

生産時のCO₂排出量削減に向けて

山口 博*

Prospects for Reducing CO₂ Emissions from Manufacturing Facilities

Hiroshi Yamaguchi

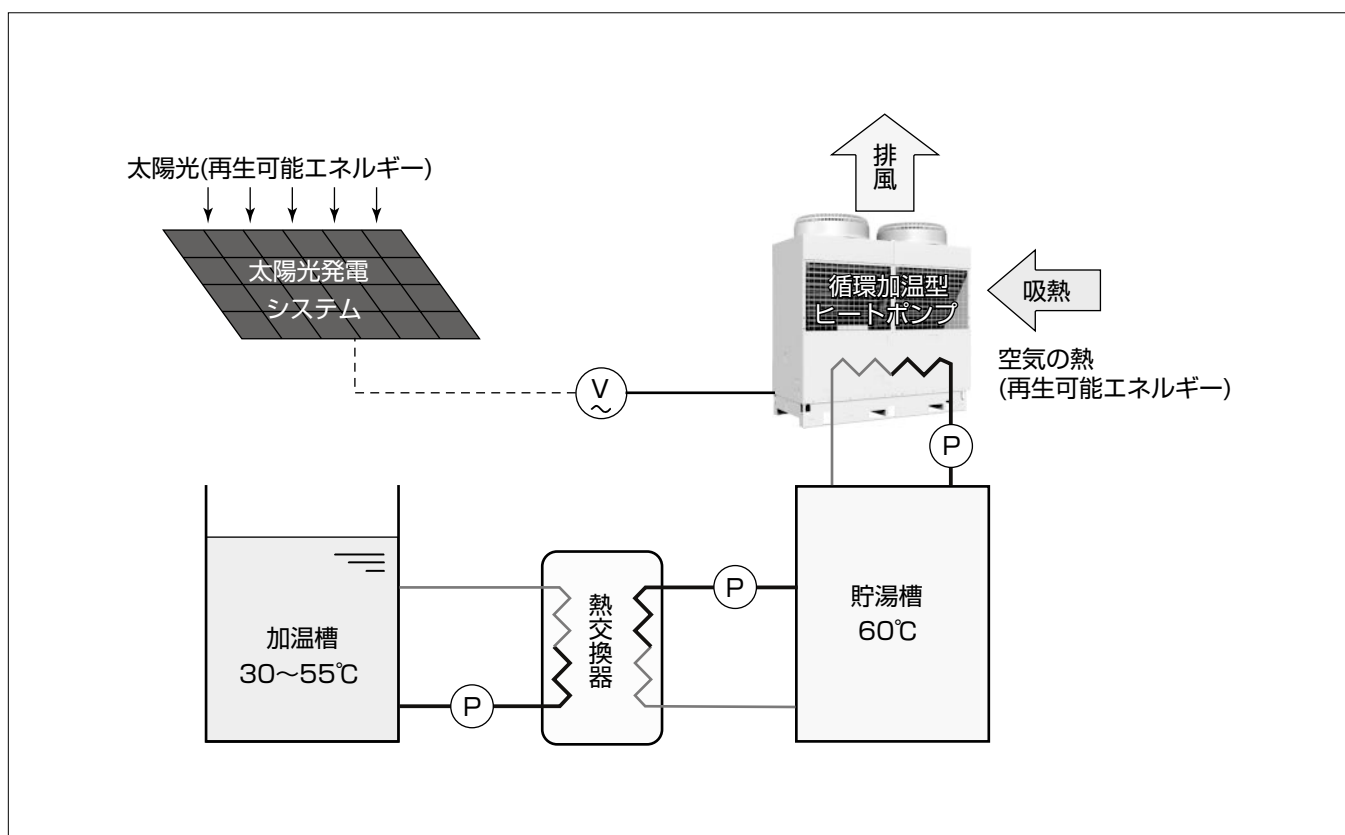
要 旨

三菱電機が推進している“環境ビジョン2021”では、生産時のCO₂排出量について、2020年度までに1990年度を基準として30%削減することを目標としている。本稿では、これを達成するための大きな課題である生産設備のCO₂削減について、社内で先進的な取組みを進めている工場の現状を調査して全社共通課題を見出すとともに、それらの共通課題に対して各業界の最新動向を調査し、現段階の技術

で実施できる効果の大きいアイテムについて述べる。

また、管理上の問題や現段階の技術では30%のCO₂削減達成が難しい設備については、新しいアイデアによって解決する素案について述べる。

最後に、CO₂削減対策について、現在の課題と展望を述べる。



加温槽のCO₂削減事例

電力源に太陽光発電システムを利用し、ヒートポンプで空気熱源を利用して、加温槽を加熱するシステムの事例である。

1. ま え が き

当社が推進している“環境ビジョン2021”では、生産時のCO₂排出量について、2020年度までに1990年度を基準として30%削減することを目標としている。生産時のCO₂とは、生産活動で発生するCO₂のことであり、事務所を含めた工場内の照明や空調はもちろん、素材や購入部品を加工、組立て、出荷検査をし、梱包(こんぼう)するまでの、いわゆる製造工程で排出するCO₂を対象としている。

本稿では、生産時にCO₂を排出する設備で、保有数が多い種々の設備について述べ、削減目標30%を見据えたCO₂排出量の削減方法について述べる。また、30%削減が難しい設備については、今後の課題を提示する。

2. 生産設備のCO₂削減

2.1 主な生産設備の種類

当社の場合、各製作所には多種多様な生産設備が存在し、それらを用いて複合的に加工し、組立て、検査し、最終製品として出荷している。保有数が多い一般的な生産設備には、塑性加工機(プレス機、かしめ機)、溶接機(電弧溶接機、レーザ溶接機、ろう付機)、工作機械(五面加工機、旋盤、研削機)、樹脂成形機(射出成形機、モールド成形機)、塗装設備(粉体塗装設備、溶剤塗装設備、塗装乾燥炉)、洗浄・乾燥設備、めっき設備などがある。ほかには、各製品専用の加工機、検査設備、自動組立機及び自動化ライン、搬送装置も多く保有している。

2.2 生産設備の共通点

生産設備のCO₂排出削減を実施するにあたり、一台一台を調査することは、全社的に生産設備保有台数が多く、また、生産設備の種類が多いため、種々の無駄や生産活動の弊害にもなる。よって、各設備に共通するCO₂削減方法を見つけ出し、先行事例を作ってその全社展開を進める必要があると考え、2011年度から社内で先進的な取組みを進めている工場を対象として、生産設備のCO₂排出量削減方法について調査を開始した。表1は、設備稼働時に消費され

表1. 生産設備のエネルギー消費要素

生産設備	主なエネルギー消費要素				
	電動モータ	工場エア	加熱	冷却	廃熱
塑性加工機	○	○			
溶接機	△	○	◎		
工作機械	◎	○	△	△	△
樹脂成形機	◎	○	○	○	○
塗装設備	○	○	○		△
洗浄・乾燥設備	○	○	◎		○
自動組立機	◎	○			
搬送装置	○	△			

各エネルギー消費要素の設備への付随頻度

◎：70%以上の設備に付随

○：30%以上70%未満の設備に付随

△：5%以上30%未満の設備に付随

るエネルギーが、どのような要素で最終的に消費されているのか、共通点を探るため調査し分類した結果である。共通点を見出す工夫として、一般的な加工技術の分類で設備を区分している。この調査結果から、一般的な生産設備では、三つの大きなCO₂削減テーマがあると判断される。

まず一見して、ほとんどの生産設備に電動モータが使用されていることが分かる。一般に、国内消費電力量の約50%が電動モータによって消費されているというが、この調査とも合致する結果となった。よって、各生産設備に付随する電動モータの消費電力を減らすことが、生産時CO₂削減で非常に重要なテーマである。

次に、工場エアによる消費が多い。工場エアは、電動モータを動力源とする汎用エアコンプレッサを用いて供給され、主にエアシリンダとエアブローによって消費されている。一般に、工場電力の約10%を工場エアが消費していると言われており、重要なCO₂削減テーマである。

三つ目が、加熱、冷却、廃熱等の熱エネルギーに関連するエネルギー消費であり、これらの熱エネルギーを多く消費する生産設備には、塗装設備、加熱炉、洗浄・乾燥設備、めっき設備等がある。全社的に見て、それぞれの設備の保有数は少ないが、一台あたりの消費エネルギーが大きく、CO₂排出量も多いため、重要なCO₂削減テーマである。

ほかには、油圧プレスに代表される油圧シリンダや、流体軸受けに使う油圧循環等の油圧設備がある。これは動力として電動モータで油圧ポンプを動作させており、CO₂削減の手法は基本的には電動モータの手法を応用することができる。また、エネルギーの消費形態としては特殊な加工機となる、レーザ加工機や放電加工機等も、最近では用途が拡大しており、最新機器の省エネルギー技術動向を注視し、必要に応じて旧設備を更新する必要がある。

2.3 電動モータ

電動モータの主な省エネルギーアイテムは、図1に示すとおり、電流制御、材料・構造、運用・管理に大別できる。1990年度を基準に電動モータについて30%以上の省エネルギーを達成することは、技術的には可能であるが、すべてのモータで30%以上の省エネルギーを実施するには、相当の費用と困難が伴い、実施不可能なものも存在する。

図1のアイテム中で、30%以上の削減効果が期待できるものは、誘導モータをIPM(Interior Permanent Magnet)モータまたはブラシレスDC(Direct Current)モータに更新する場合であり、他の方法では設備の使用状況によって、30%以上にならない場合があり得る。ファンやポンプの誘導モータを、IPMモータに変更する場合は、IPMモータ専用電源とともに、モータ固定箇所とカップリングを改造すれば、比較的簡便に交換が可能である。しかし、切削機械やプレス機械などの生産設備に付随する誘導モータをIPMモータに変更するには、設備メーカーの承認が必要であり、

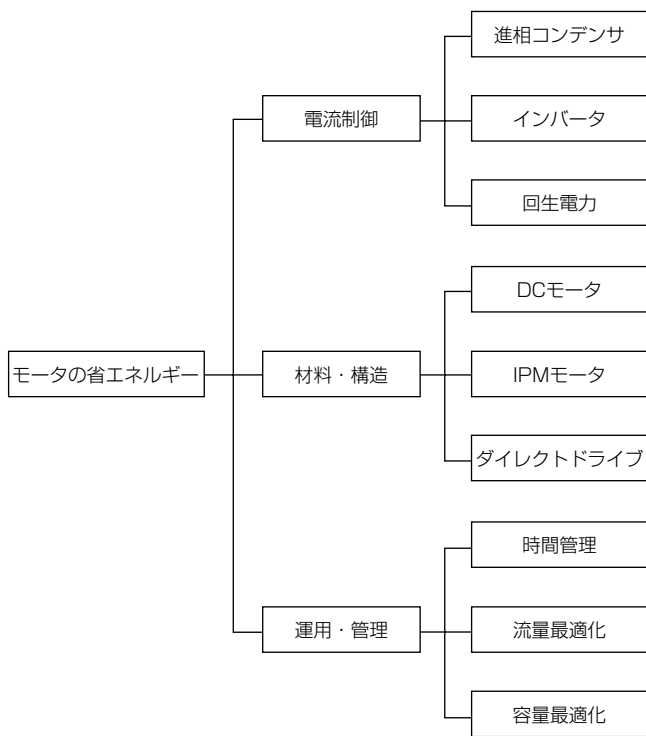


図1. 電動モーターの主なCO₂削減アイテム

生産設備の制御信号や電源と連動させる必要がある。また、マシニングセンターなどの主軸に取り付けられている、スピンドルモーターや、昇降機やクレーン等に設置されている安全上重要な誘導モーター、ステッピングモーター、SR (Switched Reluctance)モーター、50kW以上の大型モーター等、簡単に代用の効かないものも多くある。

このように、簡単には省エネルギーができないモーターも多くあることを考えると、電動モーターの省エネルギーを推進していくためには、ファン、ポンプ、油圧、搬送等の生産設備に直接付随しない誘導モーターは、可能な限りIPMモーターやDCモーターに変更していく必要がある。また、誘導モーターを使い続けなければならないものについては、インバータ電源の取付けを推進する必要がある。幸い、当社にはFA (Factory Automation)の主力製品として、インバータ電源、IPMモーターを筆頭に省エネルギーモーターがラインアップされており、これらの適用を拡大することで、CO₂削減を促進することができる。

また、運用・管理面からは、段取り時間に設備電源を落としたり、サーボモーターの励磁が一定時間以上動作しない場合は自動停止するなど、改善の余地がある。また、最近では、生産設備の省エネルギー製品が市場に出回るようになってきており、例えば、高精度加工用のマシニングセンターについても、暖機運転が不要なものなどが発売されている。

上で述べたように、電動モーターのCO₂削減は、IPMモーターとインバータを主要なツールとしつつ、更新予定の設備については、省エネルギータイプの設備を導入し、運用管

理面でも無駄取りを促進することで、全体として30%のCO₂削減を目指して、今後も活動を広げていく必要がある。また、種々の加工機にIPMモーターを簡便に適用することができる、ツールの開発またはサービスの提供が望まれる。

2.4 工場エア

工場エアは、電気エネルギーでコンプレッサのモーターを回転させ、高圧エアとして供給されているが、システム上エネルギーロスが大きい。これは、工場エアが、電動コンプレッサで生成される過程で、電動モーターの仕事効率、圧縮空気を生成する際の発熱と廃熱、除湿時のエネルギー、輸送経路での圧力損失、エアシリンダの仕事変換効率等多くの損失要因を、元来内包するシステム構成になっているためである。したがって、省エネルギーには、エアシリンダをリニア電動アクチュエータや、サーボモーター等の、モータードライブによる駆動方式に変更する手法がある。既に、シーケンスプログラムの変更なしに、エアシリンダと簡単に交換できるものが市販されており、メーカーの情報によれば50%以上の改善が見込まれるものもある。

ただし、モータードライブ方式は、エアシリンダに比べ初期投資が高価なので、単に同じストローク幅を繰り返す動作では、今後もエアシリンダが主流となるであろう。したがって、CO₂を30%削減していくためには、省エネルギー効果が大きい大型エアシリンダからモータードライブ化を進め、徐々に小型の製品に適用を拡大していく活動を継続していくことが必要と考える。

一方、エアブローは、エアシリンダに比べ使用頻度は少ないが、エアの使用量が格段に多いので、使用量の削減が必要である。エアブローの用途としては、除塵(じょじん)、乾燥(水滴の吹き飛ばし)、ワーク取り出し、噴霧等がある。この中で除塵、乾燥、ワーク取り出しについては、静止している対象物を吹き飛ばすという共通点がある。このような用途の場合、一定以上の流量が必要になるので、エア使用量が増加しがちである。一般的な、省エネルギーアイテムとしては、アスピレーターの原理を応用して周囲の空気を巻き込んで流量を増大させたり、圧縮性流体力学を応用して噴出拡大部に低圧力損失の構造を設けたり、穴径を小さくして穴数を増やす等の、省エネルギーノズルが各種市販されている。このような省エネルギーノズルと合わせて、ノズルの手前にレギュレータを設置して、0.2MPaくらいまで圧力を下げると、大きな省エネルギー効果が期待できる。注意点として、穴数を増やさず単に穴径を小さくしたものは、エアブローの幅や直径が制限される傾向があるので、うまく吹き飛ばしができなくなる場合がある。重要なことは、ノズルの専門メーカーと、良く話し合っって吹き飛ばす対象物ごとに、それに合ったノズル形状やノズル個数を選択することである。

2.5 熱エネルギー(加熱, 冷却, 廃熱)

加熱設備には加熱炉や加温槽等がある。加熱炉については、ガス加熱炉と電気加熱炉が多く保有されている。これらの業界では、ランニングコスト改善のため省エネルギーが盛んで、定番となっている方法がある。例えば、断熱、循環風量と排風量の適正化、燃焼時の空気比管理等が、効果の大きい定番の省エネルギーアイテムである。しかしながら、これらは1990年には既出の技術であり、現状の設備には設計時に既に考慮がなされており、追加措置としてこれらの手法で工夫したとしても、30%以上のCO₂削減を実施することは難しい。

ガス加熱炉に関しては、リジェネバーナーが新しい省エネルギー手段として期待されており、70%以上の廃熱回収効果があると言われている⁽¹⁾。元々、英国で開発された蓄熱燃焼技術をベースに、1993年からNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)と国内炉メーカーによって開発が進められ、多くのフィールドテストを経て、現在ではその省エネルギー効果が実証されている。リジェネバーナーは、図2のように蓄熱体とセットにした2個のバーナーを交互に燃焼させ、燃焼せずに休んでいる間は、吸気路が排気路に切り替わることで、排気路に設置した蓄熱体で廃熱を吸熱し、その熱を燃焼時には吸気した空気の前熱に利用する日本独自のユニークな技術である。ただし、既存炉のリジェネバーナー取付け改造は、炉メーカーや炉の形状によって対応が異なり、安易に変更することは難しい。まずは先行導入事例を作り上げる必要がある。

電気炉(電気ヒーターによる加熱)に関しては、30%削減の決め手となる新技術は見当たらず、断熱と排気時の放熱ロスを減らすことが基本的な改善になる。最近では、ワークの赤外線吸収スペクトルを考慮した上で、最適なヒーターを選択する例などがみられるが、明確な効果は不明である。よって、これからの対応としては、新しい廃熱回収方法を考えていく必要があるが、一般に電気炉は小中規模の設備が多く、廃熱温度が低く量も少ないので、廃熱回収用設備を付随させると投資回収ができない場合が多い。通常、排気(気体)からの廃熱回収では、大きな伝熱面積が必要になり、熱交換器が大型化するので

高額になってしまう。よって、簡便に煙突に取り付けて排気と吸気の熱交換ができる廉価な小型熱交換器の開発、または、リジェネバーナーの概念を応用した、排気と吸気を統合して交互に切り替えるリジェネ排気システムの開発が望まれる。

湯洗浄やめっき槽等の加温槽に関しては、従来はボイラ蒸気で加熱している場合が多いため、蒸気の代わりにヒートポンプで加温することによって、30%以上のCO₂削減効果が期待できる。例えば、図3のように、太陽光発電システムで発電し、ヒートポンプを使用した加温システムを導入することで、CO₂排出量を大幅に削減するシステム構成とすることも可能になる。最近ではCO₂冷媒を使ったヒートポンプで、90℃の給湯を達成している。また、低温排熱を回収することで、120℃の温風やボイラのように高圧蒸気を発生させるなど、新製品が次々と発表されている。今後も新しいヒートポンプの開発が期待できるので、新製品の開発状況や市場動向を注視していく必要がある。

冷却設備に関しては、最新のインバータ制御付き高効率チラーに更新すれば、30%以上の削減が見込めるが、小型の冷凍回路を持つオイルクーラーやスポットクーラー等は、価格重視のためインバータを付けないものが多く、インバータによる高効率化は難しい。オイルクーラーについては、そもそも油圧ポンプの連続動作が油温の上昇を招いているので、油圧ポンプをインバータ式に変更し、設備の制御信号と連動運転させて油圧モータの連続稼働率を下げることで、消費電力と油温を下げるのが可能となる。その結果、オイルクーラー自体が不要になった事例が、油圧ポンプメーカーから紹介されている。スポットクーラーについては、極力廃止する方向で検討し、もし発熱源が近くにあるならば断熱を実施し、扇風機かサーキュレータの利用に留(と)める等の工夫が必要である。

廃熱については、板金の塗装乾燥炉、バッチ炉など、小

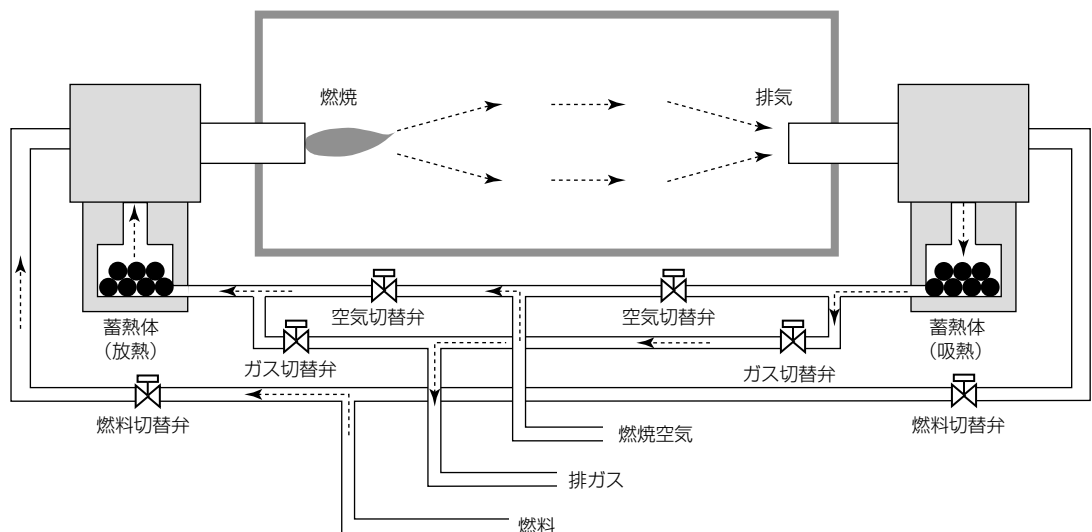


図2. リジェネバーナーの構造

中規模の加熱炉と、湯洗浄やめっき槽等の加温槽では、基本的に大気中や側溝に廃熱を放出していることが多い。しかし、30%のCO₂削減を達成していくためには、これらの廃熱を回収し積極利用する必要がある。湯洗浄やめっき槽の廃熱回収としては、オーバフローや槽内の液体を入れ替える時に、熱交換器と小型ポンプ

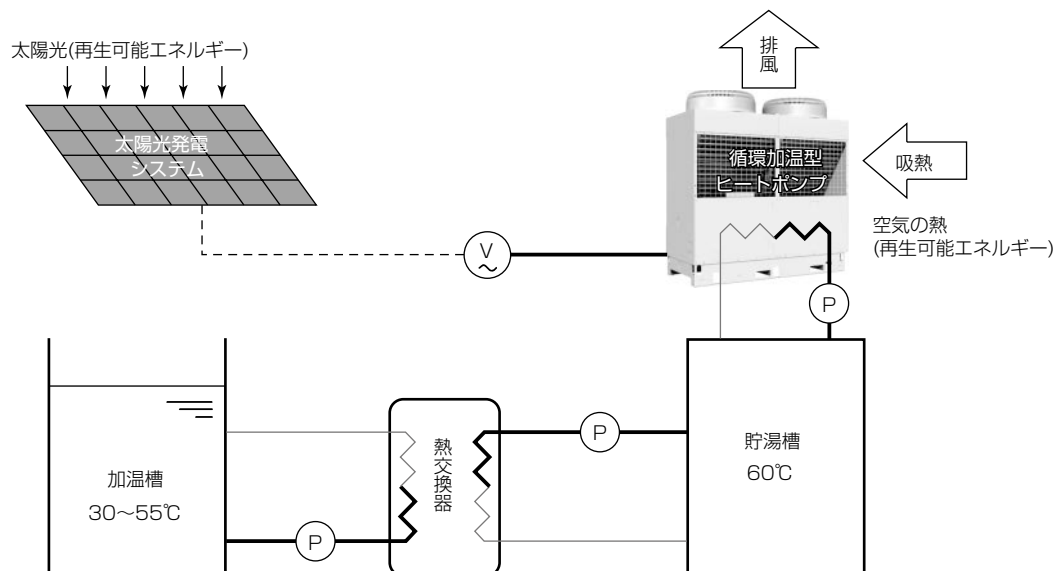


図3. 加温槽のCO₂削減事例

2台で簡便にできる方法がある。また、加熱炉の廃熱回収については、近くにその熱を利用できる設備があれば、そこで熱エネルギーを利用するのが一番効率の良い方法となる。例えば、温水利用設備があれば、廃熱で予熱した温水を利用できる。よって、炉の周りには加温槽などを設置して、廃熱利用ができる設備環境を整えていくことも重要である。

ほかには、廃熱発電が考えられるが、廃熱発電は熱エネルギーを仕事に変換するので原理的に効率が悪く、一般に製鉄所やセメントプラントなど、高温大型で大量の廃熱を出す加熱炉に適用事例が多い。当社所有の加熱炉は小中規模のものが多く、廃熱発電には適さない。また、熱起電力(ゼーバック効果)を利用した半導体発電素子や、赤外線利用の光電池が次世代の候補として存在するが、現段階では効率が悪く、高コストであるため産業利用には適さない。

一方、最近注目されている加熱方式として、高周波誘導加熱(Induction Heating: IH)方式がある。このIH方式は、従来から焼きバメやろう付等に利用されているが、最近では加熱炉の代替としての利用が注目されている。一般的な加熱炉の場合、炉内雰囲気、炉壁を加熱する必要があり、ワーク自体を加熱する以外の無駄なエネルギーが多い。しかし、IH方式では、誘導損失、周辺放射損失、誘導コイル発熱ロスを考慮しても、ワークを直接加熱することが可能になるため、上手くシステムを構築できれば大幅な省エネルギーを達成できる可能性がある。例えば、自動車用ホイールの塗装乾燥を、IH方式でおこなう乾燥装置が実用化されている。しかし、IH方式による生産設備の省エネルギー事例はまだ少なく、今後は技術動向を注視しつつ、社内でも開発を進めていく必要がある。

3. CO₂排出量30%削減に向けて

最後に、CO₂排出量の30%削減について展望を述べる。今後は、現場活動を中心とした運用・管理の改善や既存の省エネルギーアイテムの適用、最新の省エネルギー設備への更新や更新の必要性がない設備については、先に述べたの三つのCO₂削減テーマを中心に、当社の省エネルギー製品を積極活用して改善するなど、実施例を多く作り上げ、全社展開を加速していく予定である。また、生産技術部門で、早期にIH加熱、廃熱回収などの新技術を実用化して、現場に適用していくとともに、視点を変え製品設計の立場から、生産時のCO₂排出量を考慮し設計を見直すことも、今後は重要なテーマとして検討していく必要がある。また、部門間の垣根を越え、開発設計部門、生産技術部門、現場部門が協力し、技術力を統合してCO₂削減に取り組むことで、目標の達成を目指す。

4. む す び

今後10年の長期にわたりCO₂削減活動を展開していく必要があるが、そのためには、まず工場全体の長期投資計画を作成するとともに、この計画を共通認識として定着させ、計画を随時見直ししながら確実に次世代に引き継ぐ、長期ロードマップの作成も重要である。

また、太陽光発電システム、IH加熱、ヒートポンプ、IPMモータ、インバータ等の省エネルギーアイテムについては、全社に積極展開していくことが、CO₂削減だけでなく自社製品の強化にもつながる。

参 考 文 献

- (1) 仲町一郎：リジェネバーナーの開発の歴史と最新動向、省エネルギー、62, No.12, 41~44 (2010)