

補助事業番号 2023M-403

補助事業名 2023年度ボアホールを不要とする水冷併用型直接膨張方式地中熱ヒートポンプの実証試験補助事業

補助事業者名 山梨大学大学院・教授・武田哲明

1 研究の概要

本事業では、地中熱ヒートポンプの実用化に向けて、最も重要で解決すべき残された課題である地中熱交換器の施工設置に係るコストの削減に寄与することを目的として、これまでに開発した直接膨張方式地中熱ヒートポンプに対して、ボアホールや鋼管杭を不要とする地中熱交換器を開発した。これにより、地中熱交換器の高性能化、長期間の高負荷運転時における地中からの限界採放熱量を把握し、採放熱量が限界となった場合の水冷方式によるバックアップシステムを開発した。さらに、これまでに整備した地中熱利用ポテンシャルマップを考慮した設計手法を構築した。具体的には、ボアホールや鋼管杭を不要とする地中熱交換器を接続した直接膨張方式地中熱ヒートポンプの設計製作を実施した。実証試験では長期間の高負荷連続運転時の空調・給湯性能と地盤温度変化の把握、並びに地中熱ポテンシャルマップを活用した設計手法の確立を夏期、冬期、中間期における実験的検証を実施した。

2 研究の目的と背景

地中熱ヒートポンプは、夏は気温より低く、冬は気温より高い地中温度を利用することから、省エネ性に優れている。特に冷媒を直接地中で循環させることにより性能を向上した直接膨張方式地中熱ヒートポンプは、ボアホール長の短縮が可能であるものの、やはりボアホールの掘削コストは一定程度削減することができない。そこで、ボアホールを利用することなく、地中熱交換器が設置できれば、当該システムの導入コストを大幅に削減できる。残された社会的課題は、高負荷運転時の空調性能を確保し、経済的に有利であることを実証する試験が必要である。

本補助事業により開発した地表から10~30m以内の浅層地中熱を利用する直接膨張方式ヒートポンプは、温泉施設などの給湯設備、農業ハウスの暖房設備などへの導入が適切であり、本提案であるボアホールを不要とする地中熱ヒートポンプでは、さらに出力の小さい戸建て・集合住宅、小規模店舗での空調・給湯設備への導入を目指す。特に高負荷で長期間運転する場合の空調・給湯性能を調べて、優れた省エネ性能を実証し、導入・運転コストを低減することで、一次エネルギー使用量・CO2排出量を大幅に削減する空調・給湯機器の実用化を目指す。

地中熱ヒートポンプの実用化に向けて残された課題は、地中熱交換器の施工設置に係るコスト削減が最も重要で解決すべき課題である。そこで、これまでに開発した地中熱ヒートポンプにボアホールや鋼管杭を不要とする地中熱交換器を開発することが直接の目的である。このため、地中熱交換器の高性能化、長期間の高負荷運転時における地中からの限界採放熱量を把握し、採放熱量が限界となった場合の水冷方式によるバックアップシステムを開発する。さらに、これまでに整備した地中熱利用ポテンシャルマップを考慮した設計手法を構築する。

3 研究内容 URL: <https://groundheat.jp/research/index.html>

初年度はこれまでに開発した水平埋設型直接膨張方式地中熱ヒートポンプを用いて高負荷連続運転を行い、機器の性能を明らかにした。具体的には①高負荷連続運転と長期連続運転実験、②垂直埋設型熱交換器の設計製作、③地中熱交換器からの採放熱量解析をまとめた。また、次年度は長期間にわたる高負荷連続運転時に地中熱交換器内の冷媒温度、圧力、流量、冷却水温度と流量を計測し、④改良型熱交換器による連続運転実験、⑤水冷併用型システムの数値解析及び⑥実証試験、⑦地中熱ポテンシャルによる設計方針について実施・検討を進め、地中熱交換器における採放熱量を求め、性能を評価した。

図1に示すような水平埋設型地中熱交換器を用いて、浅層地中熱利用型直接膨張方式地中熱ヒートポンプの暖房運転性能を調べた。実施した暖房運転実験結果を図2に示す。

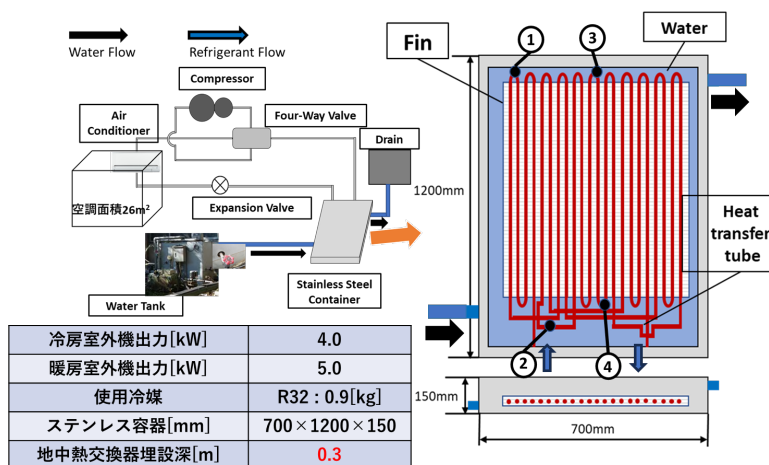


図1 水平埋設型地中熱交換器を用いた直接膨張方式地中熱ヒートポンプ

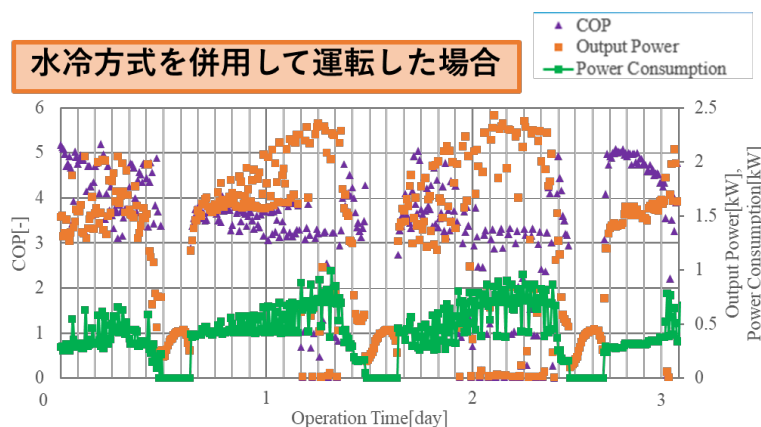


図2 暖房運転実験結果の一例(紫▲がCOPであり3以上である)

さらに、図3に示すような垂直埋設型地中熱交換器を製作し、暖房運転を行った。実験装置の概略を図3に、試作した垂直埋設型地中熱交換器を図4に示す。この地中熱交換器を用いて、実験を行った。水冷方式を併用しない実験結果は以下の通りである。実験開始から1時間50分経過後に熱交換器内水温が 3℃を下回ったことを確認して運転を停止した。運転中の平均COPは 2.51、平均取得熱量は3.5kW、平均消費電力は1.39kWとなった。昼間の気温が上昇する時間帯

の運転においても運転開始2時間後には容器内温度が15℃以上低下したことから、冬季に凍結を防ぎつつ運転させるには水冷方式を併用する必要がある。

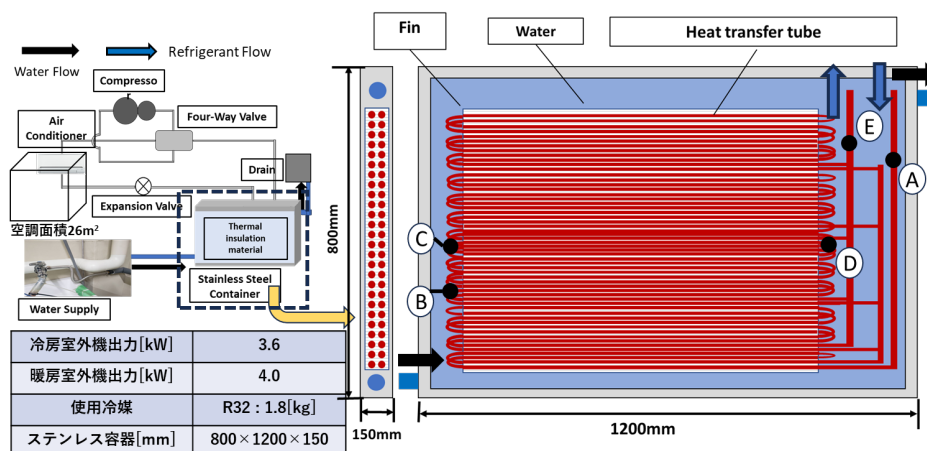


図3 垂直埋設型地中熱交換器を用いた直接膨張方式地中熱ヒートポンプ

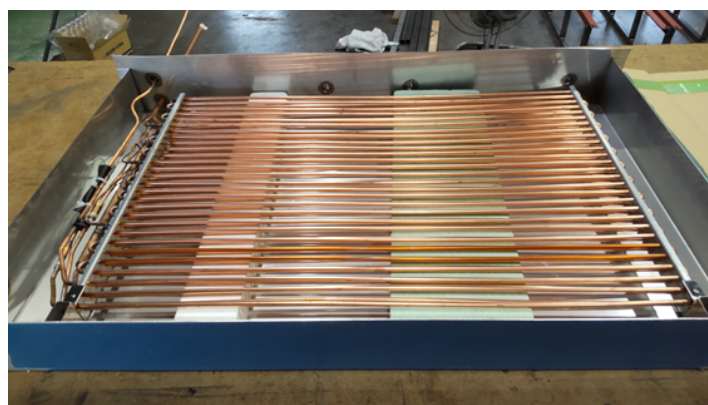


図4 試作した垂直埋設型地中熱交換器

水冷方式を併用した場合の実験結果は以下の通りである。実験開始から終了まで15L/minで注水しながら暖房運転を行った際の平均COPは2.69、平均取得熱量は3.41kW、平均消費電力は1.27kWであった。15L/minで注水したにもかかわらず、空気熱ヒートポンプの定格COPよりも低い値となった。これは室内機の風量を一定としていたことで、取得熱量が減少し、COPが低下した可能性がある。また、実験開始から1時間程度で下部水温が6℃程度まで低下していることから水冷方式を併用しても、熱交換器内下部の水温が低下する可能性が高い。続いて容器内水温が3℃を下回った場合に、水温が7℃を上回るまでの期間15L/minで注水した場合の実験結果は以下の通りである。運転中の平均COPは2.63、平均取得熱量は2.82kW、平均消費電力は1.07kWであった。注水弁を制御して注水停止あるいは注水量を減少させても、COPを低下させることなく運転を維持できる可能性があると考えられる。また、容器内水温の結果から、下部水温は注水の影響を大きく受け、上部水温は外気温の影響を大きく受けていると推測できる。

浅層部に埋設した地中熱交換器内に挿入した銅管のフィンの有無による暖房性能を求めて熱交換器内の凍結の状況を調べた結果は以下の通りである。水冷容器内に空気熱ヒートポンプに

使用する従来型熱交換器を挿入した場合の地中熱ヒートポンプの実験結果は、平均COPは3.77、平均取得熱量は1.11kW、平均消費電力は0.30kWであった。水冷容器内に銅管のみを挿入した場合の地中熱ヒートポンプの実験結果は、平均COPは4.23、平均取得熱量は1.63kW、平均消費電力は0.38kWであった。銅管周りのフィンを取り除くことにより、拡大伝熱面の効果は小さくなったものの、銅管周りの水の凍結が起こりにくくなったことにより水からの採熱量が増大したが、容器内の凍結を防ぐためには注水量を増大することが必要であると考えられる。

○ボアホールを不要とする水冷併用型直接膨張方式地中熱ヒートポンプの実証試験

<http://www.groundheat.jp>

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

産業界においては、従来型の間接方式地中熱ヒートポンプは実用化の段階にあり、今後コストダウン技術の開発が進められると思われるが、今回の補助事業により開発した直接膨張方式地中熱ヒートポンプについては、従来型の地中熱ヒートポンプやエコキュートの代替システムとして、特に住宅や小規模オフィス、及び農業ハウス用の冷暖房空調及び給湯システムへの導入が期待され、実際に実証試験等を進めるとともに、実装に向けて更なるコストダウン技術の開発が進められるものと思われる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

現在、政府からの補助金等が認められている地中熱ヒートポンプは、ヒートポンプの室外機において代替フロン冷媒の熱を一旦、水や不凍液と熱交換させて、その熱を地中と採放熱させる間接方式に限られている。したがって、冷媒を直接地中に導入して採放熱させる直接膨張方式は、優れた省エネ性能、設備コストの削減が期待されているが、補助金の対象として認められていない。そこで、実用化への取り組みとして、本研究開発を位置づけている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

山梨講演会2023講演論文集(2023.11.25, オンライン開催)A31

日本機械学会熱工学コンファレンス2023講演論文集(2023.10.14-15, 神戸大学)B113

日本機械学会熱工学コンファレンス2023講演論文集(2023.10.14-15, 神戸大学)B114

2024年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集(2024.9.4-6, 福岡)B312

山梨講演会2024(2024.10.26,山梨大学)特別講演

山梨講演会2024講演論文集(2024.10.26,山梨大学)B13

山梨講演会2024講演論文集(2024.10.26,山梨大学)B32

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

特になし。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
特になし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 山梨大学大学院総合研究部（ヤマナシダイガク ソウゴウケンキュウブ）

住 所： 〒400-8511

山梨県甲府市武田四丁目3-11

担 当 者： 名誉教授 武田哲明(タケダテツアキ)

担 当 部 署： グラウンドヒート代表 武田哲明

E - m a i l: ttakeda@yamanashi.ac.jp

U R L: <http://www.groundheat.jp>