

那須野ヶ原を事例とした農業用水路における年間の熱利用可能性の検討  
 A study of heat supplied possibility throughout the year in irrigation canal, Nasunogahara

○三木昂史\*・後藤眞宏\*・福田浩二\*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, and FUKUDA Koji

## 1. 序論

水中をヒートポンプシステムの熱源とすることで地中よりも省エネルギーで効率よく熱利用できる<sup>1)</sup>。また、後藤らは、静水中よりも流水の方が効率よく熱交換できることを実験で明らかにした<sup>2)</sup>。現場の水路では、水位や流速等は期別や時間で変動することから、年間の熱利用可能性は明らかになっていない。そこで本研究では、那須野ヶ原地区の農業用水路を事例に、暖房および冷房時の年間を通じた熱利用可能性について現場で観測したデータと既往研究をもとに検討する。

## 2. 対象と評価方法

栃木県那須塩原市、大田原市的那須野ヶ原地区の下段幹線水路(総延長 19km)と東那須野支線水路(総延長 22km)を対象とした。2019年1月1日から12月31日まで(かんがい期4月11日~9月5日)、各水路で水位や水温などの水利データを収集した。水温計測では、おんどとり (RTR-502)と水中温度センサー (TR-5530)を設置し、幹線水路11地点、支線水路7地点で計測した。幹線水路の水位と流量は、那須野ヶ原土地改良区連合より提供を受け、流速を流量と水位、水路幅から求めた。支線水路では、水温観測と同地点で水位と流速を計測し、 $H-Q$ カーブを用いて流量に換算した。本研究では、観測したデータから熱交換特性を算出し、熱利用可能性を検討した。

水熱源ヒートポンプシステムは、ヒートポンプとシート状熱交換器(製品名 Gカーペット(ダイカポリマー株式会社))で構成され、熱交換器は水路床に鉛直かつ流れ方向に平行に設置すると想定した(図1)。1~4月、11~12月を暖房、5~10月を冷房期間とした。暖房時は熱交換器を介して水路の水から熱を採熱し、冷房時は水路の水に排熱して、ヒートポンプでその熱を利用する。シート状熱交換器は径6.0mmの硬質ポリエチレン管117本で構成され、高さ0.9m、長さ5.6mで、高さ方向に1/3に分割可能である。本研究では、水位が低い場所も想定されることから、1/3サイズとし、熱交換器内の熱媒は、水または不凍液(エチレングリコール)とした。

本研究では、熱交換特性を熱交換量 $Q$ (kW)で表すこととし、1/3サイズのシート状熱交換器1枚で暖房時と冷房時に水路から取り出せる熱量は、以下の式から計算した。

$$Q = H_{cr} \times \frac{|T_{out} - T_{in}|}{\ln \frac{|T_{\infty} - T_{in}|}{|T_{\infty} - T_{out}|}} \quad (1) \quad \begin{array}{ll} \text{冷房時} & H_{cr} = 0.120 \ln(v) + 0.653 \quad (2) \\ \text{暖房時} & H_{cr} = 0.108 \ln(v) + 0.685 \quad (3) \end{array}$$

( $0.1 \leq v < 0.5$ )

ここに、 $T_{\infty}$ は水路の水温(°C)、 $T_{out}$ は熱媒の熱交換器出口温度(°C)、 $T_{in}$ は熱交換器入口温度(°C)、 $H_{cr}$ は流速から導いた熱交換率(kW/K)、 $v$ は流速(m/s)である。 $T_{out}$ 、 $T_{in}$ は実験値<sup>2)</sup>を、 $T_{\infty}$ は観測値を用いた。式(2)および式(3)は実験結果<sup>2)</sup>から得られた式であり、 $0.5 \leq v$ のとき、 $H_{cr}$ は0.6 kW/Kで一定となる。

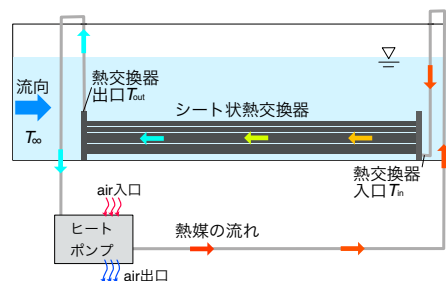


図1 計算で用いたヒートポンプシステム

\*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，熱交換量，水熱源ヒートポンプ，再生可能エネルギー

### 3. 結果

図2に那須野ヶ原地区の日平均気温および各水路の日平均水温を示す。気温は気象庁による黒磯地点の観測データを用いた。幹線水路および支線水路のいずれにおいても、1月、2月および3月は水温5℃以下であった。熱交換器の熱媒が水の場合、農業用水路の水温が5℃以下では、熱媒が凍結し、ヒートポンプシステムが正常に稼働できない可能性がある。そのため、水温が5℃以下になる期間は、熱媒に不凍液を用いることでヒートポンプを稼働させることが可能になるが、周辺環境への配慮が必要である。また、冷房を利用する5月~10月では、用水路の水温は気温より低く、温度変化も気温に比べて小さいことがわかった。空気中よりも水中を熱源とすることで効率良い熱利用が期待できる。

本地区の用水路における平均断面流速は幹線水路のかんがい期で0.9~2.4m/s、非かんがい期で0.8~2.0m/s、支線水路では、かんがい期0.8~2.8m/s、非かんがい期0.5~2.0m/sであった。したがって、通年で $0.5 \leq v$ となることから那須野ヶ原地区の用水路では、1枚の熱交換器が全て水に浸かる水位0.3m以上の場合、式(2)および式(3)より $H_{er}$ は0.6kW/K、 $Q$ は式(1)より2.6kWになる。これは家庭用エアコン(6畳用)の冷暖房能力に相当する。

幹線水路および支線水路の水位を図3に示す。いずれの水路でもかんがい期に水位が高くなり、非かんがい期に低下し、水位0.3m以下になる地点もある。熱交換器が空気中に露出すると、暖房の場合、水温よりも低い気温が熱源になり、熱利用する上で効率が悪くなるため<sup>1)</sup>、水位が低くなる時期を考慮して熱交換器の設置を検討することが望ましい。水位0.3m以下の地点では、堰上げにより水位0.3mにすることで熱量2.6kWを確保できると考えられる。

幹線水路に熱交換器を水路延長方向に1枚ずつ設置すると約2,900枚設置でき、水路から取り出せる熱量は合計で最大7,600kW得られる。熱交換による熱が全て用水の温度変化に寄与すると仮定すると、本地区では熱交換量に対して用水の熱容量が十分に大きいため、熱交換器1枚による水温変化は0.002℃である<sup>3)</sup>。しかし、熱交換器2,900枚設置時の最上流と最下流の水温差は、約3℃生じるため、熱交換器を複数設置する際、下流ほど水温変化が生じることに留意する必要がある。

### 4. おわりに

那須野ヶ原地区の農業用水路では、水位0.3mかつ流速0.5m/s以上であれば、1/3熱交換器1枚で暖房、冷房のいずれにおいても熱量2.6kW得られることがわかった。しかし、水路では、時期や場所により水位変動が生じ、熱交換器が空気中に露出することが問題として挙げられる。水路の熱利用を普及するには、現場の状況に適した熱交換器の設置が必要である。今後、熱交換器を水路床に平置きにした時の熱交換特性について研究を進める。

【謝辞】本研究では、水利データ収集にあたり那須野ヶ原土地改良区連合から多大な協力を得た。ここに感謝の意を記す。

【参考文献】1)奥島ら(2016):表層水および浅層地中を熱源とした温室暖冷房用ヒートポンプシステムの運転事例,農工研技報218, pp.39-50)2)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)3)三木ら(2019):那須野ヶ原地区の用水路におけるかんがい期の熱利用可能性の検討,2019年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.224-225

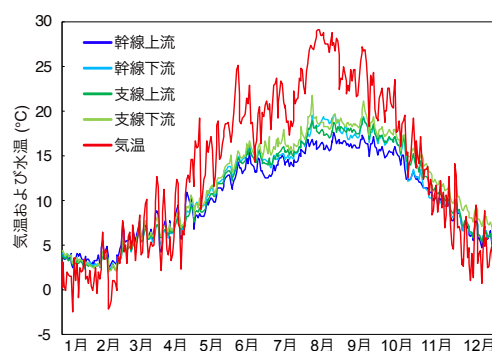


図2 那須野ヶ原地区の気温および水路の水温

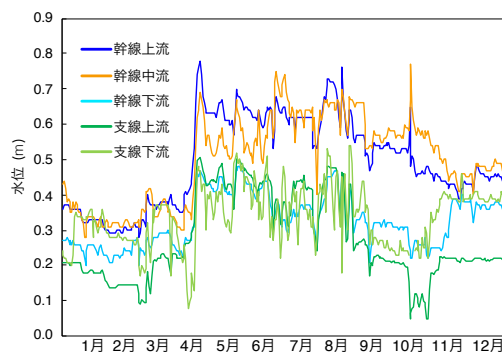


図3 幹線水路および支線水路の水位