U.D.C. 631.234:[662.997:523.9-76]:662.995(24)

# ソーラーグリーンハウス（深層長期地中蓄熱園芸施設）

# Solar Assisted Green House Deep Soil Heat Storage System Based on a Seasonal Time Scale

阿部和彦*　*Kazuhiko Abe*
内田昭就**　*Akinari Uchida*
吉田克巳***　*Katsumi Yoshida*

近年，施設農業が急速に普及しつつあるが，石油漬け農業といわれるほどにエネルギー多消費の問題を抱えている。この問題の解決のために，昭和52年以来農業用エネルギーの節減に太陽エネルギーを利用する方法の一つとして，太陽熱を地中に長期蓄熱する温室暖房システムを検討し，実用化の見通しを得つつある。

開発した太陽エネルギー利用温室暖房システムは，夏季から秋季にかけて集熱器によって得られた55～65℃の温水を，温室の下部1.5mに埋設した地中熱交換器（パイプ）に通して地中に蓄熱する。冬季にはこの熱が温室内に自然放熱し，3月中旬まで外気よりも10℃高い室温となる。したがって，補助暖房はほとんど不要となり，節油効果が大きい。日立製作所の研究所に設置した実験温室で得られたこの成果をもとに，昭和58年1月床面積350m²の実証温室が社団法人農林水産技術情報協会の依頼によって茨城県園芸試験場（阿見町）に完成し，その成果が待たれている。

## 1　緒　　言

近年，施設農業は農業の近代化と食糧自給率の向上を目的として，更には食生活の多様化などの社会的動向を背景として，急速に伸展している。ガラス温室及びビニルハウスの設置面積の変化でそれをみても，昭和40年当初は1,000ha程度の設置面積が，昭和50年代に入ると2万6,000haに達し，その生産量の全野菜に占める割合も漸次増加してキュウリ，トマトなどの果菜類に関しては，その$\frac{1}{3}$を供給するようになった。

このように，施設農業は食糧生産の面で既に重要な位置を占め将来性を期待されているが，一方，石油漬けといわれるほど石油を消費しているのが現状である。エネルギー消費の一例を挙げれば，キュウリ1kgを生産するには石油0.5～0.8$l$を必要とし，シクラメン一はちを栽培するには2.8$l$を消費している[1]。

このような施設農業の実態は，石油需給のひっぱくによる国家的省エネルギーの要請とともに，施設農業に関しても省エネルギー対策の研究を促し，特に昭和49年以降研究が盛んになっている。

いまそれらを概観すると，次のように類別されよう。(1)太陽熱の蓄熱利用，(2)夜間の断熱，(3)廃熱，地熱，風力等の利用などである。

実際の農業施設では，この3種の方法は相互に組み合わされて使用されるが，ここで検討の対象とした方法は，上述(1)に属し，特に長期蓄熱を図ったものである。

## 2　長期地中蓄熱の概要と特徴

農業での太陽熱の蓄熱利用は，貯水池による農耕用水の加温のように，経験的に行なわれてきたものを含めれば長い歴史がある。しかし，施設農業への利用が積極的に検討され始めたのは昭和40年代に入ってからであって，現在までにいくつかの方法が発表されているが[2)~4)]，このうち地中熱交換ハウスが最も多く実用化されている。この方式は，温室の地下数十センチメートルの位置に埋設したパイプに，温室内の空気をファンによって循環することによって，昼間は温室内の余分のエネルギーを地中に蓄熱し，夜間には地中から温室内へエネルギーを放出して暖房する。蓄熱材として温室基盤の土壌を直接用いているため，従来施設以上に土地を必要とせず，集熱器も不要であるなどの利点がある反面，蓄熱量が短期の天候に影響されて，不足する場合がある。

一方，本報で述べる長期蓄熱の方式は，夏季から秋季にかけての太陽熱を深い土層に蓄えておき，冬季に温室内に放熱する方法である。この方法は冬季の1日周期の蓄熱，放熱の反復と異なって，短期の天候の影響を受けにくいという利点がある。

日立製作所の研究所に設置した実験温室は床面積24m²で，その概念図を**図1**に示す。この実験温室では地下1.5mに埋設した銅パイプ製の地中熱交換器に，集熱器で加熱した温水を

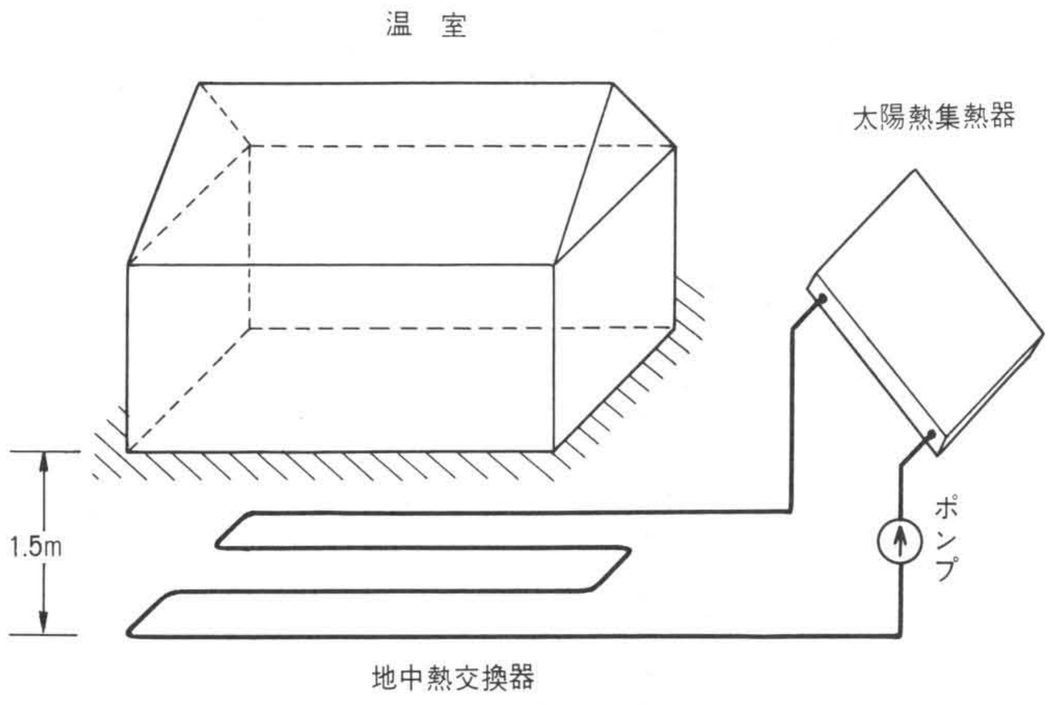



図1　実験温室概念図　温室床(24m²)下1.5mの深さに地中熱交換器を埋設し，これと集熱器とをポンプを介して熱流体的に結合している。

* 日立製作所機械研究所　** 日立製作所機械研究所 工学博士　*** 日立プラント建設株式会社

循環し，太陽熱を地中蓄熱した。循環ポンプの制御は，集熱器の入口，出口温度差によって作動するいわゆる差温制御を採用した。地中の温度は蓄熱開始後1箇月で定常値に達し，以後地表から自然放熱を続けて，厳寒期でも温室内は外気温度より7℃以上高温を維持した。また，地表から約3cmの位置で16～20℃の地温を保ち，3月下旬に至った。

このように，土壌の熱伝導率の小さいことを利用した長期蓄熱は，十分に実用性があると考える。

## 3 ソーラーグリーンハウスの温度分布

### 3.1 蓄熱時の土壌内温度分布

蓄熱は10月初旬から開始した。この時期は蓄熱槽底部の地層の温度が年間で最高となる時期であって[5]，遅くともこの時までに蓄熱を開始することが望ましい。

土壌内の温度分布の変化を**図2**に示す。測定温度は毎日正午の温度である。10月12日蓄熱を開始すると，地中の温度はしだいに上昇し，地中熱交換器の表面では10月30日に最高温度に達している。この間10月18日に熱交換器の温度が低下しているのは曇天によるものであるが，この場合でも熱交換器から離れた位置では温度は上昇を続けている。その後日射量の減少に伴って水温が降下し，熱交換器の付近では60℃以下となったが，土壌の温度はなお上昇し11月12日以降定常状態となった。蓄熱開始からちょうど1箇月である。この間季節の推移につれて室内の気温が低下し，夜間には地表面からの放熱が行なわれるようになる。蓄熱は12月中旬水温が低く(55℃以下)なるまで継続した後に中止した。

定常状態に達した後の地表面での熱流を熱流計で計測した結果では，供給熱量の60%が地表に，40%が地中側に伝達されている。また1月中旬の晴天日では，昼間42kcal/m²·hの太陽熱が土壌に蓄積され，夜間は31kcal/m²·hの熱が放熱される。蓄熱，放熱の時間はそれぞれ8時間，16時間であり，したがって，全体では蓄熱8,100kcal/d，放熱1万2,000kcal/d，差し引き消費量3,900kcal/dとなる。

一方，実験温室の放熱面はガラス部分44m²，コンクリート部分17m²であり，ガラス及びコンクリートの放熱係数をそれぞれ3.3kcal/m²·h·℃，及び2.0kcal/m²·h·℃[6]とすれば，室外気温との差7℃を夜20時から朝の6時まで保つのに必要な熱量は1万2,500kcalであって，ほぼ上記の放熱量と一致する。

### 3.2 冬季の室内温度変化

12月中旬に蓄熱を中止してから，自然放熱による暖房を続けた。2月初旬での各部の温度変化を示すと**図3**に示すようになる。

まず室内温度は最低でも7℃以上であり，その時の外気温度との差は10℃である。この値は前日の天候に関係がなく，例えば2月4日から2月6日まで曇天が続いたにもかかわらず，2月7日の早朝時に上記の値を保っている。

また，2月7日午前で地中温度は地下3cmの位置では16℃以上，深さ約27cmでは23℃でほぼ一定している。なおこの時の室外での地温は，深さ25cmの位置で7.5℃である。温室内の地下1.5mのところでは45℃であって，12月中旬よりも10℃低下したが，地表との温度差は25℃あって依然放熱を続けている。

外気温度の似た日を選んで従来の短期の蓄熱方式の結果と

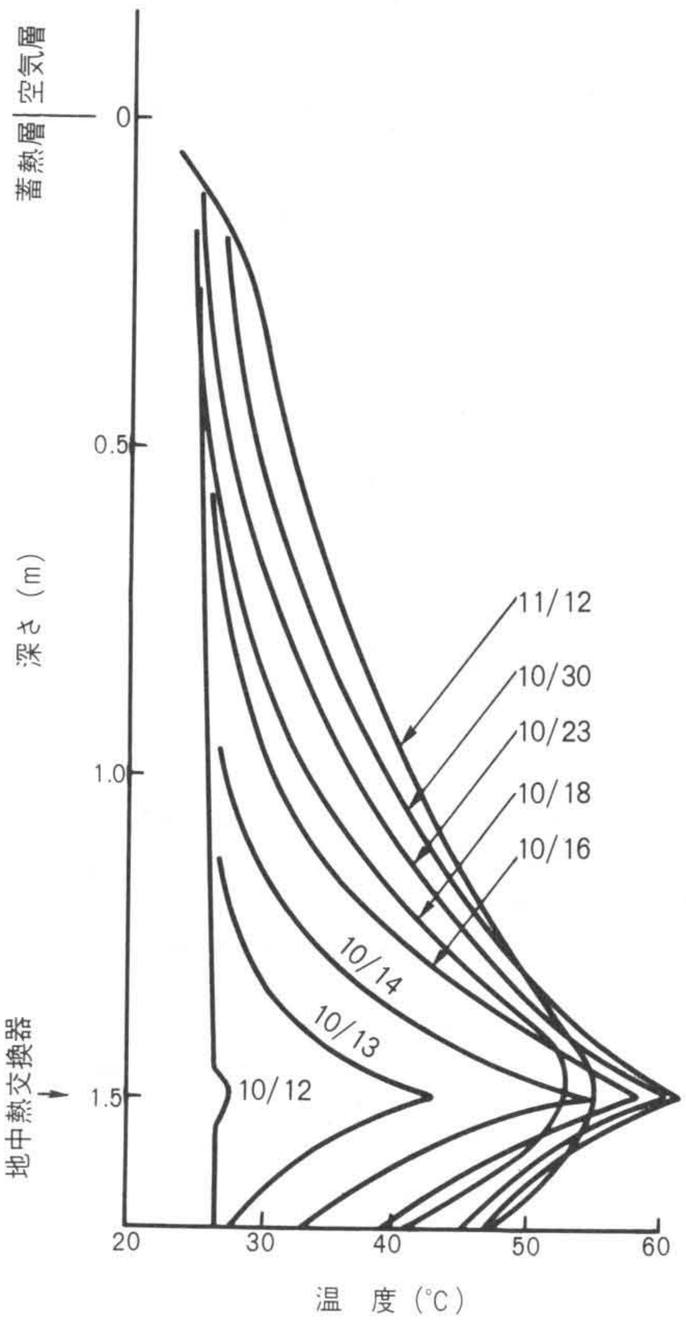



図2 蓄熱中の温度変化 蓄熱開始時から定常に至るまでの，温室床下各深さでの地中温度変化の様子を示す。

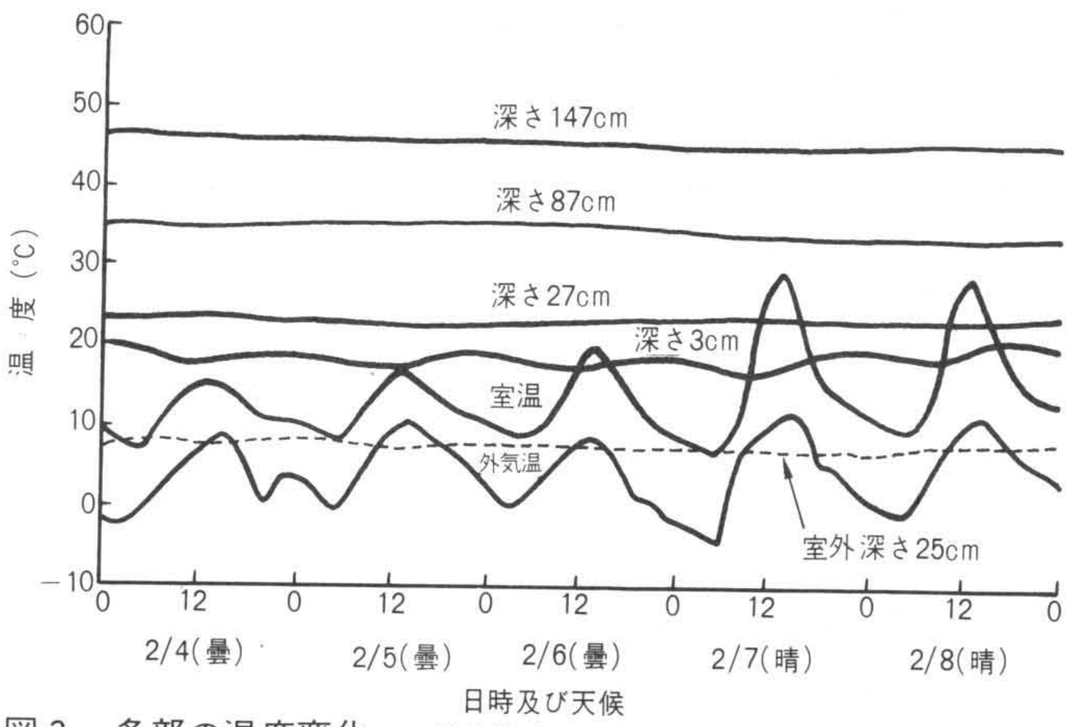
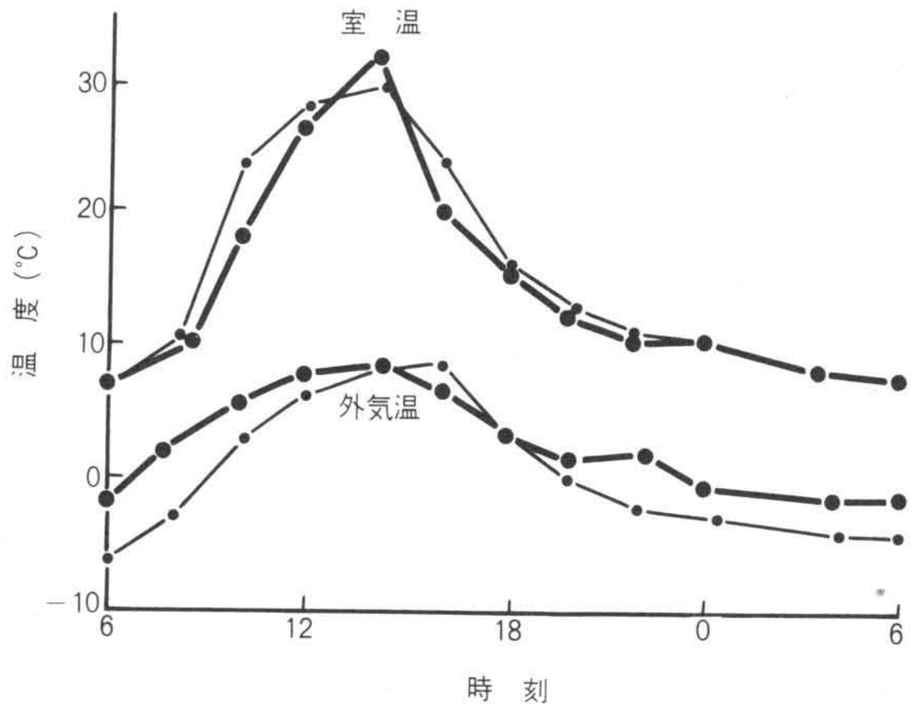



図3 各部の温度変化 地中温度は，27cm以深ではほぼ一定で，また，室内外気温差は10℃であり，これは短期の天候変化にあまり影響を受けない。




注：太線(日立)，細線(従来[2])

図4 室内温度変化の比較 本方式と地中熱交換方式とを比較すると，晴天日にはほぼ同一の温度変化となる。

比較すると**図4**に示すようになり，両者とも室内温度は外気温度よりも10℃高く，ほぼ同一の性能を示している。また植物の根圏に当たる地中25cmでの温度は，従来方式では1日の間に16℃から23℃まで変化する[4]のに対し，実験温室では23℃一定である。これらのことから長期蓄熱の方式でも，温度上は従来方式と同一の効果を期待することができる。このように，本方式には毎日の天候に影響されにくいという特長のほかに，室内空気を地中に循環させないから，夜間の多湿化の問題は生じないこと，更には前述のように地中温度が上昇するから，植物の根群の生育に良好な条件となることなどの特長がある。

## 4　茨城県園芸試験場における実施例

前章までに述べた実験温室による実験結果を参考にして，昭和58年1月に建設された床面積350m$^2$の実証温室について紹介する。

この研究は，昭和57年度農林水産省省エネルギー技術実用化促進事業の一環であって，「深層長期地中蓄熱園芸施設技術開発研究」として，3箇年計画で実施中のものである。本事業の実施主体は，社団法人農林水産技術情報協会であり，日立製作所はこれに協力している。

昭和57年11月に，茨城県園芸試験場の構内に約1,000m$^2$の敷地をもつ実証施設が着工され，翌58年1月に建設を完了し，集蓄熱の運転が開始された。現在，茨城県園芸試験場により，トマト，メロンなどの栽培実験が行なわれている。今後の省エネルギー効果の実証が期待される。

### 4.1　実証温室の設備仕様

本実証温室の設備の仕様を**表1**に示す。また，これの鳥観図，外観及び温室内部を，それぞれ**図5～7**に示す。

温室本体は，間口9m，奥行19.45mの両屋根式2連棟であり，その床面積は350m$^2$である。

温室の被覆材の構成は，まず外部には今後有望視されているグラスファイバー強化アクリル樹脂板を使用し，その内部にはポリエチレンフィルム製の二重カーテンを装備したものとなっている。この構成により，被覆材の熱通過率は約3kcal/m$^2$·h·℃に保持される。

集蓄熱設備は，集熱器が真南に向けて30面設置されており，

表1　実証温室の設備仕様　温室は床面積350m$^2$で，壁はFRAの波板である。内部にはポリエチレンフィルムの2層カーテン，換気扇，かん水設備などを備えている。

| 項目 | | 仕様 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 1. 温室設備 | (1) 温室形式 | 両屋根式2連棟，出入口裏面4箇所 | 園芸用施設安全構造 |
| | (2) 温室寸法 | 間口9m×2，奥行19.45m，軒高2.1m | 基準による鉄骨構造 |
| | (3) フレーム | 鉄骨：主骨LH150×75×3.2×4.5 溶融亜鉛めっき仕上<br>アルミ材：棟木，破風，樋など | —— |
| | (4) 被覆材 | FRA(グラスファイバー強化アクリル)樹脂板 | —— |
| | (5) 天窓 | 両天突出式，室温自動開閉 | 2連棟1系統4駆動 0.2kW×4台 |
| | (6) カーテン | 2軸2層，内張，外張共ポリエチレンフィルム<br>タイマ自動開閉：0.4kW×2台 | —— |
| | (7) 換気扇 | 日立有圧換気扇：0.4kW×2台，手動 | —— |
| | (8) 灌水設備 | 散水ノズル付塩化ビニル管：25A×8本<br>タイマ自動かん水 | 地上かん水 |
| 2. 集蓄熱設備 | (1) 集熱器 | 金属製集熱器：選択吸収膜使用<br>1.94m$^2$/面×30面，据付角度45° | —— |
| | (2) 循環槽 | SS41，φ1,200×1,200H，保温 | 地上設置 |
| | (3) 循環ポンプ | 5m$^3$/h　1.5kW日立インラインポンプ | —— |
| | (4) 地中熱交換器 | ポリエチレン管25A | 温室床面下1.5mの地中に埋設 |
| | (5) 配管 | 保温グラスウール保温筒JIS 3,000h | —— |

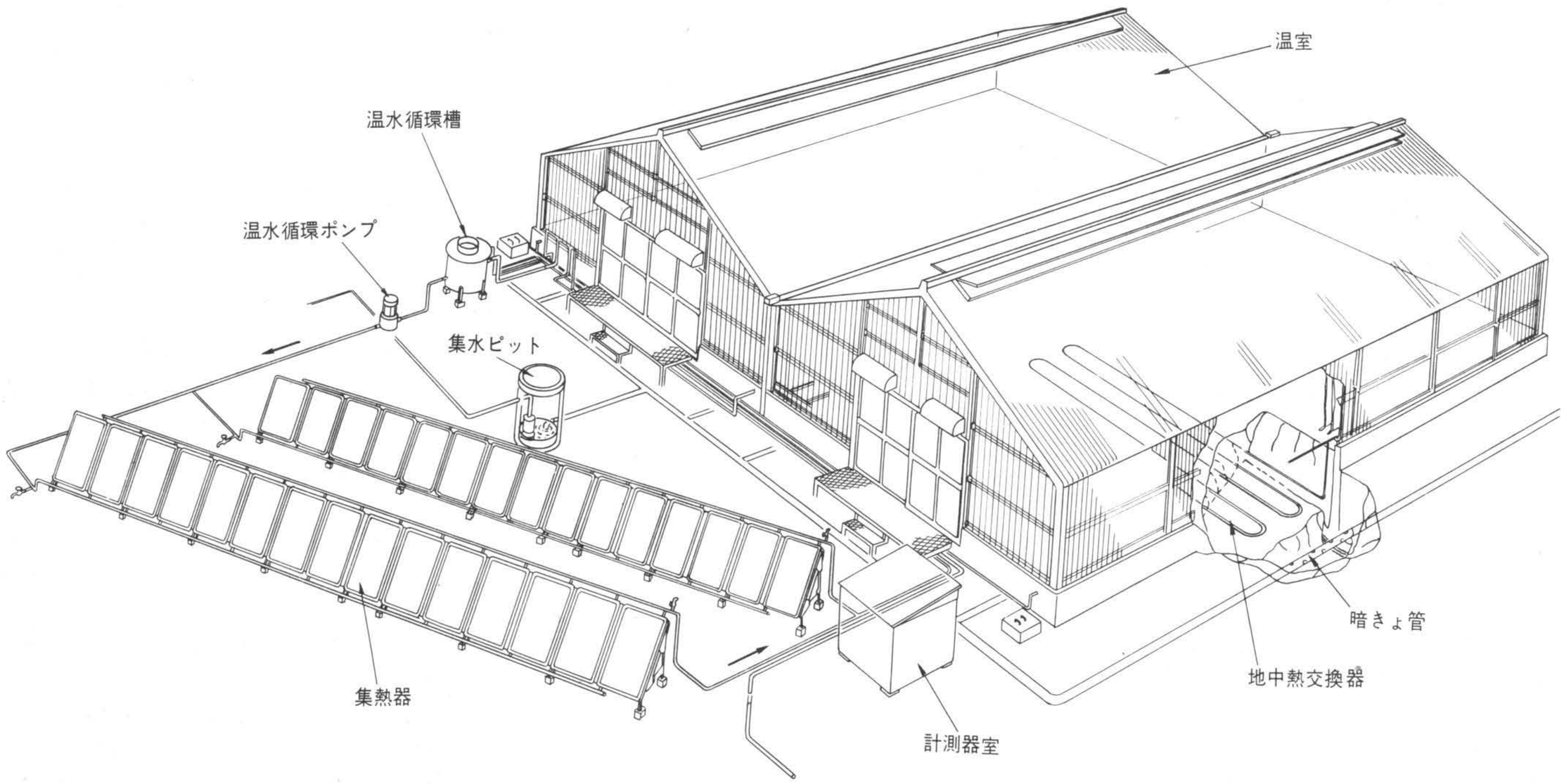



図5　実証温室の鳥観図　温室の床面から1.5m深部にポリエチレン製の地中熱交換器を埋設し，これと集熱器とを循環ポンプで結合している。暗きょ管は地下水の排水用である。

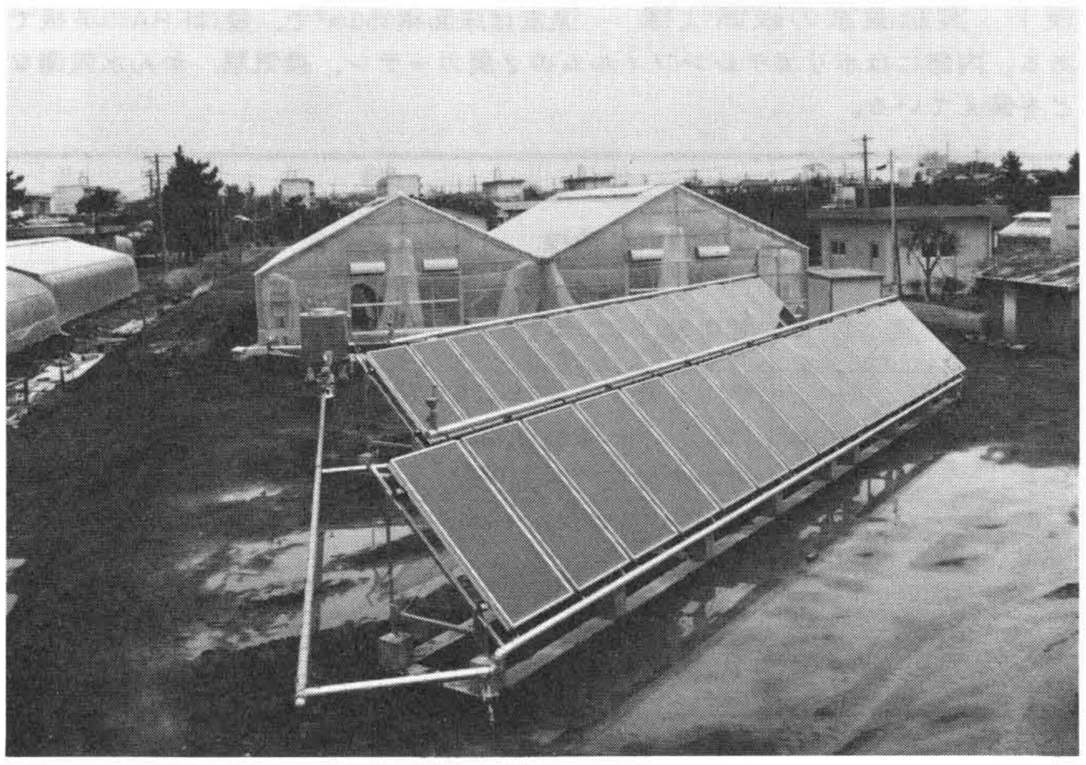


図 6　実証温室の外観　　太陽熱集熱器側から温室を望む。

図 7　実証温室の内部　　2 月下旬約700本のトマトを栽培実験中である。

これにより晴天日には 1 日当たり100Mcal弱の集熱が行なわれ，これを蓄熱しておいて冬季の暖房に供する。集熱器により得られた熱を地中に伝熱し，蓄熱するための地中熱交換器は，25Aのポリエチレン管を採用し，温室床面から1.5mの地中に埋設している。

### 4.2　地下水対策

地中蓄熱形の温室は，地下水位の浅い場所に建設する場合，地下水対策が必要である。温室設置場所は，年間を通じての地下水位が地表面下0.7～1.0m と比較的浅い。したがって，地下水位を地中熱交換器よりも下部に保持するために次に述べる方法をとった。

(1)　温室内の床面を，地表面より0.5mの高さになるように盛土する。

(2)　地中熱交換器の下部に，暗きょ管を埋設し，これによっていったんピットに集水し，その後これを水中ポンプで施設外へ排水する。

(3)　外部から蓄熱部への水の浸入を防止するため，外周暗きょを設け，更に温室布基礎を地表面下1.0mまで深くする。

これら地下水対策の方法を**図 8** に示す。

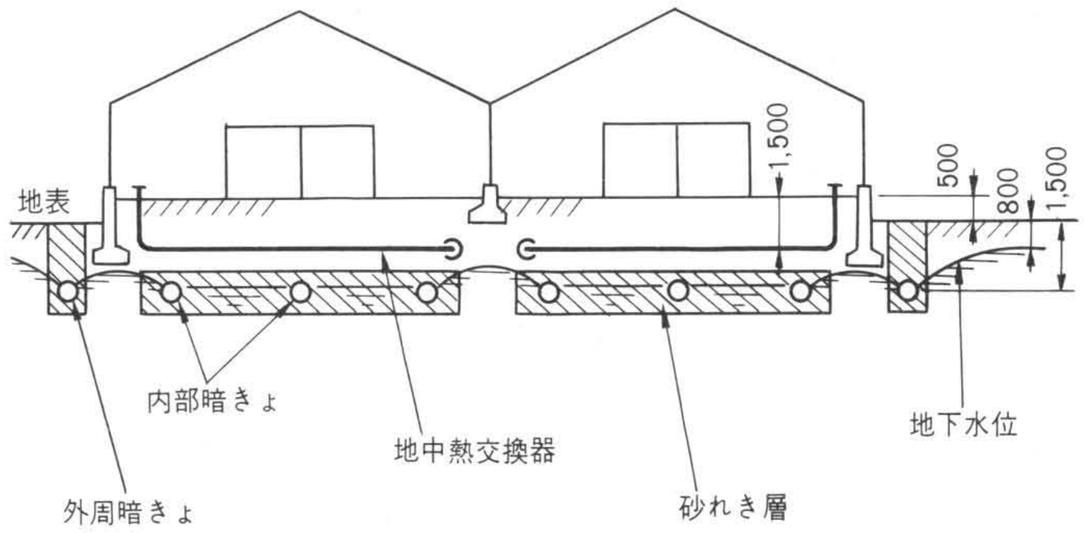



図 8　地下水対策　　内部暗きょを地中熱交換器の下部に設置して地下水面を低下させ，また外周暗きょを温室外に設置して外部からの地下水浸入を防止する。

## 5　今後の課題と展望

前述のように，本方式は省エネルギー上の効果はもちろんのこと，地温上昇による植物根群の生育が良好になること，室内空気を強制的に流動することがないので，夜間それほど多湿化せず病害などが発生しにくいこと，及びシステムの取扱いが簡便で省力的であることなどの効果が期待される。

一方，今後解決してゆくべき課題も少なくない。例えば地中蓄熱部の工事で，その工数を大幅に低減する必要がある。特に，地下水位の浅い地理条件下では，その水切りのための工数が付加されるから，これの低減も重要である。また，集熱方法についても検討の余地がある。

今後とも，農林水産省関係機関の指導を得ながら，問題点の解決を図り，本システムの改良，普及に努めたい。

## 6　結　　言

施設農業でのエネルギー消費の節約を図る目的で，長期地中蓄熱式温室の研究を行なった。

すなわち，実験温室の深い土層に夏季から秋季にかけての太陽熱を蓄え，冬季に温室内に自然放熱させて暖房した。その結果，室内は外気温度よりも 7℃以上高く，地中温度も地表面直下で16℃前後を保ち，3 月下旬まで放熱を続けた。この方式は短期の天候に影響されにくく，したがって，予備の暖房施設をほとんど必要としない特長がある。

本研究は，昭和57年度農林水産省エネルギー技術実用化促進事業の「深層長期地中蓄熱園芸施設技術開発研究」に取り上げられ，350m$^2$級の温室による大規模実証の研究が進行中であり，省エネルギー効果の実証が期待される。

大規模実証温室に関しては，社団法人農林水産技術情報協会殿をはじめとして，農林水産省農業土木試験場殿並びに茨城県園芸試験場殿から多大の御指導をいただいており，ここに深甚の謝意を表わす次第である。

### 参考文献

1)　三原：施設園芸における省エネルギーの現状と将来，日本機械学会誌，**82**，725，97～103(1979-4)

2)　山本：地中熱交ハウスの温度環境および熱特性，農業気象，**29**，1，11～15(1973-6)

3)　三原：高能率施設園芸に関する総合 5 部会報告(1977)

4)　山崎：地中熱交ハウス研究，三菱電機，3 ～ 7 (1978)

5)　鎌田：地下トンネル冷房の熱負荷計算について，冷凍，**54**，620，23～30(1979-6)

6)　三原：施設園芸の気候管理，誠文堂新光社，114(1972)