

# 厳寒期でも安定した温室暖房が可能な 地下水熱源ヒートポンプ

## 空気熱源および地中熱源ヒートポンプの弱点を克服

国立研究開発法人 農研機構 農村工学研究部門 資源利用研究領域 地域資源利用・管理グループ グループ長 石井雅久

農林水産業で消費される主なエネルギー源には、重油、灯油、軽油、ガソリン、電力があるが、このなかで最も多く消費されているのは、漁船の内燃機関、施設園芸の燃焼式暖房機、製材所の木材乾燥機などで使われるA重油である。国内には37,907haの園芸用施設があり、そのなかで16,676haの施設に加温設備が設置されているが、そのうち、89%はA重油や灯油を燃料とする燃焼式暖房機である。農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」では、施設園芸から排出されるCO<sub>2</sub>の削減目標を「2030年までに年間155万t」、そして「2050年までに化石燃料を使用しない施設園芸への完全移行をめざす」としており、暖房由来のCO<sub>2</sub>排出量削減は、施設園芸を持続するうえで喫緊の課題である。

そこで、今号では、施設園芸の脱炭素化に資する技術として地下水熱源ヒートポンプを紹介する。

### 化石燃料燃焼式暖房の代替技術

化石燃料燃焼式暖房を代替する技術として、バイオマス燃料とする暖房やヒートポンプによる暖房がある。バイオマスを燃焼しても、植物が光合成によって大気から固定したCO<sub>2</sub>が排出されることになるので、大気中のCO<sub>2</sub>は差し引きゼロ（カーボンニュートラル）ということになる。しかし、バイオマス燃料には①単位熱量当たりの価格がA重油よりも高い場合がある②供給地と需要地が離れている場合がある③適正な価格で安定供給されるサプライチェーンが未成熟なことなどの問題があり、そ

の普及が進んでいない。

一方、ヒートポンプの熱源は、大気、水、地中などの熱エネルギーであり、農業地域にはこれらの未利用熱が大量に存在する。また、これらの未利用熱は、再生可能エネルギーでもある。したがって、施設園芸の脱炭素化を進めるうえで、燃焼式暖房機からヒートポンプへ代替することが最も有望であり、「みどりの食料システム戦略」のなかでヒートポンプは重要な技術として位置づけられている。

### ヒートポンプの仕組み

暖房運転時のヒートポンプの仕組みを図1左に示した。ヒートポンプの主な構成機器は、①凝縮器（コンデンサー）②蒸発器（エバポレーター）③圧縮機（コンプレッサー）④膨張弁である。ヒートポンプの主要機器の間での熱移動（図中の黒線の矢印は冷媒の流れの方向）は、冷媒の循環によって行われる。冷媒は、圧縮すると液化し、膨張させると気化する特性があり、主にフロン類が用いられている。圧縮機の力で冷媒が圧縮されると、凝縮器のなかで冷媒は気体から液体へと相変化する。気体が液体へと相変化すると、高温の凝縮熱が発生する。その後、液体となった冷媒は膨張弁で減圧され、蒸発器では冷媒が液体から気体へと相変化するが、冷媒が気化（蒸発）する際に蒸発器で気化熱が生じ、その周辺から吸熱する。このように、低温側から高温側に熱を汲み上げる装置であることから、ヒートポンプ（熱ポンプ）と呼ばれている。

また、ヒートポンプの特徴として、図1右のように冷媒の流れを逆にすると、冷房・除湿運転に切り替えることができる。近年、温室の暑熱対策が求められているが、ヒートポンプによる昼間の冷房は日射の影響が大きいので経済的に難しいが、夜間であれば日射の影響がないので、冷房・除湿利用が期待できる。

### 施設園芸にヒートポンプを導入するための課題

ヒートポンプの採熱方式には空気熱源と水熱源があるが、その主流は空気熱源方式である。空気熱源ヒートポ

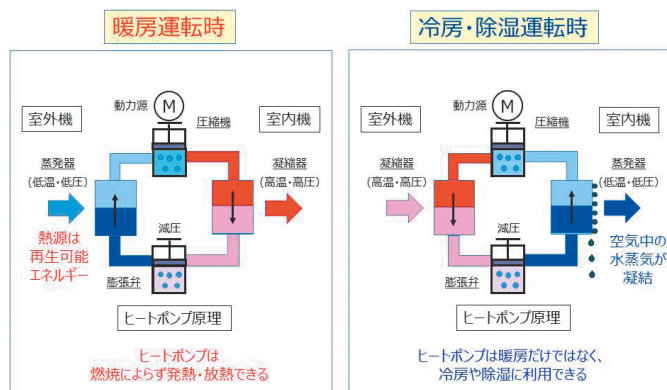


図1 ヒートポンプの仕組み（暖房、冷房・除湿）

ンプの熱源である空気は、室外に設置した熱交換器の周囲に大量に存在するという長所があるものの、外気温が4～5℃以下になると空气中に含まれる水蒸



写真1 空気熱源ヒートポンプ熱交換器へ付着した霜

気が熱交換器に霜として凝結しやすくなるという短所もある（写真1）。室外の熱交換器に霜が付着すると、熱交換器への空気の流れが阻害されるので、ヒートポンプは除霜運転（デフロスト）をして熱交換器に付着した霜を解かすが、この間は暖房運転が停止する。特に、温室の暖房負荷は外気温が低下する深夜から明け方にかけて最大となるため、外気温の状況により空気熱源ヒートポンプは設計どおりの暖房性能が得られにくいことがある。

一方、水熱源方式のヒートポンプは、地中、地下水、農業用水、河川水、雑排水などが熱源となる。地中に採熱管を埋設して採熱する、あるいは地下水を汲み上げて熱交換器を介して採熱する方式も、地中熱源ヒートポンプである。特に、地中の温度は年間を通して一定であり、冬は外気温よりも高く、夏は外気温よりも低くなるため、良質な熱源となる。しかし、地中熱源ヒートポンプは、地中や地下水から安定的に採熱できるという長所があるものの、熱交換器を埋設・設置する工事費用が高いという短所もある。

## 厳寒な条件でも安定稼働する 地下水熱源ヒートポンプ

空気熱源ヒートポンプの除霜運転と地中熱源ヒートポンプの“コスト高”という弱点を克服するため、施設園芸用の新たな地下水熱源ヒートポンプを開発した。このヒートポンプは、既存の地下水を熱源とするヒートポンプと似ているが、①室外機②室内機③貯水タンクに浸水された熱交換器で構成され、既存のものよりも設備・構造

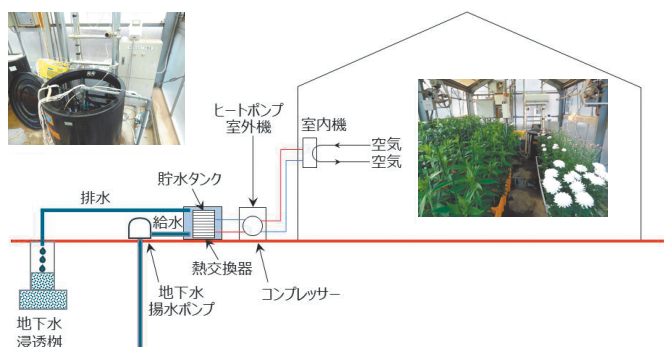


図2 新開発の地下水熱源ヒートポンプのシステム構成

を簡略化している（図2）。熱交換器を設置した貯水タンクでは、貯水した地下水の温度が設定温度（10℃など）よりも低くなると、地下水揚水ポンプを稼働させて給水し、設定温度になると揚水ポンプを停止させるようにした。これにより、有限である地下水を過剰に汲み上げないようにして熱交換器用タンクの水温を制御し、熱交換した後の地下水は浸透槽から地中に戻すようにしている。

2020年2月7日8時～2月9日8時にかけて行った稼働試験では、外気の日最低気温は8日の明け方で-1.4℃、9日の明け方で-2.0℃であったが、地下水熱源ヒートポンプはデフロストのように暖房機能が停止するようなことはなく、外気が氷点下であっても室内気温の変動が小さい（図3上）。ヒートポンプのエネルギー消費効率を表す指標として成績係数（Coefficient Of Performance：COP）があるが、地下水熱源ヒートポンプは、外気温が氷点下でもCOP 5.0を上回る結果が得られている（図3下）。これは1kWの電力エネルギーから5倍の5kWの熱エネルギーが得られたことを示している。



今号では、施設園芸の脱炭素化に資する技術として、農研機構が施設園芸用の新たなヒートポンプの研究開発を進めていることを紹介した。現在、農林水産省委託プロジェクト研究「脱炭素型農業実現のためのパイロット研究プロジェクト（JPJ009819）」において、国内各地でヒートポンプの市販化を想定した現地実証試験を進めているが、これは別の機会に紹介することとしたい。誌面の関係から省略した点も少なくない。ご意見やご批判をいただければ幸いです。

【監修：（公社）農林水産・食品産業技術振興協会】

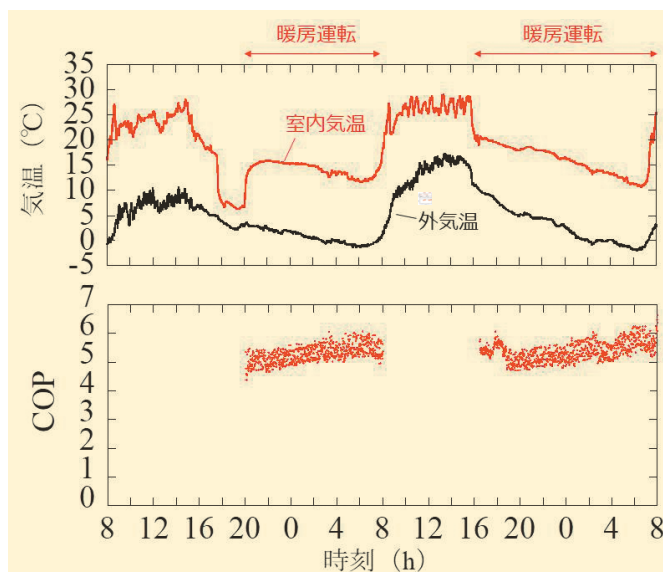


図3 地下水熱源ヒートポンプ稼働時の温室内外の気温(上)と成績係数(COP)(下)

COP 5.0を上回る結果が得られたが、これは1kWの電力エネルギーから5倍の5kW以上の熱エネルギーを得ることができるヒートポンプであることを示している