

## 地中熱交換暖房方式による施設野菜 栽培の実用化に関する研究（第1報）

### 地中熱交換暖房方式の促成トマト栽培における実用化試験

川田富雄・町田治幸・阿部泰典・福岡省二・坂口謙二・小川純一・隔山普宣

Utilization of earth-air heat exchange  
greenhouse for forcing tomato culture

Tomio Kawata, Haruyuki Machida, Yasusuke Abe,  
Shoji Fukuoka, Kenji Sakaguchi, Jun-ichi Ogawa,  
and Hironobu Kakuyama

#### はじめに

徳島県の施設野菜は、冬期の温暖な気候と京阪神などの大消費地に近いという自然的、経済的立地条件に恵まれて盛んであり、本県園芸振興の重要な柱となっている。

しかし1973年のオイルショック以来石油価格が高騰しつづけているため、加温栽培では生産費に占める光熱動力費の割合が急増し、経営を圧迫してその存在さえ危ぶまれるようになってきている。そこでこの負担を軽くする省エネルギー対策が現時点での重要課題である。

ところで省エネルギー対策技術としては、耐低温性品種・台木の育成導入等による栽培管理の改善や施設の改善による保温性の向上等が考えられるが、1969年に新しい暖房方式として山本<sup>6)</sup>が太陽熱利用の地中熱交換方式によって、二重ビニールハウス条件下で夜間の内外温度差を12～13℃確保できると発表して注目された。

その後森<sup>6)</sup>や佐々木、板木<sup>7)</sup>は、地中熱交換方式による暖房についてハウス内環境特性、エネルギー効率等を詳細に検討し、トマト栽培には十分な実用性があることを認めた。

しかし本方式はハウス内を密閉する空気循環方式であるため、ハウス内が高湿度状態になり病害の発生や炭酸ガス濃度の不足が予想される。また太陽熱を利用する暖房方式であるため地域の気象条件に大きく左右される。

その場合本方式の実用化をはかるためには地域

に応じたハウスの型式や内部保温法の実態に合わせて栽培し検討する必要がある。

そこで筆者らは、本県におけるトマト、キュウリ、ナス栽培における本方式の実用性を検討しているが、1979年秋～1981年春にわたりトマトを用い場内試験を行った結果および1981年に現地の地中熱交換暖房温室の調査を行った結果をとりまとめたので報告する。

なお、本試験を行うにあたり、種々のご教示を賜った当場永井洋三次長兼環境科長および病害調査でデータを提供していただいた病虫科金磯泰雄技師、ならびに現地調査でご協力をいただいた徳島農業改良普及所七條郁雄技術主任、南井上農業協同組合福富正照當農指導員、関係農家の方々に厚くお礼を申し上げる。

#### I 場内施設における実用化試験

##### 材料および方法

##### 1 供試施設

ハウス：間口7.2m、奥行20m、床面積144m<sup>2</sup>、表面積240m<sup>2</sup>、内容積400m<sup>3</sup>、保温比0.6の単棟の東西棟パイプハウス2棟（1棟は対照）で保温は一層ビニールカーテン方式である。

装置と運転方法；直径10cm、厚さ3mm、長さ18mの塩ビ管を40cmおよび50cm（パイプ上面から地表まで）の深さに30cmの間隔に千鳥に1/8の勾配をつけ床幅7.2mに23本埋設した。パイプの総延長は414mで表面積は130m<sup>2</sup>であり、ハウス床面積に

対する蓄熱パイプ表面積の比率は0.9である。

空気循環ファンは羽根径50cmの有圧ファン（200V，300W，定格風量62m<sup>3</sup>/min）を2基設置し、吹出し口は側溝型式である。

ファン作動の設定温度は1979年度は昼間28℃以上，夜間8℃以下とし，1980年度は26℃以上8℃以下とした。また30℃を越えると換気を行った。ファンの運転期間は1979年度は12月8日～3月31日，1980年度は11月25日～3月31日である。

なお，対照ハウスの温度管理は昼間は28℃を目標とし30℃を越えると換気を行い夜間は温風式暖房機を用い，最低温度を8℃に設定した。

### 2 環境調査

気温の測定部位は屋外，ハウス中央部，ファン吸入口直上，パイプ吹出し口等であり，

測定は多点式電子自動平衡温度記録計（千野製作所製），棒状温度計を用いた。

地温は地下20cm，40cmの地点を多点式電子自動平衡温度記録計（千野製作所製），棒状温度計で調査した。

湿度の測定はハウス中央部について電子自動平衡形温湿度記録計（千野製作所製）で行った。

炭酸ガス濃度は赤外線吸収式の携帯用炭酸ガス測定機（富士電機製）を用い，ハウス中央部畝面から1.5mの高さで測定した。

パイプ吹出し口等の風速はアネモメーター（日本科学工業製）を使用した。

### 3 耕種概要

1979年度は第1表のとおり，おおみや他5品種を用い10月1日は種，12月11日に定植した。栽植本数は10a当たり2,500本とし，摘心は5段で行った。

1980年度は第4表のとおり，おおみや他7品種を供試し9月13日は種，11月19日に定植した。栽植本数は前年同様であるが，摘心は6段とし，透明ポリマルチ栽培を行った。

また，12月24日に除湿のためもみがらを10a当たり約1.3tの割合で通路に敷き詰めた。

トマトの管理は慣行法に準じた。

#### 試験結果

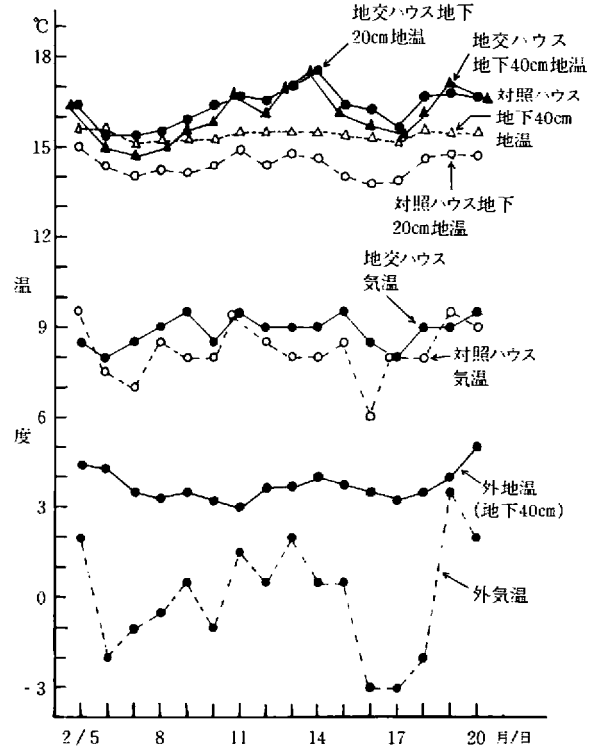
##### 1 場内試験-1（1979年9月～1980年5月）

###### (1) 環境特性

気温，地温；第1図のとおり最低気温は外気温の影響が大きい，地中熱交換ハウスは目標設定

温度8℃以上を確保することができ，外気温が-2～-3℃のときでもハウス内気温は10～11℃程度高く保持されていた。

地温は地中熱交換ハウスが対照ハウスより地下20cmの位置では1～2℃，同40cmでは0.5～1.5℃高かった。



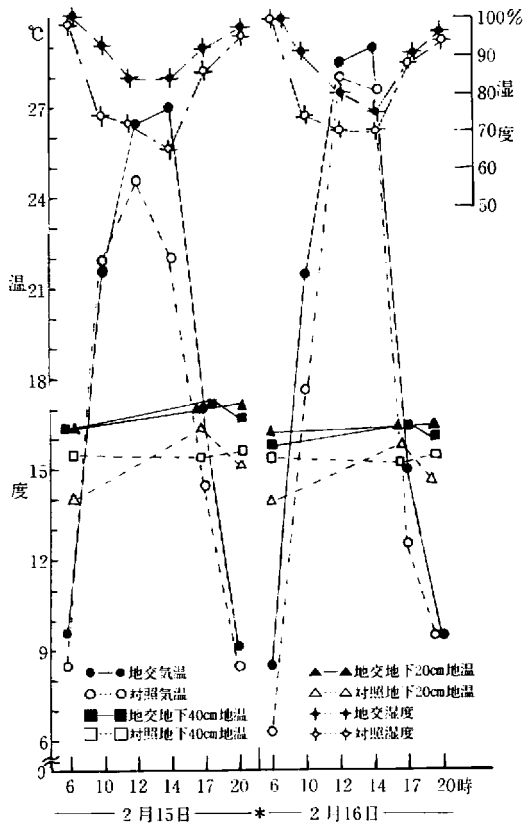
第1図 地中熱交換ハウスと対照ハウスの温度比較（1980）  
注）気温，地温は6時の測定値。

湿度；第2図のとおり地中熱交換ハウスが対照ハウスより日中，夜間とも高く推移したが，日中は気温の上昇に伴い湿度が低下し，地中熱交換ハウスは14時頃に80%前後まで下がった。しかし，夜間は気温の低下により湿度も100%近くになり，葉面の水滴は10時頃まで残る日がしばしばあった。

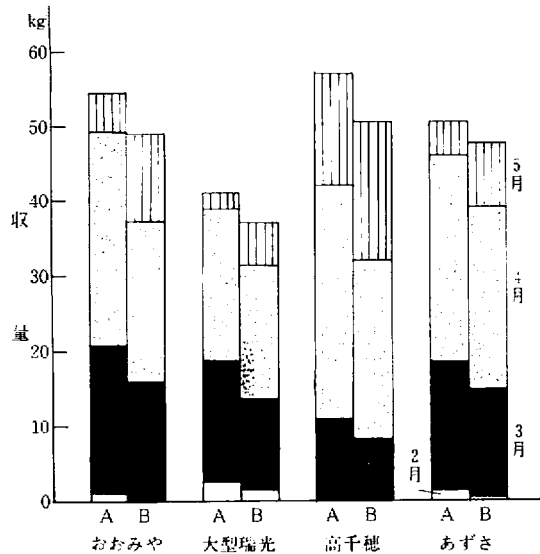
###### (2) 生育および収量特性

生育；地中熱交換ハウスが対照ハウスより進み，収穫始めが6日，終りが10日程度早かった。

収量；供試6品種のうち，おおみや，大型瑞光，高千穂，あずきについての収量は第3図のとおりであり，地中熱交換ハウスが対照ハウスより優れた。また，他の2品種も同じ傾向であった。



第2図 地中熱交換ハウスと対照ハウスの気温、地温、湿度の日変化(1980)



第3図 地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの月別収量比較(1980)

注) Aは地中熱交換ハウス,Bは対照ハウス。10株当たり重量。

(3) 病害発生状況

第1表のとおり4月中旬以降地中熱交換ハウスが対照ハウスに比べ各品種とも斑点病が多く発生した。しかし発生程度では品種間に大きな差が認められ、高千穂、宝冠NFR、大型瑞光では発生が多かったが、斑点病抵抗性品種のあずさは極めて発生が少なかった。

第1表 地中熱交換暖房方式がトマト斑点病の発生に及ぼす影響(1980)

品 種	地中熱交換ハウス		対 照 ハ ウ ス	
	発病小葉率%	1葉当り病斑数	発病小葉率%	1葉当り病斑数
おおみや	100	14.7	86.1	4.7
大型瑞光	99.5	24.8	94.4	9.8
トビック	97.2	10.2	72.3	3.3
高千穂	100	29.4	98.9	11.4
あずさ	18.9	0.6	0.6	0.01
宝冠NFR	100	28.4	100	12.9

注) 4月24日調査。各区5株を対象に5段果房の上下の複葉(小葉90枚)に発生した病斑数を調査。

2 場内試験-2 (1980年8月~1981年5月)

(1) 環境特性

循環風量; パイプ吹出し口からの風速は平均して6.0m/s 総循環風量は65m<sup>3</sup>/min となり定格風量の52%であった。

気温、地温; 第4図のとおり最低気温は外気温の影響が大きい。地中熱交換ハウスはハウス中央部で設定温度8℃を確保できない日があり、特に12月6日半旬頃にはハウス内が5~6℃前後に下がった。

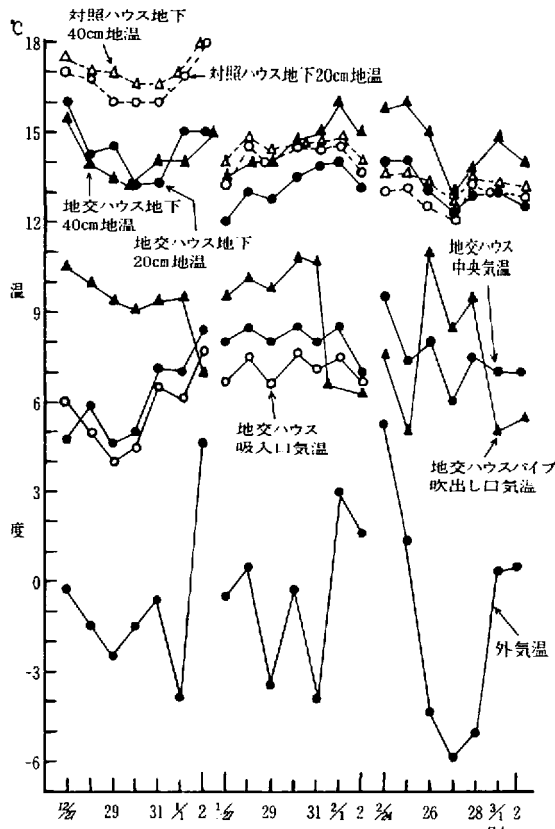
しかし、外気温が-3~-5℃のとき外気温とハウス中央部の温度差は11~12℃程度保てた。

また、放熱時におけるパイプ吹出し口とファン吸入口の風温差は3~6℃であり、第6図から外気温が-1.5℃のときハウス内の測定位置による温度差はおおよそ3℃あった。

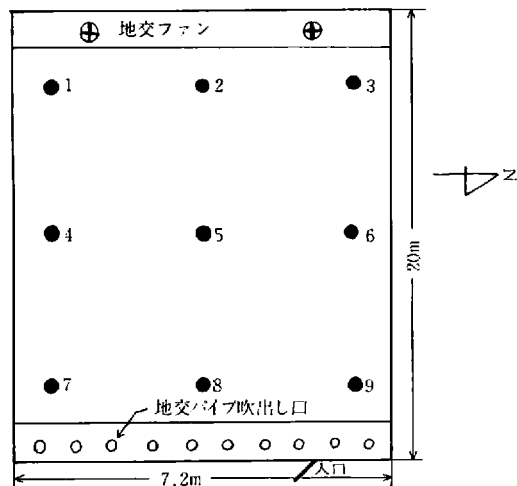
地温は12月6日半旬~1月1日半旬、1月6日半旬は地中熱交換ハウスの地温が低く、13~14℃前後に下がり、特に12月6日半旬~1月1日半旬頃は対照ハウスより2~3℃前後低かった。

しかし、2月6日半旬~3月1日半旬頃になると地中熱交換ハウスが1~2℃前後高くなった。

湿度; 1980年度はマルチともみがら施用のため地中熱交換ハウス内の湿度は1979年度より低いよ



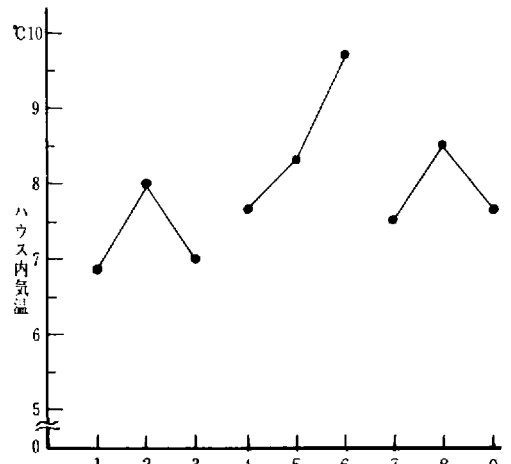
第4図 地中熱交換ハウスと対照ハウスの温度比較 (1980~1981)  
注) 気温は6時、地温は8時30分の測定値。



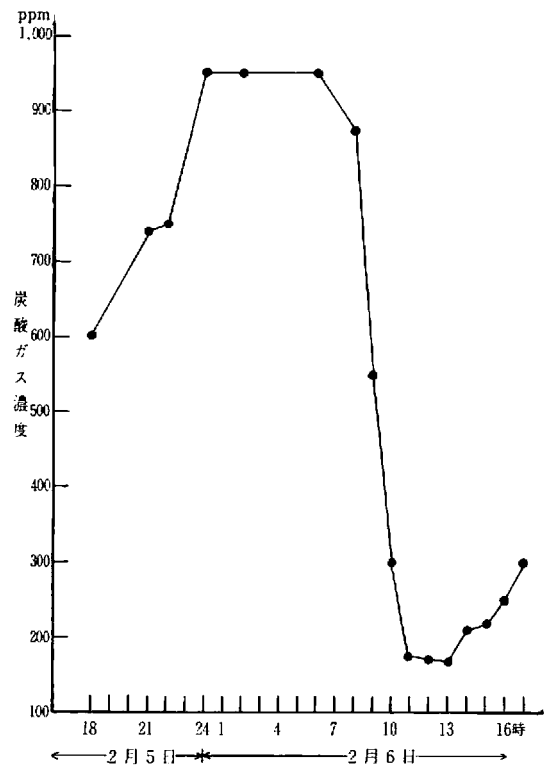
第5図 地中熱交換ハウスの気温測定地点見取図

うに思われたが、対照ハウスに比較すると高く、葉面について水滴がなくなるのに10時頃までかかる日もあった。

炭酸ガス濃度の変化；地中熱交換ハウス内の炭



第6図 地中熱交換ハウス内気温の水平分布(1981)  
注) 2月5日調査。畝面から1.5m高さの22時の測定値。外気温-1.5℃。



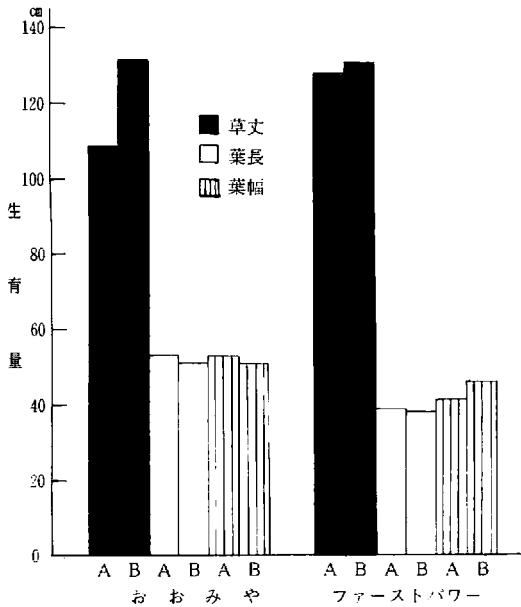
第7図 地中熱交換ハウス内における炭酸ガス濃度の変化 (1981)  
注) 天候 晴

酸ガス濃度の変化は第7図のとおりであり、日没とともに急速に増加し、夜間は600~950 ppmの範囲で推移したが日の出とともに急速に低下し、

10時頃には300 ppmまで下がり、さらに13時頃には170 ppmまで下がった。

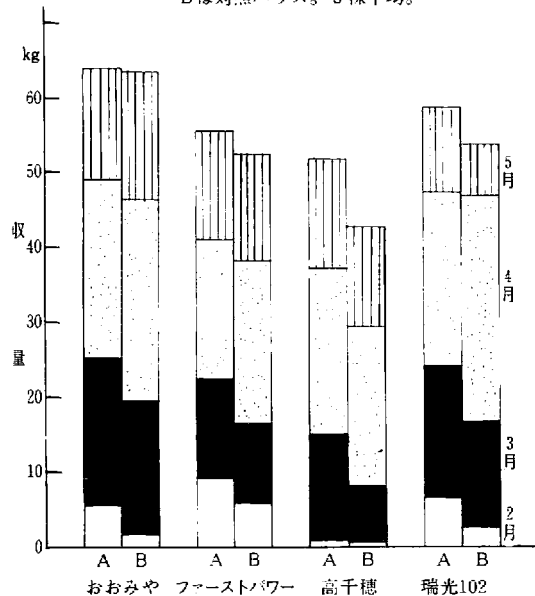
(2) 生育および収量、品質特性

生育；第8図のとおり供試8品種のうち本県の主要品種である、おおみやでは地中熱交換ハウス



第8図 地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの生育比較 (1981)

注) 2月3日調査。Aは地中熱交換ハウス、Bは対照ハウス。3株平均。



第9図 地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの月別収量比較 (1981)

注) Aは地中熱交換ハウス、Bは対照ハウス。10株当たり重量。

のトマトの草丈が対照より17.7cm低く生育は劣ったが、ファーストパワーでは大差なかった。

収量；第9図のとおり供試8品種のうちの4品種の総収量についてみると、おおみやでは地中熱交換ハウスがわずかに勝る程度で大差なかったが、ファーストパワー、高千穂、瑞光102は明らかに地中熱交換ハウスが勝り、初期・中期収量も対照ハウスより多い傾向であった。

品質；第2表のとおり品種により異なるが、地中熱交換ハウスは対照ハウスに比べ収穫果実が空洞気味で糖度も低く品質面でやや劣った。また、第3表のとおりトマトの開花後の成熟日数は品種間差はみられるが、地中熱交換ハウスが対照ハウスに比べ短い傾向であった。

第2表 地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの品質比較 (1981)

区	項目	おおみや	ファーストパワー	高千穂	瑞光102
地中熱交換ハウス	糖度 (Brix)	5.8	6.2	5.0	5.2
	最大隙間幅 (mm)	7.3	7.7	7.7	0
対照ハウス	糖度 (Brix)	6.2	6.1	6.1	6.5
	最大隙間幅 (mm)	0	3.7	1.7	3.3

注) 第3段果調査。

第3表 地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの開花日と成熟日数 (1981)

区	おおみや	ファーストパワー	高千穂	瑞光102
地中熱交換ハウス	1月29日 (80日)	1月29日 (77日)	1月29日 (79日)	2月3日 (74日)
対照ハウス	1月29日 (88日)	1月29日 (89日)	1月29日 (83日)	2月3日 (74日)

注) ( ) 内は成熟日数。4段果房調査。

(3) 病害発生状況

第4表のとおり前年同様、斑点病の発生は各品種とも地中熱交換ハウスで多く発生した。

発生程度は品種間に差がみられ、宝冠NFR、おおみやは多く、斑点病抵抗性品種のファーストパワー、瑞光102、あずさでは発生が少なかった。

(4) 燃料節減効果と電力消費量

第5表のとおり地中熱交換ハウスは12月～3月

第4表 地中熱交換暖房方式がトマト斑点病の発生に及ぼす影響 (1981)

品 種	地中熱交換ハウス		対 照 ハ ウ ス	
	発病小葉率(%)	1葉当たり病斑数	発病小葉率(%)	1葉当たり病斑数
おおみや	98.9	34.9	93.4	7.0
大型瑞光	98.9	21.7	94.5	6.3
トピック	93.7	22.5	94.5	6.9
高千穂	99.5	22.2	98.9	9.2
あずさ	38.4	6.4	17.3	0.4
宝冠NFR	99.5	49.8	100	17.8
瑞光102	57.2	4.4	64.5	0.4
ファストワー	48.4	3.3	8.4	0.1

注) 5月15日調査。各区5株を対象に4段果房の上下の複葉(小葉90枚)に発生した病斑数を調査。

第5表 地中熱交換ファンの作動時間と対照ハウスの灯油消費量(1980~1981)

項目	12月			1月			2月			3月			計
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
地中熱交換ファン作動時間(hr)	45.6	63.2	152.0	81.8	73.4	74.7	59.3	31.2	47.8	57.1	75.6	42.1	803.8
対照ハウス灯油消費量(l)	1.3	6.8	150.3	89.0	103.0	102.5	83.5	43.3	64.0	63.5	37.0	21.3	765.5

注) ハウス面積144m<sup>2</sup>当たり

第6表 異なる気象年下(1979年度, 1980年度)における地中熱交換ファンの作動状況

項目	年度	12月				1月					
		12/3	12/4	12/5	12/6	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
蓄熱時間(hr)	1979	—	—	—	12.9	8.3	19.0	24.9	44.5	35.5	20.1
	1980	6.6	10.0	18.8	15.8	22.6	23.9	18.5	11.0	8.4	19.1
放熱時間(hr)	1979	—	—	—	15.1	15.1	56.0	47.2	39.0	32.4	21.1
	1980	30.5	21.9	39.7	77.7	15.3	20.0	17.9	26.0	16.6	30.6
日照時間(hr)	1979	—	—	—	30.3	13.7	26.9	33.4	30.3	32.2	29.1
	1980	—	—	—	46.5	38.7	36.3	34.1	34.5	26.0	37.3
屋外平均風速(m/sec)	1979	—	—	—	2.5	2.4	3.4	3.5	3.6	3.9	3.2
	1980	—	—	—	5.6	5.2	3.9	4.2	3.3	3.5	3.2

の間に対照ハウスが消費した燃料(灯油) 765.5 l (1日平均6.3l) を節減することができた。

一方、地中熱交換ファンの作動時間は803.8時間(1日平均6.6時間)であり、803.8時間に0.6kwを乗ずると482.28kwh(1日平均4kwh)の電力を消費したことになる。

### 3 異なる気象年下における地中熱交換ハウスの環境特性およびトマトの生育、収量、品質比較

#### (1) 1979年度と1980年度の気象比較

第10図のとおり1979年度と1980年度の12月6半旬~2月6半旬の外気温を比較すると、6時では

1月5半旬、2月3半旬~5半旬を除き1980年度が常に低く、特に12月、1月、2月の各6半旬が低かった。

また、日照時間は第6表のとおり12月6半旬~1月6半旬で1980年度が57.5時間長かった。風は1980年度が1979年度より強く、特に12月6半旬~1月1半旬は強い北西~西北西の寒風が吹き荒れる日が多かった。

#### (2) ハウス内環境特性比較

気温; 第10図のとおり1979年度は設定最低温度8℃をほぼ確保することができた。

しかし、1980年度は12月6半旬~1月5半旬頃までハウス内は6~7℃前後になり、設定最低温度8℃を保持することができなかった。

地温; 第10図のとおり1980年度は1979年度より低く推移した。特に1月4半旬~2月1半旬、2月6半旬は地下20

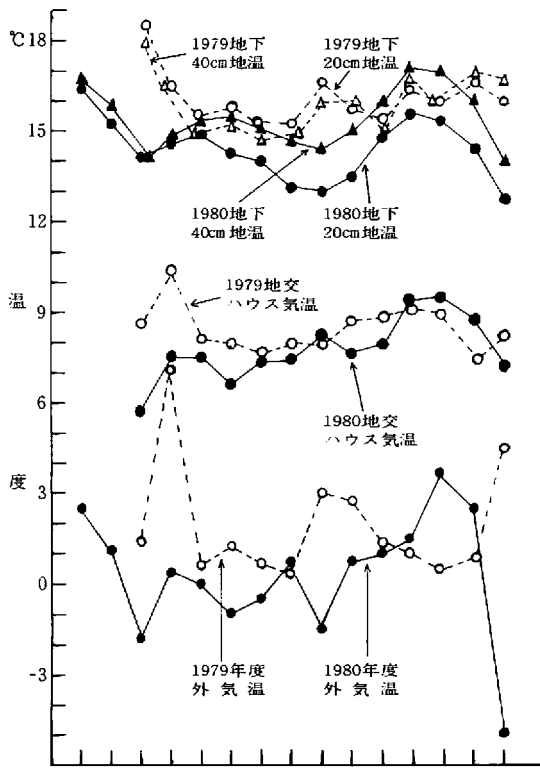
cmの地温が14℃以下になり、1979年度より2~3℃程度低かった。

#### (3) 生育および収量、品質比較

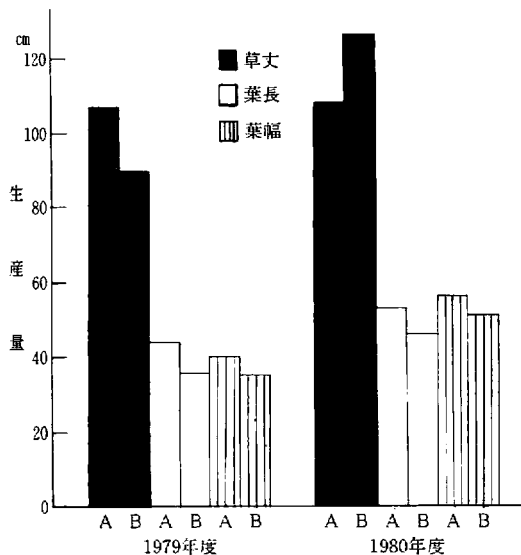
生育; 第11図のとおり、おおみやについて比較すると、1980年度は1979年度と逆に地中熱交換ハウスのトマトの草丈が対照ハウスに比較して低く、生育が劣った。

収量; 第12図のとおり、おおみや、高千穂について比較すると、高千穂は1979年度、1980年度とも地中熱交換ハウスが対照ハウスより明らかに勝った。また、おおみやは1979年度では地中熱交換ハウスが対照ハウスに比べ明らかに勝ったが、1980年度は総収量であり差がなく、わずかに対照ハウスに勝った。

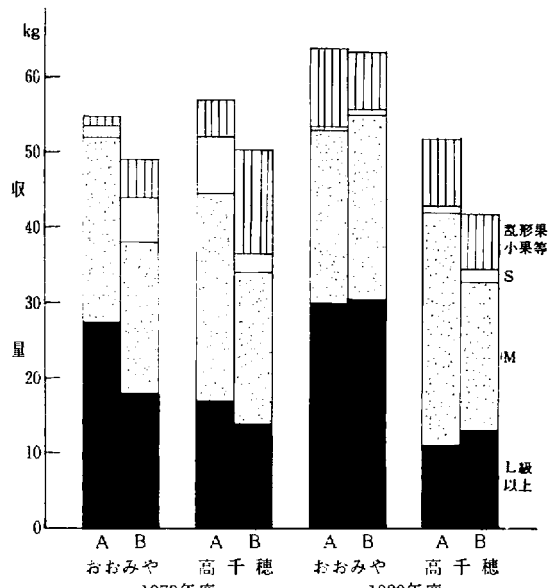
品質; 第12図のとおり、おおみや、高千穂について比較すると、高千穂は1979年度、1980年度とも地中熱交換ハウスが対照ハウスよりM級以上(150g以上)の上物収量が多かった。しかし、おおみやは1979年度はM級以上の上物収量は地中熱交換ハウスが対照ハウスより多かったが、1980年度は逆に対照ハウスより少なかった。



第10図 異なる気象年下(1979年度, 1980年度)における地中熱交換ハウスの温度比較  
注) 気温は6時, 地温は8時30分の測定値。



第11図 異なる気象年下(1979年度, 1980年度)における地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの生育比較  
注) ○1979年度は1980年1月28日調査, 1980年度は1981年2月3日調査。  
○品種はおおみや。○3株平均。  
○Aは地中熱交換ハウス, Bは対照ハウス。



第12図 異なる気象年下(1979年度, 1980年度)における地中熱交換ハウスと対照ハウスのトマトの階級別収量比較。  
注) Aは地中熱交換ハウス, Bは対照ハウス。10株当たり重量。

## II 現地地中熱交換暖房方式モデル団地温室の環境特性および生育, 収量調査

### 材料および方法

#### 1 調査場所および温室施設

調査場所; 徳島市国府町花園の南井上温室組合地中熱交換暖房方式FRA張り温室(3号棟)を調査した。

施設; 間口8.8m, 奥行46mの3連棟南北棟の鉄骨製大型FRA張り温室で床面積1214m<sup>2</sup>, 表面積1746m<sup>2</sup>, 保温比0.7, 棟高4m, 軒高2.2m, 屋根勾配4/10であり, 保温は2軸2層(ポリ, 不織布)カーテン方式である。

#### 2 地中熱交換装置と運転方法

直径10cm, 厚さ3mmの塩ビ管をピット側70cm, 吹出し口側50cmの深さに1/10の勾配をつけ30cmの間隔に埋設。パイプの総延長は3,780m, パイプ表面積は1,187m<sup>2</sup>で温室床面積に対する蓄熱パイプ面積の比率は0.98である。

空気循環ファンは羽根径50cmの有圧ファン(200V, 300W)を9台, 南北棟温室中央部に設置。また, 吹出し口は一本ごとに独立した立ち上がり方式であった。

ファン作動の設定温度は昼間26℃以上、夜間8℃以下であり、日中温室内気温が28℃以上になると自動開閉による天窓換気を行った。

また午後3時頃には30分程度ではあるが、温室内外の空気を入れかえて湿度の低下と徒長防止をはかるため、室内気温が28℃以下の場合でも換気を行ったようである。

### 3 調査方法

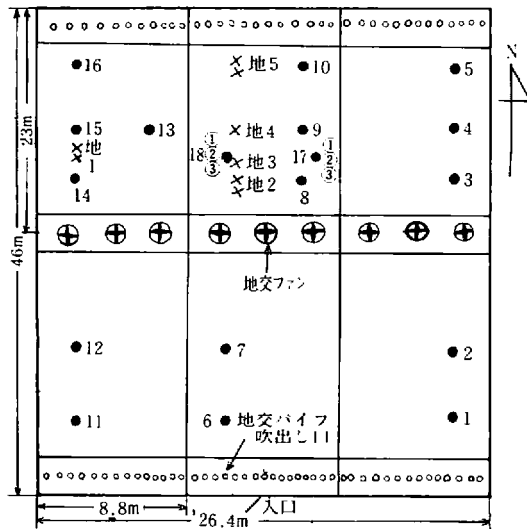
調査は1981年2月26日夕刻から27日午前中にかけて温室内外の気温、地温、風速、炭酸ガス、トマトの生育等について行った。

気温、地温は棒状温度計、タカラ多点式サーミスタ温度計を用い測定した。

パイプ吹出し口の風速、風温はアネモメーター（日本科学工業製）を使用した。

また、炭酸ガス濃度は赤外線吸収式の携帯用炭酸ガス測定機（富士電機製）を用い、温室中央部畝面から1.5mの高さで測定した。

なお、気温、地温の測定地点は第13図のとおりである。



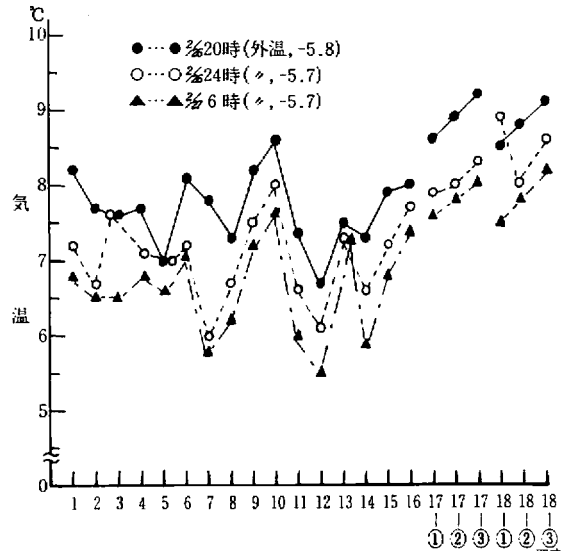
第13図 現地地中熱交換暖房温室における測定地点見取図

### 4 耕種概要

トマトの品種はほまれ114を用い、9月21日は種、11月28日の定植であった。

栽植本数は10a当たり2,250本であり、摘心は7段とし、黒ポリマルチ栽培であった。

また、除湿のため通路に稲わらを1月下旬以降敷き詰めてあった。なお除湿用に温風暖房機を準備していたが、栽培期間中の使用は皆無であった。



第14図 現地地中熱交換暖房温室内気温分布(1981) 調査地点) 2月26日～27日調査。1～16は畝面から1.5m高さの気温。17～18は畝面から①0m、②1m、③1.7m高さの気温。

### 調査結果

#### 1 調査日の気象概要

2月26日夕刻から翌朝にかけて、徳島では極めて稀な厳しい寒波に覆われ-5℃以下が10時間以上続いた。天気は晴、北西～西北西の風で平均風速5mであった。

#### 2 温室内環境特性

気温分布; 第14図のとおり、水平分布(No.1～16)で最も高い位置は吹出し口近くのNo.10であり、低いのは両サイドとファン近くで、そのうち西側サイド付近が最も低く、No.10の位置とは約2℃の差になった。

また、ファン近くのNo.8はNo.10に比べ1.2℃程度低かった。

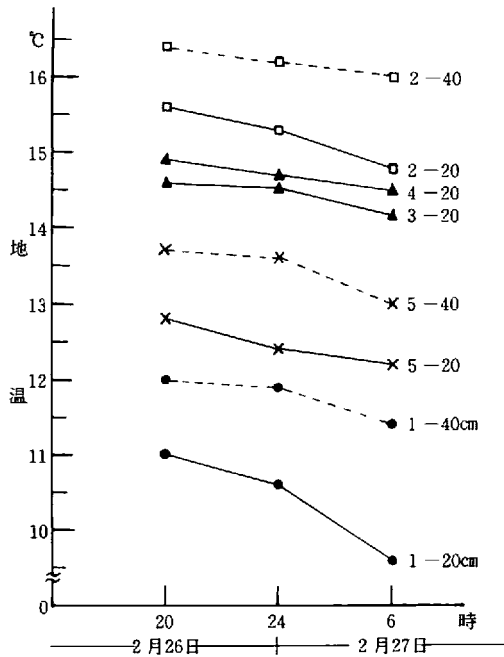
次に20時に比べ6時では1.0～1.5℃低くなるが、外気温との差はおおよそ11～13℃であった。

垂直分布(No.17～18)は地面に近いほど低くなる傾向が認められ、その差は0.5℃前後であった。

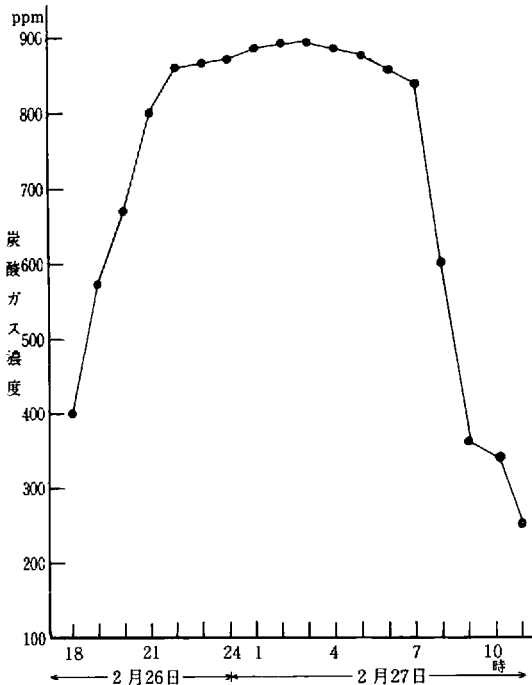
地温; 第15図のとおり温室中央部のファン付近が最も高く、40cmの深さでは16℃以上に保たれたが、両側サイド付近は外部への熱流失のため12℃を割った。

また、20cmの深さでは40cmよりおよそ1℃低かった。



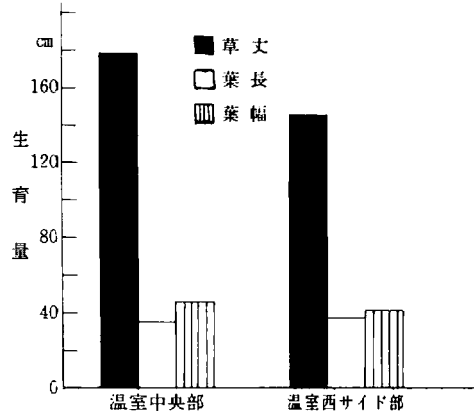


第15図 現地地中熱交換暖房温室内地温 (1981)  
注) 1~5; 調査地点。20,40; 畝面から下の地温。

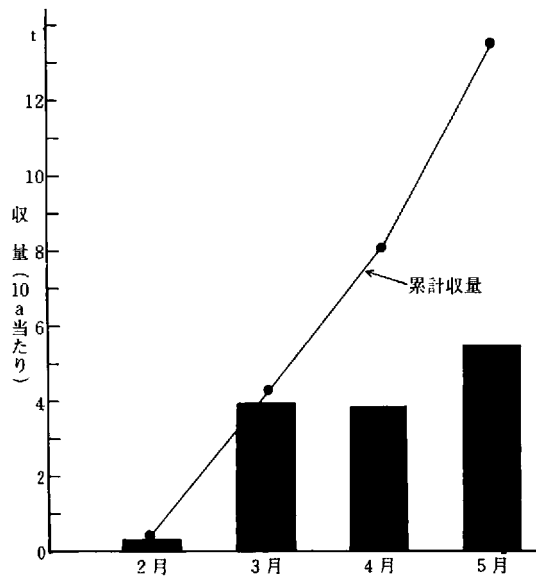


第16図 現地地中熱交換暖房温室内における炭酸ガス濃度の変化 (1981)  
注) 天候 晴

パイプ吹出し口の風速、風温; パイプ吹出し口の風速は平均5.3mであった。風温は両サイドの2~3本は深さ40cmの地温より1℃程度低い11℃



第17図 現地地中熱交換暖房温室におけるトマトの生育 (1981)  
注) 2月27日調査。品種は、ほまれ114。20株平均。



第18図 現地地中熱交換暖房温室におけるトマトの月別収量 (1981)  
注) 品種は、ほまれ114。上物率86%。

前後であったが、それ以外では温室中央部の40cmの地温より3℃程度低い13℃前後であった。

炭酸ガス濃度の変化; 地中熱交換温室内における炭酸ガス濃度の変化は第16図のとおりであり、日没とともに急速に増加し夜間は400~890ppmの範囲で推移したが、日の出後は急速に低下し、11時頃には250ppmまで下がった。

### 3 生育および収量、品質

生育は第17図のとおり2月27日の調査では、温室西サイドの1畝は中央部よりトマトの草丈が33cm低く生育が劣った。しかし吹出し口とファン付近では大差なかった。

また、病害発生も見られず全般に極めて良好な生育状況であった。

収量、品質は第18図のとおりであり、2月～5月の収量は10a当たり13.49tと一般ハウスに比べ多く、上物率も86%と高かった。

### 考 察

地中熱交換方式は太陽熱を利用する暖房方式であるため、暖房性能は気象条件に大きく影響される。

1979年度、1980年度の場合内試験結果から、両年度ともハウス内外の温度差を最大12℃程度に保持できた。しかしながら、1979年度は栽培期間中最低8℃を確保できたが、1980年度は12月6半旬～1月5半旬頃までハウス内が6～7℃前後に下がり、目標設定温度8℃を保てなかった。これは、1979年度に比較して1980年度は12月6半旬～1月5半旬で外気温が平均2℃前後も低く経過したためと考えられる。

地中熱交換ハウス内気温は場内試験の結果、昼間の蓄熱時はパイプ吹出し口の風温がファン吸入口の風温より5～7℃程度低いが、夜間の放熱時には逆にパイプ吹出し口の風温がファン吸入口より高く、その差はおよそ3℃から6℃の範囲であり、外気温が-1.5℃のときハウス内の温度差は吹出し口近くと吸入口近くでおよそ3℃であった。また現地調査の結果、放熱時の気温の水平分布で温室中央部とサイド付近で0.5～1℃程度、また最も高い吹出し口近くとサイド付近では2℃程度の差が認められた。垂直分布では地面に近いほど温度は低い傾向であった。

神奈川園試<sup>1)</sup>が現地の大規模地中熱交換施設(2000m<sup>2</sup>)で行った気温調査の結果でも、夜間放熱時の吹出し口と吸入口の風温の差は6℃であり、外気温-4℃の時ハウス内の温度差は中央部と両サイド部で約2℃認められたとの報告があり、本試験の結果とほぼ一致している。

地温も外気温の影響を強く受け、1980年度は1979年度より低く、1月4半旬～2月1半旬、2月6半旬では地下20cmの地温が14℃以下になり、1979年度より2～3℃前後低く経過した。この原因としては、1980年度は12月3半旬～6半旬で放熱時間が蓄熱時間を118.6時間も上まわり、特に12月6半旬は放熱時間が蓄熱時間より61.9時間も

長く、1979年度に比較して放熱時間と蓄熱時間の差が59.7時間も長いことがその後の地温低下に大きく影響した。さらに1月1半旬～2月1半旬で1980年度が1979年度に比べ外気温が平均3℃前後も低く、1月2半旬～1月4半旬、1月6半旬には外気温が0℃以下になる日が多かったためと考えられる。また現地の地中熱交換温室の調査結果から、地下40cmの深さでは温室中央部と西側サイド付近で4℃以上、20cmの深さでは5℃以上の差を生じた。このことはサイド付近の気温が低いことと併せてトマトの生育に大きく影響し、本方式による暖房の問題点の1つとなった。今後の課題として外部への熱流失については、気温、地温の両面からの検討が必要である。

湿度は1979年度、1980年度とも地中熱交換ハウスが対照ハウスより高く経過した。特に夜間は100%に達し、そのためトマトの葉に夜半から結露現象がみられる日が多かった。

しかし1980年度は1979年度より少なく、また現地の地中熱交換温室の調査でも葉面結露の程度は軽かった。

金磯、山本<sup>2)</sup>はハウス内に稲わら、もみがらを10a当たり1.5t施用することにより湿度が低下し、日没後相対湿度が100%に達する時刻は施用しない区より稲わらで9時間、もみがらで5時間遅れ、施用区は霧の発生がほとんどみられず、葉面結露、溢液の時間も遅れ、量的にも少なく、トマトの疫病に対する発病抑制効果も顕著であると報告している。

このことから、畝面にマルチ、通路に稲わら、もみがらなど吸湿性の資材を敷き詰めることは、地中熱交換ハウス内の湿度を低下させるのに有効な方法である。しかし金磯、山本<sup>2)</sup>によると、稲わらの多量施用は夜間のハウス内気温を低下させるとの報告がある。したがって必要以上に入れないようにし、稲わら等の吸湿作用が低下してくると追加する方法がよいものと思われる。

地中熱交換ハウス内の炭酸ガス濃度は場内試験の結果、夜間は呼吸作用等のため600～950ppmと高く推移したが、日の出とともに急速に低下し10時頃には300ppmで大気中と同じ濃度になり、さらに13時頃には170ppmまで下がった。また現地調査の結果でも夜間は400～890ppmで経過し

たが、11時頃には250 ppmまで下がり低炭酸ガス濃度の状態にあった。

一般にトマトに対する炭酸ガスの好適濃度は800～1200 ppmといわれ<sup>5)</sup>、山本<sup>8)</sup>は地中熱交換ハウスでの炭酸ガス施用の必要性を指摘し、また兵庫農経センター<sup>3)</sup>では、地中熱交換方式によるトマト栽培で炭酸ガス施用試験を行い増収効果の高いことを報告しており、高知農林技研<sup>4)</sup>でも液化炭酸ガスの施用によりキュウリに増収効果があったと報告している。従来、果菜類のハウス栽培において炭酸ガス施用の実用化が進む中で、暖地では換気が早くから始まることなどから一時普及したものの現在では使用している農家は少なくなっている。しかし地中熱交換ハウスでは午前中の換気は少ない。したがって、本方式では暖地においても炭酸ガス施用の実用化を検討する必要がある。

トマトの生育については、場内試験の結果、本県の主要品種である。おおみやで比較すると1979年度は地中熱交換ハウスが対照ハウスより草丈が17cmほど高く生育が勝ったが、1980年度は逆に対照ハウスに比較して草丈が約18cm低く生育が劣った。現地の地中熱交換温室の調査では全般に生育は極めて良好であったが、温室の西サイド付近の1畝が中央部に比べ草丈で33cm劣った。

一般にトマトの気温の好適範囲は昼間は20～25℃、夜間は8～10℃であり、夜間の栽培可能な最低維持温度は5℃といわれ<sup>5)</sup>、また、地温の好適範囲は15～18℃で実用的な最低地温は13℃付近にあるといわれる<sup>5)</sup>。

1980年度は最低気温で5～6℃、地温でも13～14℃まで下がったことがトマトの生育に影響したものと考えられる。

トマトの収量については場内試験の結果では品種により多少異なるが、1979年度、1980年度とも地中熱交換ハウスが対照ハウスより総収量で勝った。また初期・中期収量も地中熱交換ハウスが優れ、収穫の終わりが早い傾向であった。これは品種間差はあるものの、地中熱交換ハウスが対照ハウスに比べ日中の温度が高く経過した結果トマトの開花後の成熟日数が短くなり、果実の肥大生長速度が速かったためと考えられる。しかし、品種により異なるが、対照ハウスに比べ収穫果実の糖度が低く、空洞気味で品質面でやや劣った。この

原因としては、トマトの成熟日数の差が影響しているものと推察される。

現地地中熱交換温室の調査では、総収量が10a当たり約13.5tと一般ハウスに比べ多く、上物率も86%と高く、収量、品質とも目標以上の成果であった。

病害では場内試験の結果、1979年度、1980年度とも品種間差は認められる(抵抗性品種の発生は少ない)が、地中熱交換ハウスに4月以降斑点病が多く発生した。これは地中熱交換ハウス内の湿度が対照ハウスに比べ高く経過したこと。生育が早くそのため草勢の老化が早かったためと考えられる。

しかし、現地の地中熱交換温室の調査では、斑点病等の病害発生はみられなかった。この原因としては15時頃に温室内の高湿度の空気と低湿度の外気を入れかえることによる、ハウス内湿度の低下と徒長防止のねらいもあって、積極的に天窓換気を行ったためと思われる。

以上から、地中熱交換暖房方式は場内試験の結果、1980年度のような気象条件に恵まれない年はトマトの生育、品質で対照ハウスにやや劣り、また病害発生も多かったものの収量に影響せず、総収量ではむしろ対照ハウスに勝ったことから本県においては、補助暖房なしで本方式の促成トマト栽培における実用性を認めた。また、現地の地中熱交換暖房温室の目標以上の成果から栽培面での実用性が実証された。

#### 摘 要

地中熱交換暖房方式による促成トマト栽培の本県における実用化をはかるため、1979年秋～1981年春にわたりハウス内環境特性および生育、収量、品質等について検討を行い、併せて1981年に現地の地中熱交換暖房温室の調査を行った。

- 1 地中熱交換ハウス内気温は外気温の影響を強く受けるが、場内試験の結果内外温度差を最大12℃程度保持できた。
- 2 地中熱交換ハウス内の放熱時のパイプ吹出口とファン吸入口の風温は吹出し口が高く、その差は3～6℃あり、ハウス内の温度差は場内試験では約3℃、現地調査では2℃程度であった。
- 3 地温は外気温の影響を強く受け、1979年度は地中熱交換ハウスが対照ハウスより1～2℃程

- 度高く経過したが、1980年度は12月6半旬、1月1半旬は対照ハウスより2～3℃前後低かった。
- 4 湿度は地中熱交換ハウスが対照より高く経過したが、マルチ、稲わら、もみがら施用はハウス内の湿度低下に効果があると考えられる。
  - 5 地中熱交換ハウス内の炭酸ガス濃度は、夜間は400～950ppmと高く経過するが、日の出後は急速に低下し、10時～11時頃には300ppm以下になった。
  - 6 トマトの生育は場内試験の結果、おおみやで比較すると1979年度は地中熱交換ハウスが対照ハウスに勝ったが、1980年度は低温が影響して対照ハウスに劣った。また現地調査の結果、西サイドの1畝の生育が中央部に比べ劣ったものの、生育は全般に極めて良好であった。
  - 7 トマトの収量は場内試験の結果、地中熱交換ハウスが対照ハウスに勝り、初期・中期収量も多く、収穫の終わりが早い傾向だった。しかし品質面では品種により多少異なるが、対照ハウスに比べやや劣った。現地調査の結果、収量は10a当たり約13.5tと一般ハウスに比べ多く、上物率も86%と高く目標以上の成果であった。
  - 8 病害では地中熱交換ハウスが対照ハウスより4月以降の斑点病の発生が、品種間差はあるが多い傾向であった。しかし、現地調査では斑点病等の病害発生はみられなかった。
  - 9 以上から、地中熱交換暖房方式は場内試験の

結果促成トマト栽培における実用性を認めた。また、現地の地中熱交換暖房温室の成果から本県における栽培面での実用性が実証された。

#### 文 献

- 1) 神奈川県園芸試験場 (1980)：施設園芸における省エネルギー対策技術に関する試験成績概要。野菜試験場：79。
- 2) 金磯泰雄・山本勉 (1981)：稲わら施用がハウス内の環境ならびに病害の発生に及ぼす影響。徳島農試研報, (19)：21～30。
- 3) 桐村義孝・森俊人・久保雄之介・中川勝也・澤正樹・藤原辰行・藤本治夫 (1979)：太陽熱利用蓄熱ハウスに関する研究 (第2報)、トマトに対する密閉型施設での炭酸ガス施用、兵庫農総センター研報, (28)：49～56。
- 4) 高知県農林技術研究所 (1980)：施設園芸における省エネルギー対策技術に関する試験成績概要。野菜試験場：103。
- 5) 三原義秋 (1980)：温室設計の基礎と実際。養賢堂 (東京)：88～97。
- 6) 森俊人 (1977)：地中熱交換方式による冬期ハウストマト栽培の実用性。農及園, 52 (1)：41～45。
- 7) 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。神奈川県園芸試験場, (26)：26～34。
- 8) 山本雄二郎 (1969)：地中一空気熱交換ハウスの研究1、地中一空気熱交換ハウスの温度および熱特性。農電研報, (10)：26～38。