

施設栽培におけるヒートポンプの有効利用に関する研究(2)

誌名	和歌山県農業試験場研究報告
ISSN	03889203
著者	神藤, 宏 和佐, 憲道 西森, 裕夫
巻/号	12号
掲載ページ	p. 25-32
発行年月	1987年3月

施設栽培におけるヒートポンプの有効利用に 関する研究 (第2報)

空気熱源・水蓄熱ヒートポンプ利用によるハウス内の暖・冷房効果と
実用性について

神 藤 宏 ・ 和 佐 憲 道 ・ 西 森 裕 夫 ・ 坂 口 春 雄

Studies on Effective Use of Heat Pump
in Protected Cultivation.

II Heating/Cooling Performance and Utility of the Heat
Pump System Applied for a Greenhouse.

Hiroshi SHINTOU, Norimichi WASA, Hiroo NISHIMORI
and Haruo SAKAGUCHI

抄 録

空気熱源・水蓄熱式ヒートポンプ、蓄熱槽、ファンコイルユニットから成る暖・冷房システムを試作し、メロンを供試した3期作の生育試験や経営試算などからその実用性を検討した。本システムを用いた抑制及び促成メロン栽培における暖房経費は、灯油暖房に比べ約20%節減できた。また、本システムによる夏季夜間の冷房運転では内張りカーテンなしでハウス内を4.2°C、不織布の一層カーテンを用いた場合5.1°C下げることができ、同時に、除湿によって相対湿度を80~90%に維持できた。この結果ヒートポンプシステムによるハウスの周年利用と作期の拡大の可能性を得た。本暖房システムによるメロン栽培における経営試算を行ったところ、慣行の灯油暖房と同等の結果が得られ、実用性を認めた。

I 緒 言

ヒートポンプは1台でハウス内の暖房^{1,2,4,5,9,10,11}・冷房^{4,6,8}および除湿^{2,4,5}を行うことができることから、近年園芸施設の新しい環境調節機器として注目されている。ヒートポンプは利用する熱源により空気熱源式と水熱源

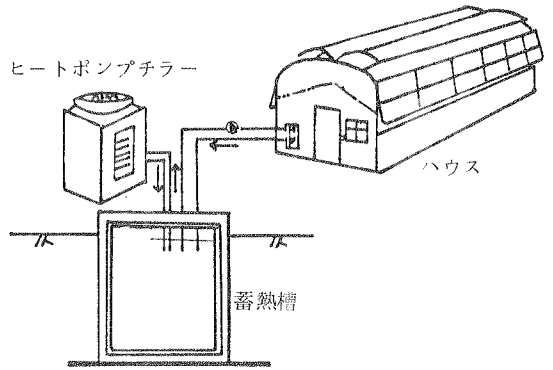
式に分けられ、現在、地下水^{3,7)}を利用した水熱源式が普及している。空気熱源式は外気温により運転効率が変動し、外気温が低い場合には運転効率が低くなる問題があるが、空気熱源式は設置場所が限定されずシステムを簡易化できる利点がある。そのため、本県のような冬季比較的温暖な地域に適した有利な暖房システムとなる可能

性が高い。本報は、空気熱源・水蓄熱（A-W）式ヒートポンプ、蓄熱槽、ファンコイルユニットを組合せたシステムを試作し、これを用いてメロンを供試した栽培実験を行い、暖・冷房システムの実用性を検討したものである。

II 試験方法

1. 供試ハウスおよび暖・冷房システムの概要

供試ハウスおよびヒートポンプ暖・冷房システムの概要を第1図に示す。本システムは、空気熱源・水蓄熱方式のヒートポンプ（以下A-W式ヒートポンプと略す）を用いて蓄熱槽の水を加温・冷却し、温湯・冷水を循環ポンプでハウス内に循環させ、ファンコイルユニットで熱交換して加温・冷房するものである。供試ハウスは間口：7.2m、奥行：26mのFRA被覆ハウスを使用した。設置機器はA-W式ヒートポンプ（圧縮機容量7.5kw）、蓄熱槽（容量10 m^3 ）、ファンコイルユニット6台とした。測定機器、制御機器は第1報と同様に飯尾電機製・山武ハネウエル製を使用した。



第1図 ヒートポンプ方式による暖冷房システム略図

2. システムの運転制御方法

ヒートポンプの暖房運転は、蓄熱槽内の水温が設定温度以下になった時蓄熱を開始するように制御した。また、ファンコイルユニットの運転は、ハウス内に設置した温度センサーにより設定温度でファンコイルファンが作動し、設定温度以下で循環ポンプが駆動するようにした。

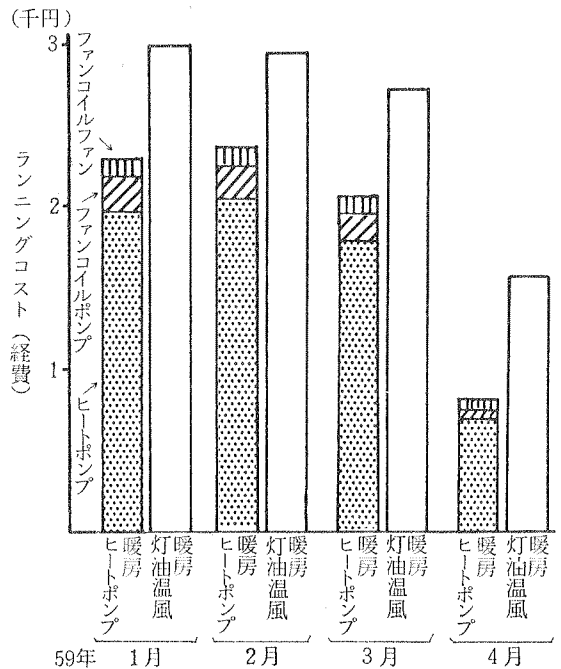
冷却運転は、蓄熱槽内に設置した温度センサーによって水温が設定温度以上になるとこれを冷却するように運転を開始した。ファンコイルユニットの運転は、夜間連続で行なった。

3. 供試品目の栽培と暖房運転方法

ハウスメロンの品種は静みどり2号他4品種を供試し、うね幅180cm、株間30cm（180本/a）の1条植えとした。この作型を第1表に示す。施肥量はどの栽培試験でも1a当たりN:P:K=1.3:1.3:1.3kgとした。ハウス内の夜間暖房設定温度は、作型Iが20℃、作型IIが15℃とした。促成メロン栽培では、1月25日から4月10日まで加温栽培を行い暖房効果を調査した。抑制メロン栽培では、11月3日から30日まで加温栽培を行ないその効果を調査した。蓄熱槽の暖房開始時の設定水温は30℃とし、ファンコイルユニットの送風量は弱運転とした。

第1表 メロンの供試作型

	作型 1	作型 2
は種	昭和58. 12. 13	昭和59. 8. 16
定植	59. 1. 23	9. 5
収穫	5/中	11/下



第2図 月別暖房経費の比較（1日当たり）

〔運転時間17:00~18:00〕
〔ファンコイルファン弱運転〕

4. 経営試算

ハウスメロンの収益性の試算にあたって、作型は年3作とし、目標収量は7月どり5トン、11～12月どり4トン、3～4月どり4トンの年合計13トンどりとした。粗収益は、大阪中央市場の昭和57年～59年の過去3ヶ年平均単価から、1kg当たり437円として試算した。光熱動力費は、暖房期間10月下旬から4月上旬の約170日間で必要経費を求めた。

III 結果及び考察

1. ヒートポンプ方式による暖房効果と栽培状況

ヒートポンプ方式による促成メロン栽培時の暖房運転経費を第2図に示す。この経費の比較は、灯油料金を1ℓ当たり80円、電力量料金を1kwh当たり16.88円として試算したものである。灯油温風暖房方式に比べて19～23%節減できた。ヒートポンプ暖房システムの運転経費の内訳は、ヒートポンプ系統86%、ファンコイル系統14%（ファンコイルファン8%、循環ポンプ6%）であった。抑制栽培における運転経費と気温、日射量等を第3図に示す。この場合は灯油暖房に比べて運転経費を27%節減できた。ハウスメロンの栽培では各作型とも、草勢、品質、日もち、耐病等の特性はすべての品種で良好であった。特に、静みどり2号は各作型での適応性が広く、収

第2表 各品種の収量と品質（5月収穫）

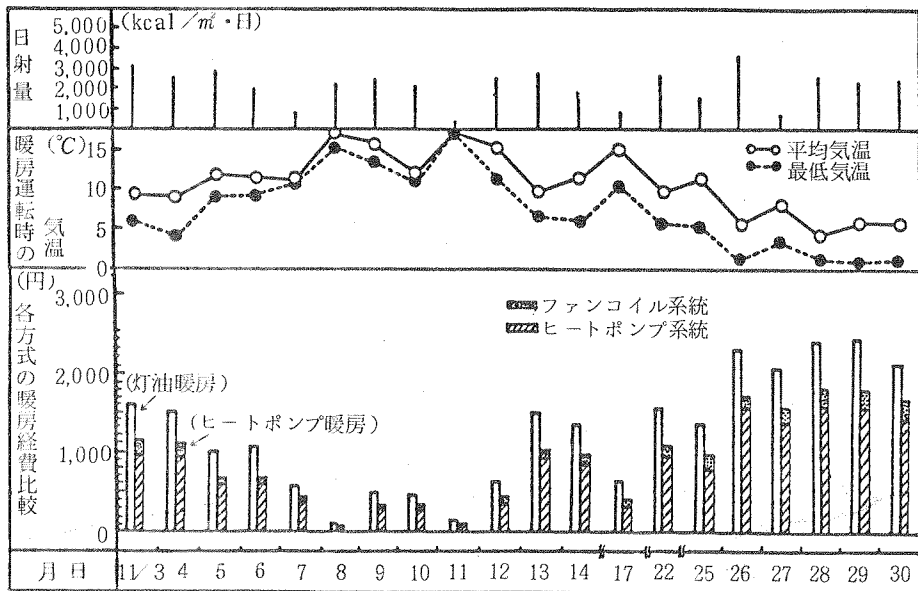
品 種	一 個 着 果			
	果 重	ネット発現	糖 度	収 量
静みどり2号	1,270 g	5.0	14.3	2.3t/10a
南勝アールス	1,180	5.0	13.4	2.1
真 珠	1,050	5.0	13.8	1.9
サファイア	1,120	5.0	14.5	2.0
ふかみどり	1,040	5.0	14.5	1.9

ネット発現：1（無）～5（太・密）5段階指標平均値

第3表 各品種の収量と品質（11月収穫）

品 種	一 個 着 果			
	果 重	ネット発現	糖 度	収 量
静みどり2号	1,410 g	5.0	16.0	2.5t/10a
南勝アールス	1,270	5.0	15.4	2.3
真 珠	1,130	5.0	17.0	2.0
サファイア	1,130	5.0	15.3	2.0
ふかみどり	1,000	5.0	15.0	1.8

ネット発現：1（無）～5（太・密）5段階指標平均値



第3図 11月どりメロン栽培での運転経費の比較

量、品質の面で安定した品種と認められた（第2表、第3表）。

2. ヒートポンプの冷却性能

外気温が21.5~24.5℃の6月と、30.4~31.8℃の7月におけるA-W式ヒートポンプの冷却性能をそれぞれ第4表、第5表に示す。蓄熱水温が一定の場合、熱源である外気温が高いほど冷却能力が低下し、外気温がほぼ一定の場合には、蓄熱水温が低くなるに伴って冷却性能が低下する傾向が認められた。外気温が30℃程度の時に水槽内水温を約10℃に維持した時のヒートポンプの成績係数（COP）は2.0前後であるが、水槽内水温を約15℃にするとCOPは約10%高くなった。

3. 室内冷房におけるファンコイルユニットの性能

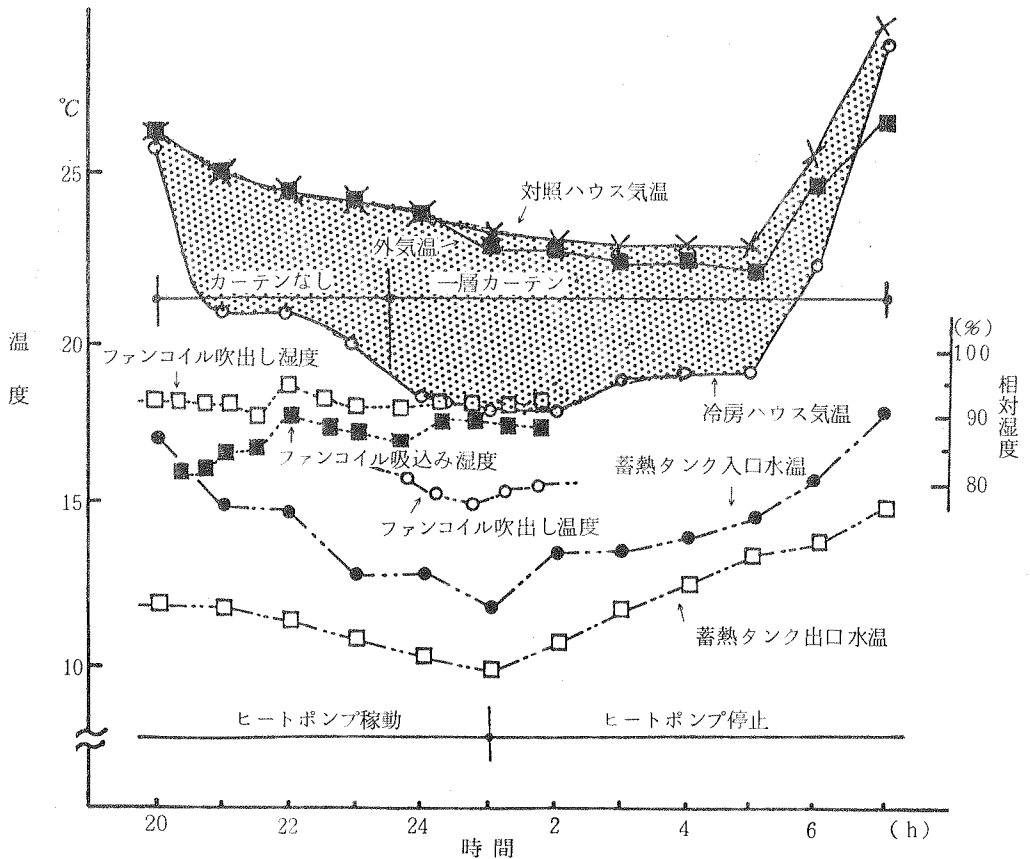
ヒートポンプシステムを冷房運転した場合の温湿度の経時変化を第4図に示す。冷房運転中は、ファンコイルユニットのフィンに結露し、吹出し風量が低下した。そのため、一定時間ごとに結露水を除去する必要が生じ、

ファンコイルユニットの冷却フィンを縦型にするなどの改善も必要となった。ファンコイルユニットの熱交換量を、蓄熱槽出入口水温と循環送水量から求めると、蓄熱槽水温11℃、室温20℃の設定条件で、時間当たり平均13,500kcal/6台の吸熱が得られた。なお、夜間冷房に伴うファンコイルユニットの除湿量は第6表に示すとおり、1台当たり1.7ℓ/hが得られ、その時の室内相対湿度は85~90%で経過した。

第4表 ヒートポンプの単位時間別冷却性能（昼間）

項目 時間	外気温 ℃	タンク水温 ℃	冷却温度 ℃	同左熱量 kcal	使用電力 kwh	C. O. P	外気湿度 %
AM 8:45	21.5	23.8					
10:45	23.0	17.8	6.0	60,000	28.8	2.42	87
12:45	24.5	13.2	4.6	46,000	24.3	2.20	85
14:45	24.0	9.0	4.2	42,000	23.9	2.04	81
合計	AV23.3	—	14.8	148,000	77.0	AV2.23	AV84

注) 昭和59年6月20日 タンク水量 10m³



第4図 冷房運転時の温・湿度経時別変化（7月4日～7月5日）

4. 夜間冷房効果

冷房ハウスの室温は、槽内水温11°Cの冷水をファンコイルユニットに循環送水した時、内張りカーテンなしで平均20.7°C、不織布一層カーテン張りの場合平均18.4°Cとなり、対照ハウスより、それぞれ4.2°Cおよび5.1°C低下させることができた。また、冷房開始後約1時間でほぼ定常温度になった（第4図）。

5. 経営試算

今回試作したシステムの実用性を検討するため、第1報に示した複合熱源暖房方式と灯油暖房を含めた3方式について、ハウスメロンの収益性の試算を行った。各暖房方式別所得は、第7表に示した通り灯油暖房方式1455千円、ヒートポンプ暖房方式1488千円、複合熱源暖房方式556千円となった。従って、収益性はヒートポンプ暖房方式と灯油暖房方式はほぼ同等であったが、複合熱源方式では設備投資額が大きく、光熱動力費が節減できたとしても経営費がかさむため、所得率が低くなり経営的に現状では実用的でなかった。そこで、ヒートポンプ暖房方式と灯油暖房方式の比較検討を行うため、小酒井⁴らの報告を参考に灯油料金と電力消費量料金から損益分岐点となるCOPを次式により試算した。ここでxは灯油1ℓ当たりの単価（円）、yは電力料金1kwh当たり単価（円：基本料金込み）Eは灯油温風暖房機とヒート

ポンプのランニングコストが等しくなるCOPである。

$$E = 9.88 \frac{y}{x} y \text{ (ただし、} y \text{ : 暖房効率)}$$

灯油の比重：0.81、灯油の発熱量：8,500kcal/ℓとし、電力料金、灯油価格が異なる場合のEを求めたのが第5図である。ここで、灯油価格1ℓ当たり80円、暖房効率0.8、電力料金を1kwh当たり18円とすると、損益分岐点となるCOPは1.8となる。しかし、灯油価格が50円に低下すると損益分岐点となるCOPは高くなり、冬季における空気熱源式ヒートポンプでのランニングコストは灯油暖房方式より高くなると思われる。したがって、A-Wヒートポンプの導入を検討する場合には、これらを踏まえランニングコストと設備投資から栽培作物も含

第6表 ファンコイルユニットによる除湿量

時間 除湿量	22:00~	23:00~	24:00~
	23:00	24:00	1:00
ファンコイル ユニット1台 当たり除湿量	ml 1,650	ml 1,700	ml 1,400
施設内除湿量	9,900	10,200	8,400

注) 施設床面積 187㎡ 7月4日～5日測定

第5表 ヒートポンプの単位時間別冷却性能（昼間）

項目 時間	外気温	タンク水温	冷却温度	同左熱量	使用電力	COP	外気湿度
	°C	°C	°C	kcal	kwh		%
AM							
10:00	30.4	18.0	1.8	18,000	14.4	1.5	57
11:00	31.3	16.2	2.2	(27,400)	13.0	(2.2)	55
12:00	31.5	14.0	1.8	(23,800)	12.9	(2.1)	52
13:00	31.6	12.2	1.8	(21,700)	12.6	(2.0)	51
14:00	31.8	10.4	1.5	(20,900)	11.6	(1.9)	49
15:00		8.9		(18,400)		(1.8)	
合計	AV 31.3	—	9.1	91,000 (112,200)	64.5	AV 1.7 (2.0)	AV 53

注) 昭和59年7月9日、() カロリーメーターにて測定タンク水量10㎡

め経営試算を行うことが重要と思われた。

IV 摘 要

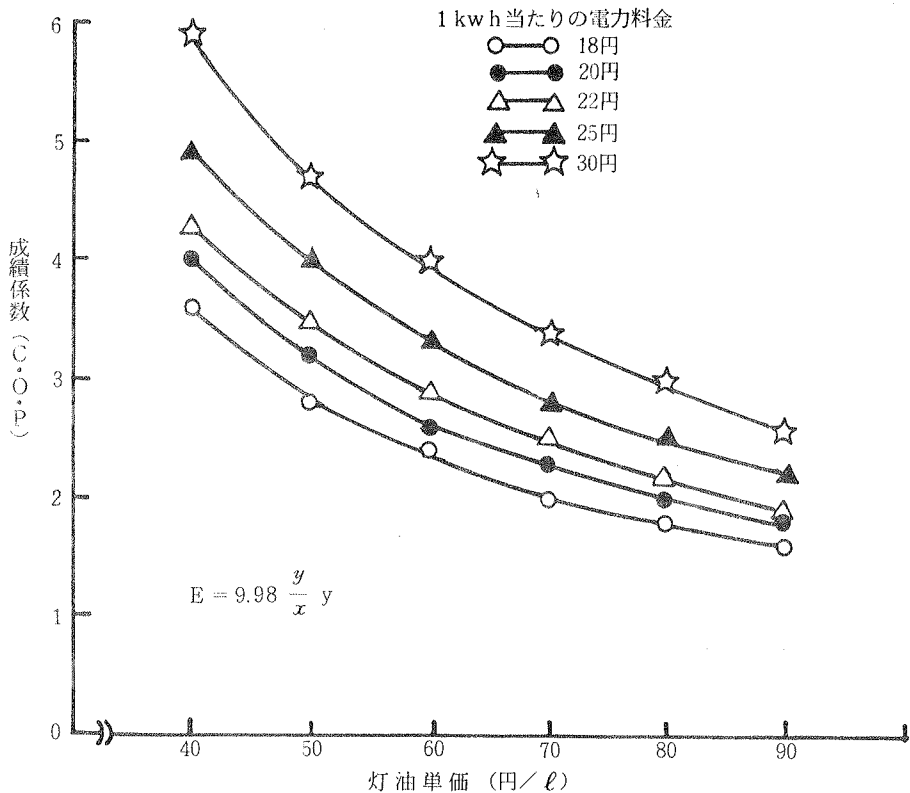
空気熱源・水蓄熱式ヒートポンプ、蓄熱槽、ファンコイルユニットを組み合わせたハウスの暖・冷房システムを試作し、冬季のハウス暖房と夏季の夜間ハウス冷房の運転特性について調査した。同時に、複合熱源方式を含め経営試算を行った。

- 1) ヒートポンプ方式の暖房経費は、灯油暖房方式に比べ1月定植の促成メロン栽培で19-23%、12月収穫の抑制メロン栽培で27%の節減効果が認められた。
- 2) 暖房運転時におけるファンコイルユニットの効率、蓄熱槽からの送水温度とハウス内気温との差に影響された。この温度差が約10℃となるよう蓄熱槽水温を維持し、ハウス規模に見合った能力のファンコイルユニットを選択、設置することが望まれた。
- 3) 冷房運転時の成績係数(COP)は、外気温31℃の時、蓄熱槽内水温を18℃から9℃まで冷却したところ、2.2から1.8に徐々に低下した。また、夜間外気温が25℃で槽内水温が16℃から9℃までの冷却では、平均2.3であった。

第7表 ハウスメロンの収益性 (試算)

作 型	年 3 作		
	慣 行	ヒートポン	太陽熱
目標収量 (kg)	13,000	13,000	13,000
単 価 (円)	437	437	437
粗収益 (千円)	5,680	5,680	5,680
流動財費 (千円)	3,280	2,942	2,577
うち光熱動力費	1,397	1,059	694
減価償却費(千円)	945	1,250	2,547
うち建 物	15	15	15
大農具	36	36	36
園芸施設	894	1,199	2,496
経営費 (千円)	4,225	4,192	5,124
所 得 (千円)	1,455	1,488	556
所得率 (%)	26	26	10
1日当所得(円)	6,500	6,600	2,500

注) 慣行: 石油(灯油)暖房、ヒートポン: ヒートポンプ、太陽熱: 太陽熱集熱器+ヒートポンプ FRAハウス使用



第5図 灯油単価と損益分岐点となるC. O. P値

4) 夏季夜間槽内水温11°Cでファンコイルユニットに循環送水した時のハウス内気温は、内張りなしで平均20.7°C、不織布一層カーテン張りの場合平均18.4°Cとなり、対照ハウスより、それぞれ4.2°Cおよび5.1°C低下させることができた。また、冷房開始約1時間で一定の室温まで低下させることができた。この間の室内相対湿度は80~90%で推移した。

5) 空気熱源・水蓄熱式ヒートポンプ方式は、灯油暖房方式と同等の経営試算結果が得られた。

6) ヒートポンプの暖・冷房方式は、栽培暖房期間が長く、冷房効果が見込める作物で普及性が高いと思われた。

9) 佐々木皓二・板木利隆・高橋 基：空気熱源型ヒートポンプの温室利用（1）暖房性能について、日本農業気象学会全国大会講演要旨集 59、129-130、(1984)。

10) Joachim Damrath GREEN HOUSE HEATING WITH SUN ENERGY Act a horticulturae 76 181-184、(1978)。

11) Norman Smith : SOLAR - ASSISTED HEAT PUMPS for space heating in a cold climate.

agricultural engineering july 14-18、(1984)。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、種々の御援助、御協力を頂いた関西電力株式会社に深く感謝の意を表する。また、本報告のまとめに際し、御指導をいただいた大阪府立大学農学部環境調節工学研究室、原園芳信博士に厚くお礼申し上げます。

引 用 文 献

1) 青柳光昭：空気熱源式ヒートポンプによる温室暖房、農業機械開発・改良試験研究打合せ会議資料、4、農業機械化研究所編、100-101、(1985)。

2) 小国研作：温室用ヒートポンプに関する研究、農業気象、37(4)、317-322、(1982)。

3) 小沢行雄他：昭和58年度食料品等流通対策推進事業実績報告書 社)日本施設園芸協会、14-106、(1983)。

4) 小酒井一嘉・上原 毅・山本雄二郎：空気熱源式ヒートポンプによる温室暖房試験 財)電力中央研究所 生物環境技術研究所 研究報告 485009、19、(1985)。

5) 古在豊樹：第1回研究集会 省エネルギーへのアプローチ 内部集熱技術の問題点、日本農業気象学会 施設園芸研究部会、24-38、(1981)。

6) ———・権在永・林真紀夫・渡辺一郎：温室の冷房負荷に関する研究、夏季夜間の負荷特性、農業気象 41(2)、121-130、(1985)。

7) ———：施設園芸の環境調節技術 —基礎と展望— 社)日本施設園芸協会、1985、P159-168。

8) ———・林真紀夫・児玉友孝・権在永・渡辺一郎 大沢英夫：温室におけるヒートポンプ利用(3)夏期夜間冷房システムの運転特性、農業気象 41(3)、231-240、(1985)。

Summary

The heating/cooling system is newly designed for regulate the greenhouse climate.

This system consists of one air-to-water heat pump, one heat storage water tank, six fan coil heat exchange units.

Operating characteristics of the system is tested both under the heating condition in winter and the cooling condition in summer nighttime.

The managements estimate for this system is done compared to the double heating source system and the conventional heating system.

The results are summarized as follows.

1) The heating cost is saved 19-23% by the heat pump system to the conventional petroleum burner system for melons culture which transplanted in january.

In the case of the ratarding culture of melons harvested in December, the heating cost is saved 27% .

2) The heating efficiency of the fan coil heat exchange unit depends much on the temperature difference between supplied water and inside air temperature of greenhouse.

It is to be desired that the difference should be maintained about 10°C, for example, when air temperature in greenhouse is 20°C, water temperature in the storage tank should be 30°C.

The capacity of the fan coil heat exchange unit should be set up as well balanced with the size of the greenhouse.

3) When the system is used for cooling in summer time its air temperature 31°C, the COP of the heat pump decreases slowly from 2.2 to 1.8 with the water temperature in the storage tank from 18°C to 9°C.

When the air temperature of greenhouse is 25°C, the valve of the COP grows larger to 2.3~2.4 with decreasing the water temperature from 16°C to 9°C.

4) Under the cooling operation on summer night, the water temperature in the storage tank is kept 11°C constantly, the air temperature in the greenhouse decrease 4.2°C without curtain and decrease 5.1°C with single layer non-woven fabric curtain compare to that of the reference greenhouse.

The air temperature in the greenhouse reduced to the constant valve within about an hour after start of cooling.

The relative humidity in the greenhouse is kept from 80 to 90% over the cooling period.

5) From the management estimation, it is made clear that the total cost of the air-to-water heat pump system is similar to that of petroleum burner system.

6) It seems that the heat pump system has a possibility to become popular, if the cultivate plant is chosen well, because the available period of the system is long and the cooling has good effects on plant growth.