿であり, 蓄熱時には蓄熱材と熱交換して温度の下がった空気は露点以下となるため, 蓄熱材表面に水分が凝縮し, 夜間には逆に蒸発する。図-3から求めた蓄・放熱量の値と, 蓄熱装置の出入口の空気温度差, 風量, 空気比熱, ファン動作時間から求めた蓄・放熱量の値を比較すると, 前者が後者の約2倍となり, この差が水分の移動による熱輸送と考えられ¹⁴⁾, この水分の量が60~70ℓに達する日が相当数ある。夜間蓄熱装置から運び出された水蒸気が温室内の作物の葉面に結露すると病気発生の原因となるおそれがあるため, 昼間凝縮した水を排水し, 夜間再蒸発しない様に蓄熱装置の構造にも改良を加える必要がある。

以上の結果をもとに, 第2次実証実験用の蓄熱材,

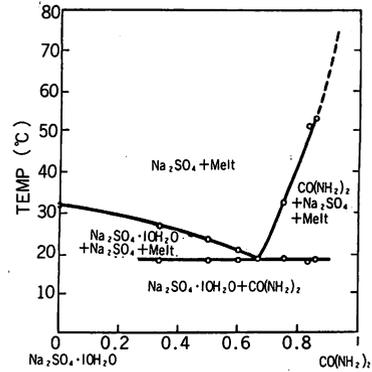


図-5 Na₂SO₄·10H₂O—CO(NH₂)₂擬二元系状態図 (横軸はCO(NH₂)₂のモル分率)

蓄熱装置の検討を行った。

3.3 Na₂SO₄·10H₂O—CO(NH₂)₂系

Na₂SO₄·10H₂OとCO(NH₂)₂の混合系では, 図-5に示される様に0.33:0.67付近のモル比で融点約18℃の共融混合物が得られる¹⁶⁾。凝固点は約13℃である。この組成物を用いた場合, 恒温管理での8℃設定に対応することは可能であるが, 変温管理での12℃あるいは11℃に対応することが困難と推測される。したがって, 第2次実証実験には, Na₂SO₄·10H₂OとCO(NH₂)₂を0.4:0.6のモル比で混合した材料を用いた。融解・凝固のプロファイルを図-6に示すが, 融解時には17~18

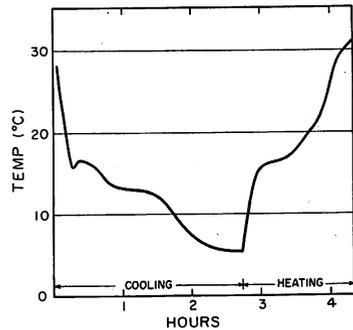


図-6 融解・凝固のプロファイル (0.4Na₂SO₄·10H₂O—0.6CO(NH₂)₂)

℃と21~22℃に平坦部が, 凝固時には17℃付近と13℃付近に平坦部が観測される。この組成物を用いた場合, 凝固時の17℃付近での放熱で温室内を12℃程度に保持することが可能となる。CO(NH₂)₂の混合量をさらに減少した。たとえば, 0.5:0.5のモル比の混合物では図-5にも示される様に融解完了温度が25℃程度と, 前述の混合物(0.4:0.6)の21~22℃より高くなるため望ましくない。図-7に, 試料到達温度とΔH(%)の関

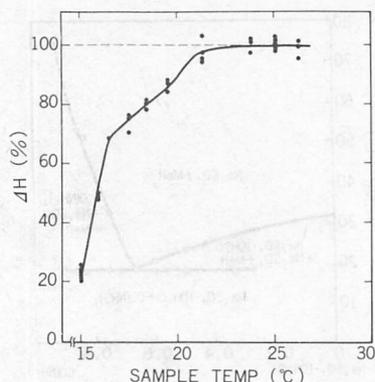


図-7 試料到達温度と ΔH (%)
($0.4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.6\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

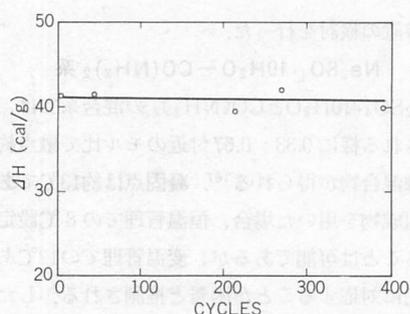


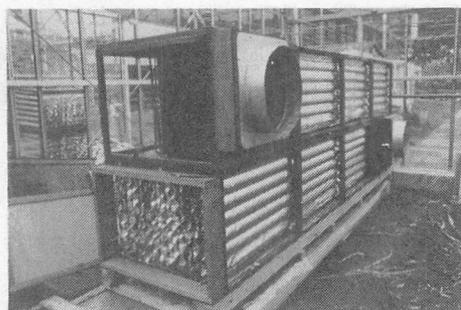
図-8 融解・凝固のくり返しに対する融解潜熱の
変化 ($0.4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 0.6\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

係を示すが、試料到達温度が 20°C でも ΔH (%)は約90%に達する。融解潜熱の初期値は約 40cal/g であり、融解・凝固のくり返しによる変化を図-8に示す。くり返し実験は現在も続行中であるが、500サイクル程度のくり返しでは殆んど変化を示さない。

3.4 第2次実証実験 (1983年12月~1984年3月)

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ を0.4:0.6のモル比で混合した蓄熱材を3.1で述べたと同様の方法で作成し、神奈川県園芸試験場のガラス温室(第1次実証実験のものと同じ)と三重県農業技術センターのビニル温室($A_g=98\text{m}^2$, $A_s=192\text{m}^2$, 保温カーテンあり)での第2次実証実験に供した。それぞれの温室に設置された蓄熱材の量は、 $1,800\text{kg}$ と 900kg であり、概算必要量より少ないが、熱量の不足分は補助暖房機より賄うこととした。

蓄熱装置は、蓄熱時に凝縮する水を排除するために吊下げ構造を採用した。すなわち、蓄熱材 7.5kg をキルティング状にしたアルミラミネートのポリエチレンフィルム容器(巾 58cm , 長さ 86cm)に封入し、 4cm 間隔で20枚吊したものを空気流通方向に3つ並べ、一端



写1 第2次実証実験用の蓄熱装置(吊下構造)

に送風ファン(200W)を取り付けて蓄熱装置(巾 86cm , 長さ 360cm , 高さ 62cm)を構成した。この装置を上下に2個積み重ねたもの(写1参照)をガラス温室には2台、ビニル温室には1台設置した。全風量は、ガラス温室で $192\text{m}^3/\text{min}$ (50Hz)、ビニル温室で $130\text{m}^3/\text{min}$ (60Hz)であった。

ガラス温室での暖房実験の結果は、文献(17)に報告されているが、外気温が -2°C 程度にまで低下した日でも昼間の蓄熱材到達温度が $21\sim 22^\circ\text{C}$ であれば、補助暖房なしに蓄熱装置のみで暖房が賄えた。今冬は例年のない厳冬であったが、期間を通しての節油率は75%程度と見積られた。蓄熱装置の有効利用率も平均で75%、最大100%と第1次実証実験に比べ大巾に向上した。一方、ビニル温室でも、晴天日には最低外気温が -2°C 以上の時には設定温度(8°C)を保持することができ¹⁸⁾、ガラス温室とはほぼ同等の暖房効果を得ることが可能であった。なお、排水量をガラス温室で測定したところ、最大約 30l であった。

4. むすび

温室暖房用として、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と NaCl を0.45:0.45:0.1のモル比で混合した潜熱蓄熱材と、 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ と $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ を0.4:0.6のモル比で混合した潜熱蓄熱材を開発し、それぞれを用いた蓄熱装置(積層構造と吊下構造の2種)を試作し実証実験に供した。前者は約 24°C で融解が完了するため、蓄熱装置の有効利用率が、とくに太陽光の透過率の低いビニル温室で小さく、実用的には約 22°C で融解が完了する後者を用いる方が望ましい。この材料を床面積 352m^2 (2層カーテン)のガラス温室に $1,800\text{kg}$ 設置した実験では、節油率約75%が得られた。融解・凝固(蓄・放熱)のくり返しによる特性劣化は、増粘剤として架橋型アクリル酸重合体を用いることによって実用上殆んど問題のない程度にまで改善された。残された

問題としては、融点と凝固点の差(現状では4~5℃)をできるだけ小さくすることがある。たとえば、20℃で融解が完了し、20℃で凝固も完了する材料が開発されれば適用作物の種類が大巾に拡大されるものと思われる。

潜熱蓄熱材の実用化は、ようやくテイクオフをはじめた感がある。本稿で述べた施設園芸における太陽熱暖房機器や、深夜電力を利用した冷・暖房機器などの分野でいくつかの商品が出始めている。これを契機として、材料開発、システム開発に一層のはずみのつくことを期待したい。

本研究の遂行にあたり、東大農学部高倉教授と仁科助手には終始適切な御指導と有益な御討議を賜わった。なお、本実証実験は、神奈川県園芸試験場と三重県農業技術センターで、昭和56年度からそれぞれ5ケ年と3ケ年の計画で進められている「潜熱蓄熱方式による施設暖房試験」と「潜熱蓄熱資材による暖房とトマトの生育」の一環として独自に遂行されたものであり、関係各位には多大な御協力と御指導を賜わった。こゝに深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本施設園芸協会; 施設と園芸 No.39, '82/11, 80~85
- 2) Tadashi Takakura, Hiroshige Nishina; A Solar Greenhouse with Phase Change Energy Storage and a Microcomputer Control System, Acta Horticulturae 115, (1981), 583~590
- 3) 仁科弘重, 高倉直; 潜熱蓄熱方式による太陽熱暖房温室に関する研究(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巻(1983) 201~211
- 4) Stephen Marks; An Investigation of the Thermal Energy Storage Capacity of Glauber's Salt with Respect to Thermal Cycling, Solar Energy Vol.25 (1980) 255~258
- 5) Dipak R. Biswas; Thermal Energy Storage using Sodium Sulfate Decahydrate and Water, Solar Energy Vol.19, (1977) 99~100
- 6) Carlyes Herrick; A Rolling Cylinder Latent Heat Storage Device for Solar Heating/Cooling, ASHRAE Transactions, Vol.85, Part 1, (1979) 512~515
- 7) Maria Telkes; Thixotropic Mixture and Method of Making Same, U.S.Pat No.3,986,969, 19 Oct. 1976
- 8) Stephen Marks; The Effect of Crystal Size on the Thermal Energy Storage Capacity of Thickened Glauber's Salt, Solar Energy, Vol.30 (1983) 45~49
- 9) 町田育彦, 竹田武司, 工藤康夫; 蓄熱材, 特開昭57-200482

- 10) 工藤康夫, 竹田武司, 町田育彦, 吉村進; 蓄熱材 特開昭57-153077
- 11) ピーター・ジョン・チャールズ・ケント, ジョン・ケニス・ルーリック・ベイジ; 熱エネルギー貯蔵材料, 特公昭57-30873, ; 蓄熱エネルギー材料, 特公昭57-48027
- 12) 金森耕造, 落合周一郎, 田中利喜蔵, 三井原彬; 蓄熱材組成物, 特開昭57-31981
- 13) 三原義秋編著; 温室暖房の基礎と実際(1983), 養賢堂
- 14) 町田育彦, 池谷和俊, 工藤康夫, 竹田武司, 仁科弘重, 高倉直, 佐々木皓二, 板木利隆; 温室用潜熱蓄熱材の開発および実証実験, 日本太陽エネルギー学会講演論文集(1983) 49~52
- 15) 佐々木皓二, 高橋基, 板木利隆; 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), 神奈川県園芸試験場研究報告 第30号(1983) 46~53
- 16) 工藤康夫, 町田育彦, 竹田武司; 芒硝-尿素系共融混合物の蓄熱特性, 日本化学会講演予稿集 I (1984) 287
- 17) 仁科弘重, 高倉直, 佐々木皓二, 板木利隆; 低融点潜熱蓄熱材を開いた太陽熱温室暖房, 日本農業気象学会全国大会講演予稿集(1984) 121~122
- 18) 西口郁夫; 私情

