

ヒートポンプと重油式暖房機による温室冷暖房用ハイブリッドシステムの開発とバラ栽培への応用

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-08-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐藤, 展之 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/17478

2014 年度 農学研究科

博士学位請求論文（要旨）

ヒートポンプと重油式暖房機による温室冷暖房用ハイブリッドシステムの開発と
バラ栽培への応用

Development of Hybrid Greenhouse Heating and Cooling System by an Air-to-air Heat Pump and its Application to Rose Production

学位請求者 佐藤展之

内容の要旨

2012 年度の日本における野菜、花き、果樹の園芸作物の産出額は、農業総産出額 8.5 兆円の 38% を占めており、特に施設園芸は、環境調節により効率よく高品質の作物を安定的に栽培できることから、高収益が期待でき今後も発展が期待される。しかし、経営費に占める暖房費の割合が大きく、それを抑制することが重要である。暖房設備の 95% は石油を利用しており大きく依存していることから脱石油化を図ることは重要な課題の一つである。

本研究では、これまで検討されてこなかった、ヒートポンプと石油式温風暖房で構成される「ハイブリッドシステム」を開発・提唱し、一般的に 18°C 以上の高温で栽培管理するバラを対象作物にして、冷暖房費・生産量および品質への影響を 1 年間の長期にわたり検証し、考察する研究を行った。

ハイブリッドシステムは石油燃焼式暖房機と、電気式ヒートポンプと制御盤から構成され、運転費が安価なヒートポンプを優先的に稼働し、暖房負荷が増加した場合には石油式暖房機が稼働するように設計した。ヒートポンプは、石油燃焼式暖房機に比較すると風量が少ないという問題があることから、温室内における循環扇の設置について検討し、温室内で気流を起こす配置により、風速および気温が均一化することを明らかにした。

ほぼ同様の保温性（暖房負荷係数 $3.7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ）のバラ栽培温室 2 室において、暖房能力 49.2 W m^{-2} のヒートポンプと、暖房能力 199.4 W m^{-2} の重油式温風暖房機を

併用したハイブリッドシステムを設置した区、および、対照実験として慣行の重油燃焼式温風暖房機（暖房能力 133.4 W m^{-2} ）による区における、年間の冷暖房費について実測比較した。その結果、暖房温度 18°C 設定における年間 A 重油使用量は、ハイブリッド区では 12.61 L m^{-2} であり、対照区 33.49 L m^{-2} の約 38% であった。ハイブリッド区の年間消費電力量は 14.91 MJ m^{-2} で、対照区のそれは 1.13 MJ m^{-2} であった。夏季（8、9 月）のハイブリッド区では夜間冷房を行ったため、夜間の平均気温は約 2.2°C 低下し、夜間相対湿度も約 7% 低下した。総合的に、対照区の冬季の暖房用投入エネルギー量は 81.62 MJ m^{-2} であったのに対し、ハイブリッド区の冷暖房用投入エネルギーは 43.77 MJ m^{-2} で約 46% 削減できた。ヒートポンプ消費電力を、暖房定格条件下の COP（成績係数 Coefficient Of Performance）3.79 を用いて熱エネルギーに変換して比較すると、ハイブリッド区が 78.19 MJ m^{-2} であり、対照区（ 81.62 MJ m^{-2} ）よりも小さく、ヒートポンプは定格以上の能力を発揮していた。さらに実験期間中、両区におけるバラ栽培温室内で費やした年間冷暖房用の電力料金および重油料金を、2009~2010 年の電気料金、A 重油実勢価格 65.8 円 L^{-1} で比較した。その結果年間の冷暖房費は、対照区の 2162 円 m^{-2} に比較して、ハイブリッド区では夏季の夜間冷房を行ったことで冷房経費は増加するにも関わらず、1645 円 m^{-2} と約 24% の暖房費削減に成功した。

次にバラ栽培実証実験として、ハイブリッドシステムによる冬季暖房と夏季夜間冷房を組み合わせさせた環境制御

と、慣行の冬季暖房のみとを比較し、バラの収量、品質、販売価格、および冷暖房経費など経営に及ぼす影響を2009年6月から2010年5月までの1年間で検討した。その際6~7月を夜間冷房開始前期間、8~9月を夜間冷房期間、10~5月までを暖房期間とし、調査した。夜間冷房開始前期間、夜間冷房期間、暖房期間のいずれの期間においても、収穫本数は両区で統計的に有意な差は見られなかったが、夜間冷房期間における切花総重量は、ハイブリッド区が1株あたり139.2gと、対照区の91.0gと比較して有意な差が見られた。また年間の切花総重量は、ハイブリッド区712.7g、対照区で643.2gとハイブリッド区で有意に大きかった。切花の階級別の収穫本数は、夜間冷房期間は、対照区と比較してハイブリッド区で上位階級の収穫本数が多く、60cm以上の上位3階級ではハイブリッド区が17.6本 m^2 と、対照区の9.1本 m^2 の約2倍の本数であった。また、茎が細いなどの規格外品の発生本数は、対照区で多かった。上記データを考慮して販売価格のシミュレーションを行った結果、年間の生産額ではハイブリッド区が5141円 m^2 であり、対照区4726円 m^2 より415円 m^2 粗収益が増加した。その増加の90%が夜間冷房期間であり、ヒートポンプによる夜間冷房の効果が高かった。この実験の結果として、バラ栽培におけるヒートポンプの導入は、年間の冷暖房費が24%削減できるだけでなく、夏季の夜間冷房によるバラの収量・品質向上効果があることを実証し、年間の販売価格が約9%増加するシミュレーション結果を得た。これら結果を総合すると、2009~2010年の電気料金と同一であれば、A重油価格が32円 L^{-1} 以上という条件で、ヒートポンプの導入は耐用年数内で原価償却できることが分かった。2014年の時点で、実際のA重油価格はその倍以上であることを考慮すると、ハイブリッドシステムの導入は、経営に大きな利点をもたらすことを明らかにした。

本実験条件下におけるバラの生育に与える影響を検討するために、夏季夜間冷房が、温室の温度・湿度環境に及ぼす影響、およびバラ養液栽培における温室内の水分動態と、バラの蒸散量に及ぼす影響について検討した。ヒートポンプの定格冷房能力は、34.9W m^2 相当で、実験に用いた温室の表面積は634 m^2 、容積は1410 m^3 で、カーテン内部の容積は936 m^3 であった。ヒートポンプは、夜間から翌朝まで(19:00~7:00)冷房運転した。結果として夜間冷房により、気温、相対湿度、絶対湿度は、対照区と比較して低く、飽差は高い値で推移した。夜間

のバラのみかけの蒸発散量と飽差とは、直線回帰で表すことができ、飽差が大きいとみかけの蒸発散量が増加した。夜間冷房中の温室内の絶対湿度の変化から求めた除湿量の平均値は10.6L、外気から流入したと推測される平均水分量は15.4Lであった。ヒートポンプによる除湿量から、これらの水分量を除いた値の平均値90.9Lを、水分収支法により求めたバラの蒸発散量とした。同時に10株のバラを用いて、重量法により測定した夜間冷房中のみかけの蒸発散量は平均77.2Lであり、水分収支法により求めた蒸発散量と1日当たり10.4~20.1Lの差があった。重量法によるみかけの蒸発散量は、10株の実測値から1010株の値を推測する時の誤差と思われるが、両者の差は日中のみかけの蒸発散量より求めた変動係数内の範囲内であった。これらのことから、夏季夜間冷房により、バラの夜間の蒸発散量は増加し、除湿量の約76~80%に相当すると結論した。夏季の夜間の温室内は高湿度状態となり、バラの主要病害であるうどんこ病などが発生しやすい環境となる。前述した、ハイブリッド区における夏季のバラの収穫本数の増加などは、この実験結果が示したように、温度低下効果と合わせて、湿度抑制により導かれた可能性も充分考えられる。また、高湿度はバラの日持ち性を低下させることから、本研究は品質向上にさらに貢献すると考えられる。

さらに、本システムへの再生可能エネルギー利用の可能性について、太陽光発電を統合した。12月の厳寒期においては、日中でも気温が低いためヒートポンプによる暖房が稼動し、太陽光発電の電力が直接利用できた。結果として、冬季は発電量に対してハイブリッドシステムの消費電力が大きく、夏季はその逆となり、季節による変動から太陽光発電による電力を直接ハイブリッドシステムで使用することは困難であったが、今後の検討課題として太陽光発電の売電、二次電池の利用という対策が2点考えられることが提案できることを示した。

以上のことから、本研究が推奨する、ヒートポンプを核としたハイブリッドシステムにより、慣行栽培法に比べ大幅に冷暖房費が削減できることを例証した。さらにバラの周年栽培の実証実験から、従来の施設園芸は暖房機による温度制御だけであったが、夜間冷房、冷房除湿が新たに可能となるハイブリッドシステムは、品質が悪化する夏季におけるバラの品質向上・収量増加をもたらした。冬季の暖房費削減の目的で導入したヒートポンプが、夏季のバラの品質向上にも有効に利用できるため、ハイブリッドシステムは年間を通して有効に利用できる。

またバラだけでなく他の作物種にも充分適用可能であることから、施設園芸にとっては革新的な技術であると考えられる。さらにヒートポンプは、太陽光発電などの再生可能エネルギーを導入すれば、消費する電力分を間接的にまかなうこともできることも示し、将来的には脱石油化を進めることで新たな施設園芸の展開が可能であると考えられる。

今後、懸念されている石油価格高騰を考慮すると、施設園芸における作物栽培のための安定した環境を維持するための制御方法として、このハイブリッドシステムは必要不可欠な技術になると考えられる。