

# 産業用ヒートポンプ活用による省エネルギーの取り組みの現状

産業用ヒートポンプの導入による省エネ効果は、2030年には105万kL(原油換算)、2050年度には925万kLと推測されている。現在では160℃程度の蒸気が生成できるヒートポンプもあり、洗浄、加熱、保温、乾燥、蒸留、濃縮など様々な製造プロセスに適用できる高効率機器として注目されている。この産業用ヒートポンプについて、商品ラインナップや特徴、工場の熱利用の実態に応じた活用法、導入の現状や課題について解説する。

一般社団法人 日本エレクトロヒートセンター  
企画部長 浜屋敷 毅

## 1. はじめに

産業用ヒートポンプは、製造業等の加温・乾燥プロセス等で使用される温熱を供給する高効率機器として、国の「長期エネルギー需給見通し」で2030年度の普及見通しが設定されるなど、省エネルギーに寄与する重要技術として普及拡大が期待されている。国内製造業における150℃未満の温水・蒸気利用は熱量320PJ/年という想定もあり(図-1参照)、この領域を産業用ヒートポンプによる供給に切り替えれば大きな省エネルギー効果が得られる。

一般社団法人日本エレクトロヒートセンター(以下、「JEHC」)は、製造業におけるエネルギーの有効利用を推進すべく、加熱・冷却に必要なエレクトロヒート<sup>(1)</sup>の技術向上・普及促進をしていくための様々な活動を行っている。本稿では、エレクトロヒート技術の一つである産業用ヒートポンプについて、商品ラインナップや工場の熱利用に応じた活用法、導入の現状や普及拡大への課題について解説する。

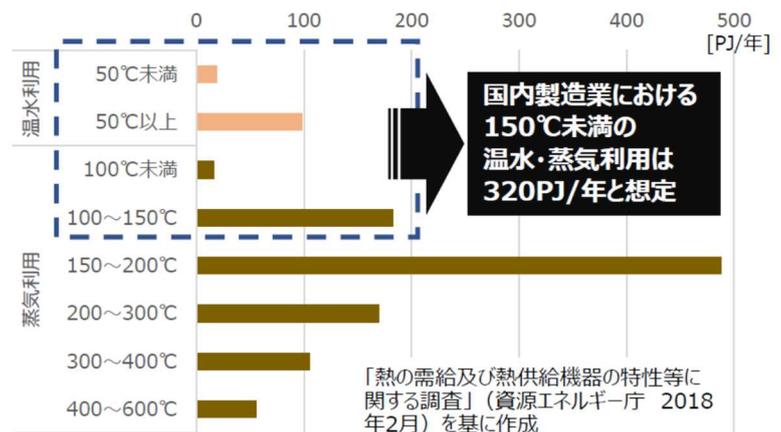


図-1 国内製造業における温水・蒸気の利用量

## 2. 産業用ヒートポンプの種類・特徴

工場の製造工程では様々な用途に必要な温度帯・量の熱が使われている。従来の50℃レベルの取り出しから、70℃レベルの高温水を取り出すヒートポンプは2000年代後半に商品化され、その後、更なる高温化や大容量化、冷温同時供給など市場ニーズに応じた技術開発が進められてきた。現在の産業用ヒートポンプの商品ラインナップを、ヒートポンプから取り出される熱媒体[温水・熱風・蒸気]で区分し、最終的に7種類の商

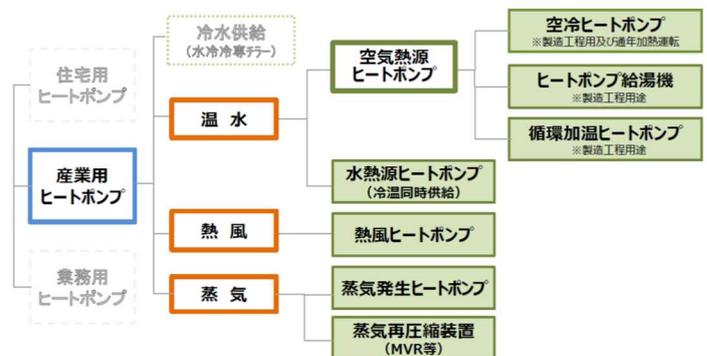


図-2 産業用ヒートポンプの種類

品に分類したのが図-2である。さらに図-3に各方式の特徴やイメージ図などを示した。

蒸気再圧縮装置を除くと産業用ヒートポンプもエアコンや冷蔵庫と同様に、冷媒が圧縮・凝縮・膨張・蒸発を繰り返すことで冷熱・温熱を取り出す。圧縮するためのエネルギーが必要になるが、その何倍もの熱エネルギーが得られる高効率機器である。冷却側の熱として空気（大気）を利用する「空気熱源」と水を利用する「水熱源〔熱回収〕」に大別でき、水熱源〔熱回収〕の導入に際しては、冷却側に必要な廃温水などの熱源の有無が、高い省エネルギー性を発揮する上で重要なポイントとなる。また、冷熱と温熱を同時に使うそれぞれの用途に1台のヒートポンプで対応することもできる（図-3 ①参照）。この場合、図-4で示す通り、圧縮に必要な電力を分母に、得られる冷熱（冷却能力）および温熱（加熱能力）を分子として算出されるCOP（Coefficient Of Performance）は、温水のみの取り出し時と比べて高くなる。

また、空気熱源と水熱源を併せもつヒートポンプも市場投入されている（図-3 ②参照）。廃温水など冷却側の熱源が不足する場合は、空気熱源に切り替えまたは空気熱源で補完して高温水を取り出す。

ヒートポンプの加熱方式は、洗浄用途などに使われる「一過式」と、保温用途などに使われる「循環加温式」がある（図-3 ③参照）。一過式は給水などを大温度差で昇温、循環加温式は5℃程度といった小さい温度幅で加温する方式である。店舗やホテルなど業務用施設での導入が多いが、製造工程の加熱用途での適用も見られる。

図-3 ④は熱風を供給するヒートポンプとして乾燥用途などに導入が進んでいる。空気熱源、水熱源それぞれのタイプがあり、水熱源は循環加温式の熱風ヒートポンプも近年開発された。

図-3 ⑤は蒸気を発生するヒートポンプで2社から商品化されており最高温度は定格時165℃である。蒸

(記載の温度はいずれも一例)

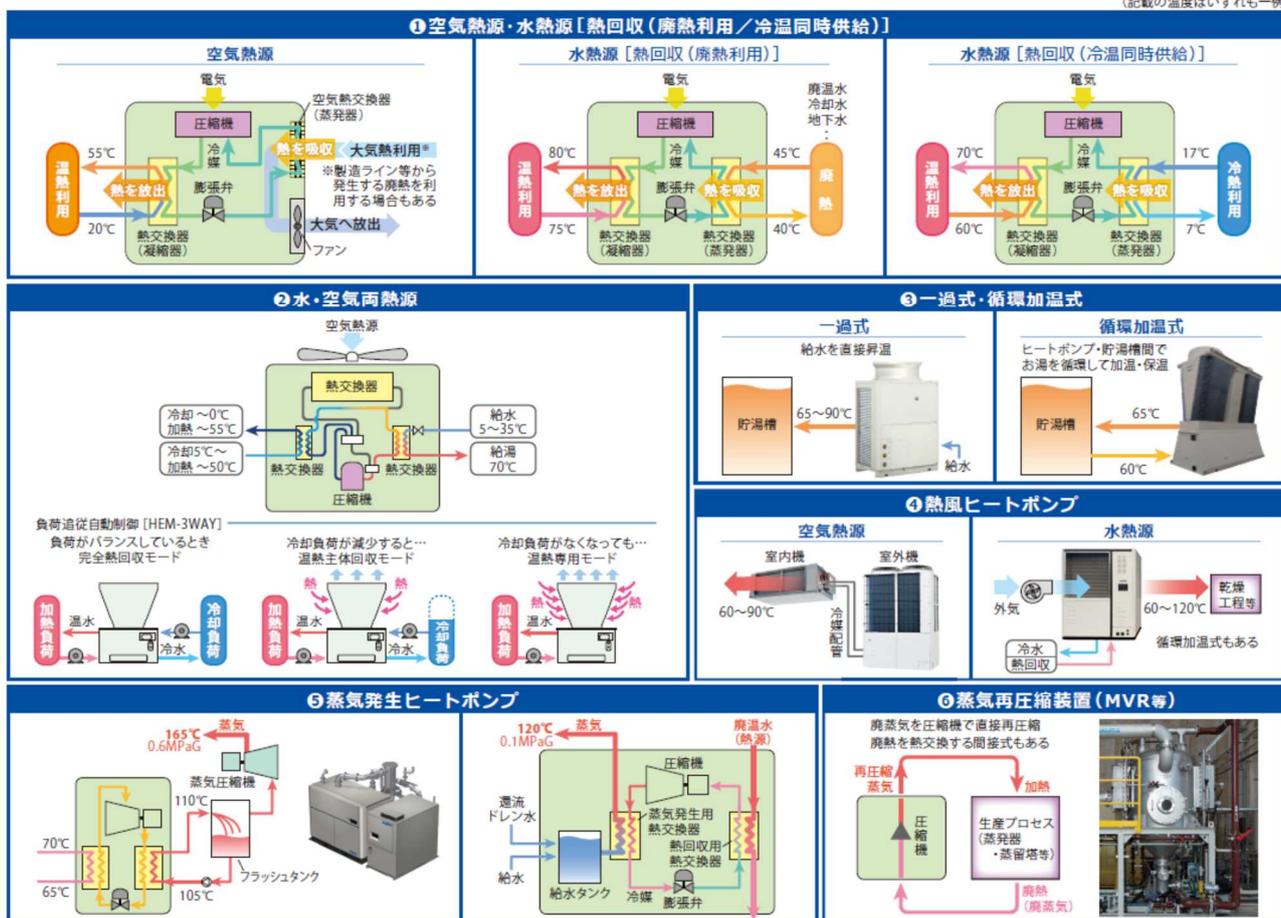


図-3 産業用ヒートポンプの各方式・特徴

気は温水などの流体と比べて大きな熱量をもっており熱伝達率も高い。燃焼式のボイラ代替として普及が期待されている。

図-3 ⑥は蒸気再圧縮装置で MVR (Mechanical Vapor Recompression) や VRC (Vapor Recompression) などと呼ばれる広義の意味でヒートポンプである。電動式圧縮機等により蒸気を圧縮し高温高压化するもので、濃縮・蒸留・減容化などの用途に導入されている。

図-5 は、製造工程の加温・乾燥プロセス等で導入されているヒートポンプのメーカー12社計62商品（蒸気再圧縮装置は除く）について、加熱能力[kW]を横軸、取り出し温度[°C]を縦軸にとってプロットしたものである。次の種類ごとに取り出し温度の傾向を見ると、空冷ヒートポンプ [45-75°C (平均 55°C)], 水熱源ヒートポンプ [45-90°C (平均 71°C)], ヒートポンプ給湯機・循環加温ヒートポンプ [70-90°C (平均 83°C)], 熱風ヒートポンプ・蒸気発生ヒートポンプ [90-165°C (平均 123°C)] となっている。

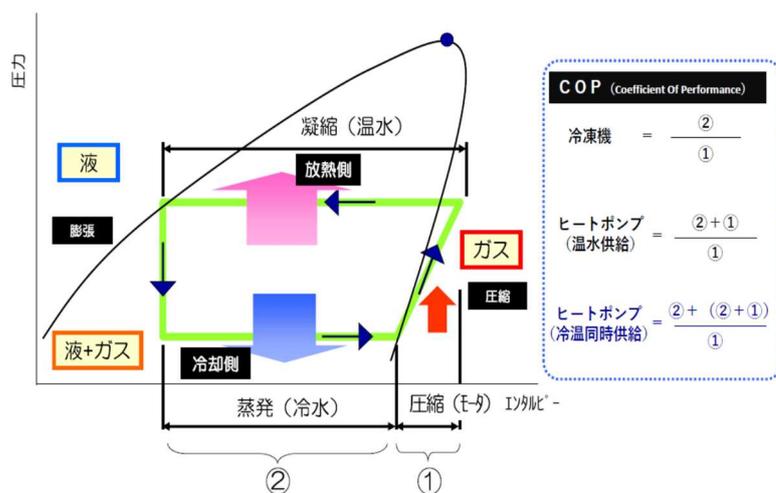


図-4 ヒートポンプの冷媒の動き

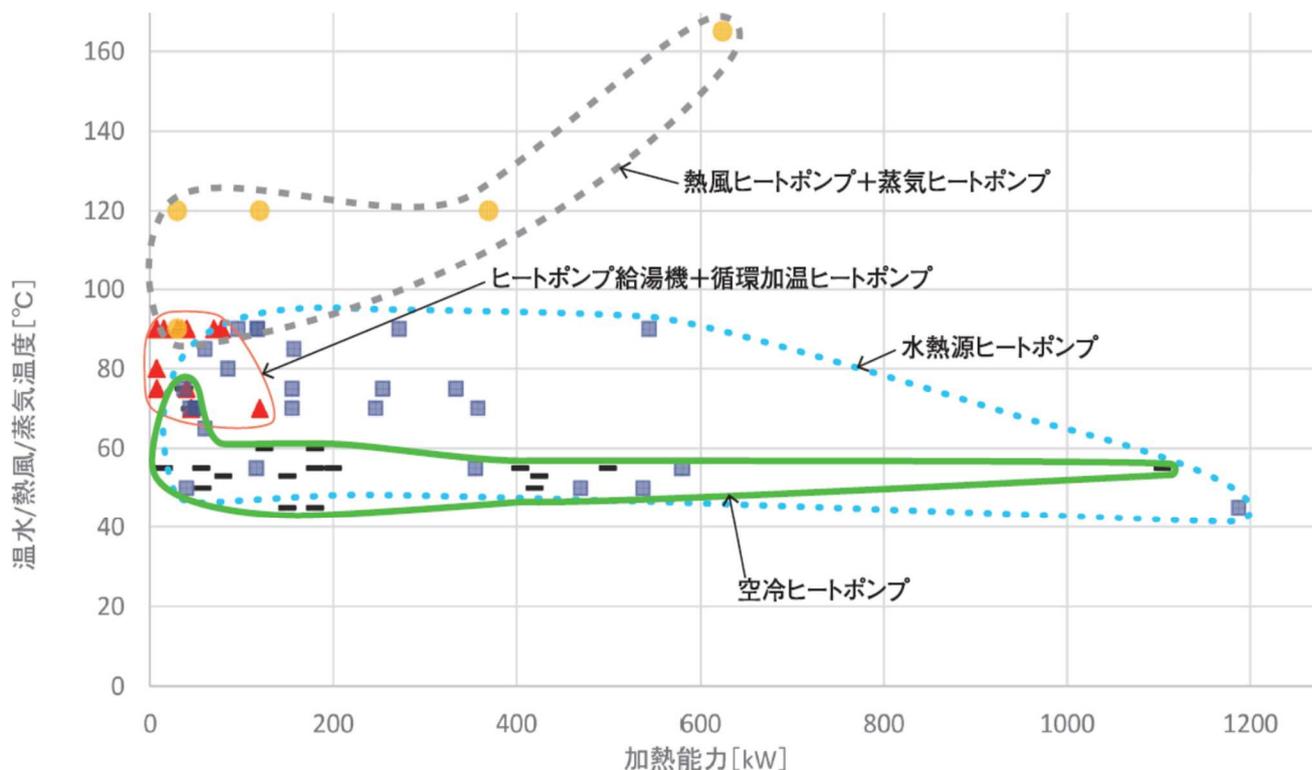


図-5 産業用ヒートポンプの商品ラインナップ

### 3. 工場の熱供給・熱利用の実態に応じた産業用ヒートポンプの活用法

省エネルギー推進の観点から、製造工程で温熱を必要とする用途、つまり加熱対象があれば、全てにおいて産業用ヒートポンプの導入検討余地があると言える。これまでの産業用ヒートポンプの導入ケースなどをもとに、代表的な3つのシステムと、3つのシステムにいずれも関係する他熱源機器とのハイブリッド化について説明する。紙面の都合上、蒸気再圧縮装置については割愛する。

#### 3-1 冷温同時供給システム

冷熱と温熱を同時に使うそれぞれの工程が近接している場合など、1台で冷却・加熱を行えるヒートポンプを導入することで大きな省エネルギー効果が得られる(図-6 参照)。

従来、冷却はチラー、加熱はボイラなどで対応している場合、ヒートポンプを新設(追加設置)して、既設のチラーまたはボイラで

冷却または加熱をバックアップして対応する場合や、冷熱・温熱利用のアンバランス時に備え蓄熱槽を活用する場合がある。

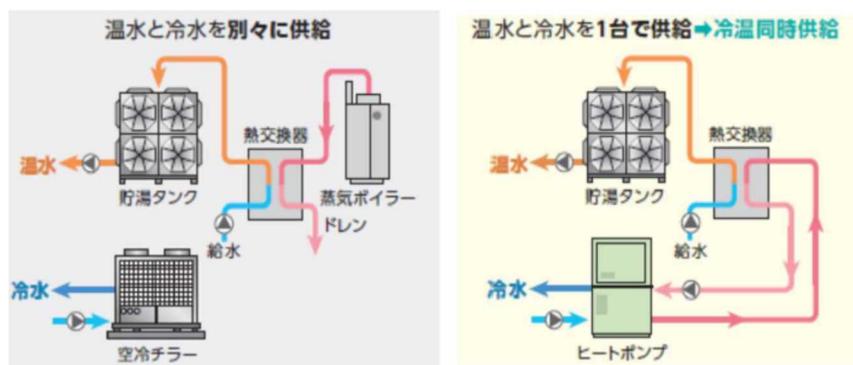


図-6 従来システム(左)と冷温同時供給システム(右)

#### 3-2 廃熱利用システム

コンプレッサー・チラーなど機器の冷却水や、洗浄・乾燥後の排水・排気など、工場内の様々なところから発生する廃熱を熱源として利用できれば、高い省エネルギー性を保ちつつ高温水が得られるヒートポンプの導入が図られる。

図-7は、従来、蒸気ボイラで乾燥・洗浄用途の熱を供給。ヒートポンプを新設(追加設置)して、各用途での加熱後に発生していた廃熱を利用するシステムに更新するイメージ図である。

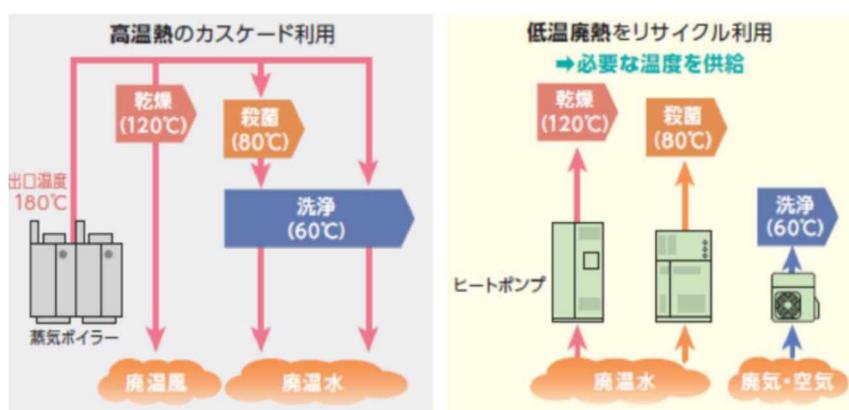


図-7 従来システム(左)と廃熱利用システム(右)

#### 3-3 空気熱源(分散配置)システム

冷温同時利用が無く、廃熱が無いまたは利用困難な場合は、空気熱源ヒートポンプの活用を図る。空気熱源ヒートポンプは、無尽蔵の空気(大気熱)を利用するため、設置場所の制約が少なく、広範な加熱用途に対して検討が行いやすい。空気熱源ヒートポンプは熱回収システムと比べて配管工事が少ないため、

工事費が低廉になるといったメリットもある。

工場のエネルギー棟で蒸気や高温水を製造し、各所に熱を供給している場合、配管などからの熱ロスには避けられない。熱を使う用途の近傍に空気熱源ヒートポンプを分散配置することもエネルギーの有効利用に効果的である（図-8 参照）。

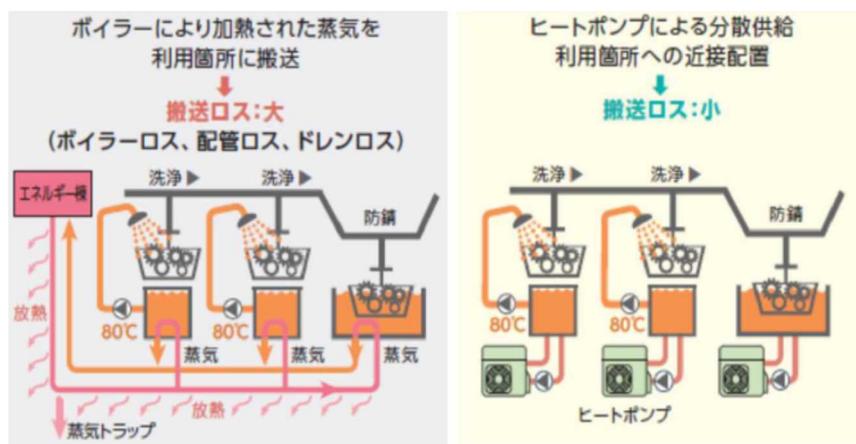


図-8 従来システム（左）と空気熱源（分散配置）システム（右）

### 3-4 他熱源機器とのハイブリッド化

加熱負荷は、時間帯や季節さらには生産数量などに応じて変動し、ヒートポンプでは取り出せない温度・熱量が要求される場合もある。また、冷温同時供給や廃熱利用システムでは、冷却側の熱源の不足などで一定の高温水が得られないことも考えられる。この場合、蓄熱槽の活用や空気・水両熱源の採用が解決策の一つではあるが、ボイラや電気ヒーターなど他の熱源を併用（ハイブリッド化）することが、万一のトラブル時やBCPの観点からも有効である。

上述の3つのシステムにも共通する点として、産業用ヒートポンプの導入による省エネルギー効果をより発揮させるには、年間を通じて高いCOPで運転することが挙げられる。さらにハイブリッド化を考える際に重要なのが、産業用ヒートポンプはボイラなど他の熱源と比べて高効率であることから、年間の稼働時間を長くするという点である。この点が導入後のエネルギーコストに大きく係わってくる。同時に、ヒートポンプの容量選定や蓄熱槽など付帯設備も含めたインシヤルコストとも連動し、費用対効果をみる上での要素となる。

図-9 左側は1日の間で変動する温熱負荷に対して、ベース部分をヒートポンプ、変動部分を他の熱源で対応。右側はヒートポンプで外気を80℃に、さらに他の加熱方式で120℃まで昇温しているイメージ図である。

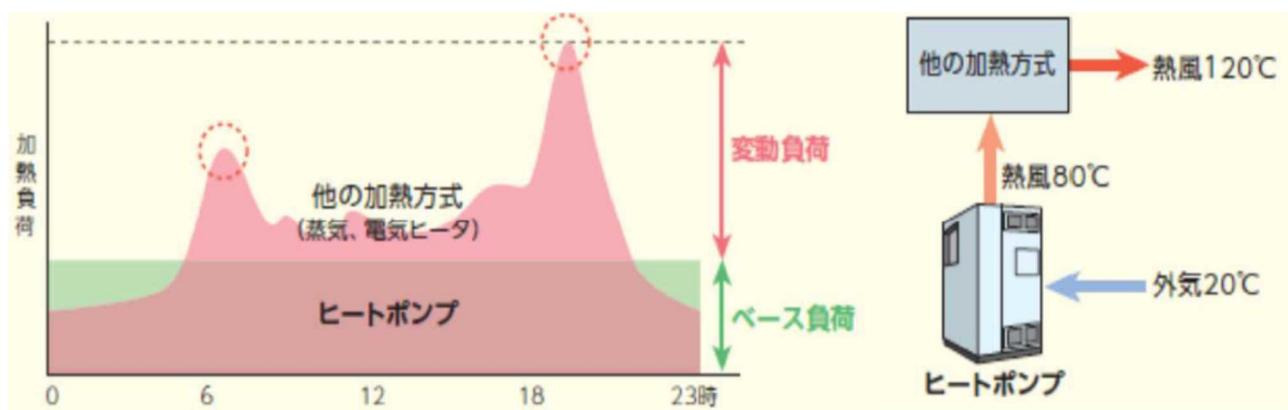


図-9 他熱源とのハイブリッド化

#### 4. 産業用ヒートポンプの導入の現状

JEHC では 2018 年度、国内の産業用ヒートポンプの導入状況を把握するための調査を行った。メーカーへのアンケート及びその集約が主な実施内容であるが、集約結果の一つである業種別導入割合を図-10 に示す。本調査に基づく産業用ヒートポンプの国内累計導入台数は 2018 年度末時点でおおよそ 4,500 台と推計され、そのうち導入先の業種が判別できた 1,312 台の内訳である。業種は大括りではあるが、自動車関連工場を主に事業所数が多い「機械・電気機械・金属」が 45% と最大で、次いで多い順に、「食品・飲料」、「化学・石油・医薬」、「ゴム・プラスチック・窯業」、「繊維・印刷・紙パ」であった。

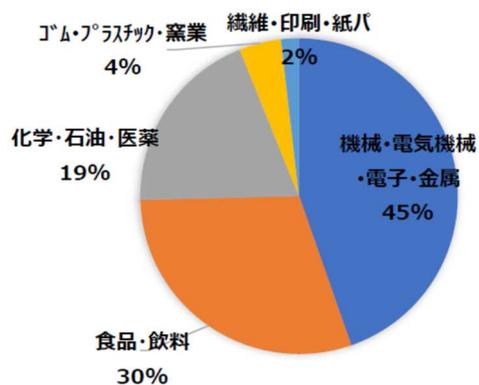


図-10 業種別導入割合 [N=1,312]

また、製造工程の中でどのような用途に温熱が使われているのかを示したのが図-11 である。洗浄・殺菌・加温・保温・反応・乾燥・蒸留・濃縮といった用途があり、産業用ヒートポンプの導入が進みつつある。もちろん産業用ヒートポンプでは取り出せない温度・熱量については、ボイラやヒーターなど他の熱源を併用して対応している。



図-11 製造工程における温熱用途

図-12 は、産業用ヒートポンプを導入した 45 か所の導入前と比べた年間 CO<sub>2</sub> 排出量の削減率を、大きい順に並べたものである。導入検討時の試算ベースのものが大半で、導入前の熱源のエネルギー種別や、導入後の産業用ヒートポンプと他の熱源の負荷分担など個々に違いがあるため単純に横並びで見ると

はないが、平均 53%もの大きな CO<sub>2</sub>削減となる結果であった。45 か所の内訳は、冷温同時供給 4、廃熱利用 29、空気熱源 12 か所であり、それぞれの平均 CO<sub>2</sub>削減率は図に示す通りである。

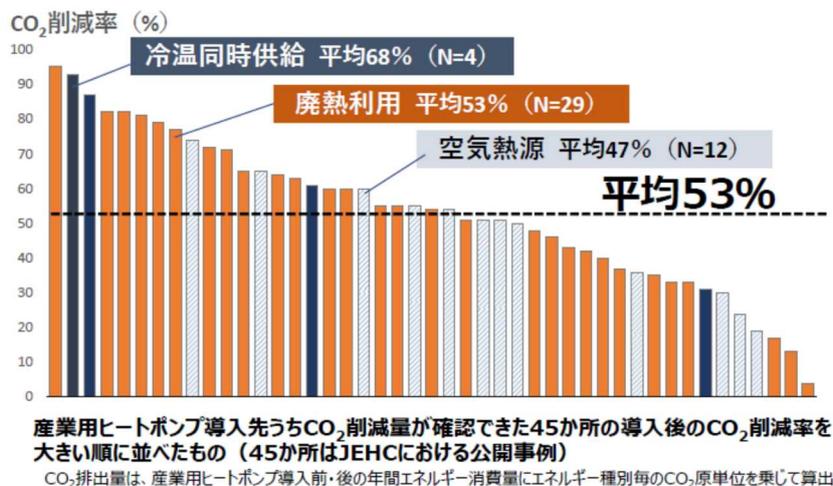


図-12 産業用ヒートポンプ導入事例における CO<sub>2</sub>削減率

## 5. おわりに

産業用ヒートポンプは現存する省エネルギー技術として大いに活用が図られるべきである。JEHC ではエレクトロヒートの導入事例の収集と公開<sup>(2)</sup>をしており、工場の省エネルギーを推進するユーザーの方々などからご好評いただいている。省エネルギーとともに環境改善や生産性向上に繋がった事例も多く動画でも紹介している。産業用ヒートポンプの導入検討に際して是非参考にさせていただきたい。

一方で、産業用ヒートポンプはこのまま順調に普及が進む状況には至っていない。製造業の熱の用途は様々で、要求温度・熱量が類似している場合もあるが、熱の発生時間帯や工場内の建屋・設備レイアウト等を含めると一致するものは2つとして存在しない。とくに既存のシステムに組み入れる場合は、年間の熱需要に加えて既存設備の詳細な確認が必要となり、産業用ヒートポンプと既存熱源を併せた運転方法・システム検討に時間を要す場合も多い。また、検討費用に加えて、付帯設備や工事費を含めるとインシヤルコストが膨らむ場合もあり、投資効果の高いシステムを検討してもなお回収年数（インシヤルコスト÷年間のランニングコスト削減額）が長くなるケースも有る。

産業用ヒートポンプの更なる普及拡大に向けて、

- ・ ヒートポンプメーカー・エンジニアリング会社においては、機器の更なる高効率化や工事費も含めたコスト低廉化
- ・ エネルギー事業者においては、ユーザーへの省エネルギー等に関する情報提供の充実化
- ・ ユーザーにおいては、省エネルギー機器導入時の投資判断基準の緩和（ESGの一環として捉え、短期での投資回収に拘らない考えなど）
- ・ 国や自治体など官公庁においては、ユーザーの省エネ・環境投資に対する補助や助成制度の充実化などが望まれる。

(1) 電気エネルギーを利用して熱を発生させる加熱機器・システム及び熱を再利用するヒートポンプのことを総称して「エレクトロヒート」と呼ぶ。『エレクトロヒートハンドブック』（2011年9月25日発刊 オーム社）より

(2) ホームページアドレス：<http://www.jeh-center.org/>