

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

(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

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

(Part2) Annual Performance Prediction of Air or Water Source Changeable Hybrid Heat Pump Using Standing Column Well

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

正会員 大岡 龍三 (東京大学生産技術研究所) 学生会員 南 有鎮 (東京大学大学院)

正会員 奥村 建夫 (東邦地水)

Yoshiro SHIBA*¹ Koji TANIFUJI*¹ Ryozo OOKA*² Yujin NAM*³ Tateo OKUMURA*⁴

*¹ Zeneral Heatpump Industry Co., Ltd. *² IIS, Univ. of Tokyo

*³ Graduate Student, Univ. of Tokyo *⁴ Toho Chisui Co., Ltd.

We simulated a system using a standing column well (SCW) as a water-heat source, with an air/water-to-water hybrid heat pump capable of switching between air and water cooling. Although single-tube wells can reduce costs because they do not require the construction of a new reducing well, water returning from the heat pump could create a short circuit, adversely affecting the system. It is also expected that the amount of power required by the pump could vary greatly depending on the level of the groundwater table and other factors. We performed a comparative assessment of annual performance factors (APF) for the differences between systems using R407C and R410A refrigerant, differences in temperature due to SCW short circuits, differences in well-pump power, and differences due to climatic zone. As a result, we calculated an APF of 5.24 for the base system. We also found that a 21% improvement to APF can be expected by changing from R407C to R410A. We additionally found that under each condition, air/water hybrid cooling improved APF by 2 to 7% compared to water cooling.

はじめに

地下水温度は、外気温と比較すると夏は低く、冬は高い。地下水を冷房時の放熱源、暖房時の採熱源として利用することにより、年間を通して高効率な運転が可能となる。しかし、単一の井戸で地下水を循環するSCW(Standing Column Well)方式を適用した場合は還元水のショートサーキットの影響があるため、外気条件によっては一時的に空冷の方の効率が高くなることもある。そこで、外気温とSCWの取水温度を比較して効率の良い熱源を自動的に選択するようなハイブリッド熱源のヒートポンプシステムがあれば、空冷ヒートポンプやSCWを用いた水冷ヒートポンプよりも通年エネルギー消費効率APFが高くなることが期待できる。

1. 目的

本研究では、空水冷ヒートポンプとSCWを組み合わせたシステムの年間性能シミュレーションを行う。SCW

を用いた空水冷ハイブリッドヒートポンプシステムを図-1に示す。

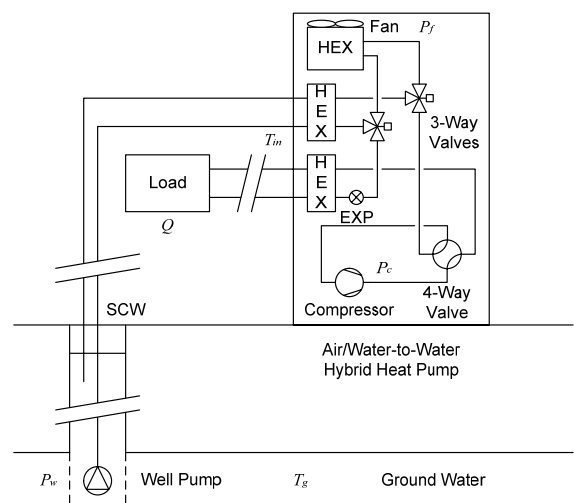


図-1 SCWを用いた空水冷ハイブリッドヒートポンプシステム

ここでは特に、井戸ポンプの動力を含めたヒートポンプシステムの COP(Coefficient of Performance) や SPF(Seasonal Performance Factor) や APF(Annual Performance Factor)を、条件を変えて計算し、比較して評価する。

2. 計算方法

2.1 ヒートポンプ性能計算方法

Shiba¹⁾らが開発したヒートポンプの性能計算プログラムにより時間毎の空水冷ヒートポンプの性能を計算する。

2.2 空調負荷条件

空調負荷は、日本で用いられる住宅省エネ基準値である熱損失係数 $[W/(m^2 \cdot)]$ と日射取得係数を用い、気象データより時刻毎の外気温 $[]$ 、日射時間 $[h]$ 、全天日射量 $[MJ/m^2]$ を与え、以下の式に従って1年間分の単位空調面積あたりの夏季負荷 $[W/m^2]$ と冬季負荷 $[W/m^2]$ を計算した。

$$\text{単位夏季負荷} = \{(\text{外気温}-26) \times \text{熱損失係数} + \text{日射取得係数} \times \text{日射時間} \times \text{全天日射量} / 3.6 \times 1000\} \quad (1)$$

$$\text{単位冬季負荷} = \{(22-\text{外気温}) \times \text{熱損失係数} - \text{日射取得係数} \times \text{日射時間} \times \text{全天日射量} / 3.6 \times 1000\} \quad (2)$$

ここで、夏季負荷、冬季負荷は正の値のみ有効であり、それ以外はすべて0とした。また、空調時間は8:00-18:00、平日の月曜日から金曜日までとした。冷房期間、暖房期間は特に決めずに冷房・暖房の運転切り替えが自動的に行えると仮定している。空調面積は以下のように決めた。
 $\text{空調面積} = \text{MIN}(\text{ヒートポンプ定格冷房能力} / \text{単位面積当たりのピーク冷房負荷}, \text{ヒートポンプ定格暖房能力} / \text{単位面積当たりのピーク暖房負荷}) \quad (3)$

計算した都市の熱損失係数と日射取得係数を表-1に、冷房、暖房のピーク負荷や季節負荷を表-2に示す。

表-1 熱損失係数と日射取得係数

都市	熱損失係数 [W/(m ² ・°C)]	日射取得係数	年間平均外気温 (地下水温度) [°C]
札幌	1.6	0.08	9.7
東京	2.7	0.07	17.4
那覇	3.7	0.06	23.4

表-2 空調負荷

都市	暖房最大負荷 [W/m ²]	冷房最大負荷 [W/m ²]	暖房季節負荷 [MJ/m ²]	冷房季節負荷 [MJ/m ²]
札幌	48	90	121	89
東京	59	98	80	131
那覇	17	93	11	191

2.3 空水冷ハイブリッドヒートポンプ

試算した空水冷ハイブリッドヒートポンプの仕様を表-3に示す通りである。

表-3 空水冷ハイブリッドヒートポンプ仕様

定格冷房能力	48kW(冷水 12 →7)
定格暖房能力	48kW(温水 40→45)
圧縮機	全密閉スクロール式 11kW
水熱交換器	ブレイジングプレート式
空気熱交換器	プレートフィン式
ファン	0.4kW×2

計算における各条件は以下のとおりである。

- ・冷媒：R410A(開発中) or R407C(従来機)
- ・地下水とヒートポンプ入口の温度差 $DT[]$ ：5 or 10
- ・井戸ポンプ動力 $P_w[kW]$ ：0.8 or 1.6(それぞれ定速)
- ・都市：東京、札幌 or 那覇

COP、SPF、APF の計算式は以下の通りである。

$$COP = Q / (P_c + P_f + P_w) \quad (4)$$

$$SPF = \int_{Season} Qdt / \int_{Season} (P_c + P_f + P_w)dt \quad (5)$$

$$APF = \int_{Year} Qdt / \int_{Year} (P_c + P_f + P_w)dt \quad (6)$$

ここで、Q は能力 $[kW]$ 、 P_c は圧縮機動力 $[kW]$ 、 P_f はファン動力 $[kW]$ である。On-Off制御により能力を負荷に合わせており、圧縮機 Off時はファンもポンプも停止していると仮定した。また、計算において空冷時はデフロストを考慮しているが、空気のショートサーキット、日射の影響等は考慮していない。

3. 計算結果

3.1 比較対象条件の計算結果

東京, R410A, $DT:5$, $P_w:0.8kW$ という条件において、熱源として空冷のみ、水冷のみ、空水冷ハイブリッドそれぞれの時間ごとの COP 変化のグラフを図-2、図-3、図-4に示し、SPF と APF を性能計算プログラムにより算出した結果を表-4に示す。

SPF、APF は空冷<水冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して18%増、水冷に対して2%増となった。空水冷の APF は5.24 と高い値となった。

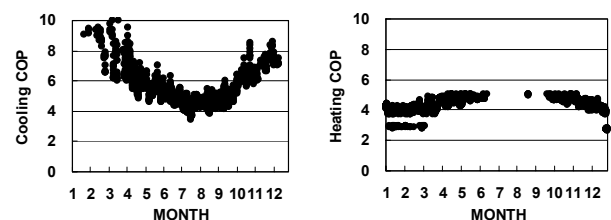


図-2 空冷ヒートポンプの COP 推移

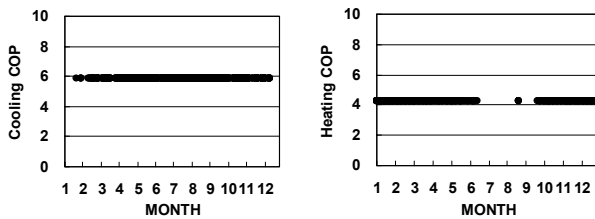


図-3 水冷ヒートポンプの COP 推移

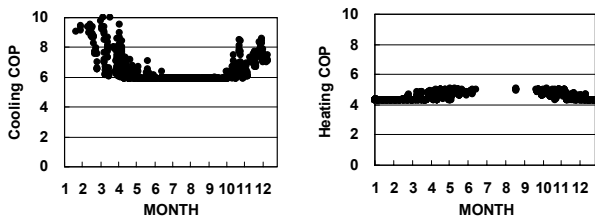


図-4 空水冷ハイブリッドヒートポンプの COP 推移

空冷(図-2)と水冷(図-3)の COP が高いほうを選択したグラフが図-4 であり、これが空水冷ハイブリッドヒートポンプの COP 推移である。

3.2 冷媒の違い

従来機である R407C 冷媒の空水冷ヒートポンプの計算を行い、R410A の場合と比較を行った。

東京, R407C, DT:5 , Pw:0.8kW という条件において、SPF と APF を計算した結果を表-5 に示す。R410A と同様に SPF、APF は空冷<水冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して 18%増、水冷に対して 2%増となった。R407C の空水冷の APF は 4.35 であり、R410A の空水冷性能のほうが 21%高いことがわかった。

3.3 地下水の温度差の影響

SCW の還元水のショートサーキットにより、ヒートポンプの熱源水や冷却水の温度は元の地下水温度よりも性能的に不利な温度となる。また、地下水の不純物がヒートポンプの熱交換器へ与える影響をなくすために、水-水の熱交換器を用いる場合があるが、熱交換器の平均温度差も性能的には不利に働く。これらの温度差の合計を DT とする。DT は簡単のために常に一定と仮定した。ここでは DT が 10 の時の性能を計算し、DT が 5 の場合と比較を行った。

東京, R410A, DT:10 , Pw:0.8kW という条件において、SPF と APF を計算した結果を表-6 に示す。SPF、APF は空冷<水冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して 8%増、水冷に対して 6%増となった。DT:10 の空水冷の APF は 4.8 であり、DT:5 の空水冷性能のほうが 10%高いことがわかった。

3.4 井戸ポンプ動力の影響

地下水位や配管の長さ、口径により井戸ポンプの動力は異なる。ここでは井戸ポンプの動力の影響を考慮する

ために Pw の値を 0.8 の 2 倍の 1.6kW の場合について計算し、Pw:0.8kW の場合と比較した。

東京, R410A, DT:5 , Pw:1.6kW という条件において、SPF と APF を計算した結果を表-7 に示す。SPF、APF は空冷<水冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して 11%増、水冷に対して 4%増となった。Pw:1.6kW の空水冷の APF は 5.0 であり、Pw:0.8kW の空水冷性能のほうが 6%高いことがわかった。

3.5 気候の違いの影響

温暖地域である東京の他に寒冷地域である札幌、亜熱帯地域である沖縄についても同様に計算を行った。それぞれの地域において地下水温度は年間を通して年平均外気温に等しいと仮定している。

札幌, R410A, DT:5 , Pw:0.8kW という条件において、SPF と APF を計算した結果を表-8 に示す。SPF、APF は空冷<水冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して 20%増、水冷に対して 7%増となった。東京に比べると札幌は空冷や水冷に対する空水冷の優位性が高い。また、札幌の空水冷の APF は 4.8 であり、東京の空水冷性能のほうが 10%高いことがわかった。

那覇, R410A, DT:5 , Pw:0.8kW という条件において、同様に SPF と APF を計算した結果を表-9 に示す。冷房 SPF、APF は他とは異なり水冷<空冷<ハイブリッドとなっており、空水冷の APF は空冷に対して 3%増、水冷に対して 7%増となった。東京に比べると水冷に対する空水冷の優位性が高いが、空冷に対する優位性が低いことがわかった。また、那覇の空水冷の APF は 5.15 であり、東京の空水冷性能のほうが 2%高いことがわかった。

4. 結論

SCW を利用した空水冷ハイブリッドヒートポンプ(能力:48kW)の年間性能シミュレーションを行った。その結果、基本条件における井戸ポンプを含む APF は 5.24 と計算された。また、計算条件を変えて性能比較を行った結果、以下のことがわかった。

- 冷媒を R407C から R410A にすることにより 21%の APF 向上が見込める。
- 地下水の温度とヒートポンプ入口温度との温度差 DT を 10 から 5 にすることにより、10%の APF 向上が見込める。
- 井戸ポンプの動力 Pw を 1.6kW から 0.8kW にすることにより、6%の APF 向上が見込める。
- 東京、札幌、那覇の APF はそれぞれ 5.2、4.8、5.2 であった。

また、各条件において水冷に対する空水冷の APF は 2~7%向上し、空冷に対する空水冷の APF は 2~20%向上することがわかった。

今後は、圧縮機やポンプをインバーター対応にした場

合や、直膨ヒートポンプについても検討する予定である。

参考文献

【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』により実施したものである。

1) Y.Shiba, R.Ooka, K.Sekine. 2007. Development of High-Performance Water-to-Water Heat Pump for Ground Source Application, ASHRAE Transactions - 2007 Annual Meeting, Volume 113 Part 2, LB-07-029, pp.261-270.

表-4 SPF、APF 予測 (東京、R410A、DT: 5°C、Pw: 0.8kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	17,896	3,688	4.9	10,869	2,790	3.9	4.4
水冷		3,050	5.9		2,528	4.3	5.16
ハイブリッド		2,995	6.0		2,490	4.4	5.24

表-5 SPF、APF 予測 (東京、R407C、DT: 5°C、Pw: 0.8kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	17,896	4,595	3.9	10,869	3,226	3.4	3.7
水冷		3,799	4.7		2,940	3.7	4.27
ハイブリッド		3,727	4.8		2,891	3.8	4.35

表-6 SPF、APF 予測 (東京、R410A、DT: 10°C、Pw: 0.8kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	17,896	3,688	4.9	10,869	2,790	3.9	4.4
水冷		3,583	5.0		2,788	3.9	4.5
ハイブリッド		3,385	5.3		2,628	4.1	4.8

表-7 SPF、APF 予測 (東京、R410A、DT: 5°C、Pw: 1.6kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	17,896	3,688	4.9	10,869	2,790	3.9	4.4
水冷		3,337	5.4		2,691	4.0	4.8
ハイブリッド		3,220	5.6		2,590	4.2	5.0

表-8 SPF、APF 予測 (札幌、R410A、DT: 5°C、Pw: 0.8kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	13,321	2,206	6.0	10,869	3,841	2.8	4.0
水冷		1,703	7.8		3,701	2.9	4.5
ハイブリッド		1,658	8.0		3,401	3.2	4.8

表-9 SPF、APF 予測 (那覇、R410A、DT: 5°C、Pw: 0.8kW)

熱源	冷房負荷 [kWh]	冷房消費電力量 [kWh]	冷房 SPF	暖房負荷 [kWh]	暖房消費電力量 [kWh]	暖房 SPF	APF
空冷	27,698	5,519	5.0	1,564	343	4.6	5.0
水冷		5,723	4.8		328	4.8	4.8
ハイブリッド		5,353	5.2		327	4.8	5.15