

地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの開発に関する研究 (その5) SCW方式の冷暖房性能実験

Study on Development of Water and Air Multi-source Heat Pump System Using Groundwater Circulatory Wells

(Part 5) Heating and Cooling Experiments Using a Standing Column Well System

正会員 ○三輪 義博 (東邦地水) 学生会員 南 有鎮 (東京大学大学院)

正会員 大岡 龍三 (東京大学生研) 正会員 奥村 建夫 (東邦地水)

正会員 柴 芳郎 (ゼネラルヒートポンプ工業) 正会員 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業)

Yoshihiro MIWA^{*1} Yujin NAM^{*2} Ryozo OOKA^{*3} Tateo OKUMURA^{*1} Yoshiro SHIBA^{*4} Koji TANIFUJI^{*4}

^{*1}Toho Chisui Co.,Ltd. ^{*2}Graduate Student, The Univ. of Tokyo

^{*3}IIS, The Univ. of Tokyo ^{*4}Zeneral Heatpump Industry Co.,Ltd.

This research has developed a GWHP system that employs a hybrid heat pump system with groundwater wells using multi heat source, groundwater and air source. This paper describes about real-scale experiments using a standing column well (SCW). The heating and cooling experiments have been conducted at Nagoya site where the groundwater level is 4 m depth and the quality of groundwater is not good. The SCW has two screens which divided by a packer and the system can automatically switch the positions of pumping and returning. The coefficient of performance (COP) of heat pump and system was calculated by the temperature of groundwater and the pumping rate. In the results, system COP of cooling was 6.5 and it of heating was 3.6.

はじめに

年間を通し、ほぼ一定した温度を維持する地下水を空調の熱源として利用する地下水利用空調システムは、優れた省エネ性能と自然エネルギーの有効な利用方法として注目を浴びている。しかし、都市部の揚水制限や認識不足のため普及が進んでないのが現状である。一方、地下水利用空調システムは、中間期の外気温度によっては従来の空冷システムよりシステム性能が不利な場合もある。また、地中への採・放熱によって地中温度が変化するため、建物全体の冷暖房負荷を全て賄うことは困難である場合が多いことから空冷システムとの併用が有効とされる。そこで本研究では、空調熱源として外気と地下水を併用し、外気温度条件によって空冷/水冷の切り替えを行う空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの開発を行った。前報では、開発システムの概要¹⁾および年間性能計算²⁾、熱利用井戸の設計手法³⁾について述べた。また、井戸2本方式を用いたシステム(千葉サイト)について、実証実験による冷暖房性能検討⁴⁾を行った。

本報では、名古屋サイトにおいて、井戸1本の上下で地下水の揚水と還元を行う、SCW (Standing Column Well) 方式を用いたシステムの冷暖房実験結果について報告を行う。

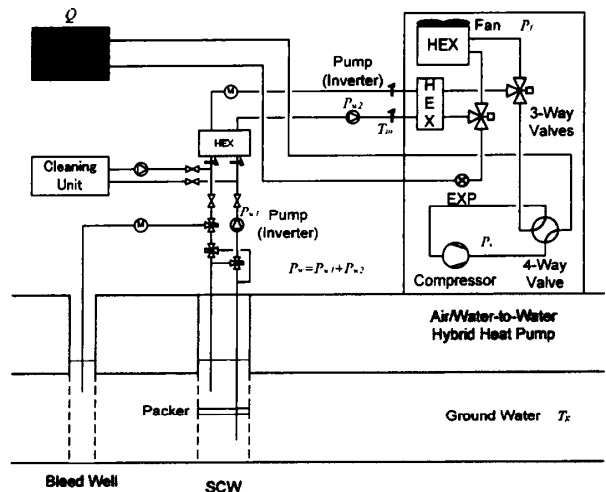


図1 名古屋サイトのシステム系統図

1. 実験概要

1.1 実験装置の概要

井戸1本で揚水と還元を行うSCW方式の冷暖房性能の検討を図1のシステムにより行った。写真1と写真2は実験装置および配管の設置状況である。名古屋サイトの地下水は比較的浅い被圧水層であり、水質が悪く直接ヒートポンプ内の熱交換器を通すことが困難な状態であっ



写真1 実験装置の設置状況

(空水冷ヒートポンプ(左)および地下水-熱源水熱交換器(右))



写真2 配管の設置状況

(試験井上部(左)および切り替え回路(右))

た。水質検査の結果でも、冷凍空調機器用水質ガイドライン(日本冷凍空調工業会規格 JRA-GL02-1994)で定められる熱源水(冷却水)水準に達しておらず、特に鉄分を多く含む水質であることから、分解洗浄可能な別途のガスケットプレート式熱交換器を採用した。これにより、システム内にスケールや腐食が生じた場合、熱交換器のみの洗浄が可能となる。また、ポンプは地下水循環用のポンプおよび熱源水循環用ポンプ、それぞれ1台を利用した。

図2は名古屋サイトの地盤条件(N値、電気検層結果、粒度分布)である。約20mより帯水層となる礫層が分布する。試験井と観測井の鉛直構造図を図3に示す。揚水・還元を行う試験井から3m離れている観測井は地下水位および地中温度を測定すると共に、Bleed Well(試験井内のBleedを促進させるため還元の一部を賄う井戸)として利用される。試験井は内径100mm、観測井は内径40mmであり、両方とも長さ30mである。試験井および観測井のスクリーンは深さ-20m~-23mと深さ-25m~-28mの2ヶ所に設置されており、試験井の深さ-24m付近は、本研究で開発した遮水パッカー(図4)で区切られている。このパッカーは井戸内の揚水・還元部を区切り、井戸内で熱のショートサーキット(Short Circuit)を防ぐ装置である。この装置は既存井戸にも適用できるように、井戸内に挿入した後、ゴムチューブを膨らませて

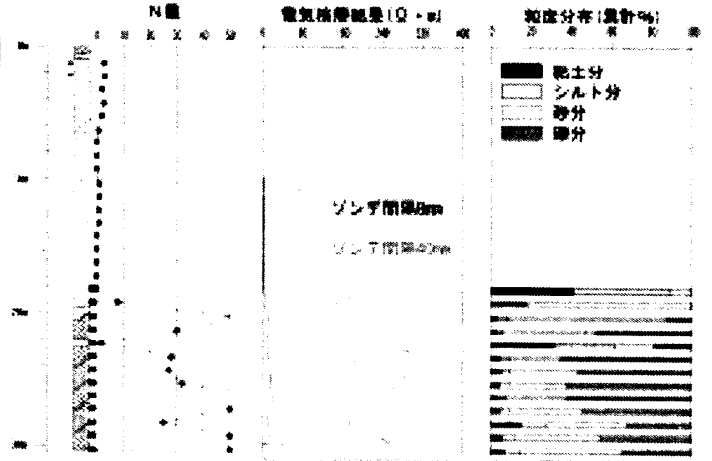


図2 名古屋サイトの地盤条件

(左: N値、中央: 電気検層結果、右: 粒度分布)

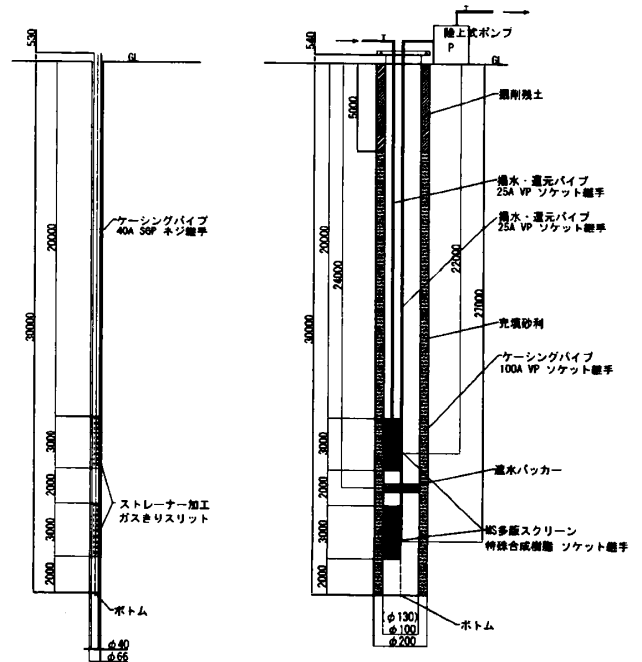


図3 試験井(右)および観測井(左)の構造図

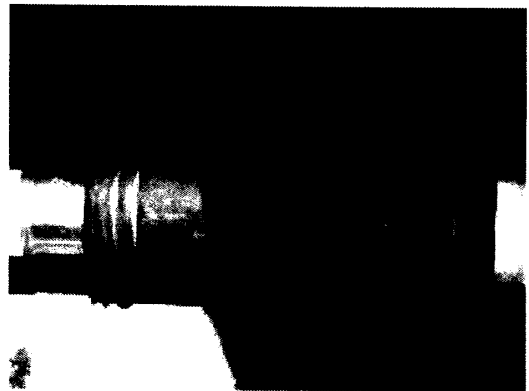


図4 遮水パッカー

固定する方式を採用した。

1.2 実験条件

冷房実験は2008年9月24日9:30～17:30と2008年10月1日10:30～10月6日9:30にかけて行った。また、暖房実験は、長期運転の性能検討および揚水場所の検討のため、2008年12月1日17:00～2009年1月23日9:00にかけて行った。さらに、井戸内で揚水・還元位置を変えた検討も実施した。今回の実験では、SCW方式の性能検討のため、地下水熱源のみの性能検討を行った。井戸内地下水は下部のパイプ（深さ-27m）から汲み上げて熱交換の後、上部のパイプ（深さ-22m）から戻される。冷房実験における地下水の循環水量は約33L/min、熱源水の循環水量は約70L/minとした。一方、暖房運転ではポンプ動力の削減を目的として、熱源ポンプと揚水ポンプをインバーター制御し、熱源水の循環水量を約35L/minとした。また揚水・還元位置による揚水温度の変化を検討するため、上部揚水・下部還元と下部揚水・上部還元の場合の性能検討を行った。

2. 実験結果

2.1 冷房性能実験

図5～図8は9月24日の冷房実験結果であり、それぞれ地下水の揚水・還元温度、地中への放熱量、機器消費電力、ヒートポンプおよびシステムCOPを示す。ここで地中への放熱量はヒートポンプの熱源側の出入口温度差と揚水量で算出を行った。図5より揚水温度は約20℃であり、還元による水温上昇などの変動は見られなかった。また、地中への放熱量は冷房負荷量によって変化しているが、一日平均で約14.0kWの放熱ができた（図6）。機器消費電力（図7）と放熱量で算出したヒートポンプCOPおよびシステムCOPは一日平均でそれぞれ8.5、5.9（図8）であり、優れたシステム性能が確認できた。

図9、図10は10月1日10:30～10月6日9:30に冷房運転を連続に行った結果であり、揚水量および揚水・還元温度の一日平均を図9に、放熱量およびCOPの一日平均を図10に示す。図9より、平均揚水温度は19.3℃で、平均還元温度は24.2℃であり（平均温度差：4.9℃）、期間平均の放熱量は11.2kWが得られた（図10）。またヒートポンプCOPは期間平均で10.5、システムCOPは6.5であり、連続運転においてもシステム性能の確保が確認できた（図10）。

2.2 暖房性能実験

図11は暖房運転時の揚水・還元温度の一日平均を示す。12月1日17:00～12月10日6:00までの運転では、井戸内深さ-27mの下部パイプから揚水し熱交換の後、深さ-22mの上部パイプに還元した。一方、2008年12月18日

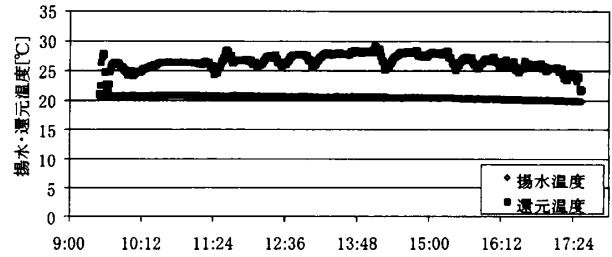


図5 地下水の揚水・還元温度

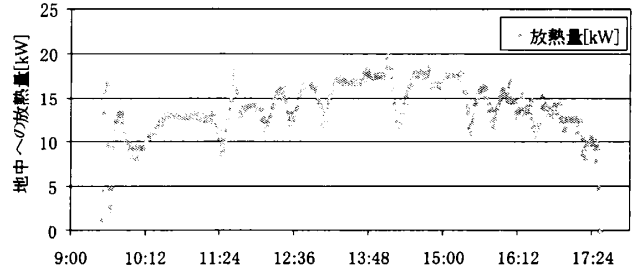


図6 地中への放熱量

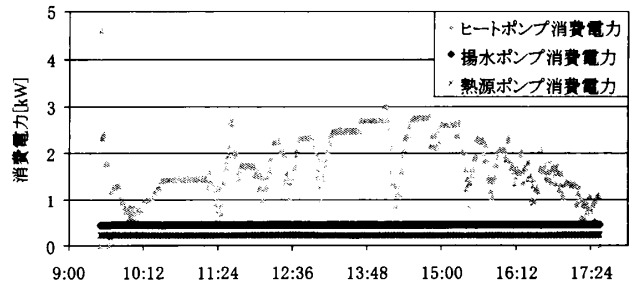


図7 機器消費電力

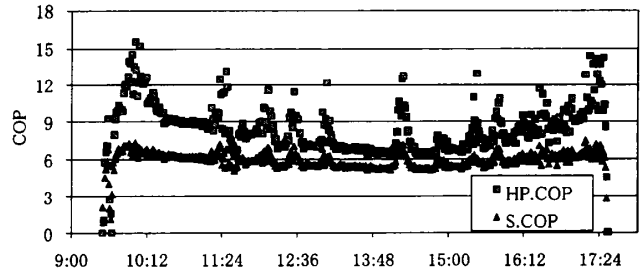


図8 ヒートポンプ COP (HP.COP) およびシステム COP (S.COP)

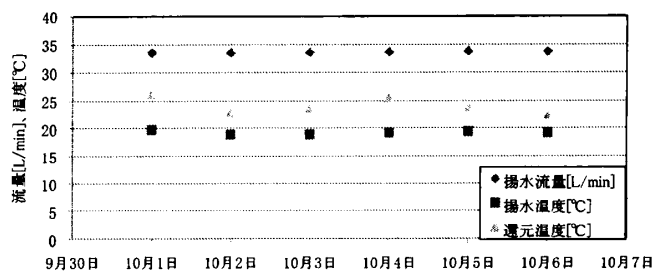


図9 揚水量および揚水・還元温度の一日平均

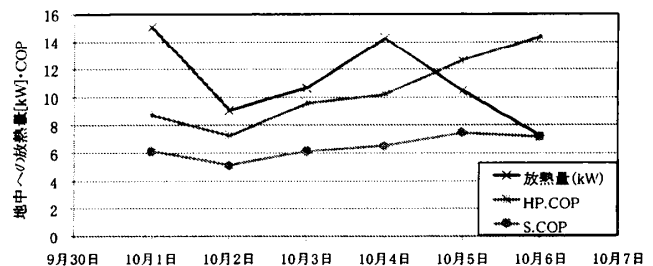


図10 放熱量およびCOPの一日平均

18:00～2009年1月13日15:00には、上部パイプから揚水し、下部パイプに還元する運転を行った。1月20日14:00～1月23日9:00には、再度、下部パイプから揚水し、上部パイプに戻し、揚水温度およびシステム性能を確認した。

下部パイプから揚水し上部パイプに還元する運転では、揚水・還元温度が共に低下する現象が見られる。これは、暖房運転中、上部の還元場所周辺の地下水温度が徐々に低下し、地下水が密度差により井戸下部に移動するショートサーキットが起こったことが原因と考えられる。一方、上部パイプから揚水した期間では、安定した熱源温度が維持できた。一方、1月13日15:00～1月20日14:00の期間にはヒートポンプの運転を停止し、揚水ポンプのみの運転を実施し揚水温度の回復を試みた。しかし、再度行った下部パイプからの揚水では、またも揚水温度の低下が見られた。

図12と図13はそれぞれ採熱量およびCOPの一日平均と機器消費電力（ヒートポンプ、揚水ポンプ、熱源ポンプ）を示す。下部パイプから揚水した運転期間の平均ヒートポンプCOPは4.1であり、上部パイプから揚水した運転期間のそれ（4.2）とほぼ同様な結果となった。また、暖房運転の平均S.COPは3.6であった。さらに、揚水ポンプの消費電力はインバーター制御により全体の平均消費電力3.3kWに対し0.3kWとなり、全体消費電力の10分の1以下に抑えることができた。

3. まとめ

井戸1本方式を採用した地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの冷暖房性能検討を行い、以下の知見が得られた。

- ・地下水を熱源として行った冷暖房実験で、平均S.COPが冷房運転で6.5、暖房運転で3.6の結果が得られた。
- ・本システムにおける冬季暖房運転では、下部パイプからの揚水運転（上部パイプ：還元）の場合、熱のショートサーキットが懸念されるため、上部パイプからの揚水が有効である。
- ・陸上ポンプおよび循環水ポンプの動力の削減のため、ポンプのインバーター制御が有効である。

今後、本システムの最適運転のため、地下水・地中熱移動シミュレーションを用いた数値解析を行い、井戸周辺地下水温度およびシステム性能の予測を行う。また、空冷/水冷の最適切り替え温度制御および目詰まり防止のための自動逆洗運転制御について更に詳細な検討を行う。

謝辞

本研究は、平成19、20年度独立行政法人 新エネルギー・産業技

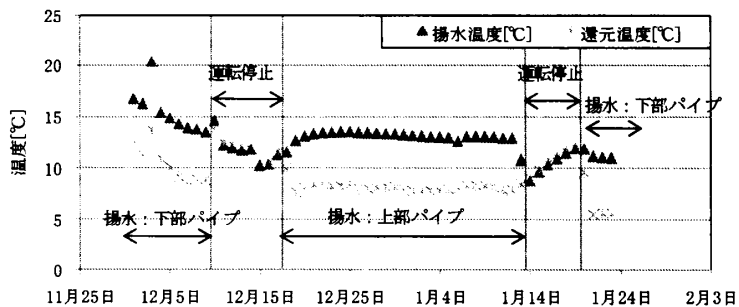


図11 揚水・還元温度の一日平均

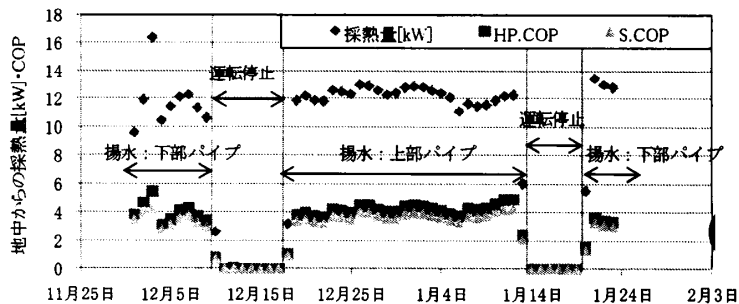


図12 採熱量およびCOPの一日平均

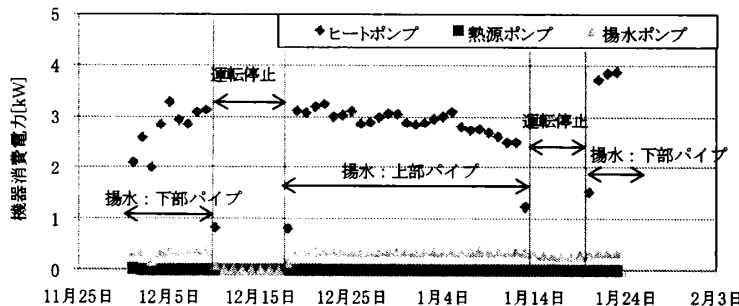


図13 機器消費電力の一日平均

術総合開発機構(NEDO)『エネルギー使用合理化技術 戦略的開発/エネルギー使用合理化技術実用化開発/地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの研究開発』によった。ここに記して関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 南有鎮、大岡龍三、柴芳郎、奥村建夫、地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの開発に関する研究（その1）SCWシステム概要及び実験装置の構築、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2, pp.1105-1106、2008
- 2) 柴芳郎、谷藤浩二、大岡龍三、南有鎮、奥村建夫、地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの開発に関する研究（その2）SCWを用いた空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの年間性能予測、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1851-1854、2008
- 3) 奥村建夫、大岡龍三、柴芳郎、南有鎮、谷藤浩二、地下水循環型空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムの開発に関する研究（その3）地下水循環井の能力基礎実験について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1855-1858、2008
- 4) Yujin Nam, Ryoza Ooka, Yoshiro Shiba, Tateo Okumura, Development of hybrid heat pump system using multi sources of groundwater and air, Renewable Energy 2008, pp.1-4, 2008