

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
A study of heat supplied possibility in irrigation canal, Nasunogahara District

○三木昂史*・後藤真宏*・福田浩二*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, and FUKUDA Koji

1. 序論

ヒートポンプシステムでは、地中や表層水など熱源の違いにより熱交換量や熱交換率などの熱交換特性は異なる（奥島ら，2016）．特に流水を熱源にすると，ヒートポンプシステムが高い熱交換特性を示すことを後藤ら（2019）は農業用水路を模した実験から明らかにしている．農業用水路は場所や時間により水位や流速などの水理条件が異なり，水路全域を対象とした熱交換量や熱交換による影響（冷房時：排熱）は把握されていない．そこで，本研究では，用水路の熱源利用を目的として，かんがい期的那須野ヶ原地区を事例に用水路の熱利用可能性を検討した．

2. 対象と評価方法

本研究では，栃木県那須塩原市，大田原市の那須野ヶ原地区の下段幹線水路を対象とした．総延長約 19km の下段幹線水路では，西岩崎頭首工で那珂川から取水し，支線水路と合流，分水しつつ，末端で箒川へと放水している．かんがい期で最大 8.91m³/s を通水し，6～8 月は番水をしている．

本研究では，現地で観測した水路の水位，流速，水温等の水利データから熱交換量と排熱の影響を計算し，それらを指標に水路の熱利用可能性を検討した．計算に用いたヒートポンプシステムを Fig.1 に示す．熱交換器は長さ 5.6m，高さ 0.9m のシート状熱交換器（製品名 G カーペット（ダイカポリマー株式会社）；以下，GC と記す）で，径 6.5mm の硬質ポリエチレン製チューブが高さ方向に 117 本並列されており，39 本のチューブ毎に三分割（1/3GC）して使用できる．1/3GC を用水路の中に設置し，ヒートポンプと配管でつなぎ，冷房稼働させたときの熱交換特性を計算した．GC 内の熱媒はエチレングリコールとした．

水利データについて，水位データと水路図面は那須野ヶ原土地改良区連合から提供を受けた．おんどとり（RTR-502）と水中温度センサー（TR-5530）を用いて下段幹線水路の 11 地点で水温を計測した．流量について，幹線水路の 7 地点で 1 時間毎に観測されている水位を 24 時間毎に平均し，*H-Q* カーブを用いて流量に換算した．また，各地点の流速は流量と水位データ，水路幅から求めた．

熱交換量 Q (kW) は式 (1) と式 (2) から，排熱による用水水温への影響は式 (3) から求めた．

$$Q = H_{er} \times \frac{|T_{out} - T_{in}|}{\ln \frac{|T_{\infty} - T_{in}|}{|T_{\infty} - T_{out}|}} \quad \dots (1) \quad H_{er} = 0.1197 \ln(v) + 0.653 \quad \dots (2) \quad \Delta t = \frac{Q}{c \times q} \quad \dots (3)$$

(0.1 ≤ v < 0.5)

ここに， T_{∞} は水路の水温 (°C)， T_{out} は熱媒の GC 出口温度 (°C)， T_{in} は GC 入口温度 (°C)， H_{er} は流速から導いた熱交換率 (kW/K)， v は流速 (m/s)， Δt は排熱による水温変化量 (°C)， c は水の比熱 (kJ/(kg・K))， q は水路の流量 (m³/s) である． T_{out} ， T_{in} は実験値²⁾を， T_{∞} ， v ， q は観測値を用いた．式 (2) は実験結果²⁾から得られた関係式であり，0.5 ≤ v のとき， H_{er} は 0.6kW/K で一定となる．また，GC からの排熱は全て用水の温度上昇に寄与すると仮定した．

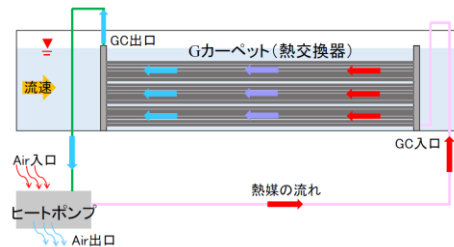


Fig.1 計算で用いたヒートポンプシステム

*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

平均流速は、上流で最大 2.0m/s となり、下流ほど小さくなり、最小で 0.8m/s となった。本水路では流速が全て 0.5m/s を超えていたため、1/3GC の熱交換率は全ての地点で 0.6kW/K と評価できる。

Fig.2 に下段幹線水路の 4～9 月における水温変化及び那須野ヶ原地区の気温変化を示す。Fig.2 は、10 分間隔で計測した水温を期別変動の傾向を示すために日平均で表示している。気象データは気象庁の黒磯地点の観測気温を引用した。水温は、4 月から徐々に上昇し、8 月に最大 24℃に達する（ただし、調整池からの流入地点 G-9 は除く）。水温の日較差は約 2～4℃である。水温は気温と同じ傾向で変化する。冷房時の熱源温度は気温より低い方が有利なため、水路は優良な熱源といえる。

水路から抽出できる熱交換量を Fig.3 に示す。式 (1) より、1/3GC 1 枚（高さ 0.3m）が全て水没しているときの熱交換量は 2.6kW と算出された。

水深方向に GC を増設し、GC の水没深に合わせて熱交換すると仮定して、熱交換量を求めた。縦堀下流を除き、多くの地点で 3.0kW 以上の熱交換量を確保でき、取水量が多くなる 4～6 月であれば、水深方向に GC を増やすことで熱交換量は最大 6.6kW と算出された。時期によって GC が水に浸かる高さは変化するるので、実際に GC を設置する際は安定的に利用する熱量を決めた上で GC の設置を検討する必要がある。一方、下流は水深が小さいため、GC が水に浸かるように堰上げ等によって水深を増やす対策を講じることで熱交換量の確保が可能になると考えられる。

下段幹線水路において熱交換した際に生じる用水の水温への影響について、式 (3) より水温変化量を求めた。ヒートポンプと 1/3GC 1 枚を用いて、冷房運転した際、上流地点における水温上昇量は約 0.0003℃となった。下流になると、流量は少なくなるので、熱交換による水温変化量は最大で 0.0025℃程度であった。1/3GC 1 枚当たりの熱交換量と用水の熱量を比べると、用水の熱量の方が大きいため、GC の稼働で生じる排熱が用水の水温に及ぼす影響は小さくなったと推察される。

4. まとめ

本研究では、那須野ヶ原地区を事例として、かんがい期の用水をヒートポンプシステム冷房運転の熱源としたときに利用できる熱交換量と排熱が用水に及ぼす影響を評価した。この結果、かんがい期の農業用水路には高い熱交換量が存在することがわかった。水路における熱交換量と排熱の影響を明らかにしたことで、用水路は冷房時の熱源として利用可能であるといえる。また、エネルギーを可視化することは、地域の中にある未利用エネルギーに着目するきっかけとなり、エネルギーの自給に対する意欲が高まると考えられる。今後の課題として、水路における非かんがい期の熱利用可能性の検討やヒートポンプシステム暖房稼働時の熱源の可能性の検討、水路の熱以外で利用可能な資源・エネルギーの可視化が挙げられる。

(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

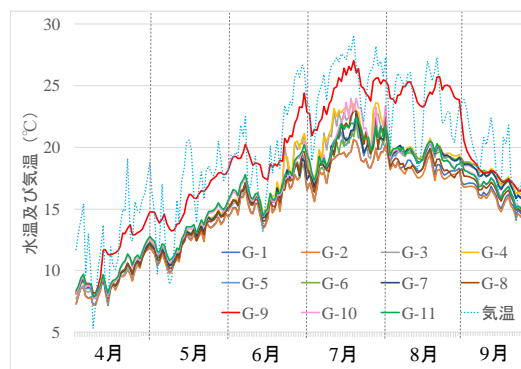


Fig. 2 水温観測結果

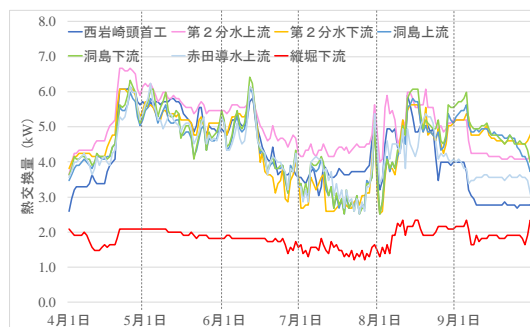


Fig. 3 水路から抽出できる熱交換量