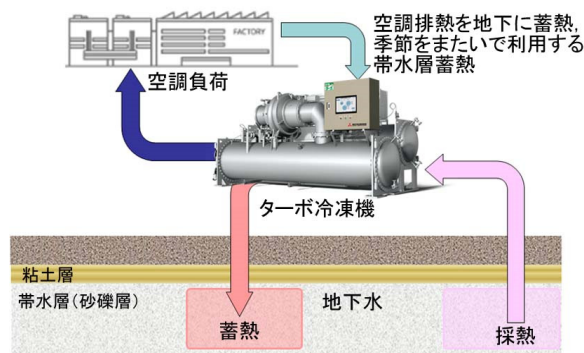


大規模再生可能エネルギー利用 帯水層蓄熱ターボ冷凍機システム

Centrifugal Chiller System Using
ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) of Renewable Energy



坂井 正頌^{*1}
Masanobu Sakai

崔 林日^{*1}
Linri Cui

淵本 剛^{*1}
Takeshi Fuchimoto

辻 清一^{*2}
Kiyokazu Tsuji

上田 憲治^{*3}
Kenji Ueda

再生可能エネルギーである地中熱を利用した帯水層蓄熱技術を紹介する。我々の足元に眠る豊富な地下水は、外気温度と比べると、冬は暖かく、夏は冷たいという温度差エネルギーであり熱源としての価値が高い。地下水の流れの非常に緩やかな帯水層とターボ冷凍機で冷房及び暖房に対応した熱源システムを構築した。このシステムは、①ターボ冷凍機、②井戸ポンプ、③冷温水送水ポンプ、④熱交換器で構成される。本報公開(2017 年4月)時点で試験中であるが、冬季の暖房運転においてシステム COP4.77(平均外気温度 0.15℃(W.B.))を達成した。

1. はじめに

再生可能エネルギーである地中熱を利用した帯水層蓄熱技術を紹介する。我々の足元に眠る豊富な地下水は、外気温度と比べると、冬は暖かく、夏は冷たいという温度差エネルギーであり熱源としての価値が高い。更にこの帯水層を巨大な蓄熱槽に見立てて冷房時の温排熱、暖房時の冷排熱を貯め、温排熱を暖房に、冷排熱を冷房に季節をまたいで利用することでより効率よく熱を利用できる。地下水利用の進むオランダでは2000年以降急速に普及しており、現在2000件を超える帯水層蓄熱システムが稼働している。一方で日本での実用化例は乏しく、システム構築の技術も確立していない。本報では帯水層を利用した熱源システムを開発し、三菱重工サーマルシステムズ(株)(以下、当社)内に構築した実証試験設備の運転データを報告する。なお、この成果は、環境省 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業委託業務の結果得られたものである。

2. 帯水層とは

図1に水循環概念図と帯水層の位置づけを示す。帯水層とは、地下水が蓄えられている地層のことである。通常は粘土などの不透水層(水が流れにくい地層)にはさまれた、砂や礫(れき)からなる多孔質浸透性の地層を指す。この地層では、透水性が良く井戸の揚水量が確保でき、地下水流速が遅い領域では、蓄熱層として使用できる。

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部

*2 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部 グループ長

*3 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部 次長 工学博士

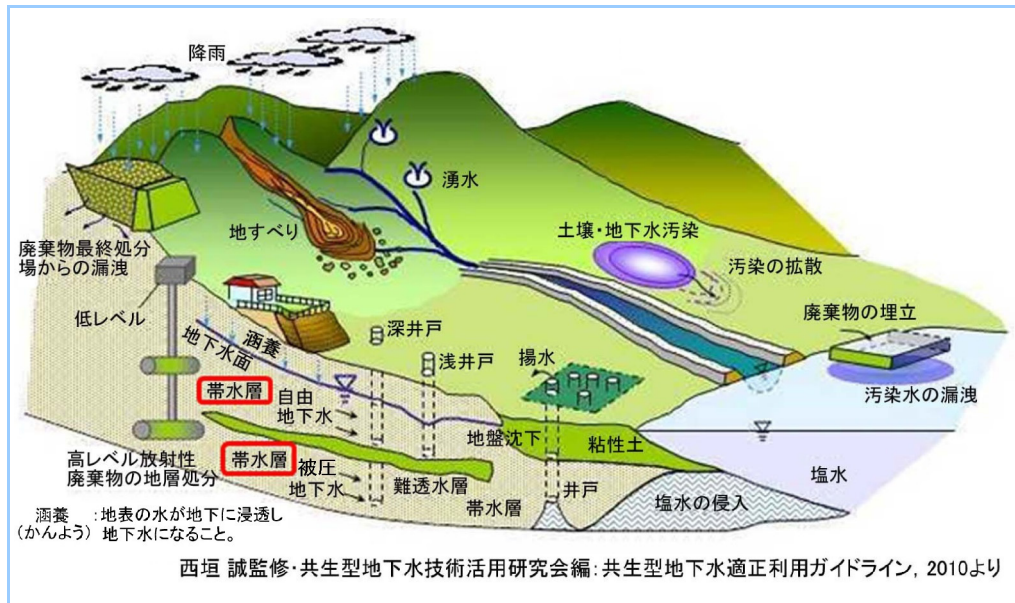


図1 水循環概念図と帯水層の位置づけ

3. 帯水層熱源システム

3.1 高性能ターボ冷凍機

ターボ冷凍機は図2に示すメカニズム⁽¹⁾で冷却/加熱を行う。凝縮器の温水出口温度(暖房の供給温度)を一定にコントロールする暖房モードと、蒸発器の冷水出口温度(冷房の供給温度)を一定にコントロールする冷房モードとの切替えが可能である。

図3に今回採用した冷凍機の外観を示す。ターボ冷凍機 ETI-Z20 には、オゾン層破壊係数(ODP)がゼロかつ地球温暖化係数(GWP)が1(自然冷媒である CO_2 と同等)の HFO(ハイドロフルオロオレフィン)冷媒(HFO-1233zd(E))を採用している。

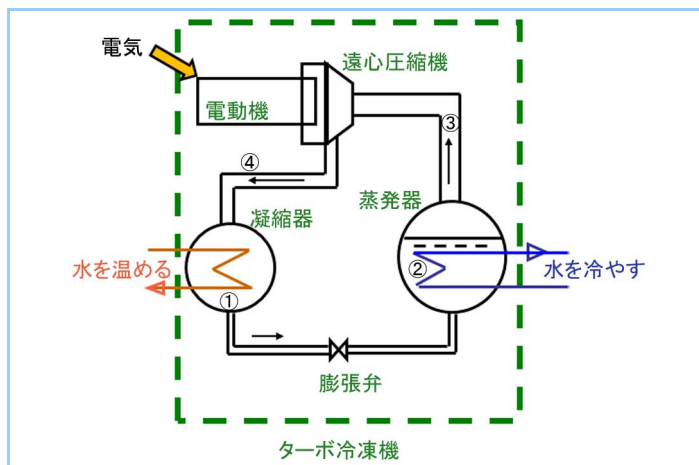


図2 ターボ冷凍機の冷却/加熱メカニズム



図3 今回採用したターボ冷凍機

3.2 帯水層蓄熱システムの構成要素

図4に帯水層蓄熱システムの構成要素を示す。

- ①二次側負荷(建屋内部の空気を冷やす/温める), ② ターボ冷凍機, ③ 井水熱交換器, ④ ①②間の冷水を循環させる冷水ポンプ, ⑤ ②③間の冷却水を循環させる冷却水ポンプ, ⑥ 揚水/注水する井戸ポンプ, そして, ターボ冷凍機の圧縮機モータ及びポンプモータを駆動する電気設備で構成されている。
- 冬季は, 温排熱(例えば 25℃)が蓄熱されている帯水層から揚水し, それを熱源とし, ターボ冷凍機(暖房モード)で温水(例えば 45℃)を製造し, 建物を暖房する。この時熱源となった地下水は冷却され冷排熱(例えば 15℃)として帯水層に注水し蓄冷する。
- 蓄冷された冷水塊(例えば 15℃)は季節をまたいで冬季から夏季の間動かず(帯水層の地下水流速が遅い場合)地下に蓄えられる。
- 夏季は, 冬季注水した井戸から揚水し, 冬季揚水した井戸へ注水する。それを熱源とし, ターボ冷凍機(冷房モード)で冷水(例えば7℃)を製造し, 建物を冷房する。この時熱源となった地下水は加熱され温排熱(例えば 25℃)として帯水層に注水し蓄熱する。
- 冬季の蓄冷温度を低く(例えば6℃)すると, 夏季は低温の冷排熱が蓄熱されている帯水層から揚水し, ターボ冷凍機を使用せずに直接冷水を供給し冷房することができる。
- 冬季の暖房+冷排熱蓄熱, 夏季の冷房+温排熱蓄熱または冷水直接利用を切り替えながら年間に亘る運用ができる。

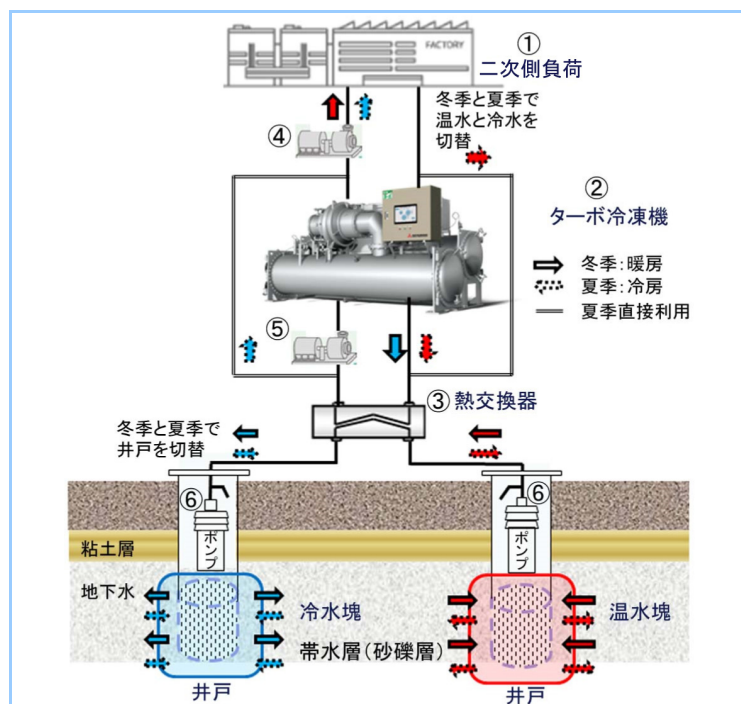


図4 帯水層蓄熱システム概要

4. ヒートアイランド防止, 水資源保全に効果的な帯水層蓄熱

一般的な空調システムは, 夏季の冷房時は大気に熱を放出しておりヒートアイランド^(注1)の一因といわれている。これらヒートアイランドによりさらに冷房需要が増え, 更に建物排熱が増えるといった悪循環が発生する。本報で紹介した帯水層蓄熱は, 夏季の温排熱/冬季の冷排熱を大気に放出せず, 地下水を通じて蓄熱し季節をまたいで取り出すことが可能なシステムのためヒートアイランドの防止に貢献することができる。加えて夏季の冷房において冷却塔を備える熱源システムは, 冷却塔で冷却水を蒸発させ大気に放熱をしているため, 運転中は一定量の給水を必要とするが, 帯水層蓄熱システムは冷排熱を利用する場合, 冷房運転に伴う補給水はゼロとなる。

(注1) ヒートアイランドとは都市の緑地, 表層土喪失や車や建物などの大量のエネルギー消費に伴う排熱により都市部の温暖化が起きる現象。

5. 試験

帯水層蓄熱システムを当社高砂製作所内に構築した。工場空調対象エリアは 4000m² でターボ冷凍機は 700kW である。従来1本の揚水井戸に対し、2～3本必要であった注水井戸を1本とし、揚水/注水を切り替え可能な井戸を開発した。井戸の揚水/注水能力は定格 70m³/h(最大 100m³/h)で、連続して大量の地下水を揚水し熱利用後ただちに注水する。一定の区画内で地下水を動かすが地盤の沈下など環境影響はない。熱源システムのフローを図5(a)、井戸の外観写真を図6、ターボ冷凍機の仕様を表1に示す。

2017 年2月よりターボ冷凍機と組み合わせて実証運転(暖房)を開始した。暖房運転のフローを図5(b)に示す。工場側への温水供給温度を 43℃、井戸への注水温度を6℃となるようコントロールする。

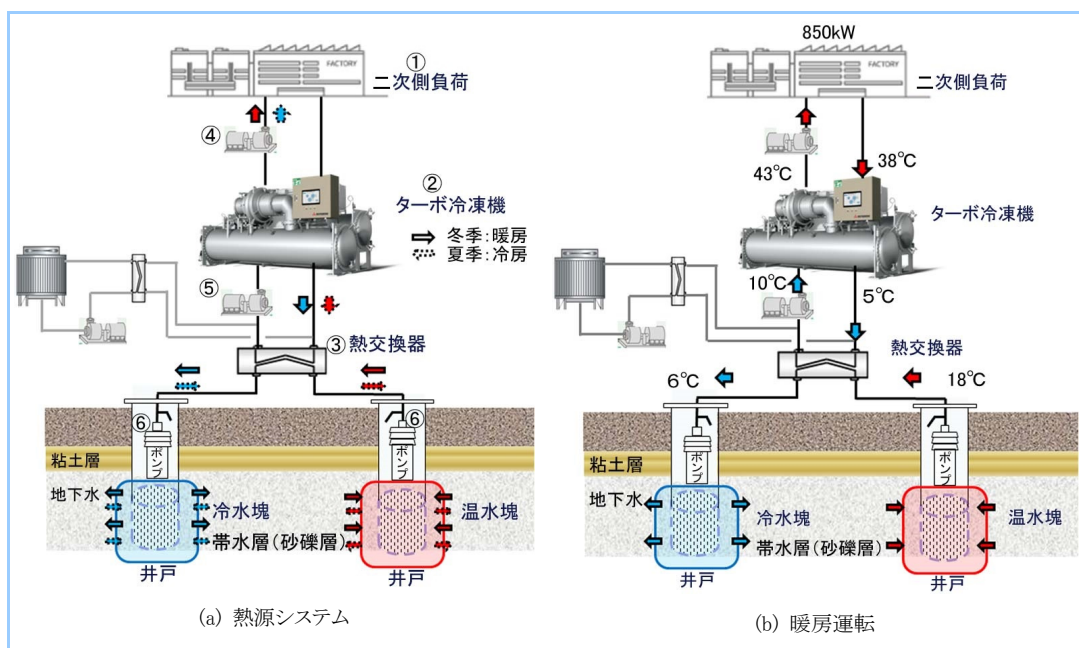


図5 熱源システム及び暖房運転のフロー



図6 井戸外観写真

表1 ターボ冷凍機の仕様値

ターボ冷凍機形式:ETI-Z25

仕様	冷房	暖房	単位
能力	703.3	850	kW
供給条件	10→5	38→43	℃
供給流量	120.9	146.2	m ³ /h
熱源水条件	32→37	10→5	℃
熱源水流量	141.3	120.5	m ³ /h
電源電圧	3 φ / 400		V
消費電力	122	152	kW

温水供給温度 $43^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 及び井戸注水温度 $6^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 到達後の暖房運転の熱源機単体 COP 及びシステム COP を図7に示す。熱負荷は 90%~40%, システム COP は 2.5~4.5 の間で推移した。また、ヒートポンプ単体の実測 COP は部分負荷予想曲線と比較し誤差は概ね 10% 以内であった。

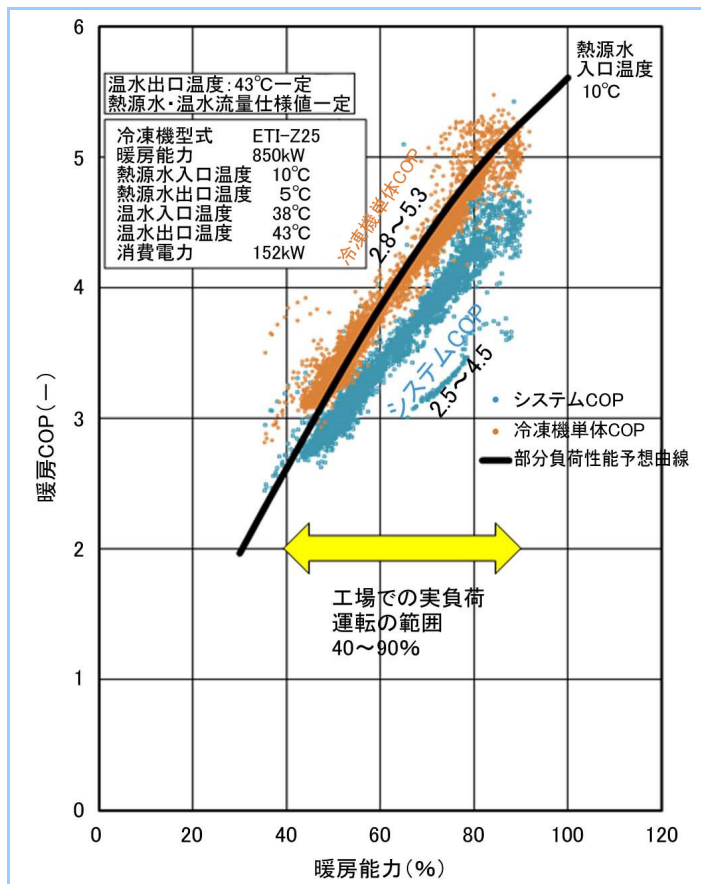


図7 暖房運転実績(2017年2月3日~2月21日)

暖房運転期間中の外気湿球温度推移を図8に、日中の外気湿球温度が最も低い(2.4°C (W.B.)^(注2), 1:38PM) 2月11日の暖房運転データを図9に示す。この時の外気温度平均値は 0.05°C (W.B.) であった。

本システムは空気熱源ヒートポンプやビル用マルチシステムと異なり熱源に凍結しない温度の温水を使うため、朝起動後約1時間で工場内の昇温が完了し、温水は定格 43°C に到達しており、停止時刻まで安定して温水を供給した。1時間平均のシステム COP は定格 43°C 到達時最高 4.77 (負荷率 81%, 10:00AM, 0.15°C (W.B.)) を示した。

夏季の冷水直接利用試験に備えるため冷水井への注水温度を 6°C と設定した。今後は、 6°C で蓄熱した熱を夏季にどの程度払い出せるか、また帯水層への蓄熱温度を変えた場合の運用効率等を検証していく予定である。

(注2) W.B.: wet-bulb(湿球温度)

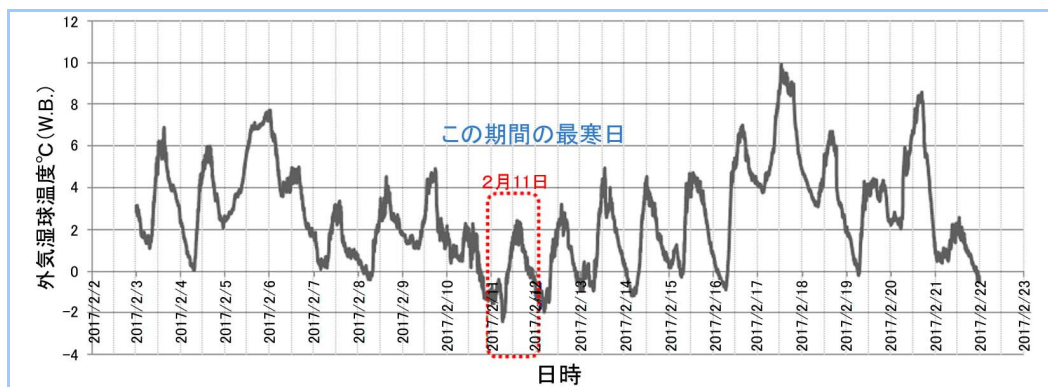


図8 外気温度推移(2017年2月3日~2月21日)

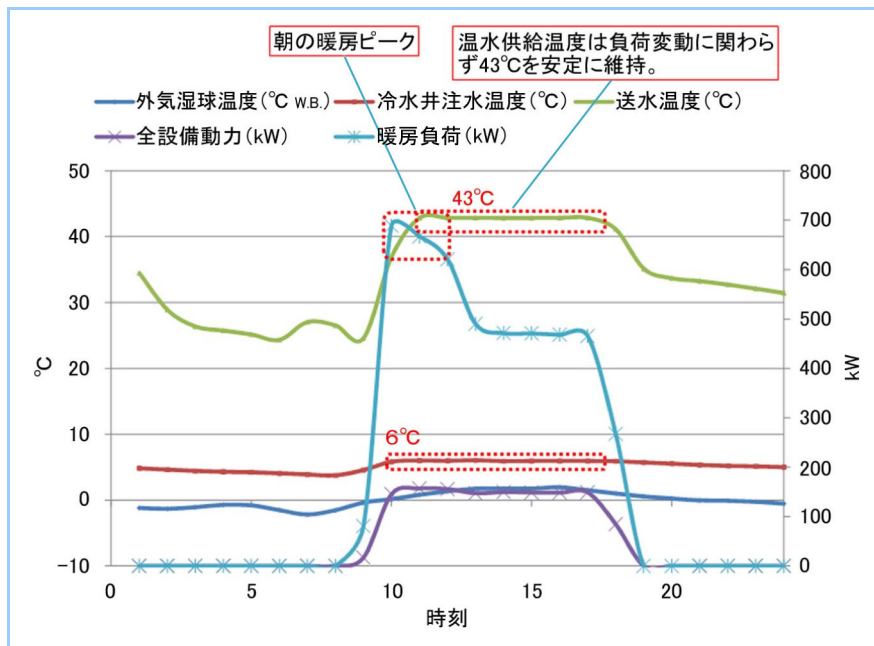


図9 暖房運転データ(2017年2月11日)

6. まとめ

高性能インバーターターボ冷凍機を用いて冷暖房できる帯水層蓄熱システムを構築した。従来、冷却塔は冬期凍結の恐れがあるため冷房専用で用いられていたターボ冷凍機を暖房に利用しボイラを省略できるなど、主に冷房に用いられるターボ冷凍機が暖房利用できるメリットは大きく、年間に亘り高効率・省エネルギー・超節水を実現する。暖房モードの検証を実施し、計画通りの平均外気温 0.15°C (W.B.), 定格到達時の時間平均システム COP4.77 を達成した。

参考文献

- (1) 小室ほか, 外気高温下における吸気冷却によるガスタービン複合発電プラントの出力アップ, 三菱重工技報 Vol.47 No.4 (2010)
- (2) 秋山俊之ほか, 環境と空気・水・熱, 空気調和・衛生工学会, (2007), p.1
- (3) 西垣 誠ほか, 共生型地下水適正利用ガイドライン, 共生型地下水技術活用研究会編, (2010), p.3