

産業分野に於けるヒートポンプの利用とその課題

Application of the Heat Pump in the Industrial Use and Problem to Solve

岩 崎 善 彦*

Yoshihiko Iwasaki

1. はじめに

ヒートポンプは空調分野で普及が著しく、1台で冷房・暖房ができ、特に暖房については、ヒートポンプの特性から、入力に対する出力が2～3倍になり、省エネルギーであると言うメリットで、エアコンに於けるヒートポンプの比率は非常に高まっている。

ヒートポンプの基本機能は、「冷やす」、「暖める」を非常に省エネルギー的に実現するものである。この機能は、程度の差こそあるが、殆どの生産プロセスで必要とされる。「冷やす」機能は産業用途では、一般的であるので、本稿では、温水ボイラーの代替として「暖める」機能にヒートポンプを利用した産業用途の実例を概説し、これから益々拡大させていくために、ヒートポンプ普及のための課題について述べる。

尚、ヒートポンプの種類も多いので、ここでは最も実績の多い、電動式往復動形ヒートポンプに限定して述べる。

2. ヒートポンプの概要

2.1 ヒートポンプの原理

ヒートポンプとは、温度の低い側から熱を吸収（従って対象物は低温に維持できる）し、この吸収した熱を温度の高い側で放出（従って対象物は高温に維持できる）する機械である。低温吸熱側は冷媒の圧力を下げて冷媒を沸騰し易く保ち、高温放熱側は冷媒の圧力を高くして凝縮過程を助ける。ヒートポンプの構成は、高・低温側熱交換器、冷媒ガスを昇圧する圧縮機、冷媒液を降圧する絞り装置を閉回路でつないだものである。（図-1参照）「冷やす」「暖める」を一つの熱交換器で交互に冷却、加熱を必要とする場合の冷媒回路について、図-2に示す。即ち、冷媒の流れを逆転さす四方切替弁が必要である。冷却或は加熱として利用す

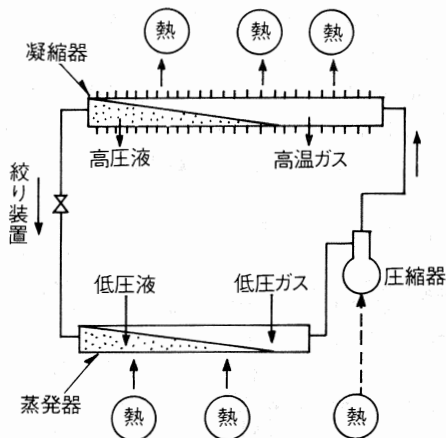


図-1 ヒートポンプ原理図（冷媒状態図）

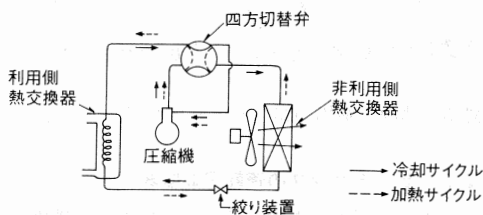


図-2 ヒートポンプ冷媒回路図

べき熱媒を利用側熱交換器から得、排熱すべき熱源は非利用側熱交換器を通す。ヒートポンプを効率よく運転するためには、よい熱源を選定することである。

2.2 ヒートポンプに於ける熱源、熱媒の組合せ

ヒートポンプは熱を移動さす機械であるため、利用側媒体（熱媒と云う）を高温に加熱する場合には、非利用側媒体（熱源と云う）を低温で吸熱する必要がある。この熱源の温度が或る程度以上高い方が、効率的に加熱ができる。冷却の場合も同様で、低い温度の熱媒をより低温に維持するため吸熱し、高い温度の熱源に放熱する必要がある。この場合も熱源温度は低い方が効率的に冷却ができる。このようにヒートポンプを運転する場合、冷却・加熱モードに応じ適当な温度の、

* 三菱電機(株)中央研究所専事

〒661 尼崎市塚口本町 8-1-1

そして変化の少ない熱源が前提条件になる。

熱源としてもっとも汎用性がある、何処でも入手できるのは大気であるが、気温の日変動、季節変動、地域差が大きい。特に外気温の低いときの加熱運転には効率が悪い。水熱源については地下水が年間を通じて水温が安定しており有利であるが、地域性・地盤沈下等のため、利用上の制約となっている。産業用としては、工場の廃熱（例えば原動機の冷却熱、排気熱、熱処理廃熱など）の利用を計るべきである。熱媒側については、除湿機以外は水（液体）が多い。

空気、水をヒートポンプシステムに、媒体として組合せの配管スケルトンを図-3に示す。熱媒、熱源共に水を使う水冷ヒートポンプチャラーには、冷水・温水を得るために水回路の切替えが一般的である。

| 呼称 | 水冷ヒートポンプ | 水冷ヒートポンプチャラー | 空冷ヒートポンプ | 空冷ヒートポンプチャラー |
|------|-------------|--------------|------------|--------------|
| 熱源 | 水(地下水、河川水等) | 水(地下水、河川水等) | 空気(外気、排気等) | 空気(外気、排気等) |
| 熱媒 | 空気 | 水 | 空気 | 水 |
| 回路図 | | | | |
| 冷暖切替 | 冷媒切替 | 水回路切替 | 冷媒切替 | 冷媒切替 |

図-3 熱源・熱媒の組合せとその配管スケルトン

2.3 ヒートポンプの運転可能限界

ヒートポンプの基本機能は、「冷やす」「暖める」であるが、その温度レベルには制限がある。即ち、高温にするためには、圧力を高く保つ必要があり、構成部品の機械的強度、冷媒ガスの圧縮比を大きくするために、圧縮熱による冷媒、冷凍機油の高温劣化、或は電動機負荷の過大などの対策が必要である。ヒートポンプの実用的使用限界については、使用冷媒、圧縮機、冷媒の流量制御などにより大巾に変わる。例として、三菱電機製の水冷ヒートポンプチャラーの使用限界について図-4に示す。図-5に同空冷ヒートポンプチャラーを示す。水冷ヒートポンプチャラーでは、温水出口温度を上げるためには、R-22よりもR-12が有利である。熱源水温度が高くなれば、低压側が高くなり過負荷となり、逆に低温になれば圧力比が大きくなり、吐出温度が上昇することを示している。空冷ヒートポンプチャラーの場合も同様であるが、吐出ガス温度の制約から、低外

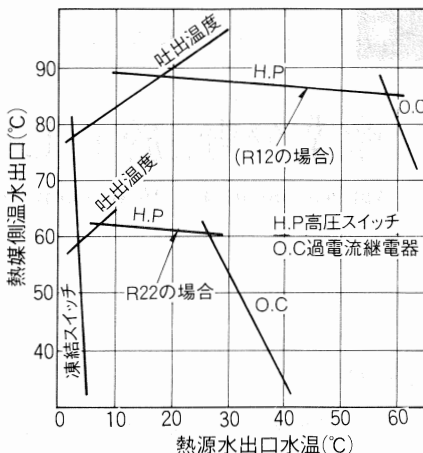


図-4 水冷ヒートポンプチャラー使用限界 (三菱電機製 CRH-ET)

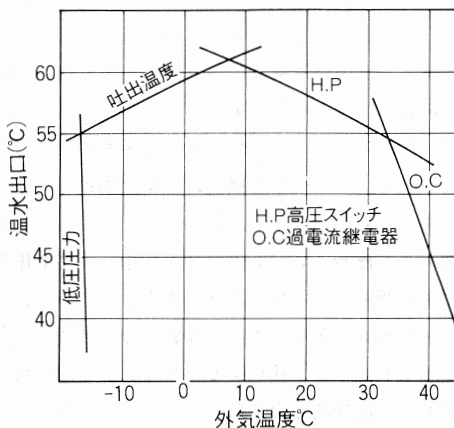


図-5 空冷ヒートポンプチャラー使用限界 (三菱電機製 CAH-E)

気温下での高温出場は望ましくない。

ヒートポンプを産業用として使う場合には、その使用限界の範囲内で運転することが肝要である。

3. 産業用途への使用実例

産業用途として「冷やす」機能は、製氷機・冷凍冷蔵庫等のユニット製品、射出成形金形、レーザー加工機の発振器部、工作機械の潤滑油等の冷却など広く活用され、信頼性・性能改善の目的で新しい使い方も開発されているが、冷却はヒートポンプでの本来の使い方であるので、本稿では温水ボイラーの領域である加熱分野についてのヒートポンプの利用を述べる。

3.1 冷却、加熱の共存の例

(1) 汚泥の凍結融解装置¹⁾

公害防止や環境保全の面から、産業廃棄物の処理が

問題となってきた。焼却は、悪臭・大気汚染など公害上望ましくない。海洋投棄等は処理費が高いため容積を小さくする必要がある。凍結融解装置は、汚泥の含有水分を少なくして、容積の縮少を効率的に計るものである。即ち85%位の含水率の汚泥を50%位に脱水すれば、汚泥容積は $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{2}$ に低減する。原理的には、濃縮された汚泥を凍結することにより、固形質から水分が分解し、固形質の占める体積が減少する。凍結汚泥を融解しても分離した水分は元に戻らない為、簡単な脱水装置により汚泥の含水率を大巾に低下させられる。ヒートポンプを利用した原理図を、図-6に示す。濃縮された新汚泥を下部の凍結融解第1槽へ注入し、水冷ヒートポンプチラー（ブライン利用）で得た低温ブラインを第1槽に導き、汚泥を凍結さす。第2槽は、高温ブラインが導入されており、凍結された汚泥が融解され、下部の脱水槽で水分除去、そして第2槽は新汚泥が充填される。第1槽が充分凍結すれば、ブライ

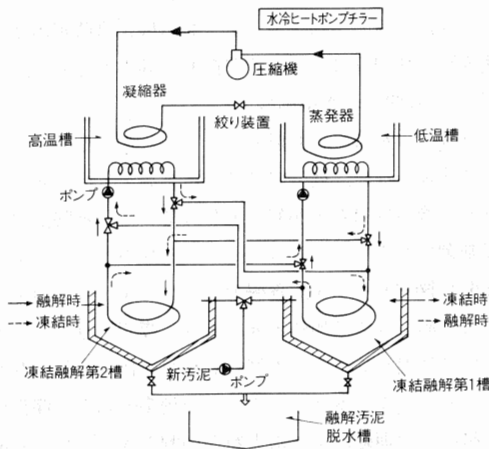


図-6 水冷ヒートポンプチラーを汚泥の凍結融解装置に使った原理図

ン回路を切替え、第1槽に高温ブラインを導き融解に入り、第2槽は、冷ブラインで凍結工程に入る。本装置は、バッチ式であるが、冷ブラインと温ブラインが、ヒートポンプで得られ、効率的である。この方式では、脱水処理も2次公害がなく、処理温度も常温域であり、構造材の腐蝕が少ないなどメリットが大きい。主な対象は、工場のメッキ廃液、半導体のエッジング等の処理液、上水道の微細砂の処理、し尿処理に於けるバクテリア処理等がある。改善点は、汚泥の濃縮処理設備を含みコストを安くすることである。

(2) モヤシの育成

モヤシ乾燥豆に定期的に温水を散布することにより育成される。具体的な例では、乾燥豆を40℃の温水に6時間浸漬し、その後は6時間毎に育成槽群に20℃温水を40分間散布し、約7日間繰り返し、最後の出荷前に7℃の冷水に2時間浸漬してしめる。モヤシ育成装置の構成システム図を図-7に示す。この例は、北海道のものであるが、井水が利用できるため効率の高い運転ができる。そして、水冷ヒートポンプの容量も6時間で40分間の散水量を確保すればよく、機械容量も小さく稼働率高く、設備費的に有利である。

(3) メッキ工場

メッキ工程は、メッキ浴槽がジュール熱で発熱するので、冷す必要があり、又脱脂槽は加熱が必要で、いずれの温度もヒートポンプの範囲である。メッキ浴槽の温度はメッキ材料により異なる。例えば亜鉛メッキ浴は27℃±3℃に保ち、脱脂槽は55℃近辺である。メッキ処理は、冷却すべき側の温度は割合高く、加熱すべき側の温度も低く維持でき、ヒートポンプの効率も高く、設備費回収期間の短縮に寄与する。

(4) 除湿機の実用例

除湿機は同一風路内に、冷却側熱交換器と加熱側熱

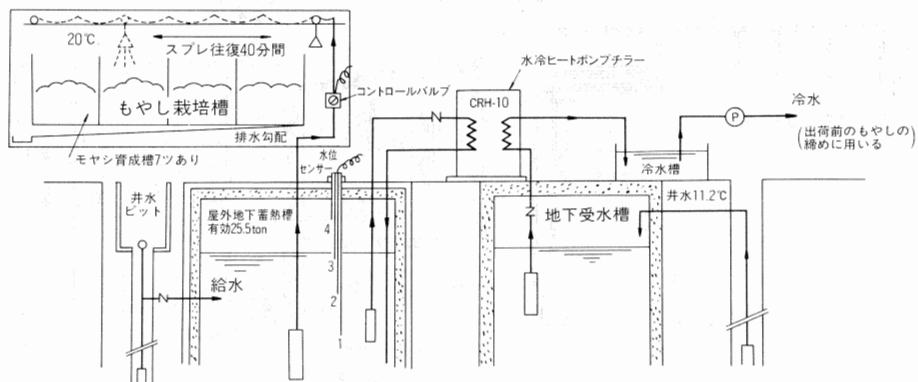


図-7 モヤシ育成装置図

交換器を設け、先ず空気を蒸発器で冷却することにより、絶対湿度を下げ凝縮器を通すことで、減湿冷却された空気の温度を上げることにより、空気の相対湿度を下げるものである。(図-8²⁾参照)除湿機は、魚、わかめ、そうめん、干柿など食品の乾燥、或は施設園芸用として、バラ・メロンの環境制御に実用され効果を上げている。

除湿乾燥のメリットは、例えばシシャモの場合、従来はオイルフェーンで、38℃位の温風で乾かしていたが、魚の脂肪が酸化したり、表面が変色したりして品質的に問題があった。除湿機を利用して、25℃位の除湿空気乾燥させれば、商品が美しく仕上がり、1年中天候に左右されることもなく能率的に生産ができる。又ランニングコストも石油に比べ半分以下になる。

除湿機は、仕上り商品の品質向上を目指すものが多いが、トータルコストの低減が重要な課題である。

(5) 冷暖房給湯ユニット

ヒートポンプ冷暖房システムに、高温出湯用ヒートポンプを組合せた製品(コンビネーションQ)の配管系統図を図-9に示す。本装置は、空冷ヒートポンプチャラーで冷暖房し、給湯については熱源を空調用水に求

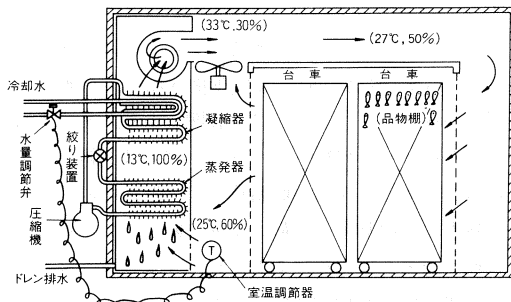


図-8 除湿機及び乾燥室構成図²⁾

め、高温水にするために冷媒R-12を用いた水冷ヒートポンプチャラーを組合せたものである。この製品は住宅用を狙ったもので、給湯については、夏のみは冷房廃熱、その他は大気を熱源としたものであるが、空冷ヒートポンプチャラーに高性能のものを使っているので効率率は高い。各運転モードに於ける性能を図-10に示す。外気温度とC.O.P(成績係数と云い入力に対する出力の比)の関係を、出湯温度60℃と80℃の場合を示す。冬期では、空冷ヒートポンプチャラーで生成される温水を熱源として利用するので、コンビネーションQとしての性能は共食い分だけ低下する。夏期には両ヒートポンプが同方向に運転するので、性能は各々の加重平均となる。

3.2 加熱分野への適用例

従来温水ボイラーが利用されていた分野に、ヒートポンプの利用が増加しつつあるが、温水ボイラーに比べ、設備費が高いことが問題となる。この対応として井水のような熱源のあるところ、設備が共用できる用途、或は既設の冷却ユニット(製氷機、冷蔵庫用冷凍機等)の熱回収などが維持費節約の効果大である。

(1) 養鰻池の水温制御

うなぎは水温が16℃以下になると、エサを食べない為に成長しない。従って冬期には水温を上げる必要がある。適温は24℃~26℃と云われている。養鰻池の水温制御に水冷ヒートポンプチャラーを利用したシステム概要を図-11に示す。養鰻池はビニールハウスの中にあるため、昼間は加熱不要であり、夜間のみヒートポンプで加温している。本例は高知県の例であり、井水があることによるヒートポンプの効率の向上、深夜時間帯のみの運転による電力料金の割引きにより、石油ボイラと価格的に充分対抗できる装置である。水温を

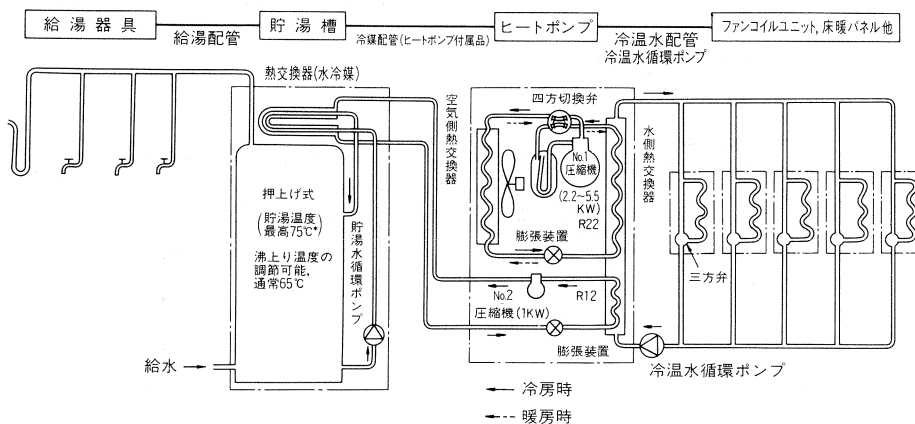


図-9 冷暖給湯用ヒートポンプ配管(冷媒回路水回路)図

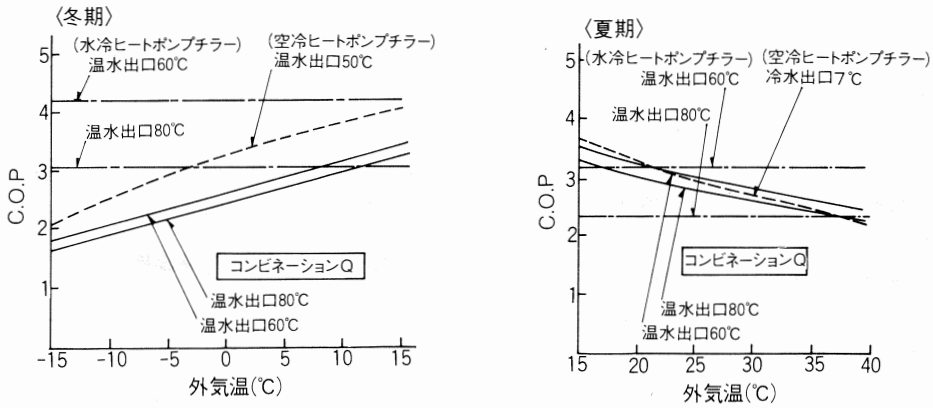


図-10 コピネーションQ性能図 (空冷ヒートポンプ 3.75kw, 水冷ヒートポンプ 1.1kwの組合せ)

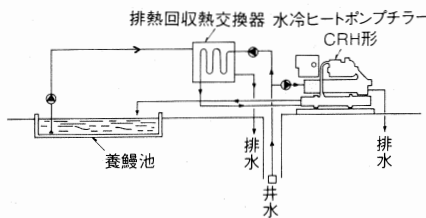


図-11 養鰻池加熱システム図

制御することにより、シラスの成魚まで1.5年位で、自然放置の1/2~1/3位の期間である。真冬にはヒートポンプだけでは能力不足であるので、既設のボイラーも併用しているが、油の消費量も激減し維持費も安い。

(2) ビジネスホテルの給湯

ビジネスホテルの給湯には従来温水ボイラーを利用していたが、冷暖房にヒートポンプを使っていること、そして冷暖房は昼間は不要であること、従って、冷暖

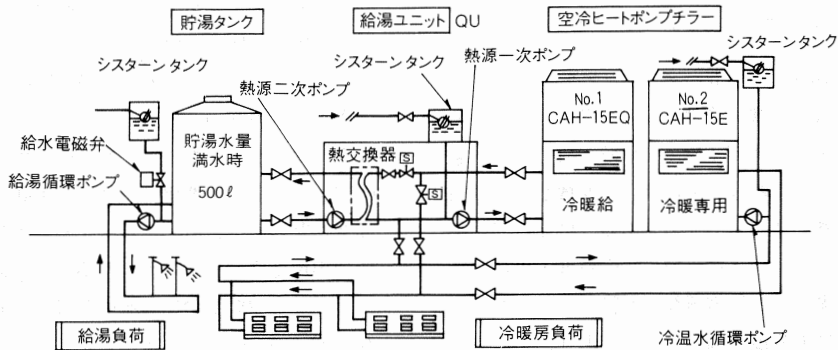


図-12 ヒートポンプによる冷暖房給湯システム概要

| | 0 | 2 | 4 | 5 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|------------------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| 冷房及び貯湯給湯の時間 | 暖房 | 貯湯 | 給湯 | 給湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 貯湯 | 暖房 |
| ヒートポンプの冷却加熱モード | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード | 加熱 | 加熱モード |
| 熱源一次ポンプ (冷暖房・貯湯) | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 | 空調 |
| 熱源二次ポンプ (貯湯専用) | | | | | | | | | | | | | |
| 給湯循環ポンプ | | | | | | | | | | | | | |
| 補給水電磁弁 | | | | | | | | | | | | | |

図-13 図-11のシステムに於ける運転スケジュール (CAH-Eは省略)

房用ヒートポンプを昼間に給湯用として運転し、夜間の給湯負荷に対応できれば、ヒートポンプが共通で、稼働率も上り経済的である。図-12はビジネスホテルの冷暖房給湯システム (客室数 18)、図-13は機器の運転スケジュールを示す。15トンの空冷ヒートポンプチラーで、内1台を冷暖給の各モードで運転する。昼間の給湯運転のために夜迄の蓄熱用として、5トンの貯湯タンクを有している。清浄なお湯を得るため、冷暖回路と縁を切る熱交換器として給湯ユニットを組入れている。給湯の温度も55°C位を確保した。

本システムでは、温水ボイラーを設置に比べて設備

費が若干高くなるが、維持費が安くなるため2年位でペイバックする。

(3) 温泉に於ける加熱利用

温泉の場合、湯の温度が不十分な場合、温水ボイラーで昇温していたが、温泉に煙突が建てられない、ボイラーの低温腐蝕の問題がある。温泉は熱源が豊富にあるので、水冷ヒートポンプチラーが利用される。

図-14は、温泉の加熱用として冷凍機をヒートポンプとして使った例である。最近このような用途には、蒸発器も一体化した水冷ヒートポンプチラーが一般的で、サービス性・信頼性の向上を計っている。本例は浴槽の廃湯を熱源として、温泉の昇温を計っているが、冷暖房用に利用しているケースも多くなっている。

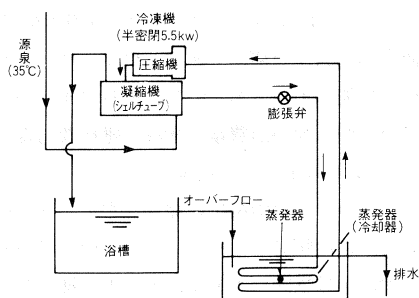


図-14 温泉加熱の利用例（廃熱回収）

(4) 既設冷凍機の熱回収

食品工業では製水機、冷蔵庫などが既設の場合が多い。そして給湯は温水ボイラーで供給されている。温度がヒートポンプの範囲であれば、冷凍機からの熱回収（凝縮器排熱の利用）で充分である。例えばボイラー工場における毛抜工程、或は食肉処理工場における工の床、作業台、各種容器類の油脂の除去のための洗浄などは、60℃程度の温水で充分であり、これを既設の冷凍機からの熱回収でまかなえば、温水ボイラーが不要となり、大巾な省エネルギーが計れる³⁾。

3.3 産業用利用のマクロ的効果

ヒートポンプを産業用用途に利用し、高品質、省エネルギーの実現に大きく寄与している。ヒートポンプは、従来の石油温水ボイラーに比べ、相当な高額設備であるが、地下水の利用、工場廃熱の利用等で、エネルギーコストの節減効果は大きくなる。

マクロ的には従来の温水ボイラーに比べ設備費償却も数年の範囲である。冷却も必要とする加熱用途ではその有効性は倍増するが、加熱専用の用途でも省エネルギーは当然であるとして、ヒートポンプなるが故に、運転操作が簡単で自動化がし易く、保守も容易であり、

ボイラーマンなど有資格者の不要、火を使わないことによる安全性の向上等に対する評価が大きい。

ヒートポンプは温水ボイラーの代替品と云うだけでなく、冷却機能の活用、給湯温度もマイルドである、公害（煙）がないなど独得のメリットも多く、工夫次第で活用出来る分野は開けると期待できる。

4. ヒートポンプの将来課題

ヒートポンプの産業用利用の代表例について概略を述べた。ヒートポンプは「冷やす」機能に附加して、省エネルギー的に「暖める」機能を有しており、従来の温水ボイラーの領域で普及が始まっている。ヒートポンプの利用できる温度レベル、熱量レベルには自ずから実用可能な制約がある。即ち空調用として開発された技術であり、産業用としては完成されていないと云える。汎ゆる産業は省エネルギーを指向しており、「冷やす」「暖める」機能にヒートポンプを利用することは、時代の流れに適合したものである。産業用用途にヒートポンプを普及させるための技術的改善事項について述べる。

(1) 出力温度レベルをより高くすること

ヒートポンプを産業用として使用する場合、利用し易い熱媒は液体（一般には「水」）が殆どである。ヒートポンプで出し得る最高出湯温度により、用途が制限される。現在のヒートポンプの最高出湯温度は、冷媒 R-12 を使ったもので80℃、R-22 を使ったもので、60℃位である。産業用の用途では150℃位迄の温度の需要が割合多く、ヒートポンプの利用を拡大するには、その出湯温度レベルの上昇が不可欠である。現在ヒートポンプで100℃の出湯を得る最も一般的な冷媒は、R-114 である⁴⁾。ヒートポンプの特性（例えば入力に対する出力が1以上であると云う省エネルギー性）を維持しつつ、出湯温度を高くするために、圧縮機、熱交換器、冷媒の流量制御等の改善はもとより、冷媒、油についても、高温安定性を計る添加剤なども含め材料の改良に取組み、徐々に出湯最高温度を上げていく事が肝要である。

(2) 経済性が高いこと

ヒートポンプは省エネルギー的な加熱機能をメリットとして、温水ボイラーの領域に参入しているが最終的には、トータルコストが勝負となる。ヒートポンプは維持費が安い、又冷却機能ももつため、魚の乾燥など高品質な商品に仕上るなどのメリットを持つが、温水ボイラーに代替していくためには、設備費、維持費

のトータルで有利でなければいけない。現在のヒートポンプは、コスト的にも、性能的にも改善しなければ産業用として通用しない。ヒートポンプそのものの改善はもとより、システムとして省エネルギー、例えば蓄熱等による余剰エネルギーの利用、機器容量の縮小、熱回収によるシステム効率の向上、負荷変動に対し複数ユニット運転等、全体的なコスト低減アプローチが重要課題である。

(3) 環境条件に適合したシステム対応

空調用と比べ産業用は用途が大巾に拡大している。食品工業用については、熱交換器周りの材質の撰定、熱回収すべき熱源媒体に耐える材質撰定、構造改善、設置場所により耐蝕性材料の撰定などシステムとしての改善改良が必要である。運転期間にしても年間を通じ冷却或は加熱のみ、或は冷却加熱の繰返しなどシビアな運転を要求されることが多い。産業用用途への適合については、コスト面から標準化を計りながら、多岐にわたる仕様に対応していかなければならない。

(4) ヒートポンプの適合用途の開発

産業用として、温水ボイラーの代替としての応用よりも、更に1歩突込みヒートポンプの特性をフルに活用できる用途開発が重要である。例へば除湿乾燥は仕上り商品の品質向上に寄与した。食品の濃縮については、温度が低い程、時間が短い程仕上り品質がよくなる。現技術では高温で短時間処理であるが、品質維持するために、ヒートポンプの温度レベルで処理できれば更に有利になる。産業用用途を開拓するために、ヒートポンプの特性をフルに活用できる用途を開拓することが、ヒートポンプの将来性を左右する。

5. おわりに

産業用プロセスの多くは冷却、加熱の基本機能を必要としており、加熱機能の省エネルギー性に着目され、運転可能な温度レベルの範囲でヒートポンプが利用されている。産業用プロセスは温水ボイラーの利用が殆どで、そのうち温度レベルが低く、適当な熱源があり、製品の生産能率、品質を向上させたいと云う用途にヒートポンプが利用されだした。即ち空調用のヒートポンプ技術をそのまま産業用用途に適合するものだけ応用している現状である。

今後省エネルギー化、製品の高品質化の要求は益々強くなり、ヒートポンプの利用も拡大していくであろう。ヒートポンプ普及のために、実運転中のシステムにつき、より詳細な運転実態の調査、解析、そして使

用上の問題点の抽出、技術革新による改善実施等により、産業用として適合したヒートポンプ及びそのシステムを開発していかなければならない。

本文ではヒートポンプの産業用への応用と今後の課題について概略を述べた。エネルギー関係者に多少なりともご参考になれば、望外の喜びとするところである。

参 考 文 献

1. 森口哲雄他3名；凍結—融解による汚泥処理，三菱電機技報 vol. 47, No.11 (1973). p.1153~1158
2. 東京電力kk；ししゃもの乾燥，ヒートポンプによる冷暖房 No.20 (58-8), p.41
3. 石橋貞人；農産施設への応用例，冷凍 vol.59, No.676 (59-2) p.45~49
4. 森鷗，往復動ヒートポンプ，明日のヒートポンプを考える。'83新テクノロジーシンポジウムPART 4 (日本能率協会)，(58-11), p.3-1~3-10
5. 全般的な引用文献は，岩崎善彦；産業用途における往復動ヒートポンプの実施例，明日のヒートポンプを考える。'83新テクノロジーシンポジウムPRAT 4 (日本能率協会) (58-11) p.1-17~1-30 による。

