

園芸施設用ヒートポンプの 普及・拡大のための課題とその改善策

—これまでの分科会活動内容のまとめ—

関山 哲雄・古在 豊樹

特定非営利活動法人 植物工場研究会

1. はじめに

特定非営利活動法人植物工場研究会（千葉県柏市）では、人工光型と太陽光型植物工場における光熱費と暖房に伴う CO₂ ガスの排出の節減には、ヒートポンプ（以下 HP と略す）の効果的な利用技術の開発が将来的に重要と考え、2013 年 4 月に「農業用ヒートポンプ分科会」を関係分野の有識者の方々に組織した。そこでは、HP に関する調査や実験の結果に関する討議や関連情報の交換などを行い、2018 年 5 月まで 49 回の分科会を開催し、その検討結果については、本誌誌面を借りて随時報告した^{17)～31)}。

施設園芸における HP の利用については、電気エネルギーの利用効率が高いこと、また、冷房や除湿も可能であることから古くから多くの識者から関心を寄せられ、実用化のための研究が行われてきた^{4)～7)}。しかし、その普及は、油炊き温風暖房機（以下、暖房機と略す）が比較的安価で簡便に使用できることからほとんど進展しなかった。そのような状況のなかで、農水省が 2013～2015 年にかけて「燃料消費量の削減」を目的として HP に関する補助事業を展開し、その結果、HP の普及率は一時急速に高まり、暖房している施設面積の 6～7%程に達した。これを契機に本格的な普及段階に入ることが期待されたが、その後は足踏み状態と思われ、このままでは今後の排 CO₂

ガス問題の展開によっては、暖房機の使用が制限されたり、夜間の適温管理が困難になることも懸念される。

そこで、施設園芸や植物工場への HP の本格的な普及に寄与することを目的として、本来園芸施設用空調機として優れた特性を有している HP の普及・拡大を妨げている諸要因をまず摘出し、それらの改善策について本誌の 2017 年 7 月から 2018 年 3 月まで連載して紹介した。

本誌では、これまで連載してきた結果のまとめと、未紹介の成果を含めて総まとめを行った。

なお、HP の性能の表示には、COP（成績係数）を使用した。COP は空気から得た熱量をその熱量を得るために消費した電気量で除した値であり、一般的に使用されている^{11),12)}。ここで対象としている「空気熱源式」HP は、どこでも使用可能なことが最大の特徴であり広く普及しているが、外気温などによって COP が大きく変化する特性があり、取り扱い方に関しては多くの課題を残している。

2. HP の普及・拡大を阻害している要因

HP は CO₂ ガス排出を軽減もしくは使用する電源によっては、ほぼ皆無にすることも可能な特性を有しているが、いまだに本格的な普及段階に入ったとは言えない。その理由を次の 4 点と考えた。

a. 暖房機に比べて HP 本体や受電施設などの初期投資の負担が大きいこと

園芸施設用の暖房機として一般的に使用されている 1 台当たりの暖房能力が 60～180 kW であるのに対し、HP の暖房能力は 3～22 kW 程度と比較的小容量という違いはあるが、暖房能力 1 kW 当たりの HP の本体価格は、暖房機の 4～5 倍高い。さらに、使用電力が一定規模以上になると受電設備が必要になるなどのことから、暖房機に比べて、初期投資の負担が大きい。実際、当分科会内部における議論においても、エネルギーの利用効率が高いことや多機能性については十分認識されているが、必要となる暖房負荷をすべて HP で担うことについては異論が強かった。

b. 初期投資の負担が大きい割には、光熱費の低減効果が期待されたほどでなく、さらに暖房が不要な期間においても基本料金を支払わなければならないこと

農水省により実施された補助事業では、園芸施設における燃油消費量の節減が目的であり、暖房機が設備され石油を消費しているケースを補助対象とした。したがって、既設の暖房機を稼働させながら HP を追加設備するいわゆる「ハイブリッド方式」であった。そのため石油消費量を節減する一方、電気代の増加を含むトータルの光熱費が、暖房機を HP に置き換えたいと意識させるほどの削減効果には至らなかったと考えられる。その一因として、HP と暖房機の双方が稼働している時の HP の負荷率（部分負荷率とも呼ばれ、HP が実際に発生している熱量を HP の最大あるいは定格発生熱量で除した値）が小さい状態での稼働時間が多くなり、HP の COP が小さい状態での稼働状態になっていることが考えられる。

c. HP では外気温が低い時や除霜が必要な状態における COP が低いこと

HP の COP は、外気温と負荷率の 2 つの要素によって影響される。HP を暖房用として使用する場合、外気温が低い時は COP が低下する。さらに、屋外機の熱交換部分が結露し氷結すると、除霜（デフロスト）するために電気エネルギーを

消費するので COP が低下する。

d. 冷房や除湿機能の利用がまだ実用化技術として十分活かされていないこと

冷房や除湿機能を利用して収量の増加や高品質化さらに生産の安定化などによって収益性を高める効果が期待されるが、HP を使用している多くの場合は暖房機能のみの使用に止まっていることにより、暖房が不要な夏期における基本料金の負担が大きい。

3. HP の普及・拡大のための改善策

以上の HP の普及・拡大を阻害としている最も大きな要因として、設備費の負担があげられている。HP 本体価格の低減については、メーカー側の努力がまず期待されるが、そのためにはある程度の普及が必要とも言われている。本稿では利用者側における改善策として次の 4 点に要約した。

改善策 1：園芸施設の保温性能を高めるなどにより最大暖房負荷を極力抑制した上で、設計外気温を高めにして HP の設置台数を減らし、設備費と基本料金を低減させる。

改善策 2：暖房時の外気温に適応して HP の稼働台数を制御して、暖房期間中の稼働 HP の負荷率を高めることで平均的な COP を高めて消費電力量を節減する。

改善策 3：改善策 1 において設計外気温を高めにして設計したことにより、場合によっては発生する低温時の補助熱源として太陽熱を蓄熱し利用する。

改善策 4：HP の設備償却費を HP の特徴である冷房（除湿）機能を積極的に活用し、収量増や生産の安定化などの効果により節減する。

4. 各改善策に関する検討結果

4-1 改善策 1：HP の設置台数を削減し初期投資の負担軽減と基本料金の節減

a. 改善の方向

園芸施設の暖房に必要な暖房機の設備容量の算

出は、日本施設園芸協会から出版されている「施設園芸・植物工場ハンドブック」など多くの資料に基づき算出されている^{11),8),9),16)}。暖房必要熱量は、園芸施設の被覆面積、保温カーテンの層数さらには施設内の設定温度や設計外気温などによって決まるが、その熱量を得るために必要な電力は、HPのCOPによって変化する。したがって、HPの設置台数を節減するためには、①園芸施設の断熱性を高めること、②HPのCOPを高めて利用することが必要となる。これまでの比較的安価な暖房機の場合には、設計外気温を実際に生じる温度よりむしろ低目に設計することが、異常な低温時に備えるためには望まれていた。HPの場合にはCOPが一般的には3程度であることから消費電力量は1/3程度に節減されるが、本体価格が高いことから、いわゆる暖房機とのハイブリッド方式が多く実用されている。その場合、HPがベース熱源になっている場合は問題ないが、HPにインバーター（気化状態のガスを加圧して冷媒を液化にするコンプレッサの電圧や周波数を調整して暖冷房能力を調整する機能があるが、その機能の詳細については各社によって異なると推察され、公表されていない）を内蔵している場合、ハウス内気温の上昇過程においては、このインバーターの機能によりHPの出力が低下するのに対し、暖房機の出力は変化しない状態が続くと、HPよりも暖房機による熱量が相対的に高まり、暖房機中心の運転状態となり、折角のHPの省エネ機能は活かされないことになると考えられること、将来的にはCO₂ガスの排出削減の問題もあることから、ここでは、設計外気温を高めにしてHPの設置台数を減らす一方、その補助分として太陽熱を蓄熱して利用する方法を考える。なお、この太陽熱利用は、異常な低温時に利用するだけでなく、全暖房期間の補助熱源として利用できる。

暖房期間のうちとくに外気温が低温となる1月と2月の外気温の発生状況を千葉県我孫子市と柏市における測定結果を事例として示した。その結果、1月と2月の60日間ほど

のうち、日最低気温が例えば-3℃以下になるのは6日程度（累積分布では10%程度）であることがわかる。設計外気温を4℃ほど高めにして、施設内温度を15℃に制御するための最大暖房負荷を算出すると、HPの設置台数をほぼ20%減とすることができ、電気の基本料金についても同様に減じることが可能になる。そこで、限られた低温発生日への対策として、本体価格が安く、基本料金にほとんど影響しない太陽熱を蓄熱し利用する方法の適用を考える。なお、この太陽熱利用は、異常な低温時に利用するだけでなく、全暖房期間の補助熱源として利用できる。

b. 詳細な説明

暖房に必要な設備容量は、最大暖房負荷を算出することによって決められる。最大暖房負荷の算出は、ハウスの大きさ（被覆面積）や保温カーテンの層数や材質とハウスの放熱係数の他、暖房設定値とハウス設置場所の外気温を決めることによって次のようにして求められる¹⁶⁾。

$$Q_g = (Q_t + Q_v + Q_s) \cdot f_w$$

Q_g ：最大暖房負荷（W）、

Q_t ：最寒時間帯の貫流伝熱負荷 = $A_g \cdot h_t (\Theta_c - \Theta_{ou})$

Q_v ：隙間換気伝熱負荷 = $A_g \cdot h_v (\Theta_c - \Theta_{ou})$

Q_s ：地表伝熱負荷 = $A_s \cdot q_s$

f_w ：風速に関する補正係数（1あるいは1.1が使用される）

A_g ：施設の被覆面積（m²）

h_t ：熱貫流係数（W・m²・℃⁻¹）

Θ_c ：暖房設定ハウス内温度（℃）

Θ_{ou} ：設計外気温（℃）

h_v ：隙間換気伝熱係数（W・m²・℃⁻¹）

A_s ：施設の床面積（m²）

q_s ：単位床面積当たりの地表伝熱量（W・m²）

また、以上の算出に際して必要となる h_t 、 h_v や f_w についても文献¹⁶⁾に参考値が例示されている。

この算出に際して使用される設計外気温には、

設置場所における冬期の外気温の極値（5年間ほどの極値）が採用されることが多い。暖房機の場合はこのようにして求められる最大暖房負荷によって、暖房機の設備容量を決定することは、施設内の温度を暖房設定温度に常時保つための必要な手立てと考える。しかし、HPの設備容量をこのようにして決定すると数年に1度発生するかどうかという低温のために、高価なHPを設備することになり、また、そのための基本料金を支払わなければならないことになる。

そこで、HP本体価格がまだ高価な現状では、HPの設置台数を制限し基本料金を節減する方法として、発生頻度が数年に1度という極温あるいはその温度に近い外気温状態に対しては、基本的には後述の暖房手段を別途考える必要があるが、低温に対する植物の生育影響や施設内の気温むら（後述）の実態なども勘案して、さらに検討する必要がある。

例えば、図1に示した千葉県我孫子市のアメダスの気温の観測値によれば、数年間の極値は -7°C となり、この値が設計外気温として使用されることになる。この -7°C の極値から -3°C の温度域の発生日数は、11～4月の暖房期間のうちの6日間ほどで、この6日間のために例えば床面積が25aの場合、定格容量6kWのHPを3台（およそ10a当たり1台）多く設備することになり、工事費を含むHPの価格が100万円/台ほどであるとすると、別途熱源を利用してHPの台数を減らし基本料金を節減することを考えることも必要

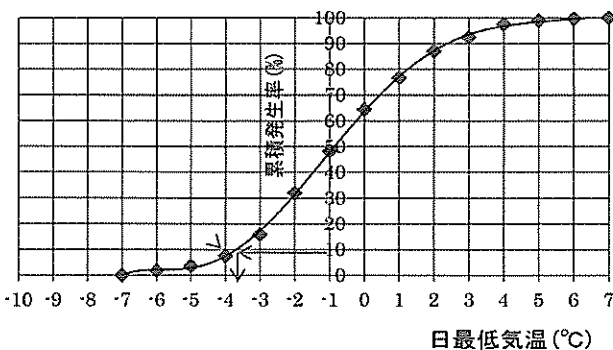


図1 厳寒期1～2月における日最低気温の累積発生率（千葉県我孫子市のアメダスデータ（2008～2012年の5年間平均））

と考える。

なお、この別途熱源には、暖房機の適用も考えられるが、ここで必要とする補完的な熱源は、最大暖房負荷の1/5～1/4程度であることもあって、後述の太陽熱を蓄熱し利用する方法を提案したい。

HPのみですべての熱源を供給する方法に対して、この補完的な熱源を併用する方法では、HPの台数と基本料金を減らす効果の他に、HPによる定格暖房能力をより発生頻度が高い温度域にシフトさせる効果も期待でき、暖房全期間のCOPの改善、すなわち消費電力量の節減効果も期待できる。

4-2 改善策2：暖房負荷に応じた制御による消費電力量の節減

a. 改善の方向

空気熱源式HPの場合、外気温と負荷率（部分負荷率とも呼ばれ、HPが実際に発生している熱量をHPの最大あるいは定格発生熱量で除した値）によってCOPが大きく変化すること、また、霜取り（デフロスト）運転が必要になるなどの欠点があり、COPを高く維持するためには、これらへの対策が必要であり、取り扱い上の重要な注意事項となる。

COPが外気温により影響されることについては、屋外機の霜取り対策による影響とともに良く知られている。負荷率については、家庭用HPなどにおいて年間の総合的なCOPを高めるために定格容量の70%ほどのCOPを高くするように設計されているようで、その詳細については公表されていない。しかし、特定の負荷率においてCOPが最も高くなり、外気温などの負荷が変化するとかなり明確に低下する傾向があることを筆者らも実測し確認している^{21,25)}。

そこで、暖房のための消費電力量の節減を図るためには、外気温の出現状況に合わせて、適した特性のHPを選択して制御することが求められる。

暖房設定値が一定であっても外気温は常に

変化する。したがって COP に影響する負荷率も変化することになる。稼働期間中の COP を高く保つためには、外気温の変動に対する負荷率の変化への対応が極めて重要となる。具体策としては、複数台の HP を使用する場合、同一の定格容量のみの HP を選択するのではなく、少なくとも 2 機種の負荷特性の HP を組み合わせて制御あるいは稼働台数を制御する方策が考えられる。

b. 詳細な説明

HP の COP に及ぼす外気温と負荷率の関係については、各製品のデータが公表されているわけではないが、図 2-1 と図 2-2 などが紹介されている¹⁴⁾。図 2-1 では冷房と暖房の双方とも同様の傾向がみられ、最大の COP が 5 前後の場合でも、外気温が変化し負荷率が 20% 程度になると

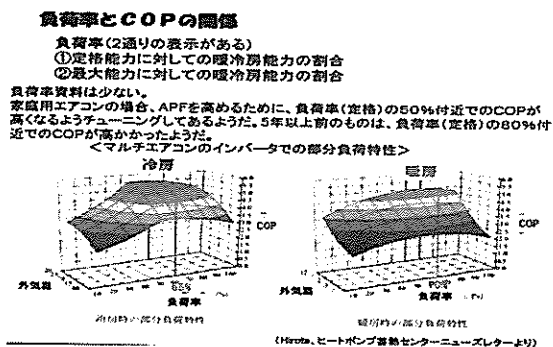


図 2-1 HP の COP に及ぼす外気温と負荷率の影響 (1)

COP は 20% 程度まで低下している。

図 2-2 は、HP の冷房状態についての制御方法に関する最近の研究によって、COP は負荷率 50% 程度まで高められているが、負荷率の低下に伴って COP が低下する傾向は改善されていない¹⁴⁾。広い範囲にわたり外気温が変化することに対応するためには、外気温の変化幅により負荷率を 2 区分し、それぞれに適応した HP を選択し制御することが効果的と考えられる。

図 3 は図 2-1 から作図したものであるが、外気温が -7°C の低温域における COP は、負荷率が 100% においても 3 以下となるが、 7°C における COP は 3.5 ~ 5 程度の範囲で変動していることから、負荷率の影響を考えた方策が重視される。

図 4 は暖房期間における 3 年間の外気温の出現状況を詳細に調べるために、1 分間隔で測定した結果である。この結果から極温近い外気温の出現状況は比較的安定し、 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 程度の範囲においてはかなりばらついて出現することがわかる。改善案 1 により、 $-3^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ を暖房対象温度とし、

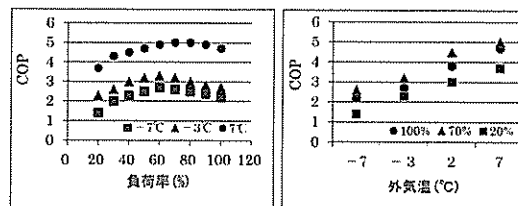


図 3 COP に及ぼす外気温と負荷率の影響 (図 2-1、暖房より作図)

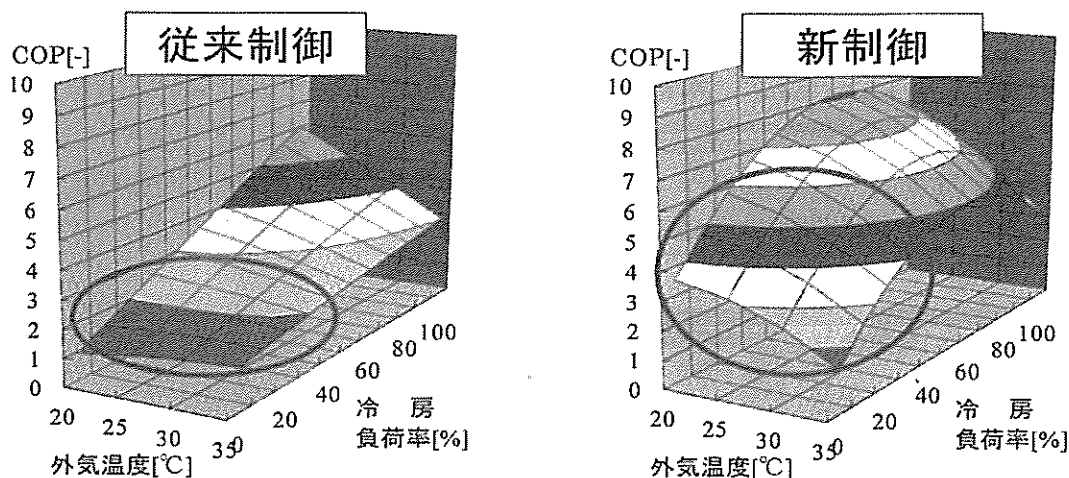


図 2-2 HP の COP に及ぼす外気温と負荷率の影響 (2)¹⁴⁾

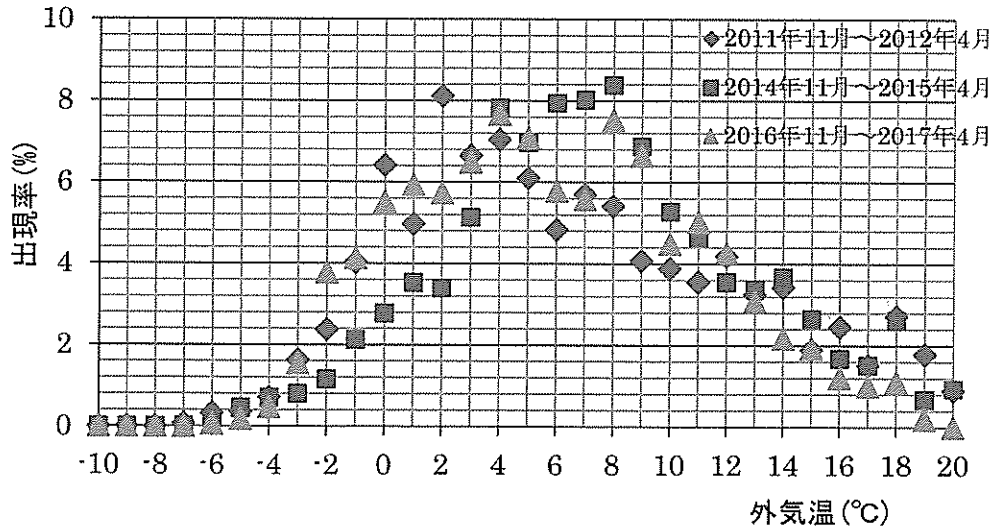


図4 暖房時間帯における外気温の出現状況（千葉県柏市）

表1 ヒートポンプの利用法による消費電力量の節減効果

	暖房全期間の 暖房 (deg.h)	1. との比	2. との比
1. 油炊き暖房機など燃焼式暖房機の場合	26,590	1	
2. ヒートポンプ利用（一般的な使い方）	13,630	0.51	1
3. ヒートポンプ利用1 （設計外気温を最低気温より4℃高めに して台数を節減して設置、別途補助熱源必要）	9,920	0.37	0.73
4. ヒートポンプ利用2 （設計外気温を最低気温より4℃高めに して台数を節減して設置し、外気温に 適応した3段階切り替え制御採用、 利用1と同様の別途補助熱源必要）	7,590	0.29	0.56

暖房期間の全暖房 deg.h の算出：設定温度 15℃、外気温データ 2016 年 11 月～2017 年 4 月（各月下旬の 10 日間値を 3 倍している）

HP の性能を 2 区分する方法としては、外気温が -3°C から 5°C の温度範囲と 5°C から 15°C に分けることが考えられる。なお、 -3°C 以下では、太陽熱蓄熱・利用システムからの熱量を併用し、外気温 12°C 以上では実質的には地表伝熱量によって賄うことが可能となり、HP の負荷にはならないと考えられる²³⁾。

以上、改善策 1 と改善策 2 の効果を推定結果ではあるが、表 1 に示した。

4-3 改善策 3：HP と太陽熱の蓄熱・利用技術の組み合わせ方式とする

前述した改善策 1 により、設備費と基本料金の節減が可能となるほかに、HP の定格熱出力が発生頻度のより高い暖房負荷に近づくことにより、

HP が稼働するときの負荷率が高まり、その結果、COP が改善されて消費電力量の節減効果が期待できる。

一方、 4°C ほどハウス内気温を高めるための補助熱源として太陽熱の蓄熱、利用について検討している。太陽熱を蓄熱し利用することについては、1940 年代のオイルショックの当時から関心が寄せられいくつかの方式が提案されてきたが、普及率は 0.1% 程度である¹⁶⁾。その主な理由は、太陽熱を集熱し放熱する場所として専ら栽培空間での利用が考えられていたためと思われる。集熱器と放熱器を兼用できるメリットはあったが、栽培空間としての制約から利用可能な温度域は $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ほどのレベルであった。暖房設定温度を 15°C とすると、 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 程度の温度幅の集熱、また放

熱となり、集熱効率や放熱効率が低かった。当時の改善策として、熱交換部の熱交換面積を極力広くして伝熱量を増やす考えであったことから比較的大きな集熱器や放熱装置であった。

a. 改善の方向

2016年、筆者らはハウス上部構造材の温度がハウス内で最も高温になることを確認した²⁶⁾。この知見により冬期における太陽熱の蓄熱可能日数や集熱時間帯を大幅に増加できる見通しを得た。すなわち、千葉県柏市の冬期では、1月中旬から3月上旬までの期間におけるハウス上部構造材の温度とその周辺の気温は40～50℃の温度を示し、有用な補助熱源として利用できる見通しを得た。そこで、ハウス上部空間において集熱可能な集熱器の条件として、①集熱器を梁の上などにセットしても日射透過率を低下させないように小型で軽量であること、②日射の変化に応じて集熱できるように温度応答性を良くすることなどの条件が挙げられ、ほぼ適切な集熱器あるいは放熱器としての利用に近い将来可能となる³⁰⁾。

集熱器（試作品）の集熱特性および放熱特性を栽培施設内において実施中であり、これまでの試験結果（2月～3月）では、集熱のための水の循環に消費する消費電力量に対する集熱量は、3～10倍であり、ハウス内への入射日射量からの集熱効率は集熱器が受けた日射量の30～70%を変換し集熱している。放熱に際しては、作物の生育促進効果を高めるための局所加温ならびにハウス内の気温

むらの改善を効果的に行うために、簡易なプラスチックパイプを利用して温湯を循環させる放射暖房方式としての利用が考えられる。

b. 詳細な説明

図5は千葉県柏市の植物工場研究会の太陽光型植物工場において、トマトの長段取り栽培試験中において測定した結果である。1～2月の厳寒期においてもハウス上部の梁やその周辺の気温は、晴天日でハウス内の透過日射束密度が500～600 ($W \cdot m^{-2}$)程度あれば、気温は45～50℃ほどに上昇する。なお、12月の日射束密度は年間で最低となるが、日最低気温は比較的高く、暖房期間中で最も太陽熱を蓄熱し利用が求められるのは、1～2月である。当地の場合、梁の周辺の気温が30℃以下となって集熱が困難と思われたのは2日間であった。

表3は栽培中のハウス内において図6に示すように、施設の梁の上に集熱器を設置して行った太陽熱の集熱試験結果である。

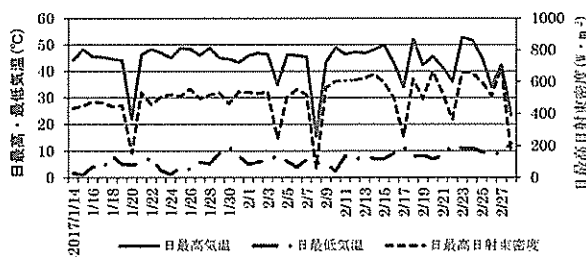


図5 冬期間の梁周辺における日最高日射束密度と梁周辺の日最高・最低気温 (トマト栽培、床面積 2,430㎡)

表2 開発中の太陽熱の蓄熱、利用システムの改造点とその効果

a. 集熱場所	栽培空間 (過去) (昼間 20～30℃)	ハウス上部空間 (現在) (昼間 20～50℃)	集熱量、効率の大幅改善、 実用化地域の拡大
b. 集熱器と放熱器	・プラスチックホース ・プラスチックフィルム (熱交換面積の拡大による熱交換量の増加を意図) ・集熱器と放熱器兼用	・アルミ板とプラスチック 包装材の組み合わせによる熱交換性能の改善 (応答性、小型化、軽量化) ・集熱器と放熱器を分け、それぞれの性能改善	熱交換性能の改善により、集熱量の増大、が可能となり、小型・軽量化により梁の上などの設置が可能
c. 蓄熱材	水 + (潜熱蓄熱材 1種)	水 + (潜熱蓄熱材) 融点が異なる 2種の組み合わせを検討中	2つの温度帯に分けて集熱し、集熱量の増大を検討中

表3 試作集熱器の集熱効率

集熱日時	集熱量 (kWh)	集熱効率 (対電力量)	集熱効率 (対日射量)
2018/1/21 10時～15時	4.8	6.0	0.49
2018/1/30 10時～15時	4.3	7.1	0.50
2018/2/15 10時～15時	3.9	3.6	0.31
2018/3/14 8時～14時	5.1	3.6	0.43
2018/3/15 8時～14時	5.5	3.9	0.58
#2018/2/7 12:51～13:00	0.36	10.3	0.65

- ・集熱器の総面積：1/21～2/15 6.4 m² 3/14～15 4.8 m²
- ・集熱器の設置場所： 梁の上 北側通路上梁の上
- ・集熱量 (kWh) = 集熱器による温度上昇値 (°C) × 流量 (L/h) × 集熱時間 (h) / 860
- ・集熱効率 (対消費電力量) = 集熱量 / (集熱時間における消費電力量)
- ・集熱効率 (対日射量) = 集熱量 / (集熱時間におけるハウス内日射量の積算値)
- ・#2018年2月7日のデータは、10分間のデータで、集熱効率 (対電力量) は5.5～16.4を示し一部を示した。

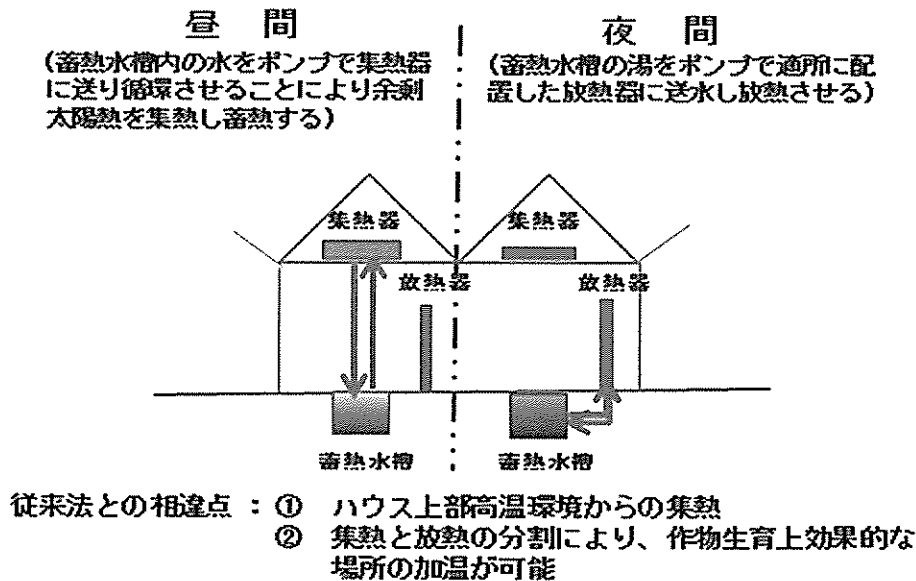


図6 太陽熱の蓄熱、利用システムの概要図

4-4 改善策4：HPの多機能性の活用による収益性の改善

a. 改善の方向

これまでの改善策は設備費やランニングコストなどの節減に関する改善策であり、ここでは、暖房機ではできない冷房や除湿機能を活用して収量増や可販率の改善などにより、HPの投資の負担軽減を図るものであり、関連する文献調査結果の一部について紹介する^{13,22)}。

(1) 「オールHP」設備を導入する場合の償却期間の短縮について

多目的利用を考慮して全暖房負荷をまかなう「オールHP」設備を導入する場合の設備償却期

間の短縮について、さまざまな条件を変えた試算を行い、「オールHP」設備が普及する条件および普及させるための目標として提案された²²⁾。

設備償却期間の算出には、暖房容量ならびにHPの設置費や運転経費の算定が必要であり、一般的な数値を使用している。償却期間は短いほど投資効果が高いことになり農業関係では、収益性が比格的低いこともあって一般的には10年を目安にされることが多い。

「オールHP」設備として、設備償却期間を5年としたかなり厳しい条件においてトマトの収量や可販率をどの程度まで上昇させれば償却できるかについて試算した²²⁾。

その結果、COPは4、改善策1で述べた設計外気温の取り方によってHPの設置費と運転経費が変化するが、必要増収量は、10a当たり3.6t～4.7tと算出された。

(2) 夜間冷房によるトマト可販率の改善

最近、トマトの夏期夜間冷房により可販率が倍増したとの成果が紹介されている¹³⁾。また、夜間冷房に際しての節電対策として、日射反射率が高く断熱性に優れた床面シートを選択と、日没時前後における床面への散水と換気による冷却により、上向きの地表伝熱量を抑制する方法を併用する効果についての報告もある²³⁾。

以上の技術の組み合わせにより、新たな空調システムの実用化が進むと考えている。

4-5 残された今後の課題

a. 気温むら対策

HPの設置は、屋外機と屋内機は、主として冷媒管工事費の関係から近設させる必要があり、南北棟の場合、一般的には妻面となる南側と北側に設置される。ハウスの奥行きが40～50mになると、HPからの空気の流れが中央部まで届かない、あるいは垂直方向の気流が得られないために、大規模ハウスにおいては特に温風暖房の場合、気温むら対策として気流に配慮する必要がある。図7は循環扇を用いている事例であるが、夜間暖房時には6～7℃程度の気温むらが生じる。

その他、HPの設置場所との関係からハウス中央部が低温となる傾向があることから、内外気温

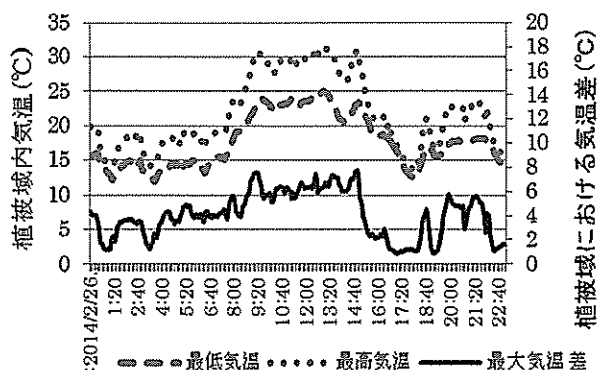


図7 植被域における最高・最低気温とその気温差の測定例（トマト栽培、床面積2,430㎡HPで暖房）

差を求める際のハウス内気温として中央部気温を取ると、内外気温差を小さくしている可能性が考えられる。

b. 施設園芸用インバーター開発の必要性と性能の実証

家庭用あるいは業務用の空気熱源式HPのインバーターの特性は公表されていないが、数種のHPを実用した結果、1棟の内に多数のHPを使用する場合、考えなければならないこととして次の2点がある。

- 負荷率が50%以下での稼働を極力避けるために、軽負荷時には一部HPの電源を切るようにして稼働中のHPの軽負荷運転を避けること。
- 電源入りの際、できるだけ早く温風が吐出されるように突入電流を大きくしていると思われるが、野菜生産には不要である。

現在の家庭用、業務用HPのインバーターは当然のことながら人間を対象とした特性にされているので、野菜生産のためには無用と思われる特性が多く見られる。野菜生産への効果の側面からその特性の必要性について検討する必要がある、将来的には野菜生産のためのインバーターの特性を明確にして野菜生産用のインバーターを搭載した施設園芸用HPの商品化が求められる。

〔謝辞〕

2013年4月、「農業用HP分科会」を設置以来、長年にわたり参加され有意義な討議を重ねた有識者の皆様に深謝する。また、実験の実施に当たり、実験の場を提供された当植物工場研究会の構成企業のイワタニアグリグリーン(株)、(株)いけうち、大仙(株)、住友電気工業(株)および旧みらい(株)の各社、栽培管理などの担当者各位ならびに太陽熱の集熱・放熱器の試作、開発の共同研究の機会を与えられた日鐵住金建材(株)と集熱・放熱器の改良、設計に当たった同社の由良茂男氏に感謝する。

<引用文献>

- (1) 三原義秋編(1980): 温室設計の基礎と実際, 養賢堂,

- 182-204.
- (2) 岡野利明・山本雄二郎・青木清 (1980) : 水蓄熱式太陽熱暖房温室に関する研究, 電中研報告, 479012, 21p.
- (3) 岡野利明・山本雄二郎・青木清 (1981) : 水蓄熱式太陽熱暖房温室に関する研究, 電中研報告, 480013, 18p.
- (4) 林真紀夫・古在豊樹・中村潤・渡部一郎 (1983) : 温室におけるヒートポンプ利用(1)暖房システム, 農業気象, 379-387.
- (5) 山本雄二郎・小酒井一嘉他1名 (1985) : 空気熱源ヒートポンプによる温室暖房試験, 電力中央研究所報告, 485009, 20p.
- (6) 古在豊樹・権在永他2名 (1985) : 温室の冷房負荷に関する研究(1)夏期夜間の負荷特性, 農業気象, 41-2, 121-130.
- (7) 古在豊樹・権在永他4名 (1986) : 温室の冷房負荷に関する研究(2)夜間の冷房負荷軽減について, 農業気象, 41-4, 351-357.
- (8) 日本施設園芸協会編 (1987) : 新訂施設園芸ハンドブック, 日本農民新聞社, 178-238.
- (9) 古在豊樹 (1992) : 新施設園芸学, 60-63.
- (10) 高倉直 (2003) : 植物の生長と佳境調節—新しい視点と環境調節の課題, 農文協, 194P.
- (11) 古在豊樹編 (2009) : 太陽光型植物工場, オーム社, 57-76.
- (12) 古在豊樹 (2012) : 人工光型植物工場, オーム社, 178-182.
- (13) 大石直紀・守谷栄樹・木村真浩 (2013) : ヒートポンプによる夜間環境制御の効率化を目指した温室の冷暖房負荷削減システムの開発, 農業電化, 農業電化協会, 66-6, 14-18.
- (14) NEDO (2014) : 次世代型ビル用マルチヒートポンプシステムの革新的省エネ制御の研究開発, 研究評価委員会発表資料 (公開), III -62.
- (15) 関山哲雄 (2014) : 人工光型植物工場における電力料金の節減, 電力使用量の節減と料金制度の活用, 日本生物環境工学会, 2014年度東京大会講演要旨, 292-293.
- (16) 日本施設園芸協会編 (2015) : 施設園芸・植物工場ハンドブック, 農山漁村文化協会, 123-162.
以下は当分科会の成果として既報告の文献である。
- (17) 黒川和哉・糠谷綱希・伊藤辰・関山哲雄 (2013) : 園芸施設におけるヒートポンプ設置マニュアルの策定を目指して (第1報), 農業電化, 農業電化協会, 66-7, 8-13.
- (18) 桃原萌子・小泉和真・関山哲雄 (2014) : 園芸施設内における環境因子の3次元分布の試み, 農業電化, 農業電化協会, 67-2, 13-18.
- (19) 伊藤辰・永津勉・堤太郎・嶋村茂治・山本和彦・関山哲雄 (2014) : 人工光型植物工場における電力需要のシフトによる電気料金の低減について, 農業電化, 農業電化協会, 67-3, 16-20.
- (20) 関山哲雄・玉城鉄・三澤俊哉 (2014) : 園芸施設におけるヒートポンプ設置マニュアルの策における
- (21) 関山哲雄・古在豊樹 (2015) : 園芸施設の空調にヒートポンプを使用する場合のコスト削減に係る課題 (中間報告), 農業電化, 農業電化協会, 68-2, 12-16.
- (22) 馬場勝 (2015) : ハウスにオールヒートポンプ設備を導入する場合の償却期間短縮, 農業電化, 農業電化協会, 68-4, 8-13.
- (23) 関山哲雄・玉城鉄 (2015) : 園芸施設における地表伝熱の特性と床面被覆材の評価法, 農業電化, 農業電化協会, 68-7, 6-10.
- (24) 玉城鉄・関山哲雄 (2016) : ハウス植被域における気温むらとトマト生育のばらつき状況について, 農業電化, 農業電化協会, 69-2, 4-9.
- (25) 関山哲雄・古在豊樹 (2016) : 園芸施設の空調にヒートポンプを使用する場合のコスト削減に係る課題 (第2報), 農業電化, 農業電化協会, 69-3, 6-10.
- (26) 古在豊樹・関山哲雄 (2016) : 園芸施設内上部空間の昼間気温が下部空間の気温より高い原因について, 農業電化, 農業電化協会, 69-4, 16-20.
- (27) 関山哲雄・古在豊樹 (2017) : 園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策, 改善策1初期投資額節減のためのヒートポンプ台数の削減, 農業電化, 農業電化協会, 70-4, 6-12.
- (28) 関山哲雄・古在豊樹 (2017) : 園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策, 改善策2ヒートポンプの電力利用効率を高める制御法, 農業電化, 農業電化協会, 70-5, 8-12.
- (29) 関山哲雄・古在豊樹・玉城鉄 (2017) : 園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策, 改善策3余剰太陽熱を蓄熱し暖房補助熱源として活用 (その1), 農業電化, 農業電化協会, 70-7, 6-12.
- (30) 由良茂男・玉城鉄・関山哲雄 (2018) : 園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策, 改善策3余剰太陽熱を蓄熱し暖房補助熱源として活用 (その2), 農業電化, 農業電化協会, 71-1, 16-20.
- (31) 後藤文之 (2018) : 園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策, 改善策4ヒートポンプの多機能性を活用—ヒートポンプの多機能性を活かした栽培事例紹介—, 農業電化, 農業電化協会, 71-2, 6-16.