産業の発展に貢献する
エレクトロヒート技術

～生産プロセスの革新に繋がる“鍵”の発見～



一般社団法人
日本エレクトロヒートセンター
JAPAN ELECTRO-HEAT CENTER
JEHC

目　次

1．エレクトロヒートとは …… 1

2．エレクトロヒート技術の紹介 …… 4

2-1．抵抗加熱 …… 4

2-2．誘導加熱 …… 6

2-3．誘電加熱（高周波誘電･マイクロ波加熱） …… 8

2-4．赤外加熱 …… 10

2-5．アーク･プラズマ加熱 …… 12

2-6．レーザー加熱 …… 14

2-7．ヒートポンプ …… 18

3．産業イノベーションと省エネに貢献するエレクトロヒート …… 20

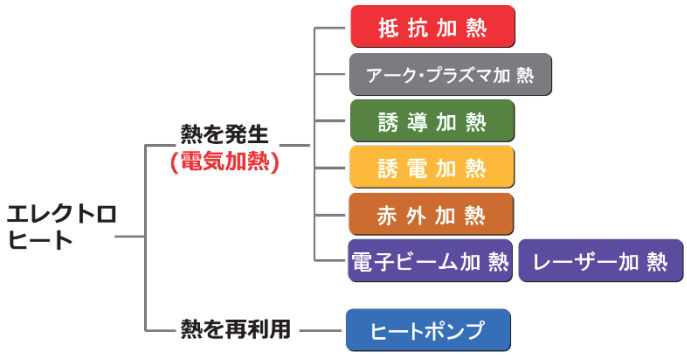
4．日本エレクトロヒートセンター(JEHC)の役割 …… 24

1

エレクトロヒートとは

従来、加熱には、石油、石炭、LPG、都市ガスなど化石燃料を直接、燃焼して利用する方法や、ボイラーで製造される蒸気を利用する方法が一般的でした。しかし、近年、産業における高温加熱や、業務・商業・家庭といった民生部門の給湯・暖房それに厨房の熱源として電気が利用されるようになってきました。電気加熱の種類には、抵抗加熱、アーク・プラズマ加熱、誘導加熱、誘電加熱、赤外加熱、電子ビーム加熱、レーザー加熱などがあります。また、ヒートポンプを使った技術の発達も著しく、それを含めた電気加熱を総称して"エレクトロヒート"と呼ぶようになりました。

エレクトロヒートは、大きく二つの形態があります。一つは、熱を発生させるいわゆる「電気加熱」であり、もう一つは、熱を再利用、リサイクルする「ヒートポンプ」です。ただし、ヒートポンプは熱の再利用だけでなく、加熱・冷凍としても利用されます。



【電気加熱の特徴】

産業に使われている熱消費量のほとんどは化石燃料によって供給されています。化石燃料への高い依存は空気汚染だけでなく地球温暖化の原因となっており、政府が掲げる低炭素社会の構築を目指していくためには脱化石燃料が大きな課題となっています。

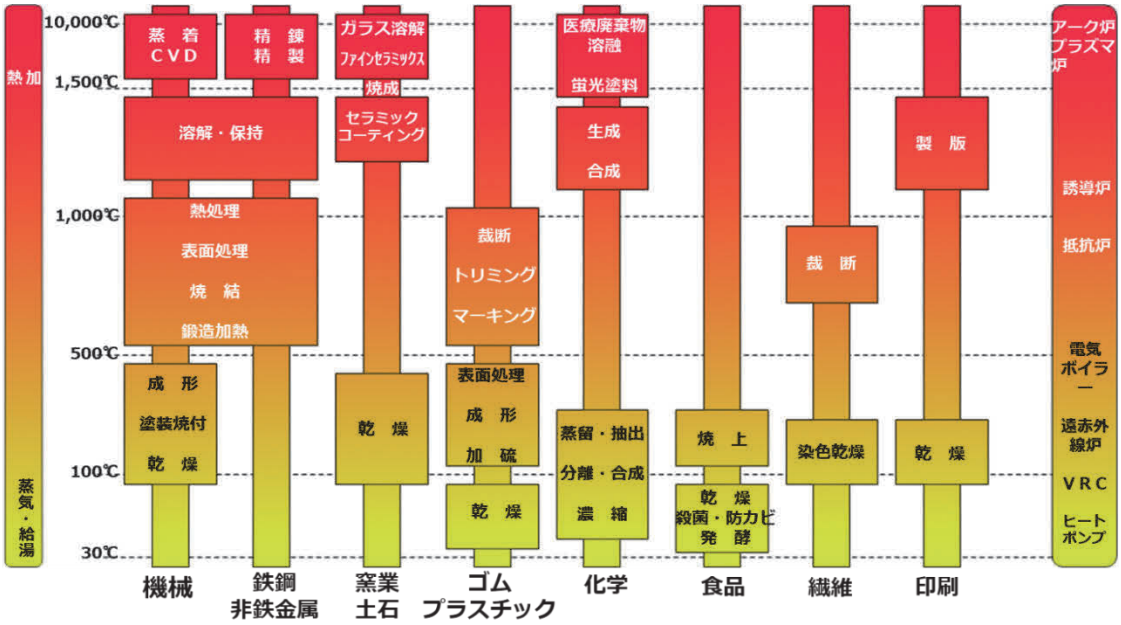
電気加熱は、通電による発熱や発生する電界を利用しており、加熱に際して酸素を必要としないことから、作業環境の改善だけでなく二酸化炭素の排出量を少なくします。また、さまざまな原理によって電気から熱に変換できる電気加熱技術には、次の示す特徴があり、その優れた特性によって省エネルギーだけでなく生産システムの高度化や高品質製品といった産業のイノベーションにも貢献しています。

① 高効率加熱：加熱材の被加熱部分を直接、加熱し、不必要なエネルギー消費が軽減できるため加熱効率が高い。
② 局所加熱：高周波焼き入れのように、処理に必要な表層部分だけを加熱できるなど、必要個所を必要温度で加熱することができる。
③ 急速加熱：被加熱部分を短時間で加熱でき、製品の生産性を高めることができる。
④ 雰囲気加熱：不活性ガスや真空中での加熱が可能で、加熱材の酸化防止と、品質や歩留まりの向上が図れる。
⑤ 高温加熱：金属の溶解・焼結、炭素の黒鉛化など高温加熱に優れている。
⑥ 制御性：簡単かつ素早い温度制御、容易な起動停止といった優れた制御性をもち、高い品質を維持できる。
⑦ コンパクトな炉熱容量：炉体と蓄熱量を小さくでき、エネルギー消費の抑制と熱応答性に優れている。
⑧ 現場の作業環境：燃焼炉と比較して、周囲への廃熱や水蒸気が少なく、また汚染物質を放出しないために、クリーンな職場環境が維持できる。

【電気加熱の適用領域】

電気加熱は１万度を超えるような高温の加熱にも対応でき、幅広い温度域への適用が可能です。さらに、溶解、熱処理、成型・乾燥等といった幅広い工程に対応できるため、様々な業種に導入することができます。

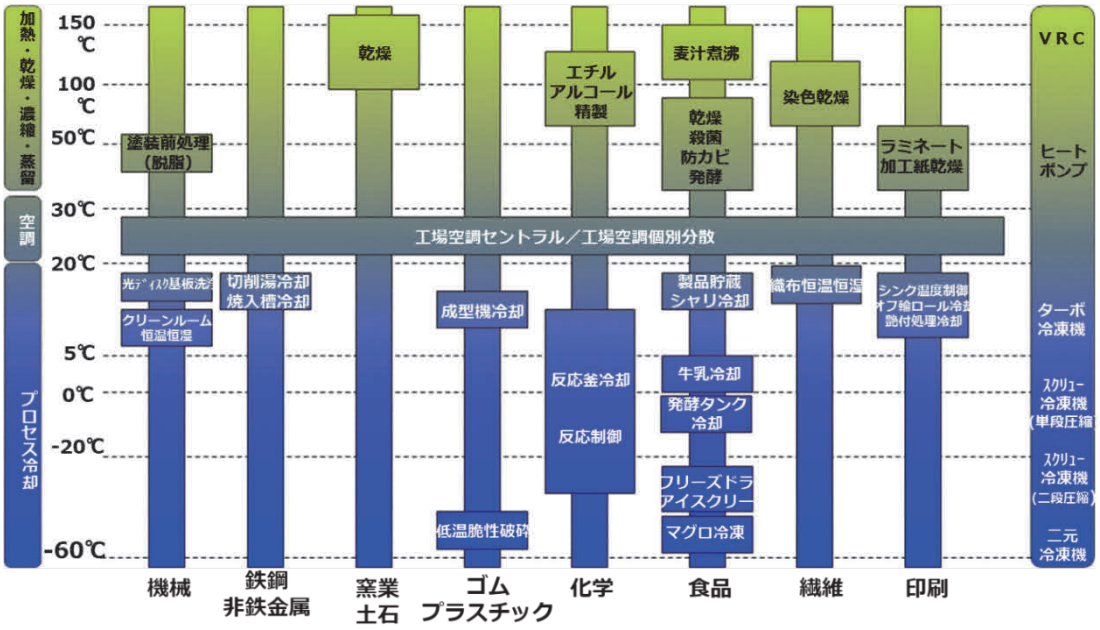
このように、電気加熱は様々な業種で“生産工程”に組み込まれており、今後さらなる拡大が期待されています。ただし、電気加熱の各方式は、加熱温度範囲や加熱対象により　より利用に適した条件がありますので確認が必要です。



＜図１＞電気加熱の適用領域

【ヒートポンプの適用領域】

産業分野に用いられるヒートポンプは、マイナス数十℃から１００℃以上まで、幅広い温度域への適用が可能であり、様々な業種において空調用、プロセス冷却、加温・乾燥等といった幅広い工程に導入することができます。電気加熱同様に、ヒートポンプも様々な業種の“生産工程”に組み込むことが可能です。



＜図 2＞ヒートポンプの適用領域（加熱、冷却含む）

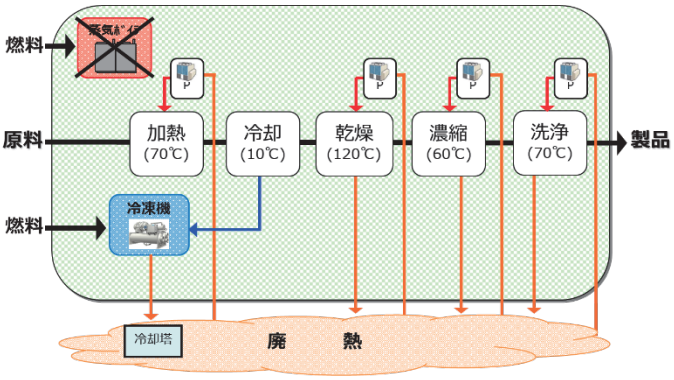
【ヒートポンプの特徴（廃熱活用）】

産業に使われているヒートポンプは、加熱・冷却といった家庭用エアコンと同じような特徴の他に、廃熱の温度を回復させる熱の再生、リサイクルが可能なことがあげられます。この廃熱回収機能はヒートポンプのみが有している機能で、この機能を利用することで、工場にある廃熱を再利用し、工場の投入エネルギーを大幅に減らす省エネが可能となります。本書では、冷却・冷凍ではなく、加熱機能を利用するヒートポンプを「**産業用ヒートポンプ**」と表します。

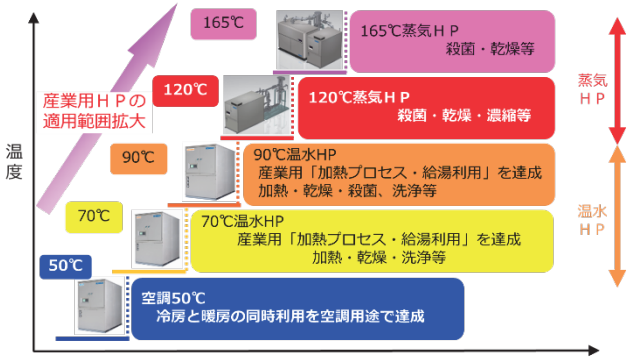
近年の産業用ヒートポンプの開発は目覚ましく、温水利用だけでなく蒸気代替としても適用温度範囲が拡大しています。

ただし、産業用ヒートポンプの導入には、事前調査・検討・エンジニアリングが必要であり、重要な検討項目になります。

そのため、利用する生産工程がどの温度帯であるか、利用方式として温水なのか蒸気などについても機種選定の重要なファクターとなります。



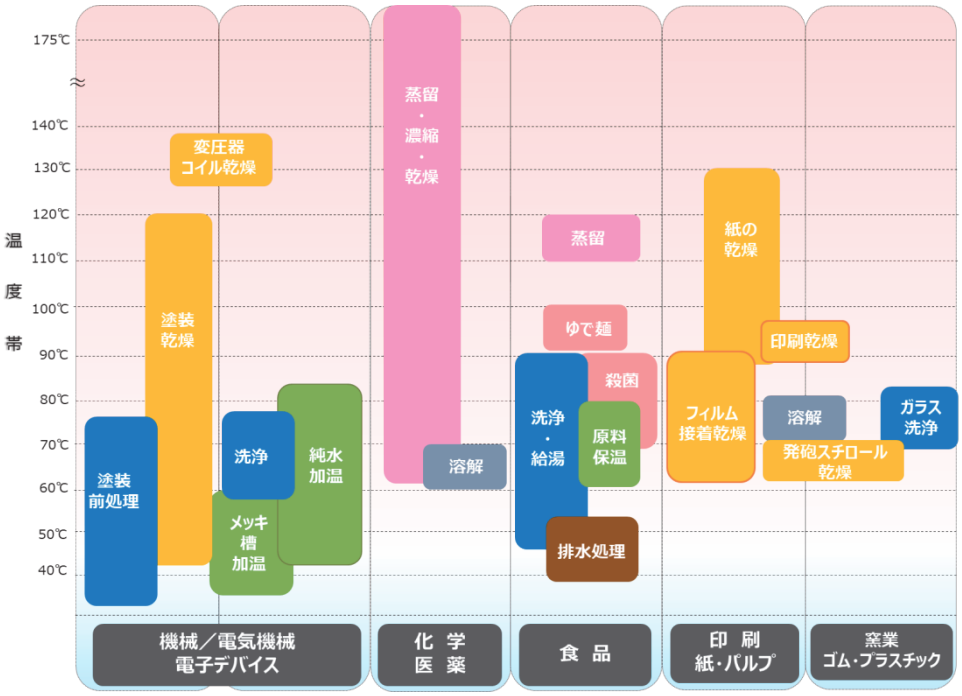
<図 3> 廃熱利用のイメージ



<図 4> 産業用ヒートポンプの高温化

【産業用ヒートポンプの加熱用途】

産業用ヒートポンプの加熱用途は、高温度への適用領域の拡大と様々な方式（高温水、熱風、蒸気、蒸気圧縮式）が開発され、様々な業種の加熱用途で利用されています。



<図５> 産業用ヒートポンプの適用領域

2

エレクトロヒート技術の紹介

電気が持つ優れた特性を利用するエレクトロヒートには、様々な原理による技術が開発されています。ここでは各種技術の原理、利用の仕方、主な適用事例について紹介します。

2.1 抵抗加熱

(1) 原 理

「導線に定常電流を流すと一定時間内に発生する熱の量は電流の強さの二乗と導線の抵抗に比例する」という“ジュールの法則”を原理とする加熱方法です。

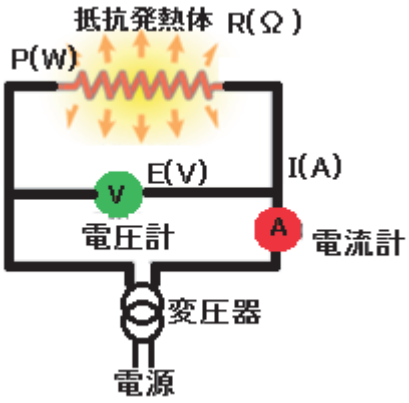
“ジュールの法則”の関係式は以下のとおりです。

先ず、導線内の消費エネルギーは次式であらわされます。

$P = I^2 \times R$　ここで、P:消費エネルギー(W)、I:電流(A)、R:抵抗(Ω)

一方 1 秒間に 1 ワットのエネルギーを消費すると 1 ジュールの熱が発生するので、“ジュール熱”は次式であらわされます。

$H = P \times t$　ここで、H:発熱量(J)、t:時間(sec.)



(2) 利用の仕方

抵抗加熱は、物質(物体)に直接電気を流してジュール熱を発生させることで加熱するため投入電力が加熱に直接利用できるという特長があります。また、高周波電源のような特別な電源を必要としません。従って、効率良く、比較的安価な装置で加熱することができる方法と言えます。

この“ジュール熱”の発生原理を利用し、間接抵抗加熱、媒体抵抗加熱、直接抵抗加熱ができるため、これらを使い分けることで被加熱物の材質や雰囲気を選ばず加熱することができます。

それぞれの方式の特徴を以下に示します

a．間接抵抗加熱

抵抗発熱体に電流を流しそのジュール熱を利用して間接的に被加熱物を加熱できます。抵抗体に発生する熱を、対流、放射、伝導あるいはこれらの組合せによって被加熱物に伝える方式です。

被加熱物の材質を問いませんし、様々な材質・形状の抵抗体を用いることができるため、どんな形状の被加熱物も加熱できます。

b．媒体抵抗加熱

広い意味の間接抵抗加熱ですが、直接通電加熱によって高温に加熱された伝熱媒体中に被加熱物を浸漬して加熱する方式です。

この方式は、高温酸化、脱炭が避けられること、急速、均一な加熱ができること、被加熱物の炉内への出し入れが簡単にできることなどの特徴があります。

c．直接抵抗加熱

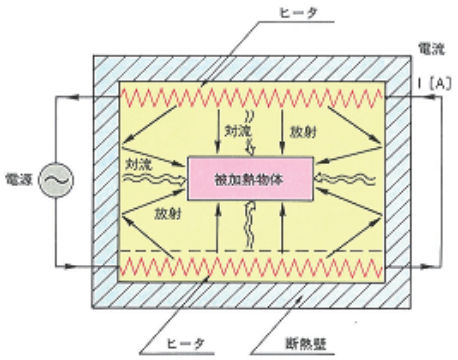
導電性被加熱物に直接通電し、被加熱物の抵抗により発生するジュール熱によって被加熱物を直接加熱する方式です。

内部から均一に加熱でき、加熱が被加熱物だけに限られるので、加熱効率が高く、高温も得られる等の特徴があります。その反面、被加熱物が適当な抵抗を有することが必要で、通電部の構成から用途に制約を受ける欠点があります。

(3) 主な適用事例

a．抵抗加熱炉（乾燥、熱処理、焼成、溶解）＜図 1＞

断熱壁で囲んだ炉の中に発熱体(ヒーター)を置いて発熱させることで、炉の中の被加熱物を放射や対流で加熱します。間接抵抗加熱の適用例です。

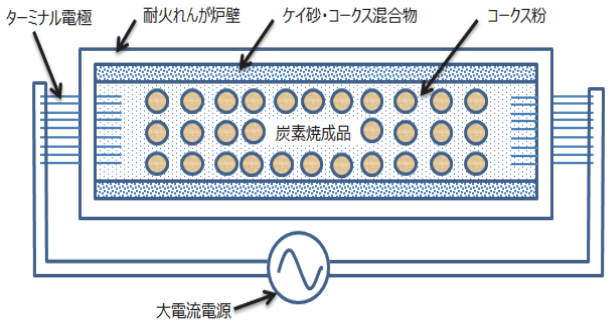


＜図 1＞抵抗加熱炉

出典：抵抗加熱（JEHC）

b．黒鉛化炉＜図 2＞

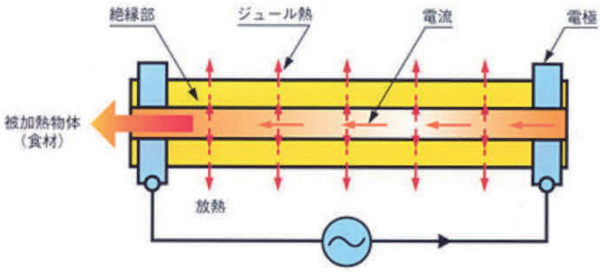
黒鉛材は焼成した炭素製品を 2600～3000℃に加熱して結晶化させたものです。炉体は耐火煉瓦で。両端からターミナル電極を差し込み、炉内に装荷されている充填コークス粉と炭素焼成品に通電して加熱します。直接抵抗加熱の適用例ですが、コークス粉の方がかなり抵抗が高く発熱体となるので、媒体抵抗加熱の側面もあります。



＜図 2＞黒鉛化炉

c．液体食品連続加熱殺菌装置＜図 3＞

絶縁された管の中を流れる液体状の食材に直接通電することで加熱し、食材を殺菌します。被加熱物に直接通電して加熱する、直接抵抗加熱の適用例です。

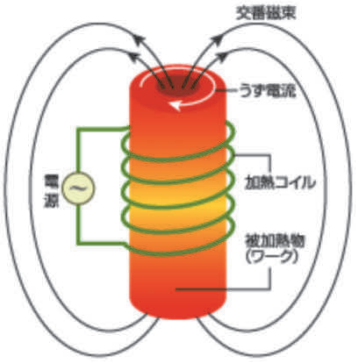


＜図 3＞液体食品連続加熱殺菌装置

2.2 誘導加熱

（1）原理

電磁誘導を利用して加熱する方法で高周波誘導加熱、電磁誘導加熱とも呼ばれています。交流電源に接続されたコイルに電流を流すと、その周りには磁力線が発生します。コイルの中あるいはその近くに電気を通す金属を置くと、金属内には磁束の変化を妨げる方向に“うず電流”が流れます。金属には電気抵抗があるため、「消費エネルギー＝電流 ^{2}×抵抗」に相当するジュール熱が発生して金属が加熱されます。この現象を誘導加熱といいます。



誘導加熱の原理

金属の溶解や調理器具などの加熱装置では、うず電流をできるだけ多くする必要があり、被加熱物に鉄やステンレスなどが使われます。誘導加熱を使った加熱方法は、品質や生産性の向上、作業環境の改善、それにクリーン性や安全性に優れた特性を持ち、金属の溶解、銅板などの熱加工、機械部品の焼き入れなどの分野で広く利用されています。

（2）利用の仕方

誘導加熱は、被加熱物自体を非接触で自己発熱させるため、エネルギー交換効率が高く、単位面積当たりの電力密度を高くできるので急速加熱が容易です。また、加熱制御の応答が速いため操作性が良く加熱精度が上げられる特徴を有しています。

被加熱物が導電体の場合は、被加熱物に電流を流す直接加熱方式を用い、セラミックなどの絶縁体の被加熱物を加熱する場合は、それらを導電性の容器に入れて容器を誘導加熱して熱伝達させる間接加熱方式をとります。

a．直接加熱方式

直接加熱方式では、電磁誘導作用により金属が直接加熱され発熱するため、燃焼などの間接加熱よりエネルギー交換効率が高く、燃料コストの低減が可能です。また、非接触加熱のため、接触により加熱物への影響もなく、真空装置用の加熱装置としても好適です。金属部品等の必要な部分の選択加熱や部分加熱が可能で加熱制御の応答も早いことから、自動制御のラインへの組込みも容易で生産性向上が図れる方式です。

b．間接加熱方式

間接加熱方式は、化学、食品工場などで扱われる絶縁体の被加熱物をカーボンのような導電性のるつぼ、釜などの容器に入れて、容器の周りに設置したらせん状のコイルに交流電流を流して容器を加熱し熱伝達で発熱させる方式になります。従来の重油だきのボイラーで加熱していた方式に代わる、安全で省エネルギー、CO_2削減、作業環境改善が実現できる方式です。

（3）主な適用事例

a．低周波誘導炉＜図 1＞

自動車部品の鋳造部品の原料である地金の溶解に
低周波誘導炉を使用しています。
溶湯の保持は、温度を常に 1450～1500℃に保ちつつ
必要な時にすぐに出湯できる状態に貯めておく工程です。

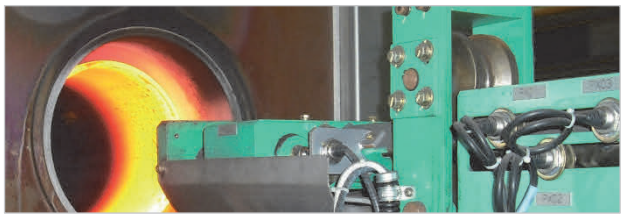


＜図 1＞　低周波誘導炉

出典：誘導加熱(JEHC)

b．端管加熱装置＜図 2＞

高圧ボンベの頭部スピニング成型の
前処理として、誘導加熱装置にて
先端部を部分加熱します。

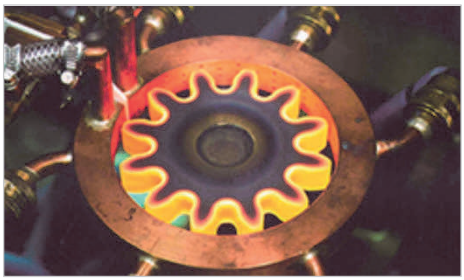


＜図 2＞　端管加熱装置

出典：事例集「ものづくりに電気」

c．ギヤ歯焼入焼戻装置＜図 3＞

トランスミッションを構成するギヤ部品の焼入装置です。
硬度を要求される個所に対し最適に焼入れが
施されます。
製品の大きさや形状に合わせ加熱コイルを作って、
焼入れの深さによって、周波数を選定します。



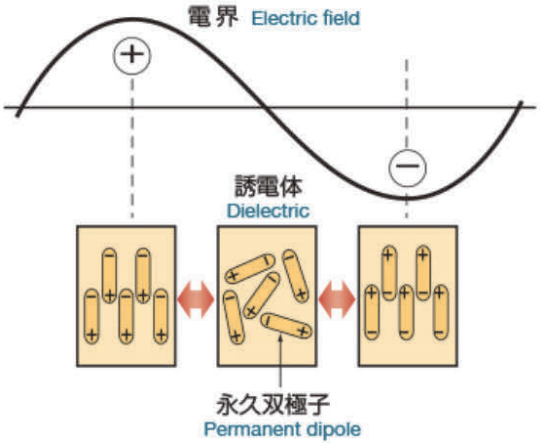
＜図 3＞ギア歯焼入焼戻装置

出典：電気興業 HP

2.3 誘電加熱（高周波誘電･マイクロ波加熱）

(1) 原　理

樹脂や木材などの電気不良導体（誘電体）は、電界内に置かれると内部に電気的平衡状態からの歪みである分極を発生します。誘電体に高周波電圧を加えると、誘電体内に発生した双極子は反転して周囲の分子との間で摩擦を起こし、その結果、摩擦によるエネルギーは誘電体内で熱となります。この誘電損失によって発生した熱によって誘電体を加熱する方法を誘電加熱といいます。



電界内に誘電体がおかれると誘電体内で分極が起き、誘電体表面の電荷が揃う

▼

電界の変化に対して、分極した分子の追従が遅れることで電力損失が発生する

▼

この電力損失が熱に変わる

(2) 利用の仕方

誘電加熱は被加熱物内部に直接エネルギーを与えられ、またエネルギー密度も上げられることから、被加熱物の加熱要求仕様に合うように投入エネルギー密度や周波数などを調整して、あるいは熱風等他の加熱方法と組み合わせて適用することで極めて有効な加熱をすることができます。一方、誘電体に金属片の混入があったり、電界電極の間隔を極端に狭めたりすると放電することがあるので注意が必要です。

a．高周波誘電加熱

高周波誘電加熱は、並行する電極間に挟まれた誘電体に 4～80MHz（メガヘルツ）の高周波電圧の交番電界をかけることで、誘電損失を利用して加熱する方法です。

b．マイクロ波加熱

マイクロ波加熱は、マイクロ波オーブンのような 2450MHz のマイクロ波による放射電界の変化を利用して加熱する方法です。マイクロ波加熱は、熱伝導などの助けを借りずに加熱できる特徴を有していますが、電磁波の電力密度の減少によって均一に加熱できる被加熱物の厚さに制限があります。

(3) 主な適用事例

a．銘木の乾燥装置

けやき、脂松、屋久杉などの高級銘木の乾燥に高周波減圧乾燥機が採用されています。天然乾燥でのかびの発生、割れやねじれによる不良材の量を大きく減らせています。乾燥時間も大幅に短くすることができています。均一に加熱できる高周波誘電加熱の適用事例です。

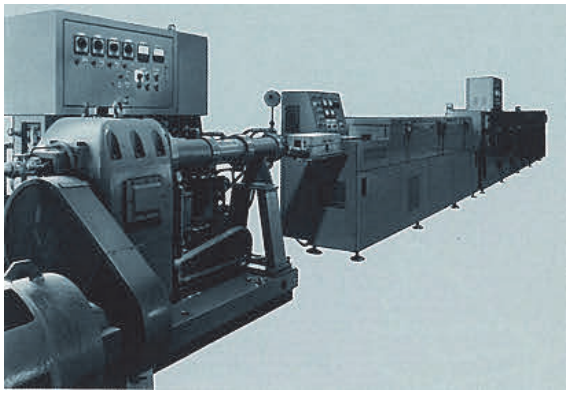


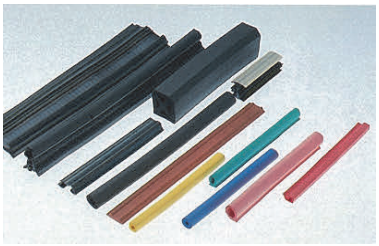
＜図 1＞銘木の乾燥装置

出典：マイクロ波及び高周波誘電加熱（JEHC）

b．ゴム連続加硫装置＜図 2＞

押し出し機で押し出された成形ゴム(ガスケット、ホースなど)にマイクロ波を照射し、加硫温度まで瞬時に昇温させます。熱の不良導体であるゴムを内部まで急速に加熱する、マイクロ波加熱の適用事例です。





押し出された成形ゴムが右のトンネル炉の中でマイクロ波加熱されます

＜図 2＞ゴム連続加硫装置

出典：マイクロ波及び高周波誘電加熱（JEHC）

ゴム製品

c．野菜の減圧乾燥装置＜図 3＞

野菜加工食品の製造の乾燥工程にマイクロ波減圧乾燥が使われています。一時乾燥として含水率を半分ほどにします。減圧して 30～40℃の低温度で短時間に乾燥させるので、栄養素や風味等を損なわない特徴があります。





＜図 3＞野菜の減圧乾燥装置

出典：マイクロ波及び高周波誘電加熱（JEHC）

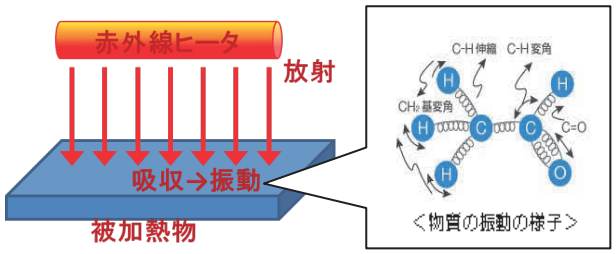
2.4　赤外加熱

(1)原　理

赤外加熱は赤外・遠赤外線放射による熱エネルギーを利用した加熱方法の一つです。赤外線は可視光線とマイクロ波の間に位置し、波長は 0.78μm～1mm です。このうち、3μm（マイクロメートル）～1mm の波長帯を遠赤外線と呼んでいます。

プラスチック、ゴム、塗料、繊維、食品など高分子物質は、2.5～30μm 程度の波長領域に多くの吸収帯をもつため、入射された赤外・遠赤外線を吸収しやすい性質があります。

吸収された赤外・遠赤外線は、物質の分子運動を激しくし熱を発生します。



(2)利用の仕方

赤外加熱は放射による直接加熱であるため、被加熱物の表面温度や雰囲気温度に影響されることなく加熱量をコントロールすることができる特長があります。また、熱風加熱のように熱流を伴わない為、ダスト対策が容易であり、よりクリーンな加熱に適した加熱方式です。

赤外加熱の利用は、放射される赤外線波長と被加熱物の吸収波長を一致させることが効率的ですが、短時間での加熱が要求される場合はより放射エネルギーの大きい近赤外線を使う場合が適している場合もあり、被加熱物の要求仕様（材質、温度、スピード、形状、均一性など）と加熱ヒータの特性（波長、出力密度、即応性、放射形状など）を勘案して選択することが重要です。

a．遠赤外加熱

多くの物質は遠赤外線波長とほぼ合致する吸収波長(2.5～30μm)を有しているため、放射波長と吸収波長をマッチングすることにより効率的な加熱が可能となります。

b．近赤外・中赤外加熱

赤外線放射は波長が短い程、放射エネルギー密度が大きくなるため、高エネルギー密度（最大 1200kW/m^2）を利用して、高速加熱や大量加熱に利用されます。

c．選択加熱

被加熱物の吸収波長の違いを利用して、加熱したいものと加熱したくないものが混在する場合に選択加熱として利用されます。

(3)主な適用事例

a．自動車ボディの塗装乾燥＜図１＞

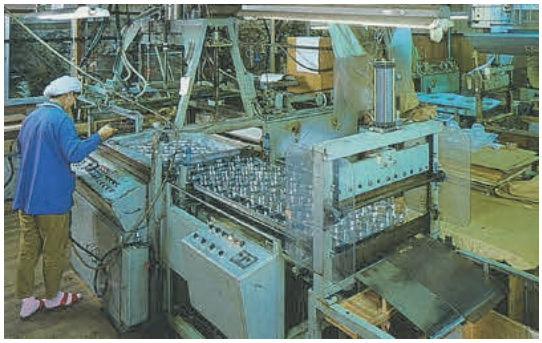
自動車ボディの全体塗装乾燥や部分塗装乾燥に効率の良い遠赤外加熱が使われています。
熱風方式と比べ乾燥時間が 1/3 に短縮され、さらに、部分乾燥の場合は、パネルヒータを切り替えることにより乾燥する部分のみ加熱できるため、無駄のない乾燥が可能となります。



＜図１＞自動車ボディの塗装乾燥
出典：遠赤外線加熱(JEHC)

b．プラスチックシートの加工＜図２＞

プラスチック容器を真空成形する際に、シートを予熱して軟化する工程に赤外線が利用されています。
この工程には短時間で精密な温度制御が必要ですが、遠赤外加熱の利用により、生産時間・コストとも低減できます。

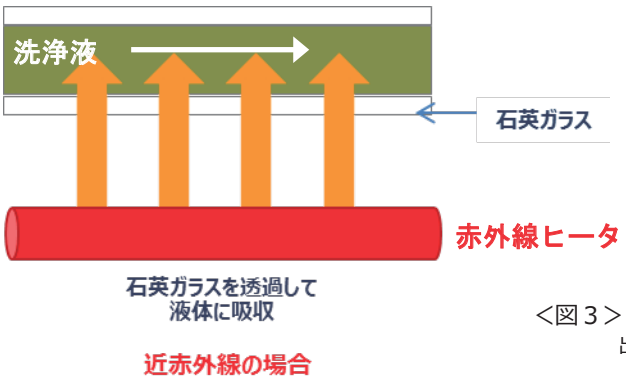




＜図２＞プラスチックシートの加工
出典：遠赤外線加熱(JEHC)

c．シリコンウェーハの洗浄液加熱＜図３＞

シリコンウェーハの洗浄に用いられる薬液や純水の加熱に近赤外線の選択加熱が利用されています。
石英管内を流れる液体に３μm以下の波長の近赤外線を放射すると、吸収特性の違いから、石英管はほとんど透過し、内部の液体のみ直接加熱することが可能となります。

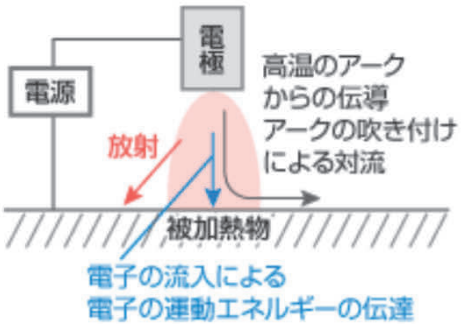


＜図３＞シリコンウェーハの洗浄液加熱
出典：ウシオ電機技報

2.5 アーク･プラズマ加熱

（1）原　理

電極からアーク放電を発生させ、アーク放電のエネルギーを被加熱物へ伝えて加熱する方法です。アーク放電の中では、電子、中性粒子、イオンが存在するプラズマが形成されており、大きな運動エネルギーをもった電子が衝突によって中性粒子やイオンにエネルギーを与えています。アーク放電の発熱や、生成された高温プラズマを熱源として加熱するものです。



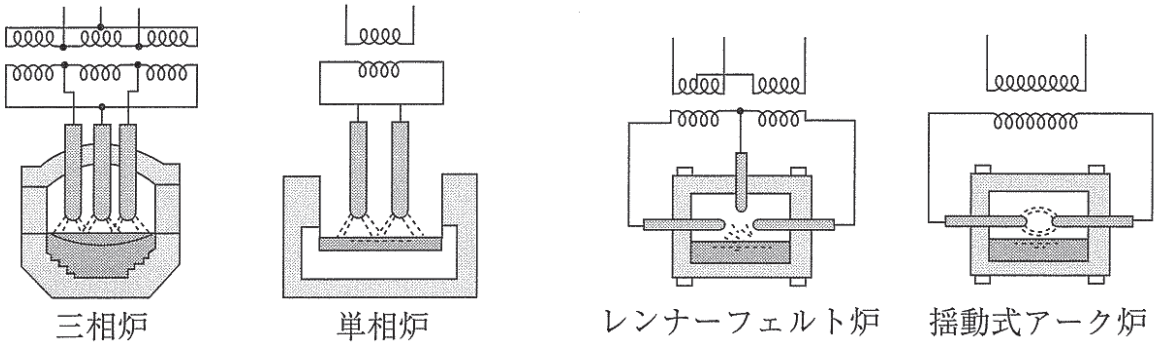
アーク加熱の伝熱機構
出典：ｱｰｸ･ﾌﾟﾗｽﾞﾏ加熱の電熱機構(JEHC)

（2）利用の仕方

アーク加熱、プラズマ加熱ともに 5,000～20,000℃の超高温と高エネルギー密度が得られる特徴が利用されています。エネルギー密度が高いので、局所加熱や急速加熱を達成でき、装置を小型化できる一方で大容量化が容易です。

a．アーク加熱

アーク自体の発熱を用いた加熱方式で、金属に電流を流した時の発熱を利用する抵抗加熱と共通しています。アーク加熱ではアークが抵抗体に相当します。アークの抵抗率は温度や気体の種類にもよりますが、0.1～0.01Ωcm と低い抵抗率で、比較的低い電圧で大きな電流を流しています。アーク加熱には、電極と被加熱物の間にアークを発生させ被加熱物の中に電流が流れる「直接アーク加熱方式」（アークが被加熱物に埋没しているものは「サブマージドアーク加熱方式」）と、電極間にアークを発生させ被加熱物の中に電流を流さず主に放射で加熱する「間接加熱方式」があります。（下図参照）



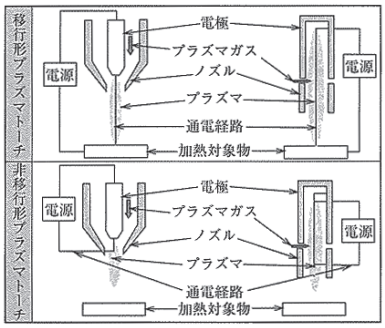
出典：エレクトロヒートハンドブック（オーム社）

b．プラズマ加熱

アーク放電で発生させたプラズマを用いて加熱するものです。アーク放電の経路や電極を円筒状やノズル状にすることで、アークを拘束、あるいはプラズマを一方向に噴出するなど、指向性を改善して利用する方法です。磁力などでアークを絞り電流密度を高くし数万度の高温を得ることもあります。

このような指向性と高温を得る装置として、プラズマトーチがあります。加熱対象に通電するものは移行形、通電しないものは非移行形と分類されます。黒鉛やタングステンなどの円柱状の電極を用いるものはロッド形、円筒状の銅電極を用いるものはホロー形と分類されます。（右図参照）

※プラズマの発生方法加熱源は多種多様ですが、本書で表記するプラズマ加熱はアーク放電でつくられた高温プラズマで加熱する方式を示しています。



（a） ロッド形プラズマトーチ　　（b） ホロー形プラズマトーチ

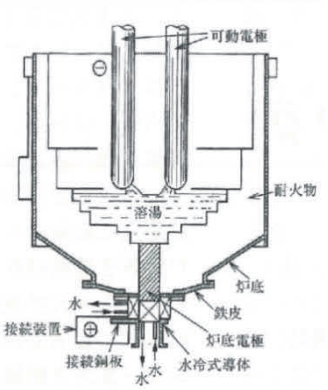
プラズマトーチの分類

出典：エレクトロヒートハンドブック（オーム社）

（3）主な適用事例

a．製鋼用直流アーク炉 <図 1>

炉上部の可動電極からアークを発生させ、溶湯を通し炉底電極との間に電流を流して鉄鋼スクラップなどを溶解します。

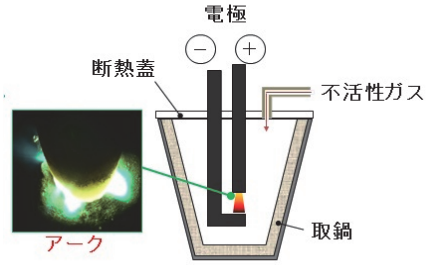


<図 1 > 製鋼用直流アーク炉

出典：エレクトロヒートハンドブック（オーム社）

b．アーク式取鍋加熱装置 <図 2>

鋳造工場で溶湯を運搬する取鍋にアーク電極を挿入し注湯前の予熱をします。熱源温度が高く取鍋をほぼ密閉状態にすることで、加熱時間の短縮とエネルギーの大幅な削減、さらに周囲の熱、騒音環境が改善されます。

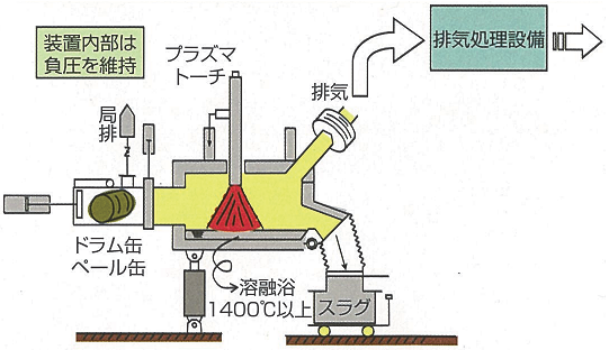


<図 2 > アーク式取鍋加熱装置

出典：日本エレクトロヒートセンターホームページ

c．ＰＣＢプラズマ溶融分解装置 <図 3>

負圧に維持された装置内にプラズマトーチを挿入し、ドラム缶やペール缶などに収納されたＰＣＢを含む機器を缶ごと1400℃以上の高温で溶融し、ＰＣＢを分解します。



<図 3> PCB プラズマ溶融分解装置

出典：日本環境安全(株)パンフレット

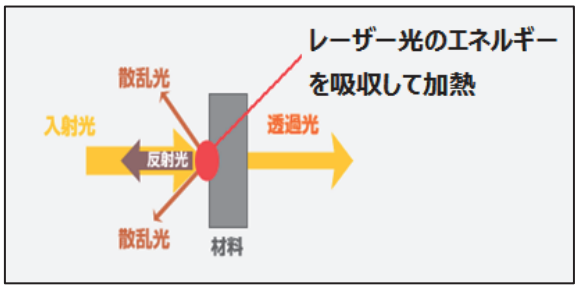
2.6 レーザー加熱

（1）原　理

レーザー発振器から発振されるレーザー光を被加熱物（固体）に照射して、レーザー光のエネルギーを被加熱物に吸収させて加熱する方法です（図　1）。瞬時に、かつ局所に高いエネルギーを与えられ、デジタル制御もしやすいので、精密加工に多く応用されています。kW クラスの高出力レーザーによる重加工（溶接、溶断など）から中、低出力レーザーによる微細加工（電子部品の穿孔、表面改質など）まで、幅広く応用されています。

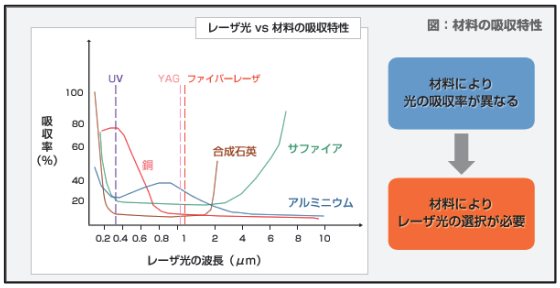
固体はレーザー光の周波数に依存する固有の吸収率を有することから、非加熱物が吸収しやすい波長のレーザーを選ぶ必要があります（図 2）。そして加工目的によって、連続発振（CW）かパルス発信などを選ぶので、それらが実現できるレーザー発振器を選定されます。これに適切な光学系を組合せて加工装置になります。

レーザー発振器技術は近年ますます開発が進み、特に半導体レーザー発振器は 2015 年ころから飛躍的に普及が進んでいます。



＜図 1＞　レーザー加熱の原理

出典：Laser　Agency　ホームページ



＜図 2＞　材料のレーザー光吸収特性

出典：Laser　Agency　ホームページ

（2）利用の仕方

レーザー加熱は、局所に瞬時に高エネルギーを照射でき、照射の方法（連続、パルス）やエネルギーレベル、レーザープロファイルの制御等も容易なので、金属、非金属を問わず様々な加工に用いられています。局所を瞬時に高温にでき、局所なので周囲への熱の逃げが速く降温も速く、周辺への熱影響が極めて少ないという特長があります。従って、微細加工も得意としています。しかし、この特長から、逆にワーク表面から深くへの熱加工（焼き入れや軟化など）には適していないということになります。

発振器の技術向上や普及に伴ってさらに産業応用の分野や加工技術の高度化が進んでいます。

利用の仕方を大まかに区分すると次の通りになります。

a．除去加工

熱により材料を溶融させアシストガスなどで吹き飛ばすことによって除去加工をします。

剥離、穿孔、切断、スクライビング（割溝加工）、トリミング、マーキング（除去）　等

b．接合、付加加工

熱により材料を溶融させ融合させるあるいは溶融材料を積層させる加工です。

溶接、ろう付け・半田付け、クラッディング、積層造形、蒸着　等

c．改質加工

熱により材料表面を変質させる加工です。

焼き入れ、アニ―リング、乾燥、マーキング（改質）、表面硬化、グレージング　等

d．その他

材料表面のみ加熱する特性を生かして薄板の曲げ加工に応用されている例もあります。

（3）主な適用事例

a．穿孔･切断＜図 3＞＜図 4＞

図 3 はレーザー穴加工機の例です。種々の材料に 0.01～0.3mmの穴加工や溝加工をします。図中に示される通り、ヘリカルドリリング加工により複雑形状の孔もシャープに加工できるとされています。このシリーズの機種では出力 3 W と 30W のものがあります。



図
微細レーザ加工機「ABLASER」
機械の土台には、熱変位が少なく防振効果が高いグラナイト（花崗岩）を使っている。

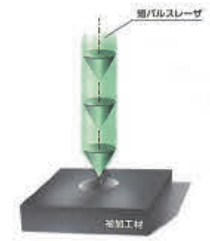


図　パーカッション加工法

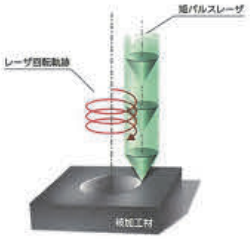


図　ヘリカルドリリング加工法

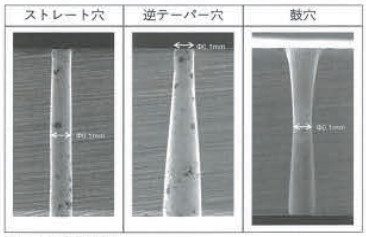


図　穴形状加工例

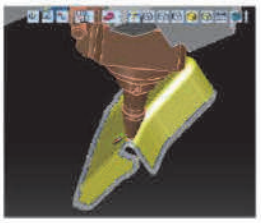
＜図 3＞　レーザー穴加工機「ABLASER」

出典：日本機械学会誌　第 121 巻　第 1195 号 p 40～41

図 4 はレーザー切断加工機の例です。ファイバーレーザーを用いて三次元形状の切断ができます。最小切断幅 60μmを実現したとしており、毎分 50m の高速移動テーブルが採用されています。このシリーズの機種には出力 600W～1300W のものがあります。



SCF5113型



オフラインティーチングの干渉チェック画面

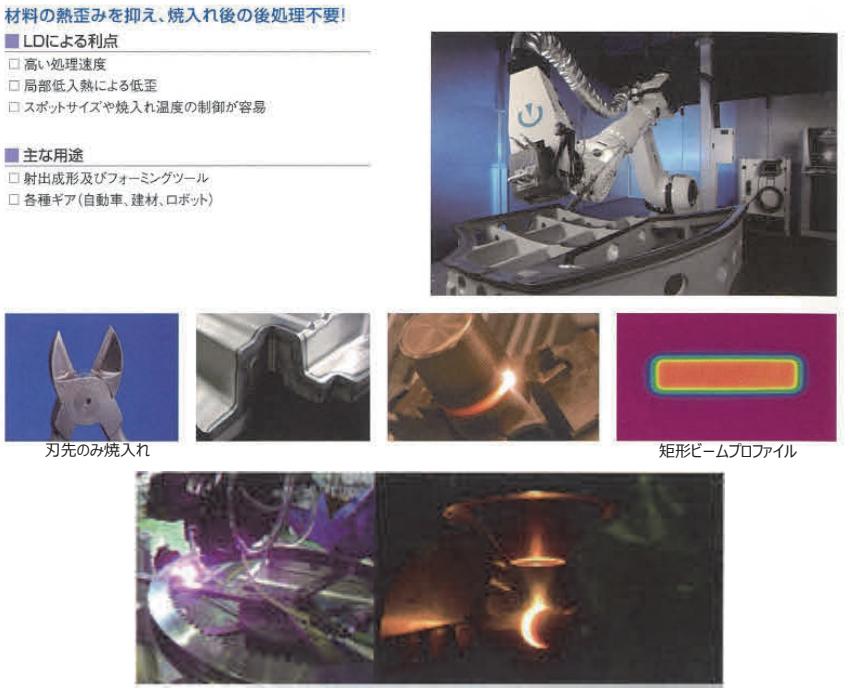
＜図 4＞　三次元ファイバーレーザー加工機「SCF5113 型」

出典：澁谷工業株式会社ホームページ

b．焼入れ、軟化＜図 5＞

焼き入れ、軟化の何れも「熱加工」ということができますが、レーザー熱処理はドライ加工で、光が届く所なら加工ができ、局所加工が得意ということです。

図 5 は、レーザー焼き入れの様子を示しています。冷却が不要で薄肉部品や局所に焼き入れができます。ビームプロファイルも様々に制御することができます。

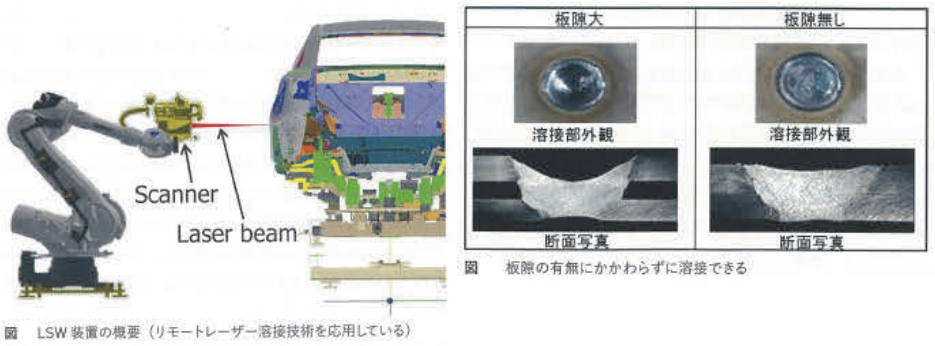


＜図 5＞　レーザー焼き入れの様子

出典：丸文株式会社総合カタログ 2018

c．溶接　＜図 6＞

図 6 は、トヨタ自動車（株）で加工時間大幅短縮を目指してスポット溶接をレーザー溶接にかえるために開発した溶接法です。高品質の溶接が 1 点あたり 0.3～0.8 秒でき、スポット溶接より 3 倍速いとのことです。



＜図 6＞　レーザー円形走査溶接法「LSW」

出典：日本機械学会誌　第 121 巻　第 1196 号 p 38～39

d．積層造形、表面改質＜図 7＞＜図 8＞＜図 9＞

レーザーを用いた積層造形には、大きく分けるとレーザーメタルフュージョン（LMF）とレーザーメタルデポジション（LMD＝レーザークラッディング）があります。クラッディングにより表面改質も出来ます。

図 7 はメタルフュージョンの例で、大阪大学で開発した高輝度青色半導体レーザーを用いて純銅粉から 3 次元造形したものです。

図 8 はメタルデポジションの例で、円筒部品にらせんフィンを付加しています。

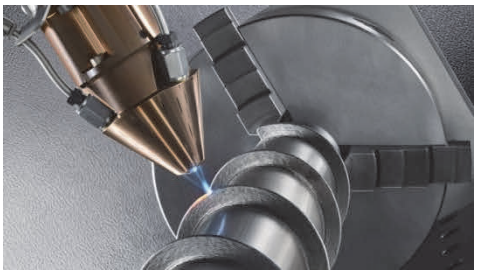


図　高輝度青色半導体レーザー搭載
SLM方式3Dプリンタ



図　純銅の3Dプリンティングのサンプル

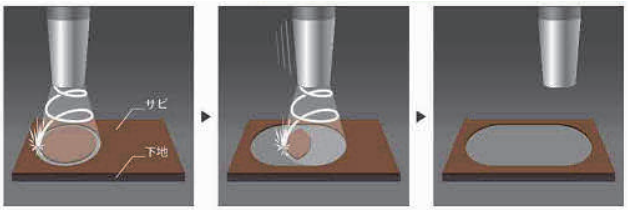
＜図 7＞　レーザーメタルフュージョンの例
出典：大阪大学研究情報ホームページ



＜図 8＞　レーザーメタルデポジションの例
出典：TRUMPH ホームページ

表面改質では、クラッディングよるのみではなく、除去、変質、マーキングなどができます。

図 9 は、株式会社トヨコーが製品化しているポータブルな除去装置で、錆などの表面の付着物が局所の高温化で除去できます。廃棄物も少なく、レーザーを照射するだけなので反力も無く作業性も格段に向上します。



表面除去の原理。ビームを回転させながら移動。



作業の様子

出典：株式会社トヨコーパンフレット
出典：METI Journal 2018.9.4

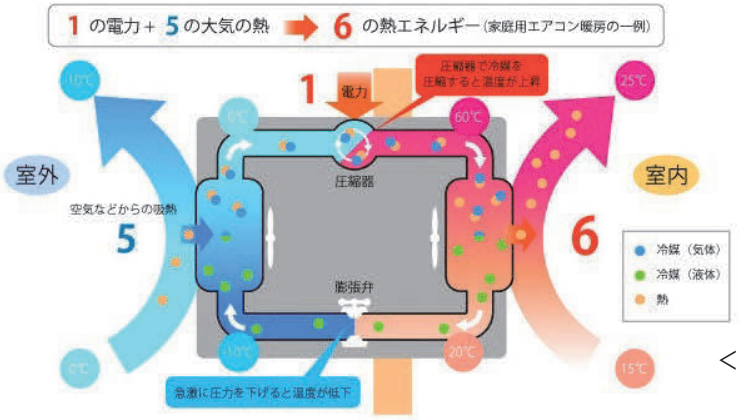
＜図 9＞　レーザーによる表面除去の例

2.7 ヒートポンプ

(1)原　理

低温から高温に熱を輸送する装置で、低温熱は冷房・冷凍・冷却等に利用され、高温熱は暖房・給湯・加熱等に利用されます。その原理は、基本的には凝縮器と蒸発器で構成されており、凝縮器では加熱、蒸発器では冷却が行われます。蒸発器では作動媒体の蒸発による吸熱現象、また凝縮器では凝縮による発熱現象が生じており、低温から高温に熱をくみ上げるには仕事が必要となります。

仕事の駆動方法としては、一般的には圧縮機が使われており、冷媒にはフロン、CO_2、アンモニアといった物質が用いられていますが、フロンはオゾン層破壊から使用が禁止され代替フロンや新冷媒の開発が進んでいます。



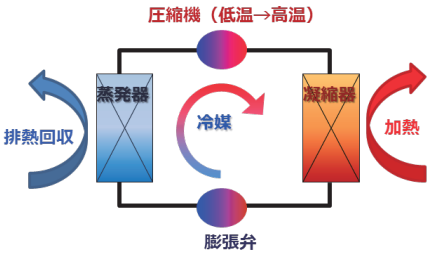
<図１>ヒートポンプの原理
出典：ヒートポンプ・蓄熱センターHP

(2)利用の仕方

産業で用いられるヒートポンプは空気、排気、排温水、河川水、地中熱など、様々な熱源を利用することができます。また、用途についても冷熱利用（冷凍、冷房、除湿、プロセス冷却など）や加熱利用（暖房、給湯、加熱、乾燥など）で、様々な温度帯で使用できますが、ここでは普及が期待される生産プロセスの加熱利用を中心に紹介します。

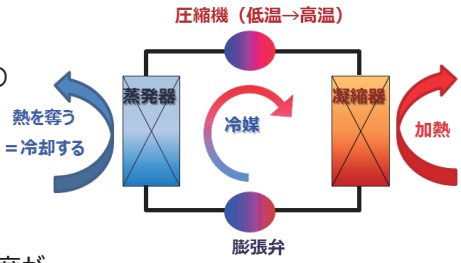
a．廃熱回収利用

生産工程で排出される排温水や排気、コンプレッサーやチラーの冷却後の冷却水など、普段捨てている低温廃熱を回収して、再度高温に変換したのち、加熱に利用する形態です。



b．冷温同時利用

食品工場など工場内で冷熱と温熱を両方同時に利用している場合などは、従来チラーで冷却していた冷水を、加熱用ヒートポンプの熱源とすることで、一つのヒートポンプで冷熱と温熱を同時供給することが可能となります。



c．空気熱源利用

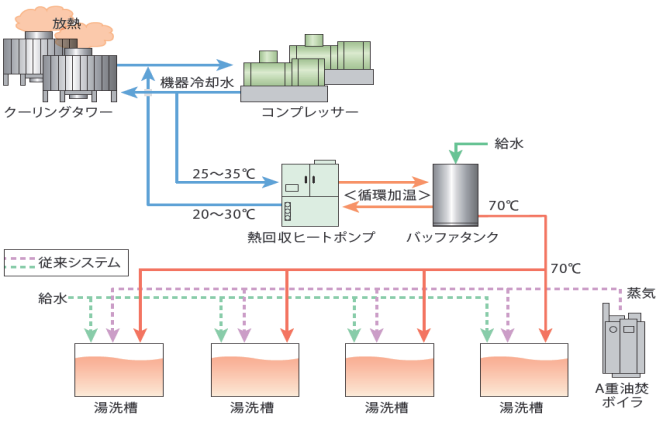
空気熱源ヒートポンプの場合、熱源の制約がなく、設置場所の自由度が大きいため、加温槽の隣など、加熱場所と近接した利用が可能です。また、屋内に設置した場合はヒートポンプから発生する冷風で快適性も向上します。



(3)主な適用事例

a．コンプレッサーの廃熱回収利用＜図１＞

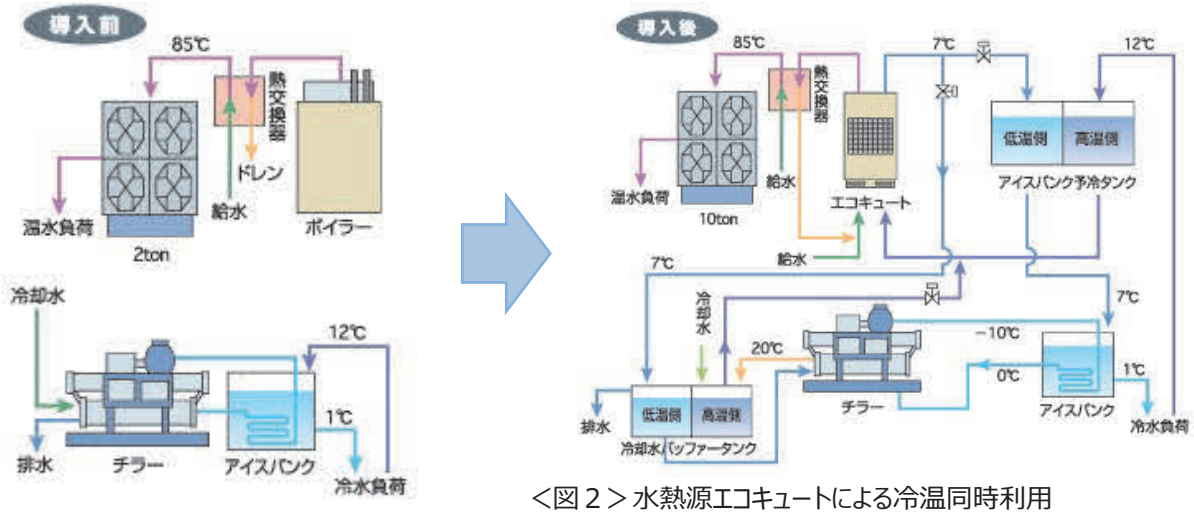
従来冷却塔で捨てていたコンプレッサーの冷却水に含まれる低温廃熱を回収し洗浄工程の加温（約 60℃）に利用できます。ボイラーでの加温と比較して、約 4 割ものコストを削減可能です。



＜図１＞コンプレッサーの廃熱回収利用
出典：事例集『ものづくりに電気 vol.5』
浅間技研工業殿

b．水熱源エコキュートによる冷温同時利用＜図２＞

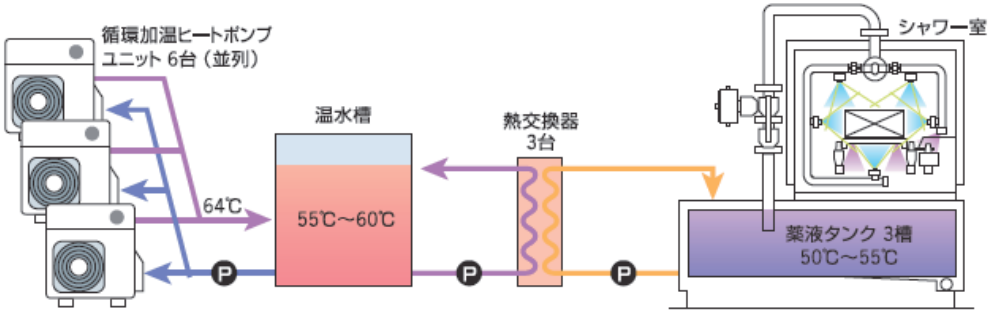
従来はボイラーで温水を、チラーで冷水を製造していましたが、水熱源エコキュートの導入により、温水と冷水を同時に製造することが可能となり、従来比 7 割以上の一次エネルギーを削減できます。



＜図２＞水熱源エコキュートによる冷温同時利用
出典：事例集『ものづくりに電気 vol.3』
北陸メイト―乳業殿　白山工場

C．空気熱源ＨＰによる薬液槽加温＜図３＞

金属部品の表面処理工程の薬液槽加温（50℃～55℃）に空気熱源ヒートポンプを採用。蒸気加温時に比較して約 3 割のコスト削減が可能です。



＜図３＞空気熱源 HP による薬液槽加温
出典：事例集『ものづくりに電気 vol.3』ヤマハ発動機殿　袋井南工場

3

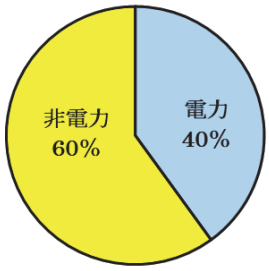
産業イノベーションと省エネに貢献するエレクトロヒート

【地球温暖化対策は電力部門だけでない】

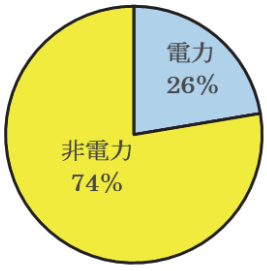
地球温暖化を防止する国際的な活動である締約国会議（COP２４）が 2018 年にポーランドで開催され、パリ協定の実行ルールが採択されました。地球の平均的な気温上昇を産業革命以前と比べて 2℃未満に抑制するためには、人為起源の温室効果ガス排出量を 2100 年にはほぼゼロまたはそれ以下にする必要があります。

日本政府は、2016 年３月に地球温暖化対策計画を策定しました。国内の温室効果ガスの削減は、パリ協定の合意に基づいて国際社会に受け入れられる目標を掲げ、2030 年度において 2013 年度比 26.0%減に、さらに長期的目標として 2050 年までに 80%の削減を目指しています。政府が掲げる低炭素化を達成するためには、エネルギー需給面で徹底した省エネルギーと脱化石燃料が必要になります。

日本のCO_2排出量は、11.45 億トン（2016 年度）になります。排出量をエネルギー別に見ると、電力の排出量が全体の 40%で、残りは電力以外のエネルギーで加熱や暖房・給湯などの熱、自動車用のガソリンや軽油、化学製品のナフサなどからの排出量です。政府の高い削減目標を達成するためには電力の脱炭素化だけでは不十分で、電力以外で消費されている化石燃料も大幅に削減しなければなりません。エネルギー消費で見ると、最終エネルギー消費に占める電力の割合は 26%と、CO_2 排出量よりも少ない値となっており、非電力部門での大幅な省エネが求められています。



（CO_2 排出量：11.45 億トン）



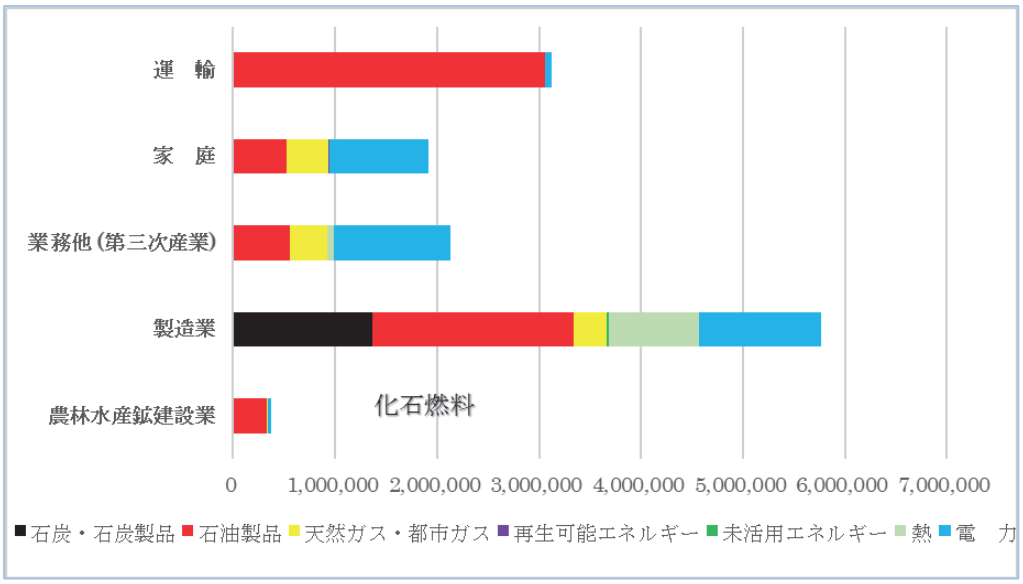
（最終エネルギー消費：11.9EJ）

＜図１＞CO_2 排出量と最終エネルギー消費
（総合エネルギー統計、2016 年度から作成）

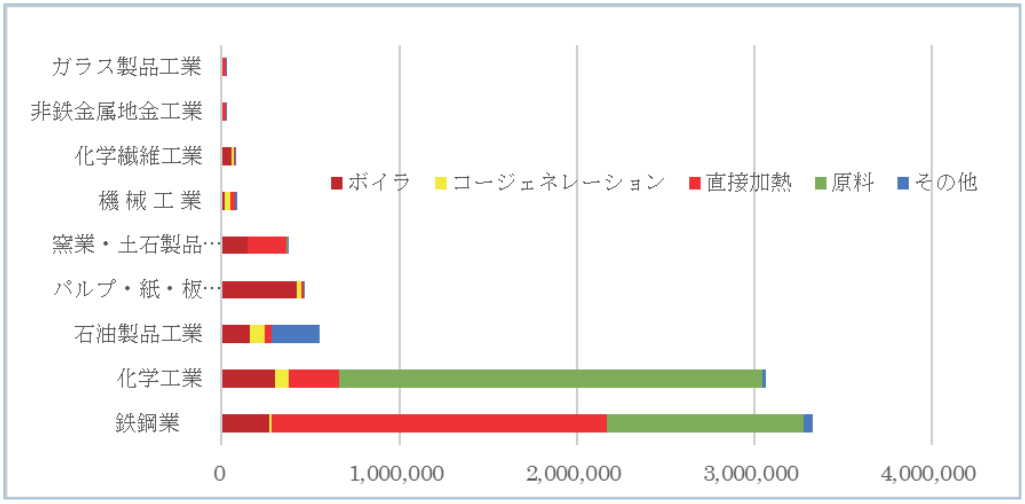
【化石燃料の消費が多い製造業】

日本の最終エネルギー消費は 11.9EJ（2016 年度）になります。部門別に見ると、製造業が最も多く全体の 43%を占めています。次いで、運輸、業務他、家庭、農林水産鉱建設の順で、それぞれ、23%、16%、14%、3%となっています。製造業における電力の割合は 21%で、業務部門の 54%、家庭部門の 51%に比べて低い値となっています。製造業で消費されているエネルギーの中で最も多いのは、石炭・石炭製品、石油製品、天然ガスといった化石燃料で、その割合は製造業全体の 63%にもなります。

また、製造業の化石燃料消費を業種別に見ると、鉄鋼業と化学工業が際立っており、その消費量は製造業全体の８割を占めています。両者が消費している化石燃料の 44%は原料用に使われています。製造業全体を用途別に見ると、原料用の 44%に対して、直接加熱、ボイラー、コージェネレーションがそれぞれ 31%、17%、3%となっており、熱利用の割合が大きいことが分かります。これから、熱利用分野の省エネポテンシャルルは大きく、製造業の省エネ努力が必要になります。



<図 2> 部門別・エネルギー源別の最終エネルギー消費量［TJ］
（総合エネルギー統計、2016 年度から作成）



<図 3> 業種別・用途別の化石燃料消費量［TJ］
（産業別石油等燃料統計、2017 年度から作成）

【熱利用の大半は直接加熱と自家用蒸気の消費】

製造業の熱利用の中で最も消費量が大きいのが直接加熱で、その消費量を石油換算にすると 6,500 万㎘リットルになります。特に、鉄鋼業は直接加熱全体の 75%も占めている。それに化学工業と窯業・土石製品工業を加えると 3 業種だけで 95%にもなります。

ボイラーの燃料消費の中で自家蒸気生産は 150℃以下の比較的低い温度で利用されています。その消費量は、石油換算で 1,900 万㎘リットルになります。自家用蒸気の中で最も生産量が多い業種は化学工業（石油石炭製品を含む）で 38%を占めており、次いでパルプ・紙・紙加工品製造業と鉄鋼・非鉄・金属製品製造業の順で、上位 3 業種の割合は 76%になります。

日本政府は、2030 年までに 26%（2013 年度比）の温室効果ガスの削減を目標に、徹底した省エネを

進めるとしており、5,030 万キロリットルの最終エネルギー消費を削減しようとしています。製造業の熱利用として直接加熱と自家用蒸気生産で 8,400 万キロリットルも消費していることを考えると、製造業には政府目標を達成する大きな省エネポテンシャルがあることが分かります。

表 1　直接加熱の業種別燃料消費量［TJ］
（産業別石油等燃料統計、2017 年度から作成）

業種	直接加熱 [TJ]
鉄鋼業	1,888,671 (75.2%)
化学工業	287,707 (11.5%)
窯業・土石製品工業	219,048　(8.7%)
石油製品工業	37,583　(1.5%)
機 械 工 業	22,955　(0.9%)
非鉄金属地金工業	19,604　(0.8%)
ガラス製品工業	18,511　(0.7%)
パルプ・紙・板紙工業	14,125　(0.6%)
化学繊維工業	3,258　(0.1%)
合計	2,511,462　(100%)

表 2　自家用蒸気の業種別生産量［TJ］
（総合エネルギー統計、2016 年度から作成）

業種	自家用蒸気の生産量 [TJ]
化学工業 (含 石油石炭製品)	329,282　(38%)
パルプ・紙・紙加工品製造業	205,653　(24%)
鉄鋼・非鉄・金属製品製造業	117,983　(14%)
食品飲料製造業	81,525　(9%)
繊維工業	49,486　(6%)
機械製造業	34,575　(4%)
プラスチック・ゴム・皮革製品製造業	27,418　(3%)
窯業・土石製品製造業	20,339　(2%)
木製品・家具他工業	4,887 (0.6%)
印刷・同関連業	3,085 (0.4%)
他製造業	1,049 (0.1%)
合計	732,268 (100%)

【製造業における省エネ対策】

製造業の省エネとして以下に掲げる対策を挙げることができます。

（１）生産ラインの設備改善

既存生産ラインへの高性能ボイラーや高効率のモータ、圧縮機、ポンプ、ファンなど補器類の導入が求められています。インバータによる機器の最適運用や配管等の熱損失を抑える断熱や運用管理が必要になります。

（２）生産ラインにおける生産性向上

ボイラーによる加熱は、間接的な加熱であるため被加熱体が目的温度に達するまでの時間が長いといった課題があります。エレクトロヒートである電気加熱の特徴の一つに、酸素を使わず、被加熱体の必要な部分を直接、加熱する利点があります。それにより、製品は急速かつ短時間に加熱され、職場への廃熱も少なくクリーンな作業環境が得られ、短い時間で製品を製造でき生産性を向上させることが可能になります。

（３）コージェネレーション導入と熱のカスケード利用

熱利用の改善には、高効率エンジンや燃料電池により電気を生産し廃熱を加熱や給湯用の熱源として使用するコージェネレーション・システムの導入があります。また、できるだけ高い温度の水蒸気や高温ガスをボイラーで生産し、最初にプロセス加熱用の熱源とした後、温度が下がった廃熱を温度レベルに合わせて次の生産工程で利用していくカスケード型利用システムもあります。

（４）廃熱回収による熱の再利用

生産ラインの熱利用を大幅に改善する方法として、生産工程の廃熱を回収して、それをヒートポンプで昇温し再利用するシステムがあります。ヒートポンプは、電気などの駆動力によって低い温度を高い温度にする技術で、家庭や業務分野の冷暖房などに広く普及しています。生産ラインでの利用温度は家庭などに比べて温度が高いため、廃熱をヒートポンプで昇温して再び使えるようにすれば大幅な省エネになります。

【省エネとイノベーション創出に貢献するエレクトロヒート】

生産ラインにおいて大幅な省エネを可能にする革新的な省エネ対策として「生産ラインにおける生産性向上」と「廃熱回収による熱の再利用」が期待されています。エレクトロヒートはその革新的な役割を担うことができる技術システムです。

（生産ラインの生産性向上）

エレクトロヒート技術には、工場における熱利用プロセスの生産性を向上することで製品当たりのエネルギー消費を低減する効果があります。製造部門で熱消費量が最も多い直接加熱は、溶解・溶着、熱処理、焼成、接着、合成、乾燥、殺菌、調理などの用途で、その多くが 200℃以上、中には 1000℃以上にもなる高い温度レベルのものもあります。

電気加熱の特徴は、酸素を使わず、被加熱体の必要な部分を直接、加熱できる点です。そのため、製品は急速かつ短時間に加熱され、職場への廃熱も少なくクリーンな作業環境を得ることができます。電気加熱には、ジュール熱、マイクロ波、赤外線、電磁誘導、プラズマなどがあり、それぞれ用途に応じた加熱方法が実用化されており、今後の発展が期待されています。

例えば、圧力ボンベの製造工場に誘導加熱炉を導入した事例を紹介しますと、ボンベ製造の前工程である鋼片穿孔と端管成型に誘導炉を導入し自己発熱によって加工した結果、従来の燃焼炉に比べてエネルギーが83%も削減されました。加熱時間も従来よりも 10 分の 1 にまで短縮し、一日のボンベ生産量は 2 倍にまで増加しました。誘導炉は、燃焼炉と違って酸素を必要とせず燃焼ガスが発生しないことから作業環境も大幅に改善しました（引用文献１）。

製造ラインにエレクトロヒート技術を導入することによって、大幅な省エネや作業環境の改善が図れるだけでなく製造時間の短縮による生産性の効率向上が可能になります。エレクトロヒートは、高品質かつ環境性能に優れた製品製造のイノベーションを創出していく技術として導入が期待されています。

（廃熱回収による熱の再利用）

社会の熱利用には無駄が多くあります。私たちが利用している風呂の温水は、どれだけ有効にエネルギーが使われているでしょうか。身体を温めて汚れを落とすのに使われる熱エネルギーは極わずかで、使い終わった温水のほとんどが無駄に流され捨てられています。同じことが産業の熱利用にもいえます。ある電力会社が 29 か所の工場を対象に実測した結果によりますと、平均的な熱損失はボイラーの燃焼ロスが 15%、配管ロスが 26%、ドレンロスが 10%と全体の半分が無駄になっています。さらに、モノを作る生産工程の熱損失にも驚くべき調査結果があります。５か所の熱風乾燥炉工場を調査したところ、換気、潜熱、放熱などで 64%～98%の熱が使われずに捨てられています。例えば、発泡樹脂の乾燥・養生工場では熱損失が 96%にもなるという事例が報告されています（引用文献２）。

ヒートポンプを使えば生産現場の廃熱を昇温して再び使えるようにできます。それによって、エネルギー消費だけでなくCO2 排出量も大幅に削減できます。日本に既に導入されている産業用ヒートポンプの 98 事例を調査したところ、平均で 45%の省エネと 55%の CO_2 削減が達成されており、中には、85%も削減した事例もある（引用文献３）。自家用蒸気生産に利用されている温度レベルは 150℃未満が大半ですので、もし、それらがヒートポンプによって代替されれば、日本の CO_2 排出量を 3～4%削減できることになります。また、150℃以上で稼働する高温ヒートポンプの開発は、自家用蒸気生産よりも 3 倍近いエネルギーを消費している直接加熱分野での廃熱回収も可能にします。ヒートポンプは、利用価値が低くなった廃熱を有効利用することで、産業分野の省エネ化に大きく貢献する技術システムであります。

引用文献
1.エレクトロヒート誌（2016 Vol.206）
2.中部電力技術開発ニュース（2017）
3.内山洋司、IEA,Annex48、中間報告（2018）

4

日本エレクトロヒートセンターの役割

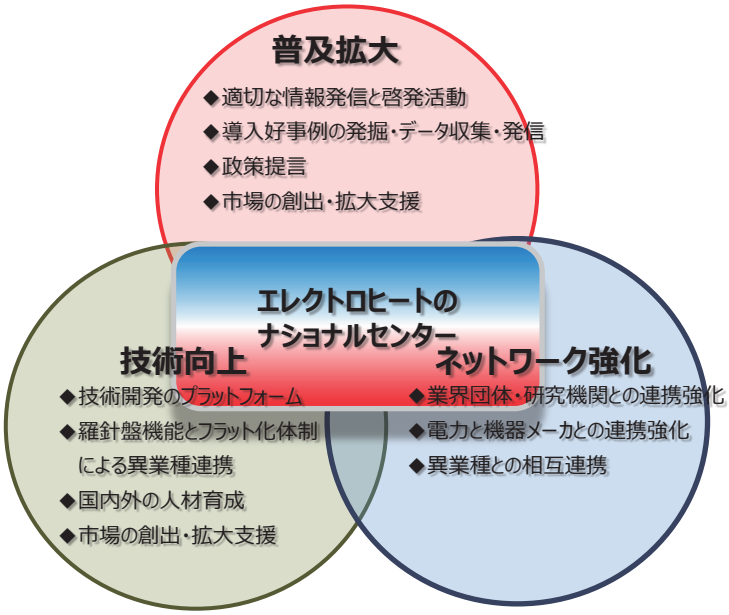
21 世紀に入り、グローバル化の流れ、環境問題への適合、電力やガスの自由化、雇用創出と地域社会の発展といった社会環境の変化に伴い、電気が産業活動に果たす役割は益々大きくなっています。エレクトロヒート技術も社会のニーズの変化に合わせて進化していく必要があります。当センターは、さまざまな電気加熱技術が集結する国内唯一のセンターとして、産業活動に求められているモノづくりとサービスの高度化やイノベーションの創出といった社会の要請に応える活動を強化してまいります。

具体的な目標として、「技術の向上」、「普及拡大」、「ネットワーク強化」といった３つの柱を掲げております。

○技術の向上 ：より優れたエレクトロヒート技術・システムを社会に広める羅針盤機能を高め、技術開発のプラットフォーム的な役割を担っていきます。

○普 及 拡 大 ：社会への情報発信を継続する中で、実績データに基づいた優れた導入事例の発信を行っていくと共に、これを省エネや低炭素施策などの政策提言に結び付けていきます。また、シンポジウムやセミナーなどの開催などを通じて、加熱機器メーカーとユーザーとのビジネスマッチングの機会を増やし、人材育成にも努めていきます。

〇ネットワーク強化：電力会社会員とメーカー会員との連携、また、会員企業と業界団体や研究機関との連携によるネットワークを強化し、エレクトロヒートシステムのさらなるイノベーションに貢献していきます。



日本エレクトロヒートセンターでは以下のＵＲＬ（ＱＲコード）にて、エレクトロヒート情報を発信しています。

《抵抗加熱》http://www.jeh-center.org/resistance.html

《誘導加熱》http://www.jeh-center.org/induction.html

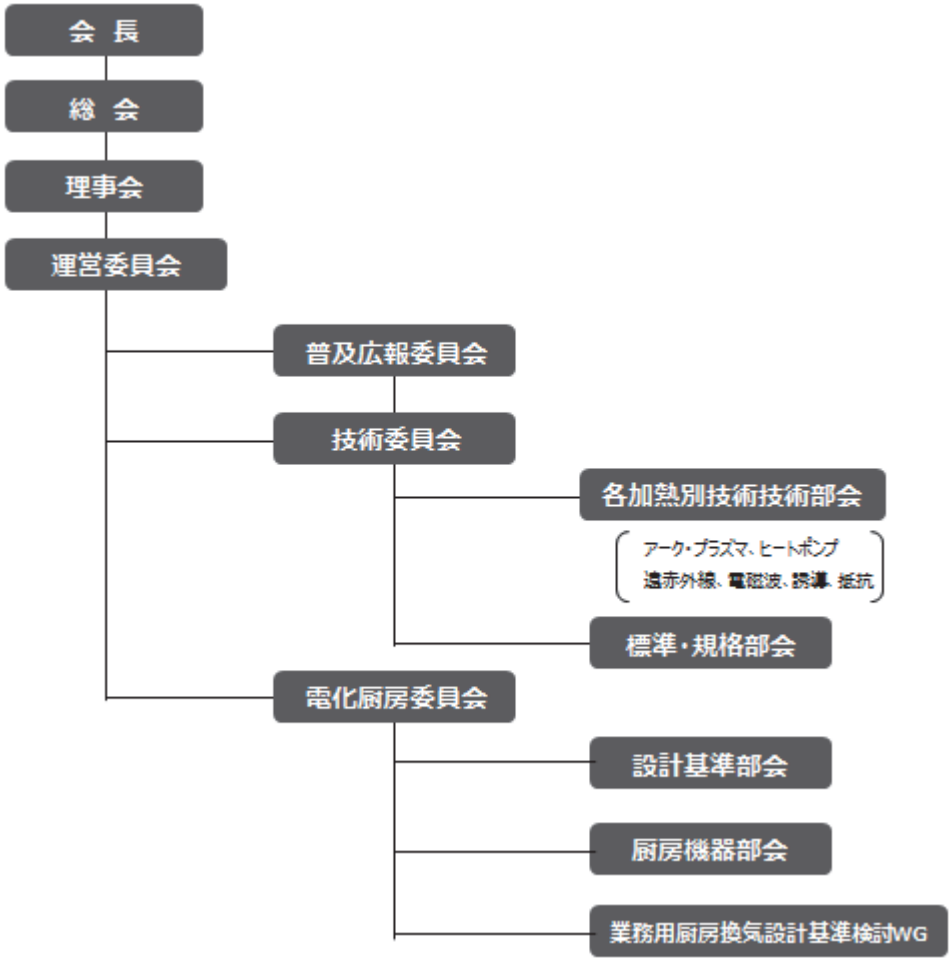
《誘電加熱》http://www.jeh-center.org/mw_de.html

《赤外加熱》
http://www.jeh-center.org/example_product/farred.html

《ｱｰｸ・ﾌﾟﾗｽﾞﾏ加熱》
http://www.jeh-center.org/arc_plasma.html

《ヒートポンプ》http://www.jeh-center.org/heatpump.html

日本エレクトロヒートセンター組織図



日本エレクトロヒートセンターのご紹介



一般社団法人
日本エレクトロヒートセンター
JAPAN ELECTRO-HEAT CENTER

〒103-0011
東京都中央区日本橋大伝馬町13番7号 日本橋大富ビル6F
TEL:03-5642-1733　FAX:03-5642-1734
E-mail:office@jeh-center.org

JEHC
http://www.jeh-center.org/

○東京メトロ日比谷線	小伝馬町駅１番出口	徒歩4分
○JR総武快速線	馬喰町駅①出口	徒歩4分
○都営新宿線	馬喰横山駅A2出口	徒歩3分
○都営浅草線	東日本橋駅A2出口	徒歩5分

一般社団法人
日本エレクトロヒートセンター
JAPAN ELECTRO-HEAT CENTER
〒103-0011
東京都中央区日本橋大伝馬町 13-7 日本橋大富ビル 6F
TEL:03-5642-1733 FAX:03-5642-1734
http://www.jeh-center.org/

本書は「著作権法」により著作権等の権利が保護されています。
無断での転載・複写、また電子的装置への入出力は行わないで下さい。

2016年10月 初版発行
2019年 3月 第2版発行