

排熱回収機能を搭載した 様々なヒートポンプシステムと活用事例

[第4回エレクトロヒートシンポジウム発表論文]

柴 芳郎 ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 開発部 次長
吉田 茂弘 株式会社エネビジョン 技術グループ
木下 裕 豊田通商株式会社 機械部 課長代理

要約 ヒートポンプは従来品に比べて省エネルギーであるため、環境にやさしいと評価されているが、イニシャルコスト（製品・システム）が高いため、ランニングコスト（光熱費）のメリットが少ないと導入が難しい。ここではヒートポンプのなかでも排熱回収という技術を用いてさらなる省エネルギーを実現したヒートポンプシステムの説明と工場における様々な、活用事例を紹介する。

1. はじめに

ヒートポンプという言葉は一般には馴染みが薄いですが、実はエアコン、冷蔵庫はヒートポンプの一種であり、かなり世の中に出回っている装置である。最近ではヒートポンプ給湯機やヒートポンプ式乾燥機などがテレビコマーシャルとして放映されているので、耳にする機会が増えてきている。ヒートポンプは文字通り熱を汲み上げるポンプの役割を行う装置であり、従来のガスや灯油のストーブ、電気ヒータに比べて、使い次第で省エネルギーになるため、環境にやさしい再生可能エネルギーとして認められている。ただし、従来のものにくらべると製品やシステムのコスト（イニシャルコスト）が大きくなるために、光熱費（ランニングコスト）のメリットが大きくないと導入が難しい。

ここではヒートポンプのなかでも排熱回収という技術を用いてさらなる省エネルギーを実現したヒートポンプシステムの説明と工場における様々な、活用事例を紹介する。

2. 排熱回収とは？

通常、排熱回収はどこかで排出された熱を回収して利用することを示しているが、もう一つ別の考え方がある。それは、ヒートポンプ自体が排出する熱を回収するというものである。前者をヒートポンプ間接排熱

回収、後者をヒートポンプ直接排熱回収と呼ぶことにする。ここでは、それら両方についての利用方法と利点について述べる。

2.1 ヒートポンプを用いない排熱回収

排熱を出す装置やシステムの熱を利用することは実用上よく行われている。図1のように排熱を熱交換することにより温水を生成している。

例えば、家庭用から産業用、発電所にいたるまでの発電システムは燃料を燃焼させてタービンを回すことにより発電を行っているが、燃焼時の排熱をそのまま捨てるのはもったいないためその熱を熱交換してお湯として利用するということが行われる。これは排熱を直接温水として利用するシステムである。自家発電を導入する場合は、電力会社による系統電力との比較が必要であり、排熱利用の割合、電気代と燃料代の比較、省エネルギー性の比較が必要である。

また、工場や焼却炉で排出される高温の有害ガスをスクラバーと呼ばれる排ガス洗浄装置で処理する際、洗浄液が加熱されるためその熱を熱交換して温水として利用するなどが挙げられる。

ただし、これらはヒートポンプを用いない排熱回収である。

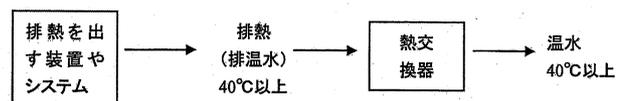


図1 ヒートポンプを用いない排熱回収

2.2 ヒートポンプ間接排熱回収

それでは、ヒートポンプを用いた場合の排熱回収とは一体どんなものであろうか？ヒートポンプは低温から高温を取り出す装置であるため、温度の低い排熱を利用する。40℃以上の排熱は図1のように直接熱交換して利用したほうが良い。

温度の低い排熱の例としては、冷房・冷蔵・冷凍用チラーの冷却水、工場排水、温泉排湯などが挙げられる。これらの排温水は熱交換するだけでは使用側の温度が低いいため、図2のようにヒートポンプによって40℃以上の温水を生成する。

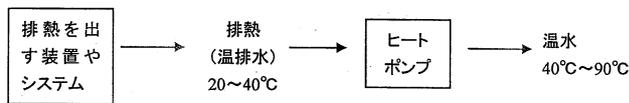


図2 間接排熱回収によるヒートポンプ利用

ヒートポンプは電気ヒータやボイラのように熱を発生させるわけではなく、熱を移動させる装置である。その仕組みを示したのが図3である。ヒートポンプは圧縮機と2つの熱交換器と膨張弁から構成され、それらが冷媒配管で結ばれている。冷媒配管の中には代替フロンなどの冷媒が封入されており、冷媒が循環している。圧縮機で冷媒が圧縮され（圧縮過程）高温高压のガスとなり、熱交換器で水や空気などの媒体を加熱する。冷媒は熱を放出するために液化して高温高压の液となり（凝縮過程）、膨張弁で流路が絞られることにより減圧膨張し低温低压の液となる（膨張過程）。冷媒はもう一方の熱交換器で水や空気などの媒体の熱を奪うことにより蒸発し（蒸発過程）、再び圧縮機で圧縮される。これらのサイクルを繰り返すことにより片方の媒体を冷却し、もう片方の媒体を加熱する。すなわち、ヒートポンプ全体で見ると片方で熱を奪った分を片方で加熱していることになる。正確には圧縮機を動かす分の電力に相当するエネルギーも加熱の熱量として加わる。冷却した熱量を Q_c 、加熱した熱量を Q_H 、圧縮機に与えられた電力エネルギーを E とすると、

$$Q_c + E = Q_H \quad (1)$$

という式が成立する。このようにヒートポンプで加熱を行う場合は、電気エネルギーの他に一方で冷却（採熱）した熱量が加熱として加わるため、電気ヒータよりも効率の高いシステムが構築できる。電気ヒータの効率を1とすると、ヒートポンプによる加熱効率を加熱 COP (Coefficient of Performance) とよび、

$$\text{加熱 COP} = Q_H / E \quad (2)$$

という簡単な式で表される。

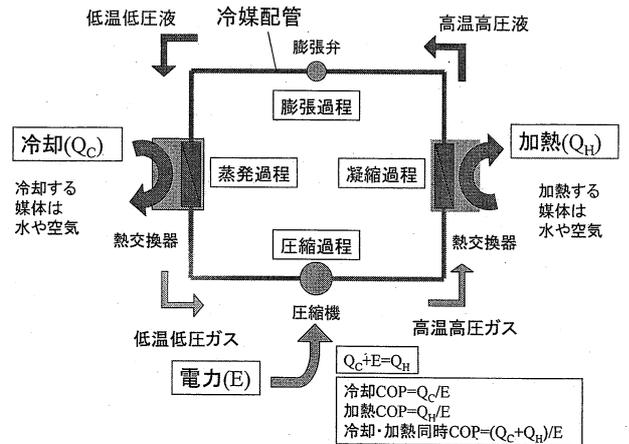


図3 ヒートポンプの仕組み

また、ヒートポンプの特長としては、冷却する温度と加熱する温度の温度差が小さいほど効率（COP）が高く、温度差が大きいほど効率が低いことである。これは水ポンプで水を汲み上げる時に高低差が大きいほど流量が小さく消費電力が大きくなる、すなわち効率が悪くなるのと同様である。したがって、ヒートポンプで加熱をする場合、一方の冷却する側の温度が高いほど効率が良い。（ただし、圧縮機の使用範囲による限界はある。）外気温度に比べて温排水は高い温度が得られるため、空気熱源のヒートポンプよりも高い効率が得られる。ただし、排出される温排水以上のエネルギーをヒートポンプで汲み上げることはできないため、温排水の流量とヒートポンプのバランスを十分考慮する必要がある。

2.3 ヒートポンプ直接排熱回収

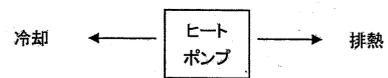


図4 ヒートポンプによる冷却

図4のようにヒートポンプで冷却を行う場合は、必ず排熱が発生する。例えばエアコンで冷房を行う場合は室外機から外気温度よりも温度の高い温風が吹き出される。この時の冷却効率は以下の通りである。

$$\text{冷却 COP} = Q_c / E \quad (3)$$

それに対して、この冷却時の排熱を加熱利用するのがヒートポンプ直接排熱回収である（図5）。冷却時に

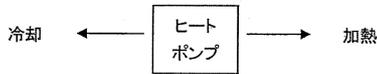


図5 ヒートポンプ直接排熱回収 (2回路型排熱回収ヒートポンプ)

捨てるはずの排熱を加熱として利用するので効率の高いシステムを構築できる。効率を冷却・加熱同時COPとして以下のように表される。

$$\text{冷却・加熱同時 COP} = (Q_c + Q_h) / E \quad (4)$$

例えば、冷房時の排熱を給湯として利用するシステムは、冷房時はお湯がタダで得られることになる。

ただし、図5のシステムでは冷却と加熱が同時に発生しないと運転することができない。メインの冷却機器と加熱機器が別があり、補助的に利用する場合はこのシステムで運用が可能であるが、排熱回収のヒートポンプをメインの熱源とする場合は、排熱回収だけでなく、冷却のみ、加熱のみの運転が可能でなければならない。図6はこれを実現したヒートポンプの一例である。このヒートポンプには熱交換器が3個組み込まれており、そのうちの2個を冷却用、加熱用として切り替えることにより冷房・暖房・給湯・循環昇温・冷房+給湯・冷房+循環昇温といった様々な運転が可能となっている。このヒートポンプを3回路型排熱回収ヒートポンプと呼ぶこととする。一方、図5のヒートポンプは2回路型排熱回収ヒートポンプである。

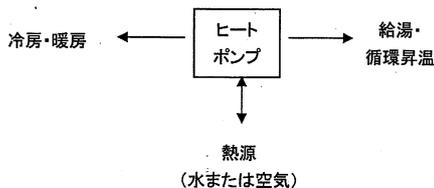


図6 3回路型排熱回収ヒートポンプ

3. 排熱回収ヒートポンプの導入事例

排熱回収ヒートポンプの様々な導入事例を示す。

3.1 塗装工場

図7参照

輸送機器製造工場において、塗装工程中の化成工程で使用される化成槽の循環昇温用として排熱回収ヒートポンプが採用された。製品の塗装工程はおおまかに以下通りである。

① 脱脂 (表面に付着している防錆油や切削油といっ

た油分やごみを洗浄)

- ② 水洗 (脱脂で使用した薬剤を水洗いする)
- ③ 化成 (化成槽において製品に皮膜結晶を化成する。)
- ④ 水洗 (薬剤及びスラッジ (副生成物) を攪拌浸漬及びシャワースプレーにて洗い流す)
- ⑤ 電着塗装
- ⑥ 水洗

化成槽の薬液の加熱は、従来蒸気ボイラにて行われていたが、省エネルギー、省ランニングコストを図るために排熱回収ヒートポンプが導入された。熱源は工場の他の用途で用いられている従来捨てられていた約50℃の蒸気ドレンを集水槽に集めたものを、熱交換器を介して用いられており、熱交換された蒸気ドレンは温度が低下した状態で汚水として排水される。工場稼働時は蒸気ドレンが必ず出るので排熱回収ヒートポンプの熱源として利用することができる。外気を用いる空冷ヒートポンプよりも年間を通して安定した熱源が得られるため、能力と効率の高いヒートポンプシステムが構築された。

3.2 陶器耐久試験

陶器生産工場で陶器製品の最終工程である耐久試験に必要な冷水・温水を生成するための熱源として排熱回収ヒートポンプが採用された。図8がそのシステムフローである。排熱回収ヒートポンプで加熱された温水によって、熱交換器を介して高温試験用の温水を加熱するとともに、もう一方で低温試験用の冷水と高圧試験用の冷水を冷却する。従来は加熱についてはボイラ、冷却についてはクーリングタワーや空冷チラーが使われていたが、排熱回収ヒートポンプ導入によりボイラはほとんど運転しておらず、空冷チラーの運転も少なくなり、トータルで省エネルギー、低ランニングコストを実現することができた。

3.3 エンジン内潤滑油・シリンダー加熱

ガスエンジンが停止している時、再始動時のかかりやすさを保つため、潤滑油を一定の温度範囲に保つための加熱が必要である。また、シリンダー内は冷却水が流れ、運転時は冷却が必要であるが、逆に停止時は再始動時のかかりやすさを保つために潤滑油と同様に一定の温度範囲に保つための加熱をしている。これらの加熱は従来までは電気ヒータを使用していた。ガスエンジンの冷却水と潤滑油を排熱回収ヒートポンプで加熱している事例のシステムフローが図9である。冷却側は他の工程で温度の高い部屋の冷却を行っている。このシステムが成立するのはかなり大規模なエンジンであることが必要であるが、潤滑油や冷却水をゆっくり温める必要があるためヒートポンプが適している。このシステムは精密機器製造工場にて採用され

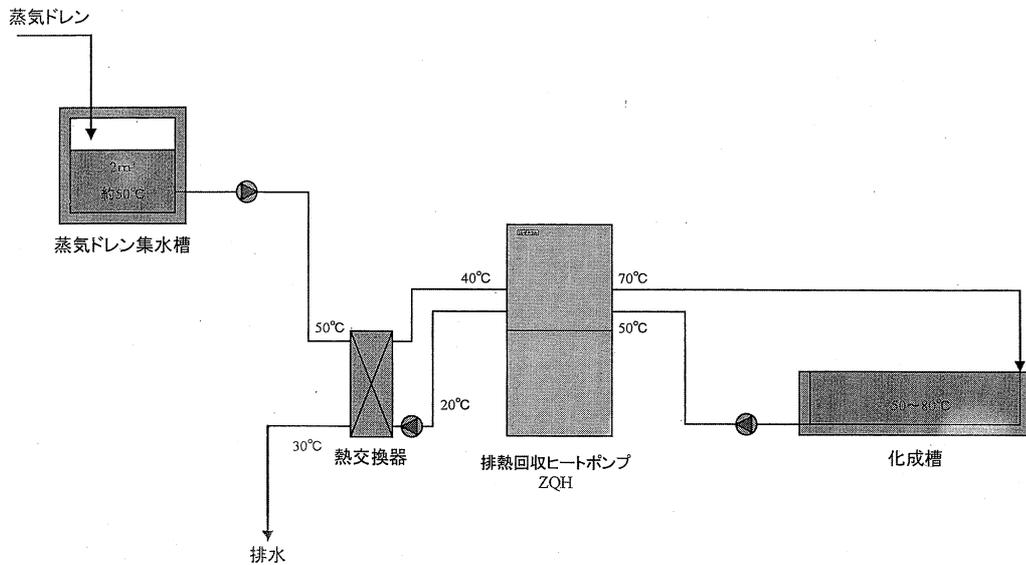


図 7 塗装工程における排熱回収ヒートポンプの事例

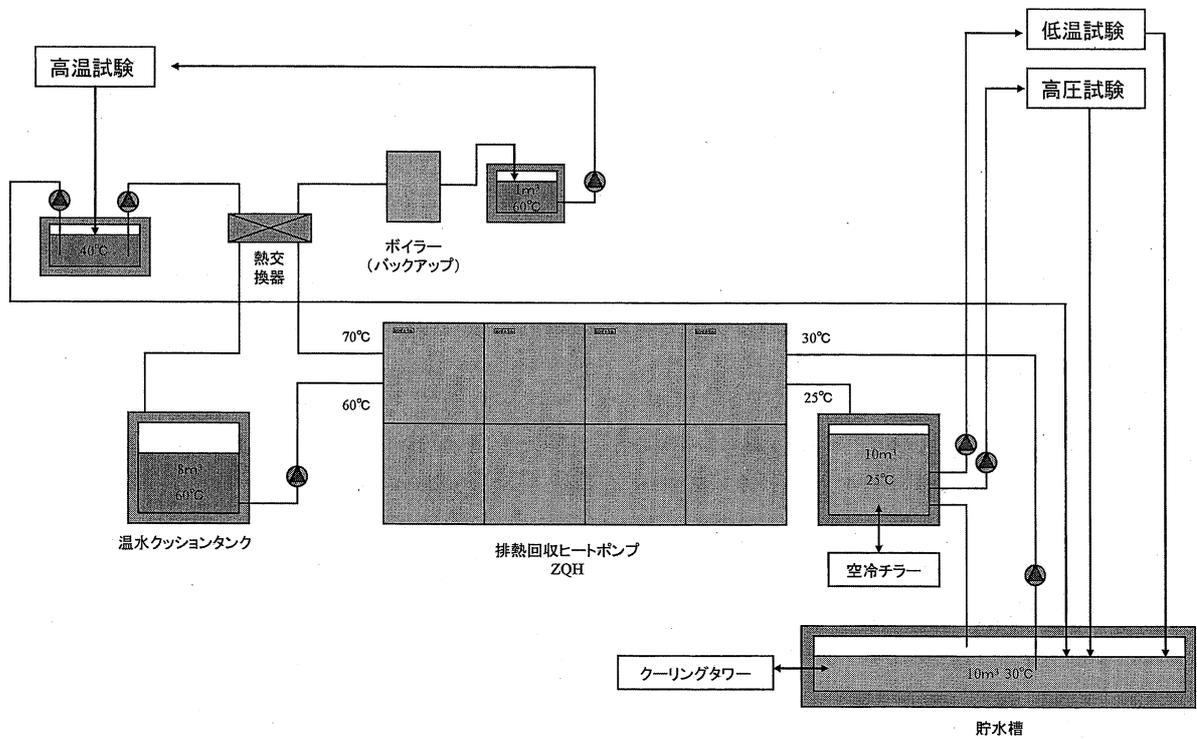


図 8 陶器耐久試験

た。排熱回収ヒートポンプが運転するのは終業から始業までの6~7時間であり、休日は24時間運転となっている。

3.4 コージェネレーション代替システム

樹脂成型工場において、コージェネレーションシステムで発電時に排出される高温の排ガスを熱交換して排温水とし、その排温水との熱交換による温水供給とその排温水を熱源とした吸収式冷凍機による冷水供給

がされていた。しかし、燃料費高騰のためコージェネレーションのメリットがなくなってしまったため、電力は系統電力から購入し、冷水と温水は排熱回収ヒートポンプによって賄うといったシステムに更新された。冷却負荷が大きい夏期は排熱回収ヒートポンプの温水を既設の排温水焚吸式冷凍機の熱源とすることにより冷水を生産空調に供給し、排熱回収ヒートポンプの冷水と合わせて運転を行っている。冬期は温水を

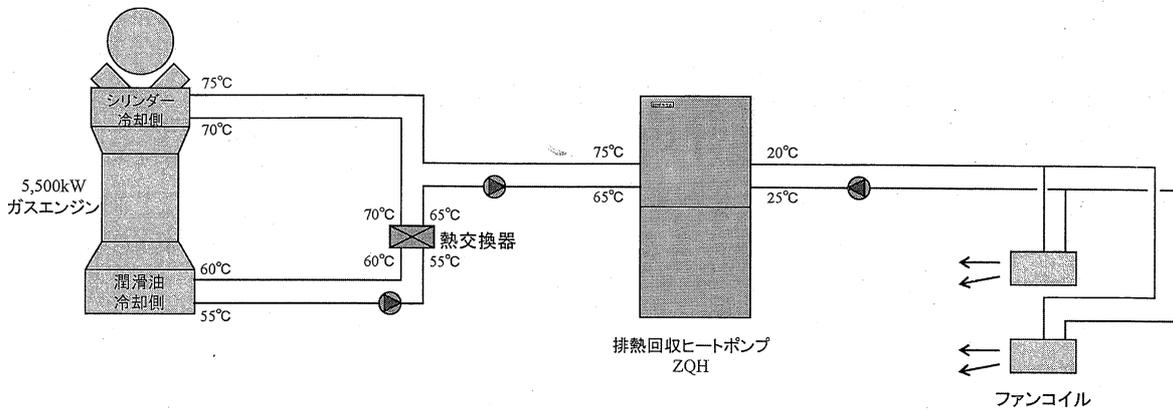


図 9 エンジン潤滑油加熱と冷房

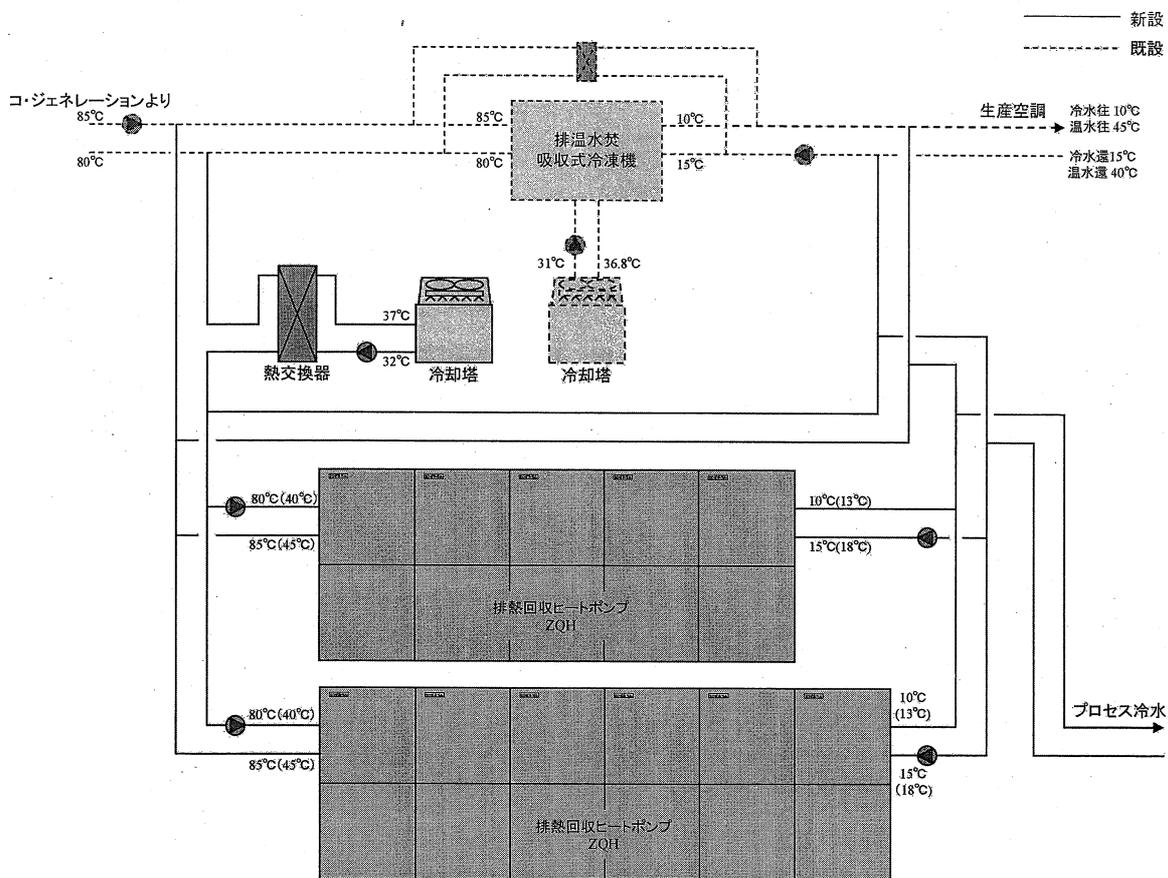


図 10 コージェネレーション代替冷温水供給システム

生産空調に、冷水はプロセス冷水に供給している。中間期など除湿の必要な時期には冷却塔を介して温水を放熱して冷水のみ供給し、プロセス冷凍機、生産空調の負荷低減を行っている。既存コージェネシステムの機器を活用しながら、通年での省エネを考慮した排熱回収ヒートポンプの応用例となっている。

図 10 参照

3.5 食品工場

寒冷地である北海道の食品工場において、排熱回収ヒートポンプが採用された。図 11 にここでは図 6 で示された 3 回路型排熱回収ヒートポンプが採用されている。その排熱回収ヒートポンプで生成される温水は工場内の清掃などで用いる雑温水であり、冷水は野菜の洗浄用の冷水である。冷水負荷と温水負荷が同時にある場合は排熱回収運転がされており、片方だけの負

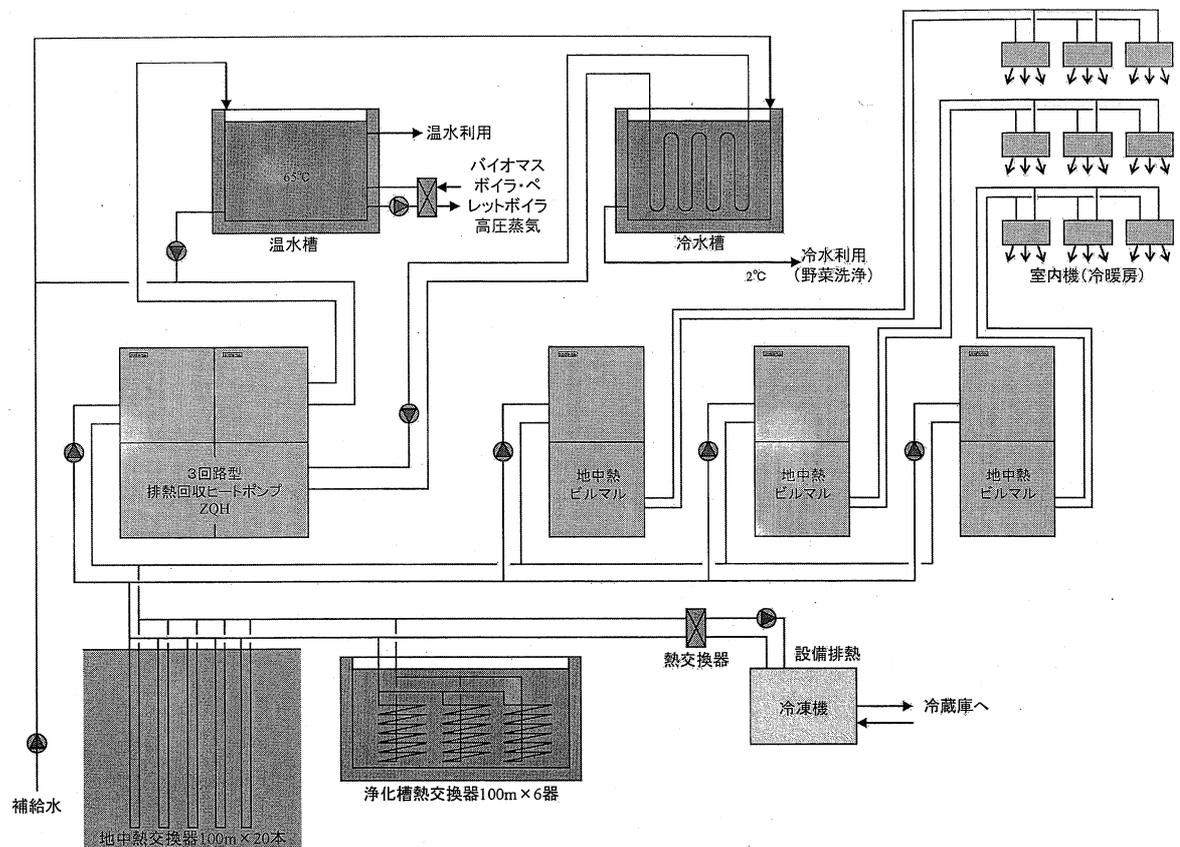


図 11 食品工場における排熱回収

荷の場合は別の熱源を用いている。その熱源としては地中熱をベースとして冷蔵庫の排熱や浄化槽の排熱も利用している。また、その熱源は地中熱ビル用マルチ空調システムの熱源としても利用されている。このように寒冷地で外気温の低い冬期においてもヒートポンプによる暖房や給湯が可能となっている。

4. 最後に

排熱回収ヒートポンプシステムを採用する場合は以下の項目の調査が必要である。

- ・冷却負荷（プロセス冷却、冷房等）
- ・加熱負荷（プロセス加熱、暖房、給湯等）
- ・排温水の温度、流量、排温水が排出される時間帯
- ・負荷のスケジュール（稼働時間、稼働日等）

これらに基づいて、排熱回収ヒートポンプシステムの設計を行い、ボイラ、電気ヒーター、空冷チラーなどの他熱源のシステムとの比較を行う。比較項目は以下

の通りである。

- ・イニシャルコスト
- ・ランニングコスト
- ・投資回収年数
- ・一次エネルギー消費削減量
- ・二酸化炭素排出削減量
- ・設置スペース

これらの評価項目について優先順位を決めて採用を決定する。排熱回収ヒートポンプを導入すると一次エネルギー消費削減量や二酸化炭素排出削減量が大きいため、国や地方からの補助金が見られる場合もある。したがって排熱回収ヒートポンプを検討する場合は補助金の情報（公募期間、予算規模、補助対象範囲など）についても調査したほうが良い。また、補助を受ける場合はエネルギー計測や成果報告の義務がある。計測データや報告書は公に評価されるのでCSR（企業の社会的責任）の一部として環境問題の改善を図る取り組みの証拠となる。