

農業用水路に設置したシート状熱交換器によるヒートポンプ暖房に関する実証試験 Study of heat pump heating operation using a heat exchanger installed in an irrigation canal

○三木昂史*・後藤眞宏*・土屋遼太*・大橋雄太*・石井雅久*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, TSUCHIYA Ryota, OHASHI Yuta and ISHI Masahisa

1. 序論

筆者らはこれまで、水路に熱交換器を設置すると、熱交換器が完全水没していれば、流水中では地中や静水中よりも効率よく熱利用できること¹⁾²⁾を室内試験により明らかにしてきた。それにより、農業用水を熱源にすれば、省エネルギーで熱利用できることを示した。これまでの研究では、農業用水路を模擬した室内試験の評価に留まっており、実際の農業用水路に熱交換器を設置して熱需要先へ熱供給する実証ができていない。本稿では、農業用水路に熱交換器を水路床に鉛直設置し、水路近くの温室にヒートポンプ（以下、HP）システムを用いて熱供給した結果を報告する。

2. 那須野ヶ原地区における実証試験

栃木県那須塩原市那須野ヶ原地区の横林支線用水路において、水路近くでイチゴを栽培する温室に熱供給する実証試験を実施した。イチゴ栽培で求められる室温は7.0~8.0℃であり、園芸作物の中では比較的低温である。しかし、那須野ヶ原地区では、11月から3月ごろまで気温が氷点下になることもあるため、対象温室ではこれまで室内の加温に重油ボイラーを利用していた。そこで本試験では、ボイラーの補助熱源として暖房能力

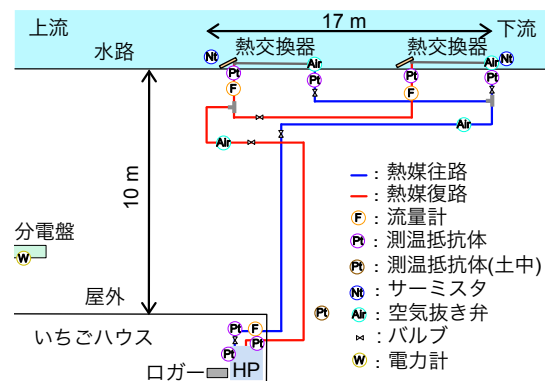


図1 水路に設置したヒートポンプシステム

5kWのHP（株式会社コロナ、CSH-C4000G）を暖房30℃の設定で稼働させた。HPは2022年12月15日から2023年3月8日まで、主に気温が低くなる夜間に稼働させた。熱供給先となる温室とHPシステムを図1に示す。シート状熱交換器（ジオシステム株式会社、Gカーペット）2枚を水路に設置し、温室内のHPと塩ビ管（VP25）で配管してヒートポンプシステムを構築した。シート状熱交換器は幅0.3m、長さ3.8mで、径6.0mmのポリエチレン製の管39本で構成されている。熱交換器を水路の側壁に設置し、その表面をエキスパンドメタルで保護するとともに、側壁との間にゴミ流入を防ぐために上流側に遮断板を取り付け、単管パイプで固定した。熱交換器の熱媒に濃度40wtに希釈したプロピレングリコールを使用し、水路の下流側から流量25L/minで循環させた。

水路水温はサーミスタで、熱交換器の出入口温度を白金抵抗体で計測した。熱交換特性を熱交換量 Q (kW)と熱通過率 k (kW/(K·m²))で、エネルギー消費効率 $SCOP$ を評価し、以下の式で求めた。

$$Q = \rho c V_{in} |T_{out} - T_{in}| \quad (1) \quad k = \frac{Q}{\ln \left| \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{\infty} - T_{in}} \cdot \frac{T_{\infty} - T_{in}}{T_{\infty} - T_{out}} \right| \cdot A} \quad (2) \quad SCOP = \frac{Q + W}{W} \quad (3)$$

ここで、 ρ は熱媒の密度(kg/m³)、 c は熱媒の比熱(kJ/(kg·K))、 V_{in} は熱媒流量(m³/s)、 T_{out} は熱交換器の熱媒出口温度(℃)、 T_{in} は熱交換器の熱媒入口温度(℃)、 T_{∞} は水路の水温(℃)、 A はシート状熱交換器を平板近似した熱交換器の表面積(m²)、 W は消費電力(kW)とする。

*農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：熱利用, 流水熱, 水熱源ヒートポンプ, 再生可能エネルギー, 施設園芸

4. 結果

実証試験中の水路の流量は約 0.6~0.9 m³/s、水深 0.42~0.63 m、流速 1.1~1.3 m/s であった。水深 0.35 m、流速 0.5 m/s を超えていることから、実証試験の対象とした水路は熱交換器が完全水没し、流れの影響により高い熱交換特性が得られる水路である¹⁾。また、夜間の水路の水温 2.1~5.2℃に対して、気温は約 -8.9~3.9℃であり、夜間の水温は気温に比べて高い。暖房時に HP システムで採熱する場合、熱源温度が高くなるほど熱利用時の効率が上がる³⁾。そのため、対象水路では気温の低い冬でも効率的かつ安定した熱利用が期待できる。

試験期間において、近似的に導出した室内への供給熱量⁴⁾ (熱交換器で採熱した熱交換量と消費電力の和) を図 2 に示す。消費電力は約 2.0 kW、熱交換量は 2.7~3.1 kW を示している。いずれの試験日でも HP システム全体のエネルギー消費効率を示す SCOP は約 2.5 であった。これまで実施した室内試験の SCOP の平均は 4.3 であったが、本試験では、室内試験時よりも熱源となった農業用水の水温が 2.1~5.2℃で低い

ことや、HP の設定温度を暖房 30℃とし、吹出し風量も最大で運転したことが原因と考えられる。

実証試験と既往研究²⁾における熱通過率と熱源温度の関係を図 3 に示す。実証試験で得られた熱通過率は 0.136~0.170 kW/(K・m²)であり、既往の結果よりも低くなった。本試験の熱源温度は 2.1~5.2℃であり、既往研究 (最低温度 7.5℃) に比べて熱源温度が低いため、熱媒であるプロピレングリコールが粘性の上昇によって配管内を流れにくくなり、熱通過率が低くなったと考えられる。また、熱源の流速が速くなると、熱通過率を高めることができるものの、流速 0.5 m/s 以上になると熱通過率は増加しにくくなる¹⁾。実証試験地の流速は試験期間中を通して約 1.2 m/s であるため、流速による熱通過率の上昇は期待できないと考えられる。

5. おわりに

本稿では、現場の水路にシート状熱交換器を設置して採熱する実証試験を実施した結果を示した。実証試験では、水温の影響により熱通過率は低く、SCOP も室内試験より低くなったが、室内試験よりも低い熱源温度で試験を実施できたことで、現場に実装する上での課題を見出すことができた。今後の課題は、現場における SCOP が上昇する対策を講じることである。農業用水の熱利用は、農業水利施設の周囲に住宅や商業施設等が少なく、熱需要と供給のマッチングが課題である。しかし、農業分野をはじめとした全ての産業で、脱炭素化に向けた省エネルギーや再生可能エネルギーの積極的な利用が求められている。そのためには、農業用水に賦存する未利用熱の有効利用が望ましく、2050 年カーボンニュートラル達成の一助になると考える。

【謝辞】本研究は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 の補助を受け実施した。また、本研究は那須野ヶ原土地改良区連合、いちご農家森隆氏に多大な協力を頂いた。ここに付記し、感謝の意を示す。【参考文献】1) 後藤ら(2019): 流水中に設置したシート状熱交換器の熱交換特性, 農研機構研究報告. 3 巻, pp.29-41 2) 三木ら(2020): 水路の水温と流速が流水熱抽出に与える影響の評価, 2020 年農業施設学会若手研究者発表会要旨集 3) 北海道大学環境システム工学研究室 (2020): 地中熱ヒートポンプシステム, オーム社, p.227 4) 柴(2011), 地下熱利用技術 4. 地下熱ヒートポンプ, 地下水学会誌第 53 巻第 2 号, pp.219-227.

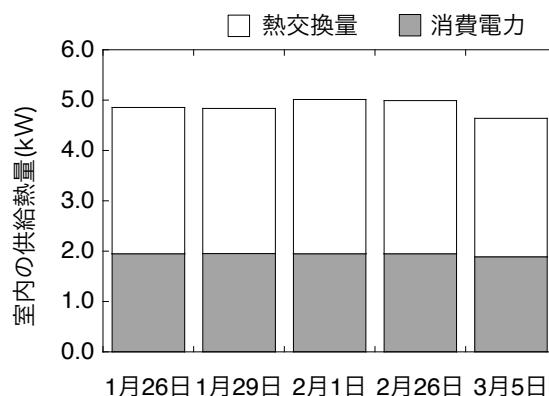


図 2 近似的に導出した室内への供給熱量

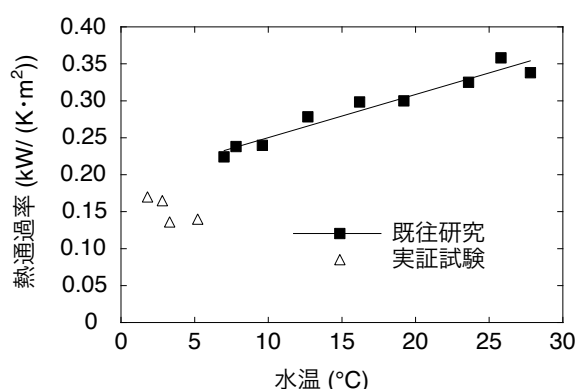


図 3 実証試験と室内試験²⁾の熱通過率の比較