

水路床に設置した熱交換器への堆砂が熱交換特性に与える影響の評価

Impact of deposition on heat supplied possibility at irrigation canal

○三木昂史*・後藤眞宏*・石井雅久*・高杉真司**・舘野正之**

MIKI Takashi, GOTO Masahiro, ISHI Masahisa, TAKASUGI Shinji and TATENO Masayuki

1. 序論

筆者らは再生可能エネルギーの一つである農業用水の熱利用について、農業用水路の床に対して鉛直に熱交換器を設置すると、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⁾、熱交換器が空气中に露出すると熱交換特性が低くなること³⁾を明らかにしてきた。水路の水深が浅い場合、熱交換器を水没させるためには、熱交換器を水平に設置しなければならず、水路床や熱交換器への堆砂が想定される。そこで本稿では、熱交換器を水路床に水平設置し、熱交換器の上下に堆砂させたときのヒートポンプシステムの熱交換特性について実験した結果を記すとともに、水深が浅い水路での熱利用可能性について検討する。

2. ヒートポンプによる採熱実験

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 42.0m、幅 1.0m、高さ 1.5m）を用いて実験した。水熱源ヒートポンプ（コロナ製、Geosis）とシート状熱交換器（ジオシステム株式会社、Gカーペット）を図1のように構成した。実験用に製作したシート状熱交換器は幅 0.3m、長さ 3.8m で、径 6.0mm の高密度ポリエチレン管 39 本で構成されている。熱交換器を水平に設置し、浮き上がりを防ぐためにアンカーボルトで水路床に固定した。

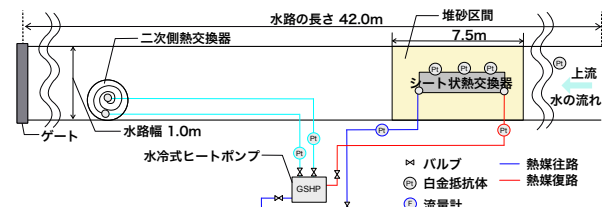


図1 実験水路に設置したヒートポンプシステム

熱交換器を設置する床面に最大粒径 0.85mm、透水係数 1.03×10^{-4} m/s の砂を 30mm 堆砂させた。まず、熱交換器の堆砂上部に設置した場合、次に、熱交換器上面の保護を想定し、エキスパンドメタル（以下、EM）を装着した場合の熱交換特性を評価した。さらに、水路内に長期間設置すると、熱交換器上面に堆砂し、熱交換器の埋没が考えられるため、床面の砂と同じ砂を熱交換器上面に 30mm 一様に堆砂させ、熱交換特性を計測した。

熱交換器の熱媒に濃度 30%に希釈したプロピレングリコールを使用し、水路の流れと反対の下流側から加温した熱媒を循環させた。ヒートポンプは温水暖房 60℃の設定で稼働させ、水熱源は水路の最下流から採熱した。水路の水温、熱交換器出入口の熱媒温度、熱交換器上面と下面温度を白金抵抗体で計測した。実験では水深 0.25m に設定し、水路の断面平均流速(以下、流速)を変化させ、熱交換特性を計測した。熱交換特性は熱通過率 k (kW/(K・m²))で評価し、以下の式から求めた。

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

ここに、 Q は熱交換量(kW)、 ρ は熱媒の密度(kg/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_{up} は熱交換器熱媒出口近くの熱交換器上下面の平均温度(℃)、 T_{down} は熱交換器熱媒入口近くの熱交換器上下面の平均温度(℃)、 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)である。熱交換器上面の堆砂がない場合、 T_{up} と T_{down} は熱交換器より上流で計測した水路水温(℃)と同じであると想定した。

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

**ジオシステム株式会社 Geosystem

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

水熱源ヒートポンプを稼働させた際の熱交換器の熱通過率と水路の流速の関係を図2に示す。熱通過率は稼働中の30分間を平均した。また、熱交換器を鉛直設置したときの熱通過率を比較のために示している。熱交換器表面に堆砂した条件を除いて、水路流速が速くなると、熱通過率は増加した。水平設置しても熱交換器上面に堆砂やEMがなければ、鉛直設置時とほぼ同じ熱通過率になることが明らかとなった。

熱交換器表面にEMを装着すると、未装着時と比べ熱通過率は約20%低下する。EMによって、熱交換器表面に水が流れにくくなり、採熱を阻害していると考えられる。熱通過率の低下分は、熱交換器の設置枚数を増やすことで対応できるため、熱交換器の破損や熱媒の漏出を防ぐ上でEMの保護は必要であり、水平設置時はEMを装着した方が良い。

熱交換器上面に30mm堆砂した際、熱通過率はほとんど変化せず、流速0.3m/s以上で低下した。熱交換器表面の堆砂により、流速の影響を直接受けにくくなるため、熱通過率は一定になったと考えられる。また、流速0.3m/sでは、時間経過とともに堆砂が流水により流され、堆砂表面が波型になった。このことから熱交換器上面の堆砂量が変化し、熱通過率に影響したと考えられる。

図3にヒートポンプを稼働および停止させたときの各条件における熱交換器の熱媒入口近くの上上面温度と水路の水温を示す。EM未装着時は、熱交換器の表面温度と水路の水温は同じである。EM装着時と堆砂時において、熱交換器の上上面温度は水路水温より高くなり、堆砂時は26°Cまで上昇した。特に熱交換器上面に堆砂がある場合、熱交換器近くに熱が溜まり、熱交換器の周辺温度が上昇するため、流水熱のメリットである流速の効果や安定した熱源温度を得ることができない。そのため、流水中に熱交換器を水路床に対して水平設置する際、熱交換器上面に土砂が堆積しないよう、定期的なメンテナンスとともに、堆砂しにくくするように考慮した設計にする必要がある。

5. おわりに

本実験では、水平に熱交換器を設置した場合、EMによる熱交換器の表面保護や堆砂によって熱交換特性が低くなることがわかった。特に熱交換器が砂に埋没すると、熱通過率は著しく低下する。しかし、実際の用水路では、堆砂や植生繁茂の防止のために設計基準に従って水路内流速が0.4m/s以上になるように設計されている。ゆえに、用水を通水している時期であれば、本実験のように熱交換器が土砂に完全に埋没する可能性は低いと考えられる。しかし、水路に水平設置した熱交換器を運用する際、熱交換器上面にEMを装着し、砂で覆われる可能性を想定した上で、熱利用および管理方法を検討しなければならない。今後の課題として、農業用水を熱源とした時の農村における熱利用ポテンシャルの広域的評価が挙げられる。

なお、本研究はNEDO「新エネルギー等のシーズ発掘・事業化に向けた技術研究開発事業」の一環で実施した。

【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(2021):小規模な水路における熱利用可能性の検討,2021年農業施設学会大会講演要旨集

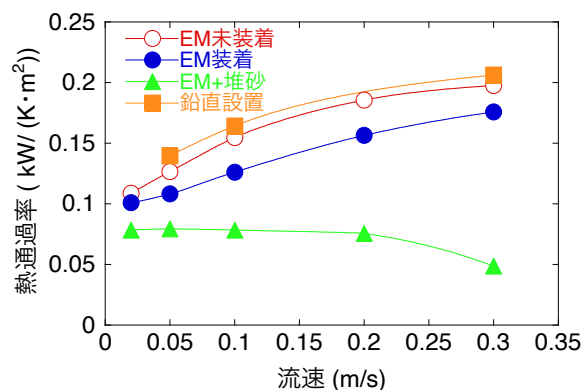


図2 水平設置時の熱交換特性

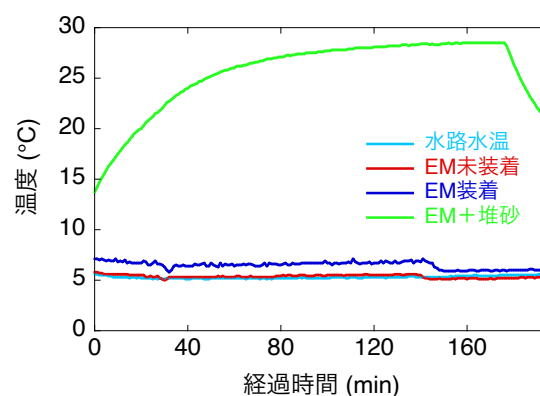


図3 水路の水温と熱交換器上面温度 (流速0.1m/s)