

Heat Exchange Performances of Sheet Type Heat Exchanger submerged in Water Flow and Installation Method to an Agriculture Irrigation Canal

メタデータ	<p>言語: jpn</p> <p>出版者:</p> <p>公開日: 2019-03-07</p> <p>キーワード (Ja):</p> <p>キーワード (En): Sheet type heat exchanger, Water-source heat pump, Irrigation canal, Hydraulic model test</p> <p>作成者: 後藤, 眞宏, 奥島, 里美, 三木, 昂史, 高杉, 真司, 舘野, 正之, 小間, 憲彦, 木村, 繁男, 小松, 信義</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	<p>https://doi.org/10.24514/00001151</p>

流水中に設置したシート状熱交換器の熱交換特性と 農業用水路への設置方法

後藤眞宏* 奥島里美** 三木昂史* 高杉真司*** 舘野正之***
小間憲彦*** 木村繁男**** 小松信義*****

*地域資源工学研究領域地域エネルギーユニット

**農地基盤工学研究領域農業施設ユニット

***ジオシステム株式会社

****公立小松大学

*****金沢大学

要 旨

農業用水路を模した実規模水理模型にシート状熱交換器を設置して、水理条件や設置方法の違いによる熱交換特性を計測した。熱交換特性は、熱交換器と流水の温度差 1K 当たりの熱交換量を熱交換可能な面積で除した値である熱通過率を用いて評価した。流水条件下での最大の熱通過率は $0.255\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ で、土中設置の $0.017\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 、スリんキー式の $0.01\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ よりも高い性能を示した。熱通過率は水路内流速の増加に伴って増加し、熱媒流量の増加による影響は少ない。熱交換器を網目状のエクスパンドメタルと一体化させて、流下物から保護し撓みなく設置する方法を考案した。エクスパンドメタルと一体化することで熱通過率は約 10% 低下するものの、高い熱通過率が得られた。側壁間隔との関係では 110mm の時の熱通過率が最も大きく、熱通過率 $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 以上が計測された。上流端のエクスパンドメタルに遮断板を設置することはゴミ付着防止の観点から有効である。

キーワード：シート状熱交換器、水熱源、ヒートポンプ、農業用水路、水理実験

1 緒 言

わが国の一次エネルギー自給率は 2016 年で 8.3% と低く（資源エネルギー庁，2017）、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料を海外へ依存している。国産のエネルギー源として、太陽光、風力、小水力、地熱などの再生可能エネルギーが注目され、低炭素のエネルギー源として開発利用が進められている。2012 年の固定価格買取制度の導入によって、再生可能エネルギーによる発電設備容量は約 5 倍になっているが、その多くは太陽光発電によるものである。このようにわが国の再生可能エネルギーの活用は“発電”が中心であるが、海外では発電に加えて、太陽熱、地中熱、バイオマスなどの熱利用が盛んに行われている。

農業では化石燃料を大量に消費しており、農機具の燃料、温室等施設園芸での暖冷房や照明などの直接的な利用と、肥料や農薬、ビニール資材などの間接的な利用である。特に、施設園芸ではわが国の農林水産業におけるエネルギー消費の約 4 割を占めており（農研機構生物系特定産業技術研究支援センター機械化研究所，2010）、農業産出額の約 4 割を占める野菜、花き、果樹の生産（農林水産省，2016）においてエネルギー削減や再生可能エネルギーの活用は

重要な課題である。

施設園芸においては、空気や地下水などを熱源として、暖房だけでなく、冷房や除湿が行え、エネルギー消費とランニングコストを削減する技術としてヒートポンプの導入が進められている。施設園芸で用いられるヒートポンプは、施設周辺の外気を熱源とした空気熱源ヒートポンプ、地中熱を熱源とする地中熱源ヒートポンプ、地下水や井戸水などを熱源とする水熱源ヒートポンプがある。

空気熱源ヒートポンプが多く利用されているが、外気温が低い寒冷地では熱交換を行う室外機に着霜が生じて効率が低下する問題が指摘され、地中熱を利用したヒートポンプが導入されている。2015 年度末時点でわが国の地中熱利用施設は全国で 6,877 件で、内訳はヒートポンプシステムが 2,230 件（32.4%）、空気循環が 1,191 件（27.9%）、水循環が 1,781 件（25.9%）となっている。（環境省水・大気環境局，2017）。

施設園芸における地中熱の効率的利用技術の開発は、2013 年度から 2015 年度にかけて農林水産省の委託プロジェクトが農研機構を中心に実施され、種々の技術が開発されている（農林水産省農林水産技術会議事務局，2017）。また、水熱源ヒートポンプの技術開発では、たとえば、岡澤

澤ら (2013) や古野 (2016) により高い性能と優位性が明らかになっている。

奥島ら (2016) は、本報告で対象としたシート状熱交換器をロール状にして水槽内に設置して、熱交換器周辺流速 8.4m/min (0.14m/s) 以下の条件下における熱交換量を計測し、地中に設置したシート状熱交換器1枚の熱交換量が水槽内での熱交換量の $1/5\sim 1/4$ 程度であることを明らかにしている。また、佐藤ら (2018) は、浅いため池と地中浅層に熱交換器を設置し、浅層埋設した熱交換器周辺では高温状態が継続するのに対して、水中設置では水の対流が水温上昇の抑制に貢献していることを明らかにしている。このように、水中に熱交換器を設置することで土中よりも効率良く熱交換が行われる事例が報告されている。

わが国では、年間約 800 億 m^3 の水を使用しており、このうち約 3 分に 2 にあたる約 544 億 m^3 を農業用水として使用している (国土交通省, 2014)。農業用水はダムや農業用水路などの基幹的農業水利施設において、水熱源として利用できる可能性がある。2016年3月時点の基幹的農業水利施設は、ダム $1,280$ 箇所、頭首工 $1,963$ 箇所、ため池約 21 万箇所、基幹的水路約 5 万 km 、用排水路計約 40 万 km である (農林水産省農村振興局, 2018)。

これまでの水熱源としては、井戸や地下水、ため池など遅い流速条件下であった。そこでため池や井戸などよりも速い流水条件が得られ高い熱利用が期待できる農業用水路を研究の対象とした。

本報告では、従来の地中熱利用の熱交換器に比べて熱交換面積が大きく、軽量・コンパクト・低価格な、奥島ら (2016) が用いたシート状熱交換器 (Fig. 1) の熱交換特性を実規模水理模型を用いて計測した結果と、用水路への熱交換器の設置方法およびゴミ流下を想定した実験結果について報告する。

2 実験の概要

流水条件下におけるシート状熱交換器 (高さ 0.9m × 長さ 5.6m , $\phi 6\text{mm}$ (内径: 4.8mm) × 117 本, 硬質ポリエチレン製; 製品名 G-カーペット, クリモトポリマー株式会社, 以下, GC と記述) の熱交換特性等を把握するために、農業用水路を模した水路において水理実験を実施した。

2.1 実験方法

2.1.1 実験水路

GC が完全に水没設置できるように、幅 1.6m , 側壁高 1.6m , 長さ 15m , 耐水ベニア製の水平勾配水路を製作し、農村工学研究部門のダム実験棟内に設置した (Fig. 2)。

上流端には、流況を安定させるために整流水槽を、下流端には水位調節用の転倒ゲートを設けた (Fig. 3)。実験水は部門内の高架水槽から供給され、電磁流量バルブの設定値にて所定の流量に設定した。

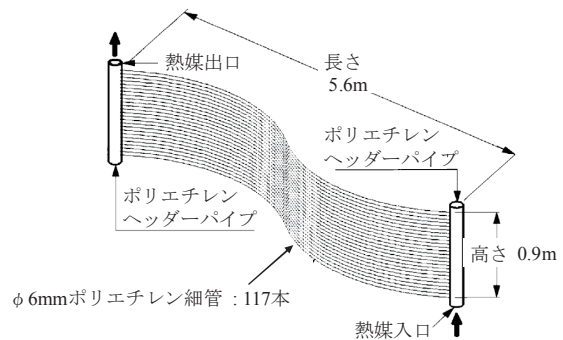


Fig. 1 シート状熱交換器
Sheet type heat exchanger



Fig. 2 実験水路の概観
Experimental canal

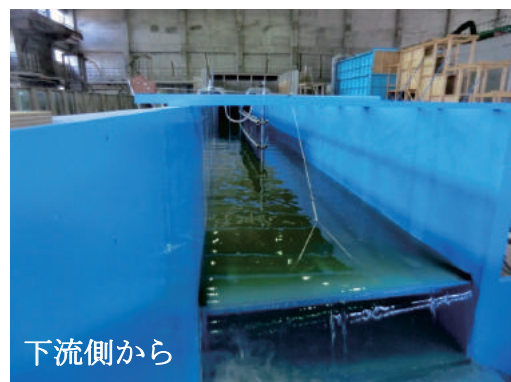


Fig. 3 水位調節用ゲート
Water level control gate

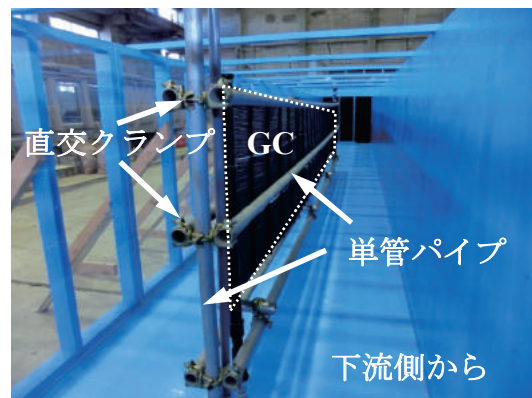


Fig. 4 GC の設置状況
Outline of sheet type heat exchanger

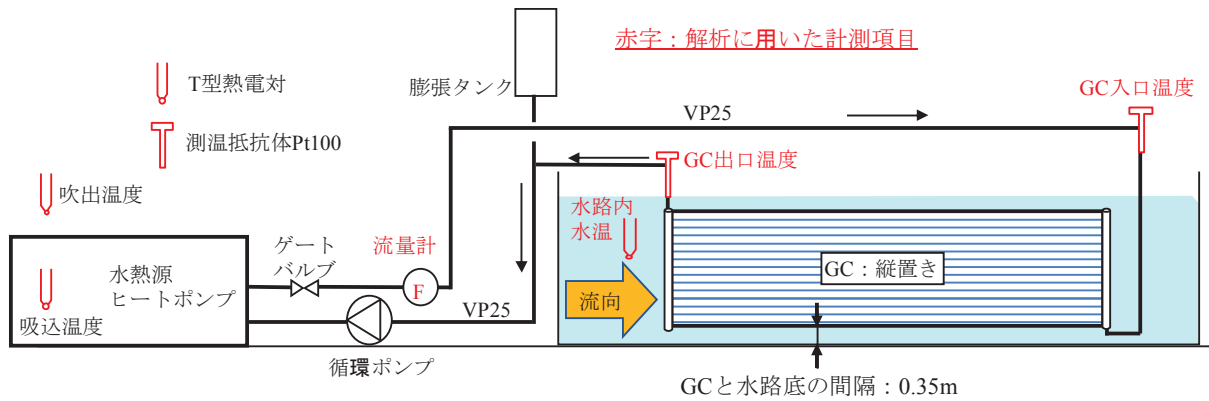


Fig. 5 実験システムの概要
Outline of experimental system

2.1.2 実験システム

前述の実験水路内に GC を設置した。GC は、6m の単管パイプ (φ48.6mm, 厚さ 1.8mm) で撓まないように挟み、両端は単管パイプと直角クランプで固定した (Fig. 4)。

水熱源・送風一体方式の 12kW のヒートポンプ (ECO42:FHP Manufacturing FL,USA) を GC と接続した。GC 内の熱媒 (不凍液: 2.2.1 はウエストブライン PB, シーシーアイ株式会社。2.2.2 以降はエチレングリコール, モノタロウ LLC) は、水路内流向と反対方向に循環させた。

配管は塩ビ管 (VP25), 循環用ポンプは口径 50mm, 吐出量 120L/min, 出力 400W を使用した。熱媒の流量は、ヒートポンプから GC への配管に設置したゲートバルブを操作して、バルブ近傍に設置した流量計の表示値をもとに設定した (Fig. 5)。なお、熱媒を 2 種類使用したが、比熱の値に違いはあるものの、本実験条件下では蒸発や凝縮などの相変化はなく、熱媒の違いによる熱交換特性への影響はないものと判断した。

2.1.3 計測方法

実験では、水路内流速 (2~30m/min, 以下, 流速), 熱媒流量 (3.75~30L/min, 以下, GC 流量), ヒートポンプの運転 (暖房と冷房) を変化させて、GC の出口および入口温度, GC 上流側の水路内水温 (以下, 水温), GC 流量, ヒートポンプの吸込および吹出温度等を計測した (Fig. 5)。GC 出口および入口温度は測温抵抗体 Pt100 で、他の温度は T 型熱電対で計測した。サンプリング間隔は 1 分間隔で、計測データはパソコンに収録した。

流速は、電磁流量バルブで設定した流量を通水断面積で除した、断面平均流速値を用いた。水深は下流側ゲートから上流側 1m 地点で計測した。水深は GC が完全に水没する 1.30m を基本に実験を行った。

2.2 実験条件

農業用水路への設置を想定して、GC の熱交換特性の把握、水路内設置による水路内流況への影響把握、現場で想定されるゴミ流下の影響把握のために下記の実験条件を設定した。GC は、水路内流況への影響、流下物からの保護の観点から縦置き設置とした。実験条件の概要を Table 1 に示す。

なお、本実験での流速の最大値は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」(農林水産省農村振興局, 2014) における農業用水路で確保すべき最小許容流速を参考に、さらに実験水路への供給可能流量を勘案して 30m/min とした。

2.2.1 中央縦置き設置

GC を流下方向と平行に水路中央に縦置きで設置して、流水条件下での基礎的な熱交換特性を把握した (Fig. 4 と同様)。実験条件は、流速 (2, 4, 6, 8, 10m/min), GC 流量 (7.5, 15.0, 22.5, 30.0L/min), 水深 1.30m, ヒートポンプの暖房および冷房運転とした。

2.2.2 水没深別特性

GC を縦置きとした場合に、完全に水没させるには 1.2m

Table 1 実験条件
Experiment conditions

節	実験条件	GC設置位置	流速 (m/min)	GC流量 (L/min)	運転	その他
2.2.1	中央縦置き設置	中央	2, 4, 6, 8, 10	7.5, 15.0, 22.5, 30.0	暖房・冷房	
2.2.2	水没水深別	中央	10	7.5, 15.0, 22.5, 30.0	冷房	水没水深4ケース
2.2.3	EM設置	中央	10	7.5, 15.0, 22.5, 30.0	冷房	なし、左側、両側、右側
2.2.4	側壁との間隔別	側壁	12, 18, 24, 30	7.5, 15.0, 22.5, 30.0	冷房	側壁間隔(60mm, 110mm, 160mm)
2.2.5	1/3サイズ	側壁	6, 12, 18, 24	5.0, 7.5, 10.0, 12.5	暖房・冷房	
2.2.6	水路内流況計測	側壁	12, 18, 22.5, 30	—	—	50cm間隔で水位計測
2.2.7	ゴミ流下実験	側壁	6, 18, 30	—	—	水路と平行、角度あり

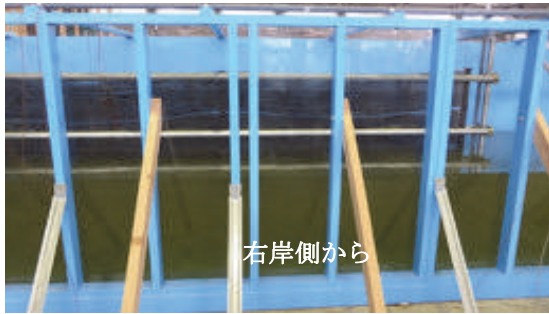


Fig. 6 水深別特性の計測状況
Outline of sheet type heat exchanger



Fig. 9 GC の設置状況
Outline of sheet along side wall

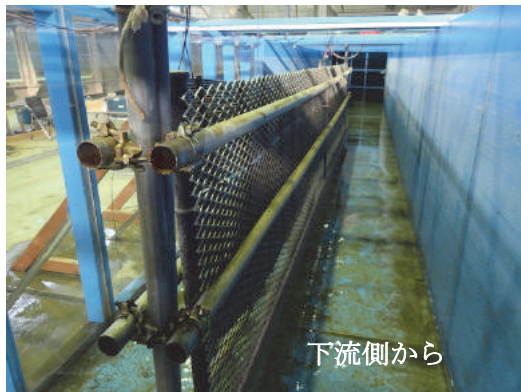


Fig. 7 EM 設置状況
Outline of expanded metal set up by one side

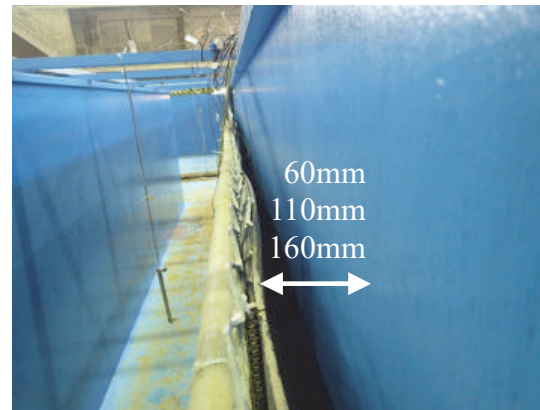


Fig. 10 側壁との間隔の状況
Outline of gap between sheet and side wall

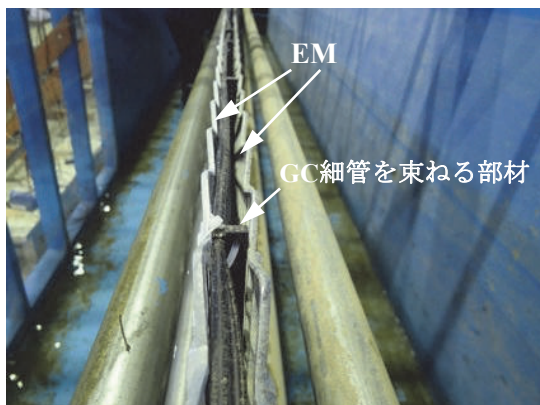


Fig. 8 EM 両側設置状況
Outline of expanded metal set up by both sides



Fig. 11 EM 上流端の遮断板
Outline of shutdown plate at the upstream end of expanded metal

水深が変動することから、GC が水没せずに空气中にさらされる可能性が考えられる。そこで、水没の程度による熱交換特性への影響を把握した (Fig. 6)。水没条件として、完全水没、83%水没、67%水没、50%水没の4ケースとした。その他の条件として、流速 (10m/min)、GC 流量 (7.5, 15.0, 22.5, 30L/min)、冷房運転とした。

2.2.3 エキスパンドメタル設置特性

農業用水路には刈草、落葉や木片、ペットボトルや空き缶、ビニール袋、さらには土砂なども流下する。GC への流下物接触による損傷から保護するため、かつ撓みなく設置するために、エキスパンドメタル (JIS 記号: XS62, メッシュ寸法: 76.2×34mm, 板厚: 3.2mm, サイズ:

1219×2438mm, 材料: 鉄, メッキ仕上げ, 以下, EM と記述) と一体化する方法 (Fig. 7) を考案した。EM と GC は結束バンドを用いて一体化した。EM を片面設置 (細管を束ねる部材のある側 (隙間 1.5cm) とない側の2面), 両面設置 (Fig. 8), 設置なしの4ケースで, その他の条件は流速 (10m/min), GC 流量 (7.5, 15.0, 22.5, 30L/min), 冷房運転で熱交換特性を計測した。

2.2.4 側壁との間隔別特性

本報告では、農業用水路への設置方法として、流況への影響が少なく、流下物への対策を考慮すると、GC と EM を一体化して、さらに水路側壁に沿わせる方法を用いることとした (Fig. 9)。GC 両端のヘッダーの直径がφ60mm であることから、水路側壁と GC との間隔を、60mm, 110mm,

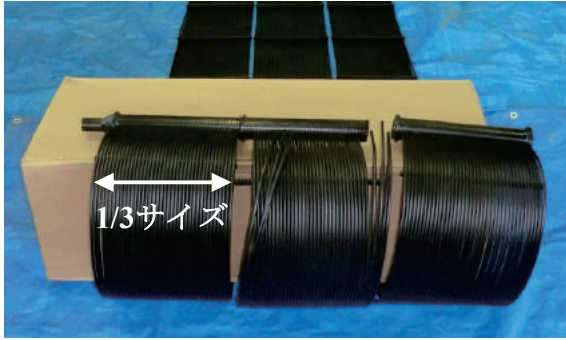


Fig. 12 1/3 サイズの GC
Outline of the 1/3 size sheet type heat exchanger



Fig. 13 1/3 EM 設置状況
Outline of the 1/3 size sheet along side wall

ととした (Fig. 9)。GC 両端のヘッダーの直径が $\phi 60\text{mm}$ であることから、水路側壁と GC との間隔を、60mm, 110mm, 160mm の 3 ケース設定した (Fig. 10)。また、EM 上流端は水路側壁に沿わせるために斜めに屈曲させており、流下物の付着が想定される。そこで、EM 上流端への遮断板 (Fig. 11) の設置の有無についても条件に加えた。

2.2.5 1/3 サイズ特性

GC を縦置き設置する場合には、完全に水没させるためには最低でも 1.20m の水深が必要となる。このため導入可能な水路は通水断面の大きな水路に限られることから、1/3 サイズを製作した (Fig. 12)。1/3 サイズの GC + EM を水路側壁に沿わせて設置した時 (GC と側壁の間隔: 45mm) の熱交換特性を計測した (Fig. 13)。流速 (6, 12, 18, 24, 30m/min), GC 流量 (5.0, 7.5, 10.0, 12.5L/min), 暖房および冷房運転で熱交換特性を計測した。1/3 サイズの実験では 2kW のヒートポンプ (EC007:FHP Manufacturing FL,USA) を使用した。

2.2.6 水路内流況

GC と EM を一体化し水路側壁に沿わせて設置した時の水路内流況を計測した (Fig. 9)。実験水路への供給流量には制限があり、高流速条件である 30.0 m/min を実現するために、実験水路は当初の幅 1.6m の中央に隔壁を設けて、幅 0.8m の水路に改造した。

GC と水路側壁の間隔を 3 ケース (60, 110, 160mm) 変

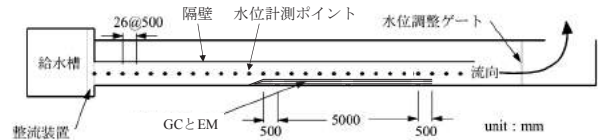


Fig. 14 水位計測位置 (平面図)
Plan view of water level measuring points

化させて、水路内水位変動を計測した。また EM 上流端の屈折部にゴミの付着を防止する目的で、流れを遮る遮断板を設けた場合についても同様に行った。流速は 4 ケース (12.0, 18.0, 22.5, 30.0 m/min) とし、水深は GC が全没する 1.30m とした。

水位計測は、上流水槽下端から、水路中央を 0.50m ピッチで、下流端ゲート地点まで計測した (Fig. 14)。水位の計測はポイントゲージを用いた。

2.2.7 ゴミ流下実験

GC と EM を一体化し水路側壁に沿わせて設置した時に (Fig. 9), 現場で想定されるゴミ付着の影響を把握する実験を行った。実験水路内に、右岸には GC と EM を、左岸には 1/3 サイズの GC と EM を側壁と平行に設置した。側壁と GC の間隔は 60mm とした。

水路内流速は 3 ケース (6, 18, 30m/min) とし、水深は GC と EM が全没する 1.30m とした。EM の上流端の遮断板は、ゴミの付着に大きく影響すると考え、設置の有無も比較した。

2.3 熱交換特性の評価方法

種々の流水条件、設置方法における GC の出入口温度等を計測した。計測値から、熱交換量、GC 内外温度差当たりの熱交換率、熱交換率を GC の投影面積で除した熱通過率を算出した。本報では、GC の熱交換特性として主に熱通過率を用いて評価する。

2.3.1 熱交換量

流水中に設置した GC の熱交換量 Q (kW) は、以下の式から算定した。

$$Q = \rho C V_{in} |T_{out} - T_{in}| \quad (1)$$

ここで、 ρ は GC を流れる熱媒の密度 (kg/cm^3), C は GC を流れる熱媒の比熱 ($\text{J}/\text{g}/\text{K}$), V_{in} は熱媒の流量 (m^3/s), T_{out} は GC の出口温度 (K), T_{in} は GC の入口温度 (K) である。

2.3.2 熱交換率

GC 1 枚について、水温と GC 内温度との温度差あたりの熱交換能力を示す値として熱交換率 Q_{er} (kW/K) を以下の式で定義した。

$$Q_{er} = Q / | (T_{out} - T_{in}) / \ln [(T_{\infty} - T_{in}) / (T_{\infty} - T_{out})] | \quad (2)$$

ここで、 T_{∞} はGCの上流0.9mに設置した熱電対で計測した水温(°C)である。式(2)の分母は、GC全体での熱媒温度と水温の温度差、すなわち対数平均温度差である。なお、本報の実験条件下では、熱媒の温度はGCに沿って指数関数的に変化し、GC周りの水温および熱伝達率が場所に関係なく一定とした。

2.3.3 熱通過率

GCの熱交換可能な投影面積当たりの熱交換率を熱通過率 Q_{tc} (kW/(K・m²))として以下の式から算定した。

$$Q_{tc} = Q_{er} / A \tag{4}$$

ここで、 A は熱交換可能な投影面積(m²)である。本報のGCは高さ0.9m×長さ5.6m×2(表裏)=10.08m²、1/3サイズでは高さ0.3m×長さ5.6m×2(表裏)=3.36m²である。

3 熱交換特性計測結果

3.1 中央縦置き設置

GCを流下方向と平行に水路中央に縦置きで設置し、流速10m/min、GC流量(15.0→22.5→30L/min)、水深1.30m(熱交換器完全水没)で12kWのヒートポンプで暖房および冷房運転を行った時のシステムの稼働状況を示す(Table 2)。

暖房運転時の水温は6.7~6.8°Cで、GC流量15.0L/minで開始すると、GCの入口温度は水路水温とほぼ同温の6.5°Cから-1.5°Cに、出口温度は6.4°Cから5.3°Cに、出入りの温度差は6.8°Cとなり、流水から採熱を開始した。この結果、ヒートポンプの吸込温度は室温の7.4°Cから8.2°Cへ、吹出温度は20.5°Cに上昇した。

バルブを操作してGC流量を15.0→22.5→30.0L/minに変更すると、GCの入口温度は-1.5°Cから0.8°Cに、出口温度は5.3°Cから4.5°Cになり、出入りの温度差は6.8→3.7°Cに低下した。ヒートポンプの吹出温度は20.5→21.6°Cに若干上昇した。

この間の熱交換特性は、熱交換量が6.69→6.99→7.35kW

と増加し、対数平均温度差は3.97→3.98→3.87°Cとほぼ変化せず、熱交換率は1.686→1.758→1.900 kW/K、熱通過率は0.167→0.174→0.188 kW/(K・m²)と増加した。

冷房運転時の水温は12.1~12.5°Cで、熱媒流量を15.0→22.5→30L/minと変化させる間の熱交換特性は、熱交換量が10.46→10.32→10.18kWと減少し、対数平均温度差は4.93→4.78→4.57°Cと減少し、熱交換率は2.120→2.162→2.221 kW/K、熱通過率は0.210→0.214→0.220 kW/(K・m²)と増加した。

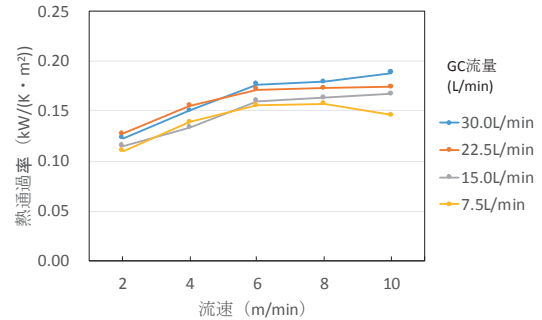


Fig. 15 流速およびGC流量と熱通過率の関係 (暖房運転)

Heat transfer coefficient versus flume velocity and flow rate of heat transfer liquid (heating operation)

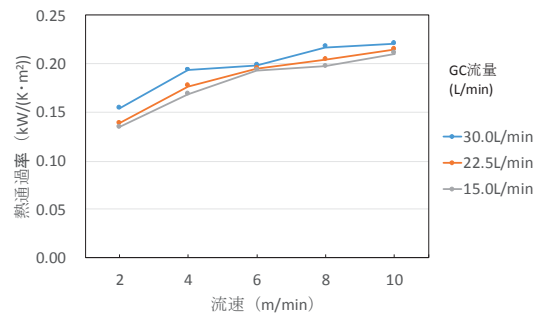


Fig. 16 流速およびGC流量と熱通過率の関係 (冷房運転)

Heat transfer coefficient versus flume velocity and flow rate of heat transfer liquid (cooling operation)

Table 2 実験システムの稼働状況
Operation situation of experiment system

	暖房運転 (水温:6.7-6.8°C)			冷房運転 (12.1-12.5°C)			
	L/min	15	22.5	30	15	22.5	30
GC入口温度	°C	6.5→-1.5	-1.5→0	0→0.8	32→24.4	24.5→21.6	21.4→20.1
GC出口温度	°C	6.4→5.3	5.3→4.8	4.8→4.5	12.6→13.7	13.8→14.6	14.6→15.0
GC出入温度差	°C	6.8	4.8	3.7	10.7	7.0	5.1
吸込温度	°C	8.2	8.6	8.8	13.8	13.7	13.7
吹出温度	°C	20.5	21	21.6	6.5	6.5	6.4
熱交換量	kW	6.69	6.99	7.35	10.46	10.32	10.18
対数平均温度差	K	3.97	3.98	3.87	4.93	4.78	4.57
熱交換率	kW/K	1.686	1.758	1.9	2.120	2.162	2.221
熱通過率	kW/(K・m ²)	0.167	0.174	0.188	0.210	0.214	0.220

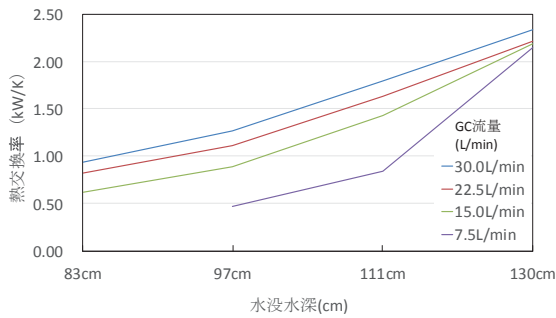


Fig. 17 水没水深およびGC流量と熱交換率の関係(冷房運転)

Heat transfer coefficient versus submergence depth and flow rate of heat transfer liquid (cooling operation)

GCを流下方向と平行に水路中央に縦置きで設置して、流速(2, 4, 6, 8, 10m/min), GC流量(7.5, 15.0, 22.5, 30L/min), 水深1.30m, 12kWヒートポンプで暖房および冷房運転とした時の熱通過率の結果をFig. 15, Fig. 16に示す。

暖房および冷房運転ともに、水路内流速の増加に伴って、熱通過率は増加している。一方で、GC流量が増加すると熱通過率も増加する傾向はあるが、熱通過率と流速ほどの関係性は見られない結果となった。

3.2 水没深別特性

GCを水路中央に縦置きで設置し、GCの水没状況と熱交換特性の関係を計測した。水没条件として、完全水没, 83%水没, 67%水没, 50%水没の4ケースとし、流速(10m/min), GC流量(7.5, 15.0, 22.5, 30L/min), 冷房運転で実施した。

実験期間を通じて、水路内水温は25~26°C, 室温は25~27°Cで推移し、冷房運転であることから熱交換器への入口温度は室温よりも10~30°C高い35~55°Cであった。GCの水没割合が減少するほど熱交換率が減少する結果となった(Fig. 17)。これは、水面上に露出する面積が大きくなるほど、水中に比べてGCから放熱が十分に行われなかったためといえる。なお、ここでは熱通過率ではなく、水温とGC内温度との温度差あたりの熱交換能力を示す値である熱交換率を用いた。

3.3 エキスパンドメタル設置特性

GCを水路中央に縦置きで設置し、EM設置と熱交換特性の関係を計測した。EMを片面設置(細管を束ねる部材のある側とない側の2面), 両面設置, 設置なし, その他の条件では流速(10m/min), GC流量(7.5, 15.0, 22.5, 30L/min), 冷房運転で熱交換特性を計測した。

計測結果から熱通過率を算定すると、GC流量30L/minではEMなし(0.255kW/(K・m²)) > 細管を束ねる部材のある側のみ設置(0.242kW/(K・m²)) > 両面設置(0.221kW/(K・m²)) ≒ 細管を束ねる部材のない側のみ設置(0.221kW/(K・m²)), の順になった(Fig. 18)。

細管を束ねる部材のない側ではEMが細管と密着しており流水との熱交換を阻害したのに対して、細管を束ねる部

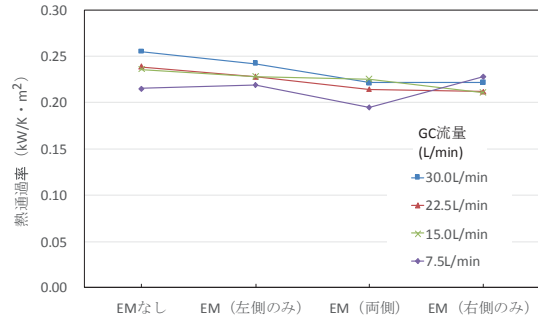


Fig. 18 EM設置状況と熱通過率の関係(冷房運転)

Heat transfer coefficient versus expanded metal installation methods (cooling operation)

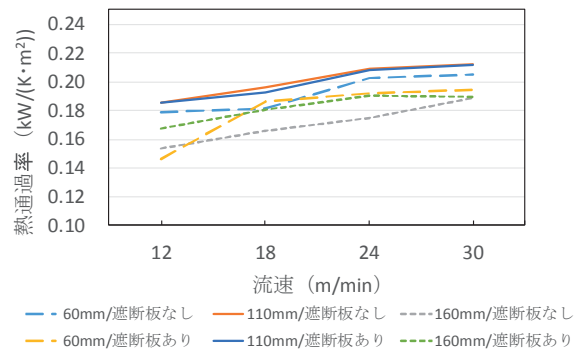


Fig. 19 側壁との設置間隔と熱交換率の関係(冷房運転)

Heat transfer coefficient versus gap between sheet and side wall (cooling operation)

材のある側では1.5cmの隙間があり、対流による熱伝達が行われたためと考えられる。そこで、以後の実験では、EMを細管を束ねる部材のある側に設置して実験を行った。

またEMを設置することにより熱通過率は約10%低下するものの、流速の影響よりは小さいことが明らかになった。

3.4 側壁との間隔別特性

GCとEMを一体化して、さらに水路側壁に沿わせて設置して、GCと側壁の間隔を3ケース, EM上流端の遮断板の有無の2ケースの条件で熱交換特性を計測した。流速(12, 18, 24, 30m/min), GC流量(7.5, 15.0, 22.5, 30L/min), 冷房運転で実施した。

熱通過率は流速の増加に伴って増加したが、GC流量が増加すると熱通過率も増加する傾向はあるものの、熱通過率と流速ほどの関係性は見られない結果となった。

GCと側壁の間隔と熱通過率の関係では、遮断板なしではいずれの流速でも熱通過率が110mm > 60mm > 160mmとなり、遮断板ありでは110mmで熱通過率が最も大きく、12m/minでは160mm > 60mm, 18~30m/minでは60mm > 160mmとなった。

GC流量30L/minでの熱通過率の計測結果をFig. 19に示

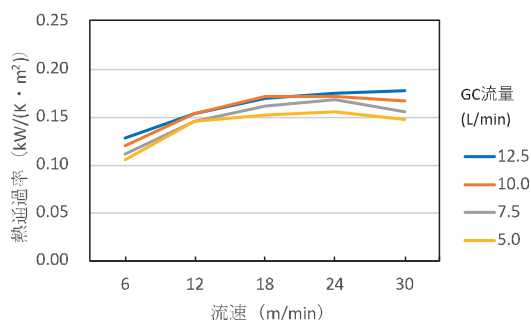


Fig. 20 1/3 サイズ GC の流速および GC 流量と熱通過率の関係 (暖房運転)

Heat transfer coefficient of 1/3 size sheet versus flume velocity and flow rate of heat transfer liquid (heating operation)

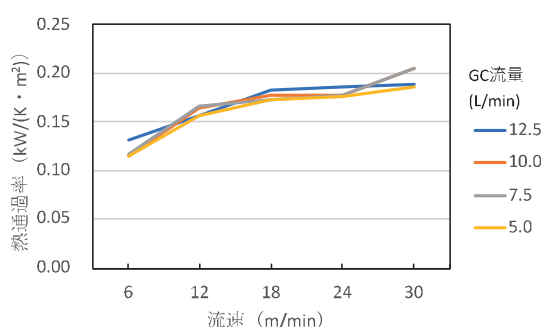


Fig. 21 1/3 サイズ GC の流速および GC 流量と熱通過率の関係 (冷房運転)

Heat transfer coefficient of 1/3 size sheet versus flume velocity and flow rate of heat transfer liquid (cooling operation)

す。農業用水路の流速域である 20m/min 以上では、間隔 110mm で遮断板有無ともに、熱通過率 $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 以上が計測された。

5 で述べるゴミ流下への対応を考えたときには、上流端遮断板ありが維持管理上からの選択となるが、熱通過率からでも遮断板なしとほぼ同程度であることから、間隔 110mm 程度で遮断板を付ける方法が実験結果からは適しているといえる。

3.5 1/3 サイズ特性

1/3 サイズの GC を EM と一体化させて水路側壁に沿わせて設置した時の熱交換特性を計測した。流速 (6, 12, 18, 24, 30m/min), GC 流量 (5.0, 7.5, 10.0, 12.5L/min), 暖房および冷房運転で熱交換特性を計測した。

熱通過率は、流速の増加に伴って増加したが、暖房運転では GC 流量の増加による影響も見られた (Fig. 20)。一方、冷房運転時は流速の増加に伴って増加したが、GC 流量の増加による熱通過率の増加は見られなかった (Fig. 21)。1/1 サイズの GC の熱通過率よりも小さな値となった。この要因としては、GC と側壁の間隔が 1/3 サイズでは 45mm と 1/1 サイズよりも狭かったため、熱交換が十分に行われなかったためと考えられる。

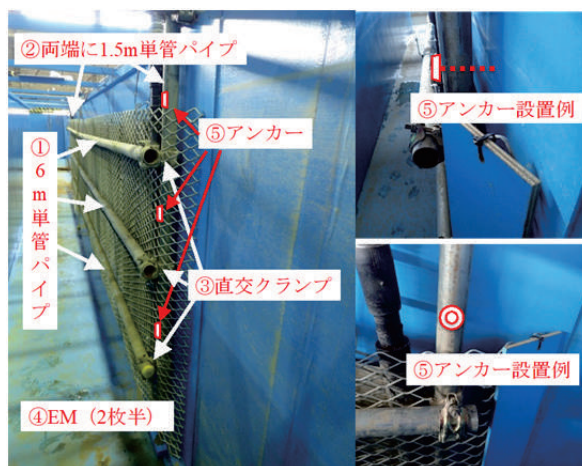


Fig. 22 EM と一体化した GC の設置方法
Outline of installation method of sheet type heat exchanger with expanded metal

Table 3 設置部材と材料費
Material and costs

部材名	数量	単価(円)	小計(円)
単管パイプ (6m)	3	3,400	10,200
単管パイプ (3m)	1	2,000	2,000
直交クランプ	6	170	1,020
EM	2.5	9,400	23,500
アンカー	10	300	3,000
結束バンド			1,000
合計			40,720

4 設置方法と水路内流況への影響

GC を農業用水路内に設置する場合に構造上求められる点は、水路内流況への影響が少なく、かつ流下物から GC が保護されることである。設置作業に際しては、部材の購入が容易な市販品であること、土地改良区など水路管理者自らが施工できることである。

4.1 設置方法

GC と EM を結束バンドで一体化し、GC 両端のヘッダーに単管パイプ ($\phi 48.6\text{mm}$, 厚さ 1.8mm) を、長辺方向に 6m 単管パイプ (3本) を直交クランプで固定した。EM を GC と一体化させ、水路側壁に沿うように設置し、側壁にはアンカーで固定する方法 (側壁と単管パイプに穴を開けて、側壁に打ち込みアンカーや締め付けアンカーを取り付け、単管パイプとボルト止めする) とした (Fig. 22)。上流端の EM は、流下物の流入を防止するために斜めに折り曲げて設置した。GC (高さ 0.9m × 長さ 5.6m) 1枚当たりの概算材料費は約 40,000 円で、GC の価格 (定価: 13 万円) の約 1/3 に収めることができた (Table 3)。

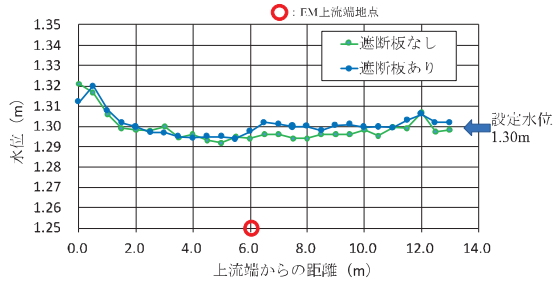


Fig. 23 水位計測結果
Result of water level

4.2 水路内流況への影響

Fig. 23 に、流速 30.0 m/min, GC と水路側壁の間隔 160mm の水位計測結果を示す。EM 設置直上流で水位低下, 直下流で水位上昇が観測された。設定した水位 1.30m に対して、水位変化は±1cm 以内であった。その他の実験条件においても、水路内水位の変動幅は、±1cm 以内で、GC と EM の設置による影響は小さいことが明らかになった。なお、水路最上流端の水位上昇は、給水槽出口に設置した整流板によって給水槽水位が上昇したためである。

5 ゴミ流下実験

農業用水路には多様なゴミが混入・流下しており、水路管理者に大きな負担となっている。流下物から GC を保護する目的で設置した EM は編み目形状であることからゴミ詰まりが想定される。そこで、実験水路にゴミを流下させて装置への付着状況を観測した。

5.1 実験方法

5.1.1 ゴミ流下方法

実験では、落葉、刈草、ビニール袋を流下させた。落葉は、桜などの広葉樹、唐松などの針葉樹、刈草はエノコログサなどを所内から調達し、室内で乾燥させた。広葉樹、針葉樹、刈草を 10L のポリバケツでそれぞれ 3 杯ずつ測った後、1m×1m×1m の水槽内で 12 時間以上水中に浸した (Fig. 24)。流下前に網で水分を切り、GC と EM の上流端から上流 5m 地点に投入した。ゴミは 5~6 回に分けて、2~3 分間で投入した。投入時には、モップを用いてゴミを水中に押し込むようにした。

5.1.2 ゴミ付着の観測方法

実験用水中にも落葉などのゴミが混入していることから、定量評価が難しいと判断し、ゴミ付着の状況の観測から評価した。ゴミ投入後、水路内をゴミが流下したのを確認後 (水路末端のスクリーンへのゴミ到着を確認)、通水停止、水路内の水を放流して、付着状況を観測した。

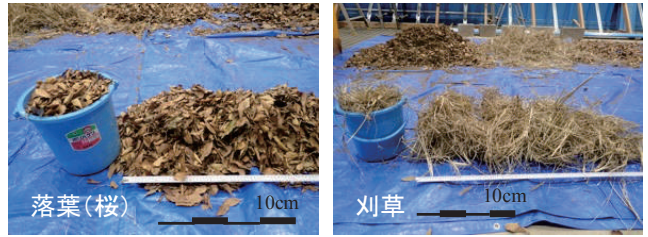


Fig. 24 ゴミ流下実験で用いた材料
Experimental materials of trash flow test

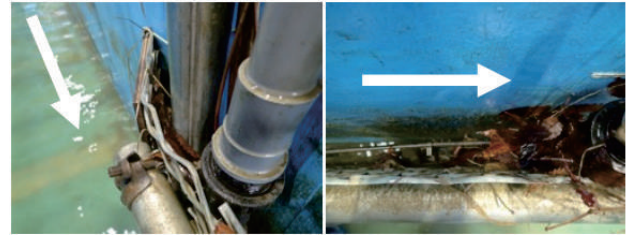


Fig. 25 1/3 サイズ熱交換器のゴミ付着状況
Condition of trash deposition of 1/3 size sheet

5.2 ゴミ流下実験結果

5.2.1 水路側壁と平行設置の場合

右岸の GC と EM 部分 (水路壁と平行部分) へのゴミ付着は、いずれの流速条件下でもわずかであった。単管パイプや EM の端部には特に刈草の付着が観測された。EM の上流端には遮断板が設置されておらず、30m/min の条件下ではゴミが EM に食い込んで堆積した。

一方、左岸の 1/3 サイズでは、いずれの流速条件下でも側壁と GC, EM の隙間にゴミの付着が観測された。上流端の遮断板を常時設置していたが、単管パイプと GC の隙間にゴミの付着が観測された (Fig. 25)。これは、1/3 サイズでは GC と EM が完全に水没して、側壁と GC の隙間からゴミが流入して堆積するためと考えられた。

右岸と左岸の上流端のゴミ付着状況の違いから、上流端の遮断板設置、および水路壁と GC の隙間への EM 設置の必要性が明らかになった。

5.2.2 水路側壁と角度を持たせた場合

水路側壁と平行して設置した場合は、流速条件にかかわらず EM へのゴミ付着がわずかだったことから、GC と EM を横断する流水条件下でのゴミ付着状況を観測した。

横断する流水条件は、GC と EM の上流端を固定し、下流端を水路中央方向に移動して、水路側壁と角度を持たせて設置することで発生させた。設置角度は、1°, 2°, 3°, 3.5° の 4 ケースとした。水路内の実験流速は 30m/min, 水深は全没する 1.30m, 遮断板は設置した (Fig. 26)。

設置角度 1° では、GC と EM へのゴミ付着は平行設置と同様の結果となった。

設置角度 2° では、GC と EM へのゴミ付着は少なく、水路底の EM のみの部分と上流端にゴミの付着が観測され

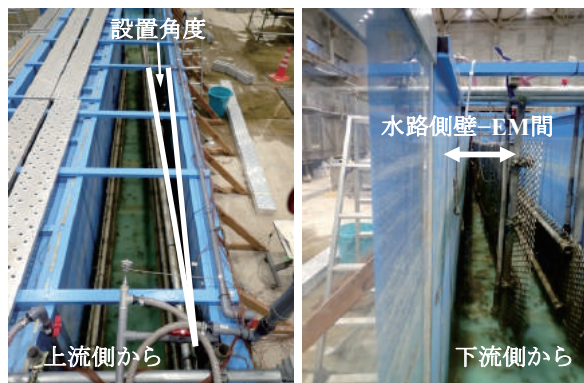


Fig. 26 EMの設置状況
Outline of expand metal



Fig. 27 EMのゴミ付着状況
Condition of trash deposition of expand metal

た (Fig.27)。

設置角度 3° では、上流端から 3m の GC 中央付近で、EM に食い込む落葉が観測された。

設置角度 3.5° では、GC と EM の隙間に食い込む落葉が観測され、設置角度 3° よりも多くのゴミの付着が観測された。さらに、水路底の EM のみの部分へのゴミの付着が設置角度 3° よりも多く観測された。

5.2.3 ゴミ流下実験のまとめ

ゴミ流下実験を通じて、以下の点が明らかになった。

- 1) 上流端の EM に設置する遮断板はゴミ付着防止の観点から有効である。
- 2) GC と EM が水没すると、GC と水路側壁の間にゴミが流入堆積する。対応策は、EM は水面よりも上部まで設けることである。
- 3) EM や単管パイプなどの突起部分、塩ビ管などの露出物には、特に刈草が付着しやすい。
- 4) 水路底の EM のみの部分は、EM を横切る流れによってゴミが付着する。
- 5) 設置角度を大きくすると、GC の中央部分より下部でゴミの付着が多くなる。

6 考察

6.1 地中設置との比較

流水中に設置した GC の熱交換特性を計測した結果、熱通過率の最大値で $0.255\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ が得られた。また、EM

と一体化させて、水路内流速が $24\text{m}/\text{min}$ 以上、水路側壁との間隔 110mm で遮断板のありなしともに、熱通過率 $0.20\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 以上が計測された。水路側壁に沿わせ、水路内流速が $20\text{m}/\text{min}$ 以下になると、熱通過率が $0.15\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 程度となり、最大値から約 40% 低下する結果となった。

一方で後藤ら (2018) は、本報告と同じ GC を地中に設置した場合の熱通過率は $0.017\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 、熱交換面積を広くするために採熱管を円形にして平板状に配管するスlinky式の熱通過率は $0.01\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ と報告している。なお、スlinky式の熱通過率の算定における熱交換可能な投影面積は、直径 $1\text{m}\times$ 長さ $36\text{m}\times 2$ (表裏) $= 72\text{m}^2$ としている。

水中設置と地中設置と比較すると、水路側壁に沿わせた低流速条件下でも約 10 倍の熱通過率が得られている。GC は $\phi 6\text{mm}$ (内径: 4.8mm) $\times 117$ 本で構成されており熱交換可能な表面積が広い上に、地中設置では熱交換器周辺に空隙が生じて土壌との熱伝達が低下するが、水中設置では GC 表面で流水との熱交換が絶えず行われることから高い熱交換性能が得られたと考えられる。

また、施工面からは、地中設置では GC の設置に重機が必要になるが、今回提案した流水路内への設置では GC の約半分の費用で設置部材を購入でき、水路管理者でも設置可能な方法であり、流水利用が有効であることが明らかになった。

6.2 GC の性能について

本報告の実験条件下、すなわち GC を水路中に縦置き設置、水路内流速 $10\text{m}/\text{min}$ 、冷房運転した時の最大の熱通過率として $0.255\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ が得られた。また、熱通過率は水路内流速の増加に伴って増加すること、GC 流量よりも流速の影響を受けることも明らかとなった。

実験施設の流量供給能力から、実際の農業用水路の流速条件である $30\text{m}/\text{min}$ 以上で GC を水路中央に縦置き設置で計測できなかったが、館野ら (2018) は、下水処理場や排水路など流速 $20\text{m}/\text{min}$ 以上の流水条件下で計測を行い、 $0.40\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 程度の熱通過率を得ている。

一方で、山本ら (2016) は本報告と同じ GC の熱交換特性について数値モデルにより流速 $10\text{m}/\text{min}$ までの性能評価を行っている。その後の研究で、流速が $20\text{m}/\text{min}$ までは熱交換率は流速の増加とともに増加するが、 $20\text{m}/\text{min}$ 以上の流速では熱交換率が増加しないことを明らかにしている (後藤ら, 2016)。

以上の計測結果から、本 GC の熱通過率の最大値は流速 $20\text{m}/\text{min}$ 以上の流水条件下で $0.40\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ となり、高い熱交換特性を有しているといえる。

6.3 農業用水路における GC の性能について

本報告では、農業用水路への GC の設置を想定して、種々の実験条件下で計測を行った。重視したのは、農業用水路には落葉や刈草などの浮遊性のゴミや木片、砂やレキなどの水路底を移動する流下物による損傷を如何に回避するかである。

そこで、入手が容易で、流下物への防御能力が見込まれる EM を GC と一体化させる方法で実験を行った。また、水路中央に設置することは維持管理上困難であることから、水路側壁に沿わせる設置方法とした。さらに、実際の農業用水路の流速条件である 30m/min で計測するために、実験水路幅を当初の半分の 0.8m に改造した。

以上の点を考慮した実験の結果、水路側壁との間隔 110mm、流速 30m/min で熱通過率は $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ が計測された。本報告では流速を断面平均流速としたが、GC+EM が通水断面を減じているので、水路中央側の流速は断面平均流速よりも速くなっていると考えられる。しかし、20m/min 以上の流速では熱交換性能の増加は少ないと考えられることから、EM と一体化させた GC の最大の熱通過率は $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ と考えられる。

実際の農業用水路への設置に際しては、側壁近傍の流速を実測して、Fig. 19 から利用可能な熱通過率を求めることが現実的である。

6.4 農業用水路への導入に際しての注意点

農業用水路への導入に際しては、水路管理者である土地改良区や水利組合に相談しなければならない。

ゴミ流下実験から側壁に沿うように設置し、EM の上流端に遮断板を設けることでゴミの付着はかなり防止できるが、ゴミの付着は確実に生じる。長期間の設置ではゴミの堆積、流下物による損傷の可能性は高くなる。土地改良区等の職員への労力や心理的負担を生じさせないことが重要で、設置者による管理が不可欠となる。

もう一点は、水利権の問題である。現状では、本報告のような装置の設置は未だないことから、水利権、すなわちかんがい以外の他目的使用に該当するか未定である。この点については行政部局への説明が必要で、水路管理者とも逐次連絡を取りながら実施していく必要がある。

また、GC の材質はポリエチレンで、耐水性、耐油性に優れ、水中での腐食がない。しかし、長期間の水中利用の経年劣化、たとえば紫外線、冬期の結氷などについての知見は十分に得られていないことから、定期的な点検等は必要である。

6.5 農業用水路における熱利用の展望

今回の研究から、流水条件下における GC の熱交換特性が地中埋設よりも優れていることが明らかになった。農業用水路は農村地域に線状に配置され、水熱源として広範囲で利用することができる。

都市化混住化の進展で、農業用水路には農業施設以外にも熱利用施設が隣接している。たとえば、戸建て住宅、集合住宅、コンビニエンスストア、商業施設などである。

これら需要先に農業用水からの水熱源を供給することによって、省エネ、CO₂ 排出削減、地域から流出するお金の削減などの効果が見込まれる。さらに、身近な熱源を確保することは、常時に限らず災害などの非常時のためには今後一層重要となると考える。

7 結言

本報告では、農業用水路を模した実規模水理模型にシート状熱交換器 (GC) を設置して、水理条件や設置方法の違いによる熱交換特性を計測した。熱交換特性は、GC の熱交換量を GC 内外温度差で除した熱交換率を算定し、熱交換率を GC の熱交換可能な投影面積で除した熱通過率で評価した。結果の概要を以下に示す。

1. 今回の流水条件下での GC の熱通過率は $0.255\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ で、土中設置の $0.017\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 、スリンキー式の $0.01\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ よりも高い性能を示した。

2. GC を流水中に設置してヒートポンプを暖房および冷房運転した結果、水路内流速の増加に伴って熱通過率が増加した。一方で、GC を循環させる熱媒の流量が増加すると熱通過率も増加する傾向はあるが、熱通過率と流速ほどの関係性は見られない結果となった。

3. 水路の流量は期別で変化することから、GC の水没状況と熱交換特性の関係を計測した。GC の水没割合が減少するほど、水中での熱交換量が減少し、熱交換率が減少する結果となった。

4. GC を設置した場合に流下物から保護するため、かつ撓みなく設置するために、EM と一体化する方法を考案した。設置費用は GC の約 1/3 程度で、水路管理者でも施工可能な方法とした。

5. EM と一体化することで、熱通過率は約 10% 低下するものの、水路内流速の影響よりは小さく、高い熱通過率が得られることが明らかになった。

6. 側壁との間隔が 110mm の時の熱通過率が最も大きく、上流端の遮断板はあり、なしともに、熱通過率 $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ 以上が計測された。

7. 1/3 サイズの GC の熱通過率は、水路内流速の増加に伴って増加したが、特に冷房運転時には熱媒流量の増加による熱通過率の増加は見られなかった。1/1 サイズの GC の熱通過率よりも小さな値となった。この要因としては、GC と側壁の間隔が 1/3 サイズでは 45mm と 1/1 サイズよりも狭かったため、熱交換が十分に行われなかったためと考えられる。

8. 水路内流速 30.0 m/min、GC と水路側壁の間隔 160mm の時、EM 設置直上流で水位低下、直下流で水位上昇が観測されたが、水位変化は $\pm 1\text{cm}$ 以内であった。

9. ゴミ流下実験の結果、GC と EM 部分へのゴミ付着は、いずれの流速条件下でもわずかであった。EM の上流端では、ゴミの堆積が観測され、遮断板の有効性が示された。

以上のように、流水条件下での GC は高い熱交換特性を示した。農業用水路など流水条件が利用可能地点では水熱源として有効活用できると考えられる。

本報告では GC 1 枚を水路側壁に沿うように設置した条件で行った。GC の水路への導入技術に関する課題としては、連続設置や幅広水路での設置、水路底への横置き設置、

落差工や吐水槽など乱流条件下、堆砂した場合など様々な条件下での熱交換特性を計測する必要がある。そして現地実証試験を通じた安全性、耐久性の検証も必要である。

さらに、GCの熱利用上の課題としては、農業施設等需要サイドの熱利用を考慮したシステム設計法、熱供給量や消費電力などを考慮した熱供給システムの性能評価、経済性の検討、施設管理者や行政部局などと具体的な地点への導入に向けた課題の抽出、水路に隣接する農業関係者以外への熱供給の検討などがあげられる。これら課題に取り組んでいくことで、農業用水路における熱利用が広まってくると考える。

謝辞：本報告は、NEDO委託事業「地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発」の一環として実施した。NEDO担当者、技術検討会委員には、貴重な助言をいただいた。また、ダム実験棟利用および実験水の利用にあたっては、農研機構農村工学研究部門の施設水理ユニットと本部企画調整部の観音台業務第3科に多大な協力をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- 古野伸典 (2016)：積雪寒冷地域における地下水熱源ヒートポンプの優位性と実践例，農業電化，**69** (増刊号)，6-11
- 後藤真宏，奥島里美，高杉真司，舘野正之，小間憲彦，木村繁男，小松信義 (2016)：流水中に設置したシート状熱交換器の熱交換特性，2016年度農業施設学会大会講演要旨，99-100
- 後藤真宏，奥島里美，三木昂史，高杉真司，舘野正之，小間憲彦，木村繁男，小松信義 (2018)：シート状熱交換器の設置方法の違いによる熱交換特性計測結果，日本地熱学会平成30年学術講演会講演要旨集，66
- 環境省水・大気環境局 (2017)：地中熱利用システム (パンフレット)
- 国土交通省 (2014)：平成26年版日本の水資源について，<http://www.mlit.go.jp/common/001049554.pdf> (閲覧日：2018年10月28日)
- 農研機構生物系特定産業技術研究支援センター農業機械化研究所 (2010)：平成22年度試験研究成績22-1農業機械における省エネルギー化と温室効果ガス抑制に関する研究成果と研究方向，19p.
- 農林水産省 (2016)：施設園芸を巡る情勢，http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/pdf/jyousei_all.pdf (閲覧日：2018年10月28日)
- 農林水産省農村振興局 (2014)：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」，48-49, 182
- 農林水産省農村振興局 (2018)：農業生産基盤の整備状況について，<http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h2903/attach/pdf/index-6.pdf> (閲覧日：2018年10月28日)
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2017)：地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発-施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発-，研究成果，**576**
- 岡澤立夫，田旗裕也，島地英夫，片岡真弓，沼田洋子 (2013)：省エネと周年栽培を目指した水熱源ヒートポンプシステム，東京都農林総合研究センター研究報告，**8**，1-10
- 奥島里美，石井雅久，森山英樹，岩田幸良，後藤真宏，佐瀬勘紀，舘野正之，高杉真司 (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，農村工学研究所技報，**218**，39-50
- 佐藤恵一，吉越恆，長崎裕司 (2018)：浅いため池底層水の夏季における冷熱源としての可能性，農研機構報告西日本農研，**18**，65-73
- 資源エネルギー庁 (2017)：日本のエネルギー，http://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2017.pdf (閲覧日：2018年10月28日)
- 舘野正之，高杉真司，小間憲彦 (2018)：平成26年度NEDO委託事業「地中熱・流水熱利用型クローズドシステムの技術開発」に関する平成30年度第1回技術検討委員会資料
- 山本淳司，木村繁男，小松信義，木綿隆弘，河野孝昭，後藤真宏 (2016)：数値モデルによる流水路内設置型熱交換器の性能評価，日本機械学会北陸信越支部第53期総会・講演会講演論文集，1313-1-1313-5

原稿受理 平成31年1月15日

Heat Exchange Performances of Sheet Type Heat Exchanger Submerged in Water Flow and Installation Method to an Agriculture Irrigation Canal

GOTO Masahiro*, OKUSHIMA Limi**, MIKI Takashi*, TAKASUGI Shinji***, TATENO Masayuki***, KOMA Norihiko***, KIMURA Shigeo**** and KOMATSU Nobuyoshi*****

*Renewable Energy and Resources Unit, Division of Regional Resources Engineering

**Controlled Environment Agriculture Unit, Division of Agriculture Environment Engineering

***GeoSystem co.

**** Komatsu University

***** Kanazawa University

Abstract

The sheet type heat exchanger was set in the full-scale hydraulic model in imitation of an agriculture irrigation canal and the experimental data of heat exchange performances were collected under the different conditions of hydraulic and installation methods. The heat exchange performances were evaluated by heat transfer coefficient that divided a square measure of a heat exchange capable by the heat transfer coefficient, which is an amount of heat transfer between the heat transfer liquid and the surrounding water flow, per a unit temperature difference between them and per a unit area of heat exchanger. The maximal heat transfer coefficient in water flow showed $0.255\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. The performance was higher than $0.017\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ of the same exchanger installed underground and $0.01\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ of slinky-type heat exchanger installed underground. The heat transfer coefficient was increased with increase in the speed in water flow, and there was little influence by the increase in heat transfer liquid. Sheet type heat exchanger integrated with reticulated expanded metal was devised to prevent the damage from trash and the sheet from being deflected. A high heat transfer coefficient was provided by being unified with sheet type heat exchanger integrated with reticulated expanded metal although it decreased by approximately 10%. The heat transfer coefficient on 110mm gap between sheet and side wall was the biggest and more than heat transfer coefficient $0.21\text{kW}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ were measured. The blocking board installed at the edge of upper reaches of the expanded metals was effective from the viewpoint of prevention of trash adhesion.

Key words: Sheet type heat exchanger, Water-source heat pump, Irrigation canal, Hydraulic model test