

# 日本生物環境計測学会大会シンポジウム(1981)高知大学 “省エネルギー下の施設園芸”

## 2 施設園芸における省エネ対策

古在 豊樹(十薬大学園芸学部)

### 1. はじめに

1974年以降の石油価格の高騰にもかかわらず、我が国の施設園芸面積は、図1に示すように、依然として増大傾向を維持している。この増大傾向は、次の3つの理由により支えられていると考えられる。すなわち、国民の‘温室作物’に対する根強い需要、第2に、園芸農家の労力周年均等化への努力、第3に、官民による省エネ対策努力である。

1980年における我が国温室総面積30,119haのうち、暖房面積は13,217haを占め、暖房用年間石油使用量は約130万ℓであると言われている。表1は、作物別の施設面積、暖房面積、石油使用量を示したものである。我が国全体の年間総石油使用量は約2億6千万ℓであるから、温室暖房用石油は、わずかにその0.5%を占めるにすぎないが、施設園芸経営の立場からみると、キュウリ、ナス、ピーマン、カーネーションなどの越冬栽培において、暖房用重油代は、全生産費の10~40%を占めると言われる。したがって、効率的な暖房および保温は、全作物生産費の低減に少なからず寄与し得ると期待できる。翻えて、太陽エネルギーの利用は、施設園芸の本米の姿をとり戻させる栽培法であるとも言い得る。

### 2. 省エネに対する諸対策概観

施設園芸における省エネ対策として内外で検討、または、実施されている諸方策を暖房費削減という観点からまとめたのが表2である。同表に示す様に、諸方策は、(1)室温低減、(2)放熱抑制、(3)暖房効率向上、(4)代替熱源利用、(5)複合環境調節、の5つに大別できる。ただし、(5)の複合環境調節は、単なる暖房費削減だけでなく、好適環境維持による収量増大、病害予防の同時達成を目的としている。

上記諸方策のうち、我が国における暖房費削減対策として最も普及しているのは、表3に示すように、保温用可動カーテンであり、次

いで、変温管理装置、節油機などである。地中熱交換方式、地熱水利用、産業廃棄物利用などは、現在、普及しつつあるとは言え、普及率は未だ低い。

本稿では、温室における熱の流れとそれに関係する要因に注意しつつ、省エネ対策の基本を考えるが、その前に、いくつかの用語の定義を与えつつ、温室における熱の流れを理解しよう。

### 3. 熱貫流率、換気伝熱係数および放熱係数

一般に、密閉温室内の気温が外気温より高いとき、温室外壁面を室内から室外に向けて熱貫流が生じる(図2)。すなわち、

$$\text{貫流熱量} = \text{熱貫流率} \times \text{外壁面積} \times \text{室内外気温差} \quad (1)$$

上式における熱貫流率は、表4に示すごとく、被覆資材などによって異なる。

温室が完全密閉でない場合は、貫流熱量以外に換気伝熱量が存在し、便宜的に、

$$\text{換気伝熱量} = \text{換気伝熱係数} \times \text{外壁面積} \times \text{室内外気温差} \quad (2)$$

と表わされる。換気窓が閉じている状態での換気伝熱係数は表4に示すごとく、熱貫流率の約1/10以下である。

さて、貫流熱量と換気伝熱量の和として定義される壁面総放熱量は、したがって、

$$\text{壁面総放熱量} = \text{放熱係数} \times \text{外壁面積} \times \text{室内外気温差} \quad (3)$$

$$\text{放熱係数} = \text{熱貫流率} + \text{換気伝熱係数} \quad (4)$$

と表わされる。上記各熱量は室内から室外に流れるとき、正符号をとるとする。表4に示した値は、標準値であり、実際の値は、晴雨天、風速、資材への結露状態などにより多少

変動することが知られているが、詳細については未だ不明な点がある。

#### 4. 暖房負荷の算定式<sup>1)</sup>

図2に示したように、温室では、壁面以外に床面においても熱の出入りが存在し、これを地中伝熱量と呼ぶ。地中伝熱量は地面から室内に向って流れるときに正符号をとるとすると、室温をある設定値に維持するための暖房負荷(暖房必要熱量)は、

$$\text{暖房負荷} = \text{壁面総放熱量} - \text{床面積} \times \text{暖房時地中伝熱量} \quad (5)$$

と表わされる。暖房時地中伝熱量は、後述のように、室温、地表面温度、保温カーテン内面温度などによって大幅に変わり、正負いずれの符号もとれる。

最大暖房負荷とは、栽培期間中の最寒(内外気温差最大)時の暖房負荷で、暖房設備の容量を決める指標となる。また、期間暖房負荷とは、栽培の全期間またはそのうちの一定期間に必要な暖房熱量で、一定期間中の燃料消費量などの予測の指標となる。すなわち、

$$\text{最大暖房負荷} = \text{放熱係数} \times \text{外壁面積} \times (\text{最寒時の設定室温} - \text{栽培期間最低外気温}) - \text{床面積} \times \text{最寒時の暖房時地中伝熱量} \quad (6)$$

$$\text{期間暖房負荷} = \text{放熱係数} \times \text{外壁面積} \times \text{暖房デグリアワ-} - \text{床面積} \times \text{暖房時地中伝熱量} \quad (7)$$

$$\text{暖房デグリアワ-} = \sum (\text{毎時設定室温} - \text{毎時外気温}) \quad (8)$$

と表わされる。ただし、暖房デグリアワ-は設定室温が外気温より高いときだけの総和である(設定室温が外気温より低ければ、暖房不必要)。暖房デグリアワ-の総和が1日周

についてなされる場合は、その単位は「 $\text{°C} \cdot \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ 」となり、1月周についてなされると、「 $\text{°C} \cdot \text{h} \cdot \text{month}^{-1}$ 」となる。

#### 5. 暖房負荷節減対策の熱収支的検討

以上の熱収支的考察を通じて、暖房負荷を小さくするには、概略、

- (i) 放熱係数を小さくする、
- (ii) 外壁面積に対する床面積の比(保温比という)を大とする、
- (iii) 地中伝熱量を大(正符号)とする、
- (iv) 暖房デグリアワ-を小さくする(室温設定値を低くする)。

の4つの方策があることがわかる。そこで、まず、(i) および (iii) の方策について、更に、詳しく考えてみよう。

##### a) 放熱係数

温室外壁面の放熱係数を小さくするための被覆方法は、

- (i) 可動一層および二層保温カーテン、
- (ii) 固定二重被覆および複層板、
- (iii) 可動外面被覆(ワラゴモヤプラスチック資材によるコモ代用品)、
- (iv) 可動断熱資材の搬送を温室構造と一体化したシステムで達成したペレット方式、泡被覆方式など、

の4方式に大別できる。いずれの方式においても、換気伝熱係数は小さいので、放熱係数はほぼ熱貫流率に等しくなる。

##### (i) 可動カーテン

現在、最も普及している可動カーテン方式において、被覆材の種類によって熱貫流率が異なるのは主として、被覆資材の長波放射の透過・反射特性の相異に起因する。これは、熱貫流が、被覆資材内外面における対流と放射の両方の伝達形態に影響されるからである。

長波放射透過率が比較的小さい(吸収率が大きい)塩化ビニルフィルム・カーテンの熱貫流率に比して、長波放射透過率が高い(吸収率が小さい)ポリエチレン・フィルム・カーテン

の熱貫流率は大きく、長波放射反射率の高い（吸収率と透過率が小さい）アルミ蒸着フィルム・カーテンのそれは小さい。資材の上下面で反射率が異なる場面は、反射面を上にした方が熱貫流率が小さくなると言われている。<sup>2)</sup> 資材の厚さが0.2mm以下の場合、資材の厚さや熱伝導率は熱貫流率にほとんど影響を与えない。

### (ii) 固定二重被覆および複層板

固定二重被覆あるいは複層板の層間隔は、約2cm以上であれば、熱貫流率にあまり影響を与えない。層間隔2cm以下では層間隔が狭くなるほど熱貫流率は大となる。表4において、同一資材の組合せであれば、固定二重被覆の熱貫流率の方が可動一層カーテンのそれよりやや小さいのは、固定二層被覆では、二層間の空気と屋外の空気との交換がほとんど無いため、層内の対流が抑制されるからであると言われている。

**空気吹込式外面被覆法<sup>5)</sup>** 既設ガラス室の側壁内側に固定被覆することが困難である場合、図3に示すように、2枚のフィルムを温室の外側に張り、そのフィルム間に小型ブローを用いて空気を送り込む空気吹込式外面被覆法が考案されている。この方式は、(1)資材費がきわめて安い、(2)施工が簡単、(3)耐風性がある、などの特徴がある。小型ブローの消費電力は10a当り0.1kwで電力代は50円/10a/日以下である。暖房デグリアワーが $1/5 \text{ t} \cdot \text{h} \cdot \text{d}^{-1}$ の場合、節油量を金額換算にして資材費と比較すると、資材費は約2ヶ月で償却されると言われている。図4、図5に本方式の外観を示す。

### b. 地中伝熱量

(5)~(8)式中の地中伝熱量が正符号で大きいほど、暖房負荷は小さい。関東地方の一層カーテン・キュウリ土耕栽培温室（夜間平均室温 $12^{\circ}\text{C}$ ）における冬期夜間地中伝熱量は、作物が繁茂し、昼間に床面の直接日射吸収がない場合で $5 \sim 10 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 、定植後数週

間以内で床面の直接日射吸収がある場合で $10 \sim 20 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 程度である。上記の場合、地中伝熱量に床面積を乗じた値は壁面総熱量の10~20%を占めるから、地中伝熱量の大小は暖房負荷の軽減に影響を及ぼす。

地中伝熱量は、夜間の保温被覆下では、大旨、室温と地表面温度の差に比例する。したがって、室温設定値が低ければ、一般に、夜間地中伝熱量は小となる。逆に、室温設定値が高ければ、地表面温度の方が室温より低くなり、地中伝熱量が負符号（熱流が下向き）になることがある。この場合、暖房負荷は壁面放熱量より大となる。

怪物的に夜間の地中伝熱量を増大するには、昼間における下向き地中伝熱量を増大し、夕刻までに地温を上昇させておく必要がある。そのためには昼間、

- (i) 温室内への透過日射量を大とし、できる限り床面の直接日射吸収を大とする、
  - (ii) 床面蒸発量を抑制し、日射エネルギーが地温および室温上昇のために消費されるようにする、
  - (iii) 壁面放熱量を増大させない範囲内で、昼間の室温を高く維持し、かつ、床面付近の空気流動を促進させる、
- などの対策が必要である。しかし、これらの対策は、作物栽培管理の制約から、実現困難な場合がある。

### 無加温温室の夜間室内外気温差

暖房をせずに、厳重な保温被覆と地中伝熱量だけで、夜間室内外気温差を何かに維持できるかを知るには、(3)式を(5)式の左辺の暖房負荷をゼロと置いた式に代入して、

$$\frac{\text{無加温時}}{\text{室内外気温差}} = \frac{\text{床面積}}{\text{外壁面積}} \times \frac{\text{地中伝熱量}}{\text{放熱係数}} \quad (9)$$

とすれば良い。上式において床面積/外壁面積を保温比と呼んでいる。たとえば、保温比0.7、放熱係数1.9（ポリエチレン+アルミ

蒸着フィルム・二層カーテン),  $0.39$  (ペレット被覆)  $\text{kcal m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 地中伝熱量  $10 \text{ kcal m}^{-2} \text{h}^{-1}$  の場合, 室内外気温差は, 各々,  $3.7^\circ\text{C}$ ,  $17.9^\circ\text{C}$  となる。すなわち, 放熱係数を小さくすれば, 無加温でも, かなりの室内外温度差を維持し得る。上述の保温技術と要約したのが図6である。

## 6. 内部集熱型太陽熱利用温室

我国南東以西においては, 冬期と言えども, 晴天であれば, 昼間の密閉温室内気温は過高温 ( $25 \sim 30^\circ\text{C}$  以上) となり, しほしほ, 換気によって外部に熱を逃がしてやる必要が生じる。温室内の昼間におけるこの余熱を蓄え, 夜間の暖房熱源とする方式を内部集熱型太陽熱利用温室と呼ぶ。すなわち, 集熱装置は, 原則として, 室温が一定温度 (たとえば,  $25^\circ\text{C}$ ) 以上, および一定温度 (たとえば,  $12^\circ\text{C}$ ) 以下のときに作動する。これは, 温室そのものを集熱装置とするので, 温室外に集熱装置を設置する外部集熱型に比べて, 多くの利点がある。表2に示したように, 内部集熱型には多くの方式があるが, ここでは, 地中熱交換方式, 強制送風水蓄熱方式について簡単に紹介する。

### 1) 地中熱交換方式<sup>6)</sup>

本方式は山本雄二郎氏により考案されたもので, 現在, 我国で最も広く普及している内部集熱型太陽熱利用温室である。地中熱交換温室の構造は, 図7に示す通りで, その特徴は, 以下の2点である。

- (1) 蓄熱媒体として, 床下土壌を利用する。
- (2) 熱交換は地下  $40 \sim 100 \text{ cm}$  に埋設された内径約  $10 \text{ cm}$  のパイプへの室内空気強制循環によってなされる。

蓄熱媒体としての土の熱伝導率は比較的小さい ( $1 \sim 5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) ので, 一方では, 蓄熱部分の外周に断熱壁を必要としない利点があるが, 他方では, パイプ周辺  $10 \sim 15 \text{ cm}$  の土層でのみ蓄・放熱がなされるため, 温室

床面積と同程度のパイプ内面熱交換面積を必要とする。施工費および材料費はやや高いが, 比較的安定した普及技術である。

### 2) 強制送風水蓄熱方式

本方式は千葉大学において筆者らが開発中のものである。装置の縦断面図および横断面図を図8に示す。水チューブの4周を送風用ダクトで囲い, その一端に送風扇を備える。本装置を温室内床面または床面下に埋設する。本方式の特徴は,

- (1) 農家が自作できる装置である。
- (2) 蓄熱体としては, 容積比熱が大きい水を用いるので, 蓄熱体容積が小さい。
- (3) 水チューブ4周への送風により, 水の自然対流が生じやすく, チューブ内水温の断面分布が均一になる。したがって, 単位面積当りの熱交換量が大きくなるので, 熱交換面積が少なくて良い。
- (4) 本装置の地上設置と保温被覆のみで, 室内外最大気温差を  $10^\circ\text{C}$  に維持するには, 床面積の  $15 \sim 20\%$  を本装置の設置に当てれば良い。

本方式は未だ完成された技術となっていないので, 細かい点では未解決の問題があるが, 施工費, 資材費および運搬費が安価であるので, 将来性は有ると考えられる。表6は, 二層被覆無加温ハウス室に本装置を設置した場合の内外気温差などを示したものである。集熱能力は, 前述の地中熱交換温室とはほぼ同等である。

## 7. 内部集熱装置の制御法<sup>5)</sup>

現在, 内部集熱装置の制御は次の2原則によって実施されているものが多い。

- (1) 蓄熱: 温室内気温が一定値以上 (たとえば  $25^\circ\text{C}$  以上) になると, 蓄熱のために熱交換装置を作動する。
- (2) 放熱: 温室内気温が一定値以下 (たとえば  $12^\circ\text{C}$  以下) になると, 放熱のために熱交換装置を作動する。

上記の原則に基づいて熱交換装置を作動させたときの熱交換量は送風量Gが一定であるとすると、ほぼ熱交換器出入口空氣のエンタルピ差(結露がない場合は気温差)に比例するとみなして良い。すなわち、出入口のエンタルピ差がゼロに近い時はいかに集熱装置のエンタルピ効率や風量が大きであっても、又、蓄熱槽の容量が大きであっても、熱交換量は小さい。すなわち、熱交換のための送風に消費される電力が有効に使われない。昼状には、このような、熱交換扇の無効運転がよく見られる。

#### 熱交換出入口空氣の気温差(またはエンタルピ差)を考慮した制御法

上述の事実に基づき、熱交換空氣のエンタルピ差(または気温差)を考慮した制御法を流れ図として図8に示す。図8中に用いられている記号の意味及び数値例は表7で掲げられている。図9に示した制御法を採用することによって、第1に昼間および夜間における無効な熱交換装置(送風扇)の作動がなくなり、第2に夜間における温風重油暖房機と内部集熱交換装置との合理的同時運転が可能になる。すなわち、本方法によれば、両者を独立に運転しても、暖房機からの発熱が熱交換装置によって蓄熱槽へ移動するような、不合理は生じない。第3に、上記同時運転により、夜間における放熱が最大限になされ、そのため地温が低下するので、翌朝および日中の蓄熱量が大となる。第4に、上記同時運転を許せば温風暖房機の容量(最大熱出力)の小さいものを設置することができるので、運転費ばかりでなく初期投資も少なくて済む。

従来の制御法(暖房機と熱交換ファンの同時運転を許さない制御法)では第1に、夜間における放熱量が少ないために、温風暖房機の重油消費量が大きくなる。第2に、そのため、地温の低下が少なくなり、翌日の昼間の電力料金当りの蓄熱量が少なくなる。結局、昼夜共に電力消費量当りの熱交換量が少なくな

てしまう。

#### 8. 内部集熱型温室の室温設定値

内部集熱装置の蓄熱媒体上限温度は、後述のヒートポンプ方式を除いては、昼間の室温設定値(作物によらず約25℃±5℃)を超えることはできない。他方、夜間の室温設定値は表8に数値例を示すように、作物によって異なる。詳しく言えば、それは、品種、作型、生育段階などによっても異なる。

##### Q) 夜間設定室温と蓄・放熱量

内部集熱装置の蓄・放熱量を大とするには、昼夜の設定室温較差が大でなければならぬ。(表9参照)。内部集熱だけで維持し得る夜間平均室温は、関東以西太平洋側の二層保温カーテン温室においては、8℃前後である。実際、トマト、シクラメンなどは地中熱交換温室によって補助暖房を用いずに栽培されている。

キュウリ、ナスなどのように夜間設定室温12℃前後を必要とする作物では、上記と同じ条件で、暖房用重油節減率は約50%程度である。これは、設定室温が高いから壁面からの夜間放熱量が増大するだけでなく、蓄熱媒体と室内空氣との昼夜の熱交換量が少なくなるからでもある。更に、夜間、室温が高いと、床面における地中伝熱量が小さいかまたは、負となり、それだけ暖房負荷が増大する(表9参照)。したがって、ピーマン、メロンなどのように、キュウリより夜間設定室温の高い作物に關して、一般の内部集熱型装置を利用するのは本質的に無理がある。これは、たとえ、エアカーテン方式を採用しても、原理的には同じである。一般に、夜間設定室温が高いほど蓄・放熱量は少なくなるが、その割には内部集熱装置のコストは決して低くはならず、逆に、高くなることすらあることに注意すべきである。

本節で述べたことは、地下水利用の温室暖房にもほぼ当てはまる。

## 6) 変温管理

内部集熱型装置の蓄熱媒体温度は、一般に、午後3~4時の集熱終了時刻に最高となり、日没前後の放熱開始時点から日の出時刻にかけて次第に低下する。

今、夜間室温設定値が日没から日出まで一定であるとする、外気温が最低となる日出前に蓄熱媒体の温度も最低となり、補助暖房に頼らざるを得ないことが多い。もし、夜間の平均室温が一定値以上であれば、夕刻から日出にかけて次第に室温を低下しても良いのであれば、内部集熱装置の蓄・放熱量は相当に増大すると考えて良い。

更に、昼間の集熱量を増大しようとする、昼間の設定室温を低くせざるを得ない。実際、集熱能力の高い内部集熱装置で昼間に集熱すると室温はしばしば20℃以下となり、装置のON/OFFをくり返すことになる。この時栽培者は、昼夜の設定室温を作物生育と暖房費削減という両面から考えなければいけない。この観点に立って、昼夜の設定室温を決定するための栽培試験が今後重要となろう。

## 7) ヒートポンプ方式

夜間設定室温の高い作物を内部集熱型温室で栽培するにはヒートポンプの利用が効果的であると考えられ、西独、英国、および日本で実証研究が進められている。筆者らの研究では、運転費に関してはヒートポンプ利用の方が重油暖房よりも安価であるという段階まで判明したが、実用化にはしばらく時間を要しそうである。

## 9. 多湿環境

暖房費削減のために保温を徹底し、かつ、内部集熱を行なうと、温室内は多湿になりやすく、それが病害多発や助長の誘因となると言われている。ところが「多湿」とは、表10に示すように、色々な意味に用いられ、その作物への影響も複雑であり、不明な点が多いようである。「多湿」の原因とその作物への

影響度によりその対処法が異なるので、その因果関係に関する一層の研究が急がれる。

## 引用文献

- 1) 三原義秋編著, 1980: 温室設計の基礎と実際, 養賢堂, 273pp.
- 2) 岡田益己, 1981: 断熱保温技術の向題点, 日本農業気象学会施設園芸研究部会第1回研究集会(省エネルギー温室へのアプローチ), 11-23.
- 3) 農林水産省農林水産技術会議監修, 1980: 施設園芸の省エネルギー新技術, 農林水産技術情報協会, 308pp.
- 4) 古庄豊樹, 1981: 暖房負荷の算定法と伝熱諸元間の関係, 農及園, 56, 623-628.
- 5) 古庄豊樹・林真紀夫, 1981: 省エネルギーのための環境調節, 施設園芸省エネルギーの引き No. 3, 日本施設園芸協会, 25-55.
- 6) 高倉ら編, 1980: 施設農業への新エネルギー利用, フジテクノシステム, 705pp.

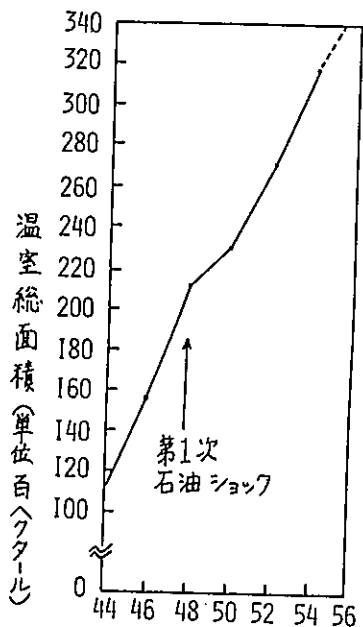


図1 第1次石油ショック前後における温室総面積 (ガラス室ナハウス)の年次推移 (農水省調査)

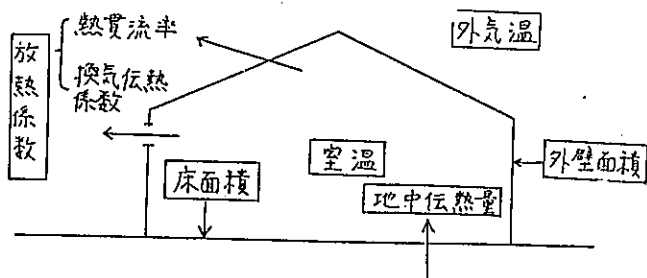


図2 暖房負荷を決定する5つの要素  
 — 放熱係数, 外壁面積, 内外気温差, 床面積および地中伝熱量 —

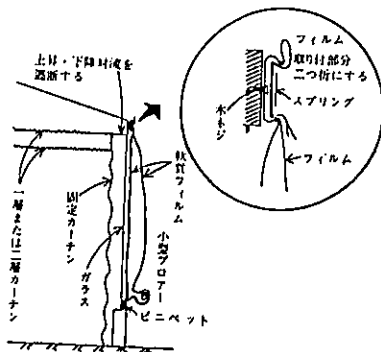
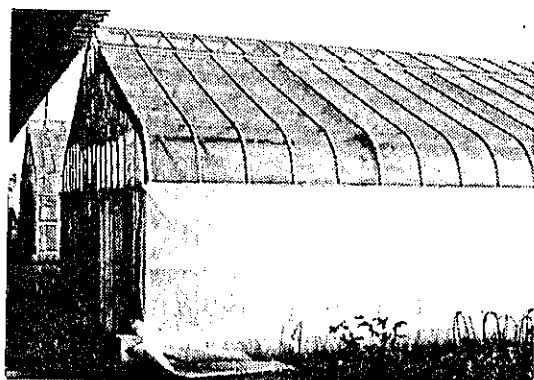


図3 空気吹込式外面被覆法の断面図 (林真紀夫原図)



↑  
 図4 既存ガラス室側壁の空気吹込式外面被覆

図5 空気吹込式プロワの取付け (消費電力40Wのプロワ1台で床面積10aの温室をまかなうことができる。) (林原図)



レベル 1

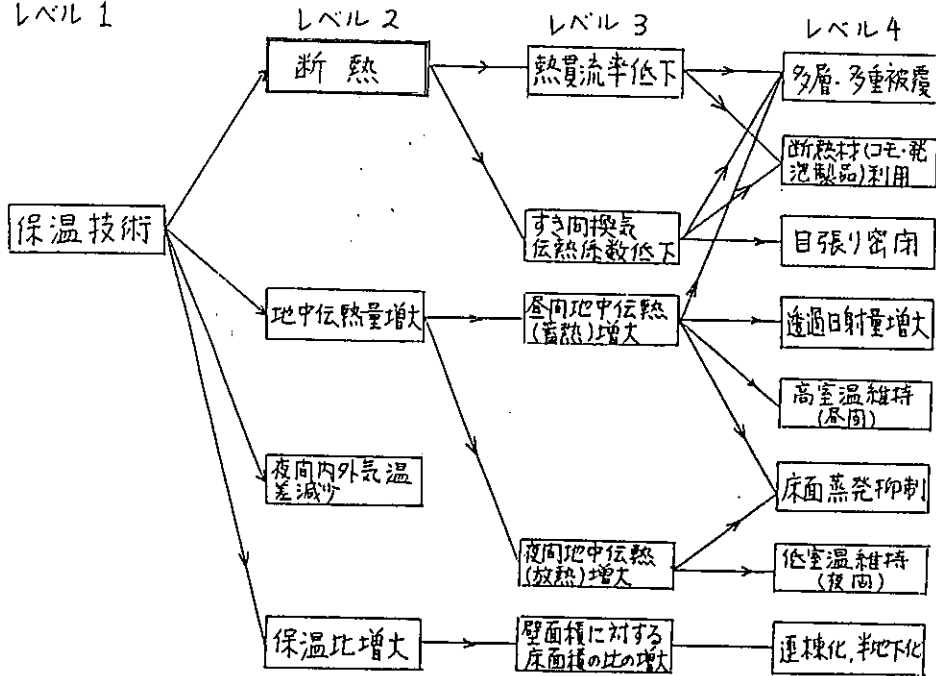


図6 保温技術の階層構造 (古左, 1981)

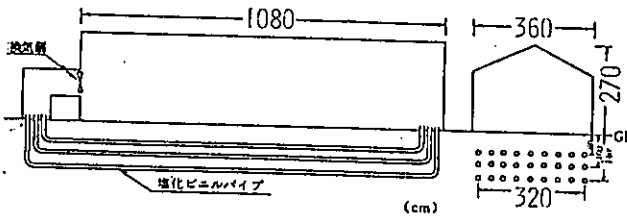


図7 3号地中熱交換ハウスの構造 (山本雄二郎)

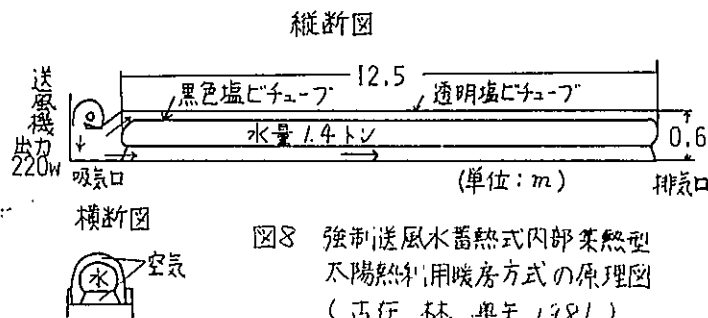


図8 強制送風水蓄熱式内部集熱型太陽熱利用暖房方式の原理図 (古左, 林, 奥天, 1981)

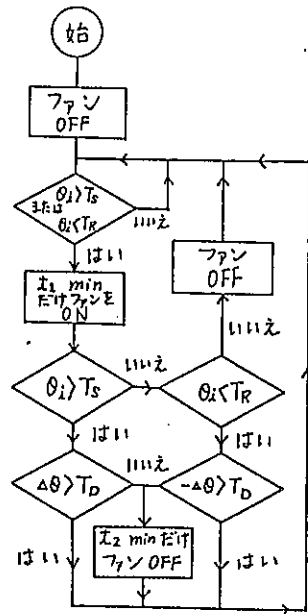


図9 熱交換装置出入口気温差を考慮した制御法の概略流図<sup>5)</sup>

図中の記号の意味は表1に示してある。図中のファンとは熱交換ファンを意味する。熱交換ファンの制御は温風暖房機の方水とは独立に行う、温風暖房機の方設定室温は熱交換ファンのそれ以下とするべきと察せられる。





表3 野菜用温室総面積およびその暖房・保温・環境制御方式による分類 (昭和55年農水省調査にもとづく)

施設総面積	25,924 ha
暖房面積	10,259
石油暖房	10,213
内 燃 暖 房	8,882
設 温 湯 暖 房 他	1,511
自然エネルギー利用	20
内 地 中 熱 交 換 方 式	10
設 地 熱 水 利 用	9
その他	1
未利用資源利用	25
内 産 業 廃 棄 物 (外 等)	11
設 都 市 コ ン	3
その他	11
固定一重被覆	9,200
内 一 層 可 動 カ ー テ ン 付	5,706
設 多 層 可 動 カ ー テ ン 付	1,850
可 動 カ ー テ ン な し	1,644
固定二重被覆	1,059
内 一 層 可 動 カ ー テ ン 付	326
設 多 層 可 動 カ ー テ ン 付	207
可 動 カ ー テ ン な し	526
その他	5,931
内 変 温 管 理 装 置 の み	3,602
設 節 油 機 の み	590
複 合 制 御 装 置 の み	66
変 温 管 理 装 置 + 節 油 機	1,549
複 合 制 御 装 置 + 節 油 機	124

表4 被覆材の種類・被覆方法と熱貫流率(岡田, 1980-部変更)

被覆方法	被 覆 材	熱貫流率 ( $Kcal\ m^{-2}\ h^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$ )	ガラスの固定 一重被覆との比
固定一重被覆	ガラス室	5.3	1.00
	ビニールハウス	5.7	1.06
固定二重被覆	ガラス, 塩化ビニールフィルム	3.2	0.60
	ポリエチレンフィルム	3.4	0.65
一層可動カーテン	ポリエチレンフィルム	3.7	0.70
	塩化ビニールフィルム	3.4	0.65
	不織布	4.0	0.75
	アルミ粉末混入フィルム	3.2	0.60
	アルミ蒸着フィルム	2.7	0.50
	アルミ箔ポリエチレンラミネートフィルム	2.7	0.50
二層可動カーテン	ポリエチレンフィルム二層	2.9	0.55
	ポリエチレンフィルム+アルミ蒸着フィルム	1.9	0.35
	ポリエチレンフィルム+アルミ箔ポリエチレンラミネートフィルム	1.9	0.35
外面被覆(可動)	温室用ワラゴモ(メロン温室用)	2.1	0.40
ペレット被覆(可動)	発泡スチレンペレット(厚さ10cm)	0.39	0.07

表5. 換気伝熱係数の値  
(岡田, 1980-部改変)

温室の種類	$h\ (Kcal\ m^{-2}\ hr^{-1}\ ^{\circ}C^{-1})$
ガラス室	0.3 - 0.5
ビニールハウス	0.2 - 0.4
完全気密温室	0.0

表6 強制送風水蓄熱方式の熱特性測定例(古佐, 林, 奥夫, 1981)  
 (図8の装置(総水量8トン)を床面積223m<sup>2</sup>, 壁面積415m<sup>2</sup>の  
 二層被覆無加温ガラス室に装備した場合)

日付 月日	天候	蓄熱量 Kcal/day $\times 10^3$	最低室温 °C	最低外気温 °C	最大内外 温度差** °C	放熱量 Kcal/day $\times 10^3$	内外日射量 Kcal/m <sup>2</sup> /day
1/ 5	快晴	59	8.5	-2.1	10.9	57	2070
6	〃	56	8.6	-2.1	10.8	53	2100
9	〃	48	10.2	1.3	9.4	41	2000
11	〃	45	8.2	-3.8	13.5	58	2457
12	〃	45	7.2	-3.8	13.2	54	2031
24	曇り	38	9.5	1.3	9.7	31	1540
25	〃	0	9.5	2.1	8.4	10	1370
31	快晴	67	12.0	0.0	14.0	61	2564
2/ 1	みぞれ	0	9.2	0.0	11.0	28	245
2	快晴	78	10.7	0.0	12.4	55	2919
7	曇り	28	10.7	-1.2	12.0	43	1620
8	快晴	74	12.0	-1.2	13.2	62	2715
9	〃	62	12.2	-0.5	13.2	60	2672

\* 透明カーテン日中開  
 \*\* 最低室温の出現は最低外気温の出現と同時でない。

表7 図2で用いられている記号の意味と数値例

変数記号	意 味	数値例
Ts	蓄熱開始設定室温	25°C
TR	放熱開始設定室温	12°C
TD	地中パイプ出入口気温差設定値	2°C
t <sub>1</sub>	時間間隔 1	5 min
t <sub>2</sub>	時間間隔 2	30 min
θ <sub>i</sub>	室温計測値	28°C
Δθ	地中パイプ出入口気温差計測値	5°C

表8 作物別夜間設定室温の教例

(1981年農水省調査にもとづく)

作物	作型	平均 室温	下限 室温	上限 室温
いちご	促成	6°C	2°C	10°C
トマト	促成	8	5	15
きゅうり	促成	12	9	18
なす	促成	12	8	16
ピーマン	促成	17	10	20
すいか	半促成	17	14	20
メロン	促成	18	16	20

表9. 夜間設定室温が蓄熱量, 熱節減率に及ぼす影響

(数値は思考実験にもとづくものであり, 考え方を示すにすぎない。)

	作 物	
	トマト	きゅうり
昼間設定室温 (°C)	25	25
夜間設定室温 (°C)	8	12
昼夜室温較差(A)-(B)	17	13
最大可能装置蓄熱量(相対値)	100	76
最大可能床面蓄熱量(相対値)	20	10
最大可能全蓄熱量(D)+(E)	120	86
壁面放熱量(相対値)	120	180
必要補助熱量	0	93
熱節減率 100x(H)/(G)	100	48