

## 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

佐々木皓二・高橋 基・金目武男・佐藤紀男・板木利隆

K. SASAKI, M. TAKAHASHI, T. KANAME,  
N. SATO, and T. ITAGI

Studies on solar greenhouse heated by means  
of an earth storage heat exchange system. IV.  
Heating efficiency, atmospheric and thermal  
condition, growth and yield of tomato, and  
economic effect in case of using the commercial  
greenhouse.

## I 緒 言

前報(7, 8, 9)まで, 場内のビニルハウスおよびガラス室を供試して, 本装置の暖房性能, 運転方法, 熱収支, 室内環境特性およびトマト, キュウリの生育反応について検討を行ってきた。その結果, 暖房性能としては, 本装置の単用運転で室内を8~10°Cに保持でき, 最大13~16°Cの内外気温差を得られることが分かり, 実用化に向けて明るい見通しを得た。

しかし, これらの試験に用いた施設の床面積は314 m<sup>2</sup>および352 m<sup>2</sup>で, 県内の平均農業施設の約1/3の規模であり, 実際の普及にあたってはさらに経済規模の面積をもつ施設を用いて試験し, 暖房特性のは握に努めるとともに経済効果についても明らかにする必要があった。このようなことから, 本試験は県内の代表的な生産農家を選定して, 大型施設における本暖房方式の実証化をはかろうとしたもので, 本報では1979年秋~'81年春までの3か年にわたる成績をとりまとめて報告する。

なお, 試験の遂行にあたり農業技術課, 清田勇専門技

術員, 相模原農業改良普及所野菜班各員および園主清水澄雄氏の多大な協力を得, ここに深甚の謝意を表する。

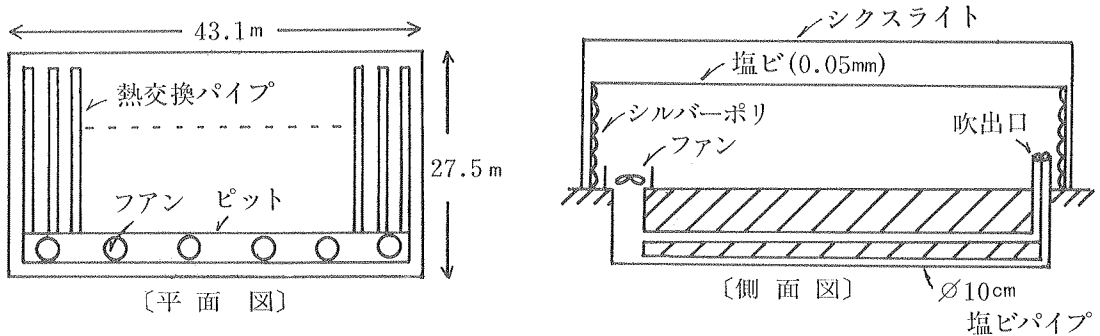
## II 材料および方法

### 1. 試験実施場所

海老名市中野1902 清水澄雄氏ほ場

### 2. 供試施設, 地中熱交換装置の構造およびその運転方法

本試験に供試した施設および地中熱交換装置の構造を第1図に示した。供試施設は床面積1,185 m<sup>2</sup>, 保温比0.67の硬質ポリエステルフィルム(シクスライト)を被覆した5連棟ハウス(菱日NS型)で, 内部保温カーテンは天井一層(0.07mm塩化ビニル), サイド二層(塩ビ+0.05mmシルバーポリ)被覆とした。地中熱交換装置はこれまでの場内試験の成績をもとに設計し, 内径10cmの塩ビパイプを60cm間隔に, 深さ70cm, 90cmの二段に, 合計140列(全長3,670m, パイプ表面積: 床面積=0.97: 1)埋設した。送風ビッドは作業性を考慮してハウス南側に設け, 北側にパイプ立ち上がり方式の吹出口を設け



第 1 図 供試ハウスと地中熱交換装置

た。送風ファンは、200V、750Wの有圧ファンを6基用いた。

日中の蓄熱開始温度は22°Cとし、夜間の暖房（放熱）設定温度は1979～'80年は8°Cの恒夜温管理、また次年の'80～'81年は前夜半（17.00～21.00）10°C、後夜半（21.00～8.00）6°Cの変温管理法を用いた。

日中の換気は原則として午前中はほぼ密閉状態、午後には28°Cを目標に、手動操作により天窓を開閉させた。

補助暖房に温風暖房機を用い、兩年とも室温6°C以下で作動させて安全を期した。

### 3. 温度・湿度・CO<sub>2</sub>濃度調査および蓄熱、放熱量の算出

気・地温の測定は、ハウス内中央、ファン吸気口、吹出口、地中のパイプ中間点のパイプ側壁から10cm離れた点および室外の高さ1.5mの位置について行なった。これらの温度は多点測温抵抗式自記温度計を用いて測定した。

相対湿度は1980～'81年における試験で通風式自記湿度計を用い、ハウス中央部で測定した。CO<sub>2</sub>濃度も同年同一位置において赤外線ガス分析計を用いて測定した。

蓄熱量と放熱量の算出は顕熱交換量について、循環風量×空気比熱×吸気口と吹出口との温度差×時間の式から求めた。循環風量はアネモマスターを用い、各パイプの吹出口毎に風速を調査して、総排出空気容積からこれを算出した。

### 4. 供試作物および耕種概要

1979～'80年はトマト“ほまれFR”を用い、10月25日には種し、1月14～16日に定植した。栽植様式はうね幅120cm、株間30cmの1条植えとした。1980～'81年は前年同様‘ほまれFR’を用い、さらに作期を早めて9月23

日には種し、12月9～11日に定植した。栽植様式は前年と同一である。かん水は点滴かん水方式を用いた。兩年とも収穫は6段果房まで行なった。トマトの栽培管理は当地域の慣行に従った。

## III 成 績

### 1. 循環風量

各パイプの吹出口の風速を調査したところ、平均風速は6.4msec<sup>-1</sup>で総循環風量は420m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>であった。

### 2. 暖房性能・温度特性

第1表に1980年1月～2月におけるハウス内外の各測定位置の温度、温度差、重油消費量、蓄熱・放熱量および集熱効率を示した。

本装置の暖房性能は高く、屋外最低気温が0°C以下の日におけるハウス内最低気温は、屋外最低気温が-5°Cまでは、暖房設定温度の8°Cをほぼ維持しており、-5°C以下の日においても8°Cを0.5～1.5°C下回まる程度であった。屋外気温が0°C以下の日の内外気温差は10°C以上を保持し、最大は16.4°C（1月23日）となった。補助暖房である温風暖房機が作動したのは屋外最低気温が-7°C～-9°Cと著しく低下した7日間だけであり、しかも1夜当たりの燃料消費量は3～25l程度で、重油総消費量は85lにとどまった。屋外気温が-6°C以上の日では、強風の吹いた1日（1月25日）を除き補助暖房が作動することはなかった。

蓄熱量は晴天日では40～60×10<sup>4</sup>kcalが得られ、それに対して放熱量は30～60×10<sup>4</sup>kcalであり、両者はほぼ同等か、蓄熱量がややまさる日が多かった。従って、1月～2月の地中温度は14～16°Cの範囲で推移し、著しい上昇や下降はなかった。本試験開始時点の地中温度がやや

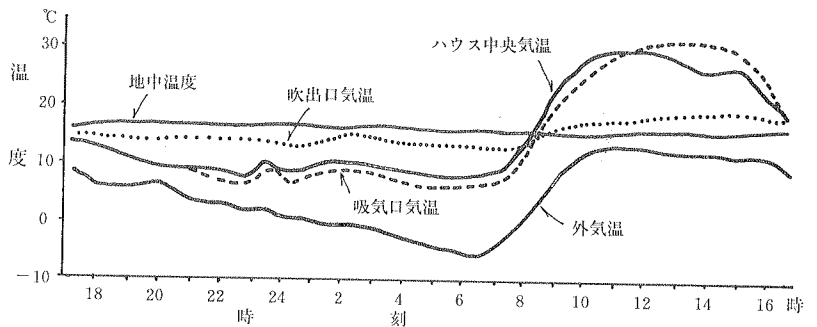
低かったのは、トマト定植前の蓄熱運転を行なわなかったため、次年度の改善点として残された。

ハウス内到達日射量に対する蓄熱量（集熱効率）は20～30%であった。

第2図に晴天日における各測定位置の温度経時変化の1例を示した。日中の室内気温は午前中30℃まで達するが、午後は天窓換気により25～28℃で推移している。吸気口側はハウス中央部より2～4℃高く、一方吹出口は吸気口側よりも10℃以上低く、最大気温差は13℃に達した。それに対し、夜間ファン作動時は逆に吹出口が吸気口側よりも6～7℃高く、その差はほぼ一定であった。地中温度の変化は蓄熱運転により0.5～2℃上昇し、放熱運転で同様に0.5～2℃低下するが、その差は当然のことながら蓄・放熱の時間によって異なった。夜間放熱時の吹出口気温は、運転開始時では地中温度と同一気温を示し、屋外最低気温出現時にはそれより

約2℃低い13～14℃であり、夜間の吹出口気温から地中温度の推定が可能なが示唆された。

第2表に次年の1980～81年におけるハウス内外の温度および重油消費量を表わした。本年は前年と異なり、暖房設定温度に10℃～6℃の変温管理法を採用し、第2表のハウス内最低気温は6℃設定時について示した。この年の屋外最低気温は-5℃以下に低下する日が多数出現し、最低極温は-9.8℃（1月12日）を記録した。このように気温低下の著しい年であったが、ハウス内は5.5



第2図 各位置の温度変化（1980年2月12～13日）

第1表 暖房効果・重油消費量・蓄熱・放熱量および集熱効率（1980年）

月日	最低	ハウス内気温		内外	地中*	吹出口*重油	重油	放熱量	蓄熱量	室内到達	集熱
	外気温	最高	最低								
	℃	℃	℃	℃	℃	℃	l	×10 <sup>3</sup> kcal	×10 <sup>3</sup> kcal	×10 <sup>3</sup> kcal**	%
1. 20～21	-5.6	35.4	7.5	13.1	15.0	12.9	0	457.0	399.2	1,874.7	21.3
21～22	-6.8	30.5	7.0	13.8	14.8	12.8	0	545.8	577.7	1,849.8	30.1
22～23	-8.9	31.8	7.5	16.4	15.0	13.8	20	557.5	655.2	1,941.0	33.8
23～24	-5.5	31.5	8.0	13.5	15.0	13.4	5	498.7	439.5	1,625.8	27.1
24～25	-4.3	32.2	8.1	12.4	14.9	13.3	20	549.4	587.6	1,883.0	31.3
25～26	-7.0	32.3	7.5	14.5	14.9	12.6	5	533.6	598.8	2,024.0	29.7
26～27	-7.0	33.7	7.5	14.5	15.0	13.0	3	564.6	675.0	1,832.2	36.9
2. 3～4	-3.6	28.5	8.3	11.9	15.1	12.3	0	363.6	477.0	2,007.4	23.9
5～6	-3.3	27.2	8.4	11.7	15.8	10.4	0	130.6	279.4	1,642.4	17.0
6～7	-4.3	29.5	8.5	12.8	15.5	13.8	0	563.2	426.2	1,443.3	29.6
8～10	-5.3	30.3	7.3	12.6	14.7	12.7	0	341.1	558.3	2,297.7	24.3
10～11	-4.3	31.3	8.2	12.5	15.0	13.0	0	391.5	564.8	2,355.8	24.0
11～12	-5.5	29.3	7.6	13.1	15.0	13.0	0	373.5	613.3	2,322.6	26.4
12～13	-3.7	31.9	8.5	12.2	15.5	13.8	0	208.5	524.5	2,048.9	25.7
14～15	-6.4	24.4	7.0	13.4	15.0	12.5	0	644.0	87.5	2,505.1	3.5
15～16	-7.0	32.2	6.7	13.7	14.5	12.4	0	594.1	255.6	1,783.4	14.4
17～18	-8.4	29.7	6.9	15.3	14.3	12.4	25	582.4	454.1	2,463.6	18.5

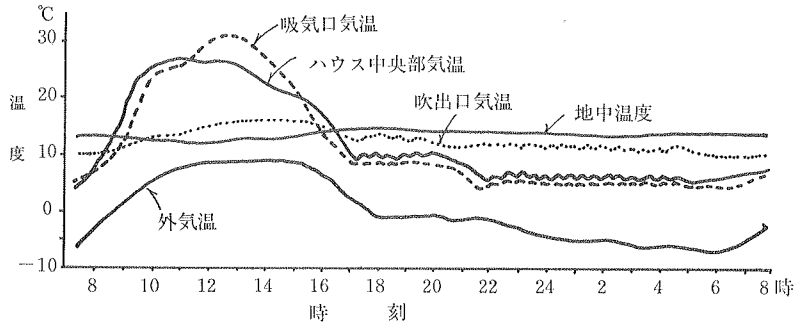
\*最低外気温出現時

\*\*日射量は二宮にて測定

〜9.5℃に保持することができ、屋外最低気温が0℃以下の日の内外気温差は10〜15℃を確保し、前年と同等の暖房性能を示した。また、第3図に各測定位置の温度経時変化の1例を示した。ハウス内気温は日中25〜30℃の範囲で推移し、夜間は暖房設定温度に従った変化を示した。吸気口〜吹出口の気温差は日中10〜15℃、夜間6〜7℃であり、地中温度〜吹出口の温度差は最大2℃で前年とほぼ同様の傾向であった。

試験開始時の12月中旬における地中温度は18℃を保っていたが、運転開始後、日数の経過とともに次第に低下していき、1月中旬には12℃の最低温度を記録した。前年14〜16℃の範囲の変化を示した結果とは大きく異なった。これは蓄熱量と放熱量のバランスの乱れから生じる現象で、第4図に示したように屋外気温が著しく低下し、しかも夕方から降下したため、放熱量が蓄熱量にまさる日が多く、地中温度を次第に低下させる結

果になった。地中温度の低下は暖房性能に影響を及ぼすだけではなくトマトの根に対し低温障害を生じさせるおそれがあり、実際生育遅延の傾向が認められたので、2月上旬に一時夜間の放熱運転を停止させて補助暖房に切換え、ファンは日中の蓄熱運転だけとする措置をとった。その結果、第5図に示したように、補助暖房運転前12.5℃であった地中温度は、6日後には15℃までに回復した。このような措置を構じたため、重油消費量は240lと前年よりも約3倍に増大した。



第3図 各位置の温度変化 (1981年1月5〜6日)

第2表 暖房効果、重油および電力消費量 (1980〜'81年)

月日	最低	ハウス内気温		内外 気温差	地中温度		重油 消費量	電力 消費量
	外気温	最高	最低		最高	最低		
12.10~11	2.5	29.5	10.0	7.5	18.0	17.5	0	13
15~16	-6.8	24.0	8.0	14.8	16.0	15.2	0	35
21~22	-7.8	28.0	7.7	15.4	14.5	14.0	0	43
27~28	-6.7	26.0	6.3	13.0	15.2	14.3	0	57
29~30	-9.2	30.8	6.0	15.2	14.7	13.0	0	55
30~31	-6.3	28.8	7.8	14.1	14.7	14.0	0	55
1. 4~5	-8.2	26.2	6.2	14.4	15.0	14.0	5	65
5~6	-7.8	25.5	5.7	13.5	14.2	13.7	0	66
7~8	-9.2	28.0	5.7	14.9	14.2	13.0	0	69
8~9	-7.7	27.8	6.0	13.7	13.8	13.2	0	48
11~12	-9.8	28.7	5.2	15.0	13.8	12.7	0	78
13~14	-9.7	26.2	4.7	14.4	13.2	12.0	10	81
2. 4~5*	-8.8	17.7	5.2	14.0	13.2	12.5	120	64
6~7*	0.0	28.2	9.6	9.6	14.0	12.0	35	27
7~8*	-5.7	26.2	7.5	13.3	14.3	14.2	70	35
8~9	-5.8	21.7	7.5	13.3	14.3	14.2	0	61
9~10	-4.5	26.2	7.0	11.5	14.8	14.8	0	63

\*夜間ファンを止め補助暖房使用

2月中旬以降の地中温度は最低14℃を確保し、3月に入ると16~17℃に上昇した。

3. 相対湿度特性

晴天日におけるハウス内の相対湿度の経時変化について1例を第6図に示した。日中の相対湿度は85~90%の範囲で経過し、天窓を開けた12時に最低となったが、午後は上昇する傾向にあった。夕方、カーテン閉鎖後は一時100%に達するが、ファンのON-OFFにより、95~100%の変化を示した。早朝カーテン内部の水滴付着は相当量認められた。

4. CO<sub>2</sub>濃度変化

第7図に晴天日における濃度経時変化の1例を示した。ハウス内のCO<sub>2</sub>濃度は夜間840~890ppmの高濃度状態を保っているが、7時以降光合成開始とともに急速に低下し、11~12時には250ppmと大気濃度以下の値を示した。午後には再び上昇し、カーテン閉鎖時には500ppmに達した。

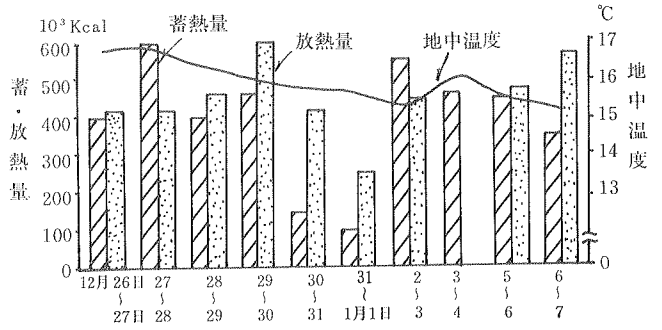
5. トマトの生育, 収量

1979~'80年は、定植日が適期より約5日遅れたため活着不良で初期生育は劣ったが、第2~3段花房開花後の生育は順調であった。しかし、生育後半は頂部の生育がやや不良で、肥料あるいは水分不足と思われる草姿になった。このため、上位果房の果実肥大が不十分で、空胴果の発生も多かった。特定病害の発生はほとんど認められなかった。

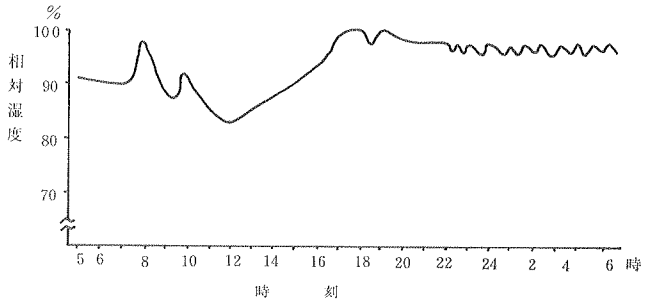
1980~'81年は1月中旬以後低地温の影

響を受けて生育はやや抑制され、また適期防除を怠ったため灰色カビ病による被害を受けた。

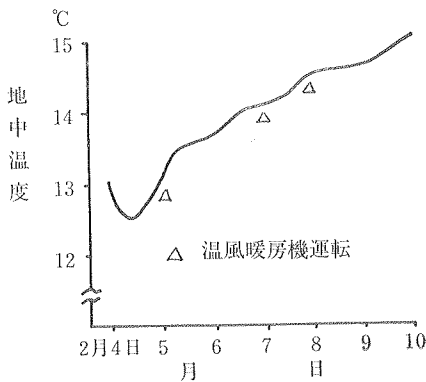
先に本装置運転時は吸気口と吹出口との間に昼夜逆の



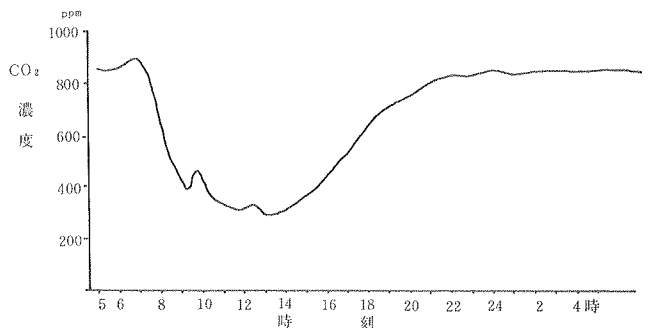
第4図 蓄熱量, 放熱量と地温変化 (1981年)



第6図 室内の相対湿度変化 (1981年2月2~3日)

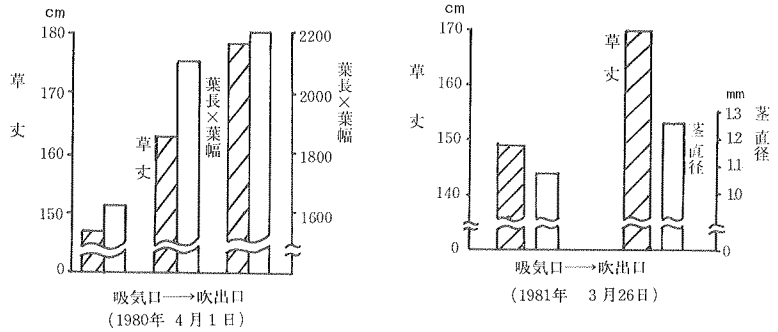


第5図 補助暖房の運転と地温変化



第7図 室内のCO<sub>2</sub>濃度の経時変化 (1981年2月2~3日)

温度勾配が生じることを述べたが、トマトの生育に対しては夜間の温度差の影響が強くあらわれ、第8図に示したように、夜間温風が当たる吹出口部分の生育が旺盛で、作物体の伸長、茎の太さ、葉の大きさとともに吸気口部分よりまさり、キュウリの場合(9)とはまったく逆の結果であった。このような温度勾配による生育不均一の消去法は今後の重要な検討課題として残された。



第8図 ハウス内の位置による生育差

第3表は1979~'80年における収量を等級別に表わしたものである。総収量は13.8t(10a換算11.7t)得られ、当地域の本作型ではほぼ標準的な数値であった。しかし、4月の秀品率が76%であったのに対し、5月以降は空胴果の発生が多かったため50%以下となり、収益にも影響を及ぼした。1980~'81年における収量は第4表のとおりである。総収量は11.8t(10a換算10t)で前年より約14%減収した。しかし空胴果や変型果の発生が少なく、各月とも秀品率は60%を越えた。

第3表 トマトの収量(1979~'80)

月	秀品		優品		B品		計
	収量	率	収量	率	収量	率	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg
4	2,644	76.1	588	16.9	244	7.0	3,476
5	3,160	41.0	3,760	48.9	784	10.2	7,704
6	1,148	43.4	964	36.4	536	20.2	2,648
計	6,952	50.3	5,312	38.4	1,564	11.3	13,828

6. 経済効果

第4表 トマトの収量(1980~'81年)

月	秀品		優品		B品		計
	収量	率	量収	率	収量	率	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg
3	1,294	63.4	592	30.0	156	7.6	2,042
4	3,796	68.7	1,320	23.9	412	7.5	5,528
5	2,608	63.5	832	20.3	668	16.3	4,108
6	96	70.6	20	14.7	20	14.7	136
計	7,794	66.0	2,764	23.4	1,256	10.6	11,812

第5表に本装置を設置するために要した費用の内訳および償却費を示した。施設費総額は施工労賃を含め312万円(10a換算263.3万円)を要し、このうち資材費が約63%で、そのなかでもパイプの購入費が49%と投資額の半分を占め、ついで送風ビット、送風ファン、掘削機のリース代金、労務費の順であった。各資材の償却年数は、ファンは一般的に用いられる耐用年数の8年とし、他は用例はないが消耗部分が極めて少ないので、施設と同一の20年を見込むとすると、年間の償却費総額は約18.6万円と試算された。これに対し、慣行の温風暖房方式の費用と償却費を、これまでの利用実績から推定したのが第6表で、費用総額は67.5万円、年間償却費は8.4万円となった。従って、地中熱交換方式は温風暖房方式に比べて施設費総額は約4.6倍、年間償却費で約2.2倍であった。

第5表 装置費用の内訳と償却費

項目	内訳	金額	償却	
			年数	費
塩ビパイプ	φ100mm 980本	1,470	20	73,500
同 L	140個	63	20	3,150
制御装置	2台	73	20	3,650
ファン	200V, 750W 6基	372	8	46,500
サーモスタット	2基	15	8	1,875
コンクリートビット	60cm×1m×40m	700	20	35,000
掘削機リース代	8日	240	20	12,000
労務費	27人	203	20	10,150
計		3,121		185,775

地中熱交換方式の経済効果を装置償却費+運転経費で表わし、温風暖房方式と比較して示すと第7表のようになる。なお、地中熱交換方式の償却費には、数日間ではあるが、温風暖房機が稼動したので、その償却費も含めて表わした。また、温風暖房方式の重油消費量については隣接するガラス室(1,320m<sup>2</sup>、カーテンは同一条件)の実績から推定して示した。1979~'80年においては、地

中熱交換方式は、償却費で3.2倍また電気代で4.2倍となるが、重油代金は1/60と極めて少なく、年間経費では約20%の節減になった。1980～'81年についてみると、電気代は料金の値上りのため前年の約2倍に、また重油代金も2.8倍に増大したが、重油消費量が著しく少ないため、年間経費では約32%の経済効果を示した。このように、地中熱交換方式は、初年度の投資額が大きく、運転経費の電気代にもやや費用は要するが、重油代金を著しく低減できるので、経済効果は高いといえる。

#### IV 考 察

地中熱交換方式の広範な普及をはかるため、本装置を現地農家の経済規模の施設に設置して、暖房性能、室内環境特性、トマトの生育反応および経済効果のは握に努めた。その結果を考察すると次のとおりである。

暖房性能は1979～'80年、'80～'81年の兩年とも屋外最低気温が $-5^{\circ}\text{C}$ までは暖房設定温度の $8^{\circ}\text{C}$ （'79～'80年）、 $10\sim 6^{\circ}\text{C}$ （'80～'81年）をほぼ維持し、 $-5^{\circ}\text{C}$ 以下の日においても $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 下回る程度であり、内外気温差は屋外気温 $0^{\circ}\text{C}$ 以下の日で $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ が得られ、場内における成績とほぼ同様な結果であった。補助暖房が作動したのは、'79～'80年では7日間で、重油消費量は85 l、'80～'81年は5日間で240 lであった。このような高い暖房効果が得られた要因を装置の面から次のようにみることができる。

一般に施設の暖房必要熱量は次式で表わされる。

$$Qg = Aq \{ ht(\theta_{in} - \theta_{out})(1 - fr) + hv(\theta_{in} - \theta_{out}) \} + As \cdot qso$$

ただし、 $Qg$ ：暖房必要熱量 kcal/h、 $Aq$ ：ハウス表面積  $\text{m}^2$ 、 $ht$ ：熱慣流率  $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 、 $As$ ：室内気温 $^{\circ}\text{C}$ 、 $\theta_{out}$ ：室外気温 $^{\circ}\text{C}$ 、 $fr$ ：保温被覆の熱節減率、 $hv$ ：換気伝熱系数  $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 、 $As$ ：ハウス床面積  $\text{m}^2$ 、 $qso$ ：地中伝熱量  $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  この式から、内外気温差 $13^{\circ}\text{C}$ とし、 $Aq$ ：1,778、 $ht$ ：5.5、 $fr$ ：0.3、 $qso$ ： $-5$ として、暖房必要熱量を求めると $Qg=59,937\text{kcal/h}$ が得られる。

一方、地中熱交換装置からの放熱量を、 $w = a \cdot c \cdot (P_1 - P_2)$ （ただし、 $w$ ：放熱量、 $\text{kcal}/\text{h}$ 、 $a$ ：空気比熱  $\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 、 $c$ ：循環風量  $\text{m}^3/\text{h}$ 、 $P_1$ ：吹出口気温 $^{\circ}\text{C}$ 、 $P_2$ ：吸気口気温 $^{\circ}\text{C}$ ）の式から屋外気温 $-5^{\circ}\text{C}$ 時における1例（1980年1月24日）を求めると、 $w=56,700\text{kcal/h}$ が得られる（ $a=0.3$ 、 $c=25,200$ 、 $P_1 - P_2=7.5$ ）。このように両者の値はほぼ一致し、ハウスの暖

第6表 温風暖房機の費用と償却費（推定）

項目	内訳	金額		償却 年数	償却費
		千円	円		
暖房機本体	1台	600		8	75,000
ポリダクト	1式	50		5	10,000
計					85,000

第7表 経済性比較（1979～'80）

項目	地中熱 交換方式	温風暖 房方式
	円	円
償却費	270,775	85,000
重油代	5,950	350,000
電気代	84,250	20,000
計	360,975	455,000
比	79.3	100
(1980～'81)		
償却費	270,775	85,000
重油代	16,800	546,000
電気代	153,673	30,000
計	441,248	661,000
比	66.8	100

房負荷に応じた放熱量が本装置から得られ、埋設パイプ量および循環風量が適切であったことを示している。

地中熱交換装置の設計諸元については著者等がこれまでの成績をもとに別報(11)で明らかにし、パイプの埋設位置は径100mmのプラスチックパイプを用いた場合、深さ50cm以下、間隔50～60cmの二段配列とし、必要循環風量は、 $w = Qg / \{ a \cdot 60 \cdot (P_1 - P_2) \}$ （ $w$ ：必要循環風量、 $\text{m}^3/\text{min}$ 、 $a$ ：空気比熱  $\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 、 $P_1$ ：吹出口気温 $^{\circ}\text{C}$ 、 $P_2$ ：吸気口気温 $^{\circ}\text{C}$ 、 $Qg$ ：暖房必要熱量  $\text{kcal}/\text{h}$ ）の式から算出できるとした。この式から、 $(P_1 - P_2)$ を $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ として必要循環風量を求めると、 $410\sim 550\text{m}^3/\text{min}$ となり、実測値（ $420\text{m}^3/\text{min}$ ）はこの範囲内において、本試験の成績はこれを裏づける結果となっている。また、山本ら(3)は、熱交換パイプは100～130mmの硬質パイプが好適で、その埋設量はパイプの総内壁面積がハウス床面積と1：1の対応をなすことが適切であると述べている。本試験におけるその比を求めると0.97：1で、山本らが示した値に近似した。また、山本らはファンの性能について、稼動風量は最大風量

(静圧0 mm H<sub>2</sub>Oにおける風量)の70%を切らない範囲で静圧は10mm H<sub>2</sub>Oを越えないように決める必要があると述べている。この点では、本試験に使用したファン1台当たりの風量は70m<sup>3</sup>/minで、最大風量の約40%しか得られず、静圧も16~17mm H<sub>2</sub>Oと推定され、機種を選定が必ずしも適切ではなかったことを示している。

なお、山本は蓄熱にまわす余剰熱量をできる限り多くするため、ハウスは昼間二重被覆にする必要があると述べている。しかし、1~3報及び本試験とも一重被覆条件においても密閉状態では28~30°Cを越え、むしろ若干の換気を行なうほどであって、二重被覆の必要性は認められなかった。二重被覆により蓄熱量が増大しても、フィルムを固定するため多くの部資材や止め具を要することや、光線透過量の減少がさげられないので、必須条件とはいえない。

初年度、試験開始前に地中温度を上昇させるための蓄熱運転を行なわなかったため、15°Cの温度でスタートした。その後、地中温度は2月末まで14~16°Cの範囲で推移し、著しく上昇したり、下降することはなかった。しかし、1980~'81年は、18°Cの地中温度で試験を開始したにもかかわらず、1月中旬には12°Cまで低下し、初年度とは大きく異なる結果になった。これは、放熱量が蓄熱量を越える日が続くことによって生じる現象である。

初年度における蓄熱・放熱量をみると、両者の値はほとんど同一か蓄熱量がややまさる日が多く、1日の地中温度は1~2°Cの範囲で変化している。これに対し、次年度は12月中旬から屋外気温の低下が著しく、-5°C以下の日が多かったため放熱量が蓄熱量を越え、地中温度を降下させる結果になった。地中温度の低下は、暖房性能に影響を与えるだけでなく、トマトの生育に障害を発生させるおそれがあり、実際その徴候が観察されたので2月上旬に一時夜間の放熱運転を停止させて、日中の蓄熱運転だけにとどめ、地中温度を回復させる措置をとった。放熱量の増大に伴う地温低下の例は、果樹試気象研究室(14)、徳島農試(14)愛媛農試(14)でも認められており、今後は、常に地中温度をみた運転管理がきわめて重要と考えられ、一定温度以下になった場合は、補助暖房に切り換える必要があろう。西野(6)はトマトの地温について経済栽培では13°C付近が養分吸収や生育速度から実用的な限界であろうと述べており、本装置を運転する場合においても、13~14°Cを最低限界において安全を期すべきであると思われる。

本装置は吸気口と吹出口との間に昼夜逆の温度勾配を生じるが、トマトの生育に対しては夜間の温度差の影響

を強く受け、温風の当たる吹出口近くの生育が旺盛になり、吸気口部分は抑制される傾向を示した。キュウリの場合とはまったく逆の現象であった。この原因は、両者の昼夜の温度と生育速度の違いによるものと思われる。鴨田ら(3)はリニア差動トランスを利用し、果菜類の生長を連続測定し、トマトでは夜間の茎伸長が著しく、日中は逆に収縮することを認め、これに対して、キュウリでは昼夜の別なく伸長する性質のあることを明らかにしている。従って、トマトは伸長の進む夜間に温風が当たる吹出口部分の生育が促進されるのに対し、キュウリは1日の積算温度が高い吸気口部分の生育が進むと理解される。この温度勾配によるトマトの生育差の消去法はまだ明らかでなく、今後さらに検討を要する重要な課題である。

ハウス内の相対湿度は、日中85~90%、夜間のファン作動時は95~98%の値を示し、従来の成績とほぼ同様な傾向で、大型施設においてもやや多湿な状態に推移した。このような湿度状態は、トマトの生育にとっては好適な状態と思われ、先の鴨田らの成績(3)によれば多湿区(日中90%-夜間95~100%)は少湿区(60%-85~90%)よりもトマトの生育がすぐれることを認めている。しかし、作物体への水滴付着は病害の発生を助長させることが明らかであり(12)、実際'79~'80年は問題なかったが、次年度は天井カーテンからの水滴落下や適期防除を怠ったこともあって、灰色カビ病の発生をみ、かなりの被害を受けた。近年、本方式だけではなく、施設が多層被覆が一般化するに従い、灰色カビ病が多発する傾向にあり、しかも特定薬剤に対する耐性菌が出現しやすいことが明らかにされており(5)、今後は防除薬剤や防除装置を組み合わせた総合防除法の早期確立が望まれる。

ハウス内のCO<sub>2</sub>濃度は、これまでの測定例と同様、夜間高く、日の出後光合成開始とともに急速に低下する推移を示した。特に、午前中密閉した場合、低CO<sub>2</sub>濃度の状態が続き、換気直前には最低の250ppmとなり、施用の必要性を認めた。従来の慣行暖房方式ハウスにおけるCO<sub>2</sub>施用は、日の出後から1.5~2時間程度であるが(2)地中熱交換ハウスでは、午前中はほぼ密閉状態にあるので長時間施用が可能であり、また室温は28~30°Cに保持されており、さらに空気流動によるCO<sub>2</sub>の取り込みが促進されて(1)、これまで以上にCO<sub>2</sub>施用の効果を高めることが期待できる。高知農林技研(14)ではキュウリに対して、CO<sub>2</sub>施用を行なった地中熱交換ハウスが、無施用の対照ハウスよりも多取になったと報告している。しかし、トマトに対しては、慣行暖房方式を対照ハウスと



したCO<sub>2</sub>施用試験は見当らず、これからの検討課題である。

トマトの生育は、1979～'80年は、定植日が遅れたため活着不良で初期生育が劣ったが、中期は順調であった。しかし、生育後期は頂部の生育がやや不良で、肥料あるいは水分不足と思われる草姿となった。このため、当地域における標準収量は得られたものの、第3果房以上に空洞果の発生が多かった。パイプ埋設の際の深耕や点滴かん水方式であったため(4)水の横浸透が不十分であったことがその一因と考えられた。茨城農試(14)でもパイプ埋設による耕土の不均一がピーマンの初期収量の低下を招いたことを認めている。本装置設置当初は、かん水方法やかん水装置に留意が必要と思われた。

'80～'81年は、後夜半の設定温度(6℃)がやや低かったこと、また1月中旬以後低地温の影響を受けて生育はやや抑制され、さらに灰色カビ病の被害のため、収量は前年より約14%減収した。しかし、かん水量を前年より増すなど管理作業を改善した結果、空洞果や変型果の発生が少なく、秀品率は向上した。

このように、地中熱交換装置を用いた施設においても暖房温度を確保し、かん水や日常管理に注意を払うならば慣行の暖房方式と変わらない収量や品質のトマトが生産できることを示している。

地中熱交換装置の設置に要する経費は、総額312万円(10a換算、260万円)で、このうちパイプ代金と送風ピットの費用が全体の70%を占めた。著者が神奈川県内の24の実施例を調査した事例では、384～166万円/10aとなっており、パイプの材質、施工の難易あるいは、自家施工か否かによってその差は非常に大きかった。奈良農試(14)の調査例では、206～260万円/10aで、本試験装置とはほぼ同額であった。本装置の広汎な普及をはかり、経済効果を高めるためには、初期投資額を低減させることがきわめて重要であるが、そのためには安価なパイプや送風ピットの開発、また能率的な施工技術の考案が望まれる。

本方式の経済効果を装置償却費+運転経費で表わし、温風暖房方式と比較したところ、償却費では3.2倍、電気代では4.2倍となるが、重油代金は1/30～1/60と著しく少なく、年間20～30%の経費減になることが分かった。本方式の経済効果を上記のような方法で調査した例は見当らず、ほとんどが運転経費だけの比較のみであるが、それによれば石油+電気料金は慣行暖房方式の20～30%(14)ですんでおり、省エネ効果は高いとしている。今後、本方式の設置事例が増加するに従い、慣行暖房方式

との総合的な比較検討が進み、長期的にみた場合における評価が下されるものと思われる。

## V 摘 要

現地農家の経済規模の面積を有するハウスに地中熱交換装置を設置して、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調査した。

1. 供試施設は床面積1,185m<sup>2</sup>の5連棟建シクスライト被覆ハウスを用いた。内部カーテンは天井一層、サイド二層とした。地中熱交換装置は、内径10cmの塩ビパイプを合計140列埋設し、200V、750Wの有圧ファンを6基用いた。循環風量は420m<sup>3</sup>/minであった。
2. 屋外最低気温が-5℃までは、暖房設定温度の8℃(1979～'80年)、10-6℃('80～'81年)を保持でき、内外気温差は最大15.3℃を得た。
3. 補助暖房(温風暖房機)の作動による重油消費量は、初年度85l、次年度は240lであった。
4. 地中温度は、初年度は14～16℃の範囲で推移したが、次年度は放熱量が蓄熱量にまさる日が続いたため、最低12℃まで低下した。
5. 室内の相対湿度は、日中85～90%、夜間95～98%の推移を示した。
6. 室内のCO<sub>2</sub>濃度は、夜間840～890ppmを保っているが、日の出後急速に低下し、最低は250ppmを示した。
7. トマトの生育は、夜間温風が当たる吹出口部分が旺盛となり、吸気口部分は抑制された。
7. トマトの収量は、初年度13.8t(10a当たり11.7t)得られたが、空洞果の発生が多かった。次年度は11.8t(10a当たり10t)で前年より低収となったが、秀品率はすぐれた。
9. 施設費総額は312万円(260万円/10a)で、このうちパイプ代金が49%とほぼ半分を占めた。経済効果を装置償却費+運転経費で表わし、温風暖房方式と比較したところ、償却費と電気料金は大きい、重油代金は著しく少なくすみ、年間20～30%の経費減となった。

## 引用文献

1. 藤本幸平(1971). 施設園芸の環境と土壌, 位田藤久太郎編: 37～46.
2. 伊東正(1980). 温室設計の基礎と実際, 三原義秋編: 205～213.

3. 鴨田福也・内藤文男 (1975). 野菜の光合成及び蒸散に関する研究Ⅱ, 差動トランス利用による生長記録装置およびこれを用いたのトマト・キュウリなどの伸長肥大測定, 野菜試報, A 2 : 33~47.

4. 金目武男 (1981). 施設野菜栽培における点滴かん水の特性試験, 神奈川県試果菜試験成績書; 37~38.

5. 村越重雄 (1981). トマト灰色カビ病のペンツイミダゾール系剤耐性菌に対する各種殺菌剤の防除効果, 神奈川県園試研報, 28 : 50~58.

6. 西野 寛 (1980). 施設園芸の省エネルギー新技術, 農林水産技術会議事務局監修; 226~227.

7. 岡田益己 (1980). 温室設計の基礎と実際, 三原義秋編: 182~204.

8. 佐々木皓二・板木利隆 (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), ハウス内環境特性, 熱収支およびトマトの生育・収量について, 神奈川県試研報, 26 : 26~34.

9. \_\_\_\_\_・\_\_\_\_\_・高橋 基 (1980). \_\_\_\_\_ (第2報), 温風暖房機併用における暖房性能・重油節減効果およびキュウリの生育・収量について, 同上, 27 : 35~44.

10. \_\_\_\_\_・\_\_\_\_\_・\_\_\_\_\_ (1981). \_\_\_\_\_ (第3報), 二層カーテンおよび複合環境制御方式を用いた場合の暖房特性について, 同上, 28 : 39~49.

11. 佐々木皓二 (1982). 地中熱交換方式の暖房効果と運用上の問題点, 農業施設, 12 (2) : 41~47.

12. 渡辺康正 (1980). 施設園芸の省エネルギー新技術, 農林水産技術会議事務局監修: 234~253.

13. 山本雄二郎・青木 清・岡野利明 (1981). 地中熱交換ハウスの基本設計, 電力中央研究所報告, 481011 : 1~31.

14. 野菜試験場 (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, 成績概要: 1~138.

## Summary

The earth storage heat exchange system was equipped in the commercial greenhouse of 1185m<sup>2</sup> area. From 1979 to 1981 experiments were carried out to investigate heating efficiency, atmospheric and thermal condition, growth and yield of tomato and economic effect.

1. The greenhouse was provided with a layer overhead thermal screen and double side screens. The amount of circulating air was 420 m<sup>3</sup>/min when 140 rows of the heat exchanging pipes with six fans (200V, 750W).

2. The temperature in the greenhouse was maintained at the designed degree 8°C (1979~'80) and 10~6°C (1980~'81), when outside minimum temperature was not lower than -5°C. The maximum difference of temperature between inside and outside of the greenhouse was more than 15°C.

3. The oil was consumed 85 l (1979~'80) and 240 l (1980~'81) for operating the air-warm heating.

4. Soil temperature was maintained at 14~16°C in

1979~'80, but fell to 12°C in the next year, because the amount of radiated heat was more than the stored heat in 1980~'81.

5. Relative humidity in greenhouse was kept at 85~90% in daytime and 95~98% at night.

6. CO<sub>2</sub> concentration in greenhouse was maintained 840~890ppm at night, but fell to 250ppm in the daytime.

7. The growth of tomato was advanced at the side near the point of blowing off and was repressed at the point of drawing in.

8. The yield of tomato in 1979~'80 was about 11.7 tons per 10 a. But a lot of puffy fruits was found. In the next year, it was about 10 tons per the same area, however the ratio of good fruits was higher than the previous year.

9. The depreciation fund of equipments and electric charges is more necessary than air-warm heating. However it is possible to reduce the expenses 20~30% per year as the oil charges are very low.