特集 塗装工程における省エネルギー

特別講演　環境にやさしい塗装システムへのアプローチ

「エネルギーミックス」で3割以上のコスト減

コーテック株式会社
代表取締役
楯　恒夫 氏

中堅の塗装工場の改善を進めるためのプランニングをお手伝いさせていただいている。そこでの経験をもとに塗装乾燥の改善策についてご紹介する。

改善の第1ステップはボトルネックを検討することから始まる。ボトルネックの考え方は、部分最適ではなく全体最適について検討することを意味する。部分最適の総和は必ずしも全体最適にはならない。ボトルネックを探す→ボトルネットを強化する→ボトルネックの移動があるかを確認する→また新たなボトルネックを探す。改善とはこの循環である。

ボトルネックを考える上で、次の三つの質問が重要になる。レイアウトの自由度を妨げているものは何なのか。実稼働率を下げているものは何なのか。ライン速度が上げられない原因はどこにあるのか。この原因となっているところがボトルネック工程であると考えられる。現在の中小の塗装工場ではこの考え方を中心にして、限られた経営資源をどこに投入したら一番効果を上げられるかということを検討する。

現実の塗装ラインでは、圧倒的に硬化乾燥工程がボトルネックになっている。乾燥炉のエネルギー効率は、36%という調査結果が出ている。本来は塗料もしくは製品の加熱が硬化乾燥炉の役目であるが、残りの多くのエネルギーはむだになっている。乾燥工程はある意味で多くの改善の余地が残された宝の山とも言える。

塗料スペックから効率化を考えてみる。塗料スペックは温度と乾燥時間のゾーンで示される。これまでの塗装工場ではその中から最も無難である条件を守っていることが多かった。

しかし最近では、このような「無難」優先の条件では収益性が上がらないため、もっと効率的な乾燥条件が求められるようになっている。例えば温度を少し上げることによって、乾燥時間がかなり短くなる可能性がある。塗装乾燥は、塗料自体の反応に寄与している時間帯（減率乾燥期間）よりも、溶剤の蒸発など反応以前の時間帯（恒率乾燥期間）が長い。エネルギーを効率的に与えて早く恒率乾燥期間を終わらせることがキーとなる。

ところが、熱風循環炉の場合、単純に温度を上げてしまうとトラブルを生じる。塗膜の温度が上がるに従い、塗膜中の溶剤は対流を起こしながら表面移行しやがて表面から蒸発する。単純に温度を上げてしまうと、塗膜表面からの乾燥が先に進んでしまい、中の溶剤がスムーズに抜けなくなる。溶剤がこの固まったところを突き抜けようとすると発泡し、塗膜中で沸点に達してしまうとワキという問題を引き起こす。

そこで、従来型の熱風循環炉の熱対流に、エネルギー源に電気を用いた近赤外線あるいは中赤外線輻射のハイブリッドを採用するエネルギーミックスという考え方が生まれた。温度を伝える方法には、伝導、対流、輻射の三つの方法がある。製品の右側を温めると次第に左側も温まるのが伝導、エアコンで空気を暖めるのが対流である。これに対して輻射はたとえば太陽光線が真空の空間を通っていきなり地球を温める現象を言う。夏季に車のボンネットが気温よりはるかに高温になるのは多量の赤外線の影響によるもので、何も介在せずに、エネルギーが直接対象物に与えられるのが輻射の特徴である。

赤外線の中で可視光に近い部分を近赤外線、遠いものを遠赤外線、中間的なものを中赤外線と呼ぶ。これらの赤外線をそれぞれ塗膜に当てると、遠赤外線は塗膜の外側から温度が上がっていくが、近赤外線の場合は塗膜への透過性が高いので、塗膜の深部から温度が上がっていく。中赤外線はその中間的なもので、表面と内部の温度を一緒に上げる。

中小の塗装工場の恐らく70%が従来型の熱風循環炉である。対流と輻射を組み合わせて熱を与えるという方法は、まだメジャーにはなっていない。エネルギーミックスの考え方を取り入れて、硬化乾燥炉を改善すると、従来炉と比較して、炉はコンパクトとなり、多くの事例で1カ月当たりのランニングコストも30%以上削減している。

ある工場では発泡が問題となり、熱風単一方式から熱風循環と近赤外線と中赤外線のハイブリッドにすることで、設備全体がコンパクト化され、塗膜欠陥も大幅に抑制された。また粉体塗装をしている別の工場では、炉の導入部に中赤外線のヒーターを採用することで、初期の製品昇温を速め粉体塗料が飛散しなくなるTg（ガラス転移点）温度まで急速に上げることができ、生産量のアップと硬化加熱炉内のトラブルを抑えることができた。

塗装乾燥炉のエネルギー効率は既述のように40%以下と低いが、「自社に最適な乾燥条件の選択」「エネルギーのベストミックス」などで改善し克服できる余地が多くあり、またその改善事例も増え始めている。また、それらの改善効果に伴って、CO_2排出量削減も実現している。

現在、塗装業界では二極化という大きな問題が起きている。コストが安くて、納期を守る優秀な工場に仕事が集中し、そうでない工場に仕事は来ない。

それをどうやったら食い止めることができるか。重要なのは情報である。残念ながら、塗装工場はこれまで情報の収集にあまり熱心ではなかった。これからは国境を越えた情報収集が非常に大事である。「塗装技術」誌の発行元である理工出版社の企画でヨーロッパの塗装工場を視察して驚いたことは、工場に大きな開発力や情報発信力があるということである（「塗装技術」1月号に詳細を掲載）。ともすれば日本の塗装工場は設備メーカーからの情報に頼るところが多いが、ヨーロッパの塗装工場では積極的に自社開発を行っていた。井の中の蛙にならず、情報収集を進めることが非常に重要になっていると思う。塗装管理手法では日本の塗装工場は優れているが、開発や情報の発信源としての力はまだ弱い気がする。

これからは、塗装工場とメーカーあるいは産学共同で開発力をつけていく必要性を痛感した。

最後に、改善のループを回し続け、その結果としてCO2排出量削減や環境負荷低減を実現している「成功している工場」を見ると、成功の秘訣は、やはり自らのミッションを見いだして、それを飽くことなく追求する力だと思う。

自分でミッションを見つけ、そのミッションに忠実であり、そのミッションに建設的な人。こういう人がやはり改善をリードしていくのだと思う。

講演　自動車塗装設備の概要と電化の可能性

リサイクル空調でCO2 7割減

株式会社大気社
塗装システム事業部
設計・開発統括部
技術企画室長
松原　出 氏

大気社は塗装設備のエンジニアリング大手で、主に自動車塗装関係を手掛けている。塗装設備についてはまだ電化があまりなされていない現状にあり、ヒートポンプが効率のよい熱源であることは、私どもも認識している。ただ、設備の特性から、最大限効果的に使える工程について提案を行いたい。

自動車塗装工程のうち、CO_2排出源として非常に大きいのが塗装ブース用空調器であり、そこでヒートポンプの活用法として提案するのが「リサイクル空調器」である。

塗装ブースでは空調器で外気を加熱、もしくは冷却し、ブース内に供給した後、それを全量排気している。しかし、それでは給排気に多大なエネルギーが必要となるため、排気を除塵し、温湿度調整を行った上で再度ブース内へ供給することを提案している。

この場合、従来のリサイクル空調器では冷水クーラーで排気の冷却除湿を行い、その後蒸気ヒーターなどで再熱を行っているが、その際、ヒートポンプで冷水を作り、もう片側で出た温水で再熱を行うと、非常に効率がよくなる。この部分で、従来の方式と比較してCO2排出量を70%程度削減できるという試算を行っている。この提案は自動車メーカー側からも「非常に魅力的」と評価され、採用事例も出ている。ヒートポンプの一番いい適用事例と考えている。

もう一つ考えられるのは、水性塗料をスプレーした後に、水分を強制的に揮発させる水性フラッシュオフ設備への適用だ。この工程での水分蒸発は、温度を上げるだけではなく、装置内の湿度を下げることでも促進することが可能である。

そこで、装置内換気用の外気を、ヒートポンプの冷却コイルで0度C近辺まで冷却して除湿を行い、さらにヒートポンプの放熱コイルで再加熱して装置内に供給することで装置内湿度を大幅に下げることが可能である。従来の装置内湿度では処理温度が80度C必要だが、装置内湿度を減らすことで処理温度を50度C程度まで下げられれば、非常に省エネになる。

また、新事例として雑誌で発表されたのが、電着塗装へのヒートポンプ活用である。電着塗料は稼働中冷却が必要であるが、この冷却にヒートポンプを用い、反対側では温風を製造して、乾燥炉の熱源補助として利用しようというもの。我々も、こういうことを考えていきたいと思う。

このように、塗装設備へのヒートポンプの導入はエネルギー削減、CO_2排出量削減に効果がある。ただ、自動車塗装設備はブース空調のエネルギー消費量が大きいが、これが季節に伴って大きく変動するため年間を通じた加熱と冷却の負荷バランスが取れないことが課題である。また、自動車塗装設備は一般に24時間稼働でないため毎日立ち上げ運転が存在し、設備の稼働状態に伴って冷却、加熱熱源の負荷変動が大きいことにどう対応するかも課題である。もう一つの課題は、初期投資の回収期間がまだ少し長いことである。

今後も新たなヒートポンプ活用策が期待されているが、その中の一つが高温熱風発生型のヒートポンプであり、もう一つは、塗装設備の処理温度を低下させて、ヒートポンプの活用領域を拡大させていくことである。

講演　自動車塗装工程省エネ技術の現状と未来

赤外線やIHに期待

いすゞ自動車株式会社
車両技術部
塗装技術グループ
シニアスペシャリスト
田村　吉宣 氏

大気社の松原室長から塗装とヒートポンプについて非常に有益かつ現実的なお話があった。私はそれをベースに、どんな新技術を創造すべきかという問題提起をしたい。

自動車の塗装は過酷な環境下で最高の品質が要求される。長期にわたりさびず、色があせず、ピアノのごとく美しく、多彩なカラーが求められる。この品質を達成するため、塗装工場はオーブン（塗装乾燥炉）、ブース（塗装空調）など重装備の連続した設備で成っている。

まず、オーブン（塗装乾燥炉）に求められることは〝コンパクト化〟することに尽きる。ここでは塗装する物を昇温し、それをキープした後で冷やすが、最初の温度を上げる時間を短縮したいというニーズがある。

オーブンの過程でボトルネックになっているのは、車体に付けているシート状の接着剤などだ。これらは容易には焼けず、塗料は完全に乾燥していながらも、延々と昇温している。

また、樹脂部品も問題で、熱の伝導性が非常に悪いので、なかなか昇温しない。それを一気に昇温すると、表面が泡だらけのような塗膜になる。

こういった温度が上がりにくい部分を局部加熱すれば、キープ時間も含め短縮できる。ここで期待されるのが近赤外線や電磁誘導加熱（IH）。近赤外線やIHは表面からは乾かさず、塗膜を突き抜けて、素材を加熱する。塗膜の下から温めると、短時間で焼ける。

また、過飽和水蒸気も一部で電着塗料などの乾燥に使う研究がされている。

次に、車両組立工場のエネルギーの半分は塗装に使われているが、その半分は塗装のさらに半分のエネルギーを使っているのがブース（塗装空調）であり、ブースを急速に立ち上げたいというニーズがある。月曜日などは温度を上げるのが大変だが、特に温まらないのがロボットやガン。これらのネック部を例えば、遠赤外加熱などで早く温度を上げることが考えられる。

作業空調についての改善では、微風（ホコリレス）化についてのニーズがある。塗装の大敵はホコリだが、実は最大の問題が風だ。

そこで、家庭用エアコン、空気清浄機、イオン発生器などを活用して、工場内に風が起こらないようにできないか。

また、前処理や電着塗装の液中のゴミ対策にフィルターを使っているが、引っかかるのはほとんどが鉄粉。電磁石などでもっとうまく取れないかといったことを考えている。

エレクトロヒートの技術シーズと自動車塗装の工程ニーズのマッチングには、大きな可能性があるので、新技術を創造するための協業をしていただきたい。

講演　熱風HP（エコシロッコ）の生産工程への導入に関わるフィールド試験結果について

工場の加熱工程でもヒートポンプ適用可能

株式会社前川製作所
関西支店　営業グループ
エネルギーチーム
チームリーダー
北山　英博 氏

熱風は従来、化石燃料を使って作ることが多かった。エコシロッコは熱風をヒートポンプで作り、エネルギー消費量とCO2排出量を大幅に削減できる。

ボイラの管理費用も不要で、熱風と同時に冷熱も出せるので、両方を利用すると省エネ効果はさらに高まる。

南電器製作所殿に納入した事例を紹介する。コンデンサーやトランスのケースなどを塗装する工程に導入した。

ここの生産ラインは、まず、製品が電着などの工程を経て、電着乾燥炉に入る。その後、製品を乾燥炉で乾燥させて出荷する流れになっている。

乾燥炉は150度C以上の温度の熱風で、従来は液化石油ガス（LPG）のバーナーで加熱していた。炉内の空気を加熱循環させたままだと、溶剤の濃度や湿度が上がるので、一部を排気し、代わりに外気を入れていた。

また、電着の工程に使う冷却水のために、冷水チラーを使っていた。

今回は外気を取り入れる所にエコシロッコを導入。そこで予熱し、100度Cぐらいの熱風にして供給した。電着の工程に使う冷却水もエコシロッコの冷熱で作るようにした。

これにより、冷水チラーが完全に停止し、バーナーもガスの消費量を減らせた。

エコシロッコを停止した場合と運転した場合で、ガスの使用量がどう変化するかを検証した。

停止時のガス使用量は、1時間当たり17立方㍍に対して、運転時は、外気を取り入れて予熱するだけにもかかわらず、ガス使用量は1時間当たり12・9立方㍍で、削減率としては24%となった。

これは12月のデータであり、季節により変動するので、暖かくなればもっと効果が出るはずだ。

CO_2排出量は導入前に対して約13%削減。ランニングコストは12%削減できた。

エコシロッコのそのほかの導入事例としては、印刷工場の印刷・ラミネートの乾燥工程への熱風供給と冷水槽への冷水供給もある。

CO_2排出量は導入前に対して68%削減、エネルギー消費量は46%削減した。

また、デシカント（除湿）空調機の再生ヒーターにも使えると考えている。

今まで化石燃料で作っていた熱風で水分を脱着していた所にエコシロッコを用いる。

除湿の工程は、クリーンルームなどで作業する工場が多く、年間の稼働時間も非常に長いと想定されるので、大幅な電力削減ができると思う。

エコシロッコは全く新しい技術なので、ほかにもいろいろな用途があるかもしれない。

エコシロッコを使って、新たな市場を創造していきたい。

講演　ヒートポンプによる液温加熱と高周波予備加熱による塗装焼付け事例紹介

―ガスから電気へのチャレンジ―

東芝キヤリア株式会社
富士事業所
生産本部 生産技術部
製造技術担当・主務
深澤　芳克 氏

東芝キヤリアは空調機器を中心に、ヒートポンプ式熱源機や給湯機、コンプレッサーなどを生産している。

ここでは、08年にリニューアルしたコンプレッサー塗装前処理装置にヒートポンプシステムを導入した事例と、高周波誘導加熱による塗装焼き付けを紹介する。

コンプレッサー塗装前処理工程は、金属表面の油分を取る脱脂から始まり、その後に脱脂液の洗浄を2回行う。表面調整では、良質な化成皮膜が得られるよう金属表面を処理する。

さらに、表面に緻密なリン酸亜鉛皮膜を形成し、塗装性能を向上させる。その後、水洗を3回行い、最後に電気ブロワーによるエアブローを行ってから塗装工程に送る。

従来の塗装前処理装置は、脱脂液と化成液の加温に蒸気を使用していたが、装置リニューアル時に低温処理液を採用し、現在は、再加熱式のヒートポンプユニット4台でお湯を作り、そのお湯を処理液の中に全没させたプレートコイル式の熱交換器に循環させて処理液を加温するシステムにしている。さらに、ヒートポンプユニット前面パネルからの冷風は、職場の冷房や部品焼きぼめ後の冷却に活用している。

また、設備のコンパクト化（従来と比べ設置面積を60%削減）と、工場圧縮空気による水切り乾燥を電気ブロワー方式に変更したことにより、年間532トンのCO2排出量を削減できた。

続いて、高周波誘導加熱による塗装の予備加熱について説明する。

当社の塗装焼き付けは、燃焼ガスの熱風でオーバーヘッドコンベヤーに吊り下げられたコンプレッサーを連続加熱している。一般機種のコンプレッサーの加熱は、焼き付け炉内の設定温度200度Cで、1回35分の塗装焼き付けを行っている。

昨年、エコキュートに搭載されるCO2冷媒のコンプレッサーの量産を開始した。その機種は、外側のケースの板厚が一般機種の約3倍になったため、量産開始当初から一度焼き付けた後にオーバーヘッドから降ろし、再度、塗装焼き付け炉入り口からコンプレッサーを吊るして焼き付ける作業を行っていたが、これでは生産性が低い。これを改善するために、高周波誘導加熱装置を導入し予備加熱として稼働させ生産性を向上させた。なお、導入に当たっては、コンプレッサーの形状や塗装品質などを考慮した。

当社は、さまざまな分野で最適かつ快適な温度を提供するヒートポンプソリューションカンパニーを目指しており、現在は、さらなる技術革新を目指して生産ラインへのヒートポンプ導入や乾燥炉のエネルギー源をガスから電気へ転換することを積極的に検討している。

新しいエネルギーの応用技術が実現すると、さらなる省エネやCO2排出量削減はもちろん、動力費や炉内の仕掛かり品数などの削減も期待できる。