

# 産業用ヒートポンプの応用

IEA Industrial Energy-related Systems and Technologies Annex13  
IEA Heat Pump Programme Annex35

## 第1章 政策論文

## 目 次

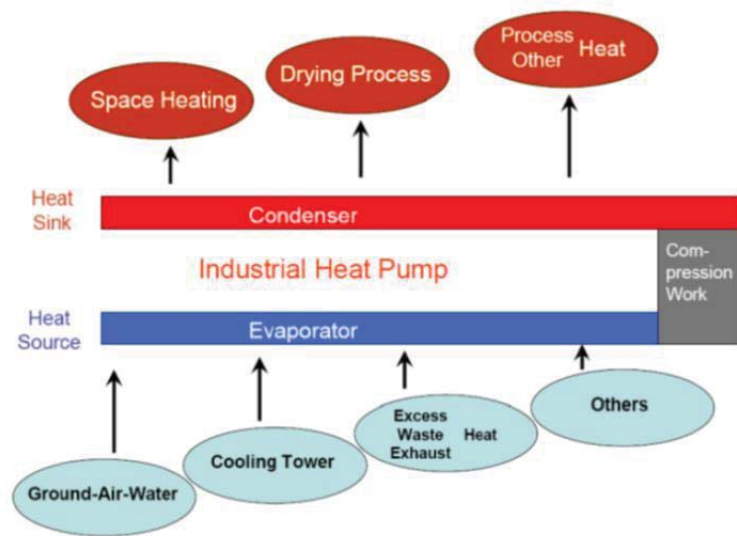
1. 序文	p11
2. Annex 35/13	p11
3. 産業用ヒートポンプの適用	p12
4. 適用における障害と解決策	p12
5. 産業用ヒートポンプのプロセスへの統合化	p13
6. 既存の導入事例	p13
6.1 食料品産業におけるヒートポンプーチョコレート工場における 冷熱複合利用 (UK)	
6.2 Arla Arico におけるハイブリッドヒートポンプ (デンマーク)	
6.3 自動車工場の塗装工程へのヒートポンプ技術の導入 (日本)	
6.4 バイオマスプラントにおける排ガス凝縮装置へのヒートポンプ の採用 (オーストリア)	
6.5 金属加工 (ドイツ)	
6.6 チューリッヒにおける食肉工場 (スイス)	
6.7 高温ヒートポンプの研究開発 (フランス)	
6.8 乾燥用高温ヒートポンプ (カナダ)	
6.9 サーモアコースティックヒート変換器	
6.10 高温ヒートポンプに適した冷媒の基本特性	

# 第1章 政策論文

## 1. 序文

信頼ある、経済的な持続可能なエネルギー供給の確保は、環境と気候の保護と同様に 21 世紀においてのグローバルから見た重要な挑戦である。再生可能エネルギーとエネルギー効率の改善は、これらのエネルギー政策目標を達成する上で最も重要なステップである。過去 20 年の間に驚くべき高い効率が既に達成されているが、もし最も優れた利用可能技術 (BAT, best available technologies) の導入が世界的に進めば、産業の製造部門におけるエネルギー消費と CO<sub>2</sub> 排出はさらに削減できる可能性がある。

産業用ヒートポンプは、産業プロセスで排熱温度を上昇することで、その熱を同じプロセスや別の用途に利用できる積極的な熱回収装置である。



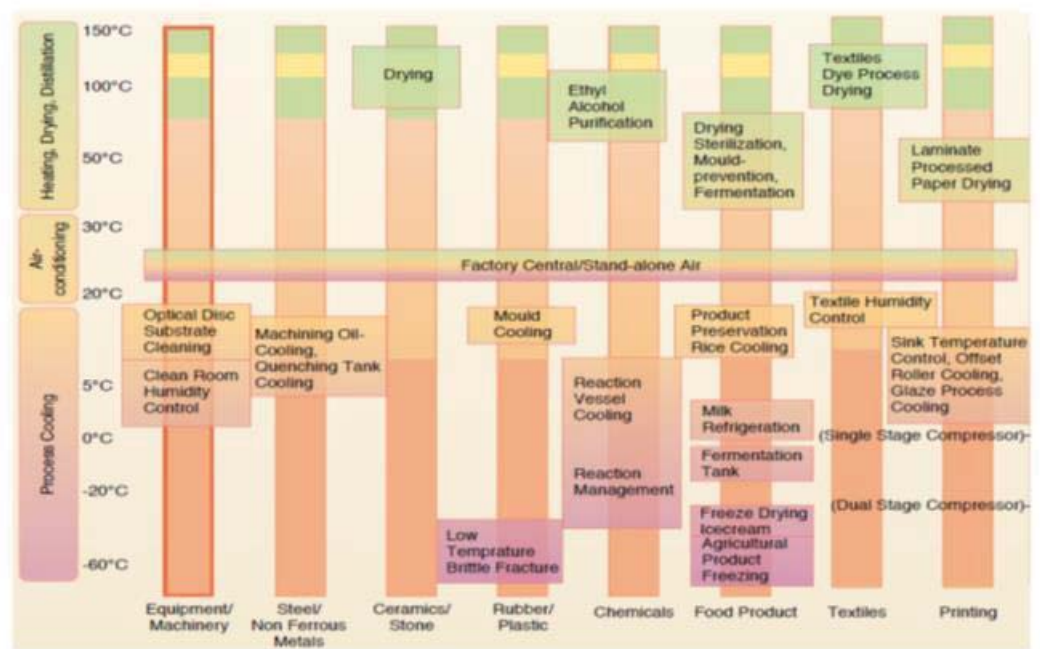
## 2. Annex 35/13

エネルギー消費と温室効果ガスの削減に積極的に貢献するためにヒートポンプを産業に普及させることを目的に IEA 実施協定の “Industrial Energy-Related Technologies and Systems(IETS)” と “Heat Pump Programme(HPP)” の共同プログラムである IEA-HPP-IETS Annex 35/13 “産業用ヒートポンプの適用(Application of Industrial Heat Pumps)” が立ち上げられた。

Annex35/13 プロジェクトは、オーストリア、カナダ、デンマーク、フランス、ドイツ (幹事国 O A)、日本、オランダ、韓国、スウェーデンの参加で 2010 年 4 月 1 日に開始し 2014 年 4 月まで実施された。

### 3. 産業用ヒートポンプの適用

#### Industrial Heat Pump Applications



### 4. 適用における障害と解決策

産業利用のヒートポンプは、最近、参加国で市場に導入されているが、その事例は限られている。この理由を明らかにするために、Task1 で適用の障害について調査し、以下の結果が得られた。

#### (1) 知識の不足

産業プロセスにヒートポンプを組み込むには、プロセスそのものの知識だけでなく、産業用ヒートポンプの適用能力に関する知識が要求される。残念なことに、企業の導入主体や意思決定者は、ヒートポンプを最も適切な方法で導入していくのに必要な両者を組み合わせる知識を有していない。

#### (2) 企業における熱需要についての関心の低さ

ほとんどの企業において、ヒートポンプ導入に必要なプロセスの温熱と冷熱の需要に関する知識を持ち合わせていない。そのため、産業用ヒートポンプを導入していくためには熱需要の調査が必要となり費用と時間がかかる。

#### (3) 長期の投資回収期間

石油やガスのバーナーに比べて、ヒートポンプの投資コストは高い。企業の多くが2～3年よりも短い投資回収期間を望んでいる。しかし、投資が見えれば5年以上の投資回収期間を受け入れる企業もある。これに応えるには、ヒートポンプに対して長期の運用期間と経済的に成り立つ優れた成績係数 (COP) が求められる。

#### (4) 高温での適用

技術的には、商用ヒートポンプのほとんどに温度制御の障害がある。適用事例の多くは、加熱温度が 65°C以下に制限されている。理論的には産業用ヒートポンプの適用ポテンシャルは、冷媒を含む効率的なヒートポンプ技術を開発することで、加熱温度を 100°C、あるいはそれ以上にまで向上できる。

Annex の調査により、様々な障害は解決できることが示された；短期の投資回収期間（2 年以下）、CO<sub>2</sub> 排出の大幅削減（50%以上）、100°C以上の高温化、それに 100°C以下の供給温度は可能である。

#### 5. 産業用ヒートポンプのプロセスへの統合化

IHPs をプロセスに統合する方法には、手作業から高度な数値最適化まで広範囲の方法論があり、それらは文献で議論された。Task2 の報告書で IHPs のプロセス統合がコンピューターソフトウェア、すなわちモデル化によって、いかに支援されているかを表した。

最新の開発技術によって Annex21 の本来の目標を保ったスクリーニングプログラムを更新できるように、ピンチ解析を基本とするヒートポンプのプロセスの統合化が提案された。この概念の基本要素として、次のことが挙げられる。

- ・ 課題のテーブルアルゴリズムをユーティリティとヒートポンプの同時最適化が可能な拡張されたモデルにより置き換える
- ・ 標準的なピンチ解析に用いられているように熱交換器のネットワークを近似する
- ・ ヒートポンプが結び付いている温熱と冷熱の流れを選ぶアルゴリズムを開発する
- ・ 同時最適化に利用できるヒートポンプのデータベースを開発する

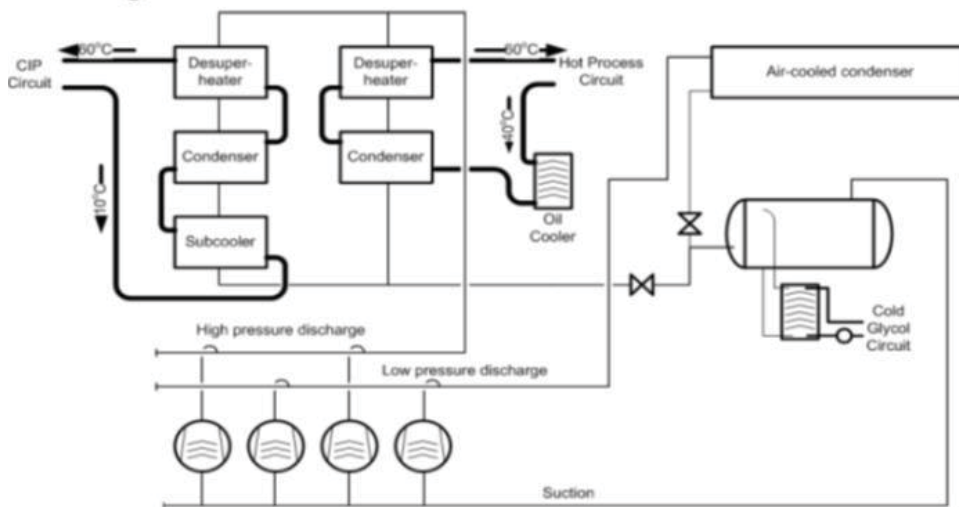
ヒートポンプをプロセスに統合する概念は、複雑な数値最適化モデルよりもレベルを下げて、可能性をピンチ解析を基本とする広く利用できるプログラムであるべきだ。

#### 6. 既存の導入事例

##### 6.1 食料品産業におけるヒートポンプ—チョコレート工場における冷熱複合利用（UK）

チョコレート工場では、その製造プロセスに冷却工程もある。冷熱の同時需要は、加熱と冷却の既存システムをヒートポンプによって置き換えることができる。その方法として、温熱と冷熱を同時に供給できる単純スクリュウ圧縮機方式が導入されている。

ヒートポンプによる熱源は、5°Cでアンモニアを蒸発させ 0°Cにまで下げるグリコール冷却工程と一段で 61°Cにまで温度を高めるものである。加熱のプロセス水は最終的には 10°Cから 60°Cまで高めることができる。



クライアントが以前、測定した加熱と冷却の負荷特性を基に、それは解析によって“全体損失”と“閉ループ”回路から予測される熱水の加熱需要に見合っして示されたものであり、それによると選ばれたヒートポンプ圧縮機は 1.25MW の高水準な熱を生産することになる。この需要を達成するために、選ばれた装置として 346kW の吸収出力をもつ冷凍能力 914kW が提供される。加熱と冷却を複合化した COP (COP<sub>hc</sub>) は、6.25 と計算される。放出圧力が 17K の場合には、吸収出力の増加は 108kW になり、COP<sub>hi</sub> は 11.57 にまで急上昇する。

需要家への初期の考えとして 90°C の高温水ヒートポンプを得ることであった。事実、幾つか適用された需要は 90°C を要求していた。しかし、この温度レベルでの需要は、全体の熱需要のせいぜい 10% 程度であった。そういった温度にヒートポンプを導入する設計では、性能や効率には興味がないことが判明した。その結果、60°C の温水を生産するヒートポンプ



を導入することを決めた。90°C のわずかな熱需要の要求に対しては、小型のガスボイラーによって加熱することで水温を 60°C から 90°C にまで上昇して供給できる。

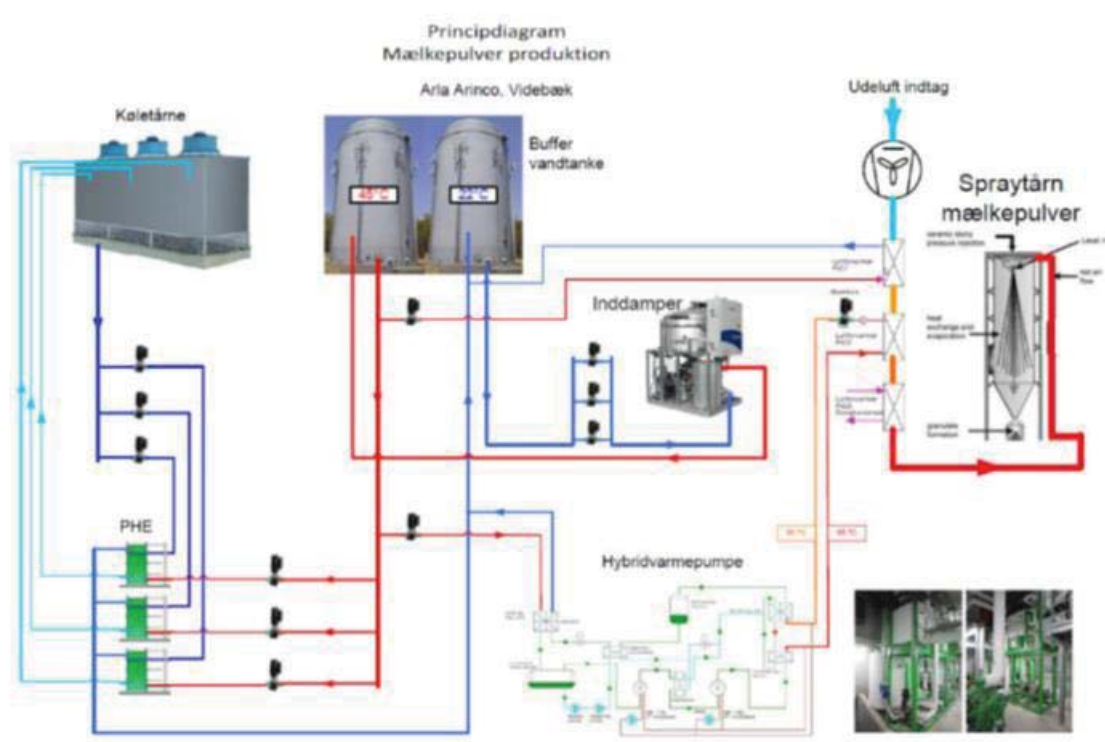
それとは別に他の加熱案として、セントラルなガス燃焼ボイラーに CHP あるいは地中熱ヒートポンプについても検討した。定性的かつ定量的な評価（コスト、既存設備の向上、サイトの将来成長など）によって、プロジェクトに対する最善の解決策はヒートポンプになると決まった。

このプロジェクトは Nestle によるもので、加熱費用を年間 143,000 ポンド（166,000 ユーロ）節約し、スター冷凍機製アンモニア冷媒ヒートポンプを使って 120,000kg の炭素排出量を削減できることが分かった。加熱と冷却の両方を兼ね備えた新冷凍プラントにも係わらず、以前の冷却だけのプラントに比べて電気料金を年間 120,000 ポンド（140,000 ユーロ）も節約できる。このプロジェクトの別の効果として、水消費量を 52,000m<sup>3</sup>/日から 34,000m<sup>3</sup>/日にまで削減することができた。

この Nestle システムに対して、2010RAC 賞において「産業と商業プロジェクト部門賞」が与えられた。

## 6.2 Arla Arico におけるハイブリッドヒートポンプ（デンマーク）

プロジェクト前に環境に捨てられていた 40℃の冷却水からエネルギーを取り出すために 1.25MW のヒートポンプが導入された。導入されたヒートポンプは、粉ミルクの乾燥空気を約 80℃まで予熱するものである。



このヒートポンプは、乾燥粉ミルクに必要な空気を 150℃まで昇温する適用事例として導入されたものである。以前は天然ガスボイラーによって加熱していた。このプロジェクトの基本方針は、次の通りである。

1. エネルギー需要の最小化
2. できる限り熱交換器に直接、接続する
3. エネルギー需要に対してヒートポンプが最善の方法であるかを検討する

ヒートポンプ方式は、1.25MW の出力で冷媒として NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O を使用するハイブリッド（圧縮／吸収）方式である。

150℃までの加熱の一部としてヒートポンプを使うことが最善の方法であることが明らかになった。また、空気の予熱は蒸発器の冷却水を使って直接、熱を交換することで可能になることが大切になる。加熱方法は3段階から成り、最初の段階は冷却水を使って40℃まで予熱し、第二段階でヒートポンプを使って冷却水からの熱を回収して40-80℃まで昇温し、第三段階で既存のガスボイラーを使って80-150℃まで加熱する。冷却と加熱の需要変動により、2つのバッファータンクが安定状態をかくほすために導入されている。

COP が 4.6 のとき、このヒートポンプシステムは従来の天然ガスを置き換えることでエネルギーコストをおよそ半分にまで下げることができる。長い年間運転時間（約 7,400 時間）によってエネルギーコストを大幅に削減できることになる。このプロジェクトを通じた分析で空気の直接予熱に加えて他のエネルギー消費も節約でき、この方法が経済的であることが判明した。エネルギー節約は、デンマークのエネルギー削減に対する支援を受けることになる。このシステムではかなりのエネルギーが節約されるために、投資額のおよそ半分が支援されることになり、投資回収期間は 1.5 年と極めて経済的になった。

このプロジェクトによって得られた別の効果として、このサイズのヒートポンププラントのエンジニアリング、設計、建設、許認可、そして運用が従来の産業用冷蔵プラントと比較されたことである。

### 6.3 自動車工場の塗装工程へのヒートポンプ技術の導入（日本）

自動車工場の塗装施設では、非常に多くのエネルギーが加熱・冷却工程、動力、システム制御、照明などに使われている。一般に、エネルギー源はガスと電気である。塗装工程の加熱と冷却には、ガスの直接燃焼、水蒸気、高温水、冷蔵装置で発生する冷却水が使われており、その一次エネルギーのほとんどは天然ガスである。エネルギー効率に関しては、電気エネルギーはガスエネルギーよりもエネルギー効率で低い。なぜならば電気エネルギーの効率はせいぜい 40% であるのに対して、ガスの場合は直接燃焼したエネルギーのほぼ 100% を使うことができる。しかし、ヒートポンプ技術は効率を大きく改善し、エネルギー効率を高めることができる。そのため高効率のヒートポンプが近年、産業プロセスにも導入され始めている。

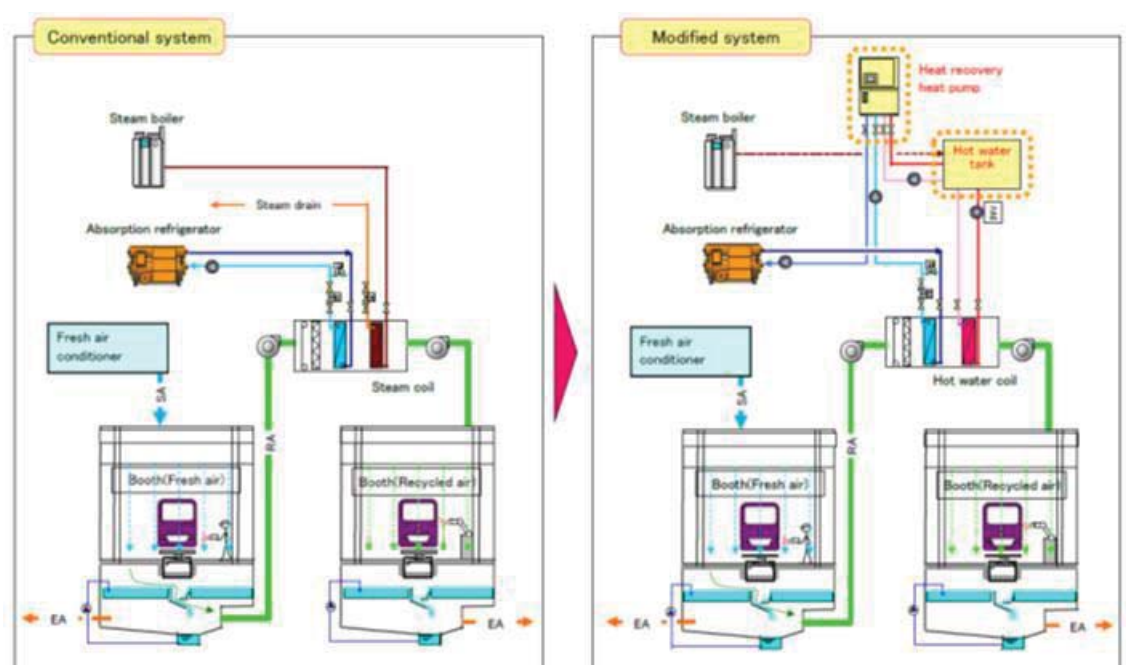


ヒートポンプ技術から得られ



る利点として3つ上げることができる。最初は、熱回収システム、二番目は効率的な熱源装置、そして三番目はもっとも効率的な利用法である加熱と冷却の同時利用である。加熱と冷却の同時利用は、前処理／電気めっきや作業場の空調、水性フラッシュオフ設備などの工程に応用される。すなわち、ヒートポンプの効果は、作業場のリサイクル空調と水性フラッシュオフ設備における導入において高く活かされる。

従来、塗装作業場におけるリサイクル空調の熱源は、ガス吸収式冷凍機とボイラーからなっていた。リサイクル空調はガス吸収式冷凍機で冷却され、ボイラー水蒸気で再熱されていた。熱回収ヒートポンプは、冷却と加熱の熱を同時に供給できるようにした。この改良システムは、ガス吸収式冷凍機やボイラーといった既存の設備を利用することでシステムの信頼性向上だけでなく、二酸化炭素の排出量を削減できるものである。



ヒートポンプの導入によって従来のボイラー用に比べて、システム全体で、およそ 63% の運転費用を削減し、二酸化炭素排出量を月で 47%削減し、さらに一次エネルギーで計算すると月に 49%のエネルギー消費を削減することが可能になった。この結果、投資回収期間は 3 から 4 年と見積もられている。

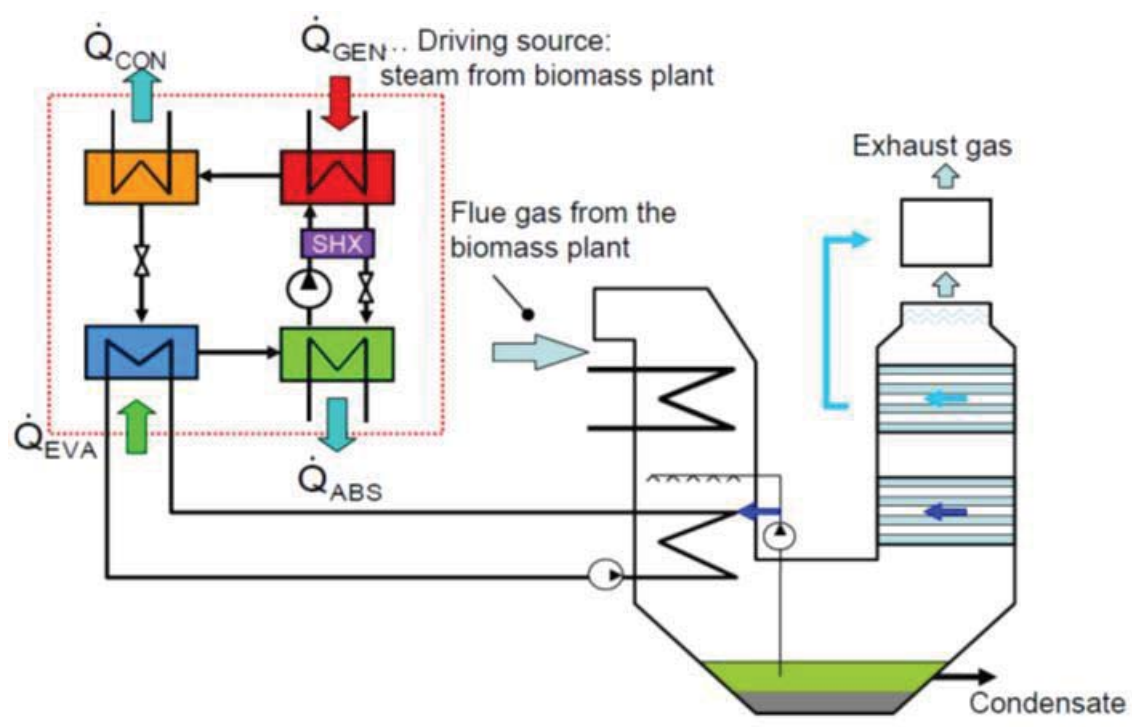
#### 6.4 バイオマスプラントにおける排ガス凝縮装置へのヒートポンプの採用 (オーストリア)

オーストリア、Halleinにある Schweighofer Fibre GmbH 社、木材加工会社であり、オーストリアの同族企業である Schweighofer Holzindustrie の系列会社である。その核心ビジネスは、高純度セルロースと効率的で環境調和型の木材原料を使ったバイオエネルギー供給である。蒸気発生器を含めたバイオマス発電プラントは、工場に必要な蒸気の供給と

会社のエネルギー需要を賄っている。このコージェネレーションプラントは、外部から供給される木材 77%と所内で利用できる木材 23%を燃料とし、その容量は 5MWel と 30MWth である。発生する電力は、工場の所内動力として使われるだけでなく、15,000 軒の家庭の電力消費に供給され、また排熱は地域熱供給システムに供給されている。



吸収式ヒートポンプ (AHP) は、排ガスの凝縮熱の温度を向上する可能性を提案している。なぜなら、既存の地域熱供給システムの戻り温度は、排ガスの露点温度よりも高いためである。50°C以下の蒸発温度をもつ AHP によって、排ガスは露点温度以下で補助冷却を得ることになる。すなわち、排ガスの凝縮温度のレベルが地域熱供給に有効な温度レベルにまで上昇することになる。これまでは排ガスの凝縮熱は、使われることなく大気に放出されていた。

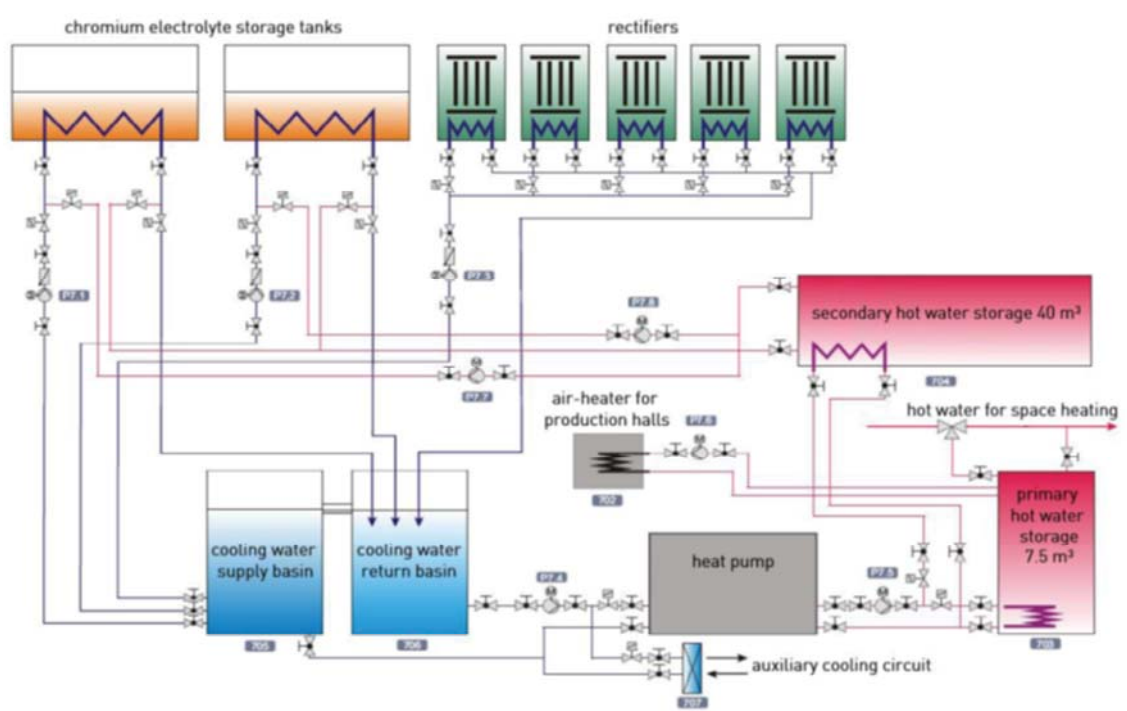


適用された AHP は、一段の水/LiBr 吸収式ヒートポンプで熱交換器(SHX)と 7.5MW の加熱容量を持っている。AHP の駆動源は、バイオマス燃焼プラントから得られる 165°C の

水蒸気である。既存の計測システムによると AHP は、季節性能因子 (SPF) で約 1.6 である。この高い効率と運転時間により、ヒートポンプの採用によって燃料と二酸化炭素の排出量をかなり削減することが可能になった。生態系への利点に加えて、この適用はプラント運転においても経済的な利益を生み出している。この利益としては、約 15,000MWh/年のエネルギー節約と高い性能であり、蒸気を外部に放出しないという要求を満たしている。

## 6.5 金属加工 (ドイツ)

Thoma Metallveredelung GmbH 社は、様々な表面処理を提供する電気表面処理会社である。会社は、電気表面処理工業においてエネルギーの有効利用に対しては非常に積極的である。ドイツ Bundesstiftung Umwelt(DBU)の資金援助研究プロジェクトにおいて、クロム鍍金ラインにおける新しい省エネルギーが開発された。クロム鍍金は、金属物に薄いクロム層を電気鍍金で行う技術である。これは、目的物をクロム電解液槽に浸すことで行われる。直流電流によってクロムが目的物の表面に被覆する。普通、電気エネルギーの 20% だけがクロムを被覆するエネルギーとして使われる。残りの 80% は熱として無駄に捨てられる。電気表面処理は非常に温度に敏感であり、電解槽内で冷却が必要になる。



会社は、ヒートポンプを使って排熱を再利用することで電気鍍金工程を大幅に改善し、このプロセスの全体効率を 90% 以上にまで高めた。電流密度を 50A/dm<sup>2</sup> から 90A/dm<sup>2</sup> にまで増加することで、電気鍍金工程の効率は 24% 向上した。鍍金される表面の質を維持するために槽の温度は 60°C 以上にまで上げなければならない。この工程は余剰熱を大量に放出するために、電解槽は電気整流器と共に水冷されなければならない。冷却水は 60°C の温

度で槽に戻ることになる。施設には 60°Cに必要な熱源はないため、冷却水源がヒートポンプの熱源になる。ヒートポンプは、143kW の熱容量を持っており、75 から 80°Cの熱水を生産する。この温度レベルで熱水は加熱用空調として使われ、鍍金ラインの他の槽に供給され、7.5m<sup>3</sup>の貯槽は、加熱用空調に役立つことになる。加熱負荷が高いため工程における熱貯蔵は 40m<sup>3</sup>の大きな容量を持っている。加熱と冷却のシステムは対で運転される。ヒートポンプが機能していない場合は、地下水が冷却水の熱シンクとなり、石油燃焼ボイラーが加熱需要を賄う。ヒートポンプシステムは、熱需要の 50%を賄い、年間に 150,000 ㍲の石油を節約する。この新しいクロム処理システムは、工程を大幅に改善するという別の良い効果がある。表面処理の硬度が 10%だけ増加し、処理速度が 80%改善した。このプロジェクトの計画と実施においては、異なるエンジニアリング能力を持った専門家が一緒になって働いた。この仕事の遂行には、以前予想していた以上の多くの努力を必要とした。にもかかわらず、Thoma Metallveredelung GmbH 社は、結果に満足し、他の表面鍍金ラインにも同じような熱回収システム導入する計画でいる。さらの全体のシステムは、標準品で設計されている。他の電気鍍金処理会社は、知的財産権を侵害することなくこのシステムを採用することができる。

#### 6.6 チューリッヒにおける食肉工場（スイス）

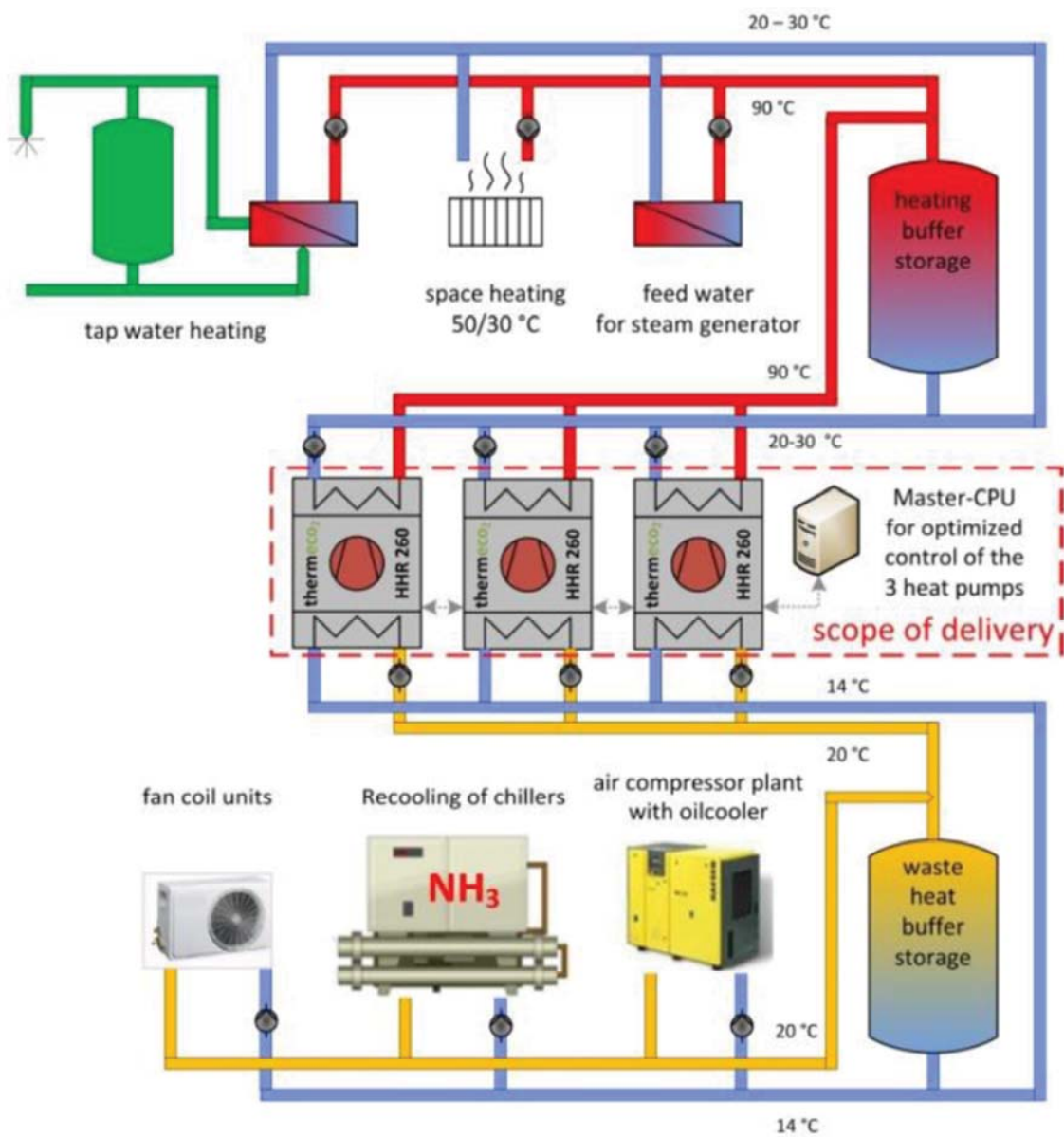
2011 年に高温水と加熱用の新しい therme CO<sub>2</sub> ヒートポンプがチューリッヒにある食肉工場で運転された。800kW の容量を持つプラントはスイスでこれまでに作られた最大のものである。ThermoCO<sub>2</sub> 機械は、他の冷凍機に比べて優れた COP を持ち要求されている 90°Cを供給できるものである。ヒートポンプシステムは、3つのヒートポンプ thermo CO<sub>2</sub> の HHR260 によって構成されている。



ヒートポンプは、既存のアンモニア冷凍機、石油冷却型空気圧縮機、それに熱源として使われているファンコイルユニットの排熱を使っている。このことから熱はヒートポンプ蒸発器に接続している排熱貯蔵容器内に集められている。クローズド排水循環ループであるために腐食を避けるための特別な対策は必要としない。

ヒートポンプの温熱側は温水貯蔵槽に接続している。消費者は、それぞれの需要に応じてポンプを使うことでこの貯蔵槽から熱を得ることができる。

空間が極端に狭いことから、この大きなヒートポンプシステムは食肉工場の屋根にあるコンテナシステムに導入されている。このコンテナには許可された人だけが入ることができ、CO<sub>2</sub> 濃度が健康に危険なレベルに達すると CO<sub>2</sub> センサーが働いて知らせるようになっている。



チューリッヒの食肉工場の熱エネルギーのすべては、以前から蒸気ボイラーが使われている。冷凍機として CO<sub>2</sub> を使った高温ヒートポンプシステムに対する意思決定にはいくつかの理由がある。高温ヒートポンプシステムの効率面では明らかに有利となる利点がある。このヒートポンプを稼働することで、チューリッヒ市 (Umwelt-Gesundheitsschutz Zurich と Elektrizitätswerk Zurich) は、”チューリッヒ 2000 ワット社会 “に向けて重要な貢献をした。食肉工場全体で計算してみると、CO<sub>2</sub> 排出量は約 30% 減少する。このヒートポンプシステムを使うことで、毎年 2,590MWh の化石燃料を節約でき、それは一年間で 510 トンの CO<sub>2</sub> 排出量の削減になる。

## 6.7 高温ヒートポンプの研究開発（フランス）

フランス EDF は産業界と協力して、100°C以上の温度が出せる新しい作動流体を使った高温ヒートポンプを開発している。

### （1）アルターECO プロジェクト

このプロジェクトは、スクロール圧縮機と新ブレンドの冷媒を使い、凝縮モードにおいて140°Cで運転できる HP の開発と実証を行うものである。圧縮機出力は75kW で、技術的にフィジブルな機械性能の実証を目標としている。各蒸発温度（5°Cのステップで35°Cから60°Cまで上昇）に対して、凝縮温度は5°Cずつ上昇し、80°Cから140°Cにまで温度を高める。1,000時間以上の試験によって産業レベルで使用可能な信頼性が実証された。

性能の良さと125°Cまでの熱回収効率が実証された。より高い温度に向けた技術的フィジビリティは実証されたが、今後は効率向上と経済的な成立に向けた開発が必要となる（例えば二段圧縮機や膨張弁などの開発）。

このプロジェクトにより、今後の開発に向けて手本となる信頼性と産業利用への可能性が実証された。



### （2）PACO プロジェクト

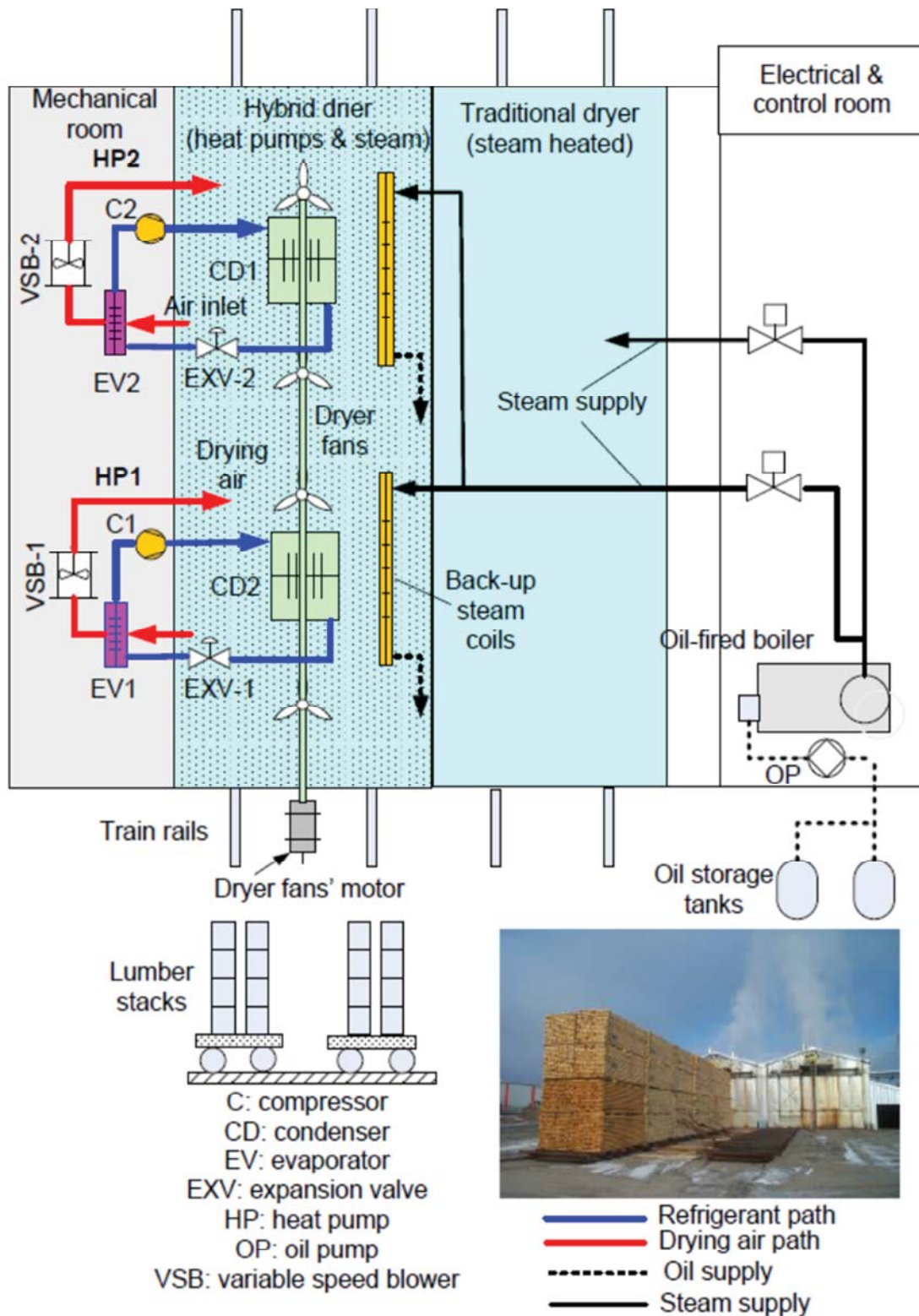
冷媒に水を使うヒートポンプは、産業における排熱回収を解決する方法として興味あるものである。水は毒性や発火性が無く、特に高温で優れた熱力学的特性を有している。水 HP 開発は、水蒸気圧縮となり複雑である。遠心ループ型圧縮機の圧縮比は小さい。そのためガス温度は20°C以上に上昇しづらい。今のところ、技術的な解決法として経済性を考えると2台のループ圧縮機を直列に接続する方法がある。しかし、これらの圧縮機の信頼性は低く効率は低くなる。このことから水を使った圧縮機開発が必要で、電磁ベアリングを使ったスクリー型遠心圧縮機が最も有望な技術と看做される。圧縮機メーカーとの

議論と数値計算の結果は、もしそういった圧縮機が導入されたならば COP は 80%まで向上する。このプロトタイプ圧縮機の値段は大変高いが、市場での開発で安くなるであろう。



#### 6.8 乾燥用高温ヒートポンプ（カナダ）

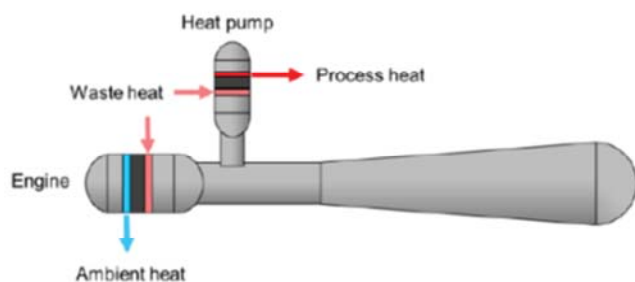
産業規模での高温ヒートポンプがカナダで研究されている。それは、容量が  $354\text{m}^3$  で水蒸気加熱管と2台の高温ヒートポンプによる強制空気加熱の木材乾燥である（図参照）。建設産業用の成型された針葉樹（softwood）木材が標準サイズで生産される。松、とうひ属の常緑きょう木(spruce)やもみ (fir) といった針葉樹は、一般にかなり高い温度で乾燥されるが  $115^\circ\text{C}$ よりは高くない。高温ヒートポンプは対流乾燥と組み合わせて必要になる。石油燃焼ボイラーが木材の予熱用に水蒸気を供給し、それは一連の乾燥工程のバックアップ加熱にも使われている。乾燥室の中央送風機が室内乾燥空気の循環に使われている。製品の質を向上するために一様かつ回転する流れで乾燥空気が送られている。各ヒートポンプは、 $65\text{kW}$  の圧縮機、蒸発器、可変速ブロアーと敷設機械室からの電気制御で成り立っている。乾燥室内には2つの遠隔コンデンサーが設置されている。高温冷媒(HFC-236fa)は、無毒で非可燃性の流体で、最も高い工程温度と比較しかなり高い臨界温度を有している。膨張弁が設定温度と実際の工程温度が表示できるマイクロプロセッサ制御装置で制御されている。産業規模のプロトタイプは、クリーンエネルギー技術として、乾燥用高温ヒートポンプが木材乾燥にとって非常に興味ある利点を生み出すことを実証した。その実際のエネルギー消費は、従来の乾燥方法に比べて 27.3%から 56.7%も削減し、エネルギーコストはカナダの木材乾燥産業の平均値と比較して約 35%削減できることが分かった。





## 6.9 サーモアコースティックヒート変換器

サーモアコースティック(TA)エネルギー変換は、熱を音響動力(エンジン)に変換し、その音響動力を熱をより高温レベルにまで高めるものである。このシステムは、スターリングサイクルに似た原理で環境に優しい作業媒体(希ガス)を使い運動部が無いといった特徴がある。TAシステムの動的作業原理は極めて複雑で、それには音響学、熱力学、流体力学、熱伝導、構造力学、電気機械といった多くの原理が含まれている。しかし、実用面で見ると比較的単純である。技術の経済的なフィージビリティに関しては多くの利点がある。熱エネルギーが音響エネルギーに変換される時、Thermo acoustic(TA)エンジンとして働く。TAヒートポンプでは、熱力学サイクルの逆サイクルで駆動する。音響動力によって熱は低い温度レベルから高い温度レベルにまで向上する。この原理によって以下の図に示す熱変換器を生み出される。



図で TA エンジンは左側に位置しており温度 140°C の排熱劉により音響動力を発生する。音響動力は、共鳴器を通して共鳴器の上部にある TA ヒートポンプへ流れ込む。140°C の排熱はこの装置で 180°C にまで温度が上昇する。この全体のシステムは、産業サイトの既存のユーティリティシステムに採用できる。

## 6.10 高温ヒートポンプに適した冷媒の基本特性

産業用ヒートポンプの冷媒には R-134a, R-245fa, R-717, R-744, 炭化水素などが使われている。しかし温暖化影響ポテンシャル(GWP)が極めて小さい R-744 と可燃性 R-717 や HCs 以外の R-134a と R-245fa の HFCs は高い GWP を有している。HFCs の利用は将来、温暖化防止にの点から制限されることになる。そのため低い GWP の代替冷媒の開発が要求されている。

現在、R-134a の代替として R-1234yf と R-1234ze(E) が有望である。R-365mfc は排熱を使って蒸気を発生できることからヒートポンプの冷媒として適していると考えられているが、その GWP は非常に高い。そこで、R-365mfc に代わる冷媒の開発が求められている。表は、現在並びに将来の冷媒について基本的な特性を示したものである。

Refrigerant	Chemical formula	GWP	Flammability	T <sub>c</sub> °C	p <sub>c</sub> M Pa	NBP °C
R-290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	~20	yes	96.7	4.25	-42.1
R-601	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	~20	yes	196.6	3.37	36.1
R-717	NH <sub>3</sub>	0	yes	132.25	11.33	-33.33
R-744	CO <sub>2</sub>	1	none	30.98	7.3773	-78.40
R-1234yf	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	<1	weak	94.7	3.382	-29.48
R-134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	1,430	none	101.06	4.0593	-26.07
R-1234ze(E)	CFH=CHCF <sub>3</sub>	6	weak	109.37	3.636	-18.96
R-1234ze(Z)	CFH=CHCF <sub>3</sub>	<10	weak	153.7	3.97	9.76
R-245fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1,030	none	154.01	3.651	15.14
R-1233zd		6	none	165.6	3.5709	n. a.
R-1336mzz		9	none	171	n. a.	n. a.
R-365mfc	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	794	weak	186.85	3.266	40.19

以上