

原著論文

省エネと周年栽培を目指した水熱源ヒートポンプシステム の開発

岡澤立夫*・田旗裕也・島地英夫・

片岡真弓^a・沼田洋子^b

東京都農林総合研究センター

摘 要

施設内環境制御技術として、熱交換器を浅層埋設した水熱源ヒートポンプと外気温を活用する小型ヒートポンプを併用した新たなシステムを開発した。暖房時のシステムの成績係数 COP は 3.0 前後で、従来の温風暖房機を利用した暖房と比べ、エネルギーを 60%、ランニングコストを 40%削減できた。

さらに、ヒートポンプを夜間冷房に用いると外気温よりも 5°C 低減可能であり、日中ミスト冷房と併用すると夏季の 1 日を通じての温度上昇が抑制できた。この冷房効果で、切花用ヒマワリ、シクラメンともに開花が促進され、花が大きくなる等品質が向上した。ガーベラでは品種にかかわらず、ヒートポンプを導入した区で年間の収量が増加した。夏季の冷房効果が年間収量増の要因として大きかった。冷房に要したコストは売上高の 5~10%程度で、この冷房システムは十分採算がとれる実用性の高いものである。

キーワード：水熱源，ヒートポンプ，省エネ，COP，冷房

東京都農林総合研究センター研究報告 8: 1-10, 2013

2012 年 8 月 31 日受付，2012 年 11 月 5 日受理

緒 言

地下水等を利用する水熱源ヒートポンプは、周年を通じ 15~17°C の安定した熱源が確保できることから、空気熱源にみられるデフロスト（外気温が低いときに蒸発器のフィンに付着する霜を取り除くこと）による COP（ヒートポンプの能率を示す指標）低下の問題がなく、COP の飛躍的な向上が期待できる。また、二酸化炭素の排出量が空気熱源の 70% 以下であり、ヒートアイランドを助長することもない（林，2008）。

一方、水熱源を活用する場合は、良質な水を確保しな

ければならないので、地域や場所が限定されてしまうという問題点がある。また、熱源回収後の水温低下による循環水の凍結や、それを生じさせない潤沢な地下水量も考慮しなければならない。さらに、空気熱源に対応した高性能なヒートポンプはこれまで数多く開発されているが、水熱源に対応した製品はまだまだ少ないのが現状である。地下水を含む地中熱ヒートポンプの住宅やビルにおける普及状況をみても、アメリカやスウェーデンと比べ日本での設備は遅れており（NEDO エネルギー対策推進部，2006）、商工業ベースでの普及は少ない。一方、農業分野への普及は試験的な取り組みはあるものの、皆無に等しい。

*著者連絡先 Email t-okazawa@tdfaff.com ^a現東京都八丈支庁 ^b現東京都島しょ農林水産総合センター

そこで、我々は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「低炭素時代に向けた自然エネルギー利用率を最大限に高める施設栽培用ヒートポンプシステムの開発」の中で、農村工学研究所等と共同で水熱源を活用した普及性の高いヒートポンプシステムの開発を目指し研究してきた。ここでは、これまで取り組んできた水熱源ヒートポンプシステムに関する研究成果と、そのシステム導入による夏季冷房がシクラメン等花きの生育に及ぼす効果実証について報告する。

材料および方法

1. 水熱源ヒートポンプシステムによる温湿度制御

(1) ヒートポンプシステムの設計・運転

ヒートポンプは、暖房、冷房、除湿の大きく3つの機能を有している。図1に暖房時におけるシステムの概要を示す。

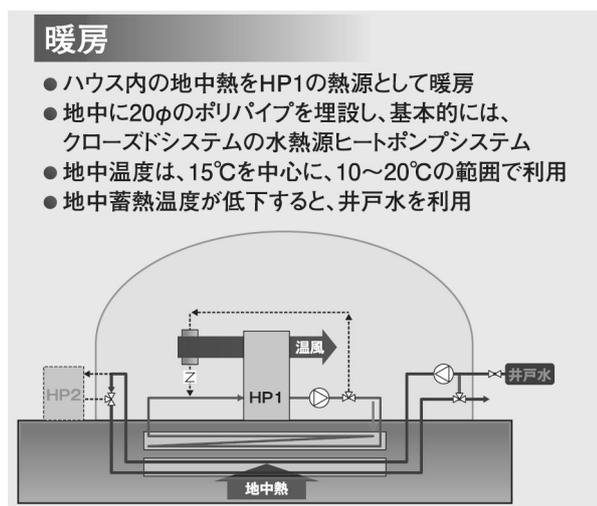


図1 暖房時におけるヒートポンプシステム

暖房時の熱源としては、地下水の他に、昼間の太陽熱で昇温したハウス内空気、ハウス外空気の3つを利用した。ハウス内には4馬力のヒートポンプ（FHP MANUFACTURING, ECO018, HP1と示す）を設置し、またハウス外には空気熱源を活用する1馬力の小型ヒートポンプ（FHP MANUFACTURING, ECO042, HP2と示す）を設置した。地中との熱交換は、地中30cmの深さに埋設した25φのポリエチレンパイプ（5m/m²）に水を循環することで、日中にヒートポンプで回収した熱を地中に蓄熱することで、夜間の熱源として利用する蓄熱方式を採用した（図2）。



図2 地下蓄熱用の埋設ポリエチレンパイプ

冷房時の熱源としては、地中冷熱と井戸水を利用した。日中は、太陽熱の負荷に対しヒートポンプの能力が不足するため冷房運転を実施せず、冷房運転は夜間のみ実施した。また、冷房運転と同時に、巻き上げ式の側窓が自動的に閉じるようにした。

そのほか、暖房および冷房効果をあげるために、パイプハウス構造は断熱性の高い空気膜方式（図3）を採用した。

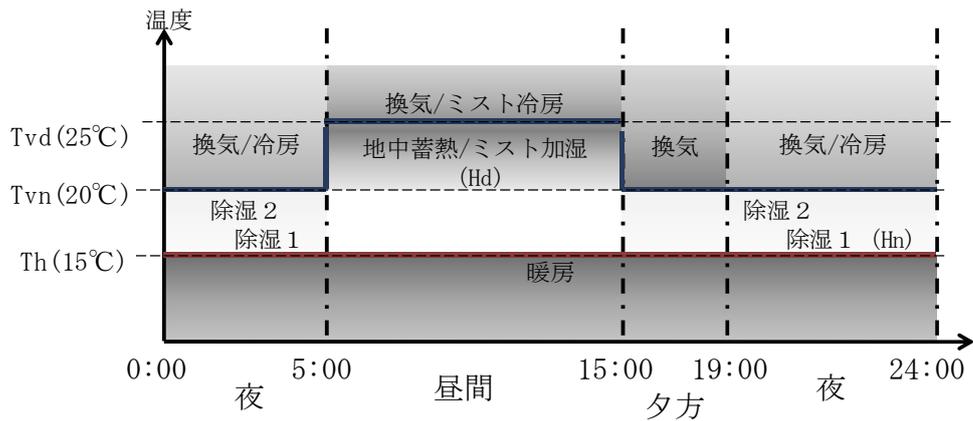


図3 空気膜屋根構造

右下の写真はブロワーで、ハウス上面に展開した2重ビニールの上に空気を送り込む様子を示している。

(2) 温湿度管理

植物の生育適温を加味し、図4に示す1日の温室管理目標スケジュールにしたがって暖房・冷房・除湿を自動的に切り換えるプログラムを構築した。5:00~15:00は、外気温が25℃以上で冷房、15℃以下で暖房運転し、19:00~5:00は、20℃以上で冷房、15℃以下で暖房運転するようにした。また、15:00~19:00は冷・暖房運転は行わないように設定した。このように、外気温に応じて、冷房と暖房を切り換え温度管理するとともに、ハウス内湿度に応じて除湿制御し、夜間湿度80%以下を目標に管理した。



H-mode (暖房モード) : 外気温がおよそ暖房温度以下になると、昼間の蓄熱運転を行う。
 C-mode (冷房モード) : 夜間の外気温が、夜間換気温度以上になると、日中の地中蓄冷を行い、夜間冷房を行う。
 N-mode : ヒートポンプは除湿のみを行う。

Th :	暖房温度	(15°C)
Tvd :	昼間換気温度	(25°C)
Tvn :	夜間換気温度	(20°C)
Hd :	昼間湿度	(60%)
Hn :	夜間湿度	(80%)

換気とミスト制御は、どのモードでも動作する。

図4 温湿度の管理目標値

冷暖房は外気温に応じ各モードへ切り替えることで稼働

除湿は、暖房運転時の凝縮器側の熱交換機の前面に熱交換機（除湿ユニット）を追加設置し、蒸発器側の冷水を通すことにより除湿する試みを行った（図5）。



図5 除湿ユニット

また、栽培環境の好適化や夏季の生育改善を実現するために、ミスト装置による加湿と蒸発冷却による日中の冷房装置を導入した（図6）。設置場所は、栽培面積を確保し、作物に付着するのを避けるためにベンチ下とした。なお、ミストの制御は90秒間隔の時間幅で行った。



図6 ベンチ下のミスト装置による冷房

ミストによる蒸発冷却。攪拌扇でハウス全体を循環

ヒートポンプによる夏季の冷房制御能力を比較検討するために、パイプハウスのサイド換気のための対照区を設置した。また、暖房時には、従来の温風暖房機を用いた区を対照区とした。暖房の設定温度は、15°Cを基本としたが、ヒートポンプによる暖房能力が劣る場合は、実測値にあわせ温風暖房機の設定温度を調整した。

2. ヒートポンプによる夏季冷房の栽培実証試験

切花用ヒマワリは2010年7月29日に、普通用土(赤土:腐葉土:ピートモス=5:3:2)を充填した58Lプランターに20cm間隔となるように3粒ずつ播種し、播種12日後に1本になるように間引きした。品種は「F₁ サンリッチ フレッシュオレンジ」, 「F₁ サンリッチ レモン」の2品種を供試した。基肥として用土100LあたりN:58g, P₂O₅:158g, K₂O:54gを被覆肥料, 過リン酸石灰で施用した。8月30日に緩効性固形肥料(商品名:IB化成)で追肥した。舌状花が完全に開いた状態で生育等を40株調査した。

シクラメンは、品種「ヘリオス モンテカルロ」を供試した。2010年6月7日に3.5cmポット苗を購入し、6月8日に4号鉢, 9月8日に6号鉢に鉢替えした。用土は普通用土を使用し、基肥はヒマワリと同様とした。株張等生育の調査は12月6日に各区25株行った。

ガーベラは、品種「シュクレ」と「アマチ」の2品種

を用いた。2010年5月31日, 購入苗を8号鉢へ定植した。用土はヤシ殻主体で, 液肥(商品名:ハイボネックス10-30-20)による追肥を行った。生育等の調査は定植4ヵ月後の2010年10月~2011年9月に実施した。調査株数は, 冷房処理区, サイド換気のみ対照区ともに20株とした。

結果

1. 水熱源ヒートポンプシステムによる温湿度制御

(1) ヒートポンプによる暖房

2010年11月1日から暖房運転を開始した。外気温が15℃以下となる21:00~5:00の間を15℃設定で暖房運転したところ, 外気温が10℃である11月上旬では, 目標値通り15℃に管理でき(図7), 温風暖房機を用いた対照区と同様の温度推移を示した(図8)。

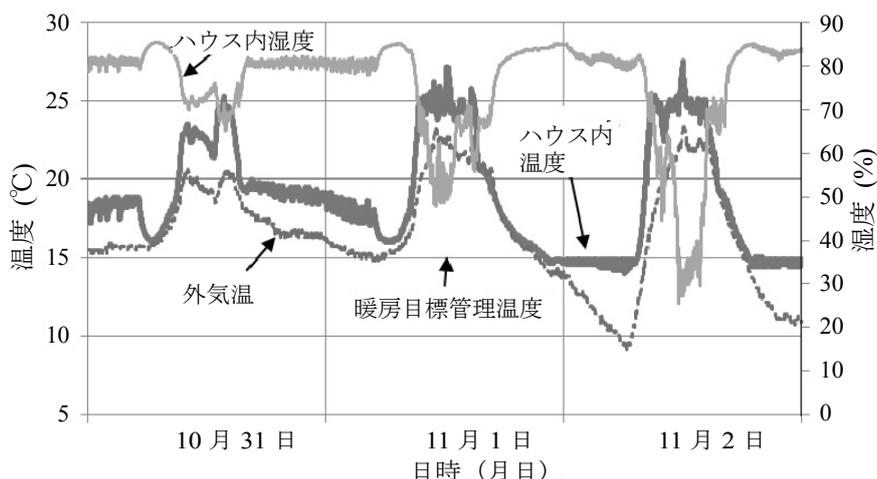


図7 ヒートポンプ稼働時の温湿度(2010年10月31日~11月2日の測定値)
2010年11月1日からヒートポンプを稼働開始した

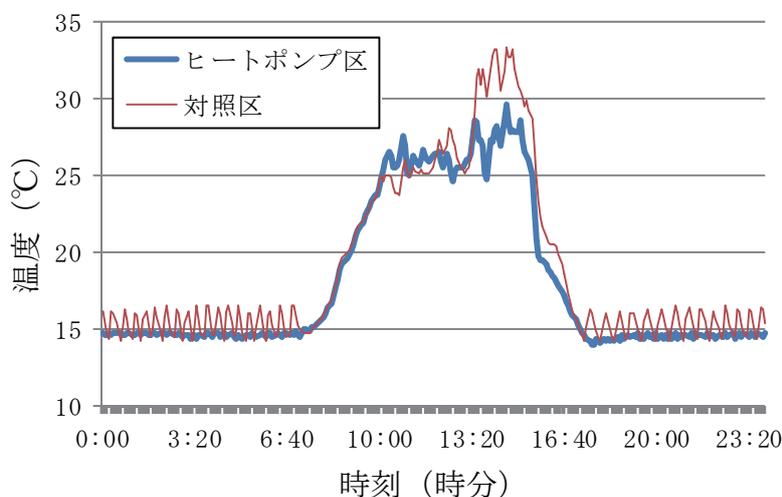


図8 暖房運転時のハウス内温度
2010年11月6日の測定値

このときの暖房 COP は、3.5~4.0 で、システム COP は 3.0 前後であった。これは石油暖房に比べ、エネルギー約 60%、ランニングコスト約 40%の削減に相当する。以下に計算式を示す。

電気 1kWh を使用した場合、860kcal の熱量が発生する。システム COP が 3 であると 3 倍、つまり $860 \times 3 = 2,580 \text{kcal}$ のエネルギーが得られる。従って、エネルギー的には $(2,580 - 860) \div 2,580 \times 100 \div 67\%$ の削減できる。一方、温風暖房機の暖房効率を 85% とすると、A 重油 1L あたり $8,770 \text{kcal} \times 0.85 = 7,454.5 \text{kcal}$ の発熱量が得られる。前述の 2,580kcal は A 重油約 0.35L ($= 2,580 \div 7,454.5$) に相当するため、A 重油 1L あたり 75 円とすると、 $75 \times 0.35 \div 26$ 円が A 重油を燃焼し 2,580kcal を得るのに必要となる。ヒートポンプを利用すると電気代 1kWh=16 円で同等のエネルギーを得られることから、ランニングコストはヒートポンプを利用することで $100 - 16 \div 26 \times 100 \div 40\%$ の削減となる。

一方、1 月下旬のハウス内温度は、外気温に対して、10℃以上に維持できたが、目標値 15℃までの管理はできなかった (図 9)。これは、循環水の凍結防止のために設置した安全装置が働き、運転が停止したことが要因で、地面の熱源が十分に活用できなかったためと考えられた。

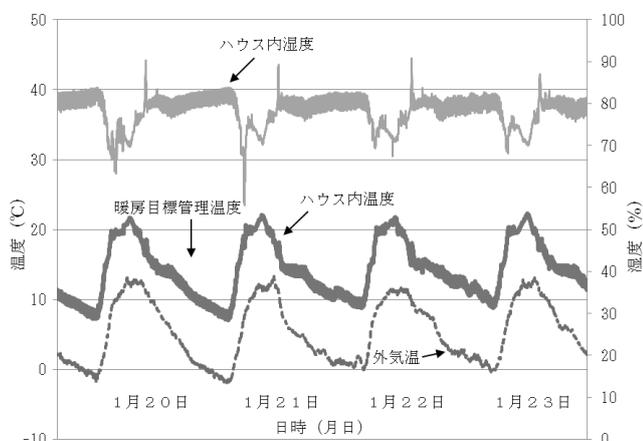


図 9 ヒートポンプ稼働時の温湿度 (2011 年 1 月 20 日~23 日の測定値)

(2) ヒートポンプによる冷房

冷房運転は、2010 年 7 月 7 日から稼働開始した。夜間のハウス内温度は、ヒートポンプによる冷房で目標値の 20℃に近い温度まで、外気温と比べ約 5℃下げることが可能であった。このときの電力消費量は 38.1kwh/日であった。対照区は外気温とほぼ同じ温度で推移した。日中のミスト冷房では、外気温とほぼ同等かそれ以下に下げることができた (図 10)。

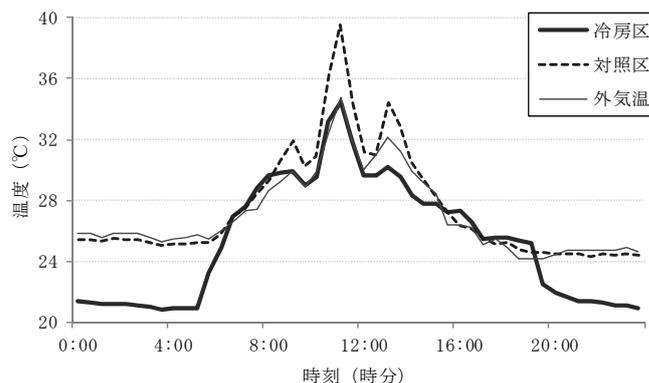


図 10 ヒートポンプとミスト併用による冷房運転
2010 年 8 月 13 日の測定値
冷房区はミストとヒートポンプ冷房を実施

(3) ヒートポンプによる除湿

ハウス内除湿は、病害防除に効果的であると言われている (高市, 2003)。病害防除の観点から除湿運転の目標値は 80% に設定し、夜間ハウス閉め切りに伴う湿度上昇を抑えるために、運転時間帯は 19:00~5:00 とした。11 月はじめの湿度は、図 7 に示したとおり、目標値の 80% に近い値で推移した。ここで用いた除湿システムは、蒸発器側に冷水を通して行うため、吹き出し口からは除湿分の潜熱が顕熱となって温風が出る。そのため、ハウス内温度は高くなり、除湿運転には暖房効果もある。今回試作した除湿器はフィン部による除湿と、ハウス内の気温上昇に伴う相対湿度低下による除湿の相乗効果で除湿能力を発揮する。

2. ヒートポンプによる夏季冷房の栽培実証試験

(1) 切花用ヒマワリ

ヒートポンプ区では、供試した 2 品種で、切花長が 10cm 以上短くなったが、切花重、花柄径および頭花径が増加し品質が向上した。また、開花までの葉数が少なく 8 日間の開花促進効果がみられた (表 1, 図 11)。



図 11 ヒマワリの頭花径に対する冷房効果
2010 年 9 月 24 日撮影

表1 冷房が切花用ヒマワリの生育・品質に与える影響

供試品種	処理区	切花長 (cm)	葉数 (枚/株)	花柄径 (mm)	頭花径 (cm)	開花(調査)日 ^a
F ₁ サンリッチ フレッシュオレンジ	ヒートポンプ区	145.4	32.9	11.6	13.5	9月20日
	対照区	157.1	35.4	10.4	12.2	9月28日
F ₁ サンリッチ レモン	ヒートポンプ区	136.9	31.2	12.1	14.3	9月19日
	対照区	155.8	34.4	10.7	12.4	9月27日
分散分析 ^b	品 種	*	**	NS	NS	**
	処 理	**	**	**	**	**
	交互作用	NS	NS	NS	NS	NS

注) 播種日: 2010年7月29日

a) 舌状花が完全に開いた状態

b) n=40, **: 1%有意差あり, *: 5%有意差あり, NS: 有意差なし

(2) シクラメン

シクラメンは、ヒートポンプ区で株高、株径などが高く生育が良好であった。花柄径は変わらないが、花弁幅

が広がるなど冷房は花の大きさにも影響を与えた。また、開花が12日間促進し、有効花数も調査時点で30個以上多くなるなど高温の悪影響が避けられた(表2, 図12)。

表2 冷房がシクラメンの生育・品質に与える影響

試験区	株径 (cm)	株高 (cm)	葉数 (枚)	葉色 (SPAD値)	花柄長 (cm)	花柄径 (cm)	花弁長 (cm)	花弁幅 (cm)	開花数 (輪/株)	有効花数 ^a (個/株)	開花盛期 ^b (月日)
ヒートポンプ区	45.1	15.7	121.7	67.9	21.7	4.1	4.5	4.5	10.7	80.5	12月14日
対照区	37.6	13.7	116.6	70.5	16.6	4.1	4.2	4.2	1.3	48.7	12月26日
有意性 ^c	**	**	NS	NS	**	NS	NS	**	**	**	**

注) 品種: 「ハリオス モンテカルロ」 鉢替え日(6号鉢): 2010年9月8日 調査日: 2010年12月6日

a) 花柄長2cm以上の蕾数+開花数

b) 開花数が20輪に達した日

c) n=25, **: 1%有意差あり, NS: 有意差なし (t検定)

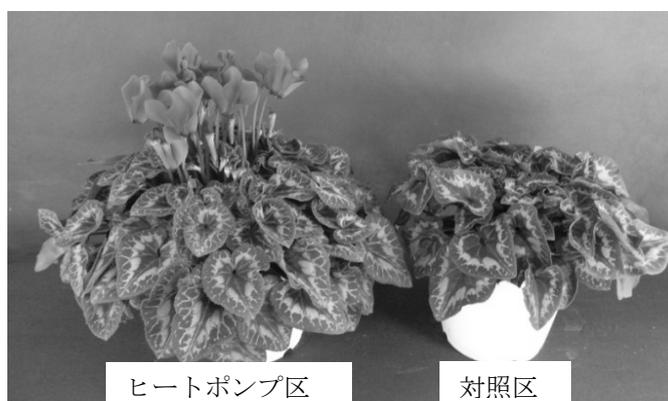


図12 シクラメンへの冷房効果
2010年12月1日撮影

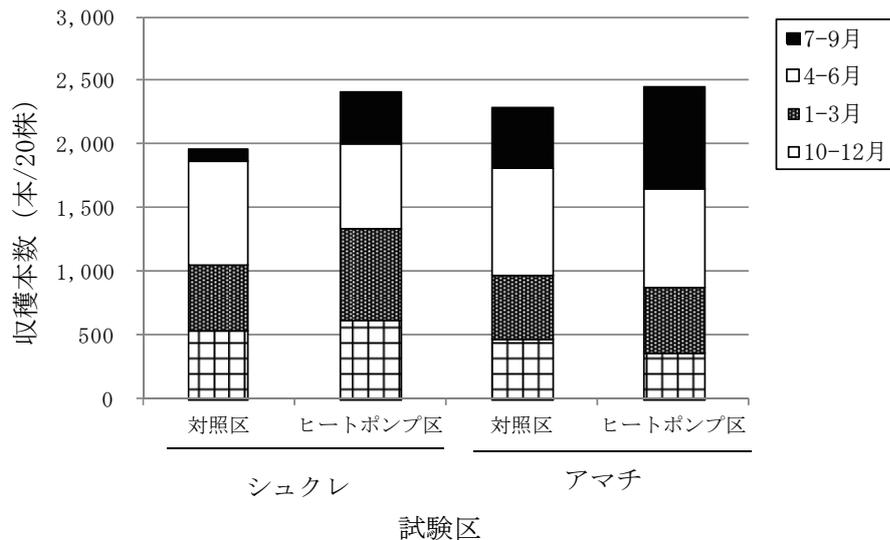


図 13 ヒートポンプ利用によるガーベラ収量への影響

(3) ガーベラ

ガーベラの 1 年間の収量は品種間差があるものの、ヒートポンプ区で高かった。夏季 7~9 月の冷房による収穫本数増加が同区の年間における収量増の要因として大きかった (図 13)。高温期 7~9 月においては、対照区と比べヒートポンプ区で品種に関係なく、1 本あたり切花重などが有意に高かった (表 3, 「アマチ」: データ省略)。

また、この期間は「シュクレ」で約 6 倍、「アマチ」で約 2 倍の収量増となった (表 4)。市場単価をもとに計算すると、冷房コストは売上高の 5~10% 程度で、いずれの品種においても十分増益が見込まれることが分かった。

ヒートポンプによる冷房は、ハウス内の夏季の温度制御に有効であり、切花用ヒマワリ、シクラメン、ガーベラの品質および収量増に効果があることが実証された。

表 3 7~9 月の冷房が「シュクレ」の生育に及ぼす影響

品種名	試験区	調査項目	調査月		
			7月	8月	9月
シュクレ	対照区	切花長 (cm)	44.8	45.6	50.1
		1本あたり切花重 (g)	7.4	7.8	10.7
		花径 (cm)	5.5	5.7	6.4
		茎径 (mm)	4.8	4.6	5.2
	ヒートポンプ区	切花長 (cm)	45.3	51.9	52.3
		1本あたり切花重 (g)	9.2	10.3	12.8
		花径 (cm)	6.1	6.2	6.6
		茎径 (mm)	5.2	5.0	5.3
t-検定	切花長 (cm)	NS	**	NS	
	1本あたり切花重 (g)	**	**	**	
	花径 (cm)	**	*	NS	
	茎径 (mm)	*	*	NS	

注) 月ごとの試験区間で検定 (n=20)

NS: 有意差なし, *: 5%有意差あり, **: 1%有意差あり

表4 冷房による増収効果、および売上高に占める冷房費の割合

品種名	試験区	7～9月 収量(g)	7～9月 収穫本数 (本)	売上高 ^a (円) (A)	冷房消費電力料金 ^b (円)(B)		売上高に占める冷房費の割合 (A/B)×100(%)
					ヒートポンプ本体	井戸水 ^c	
シュクレ	対照区	21,400	2,463	69,519	0	0	0
	ヒートポンプ区	123,973	10,847	322,003	23,365	10,222	10.4
アマチ	対照区	91,825	12,366	350,944	0	0	0
	ヒートポンプ区	190,537	20,908	610,408	23,365	10,222	5.5

注) データはヒートポンプハウス 86.4m² (5.4m×16m) に換算 (栽植密度 20 株/3.3m²)。小数点以下切り上げ

a) 売上高は H22 年東京都中央卸売市場年報で算出 (7 月 25.2 円/本, 8 月 21.6 円/本, 9 月 35.9 円/本)

b) 冷房消費電力はヒートポンプが 7 月 584.1kWh, 8 月 539.1kWh, 9 月 337.1kWh。冷房熱源となる井戸水は湧水量 60L/分, 約 8℃の温度差で 10日/日で計算。井戸ポンプは定格出力 250W, 電力料金は 1kWh=16 円

c) 日中ミスト冷房に使用する井戸水量は 7.5L/時とわずかであったため, コスト計算から除外した

考 察

水熱源ヒートポンプは空気熱源式と比べ, デフロストの心配がなく効率性に優れ, 二酸化炭素の発生も少ないことから, 今後の省エネ技術を担うものとして期待される。本研究で, 熱交換器を浅層埋設した水熱源ヒートポンプと外気温を活用する小型ヒートポンプを併用した新しいヒートポンプシステムを開発した。目標値を暖房温度 15℃, 夜間冷房温度を 20℃としたところ, 本システムではほぼ目標値を達成することができた。しかし, 外気温が氷点下を大幅に下回る場合は, 暖房時のハウス内温度が目標値以下の 10℃近くまで低下することもあった。井戸水を直接循環水として用いるか, 熱貫流率の高い熱交換器や熱伝導率の高い地盤を利用する等の検討が求められる。さらに, ヒートポンプ単体では設定温度を達成できない事例もあることから, 設定温度の高い作物を栽培する場合や寒冷地では, 従来の温風暖房機などと組合せたハイブリッド運転の検証も重要である。本研究とは異なる方式ではあるがハイブリッド運転を取り入れることで, ヒートポンプの性能を十分発揮できることが報告されている(川嶋ら, 2008)。あるいは, 保温カーテンを装備する等, ヒートポンプを効率的に利用する方法についても今後さらに追及していく必要がある。

冬季の暖房運転におけるランニングコストを抑制する目的で, ヒートポンプは全国的に導入されてきている。しかし, 運転休止時にも電気の基本料金は加算されるため, ヒートポンプの利用頻度を上げ栽培環境の好適化を図ることで, 周年栽培を実現できればヒートポンプの優位性は高まる。そこで本研究では, ヒートポンプの冷房利用を検討した。国内ではバラ, コショウランなどでヒートポンプの冷房利用が実用化されている(林, 2008)。日中ミストと夜間ヒートポンプ冷房の併用冷房効果を切花用ヒマワリ, シクラメンおよび, ガーベラの 3 品目について調査したところ, 開花促進や切花重の増加など品質が向上することを実証できた。アルストロメリアでも同

様の冷房効果が報告されている(土井ら, 1999)。ヒマワリの切花重と頭花径との間には相関関係 ($r=0.77$) が高かったことから, 呼吸による過剰浪費が夜温低下で軽減したことが品質向上に寄与したと考えられた(岡澤ら, 2011, 2012 a,b)。しかしながら, ヒートポンプによる冷房は使用した分コストが増えるため, 暖房時におけるヒートポンプ導入とは意味合いが異なる。ガーベラでは冷房経費が売上高の 10%程度に収まり, 十分収益が見込めるが, 冷房運転するか否かは栽培する品目や冷房による品質向上がコスト的に見合うかを検討する必要がある。また, 冷房時は換気窓を閉める必要があるため, 換気窓の開閉を自動化するシステム導入を冷房する場合は考慮しなければならない。

ヒートポンプの利点の一つに除湿機能がある。本研究では, 蒸発器側に冷水を通すことで除湿を試みた。このシステムで除湿できることは確認しているが, どの程度の能力を発揮できるかは今後の検討事項である。除湿で病害発生を抑制できることは報告されているが(木村, 1977), 一方で高湿度は光合成量を増加させる効果もある(平井, 1984)。ヒートポンプを上手に利用し, 病害を減らし, かつ生育を促進する最適な湿度条件を明らかにする必要がある。

水熱源ヒートポンプの有利性は, 熱源側が水であるために, 熱の輸送や貯蔵が可能であり, 簡単な改造や付加によって, 除湿機能の付加や, 蓄熱など, 新たな応用が利く点にある。省エネだけでなく, 生産性の向上などを目指した新たな研究が今後期待できる。

謝 辞

今回の試験は, 実用技術開発事業「低炭素時代に向けた自然エネルギー利用率を最大限に高める施設栽培用ヒートポンプシステムの開発」の中で取り組んだものである。本研究にご協力いただいた関係機関の皆様方に心より感謝いたします。

引用文献

- 土井元章, 陳忠英, 斎藤香里, 住友恵美, 稲本勝彦, 今西英雄 (1999), アルストロメリアの地中冷却栽培における秋季収量および切り花品質の改善, *Journal of the Japanese Society for Hortical Science*, 68(1), 160-167.
- 林真紀夫 (2008), 施設園芸の最新省エネ技術の現状と展望, *農林水産技術研究ジャーナル*, 31(8), 5-10.
- 平井源一, 高橋誠, 田中修, 嶋村直樹, 中山登 (1984), 大気湿度が水稻の生育ならびに生理に及ぼす影響: 第3報大気湿度が水稻の光合成速度に及ぼす影響, *日作紀*, 53(3), 261-267.
- 環境省 (2012), 地中熱利用にあたってのガイドライン, <http://www.env.go.jp/water/jiban/gl-gh201203/index.html>.
- 川嶋浩樹 (2009), 施設園芸におけるヒートポンプの有効利用: 冷房利用の実際と効果, (社)農業電化協会, 93-96.
- 川嶋浩樹, 高市益行, 馬場勝, 安井清澄, 中野有加 (2008), 空気熱源式ヒートポンプを利用したハイブリッド暖房方式による投入エネルギーおよび CO₂ 排出量の削減効果, *野菜茶業研究所報告*, 7, 27-36.
- 木村 進・岩崎政男・戸田幹彦(1977): 施設栽培キュウリの夜間除湿による病害抑制. *農及園*, 52: 1395~1398.
- Lund, J. W., Freeston, D. H., and T. L. Boyd (2010), Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review, *Geothermics*, 40(3):159-180.
- 岡澤立夫 (2012a), 夜間ヒートポンプと日中ミスト冷房の利用による夏季高温対策, *農耕と園芸*, 67 巻5号, 24-27.
- 岡澤立夫・島地英夫・田旗裕也 (2012b), 日中ミスト冷房を併用したヒートポンプ夜間冷房システムとヒートポンプによる除湿手法の開発, *畑地農業*, 641号, 11-18.
- 岡澤立夫・田旗裕也・島地英夫 (2011), 水熱源ヒートポンプシステムの開発とバラ農家への導入, *畑地農業*, 633号, 18-24.
- 高市益行(2003), 五訂施設園芸ハンドブック:湿度制御, (社)日本施設園芸協会, 158-169.

Development of a water-source heat pump system for saving energy and year-round cultivation

Tatsuo Okazawa^{1,*}, Hironari Tahata¹, Hideo Shimaji¹,
Mayumi Kataoka², Youko Numata³

¹Bulletin of Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center

²Hachijo Branch Office of Tokyo Metropolitan Government

³Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries

Abstract

We have developed a new system, for environmental control in greenhouses that combines a water-source heat pump that uses heat exchangers buried in the shallow ground with a small air-source heat pump. The heating system coefficient of performance, COP, was around 3.0, which means that total energy consumption and running cost could be reduced by 60 percent and 40 percent, respectively, when compared to the type of air heater commonly used in greenhouses. In the summer, air-conditioning using the water-source heat pump had the ability to lower the temperature 5 degrees Celsius at night compared to the outside temperature, and it could slow the temperature rise during the day when used in conjunction with mist cooling. These cooling effects improve the quality of sunflowers and cyclamen by promoting flowering, enlarging the flowers, and so on. In gerbera, the introduction of the heat pump increased annual yields regardless of the cultivar, and the air-conditioning had an even greater effect on improving the gerbera yield. The cost of air cooling was at most from 5 to 10 percent of the sales amount, and thus the profit and practicality with this cooling system were very high.

Keywords: water-source, heat pump, saving energy, COP, cooling

Received 31 August 2012, Accepted 5 November 2012

Bulletin of Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center, 8: 1-10, 2012

*Corresponding author: t-okazawa@tdfaff.com