

# 地下水熱を空調に利用するための 樹脂製細管熱交換器内蔵タンク式地中熱交換器の 有効性の検証結果について

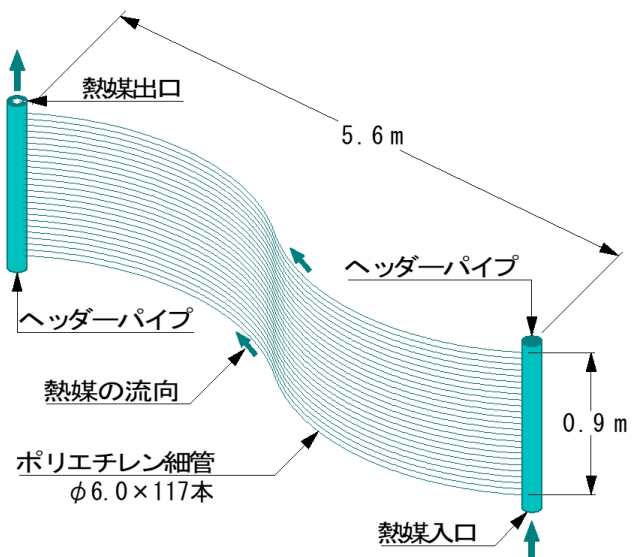
舘野 正之<sup>1)</sup>・高杉 真司<sup>1)</sup>・内田 洋平<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

地盤温度の恒常性を利用する地中熱ヒートポンプ(以下、地中熱 HP)は、従来の空気を熱源とするエアコンに比べて省エネ性が高いため、地球温暖化抑制に資するシステムとして普及が進みつつあります。地盤から熱を得る方法の違いで、大きくは“クローズドループ”と“オープンループ”システムに分けられます。前者は地盤に熱交換器を埋め込む方式で、設置地盤条件の制約が小さいものの、井戸の施工費用が高いために、その普及速度は鈍い状況にあります。これに対して、後者は、汲み上げた地下水を熱源として利用する方式で、透水性の良い帯水層がある地域では設置コストが安価であるため、導入しやすいシステムです。ただし、地下水が酸性や塩素イオンが高いなどの化学性状の場合は熱交換器の腐食が生じ、溶存成分が多い場合は鉄やカルシウムスケールが発生し、熱交換器のメンテナンス費用が増大します。また、揚水ポンプの電力がクローズドループよりも大きくなるなどの課題もあります。そこで、産総研「被災地企業のシーズ支援プログラム」の一環として、これらの課題に対応するために高効率で設置費を安くできる地中熱 HP システムとして樹脂製細管熱交換器の一つである G-カーペットを内蔵したタンク式熱交換器を開発し、その性能向上を検討してきました。本稿ではその結果の概要を報告します。なお、本事業では、福島県川内村の協力を得て、いわなの郷宿泊用コテージに実験システムを設置し、熱交換器性能の確認や制御方法の最適化などを実施しました。なお、検討の過程で、村内に広く分布する花崗岩内には十分な地下水が流れている亀裂があり、クローズド、オープンいずれの方式にも適した地域であることがわかりました。

## 2. G-カーペットを内蔵したタンク式地中熱交換器を使用した HP システム

G-カーペットは外径 6 mm の高密度ポリエチレン管 117 本をヘッダー管に融着接続した柔軟性のあるシート状の樹脂製細管熱交換器です(第 1 図)。この G-カーペットをタンク内に渦巻状に丸めてタンク式熱交換器として利用します。約 10℃の地下水をタンク内下部に注水し、オーバーフローする間に、G-カーペット内を循環する不凍液と熱交換します。地下水の供給量は循環させている不凍液の HP 入口温度を指標としてバルブで自動制御しています。また、熱交換を促進するために送風機を使ってタンク底付近の水中に加圧空気を吹き込むエアージェクションを行い、水を攪拌しています(第 2 図)。このタンク式熱交換器は地中に埋設し、冬季の停止時の凍結防止をしています(写真 1)。

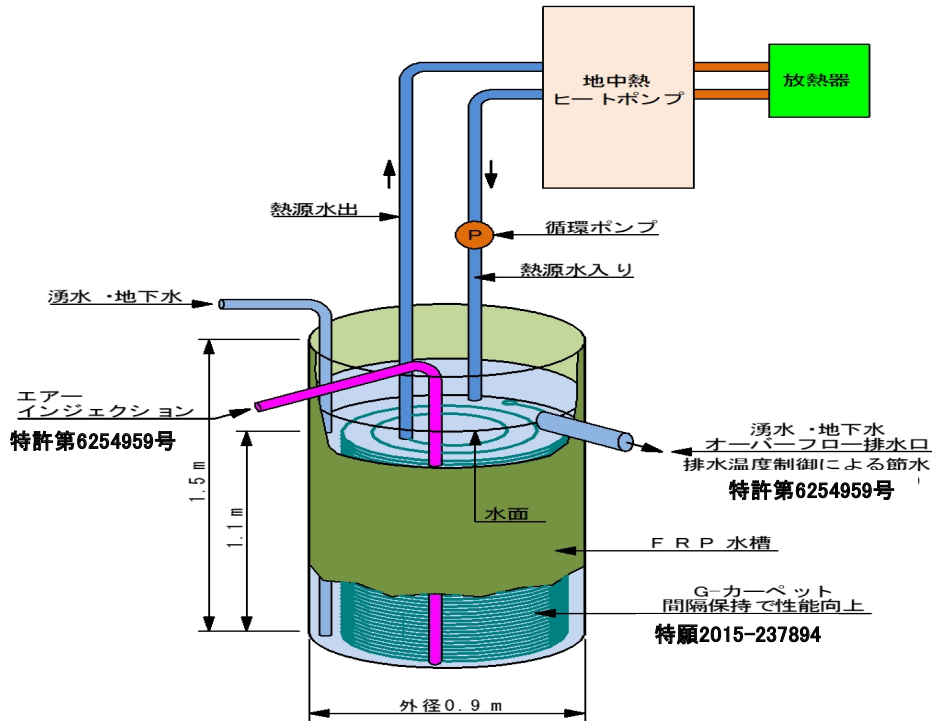


第 1 図 樹脂製細管熱交換器 (G-カーペット)

1) ジオシステム株式会社

2) 産総研 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：地下水熱、タンク式地中熱交換器、制御最適化、ヒートポンプ



第2図 G-カーペットを内蔵したタンク式地中熱交換器

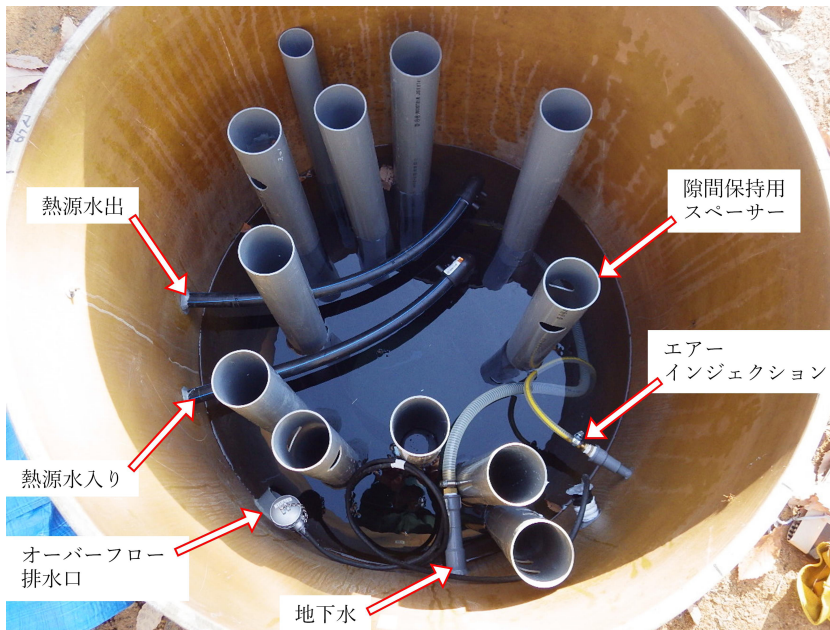


写真1 地中に埋設したタンク式熱交換器 (水面はGL-0.7 m)

地中熱 HP には、コロナ地中熱ハイブリッド冷温水システムの地中熱ユニット (加温能力 6 kW, 冷却 3 kW) を使用し、室内には、壁掛けファンコイルユニット (FCU) と床置き FCU をそれぞれ 1 台取り付けています (写真 2)。また、平成 29 年度には、空気熱源 HP も使用し、ハイブリッドシステムとしての検証も行いました。

### 3. タンク式熱交換器とプレート式熱交換器を用いた比較

一般に、流体間の熱交換には、プレート式熱交換器が利用されています。プレート式は、積層させた金属板を挟んで隣り合った隙間に一次側と二次側流体を交互に流動させて熱交換を行います。プレート式とタンク式の特徴を第 1 表に示します。地下水熱を利用する場合の熱交換特性など

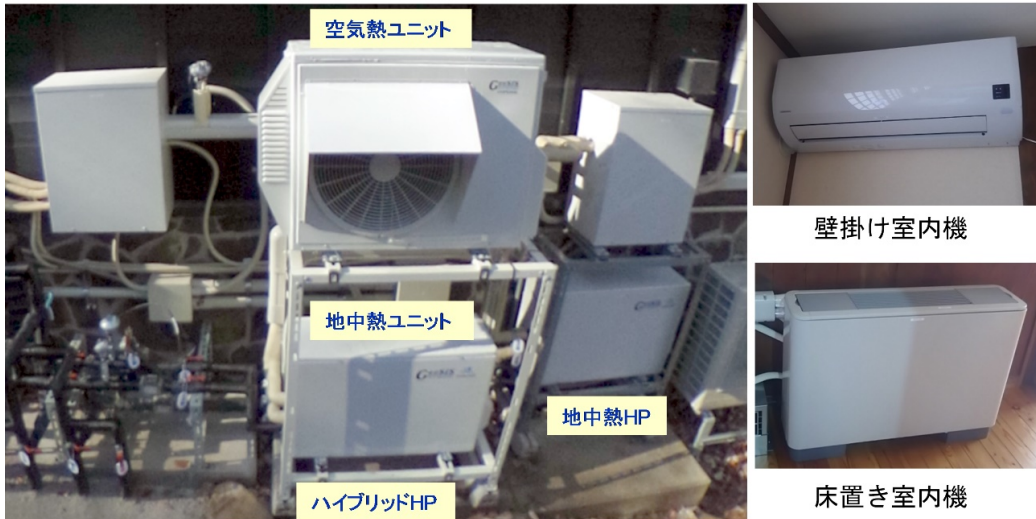


写真2 使用した HP と室内機

第1表 タンク式熱交換器とプレート式熱交換器の特徴比較

種類	材質	一般的な特徴
プレート式熱交換器	SUS, チタン等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・薄肉金属板を積層し、一次側と二次側流体を交互に流動させて熱交換する。</li> <li>・コンパクトで熱交換性能が高い。</li> <li>・100°C以上の耐熱性がある。</li> <li>・ゴミ、スケールなどにより目詰まりし易いので、前段にフィルターが必須。</li> <li>・分解清掃、交換用ガスケットなどが高価。</li> </ul>
タンク式熱交換器 (G-カーペット内蔵)	ポリエチレン樹脂	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的大きい。</li> <li>・耐熱 60°C。</li> <li>・ゴミ、スケールなどへの耐性がある。</li> <li>・清掃は比較的簡単。</li> </ul>

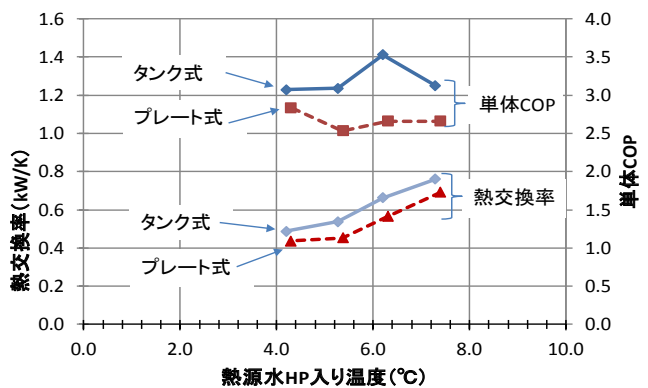
を比較するために、暖房期間中に HP に入る熱源水温度の設定値を変化させるとともに、熱源水温度を一定にするための地下水供給の制御方法などを変化させて、その応答を測定しました。なお、地下水供給制御方法としては、熱交換により変化する熱源水温度と設定値の差および変化率を指標としてバルブ開度を変化させて地下水供給流量を連続的に増減させる PID 制御を基本として、タンク式のみ、地下水供給をバルブの開閉により制御する ON/OFF 制御の二種類について比較しました。比較実験の結果は以下の通りです。

①タンク式とプレート式の性能比較

熱交換率はタンク式が約 15% 高いとともに、HP の単体 COP (Coefficient Of Performance) が約 20% 高い結果となりました(第3図)。なお、COP とは、冷暖房に必要な熱量とそれを HP で作り出すために使用する電力の比のことで、成績係数とも呼ばれます。一般に COP は 2.5 以上で省エネになります。

②地下水制御方法 (PID または ON/OFF) の検討

プレート式はシステムの保有水量が少なく熱容量が小さ



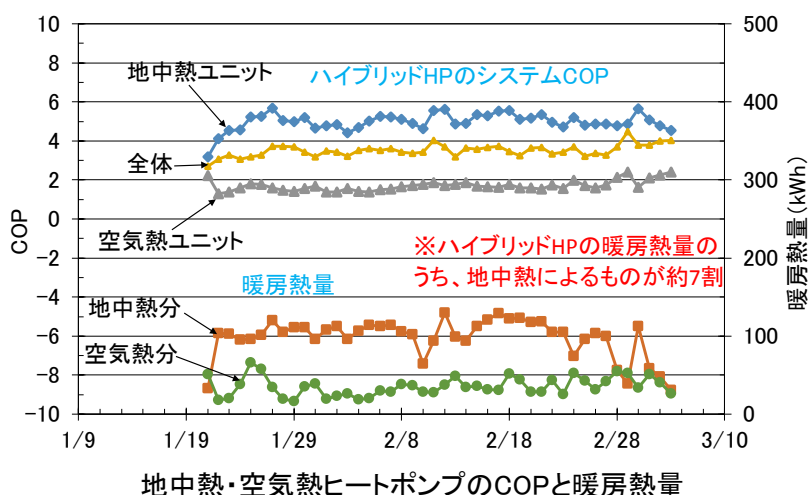
第3図 タンク式とプレート式の熱交換特性比較結果

いために安定した制御ができず、ON/OFF 制御は採用できませんでした。一方、タンク式では保有水量が多く、温度変化が緩やかなため ON/OFF 制御でも安定した制御ができることが確認されました。

③凍結耐用性の確認

プレート式では電気ヒーターにより凍結防止が必要であるが、タンク式はタンク内水面が地下 70 cm になるよう





第4図 ハイブリッド HP の COP の実測データ

埋設することによりヒーターを使わずに凍結防止ができました。

#### ④タンク式のエアレーションによる攪拌の効果

エアレーションの実施により、熱交換能力が40%程度向上することを確認しました。

今回の比較の結果では、一般に高性能と言われるプレート式よりもタンク式の方が高い熱交換率となりました。また、使用したプレート式の仕様での熱交換率は2 kW/Kでしたが、実験で得られた値は0.7 kW/K以下で仕様を下回る値でした。また、設定温度が低いほど熱交換率も低くなる傾向にありました。この原因としては、プレート式に流れる地下水流量が仕様の20 L/minよりも少ないことが考えられます。設定温度に応じて地下水流量を増減させる制御をしていますが、実験期間中の暖房負荷は定格よりも低かったために、プレート式の地下水流量は10 L/min以下がほとんどでした。これにより熱交換率が低くなったと考えられます。地下水を無駄にしないために地下水流量を制御したことで、熱交換器の性能を低下させることになったと考えられます。一方、タンク式については、ON/OFF制御では、暖房負荷が大きいときには地下水供給が最大流量で行われやすく、さらに低負荷時にも空気での水の攪拌により熱交換率を比較的高くできたと考えられます。以上の通り、両熱交換器の使用について、それぞれの特性に応じた流量設定、制御方法を採用することが重要ということを明らかにしました。

#### 4. タンク式とボアホール式ハイブリッド HP の比較

地下水を利用した地中熱 HP システムは、クローズドループシステムと比較して設置コストを低く抑えられるも

の、地域によっては揚水制限以上の水量が必要になってしまうことがあります。そこで、負荷が大きくなる場合には空気熱源 HP を使用するハイブリッドシステム(地中熱6 kW + 空気熱5 kW = 11 kW)について実験を行い、最適な利用方法について検討しました。この結果、第4図に示すように、ハイブリッドシステムは、雪が降るような低温環境下では、空気熱源ユニットのCOPが低くなるものの、地中熱ユニットの高いCOPと組み合わせれば、十分省エネとなることを確認できました。最終的に、タンク式熱交換器を使用した地中熱と空気熱源 HP の組み合わせが、最も効率的なシステムになると考えられました。

#### 5. おわりに

本事業では、G-カーペット内蔵タンク式熱交換器の特性を確認し、それを利用した地下水利用 HP システムの特性を評価して、ハイブリッド HP での利用により高度化が図れることを確認できました。特に、一般的には高効率であるプレート式でも利用条件では、仕様通りの性能を発揮できないことがありタンク式の方が高い性能を示すことを確認できました。なお、地下水熱交換器としての課題である耐食性やスケールや汚れに対するメンテナンスについては、実験地の地下水がきれいであったために検討できませんでしたので、他のプロジェクトにおいて検討を続けていますので、今後、まとめ次第報告したいと考えています。

TATENO Masayuki, TAKASUGI Shinji and UCHIDA Yohei (2019) Verification result of effectiveness of tank type heat exchanger with plastic capillary tube heat exchanger for using groundwater heat for air conditioning.

(受付：2019年3月6日)