

10 地中熱対応高効率水冷式ヒートポンプの開発

○空 柴 芳郎（ゼネラルHP）
空正 関根 賢太郎（大成建設）

空正 大岡 龍三（東京大学）
谷藤 浩二（ゼネラルHP）

1. はじめに

地球の気候変動の原因となる温室効果ガスの排出削減の努力が全世界でなされているなか、未利用エネルギーの一つと言われている地中熱と、高効率な冷熱・温熱供給が可能なヒートポンプを組み合わせることによる省エネルギーシステムが一つのソリューションとなる。ここでは、地中熱システムの概要と地中熱に対応した水冷式ヒートポンプの高効率化について紹介する。

2. 地中熱源ヒートポンプシステム

2.1 地中熱のメリット

地中熱は、地中温度の熱容量が大きく安定しているため、地中温度が外気温度に比べて夏は低く、冬は高いのでヒートポンプの熱源としては空冷よりも有利であると言える（図1）。

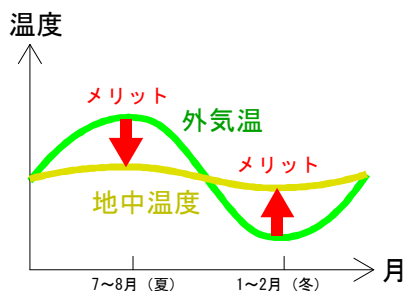


図1 地中温度と外気温

地中熱源ヒートポンプは地中を熱源とするが、地中から／地中への熱搬送は水または不凍液（ブライン）を媒体とすることが多い。したがってその場合ヒートポンプとして水冷式ヒートポンプを用いることになる。

地中熱対応水冷式ヒートポンプチラーで加熱を行う場合は加熱負荷側が凝縮器、地中熱交換器側が蒸発器となる（図2）。一方、地中熱対応水冷式ヒートポンプチラーで冷却を行う場合は冷却負荷側が蒸発器、地中熱交換器側が凝縮器となる（図3）。ここで加熱・冷却の切り替えはヒートポンプ内の四方弁で行われる。

実際のメリットとしては地中熱ヒートポンプの地中熱側水熱交換器冷媒温度と空冷ヒートポンプの空気熱交換器側冷媒温度の差がメリットなる（図4）。外気と地中温度の差は大きなものであるが、地中熱交換器の熱交換率が悪い場合は、地中熱と空冷のメリットが逆転する場合もあるので地中熱交換器の選定には注意が必要である。

また、地中熱ヒートポンプの二つ目のメリットとしては、暖房や給湯等の加熱運転時にフロスト・デフロストが起こらないということである。

寒冷地の場合、冬期に空冷ヒートポンプを用いるとフロスト・デフロストを起こし、能力とCOPが低下する。

さらに、地中熱ヒートポンプの三つ目のメリットとしては夏期に室外に排熱を出さず、地中に熱を放熱するため都心部のヒートアイランド現象の改善になる。

その他、地中熱交換器は表に出ず、ヒートポンプも室内設置が可能なため空冷ヒートポンプと違い建築物の美観を損ねることがないことも重要な利点の一つである。

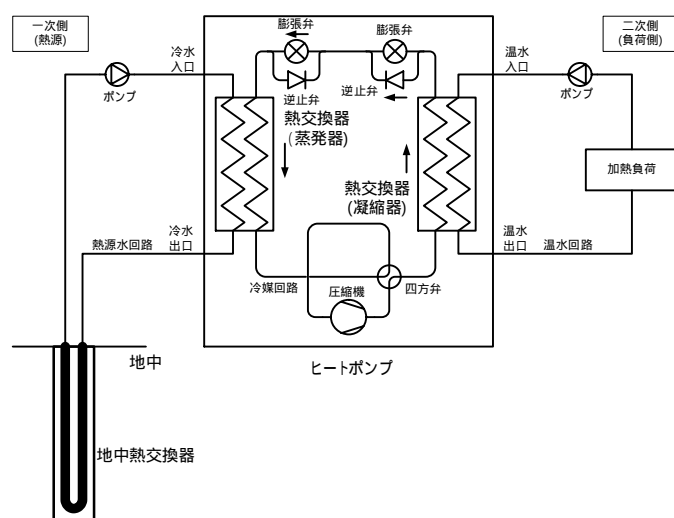


図2 地中熱源ヒートポンプチラー（加熱）

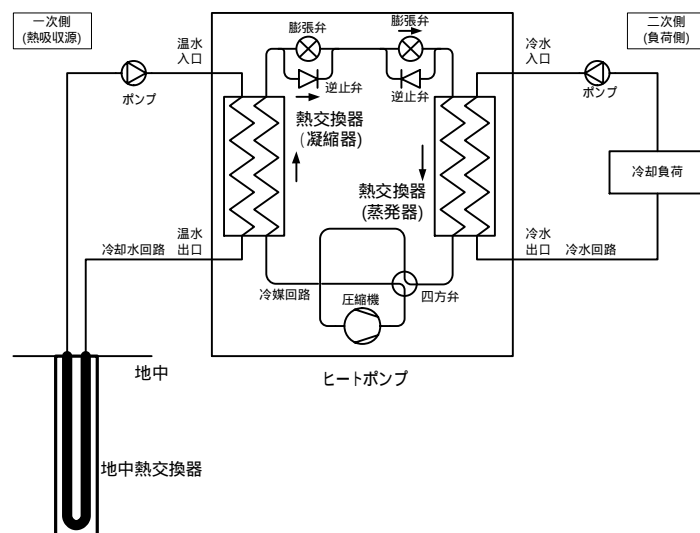


図3 地中熱源ヒートポンプチラー（冷却）

2.2 地中熱交換器の種類

地中熱交換器の主流である垂直型地中熱交換器には大きく分けてボアホール方式と杭方式がある。ボアホール方式とはポリエチレン管2本の先端をU字加工したUチューブと呼ばれるもの

を井戸（ボアホール）に挿入する方式であり、杭方式とは建築物の基礎を熱交換器として兼用する方式である。各方式の概要を表1に示す。

1 本当通りの地中熱交換器の長さは普通 20～100m 程度であり、大容量とするためには同種の地中熱交換器を複数配置し、ヘッダー管に接続する形をとる。

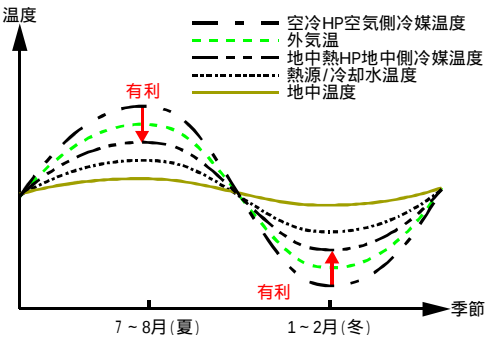


図 4 熱源温度

表 1 地中熱交換器の種類

名称	シングル Uチューブ	ダブル Uチューブ	二重管	杭二重管	杭 + Uチューブ	現場施工杭 (場所打ち杭)
方式	ボアホール方式			杭方式		
断面図						
立面図						
材質	ポリエチレン、銅、ステンレス		外管: スチール、コンクリート 内管: ポリエチレン、塩ビ、スチール	杭: スチール、コンクリート	杭: スチール、コンクリート	杭: 鉄筋コンクリート Uチューブ: ポリエチレン
流体	水、不凍液、冷媒		水、不凍液		水、不凍液、冷媒	
封入	管外: 土、グラウト材		なし		グラウト材、水	コンクリート

※ グラウト材: コンクリート、ペントナイト、珪砂、豆砂利等

3. 用途

地中熱ヒートポンプシステムの用途は、空冷ヒートポンプと同様に空調、床暖房、給湯、プール・浴槽昇温、融雪等がある。

空調の場合は四方弁により冷暖房を切り換えることが可能であり、ヒートポンプで生成される冷温水温度は冷房で 5～10℃、暖房で 40～50℃ 程度である（図 5）。効率面と考慮すると快適性を失わない程度に冷房時冷水温度を高くし、暖房時温水温度を低くすると良い。また、水蓄熱や氷蓄熱にも対応可能である。

欧米では地中熱ヒートポンプシステムが普及しているが、これは住宅が高気密・高断熱であり床暖房を採用しているので床暖房用の温水供給温度を 35℃程度と暖房に比べて低い温度にすることができ、ヒートポンプの効率が向上することが一因となっている（図 6）。

また、地中熱ヒートポンプでもエコキュートと同様に給湯用ヒートポンプとして利用され、フロスト・デフロストがないため寒冷地でも利用が可能である（図 7）。

同様にプール加温や浴槽加温でも地中熱ヒートポンプが利用されている（図 8）。

最近では、地中熱ヒートポンプによる融雪も採用されており、散水方式が利用できない極寒冷地での採用が増えている（図 9）。

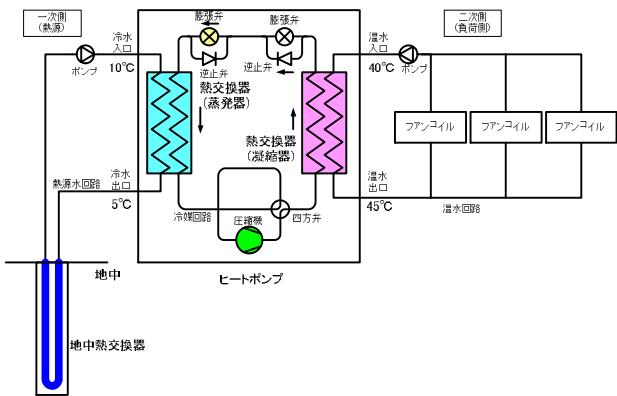


図 5 空調利用（暖房時）

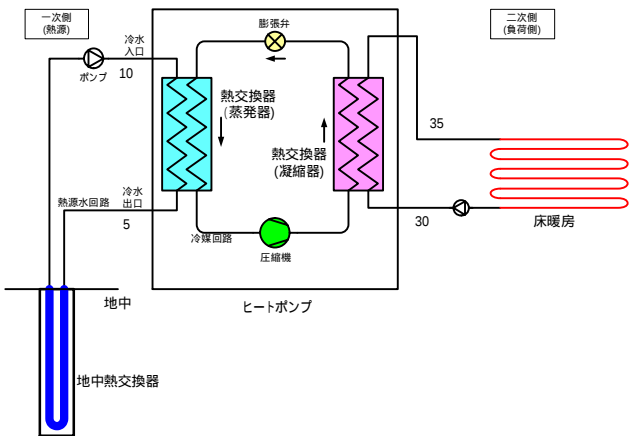


図 6 床暖房利用

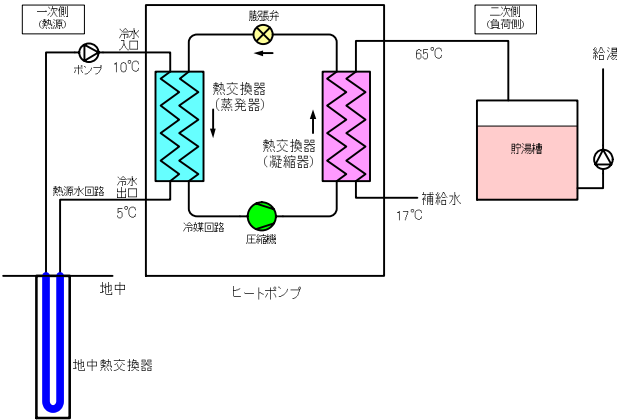


図 7 給湯利用

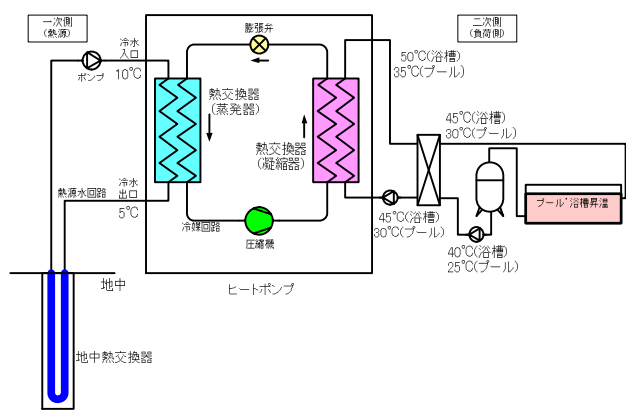


図 8 プール・浴槽昇温利用

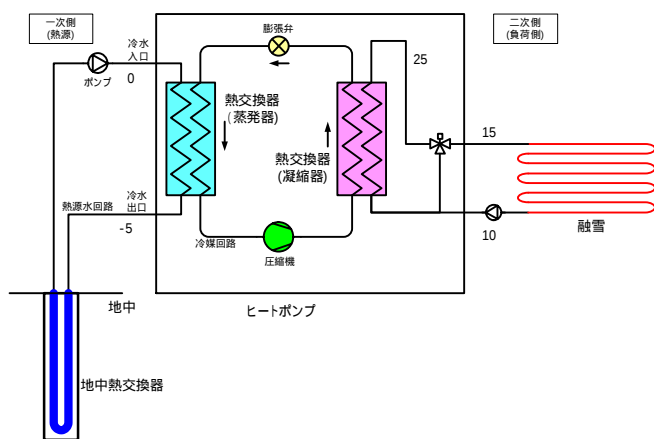


図 9 融雪利用

4. 地中熱対応高効率水冷式ヒートポンプの開発

このように、地中熱ヒートポンプシステムを構築することにより、空冷ヒートポンプよりも高いポテンシャルがあると言えるが、対応するヒートポンプ自体の効率が低いとそのメリットも相殺されてしまう。

そこで地中熱対応で高効率な水冷式ヒートポンプチラーを開発した（図10）。

開発機の特徴は、冷媒は新冷媒 R407C を使い、1 モジュール 15HP 相当で最大 10 モジュールまで連結可能である。また、従来機に比べて容積率 39% を実現した。

従来の水冷式ヒートポンプチラーの熱交換器は銅多重管式のものを採用していたが、開発機ではプレート式熱交換器を採用してコンパクト化するとともに伝熱面積を大幅に増大させることにより効率向上を図った（図11）。

また、熱交換器容量増大による能力向上の分だけ圧縮機の容量を1ランク落とし、断熱効率の高い新型のスクロール圧縮機とすることによりさらに効率が向上した（図12）。

その他冷媒回路の見直し等を行い、従来機に対して 50% 以上の効率向上を実現した。用途に応じた性能を表2で示す。ここでは、それぞれの用

途に対して二次側（負荷側）と一次側（熱源）の両方、つまり冷却・加熱のそれぞれの能力と COP を示している。このように例えば地中熱利用の冷却条件で COP6.1 をと高い性能を実現している。

また、開発機の能力線図を図13から図17に示す。能力線図は冷水（不凍液）出口温度が-10℃までの性能を示している。



図 10 地中熱対応高効率水冷式ヒートポンプチラー（15HP相当）



図 11 熱交換器（左：銅多重管式、右：プレート式）



図 12 スクロール圧縮機（左：旧型、右：新型）

表 2 開発機性能表(50Hz)

	冷水入口	冷水出口	温水入口	温水出口	冷却能力 (kW)	加熱能力 (kW)	消費電力 (kW)	冷却 COP	加熱 COP
冷却	12	7	25	30	41	48	6.8	6.1	7.0
氷蓄熱	-2	-5	25	30	27	34	6.7	4.0	5.0
加熱	10	5	40	45	31	41	9.8	3.2	4.1
床暖房	10	5	30	35	37	45	7.9	4.7	5.7
融雪	0	-5	10	25	30	35	6.0	5.0	6.0
加温	10	5	45	50	32	43	11	2.9	3.9
給湯	10	5	17	65	31	45	14	2.3	3.3

※高温型タイプの場合

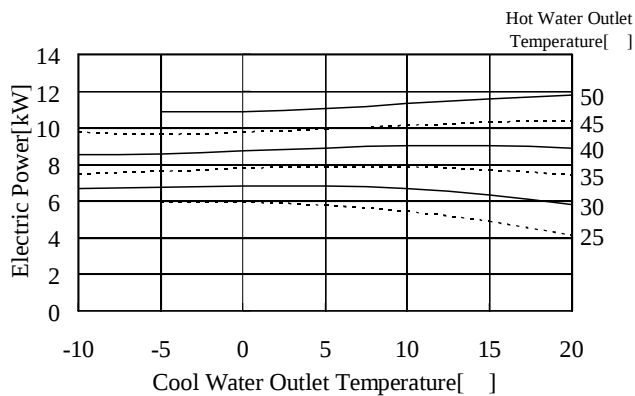


図 13 消費電力線図

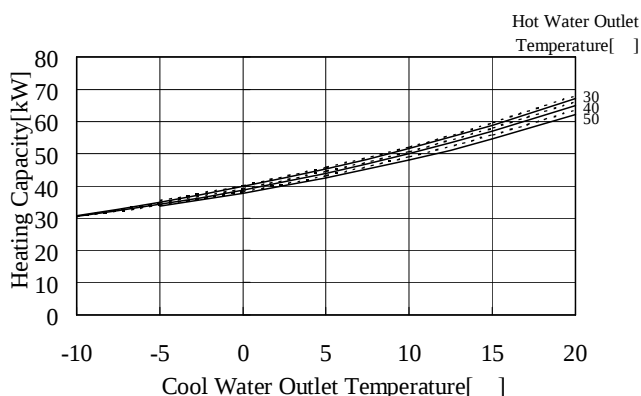


図 14 加熱能力線図

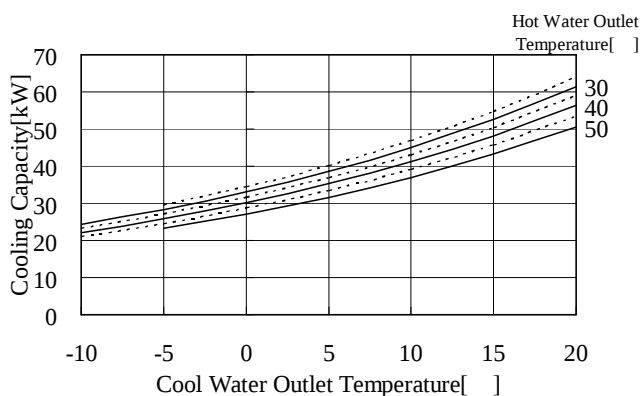


図 15 冷却能力線図

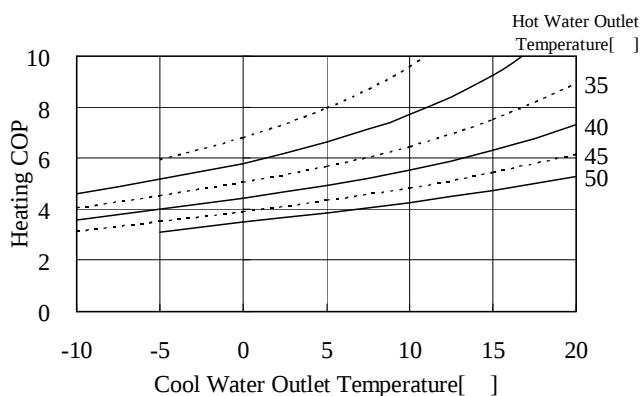


図 16 加熱 COP 線図

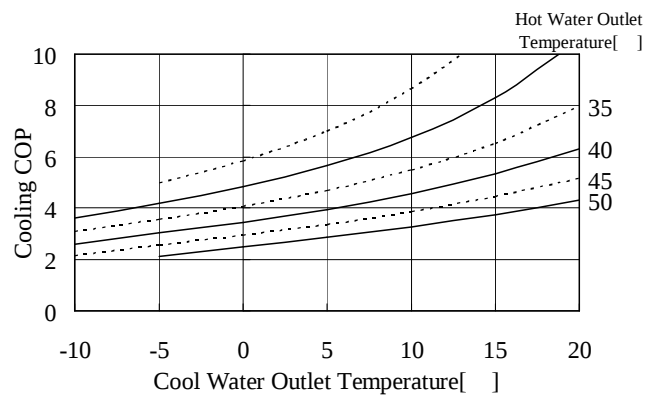


図 17 冷却 COP 線図

5. 最後に

地中熱利用ヒートポンプシステムは環境負荷低減に大いに役立つが、普及阻害要因はヒートポンプ性能と地中熱交換器のコストであった。それに取り組んだのが、2003 年 10 月から 2006 年 3 月までの独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（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 大都市における基礎杭を利用した地中熱空調システムの普及・実用化に関する研究（東京大学、大成建設、ゼネラルヒートポンプ工業）』であり、ヒートポンプについての成果の一部をここで示した。

6. 参考文献

- 1) 地中熱源対応水冷式ヒートポンプチラーの開発, 柴 芳郎・大岡龍三・関根健太郎, 平成 16 年度空気調和・衛生工学会学術講演会(名古屋)講演論文集, 2004 年 9 月
- 2) DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE WATER-TO-WATER HEAT PUMP FOR GROUND-SOURCE APPLICATION, Yoshiro Shiba, Ryuzo Ooka, Kentaro Sekine, 8TH IEA HEAT PUMP CONFERENCE 2005(Las Vegas), 2005
- 3) 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究（その 11）年間実験結果ならびに施工実績をもとにしたフィージブルスタディ, 関根賢太郎・大岡龍三・横井睦己・柴芳郎・黄錫鎬, 平成 17 年度空気調和・衛生工学会大会（札幌）講演論文集, 2005 年 8 月
- 4) 場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・実用化に関する研究（その 12）水冷式ヒートポンプ高効率化のための性能計算プログラムの開発, 柴 芳郎、大岡 龍三、関根 賢太郎, 平成 17 年度空気調和・衛生工学会大会（札幌）講演論文集, 2005 年 8 月
- 5) 地中熱利用ヒートポンプの構造と特徴, 柴 芳郎, 日本地熱学会誌第 27 巻第 4 号, 2005 年 10 月