

農業用水路における流水熱利用可能性の検討

A study of heat supplied possibility in irrigation canal

○三木昂史*・後藤真宏*・福田浩二*・石井雅久*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, FUKUDA Koji, and ISHI Masahisa

1. 序論

地中熱や地下水熱などの再生可能エネルギーの熱利用が注目されており、特に水中は地中や空気中よりも効率的に熱を利用できる¹⁾。さらに、静水中よりも流水の方が効率よく熱を取り出せる²⁾ものの、熱源となる水路の水位や流速は、地区や期別により変化する。そのため、これまで提案していた熱交換器を水路床に対して鉛直に設置する方法では、水位の低下による空気中への熱交換器の露出や流速の減少により、熱を効率的に取り出せない可能性があった。そこで本研究では、熱交換器を水路床に水平に設置したヒートポンプシステムの熱交換特性について実験するとともに、栃木県那須野ヶ原地区の農業用水路を事例に、現地で観測した水利データと実験結果から水平設置条件における熱利用可能性について検討する。

2. ヒートポンプ実験

農研機構農村工学研究部門(茨城県つくば市)内の実験用水路(長さ 12.0m、幅 1.35m、高さ 0.9m)を用いて実験を実施した。水熱源ヒートポンプとシート状熱交換器(Gカーペット、ジオシステム株式会社)を図 1 のように構成し、熱交換器は水路床に水平に床と隙間なく設置し、熱交換器の浮き上がりを防ぐためにアンカーボルトで固定した。シート状熱交換器は径 6.0mm の硬質ポリエチレン管 39 本で構成され、幅 0.3m、長さ 5.6m である。熱交換器の熱媒には水を用いた。水路の断面平均流速(以下、流速)及び水位を変化させて水理条件が熱交換特性に与える影響を評価した。

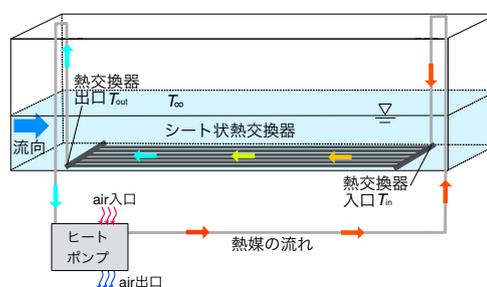


図 1 実験水路に設置したヒートポンプシステム

熱交換特性は熱通過率 k ($\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$) で評価し、以下の式から求めた。

$$Q = \rho c V_{in} |T_{out} - T_{in}| \quad (1) \quad \Delta T = \frac{|T_{out} - T_{in}|}{\ln \frac{|T_{\infty} - T_{in}|}{|T_{\infty} - T_{out}|}} \quad (2) \quad k = \frac{Q}{\Delta T A} \quad (3)$$

ここに、 Q は熱交換量 (kW)、 ρ は熱媒の密度 (kg/m^3)、 c は熱媒の比熱 ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)、 V_{in} は熱媒流量 (l/min)、 T_{∞} は熱交換器上流 1.0m 地点の水路の水温 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_{out} は熱媒の熱交換器出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_{in} は熱交換器入口温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 A は熱交換器の表面積 (m^2) である。各水温は白金抵抗体で計測した。

3. 熱利用可能性の評価

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(総延長 19km)と東那須野支線水路(総延長 22km)にて、水温及び水位を 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)観測、収集した。本研究では、実験結果とこれまでの観測データをもとに熱利用可能性を検討した。暖房運転期間を 1～4 月、11～12 月、冷房運転期間は 5～10 月とした。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

4. 結果

水路床に水平に熱交換器を設置した条件において、ヒートポンプを暖房稼働させた際の熱通過率を図2に示す。流速が速くなるとともに、熱通過率は増加した。流速0.3m/sを超えると、熱通過率の増加割合は低下し、これまでの鉛直設置時の実験結果と同様になった。実際の水路では、設計基準に従って水路内の流速が0.4m/s以上になるように設計されていることから、熱交換器を水平設置した場合でも流速の影響を受けて、大きな熱通過率を得ることができる。

また、流速が遅い場合、水位が低い時の方が熱通過率は大きくなる(図2)。水位が低くなると、通水断面が小さくなり、さらに流速が遅いと、水位が高い時よりも熱交換器のヘッダーや連結部の塩ビ管などによって、流れに乱れが生じたためと考えられる。冷房時も暖房時と同じ結果となった。

次に水路の水位を0.5mに設定し、水路床に対して鉛直方向に熱交換器を設置した場合と水平方向に設置した場合の流速と熱通過率の関係について図3に示す。流速が遅い条件では、熱交換器を鉛直に設置する方が熱通過率は大きくなるが、流速が大きくなるにつれて、熱通過率の差は小さくなる。鉛直設置では、熱交換器の両面から熱を取り出せるが、水平設置では、熱交換器下面は、床に接触しており、上面から主に採熱しているため、熱通過率は小さくなると考えられる。

実験結果と那須野ヶ原の水利データをもとに熱利用可能性について検討した。流速0.3m/s以上になると、熱通過率が増加しにくくなることから0.3m/s以上かつ、熱交換器が全て水没している場合、熱通過率は一定(図2より0.34 kW/(K・m²))になると仮定した。那須野ヶ原地区の水路では、これまでの調査から年間を通して、幹線及び支線水路において、流速0.5m/s以上であり、水位は幹線水路で0.2~0.7m、支線水路で0.1~0.5mであった³⁾。特に非かんがい期の支線水路の水位は0.3m以下になることが多く、熱交換器が空気中に露出し、全て水没しない可能性があったため、鉛直設置の場合、時期により効率的に熱を取り出せない。しかし、熱交換器を水平に設置できれば、現地の水路は通年で流速0.5m/s以上であるため、鉛直設置と同程度の熱通過率を得られる。

5. おわりに

実験では、水平方向に熱交換器を設置した場合でも、鉛直方向に設置した時と同程度の熱交換特性が得られることがわかった。那須野ヶ原地区の農業用水路を事例にした場合でも、水位が0.3mに満たない場所や時期でも熱交換器を水平設置にできれば、年間を通して一定の熱交換特性を得ることができる。しかし、現場の水路に熱交換器を長期間設置すると、堆砂による熱交換能力の低下や水路床を石などの突起物が流れることで熱交換器の破損の可能性があると考えられる。今後の課題として、水路内の堆砂が熱交換器に及ぼす影響の検討が挙げられる。

【謝辞】 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(2020):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,2020年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.367-368

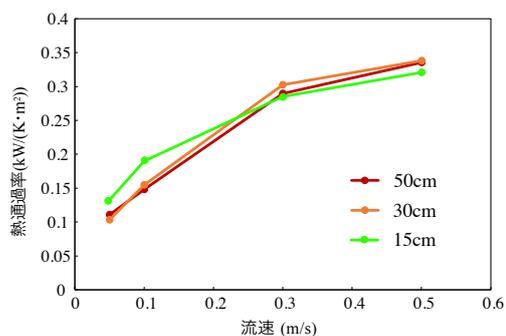


図2 水平設置時の熱交換特性 (暖房時)

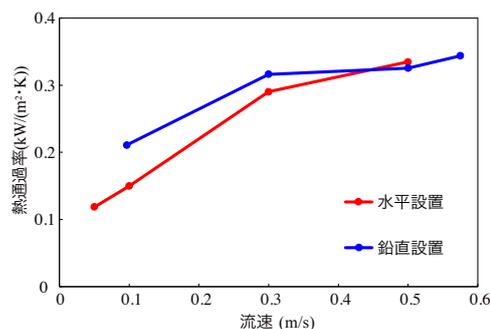


図3 設置方法の違いによる熱通過率の比較 (暖房時)