

# 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2報）

— 簡易放熱器の性能試験 —

中村 宏<sup>\*</sup>・望月正之・平岡達也

Studies on Solar Green House Heated by Means  
of an External Collection System (No. 2)

Performance Test for Simple Radiators

Hiroshi NAKAMURA, Masayuki MOCHIZUKI and  
Tatsuya HIRAOKA

## I 緒 言

“石油危機”以後、農業生産においても、資材の高騰など、深刻な問題となっている。なかでも、施設園芸では、その影響が大きく、とくに暖房用燃料の高騰が著しく、将来にかけて代替エネルギーの開発が望まれている。

施設夜間暖房のための太陽熱利用は、種々の方法が各地で試みられているが、<sup>1,4)</sup>施設内で集熱する地中熱交換方式ではかなりの効果を上げ、普及がはかられている。<sup>2,3)</sup>

これに対し、外部集熱方式は、他産業や家庭用では、すでに実用化の段階に入っているが、農業用としては、経済性に問題が多く、また、基礎的なデータも不足している現状にある。

当所においては1979年より、施設栽培で、外部集熱方式による太陽熱利用法を研究してきた。その一環として、外部集熱した比較的低温の湯湯を有効利用するための放熱方法を検討し、農業用として試作された簡易な放熱器の性能について調査した。

なお、試験実施にあたり、三信整熱工業KKの協力を得たことを記し、感謝の意を表する次第である。

## II 試験方法

### 1. 簡易放熱器の性能比較

農業用として試作された簡易放熱器3機種と市販

の放熱器1機種について、それぞれの性能を調査し、実用化の可能性を検討した。

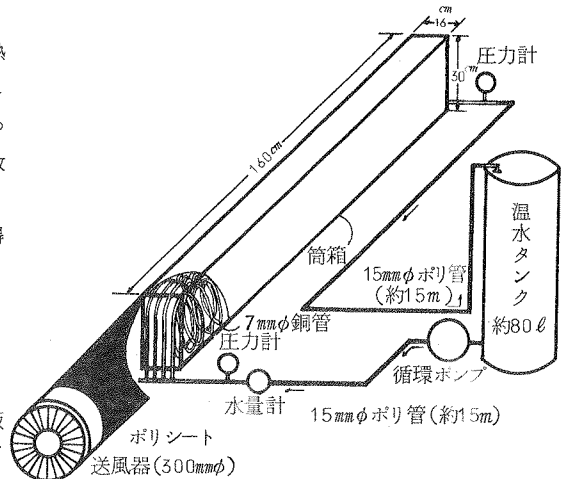
#### (1) 試験期日

昭和55年4月9日~15日

#### (2) 供試放熱器

ア. 銅管放熱器（三信整熱工業KK・試作）：内径7mmφ（外径8mmφ）の銅管25m4本（合計100m）を36cm×16cm×160cmの筒箱（たる木で枠をつくり、厚手のポリシートを張りつけた筒状の箱）の中に入れたもの。ポンプで湯湯を銅管に循環させ、筒箱に送風し（送風機300mmφ、100V/400W）、放熱させる（第1図）。

#### 1. 15mmφポリ管放熱器（三信整熱工業KK・試作）



第1図 銅管放熱器模式図

\* 現農業大学校

：内径15mmφ（外径17mmφ）のポリエチレン管150mを45cm×16cm×300cmの筒箱の中に入れたもの。

ウ、13mmφポリ管放熱器（三信整熱工業KK・試作）

：内径13mmφ（外径15mmφ）のポリエチレン管150mを筒箱（イと同じ大きさ）に入れたもの。

エ、ユニットヒーター（暖房工業KK,UH300H）：市販のもの、送風器100V/71W,風量25m<sup>3</sup>。

### (3) 測定法

循環型温湯暖房機用の温水ボイラー（温湯量約80ℓ）を使用し、初期設定温度になるまで沸かしてから消火し、調査を始めた。

各放熱器とも、昼間（気温14～20℃）、初期水温60℃前後で放熱状況を調査した。このうち、実用化の可能性の強い銅管放熱器と15mmφポリ管放熱器については、夜間、ガラス室内（気温10℃前後）で、水温45℃以下での放熱性能を2～4反復調査した。

放熱量は、放熱器の入口と出口の水温差と循環水量より算出した。

温度測定は銅-コンスタンタン熱電対またはサーミスタ温度計を使用した。管内の水温測定は、熱電対を注射針に埋め込み、直接測定した。

循環水量は、デジタル式水量計（KIMMON KWP15）を使用した。試験にあたり、温度ごとの精度を検査し、それぞれの測定値を修正した。

風量の測定はアネモマスター（日本科学工業KK）を使用した。筒箱内の管の状態により、吐出口に風速むらが生じるため、吐出口部の12ヶ所の風速を測定し、平均風速を求めて風量を算出した。

## 2. 銅管放熱器Ⅱ型の性能試験

実用規模を想定した大型放熱器＝銅管放熱器Ⅱ型を供試し、循環水量と放熱量、送風量と放熱量について調査し、実用化を検討した。

### (1) 試験期日

昭和56年3月～4月

### (2) 供試放熱器

銅管放熱器Ⅱ型：内径7mmφ（外径8mmφ）の銅管17m15本（合計250m）を52cm×27cm×160cmの鉄板製の筒箱に入れたもの。

### (3) 測定法

外部集熱された温湯7.5tonを循環させて、放熱状況を調査し、その性能を検討した。

循環水量と放熱量：送風量を49.5m<sup>3</sup>/分と一定にし、循環水量を、10ℓ/分、15ℓ/分、20ℓ/分、25ℓ/分、30ℓ/分の5段階に設定した。

送風量と放熱量：循環水量を30ℓ/分と一定にし、送風量を、少量＝26.3m<sup>3</sup>/分（温風暖房機＝ネポンハウスカオンキHK-301型の4本のダクトのうち1本を使用）、中量＝49.5m<sup>3</sup>/分（同上の2本を使用）、多量＝55.7m<sup>3</sup>/分（専用の送風機＝300mmφ、100V/400Wを使用）

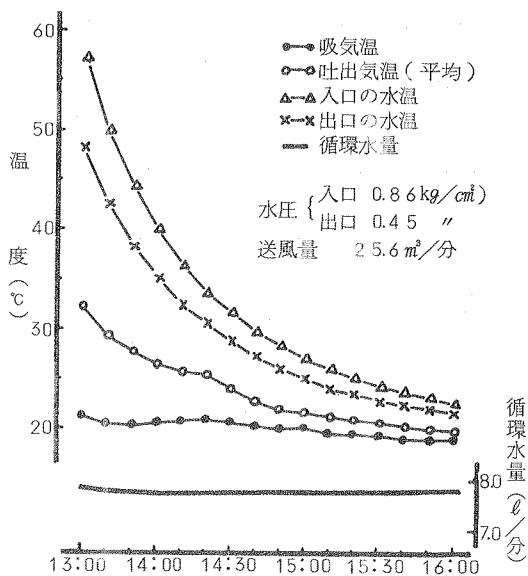
なお、温度等の測定法については、前試験に準じた。

## Ⅲ 試験結果

### 1. 簡易放熱器の性能比較

循環させる水温と気温（送風気温）の差（水-気温差）が40℃以下のときの放熱性能を知るため、昼間の実験では、初期水温を60℃前後、夜間の実験では45℃前後とした。

昼間の調査結果は第2～5図のとおりである。各放熱器とも、同一の循環ポンプを使用した。放熱器（管）の内部抵抗に差があり、循環水量はかなりの違いがみられた。ポリ管放熱器では、水温が高いときには、管の膨張により、循環水量はかなり多くなり、30℃より下がるとほぼ一定となる。13mmφポリ管放熱器では、管が細いため、抵抗も大きくなり、この傾向は顕著にあらわれた。銅管放熱器とユニットヒーターでも初期の高温時に、循環水量がやや多くなっているが、これは、循環ポンプと放熱器の間をポリ管で接続したため、このポリ管の膨張による影響とみられる。平均循環水量は、ユニットヒーターがもっとも多く10.3ℓ/分であった。銅管放熱器で7.8ℓ/分、15mmφポリ管放熱器で5.7ℓ/分、13mmφポリ管放熱器で4.9ℓ/分であった。



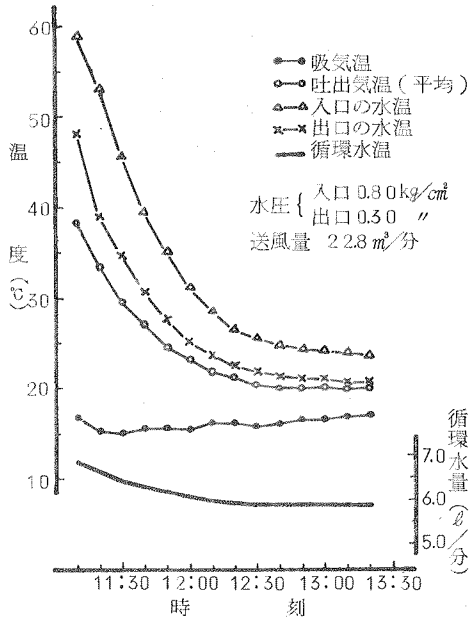
第2図 銅管放熱器調査結果 1980.4.9

銅管放熱器，ポリ管放熱器とも同一の送風器を使用した  
が，ポリ管放熱器では筒箱内のすきまが一定でなく，  
吐出口での風の流れにむらが生じた。とくに，13mmφポリ  
管放熱器では，管のかたよりがひどく，上部のすきま  
部にウレタンをつめ，流量の調節を行った。このため，  
13mmφポリ管放熱器では送風量が少なかった。銅管放熱  
器では流量のむらが比較的少なく，全体の送風量は，ポ

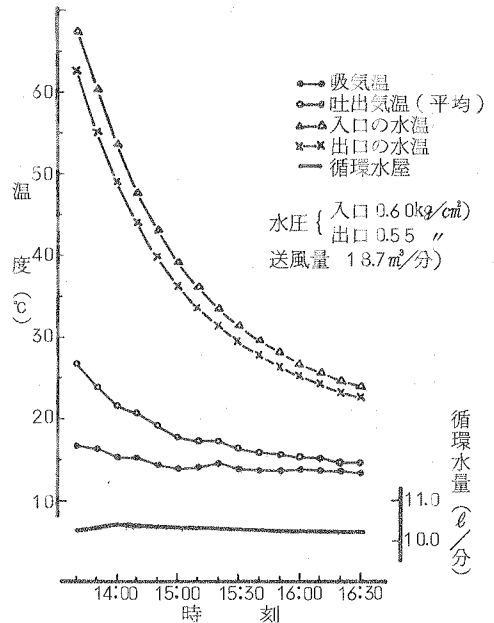
リ管放熱量より多かった。

銅管放熱器と15mmφポリ管放熱器については，実用時  
の条件に近い夜間に，風量を2段階にかえて，反復調査  
を行った。初期水温が45℃前後であるため，ポリ管放熱  
器でも循環水量の変化は少なかった。この結果，銅管放  
熱器と15mmφポリ管放熱器の放熱状況は第6～7図のと  
おりであり，両機種とも，放熱量は循環水温と送風気温  
の差（水-気温差）にほぼ正比例し，送風量が多い方が  
放熱量は多くなる。

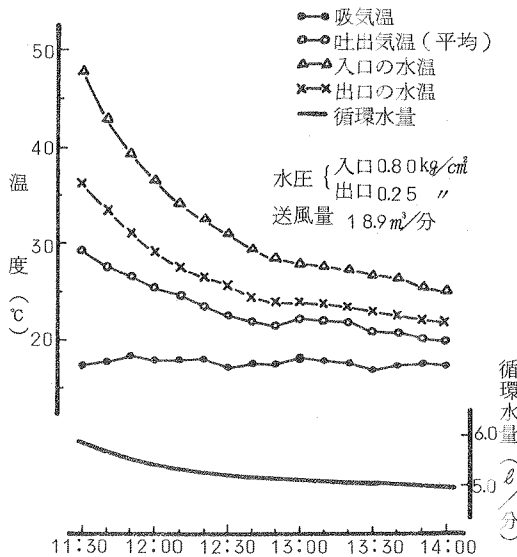
各放熱器の性能をまとめると，それぞれ次式の関係が



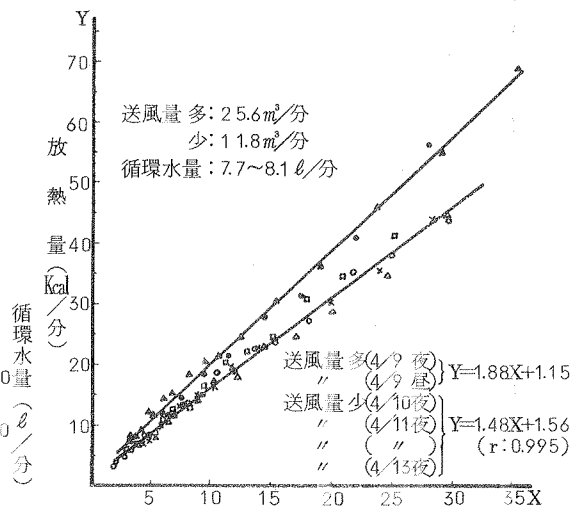
第3図 15mmφポリ管放熱器調査結果 1980.4.10



第5図 ユニットヒーター調査結果 1980.4.10



第4図 13mmφポリ管放熱器調査結果 1980.4.11



第6図 銅管放熱器の放熱性能 1980.4.9～13

成立し、第8図のようになる(ただし、Y:放熱量Kcal/分、X:水-気温差℃)。

銅管放熱器・送風量多区(送風量25.6m<sup>3</sup>/分)

$$Y = 1.88X + 1.15 \quad (r: 0.996)$$

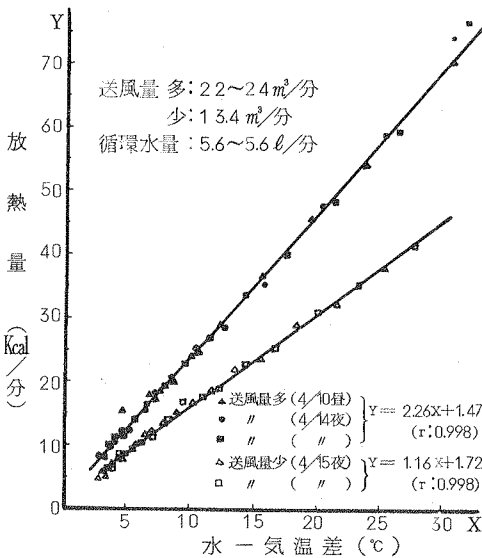
銅管放熱器・送風量少区(送風量12.8m<sup>3</sup>/分)

$$Y = 1.48X + 1.56 \quad (r: 0.995)$$

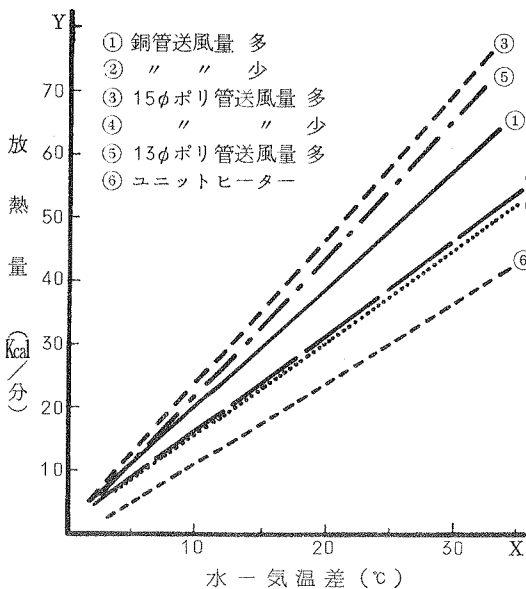
15mmφポリ管放熱器・送風量多区(送風量23~24m<sup>3</sup>/分)

$$Y = 2.26X + 1.48 \quad (r: 0.998)$$

15mmφポリ管放熱器・送風量少区(送風量13.4m<sup>3</sup>/分)



第7図 15mmφポリ管放熱器の放熱性能 1980.4.10~15



第8図 簡易放熱器の放熱性能まとめ

$$Y = 1.46X + 1.73 \quad (r: 0.998)$$

13mmφポリ管放熱器(送風量18.9m<sup>3</sup>/分)

$$Y = 2.21X - 0.44 \quad (r: 0.999)$$

ユニットヒーター(送風量18.7m<sup>3</sup>/分)

$$Y = 1.29X - 1.94 \quad (r: 0.994)$$

以上のように、機種別に見ると、送風量多区の15mmφポリ管放熱器が放熱量がもっとも多く、水-気温差30℃のとき、放熱量は69.3Kcal/分、20℃で46.7Kcal/分、10℃で24.1Kcal/分であった。銅管放熱器は、これよりやや低く、30℃のとき57.6Kcal/分、20℃で38.8Kcal/分、10℃で20.0Kcal/分であった。

### 2. 銅管放熱器Ⅱ型の性能試験

銅管放熱器Ⅱ型の調査結果は第9図のとおりである。前試験同様、放熱量は水-気温差にはほぼ正比例した。

循環水量と放熱量の関係は第10図のとおりである。送風量を一定(49.5m<sup>3</sup>/分)とし、循環水量を5段階にかけて調査したが、循環水量が10ℓ/分から15ℓ/分が増すと、どの水-気温差でも、放熱量は増える。しかし循環水量が15ℓ/分以上となっても、放熱量はあまり増加しなかった。なお、各流量の放熱量と水-気温差の関係は次式のとおりである(ただし、Y:放熱量Kcal/分、X:水-気温差℃、送風量:49.5m<sup>3</sup>/分)

循環水量10ℓ/分のとき

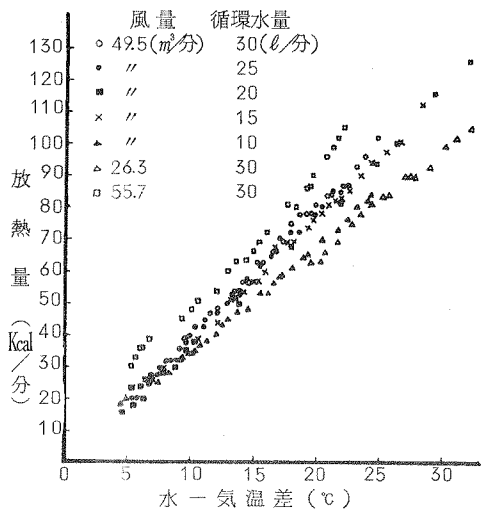
$$Y = 3.31X + 1.76 \quad (r: 0.999)$$

循環水量15ℓ/分のとき

$$Y = 3.85X - 0.15 \quad (r: 0.997)$$

循環水量20ℓ/分のとき

$$Y = 3.90X - 1.22 \quad (r: 0.999)$$



第9図 銅管放熱器Ⅱ型の放熱性能 1981.3~4

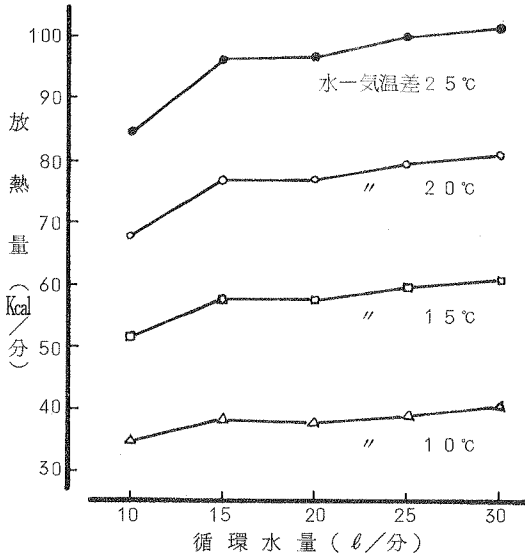
循環水量 25 l/分のとき

$$Y = 4.05 X - 1.46 \quad (r: 0.998)$$

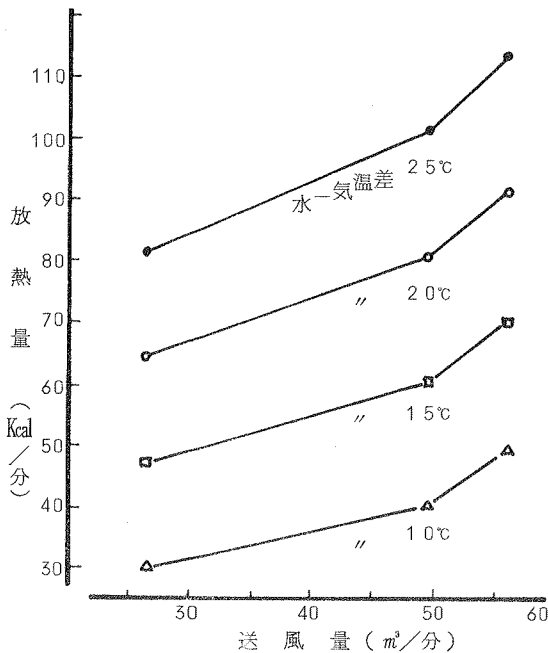
循環水量 30 l/分のとき

$$Y = 4.05 X - 0.28 \quad (r: 0.995)$$

送風量と放熱量の関係は第11図のとおりである。循環水量を30 l/分とし、送風量を3段階にかえて調査した。放熱器入口と出口の気温差は、送風量が多いほど小さいが、放熱量は送風量が多いほど多かった。なお、放熱



第10図 水-気温差別の循環水量と放熱量 1981.3~5



第11図 水-気温差別の送風量と放熱量 1981.3~5

量と水-気温差の関係は次式のとおりである(ただし、Y:放熱量Kcal/分, X:水-気温差°C, 循環水量30 l/分)

少量(26.3 m³/分)のとき

$$Y = 3.41 X - 3.98 \quad (r: 0.994)$$

中量(49.5 m³/分)のとき

$$Y = 4.05 X - 0.28 \quad (r: 0.995)$$

多量(55.7 m³/分)のとき

$$Y = 4.26 X + 6.49 \quad (r: 0.992)$$

#### IV 考 察

##### 1. 簡易放熱器の性能比較

既製の放熱器としては、かなり高価であるが、事務所や作業場の暖房用、エンジン冷却用のラジエーターなど、小型で高性能なものが市販されている。これらは、高温水用のものが多く、比較的低温湯での性能は検討の余地が残されている。また、農業用として使用する場合には、温度較差、湿度、ほこりなど、その環境条件は非常に悪く、耐久性にも問題がありそうである。

農業用としては事例は少ないが、岡野ら<sup>4,5)</sup>によって、性能が高く、汚れに対処しやすい、安価な“水膜式熱交換器”が開発され、効果を上げており、実用化が待たれる。

本報告では、水-気温差が低いときの放熱性能が良く、構造が単純で、安価なものを目標に試験をすすめてきた。

放熱器の性能は循環水温と送風気温の差(水-気温差)、風量、循環水量などの影響を受けるが、本試験では、循環水量を一定に保ち、風量を2段階にかえ、水-気温差と放熱状況を調査した。放熱量は、水-気温差が大きいほど多くなり、第8図に示したように、各機種とも、放熱量は水-気温差にほぼ完全に比例する。

放熱性能を高めるためには、放熱管に熱伝導の良いものを使用し、肉厚を薄くし、その表面積を大きくすれば良い。既製のものでは、熱伝導の良い金属の管の表面を加工し、フィンをつけて、表面積を大きくしているものが多い。しかし、管を加工することは、単価の上昇につながるため、本試験では、市販の丸管をそのまま使用し、管長を長くして表面積の増大をはかった。供試した放熱器には、銅管またはポリ管を使用している。この結果、水-気温差が10~30°Cのときの放熱量は、ポリ管放熱器(15mmφ)の方が、銅管放熱器(7mmφ)より、20~21%多かった(第9図)。しかし、両者の表面積を比較すると、ポリ管放熱器で8.0m<sup>2</sup>(0.017m×3.14×150m)、銅管放熱器で2.5m<sup>2</sup>(0.008m×3.14×100m)となり、前者は後者の3.18倍になる。このように、表面積よりみ

ると、ポリ管放熱器は、銅管放熱器より、放熱性能はかなり悪いと言える。銅管の熱伝導率は非常に高く（0℃で403）、肉厚も薄く（0.5mm）放熱性は良いが、ポリ管は熱伝導率は低く（ポリエチレンの熱伝導率は常温で2.5～3.4である）肉厚も厚い（1mm）ため、放熱性能に差が生じたものと考えられる。

この他、加工上の問題として、ポリ管は接着が難しい欠点がある。したがって、ポリ管使用のときは、複数列に加工することが難しく、単列で試験をすすめた。この場合、13mmφ管では、内部抵抗が大きくなり（150mの圧力損失は0.80→0.25で0.55kg/cm<sup>2</sup>である）、流量が少なくなり、実用性は少ない。同様に、15mmφ管のときも問題が残る。実用規模を想定して、試験年次に最低気温を記録した昭和45年1月22～23日の気温（最低-7.2℃、夜間平均気温-2.7℃）より、太陽熱利用の場合の350m<sup>2</sup>当りの放熱器の必要台数を試算すると、8～10台となる。このときポリ管の長さは1200～1500mとなり、複数列にせざるを得なく、その装置も非常に大きなものとなって、実用上問題が多い。銅管の場合には、加工も比較的容易であり、ポリ管より小型にできる。また、可塑性があり、筒箱内の配置成形も容易に出来るため、風量むらも少なくなる。価格にやや難点があるものの、もっとも実用性が期待できると考えられる。

## 2. 銅管放熱器Ⅱ型の性能試験

前試験結果同様、銅管放熱器Ⅱ型についても、放熱量は、水-気温差にほぼ比例する。銅管放熱器Ⅱ型には、銅管を250m使用してあり、前試験の銅管放熱器の2.5倍にあたる。循環水量および送風量など条件が異なるため、比較は難しいが、銅管放熱器の送風量多区を単純に2.5倍して（送風量=64m<sup>3</sup>/分、循環水量20ℓ/分）比較すると、銅管放熱器Ⅱ型の送風量多（55.7m<sup>3</sup>/分）循環水量30ℓ/分のときと、ほぼ同等の放熱量となる。条件により差異はあると思われるが、銅管を使用した放熱器では、放熱量は銅管の長さ（表面積）に比例するものと考えられる。

循環水量と放熱量の調査では、循環水量を10、15、20、25、30ℓ/分の5段階にかえているが、銅管100m当りに換算すると、それぞれ、4.0、6.0、8.0、10.0、12.0ℓ/分となる。そして4.0→6.0ℓ/分では、放熱量は増加するが、6.0ℓ/分以上では、あまり増加しない。したがって、実用規模段階では、循環水量は、100m当たり、6～8ℓ/分前後でよいものと思われる。

送風量と放熱量の調査では、風量は多いほど放熱量は多くなる。実用化を考えた場合、天候不順が続いたとき

の安全性を考慮して、補助暖房用として、温風暖房機の併設が必要と思われる。暖房機の送風量は機種により異なるが、大型のものでは80～100m<sup>3</sup>である。銅管放熱器Ⅱ型の送風量を50m<sup>3</sup>/分とすると、補助暖房用の送風機で銅管放熱器Ⅱ型2基の併用は可能であり、送風機共用のシステムが有利と考えられる。

以上のように、銅管使用の放熱器は、市販のものと比較して、性能上遜色がなく、安価であり、実用性はあるものと考えられるが、システム設計、経済性については、さらに検討の必要がある。

## V 要 約

### 1. 簡易放熱器の性能比較

農業用として試作された簡易放熱器3機種と既製の放熱器1機種について、放熱性能を調査した。

(1) 各放熱器とも、放熱量は循環水温と送風気温の差（水-気温差）にほぼ比例し、この差が大きいほど放熱量は多くなる。

(2) 送風量を2段階にかえたが、送風量が多いほうが、放熱量は多い。

(3) 各放熱器の放熱量（Y：Kcal/分）と水-気温差（X：℃）との関係は次のとおりである。

#### ア. 銅管放熱器

○ 送風量が多いとき；送風量25.6m<sup>3</sup>/分、循環水量7.8ℓ/分

$$Y = 1.88X + 1.15 \quad (r : 0.9998)$$

○ 送風量が少ないとき；12.8m<sup>3</sup>/分、7.8ℓ/分

$$Y = 1.48X + 1.56 \quad (r : 0.9995)$$

#### イ. 15mmφポリ管放熱器

○ 送風量が多いとき；23～24m<sup>3</sup>/分、5.7ℓ/分

$$Y = 2.26X + 1.48 \quad (r : 0.9998)$$

○ 送風量が少ないとき；13.4m<sup>3</sup>/分、5.7ℓ/分

$$Y = 1.46X + 1.78 \quad (r : 0.9998)$$

#### ウ. 13mmφポリ管放熱器

○ 送風量18.9m<sup>3</sup>/分、循環水量5.3ℓ/分

$$Y = 2.21X - 0.44 \quad (r : 0.9999)$$

#### エ. ユニットヒーター

○ 送風量18.7m<sup>3</sup>/分、循環水量10.3ℓ/分

$$Y = 1.29X - 1.94 \quad (r : 0.9994)$$

(4) 放熱性能のほか、加工の難易、装置の大きさなどから考えて、銅管放熱器の実用性が高い。

### 2. 銅管放熱器Ⅱ型の性能試験

循環水量を5段階、送風量を3段階にかえ、性能試験を行った。

- (1) 前試験同様、放熱量は水-気温差にはほぼ比例した。
- (2) 循環水量が10ℓ/分→15ℓ/分に増すと放熱量は増えるが、15ℓ/分以上になると放熱量の増加は少なかった。
- (3) 送風量が多いほど、放熱量は多くなる。天候不順時の安全対策として、温風暖房機の設置を考えた場合その送風機の共用を前提とすると、送風量は50 m<sup>3</sup>/分前後が適当と考えられる。

## 引用文献

- 1) 岡野利明(1980) 水蓄熱式太陽温室に関する研究  
(1) 電力中央研究所報告 479012
- 2) 佐々木皓二他(1979) 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1報) 神奈川県園試研究報告第26号, 26-34
- 3) ----- (1981) ----- (第2報), 39-49
- 4) 山本雄二郎(1981) 太陽熱利用温室, 農業および園芸, 56(7), 860-866
- 5) 野菜試験場他(1981) 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 野菜試験場62-138

## Summary

### 1. Comparison between performances of simple radiators

We carried out a performance test for four types of simple radiators. Three of them were experimentally made for agricultural use, and the other one was a ready-made radiator.

- (1) Each radiator showed that the amount of radiation is almost proportional to the difference between temperature of circulating water and that of blowed air. Bigger the difference, larger the amount of radiation occurred.
- (2) When the amount of blowed air was changed by two grades, more air was found to turn out for more radiation.
- (3) As to each radiator, the relation between amount of radiation (Y: Kcal/min.) and temperature difference (X: °C) is as follows.

#### a. Copper tube radiator

- (a) In case of increased amount of blowed air :

Amount of blowed air 25.6 m<sup>3</sup>/min, amount of the circulating water 7.8 ℓ/min :

$$Y = 1.88X + 1.15 \quad (r : 0.998)$$

- (b) In case of lower amount of blowed air : 13.8 m<sup>3</sup>/min, 7.8 ℓ/min :

$$Y = 1.48X + 1.56 \quad (r : 0.995)$$

#### b. Polyethylene tube (15 mm φ) radiator

- (a) In case of larger amount of blowed air :

23 - 24 m<sup>3</sup>/min, 5.7 ℓ/min :

$$Y = 2.26X + 1.48 \quad (r : 0.998)$$

- (b) In case of smaller amount of blowed air :

13.4 m<sup>3</sup>/min, 5.7 ℓ/min :

$$Y = 1.46X + 1.73 \quad (r : 0.998)$$

#### c. Polyethylene tube (13 mm φ) radiator

Blowed air, 18.9 m<sup>3</sup>/min and circulating water, 5.3 ℓ/min :

$$Y = 2.21X - 0.44 \quad (r : 0.999)$$

#### d. "Unit heater" (ready-made radiator)

Blowed air, 18.7 m<sup>3</sup>/min and circulating water, 10.3 ℓ/min :

$$Y = 1.29X - 1.94 \quad (r : 0.994)$$

- (4) Considering the relative difficulty in processing and size of the apparatus as well as the performance in radiation, the copper tube radiator is of high utility.

## 2. Performance test for copper tube radiator II

Performance test was carried out by changing circulating water by five grades and that in amount of blowed air by three grades.

- (1) Like the previous test, amount of radiation was almost proportional to the temperature difference between circulating water and blowed air.
- (2) When the amount of circulating water increases from 10  $\ell$ /min to 15  $\ell$ /min, the amount of radiation also increases. But when the amount of circulating water becomes more than 15  $\ell$ /min, the radiation does not increase so much.
- (3) Radiation increases as the amount of blowed air increases. Considering that warm-air heater is to be set as safety measures against bad weather, the suitable amount of blowed air is supposed to be about 50  $m^3$ /min while the fan of warm-air heater will be in operation.