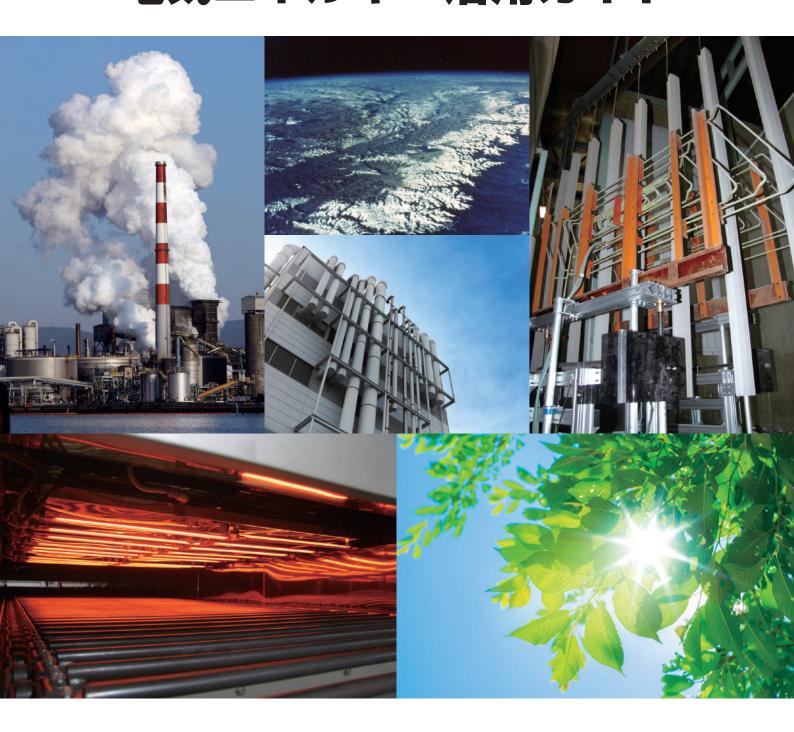
# **塗装・乾燥工程への** 電気エネルギー活用ガイド



産業電化が導くカーボンニュートラルの未来



# はじめに

日本自動車工業会の定例記者会見で「このままでは日本でクルマが作れなくなるかもしれない」という危機感が示されました。自動車の生産ラインでは、塗装・乾燥と鋳造が最もエネルギーを使っていると示されています。

日本が世界に約束したカーボンニュートラルの実現のために欠かせないのは、LCAの視点です。クルマで言えば、走行時のゼロエミッションを実現するだけではダメで、クルマを製造する過程で生じる環境負荷が問題になるのです。

この図式はクルマだけではありません。第1章の専門家による分析でも、第2章でご紹介するケーススタディでも、問題の中心にあるのは塗装・乾燥工程です。さらに具体的に言うなら、まず「乾燥炉」です。冒頭の言葉は、「このままでは日本で塗装ができなくなるかもしれない」と言い換えることができそうです。

しかし、ピンチはチャンスでもあります。工場の中で最もエネルギーを消費している問題の工程であるなら、逆にCO<sub>2</sub>削減に最も貢献できる工程でもあるのです。

第1章では、地球環境と塗装、第2章では炉に赤外線を応用したエネルギーミックスを取り入れることで $CO_2$ の削減を成し遂げた実例、第3章では誘導加熱等の活用による実施例をご紹介します。

工場のダクトを見上げてみてください。ダクトはそもそも国境など存在しないこの大気への出口です。そこから出るCO₂がこの地球環境の未来を決めることをどうぞ忘れないでください。

さあ、ここからご一緒に「ピンチをチャンスに変える」ための第一歩を踏み出しませんか?

## <謝辞>

本冊子・ビデオの制作にあたりましては、株式会社エスジー、株式会社小松電業所、株式会社スガコーディングス及びコーテック株式会社の皆さまに多大なご示唆とご協力をいただきました。この場を借りて深くお礼申し上げます。



# CONTENTS 第1章 地球環境と途装~温暖化と

笋1音	<b>州</b> 球環境。	ト涂生〜温解化	と塗装を考える~
<b>第 1 星</b>	ノルンバンタン兄(		(二学衣で与んの)~

Part.1	地球温暖化の原因――	CO₂は誰が出しているのか!?	
地球がお	かしいぞ!?		2
地球が過	熱している!?		3
このまま	だと日本もたいへんなこと	になりそうだぞ!?	4
日本は世	界有数のCO₂排出国!? —		5
Part.2	CO <sub>2</sub> 排出量 —— 塗装と	の関係は!?	
LCAの視	見点が解決のキーになる!?-		6
製造時の	CO <sub>2</sub> 排出量が製品の競争力	を決める!?	8
目をつけ	られたのは塗装ライン!?-		9
いったい	塗装のどこが問題なのか?	塗装工場の詳細な分析から見えてきたのは!?	10
-	境対応へのHint!		
塗装と環	境問題 ————		11
塗装とV	OC		12
環境会計			13
14 特	別寄稿●SDGsと塗装	株式会社エスジ <del>ー</del>	奥山 岑長
<b>然</b> ()			
1.55		ネ革新〜実例と技術的背景〜 	
-	-グ――本編に入るちょっ		
	CC70.0.003.		21
	乾燥加熱工程が必要なの?		22
Part.1	2020年度省工ネ大賞	で実証された省エネ効果	
		装ラインのエネルギー消費が工場全体の3分の1以上を占める ――	
		0%に過ぎなかった	
実例:赤	外線・熱風ハイブリッド炉	の導入で目標を達成	25
Part.2	革新を生んだキーワー	ř.	
炉の熱口	ス		26
面積生産	性・エネルギー消費の視点		27
実稼働時	間 ————		28
実稼働率	とターン数・生産量・面積	生産性との関係	29
- <u></u> Hi	nt!		
反応とエ			
単位を合	わせる		30

Part.3 革新を生んだキー技術 :	赤外線とは?	ハイブリッド炉とは?
---------------------	--------	------------

赤外線とは	31
赤外線ヒーターの種類(例)	32
赤外線の種類と塗膜温度の様子例	33
炉の加熱方法と熱の伝わり方	34
革新を生んだ赤外線・熱風ハイブリッド炉とは?	34
赤外線だけでなく、熱風循環も必要とする理由	35
製品温度管理とコンベヤ速度の高速化・一定化	36
Column	
赤外線の加熱原理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	39
赤外線ヒーターの選び方	39
Part.4 ケーススタディ	
第1部:自社の強みと弱みの分析	
第2部:強みを先鋭化するための計画と実績例	45
第3部: 乾燥炉の革新の成果を塗装工場全体に拡大する	51
第3章 新たなる塗装工場への変身~赤外線以外の挑戦~	
赤外線以外の塗膜硬化方法	
画期的なIHによる加熱 ————————————————————————————————————	56
IHコイルのフレキシブル化	57
フレキシブル化+パワー制御 (パルス・ON/OFF)	58
フレキシブル化+パワー制御+ジェットオーブン	58
検討~導入までの流れの一例(安心と信頼性の確保)	59
IHならではのこんな利便性もあります	61
IH技術の導入効果	62
   付録:赤外線・熱風ハイブリッド炉/誘導加熱 導入事例の紹介	
赤外線・熱風ハイブリッド炉 導入例①(株式会社更科製作所 小関工場)	64
赤外線・熱風ハイブリッド炉 導入例②(株式会社北浦工業 野田塗装)	66
赤外線・熱風ハイブリッド炉 導入例③(株式会社マイン 妻木工場)	68
赤外線・熱風ハイブリッド炉 導入例④(株式会社国分電機 茨城工場)	70
誘導加熱 導入例① (東芝キヤリア株式会社 富士事業所)	
誘導加熱 導入例③ (株式会社吉野工作所)	74
誘導加熱 導入例②(T社)	

# 第1章



# 地球環境と塗装~温暖化と塗装を考える~





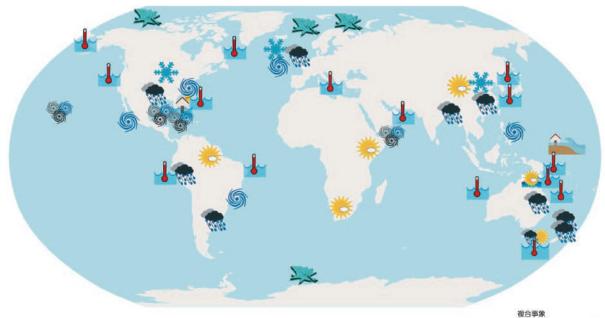
# 地球がおかしいぞ!?

# 自然災害に翻弄されはじめた私たちの社会と生活

地球は今、危機的状況です。気候変動の影響は私たちが暮らす陸上だけではありません。地球の大部分を占める海洋は、我々 が快適に暮らすために必要以上に排出している膨大な量の熱と二酸化炭素(CO2)をせっせと吸収しています。海洋は地球の気候 システムにおいて大変重要な役割を果たしているのです。

その海洋ではすでに、我々人間が排出する負のエネルギーを吸収しきれずにサイクロンや大雨、干ばつ、海洋熱波等の自然災 害を多く生み出しています。このままでは地球環境は崩壊し、我々の暮らしは自然災害によって奪われるでしょう。

## ■海洋に関する、気候変動影響(サイクロン、大雨、干ばつ、海洋熱波等)の発生箇所

























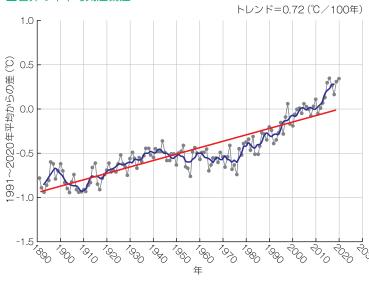




出典:環境省(資料元:IPCC\*1海洋·雪氷圏特別報告書)

# その最大の原因は温暖化

## ■世界の年平均気温偏差



最大の原因は地球全体の温暖化です。この地球全 体の温暖化は、このまま対策を講じなければ、ます ます進展していくことになります。そして、温暖化 により世界の気象、特に雨の降り方が変化すると予 測されています。温暖化すると、海水面の温度が上 昇します。そうなると、大気中の水蒸気の量が増え るため、降水量は増加します。このため、湿潤な地 域の多くでは極端な大雨が頻繁に降ると予測されて います。また、地球上の全淡水量の70%\*2近くを蓄 えると言われる天然のダムである氷河は今、縮小の 一途をたどっています。

一方で、夏季の水不足・渇水が懸念されていま す。もともと乾燥した地域の多くでは降水量は減少 し、さらに乾燥化が進むとも考えられています。私 たちの社会・経済がこのような極端化する気象に翻 弄されることは間違いないのです。

参考:気象庁の資料を加工して作成

<sup>※1:</sup>国連気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)の略。人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学 的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)により設立された組織。
※2:国土交通省が1996年のWMO(世界気象機関)のデータに基づき作成した資料によると、全淡水量に対する割合は地下水が30.061%で、氷河等は68.697%。



# 地球が**過熱**している!?

# 私たちを守ってくれていた温室効果が暴走を始めた

## ■温室効果の模式図



地球の大気には二酸化炭素などの温室効果ガスと呼ばれる気体が含まれています。これらの気体は赤外線を吸収し、再放出する性質があるため、太陽からの光で暖められた地球の表面から地球外に向かう赤外線の多くが、熱として大気に蓄積されます。

温室効果のない場合の地球の表面温度は-19℃の極寒になると推定されています。温室効果のため現在の世界の平均気温は約14℃となっています。大気中の温室効果ガスが増えると温室効果が強まり、気温は上昇します。

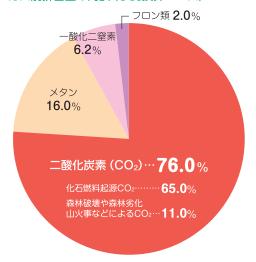
近年の地球の気候変動――地球全体の温暖化は、この温室効果ガスが急激に増加したためだとされています。

参考: 気象庁の資料を加工して作成

# 温暖化の原因は人間の活動による温室効果ガスの増加

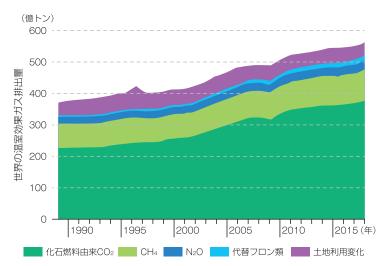
現在世界の温室効果ガスの排出量は、毎年約1.5%の割合で増加していて、今後も増え続けることが予想されています。 2021年8月に公表された国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第6次評価報告書では、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がない」と記し、初めて温暖化の原因は人間の活動によるものと断定しました。

## ■人為起源 温室効果ガス総排出量に占める ガス別排出量の内訳(CO₂換算ベース)



## 参考:全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA)\*1 (IPCC第5次評価 報告書 Fig.SPM.1 各種ガスの排出量2010年の割合)を加工して作成

## ■世界の温室効果ガス排出量の推移



参考:環境省の資料「UNEP (Emissions Gap Report 2019)」を加工して作成

2015年にパリで開かれた、温室効果ガス削減に関する国際的取り決めを話し合う「国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP)」で合意された「パリ協定」では、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をすることなどが決められましたが、IPCC第6次評価報告書では、2020年までの10年間の世界の平均気温が、すでに1.09℃上昇したとしています。

50年に一度の高温が観測される頻度は、産業革命前と比べてすでに4.8倍となっていて、平均気温の上昇が1.5℃に抑えられたとしても8.6倍、2℃上昇した場合には13.9倍にもなると試算しています。また極端な気象が顕著となり、10年に一度の大雨の頻度は、現在の1.3倍から平均気温が1.5℃上昇した場合には1.5倍に、2℃上昇した場合は1.7倍になると予測しています。

<sup>※1:</sup>JCCCA (Japan Center for Climate Change Actions:全国地球温暖化防止活動推進センター) は、平成11年4月8日に施行された「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づき同年7月1日に指定。このセンターの目的は、地球温暖化対策に関する普及啓発を行うことなどにより、地球温暖化防止に寄与する活動の促進を図ること。

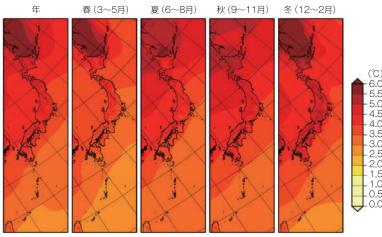


# このままだと日本もたいへんなことになりそうだぞ!?

気象庁が発表した『地球温暖化予測情報 第9巻』では、IPCCのRCP8.5シナリオ\*1を用いて、21世紀末 (将来気候、2076~2095年) を、20世紀末 (現在気候、1980~1999年) と比較して予想しています。

# 日本はますます暑くなるぞ

## ■年及び季節ごとの平均気温の将来変化



左図のように21世紀末の年平均気温は、現在 と比較して全国平均で4.5℃上昇するなど、全国 的に明らかな気温の上昇が見込まれています。

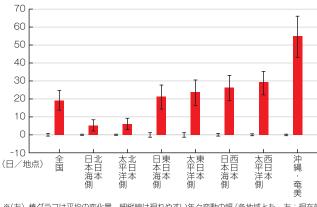
例えば、「東日本太平洋側に属する東京の場合、現在(1981~2010年観測値の平均値)の年平均 気温が15.4℃なので、21世紀末には4.3℃上昇することで、現在の屋久島(年平均気温19.4℃)に近い値になることに相当する」と具体的にその変化を表現しています。

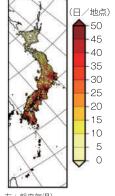
季節ごとの平均気温も年平均気温と同様の傾向を示していますが、各季節とも高緯度地域ほど上昇が大きく、海氷や積雪の融解による影響が大きい冬の方が夏よりも上昇が大きくなっています。

参考:気象庁の資料を加工して作成

# 猛暑日が増えるぞ

## ■猛暑日の年間日数の地域別変化量(左)と変化分布図(右)





※(左) 棒グラフは平均の変化量、細縦線は現れやすい年々変動の幅(各地域とも、左:現在気温、右:将来気温)

※(右) 将来気温と現在気候との差の分布図 (増減傾向の信頼度の高い地点のみ表示)

日本において、猛暑日(最高気温が35℃以上の日)となるような極端に暑い日の年間日数は、全国平均で約20日、沖縄・奄美では54日程度増加するなどと予測されています。

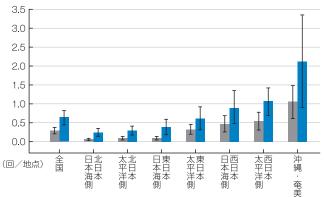
沿岸部などの標高の低い地域でより 多くの増加が見られ、北日本では主に 夏、東日本以西では夏から秋にかけて 増加していくと予想されます。

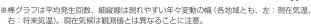
今でさえ夏の猛暑日が増えているなと感じますが、こんなにも猛暑日が増えれば、今以上に我々の生活や地球環境に多大な影響を与えるでしょう。

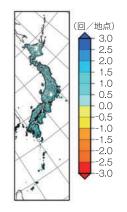
参考:気象庁の資料を加工して作成

# ゲリラ豪雨が増えるぞ

## ■ゲリラ豪雨 (50mm以上/1H) の地域別の年間発生回数 (左) と変化分布図 (右)







日降水量200mm以上となるような 大雨の年間発生回数は、全国平均では 現在の2倍以上となります。

また、滝のように降る雨 (1時間降水量50mm以上の短時間降雨) の年間発生回数も、全国平均で2倍以上となると予想されています。

いわゆるゲリラ豪雨が頻繁に発生することが懸念されています。

これも、温室効果ガスの増加による 気温の上昇に伴って、大気中の水蒸気 量が増加したことが原因とされていま す。

参考:気象庁の資料を加工して作成



# 日本は世界有数のCO2排出国!?

# 日本のCO<sub>2</sub>排出量は世界5位

## ■主要国のCO₂排出量と世界に占める排出割合

位	国名	CO <sub>2</sub> 排出量*	排出割合(%)
1	中国	9528	28.4
2	アメリカ	4921	14.7
3	インド	2308	6.9
4	ロシア	1587	4.7
5	日本	1081	3.2
6	ドイツ	696	2.1
7	韓国	606	1.8
8	カナダ	565	1.7
9	インドネシア	543	1.6
10	メキシコ	448	1.3

※:CO<sub>2</sub>排出量の単位は、【百万トンーエネルギー起源の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)】 参考:環境省の資料「EDMC/エネルギー・経済統計要覧2021年版」を加工して作成 環境省の発表によると、日本の2018年度の温室効果ガス排出量(確報値)は、12億4,000万トン(CO2換算)でした。排出される温室効果ガスの約9割以上をCO2が占めており、CO2排出量の占める割合が約7割である世界と比べてその割合が高いという特徴があると指摘しています。日本では温室効果ガス≒CO2という図式になっています。

2020年10月の所信表明演説において、当時の菅 義偉内閣総理大臣は、「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しました。

さらに、2021年4月に開催された米国主催の気候サミットにおいて、2050年カーボンニュートラルの長期目標と整合的で野心的な目標として、「2030年度において、温室効果ガスの2013年度からの46%削減を目指す」ことを宣言するとともに、さらに50%の高みに向け挑戦を続けていく決意を表明しました。

# CO2はだれが出している?

## ■2019年度 日本の部門別CO2排出量の割合

業務その他部門 17.4%

産廃物 2.8% -その他 0.3% 工業プロセス\* 4.1% 家庭部門 4.8% 業務その他部門 5.8% 直接排出量 エネルギー<br/>転換部門 39.1% 約11億794万トン 運輸部門 17.9% 產業部門 25.2% 産廃物 2.8% -その他 0.3% 工業プロセス\* 4.1% エネルギー転換部門 **7.8**% 家庭部門 14.4% 間接排出量 産業部門

約11億794万トン

運輸部門 18.6%

34.7%

日本における2019年度の二酸化炭素排出 量は、約11億794万トンでした。

左の円グラフは、このCO2総排出量を直接 排出量(発電に伴う排出量を「エネルギー転 換部門」からの排出と計算したもの)と、間 接排出量(電気事業者の発電に伴う排出量を 電力消費量に応じて最終需要部門に配分した 後の値)とに分類した場合の、各産業部門別 のCO2排出量割合です。

例えば、塗装工場を含む工場等の産業部門における直接排出量は全体の25.2%で、CO2排出量は約2億7,920万トンであるのに対して、使用した電力エネルギーが発電時に排出したCO2を加味して再計算する間接排出量は全体の34.7%で、CO2排出量は約3億8,430万トンとなります。

つまり、日本においては、塗装工場を含む 産業部門の温室効果ガス――CO<sub>2</sub>排出量の割 合が圧倒的に高くなっています。



日本の1990~2019年度の温室効果ガス排出量データ」(2021.4.13発表)

※:工業プロセスは、石灰石消費等などを指す

参考:全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA) の資料「温室効果ガスインベントリオフィス」を加工して作成



# **LCAの視点**が解決のキーになる!?

## CAってなに?

日本の産業を代表する自動車工業の団体である日本自動車工業会\*・豊田章男会長は定例会見で、「……大事なことは、私も含 めカーボンニュートラル (炭素中立) を正しく理解することではないでしょうか。モノを作る、作ったモノを運ぶ、そして運んだ モノを使う、リサイクルしながら最後は廃棄する。その流れの中で発生するCO2を2050年までにゼロにしようという考え方が、 ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: LCA) をベースにした、カーボンニュートラルだと理解しています」 と語りました。

LCAに基づくと、材料から部品や車両を製造し、廃棄するまで、すべての過程でCO₂をカウントすることになります。

その上で豊田会長は「2050年のカーボンニュートラルに対応しないと、日本ではクルマが造れなくなる。その結果、自動車 関連産業に従事する約550万人のうち、70~100万人の雇用が失われる可能性がある」と強調しました。

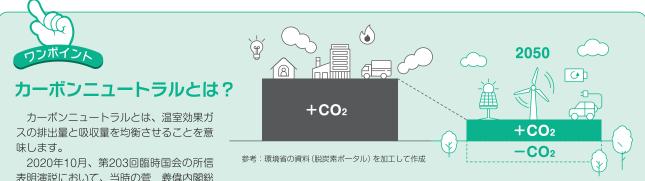
豊田会長はなぜこのような強い危機感を抱くのでしょうか?

■Tank to Wheel、Well to Whell、LCAイメージ



- ●Tank to Wheel (2020年度燃費基準) は、走行時の燃費 (またはCO2排出量) のみを対象とします。
- ●Well to Wheel (2030年度燃費基準) は、ガソリンや電力のエネルギー源の採掘から供給までのエネルギー効率 (CO₂排出量) も含み
- ●LCAはWell to Wheelに加え、自動車の製造段階から廃棄段階までのCO2排出量も含みます。

参考:環境省の資料(各自動車メーカーや公的資料をベースにみずほ情報総研作成)を加工して作成



表明演説において、当時の菅 義偉内閣総

理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実 現を目指す」ことを宣言しました。

「排出を全体としてゼロ」というのは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの「排出量」\*から、植林、森林管理などによる「吸 収量」\*を差し引いて、合計を実質的にゼロにすることを意味しています。

カーボンニュートラルの達成のためには、温室効果ガスの排出量の削減・吸収作用の保全及び強化をする必要があります。 地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、2015年にパリ協定が採択され、世界共通の長期目標として、

## 世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて、

## 2 $^{\circ}$ より十分低く保つとともに、1.5 $^{\circ}$ に抑える努力を追求すること (2 $^{\circ}$ $^{\circ}$ 目標)

今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との間の均衡を達成すること等を合意しました。 この実現に向けて、世界が取り組みを進めており、120以上の国と地域が「2050年カーボンニュートラル」という目標を掲げてい るところです。 ※:人為的なもの

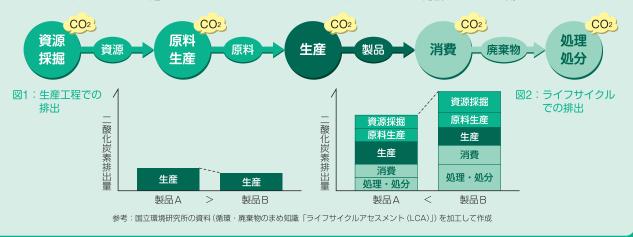


## LCAとは?

システム全体での環境負荷量などを把握する手法として、「ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment: LCA)」が注 目されています。ライフサイクルは「生涯」、アセスメントは「評価」のことです。

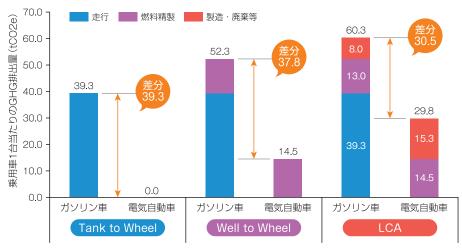
図1を見てください。これはある製品のライフサイクルの例で、二酸化炭素(CO2)の排出に着目しています。 製品に関連するCO2 の排出量を把握・削減する場合、まず思い浮かぶのが「生産」工程でしょう。しかし、その上流には「原料生産」「資源採掘」という 工程が、下流には製品の「消費」、廃棄物の「処理・処分」という工程がつながっています。これら全体がライフサイクルのシステム であり、各工程からCO2が排出される可能性があります。生産でのCO2が小さくとも、上流や下流でのCO2が大きい場合もあり、こ れを見逃さないのがLCAです。

図2は、機能が同じ製品AとBに関連するCO2排出量を比較した例です。生産だけで評価すると製品Bの方がAよりCO2排出が少な いのですがライフサイクルでは逆になっています。LCAは、どんなリサイクルがよいかを比較することにも用いることができます。



# LCA分析をすると、何がアキレス腱になるかが見えてくる

## ■TtW、WtW、LCAでのガソリン車・電気自動車のGHG (温室効果ガス) 排出量



- ●Ricardo (2020) \*2では、2020年における欧州のガソリン車と電気自動車のGHG排出量を 走行時のみのTank to Wheel、燃料精製を加えたWell to Wheel、製造や廃棄等を含めた LCAで分析。
- ●バウンダリーを広げるほど、ガソリン車に対する電気自動車のGHG排出量の差は縮小する。

備考:RicardoによるLCA分析に基づく。車両寿命は225,000kmとし、電力のGHG排出係数は147kgCO2e/kwhとして計算。

参考:環境省の資料(Ricardo、2020をベースに環境省作成)を加工して作成

自動車走行時における温室効果 ガス(主にCO<sub>2</sub>)の排出量だけを対 象としたのが左のグラフ、燃料や 電気の供給に至るまでの温室効果 ガスを加えたものが真ん中のグラ フです。電気自動車の優位差が少 し縮まりました。これに製造時の 温室効果排出量を加えると右のグ ラフのように電気自動車の優位差 はかなり小さくなっています。

環境にやさしいクルマの実現の ためには、走行時の温室効果ガス の排出を減らすだけではなく、製 造時の温室効果ガスの排出を抑制 しなければならないのです。



<sup>:</sup>一般社団法人日本自動車工業会 (jama) は、直接・間接に従事する就業人口は我が国の全就業人口の約8%、製造品出荷額は全製造業の製造品出荷額の約18%、機械工業の約40%を占 めるなど、日本の経済を支える基幹産業のひとつとして重要な地位を占めています。と自動車産業を位置付けています。

<sup>※2:</sup>Ricardo社は、1915年に英国で設立された自動車技術コンサルティング会社であり、エンジンや変速機、車両制御システム等の基礎技術に関して高い知見を持つ専門会社です。自動車 技術コンサルティング会社の中では、最も歴史のある企業です。



# 製造時のCO2排出量が製品の競争力を決める!?

# 電気自動車(EV)を造るだけでは環境にやさしくない!?

フォルクスワーゲンが実施した、自社のディーゼル車と電気自動車 (EV) のLCA分析による衝撃的なデータがあります。そのデータは、電気自動車の方が製造時の環境負荷が大きいため、本当に温室効果ガス (主にCO<sub>2</sub>) の排出において、環境にやさしいと言えるのは、10万km以上の走行になってから……というものです。

世界の趨勢として、車の環境性が今後の販売実績を左右する方向に向かっています。そうした中で各自動車メーカーでは、走行時のみならず、製造時のCO<sub>2</sub>排出をいかに抑制するかが大きな課題となっています。このため、すでに製造を行っている協力工場に対して、具体的なアクションプランを策定するように求める動きが始まっています。

この流れは、自動車産業だけでなく、巨大なうねりとなって全産業に及ぶことになります。つまり、温室効果ガス対策をしない企業は経営リスクを背負うことになります。

「日本ではクルマが造れなくなる」と豊田会長が危機感を持ったのは、この製造時のCO₂排出量(製造に使用するエネルギーの供給までに排出されたCO₂も含む)の問題が念頭にあったからです。

逆に、その対策を積極的に進める企業が高く評価されていくことになります。

■フォルクスワーゲン社によるLCA分析(Volkswagen, 2019): ディーゼル車・電気自動車のライフサイクルGHG排出量



- ●Volkswagenは、自社のディーゼル車と電気自動車の環境性を分析するため、LCA分析を実施した。
- ●その結果、製造時の環境負荷はEVの方が大きいが、走行段階でディーゼル車より優位になると試算した。

出典: Volkswagenウェブページ「A holistic approach from start to finish: A vehicle's environmental footprint reveals the sources of environmental pollution. Therefore, the analysis helps on the path to quickly achieving CO<sub>2</sub>-neutral mobility.」より経済産業省が作成。

# CO<sub>2</sub>排出削減が待ったなしの宿題として突きつけられている産業部門

これまでは、製品の使用時の省エネ・環境性能がPRされてきました。しかし、温暖化と言う地球規模の問題に直面している私たちにとってもっと重要なのは、LCAの発想です。

先に日本の部門別二酸化炭素排出量の割合(間接排出量)のグラフで確認したように、産業部門の温室効果ガス排出量が最も多くなっていますが、産業部門の中でも環境性能などがしきりに宣伝されているのはクルマです。

自動車と船舶等から排出されるCO2は合算して運輸部門として計上されていますが、全体の18.6%です。日本では産業分野における排出量が他を圧倒しており34.7%にも及んでいるのです。生産活動・工場からのCO2排出量を削減しないと、カーボンニュートラルは実現できません。

そして、コストだけではなく、CO₂排出削減への取り組みを視野に入れた、工場の選別が本格化せざるを得ないのです。 私たちはどのような視点で、この課題に取り組み、飛躍の機会として捉えていったら良いのでしょうか?



# 目をつけられたのは**塗装ライン**!?

## 自社工場に塗装工場があるならまずそこから

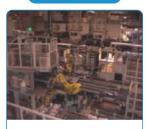
日産車体が発表した「環境・社会報告書2020」では、「車の塗装には、塗料を高温で焼き付け乾燥する工程があるため、塗装工場からのCO<sub>2</sub>排出量は、工場全体の排出量の約4分の1にもなります」と記しています。

トヨタ自動車は2021年6月にカーボンニュートラル実現への取り組みに関して、報道関係者向けに同社の「ものづくり」の説明会をオンラインで開きました。この席上で岡田政道執行役員は、工場のカーボンニュートラルである「グリーンファクトリー」の実現について、「従来の2050年の目標を、2035年に達成しようというところに目標を新たに設定した」と、大幅に前倒しする方針を示しました。

「塗装と鋳造はクルマづくりで最もCO。を出す工程であり、こういうところを前倒しで改めていきたい」と表明しています。

## ■自動車製造工程別のCO<sub>2</sub>排出量割合

## プレス



鋼板を切断、プレスして ルーフやドアなどのパネ ル部品を生産する。

### 車体



プレス加工された各パネ ルを溶接によりボディー の形に組み立てる。

#### 塗装



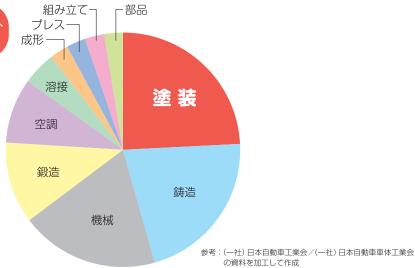
洗浄されたボディーに電 着、中塗り、上塗りを焼 き付け塗装する。

## 組み立て



エンジン、ミッション、シート、バンパー、計器類、窓ガラスなど、内外装部品を取り付ける。

・ 各社により内製化率・自動化率等が異なり、 CO<sub>2</sub>排出状況は各社により異なる。



どちらも、工場のCO<sub>2</sub>削減を実現するためには、様々な工程の中からまず「塗装工程」を筆頭に挙げています。どうやら塗装工程は、工場のCO<sub>2</sub>削減を図るうえで、最優先に取り組むべき工程であると結論づけているのです。

# 塗料・塗装で問題になるのはどのプロセスなのであろうか?

## ■塗料・塗装における各段階のCO2の排出割合

	原材料段階	塗料製造段階	塗装の段階	廃棄の段階
建築塗装	90%	3%	5%	2%
自動車塗装	15%	5%	79%	1%
工業塗装	35%	4%	59%	2%

参考:日本塗装機械工業会(CEMA)の資料を加工して作成

工場内に塗装ラインを設けて行う自動車塗装や工業塗装では、塗料の製造から塗装、廃棄までの各段階において、塗料を塗って・加熱硬化させる「塗装」におけるCO2排出が圧倒的な割合を占めています。

なぜ塗装でこんなにも多くのCO₂が排出されているのでしょうか。

10



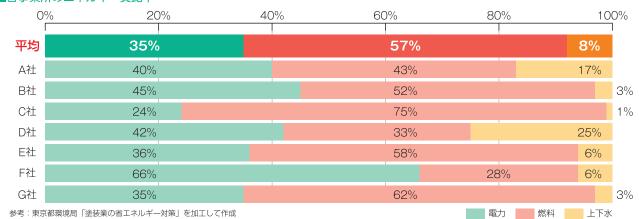
# いったい塗装のどこが問題なのか? 塗装工場の詳細な分析から見えてきたのは?

東京都環境局は「塗装業の省エネルギー対策」を2011年にまとめています。技術専門家2名を派遣して、7つの事業所での電気・ガス・水道等のエネルギーの使用状況や運用方法を確認したうえで、業種・事業所に適した改善を提案した結果を同報告の中で紹介しています。調査対象の平均床面積は420m²です。

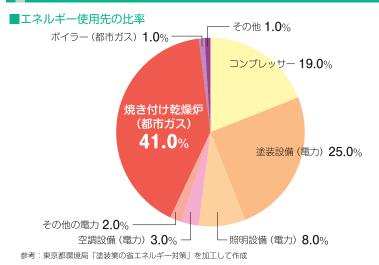
# エネルギー費比率

7事業所のエネルギー費の平均比率は、電力35%、燃料57%、水道8%でした。

## ■各事業所のエネルギー費比率



## エネルギー使用先比率(参考事例)



省エネ診断をした溶剤系塗装および粉体塗装設備のある事業所の例が紹介されています。

延べ床面積は約300m2です。

左図のように、エネルギー使用の約40%を焼き付け乾燥炉が占めています(事業所全体の総エネルギー使用量は16kL)。

# | 最も改善効果が高かったのは「炉」……炉は宝が埋もれているパートだ!?

# 運用改善対策の効果 (千/年) 1,200 1,000 800 600 400 200 1,000 800 600 400 200 1,000 800 600 400 200 200 200 200 1,200 200</li

参考:東京都環境局「塗装業の省エネルギー対策」を加工して作成

技術専門家による省エネ診断提案の運用改善対策では、炉の適正管理がコスト低減に大きく寄与することがわかります。



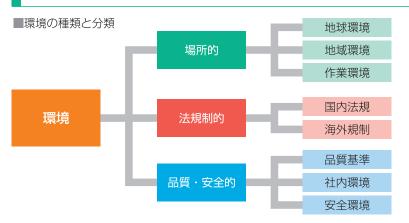
焼き付け乾燥炉の稼働時間の短縮および熱風循環制御の適正 運用が省エネルギー対策のキーとなります。



# 環境対応へのHint! 塗

# 塗装と環境問題

# 塗装工場に求められる環境の視点



塗装工場は異なる種類の環境に関わりを 持つことを確認しておきたいと思います。 特に、

## 作業環境

## 公害としての環境

## 品質としての環境

は、常に意識していなければならないものです。

# 典型的な7つの公害

公害対策基本法、環境基本法で公害として定義されている7つの公害があります。

**1** 大気汚染

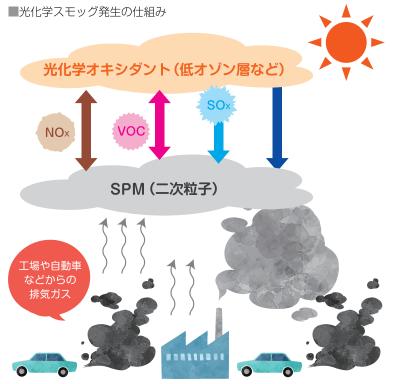
**2** 水質汚濁 **3** 土壌汚染 **4** 騒音 **5** 振動

**6** 地盤沈下 **7** 悪臭

塗装工場は前処理施設も含めて考えると、どの要素の公害とも深く関わりを持ちます。

# VOC (Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)

VOCは、SPM (浮遊粒子状物質)\*1や光化学スモッグ発生の原因とされている光化学オキシダントの原因物質とされています。大気中に、窒素酸化物 (NO $_{\times}$ ) やVOCが存在すると、光化学反応によって光化学オキシダントの主成分であるオゾン (O $_3$ ) が生成されます。



## 光化学スモッグの様子



平成15年9月4日 (通常の空の様子)



平成15年9月3日 (スモッグが発生した様子)

参考:経済産業省の資料を加工して作成



# 環境対応へのHint! 塗装とVOC

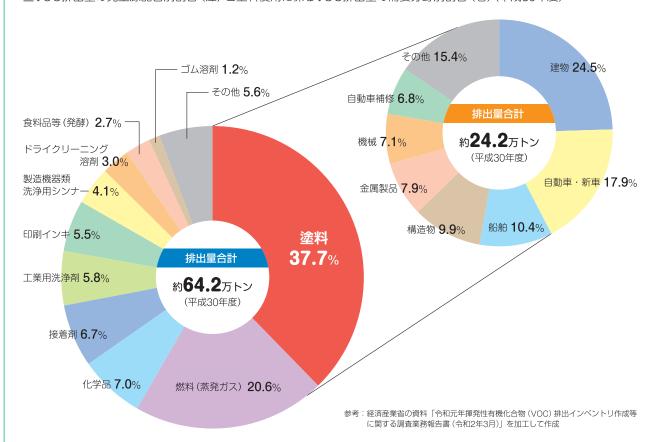
# VOC排出量の発生源品目別割合

VOCはVolatile Organic Compoundsの略で、揮発性有機化合物のことを指します。

VOCには様々な成分のものがあり、主要なものだけでも200種類あると言われています。塗料などに含まれる有機溶剤やガソリン車への給油時などに揮発するトルエンやキシレン、洗浄に使われるトリクレンなどはその代表例です。

下の円グラフからもわかるように、塗料(塗料使用に係る塗装)が抜きんでて多いことがわかります。

■VOC排出量の発生源品目別割合(左)と塗料使用に係るVOC排出量の需要分野別割合(右)(平成30年度)



# 低VOC塗料への転換の取り組み

使用する塗料によってもVOC排出量は異なります。そのため、塗料を選定する時は、低VOC塗料\*¹を使用することで VOC排出量を減らすことができます。

低VOC塗料への変更等に際しては、作業性、仕上がり性、塗膜性能の確認が重要となります。

## ■溶剤塗料と低VOC塗料との比較

塗料の種類	VOC含有率	VOCの組成	塗装時の希釈率	塗装方法
粉体系	0.5%以下	焼き付け硬化時の 非反応性物質	0%	静電
水系	7%以下	アルコール系 他	0%	刷毛、ローラー 吹き付け、静電、電着
ノンソル系	1%以下	不純物としての 低分子量	0%	コテ、ヘラ、レーキ他
ハイソリッド系	30%以下	炭化水素系 他	5%以下	吹き付け、静電
溶剤系	30~60%	炭化水素系 他	8~46%	刷毛、ローラー 吹き付け、静電

参考:環境省の資料「すぐにできるVOC対策」を加工して作成

<sup>※1:</sup>低VOC塗料とは、塗料中に含有するVOCである有機溶剤が少ない塗料タイプです。



# 環境会計

## 環境会計とは?

「環境会計」という概念は1990年頃からアメリカで注目され、1990年代後半以降、欧米有力企業が相次いで取り組みを進めてきたものです。現在では環境会計は、2030年までに持続可能でより良い世界を目指す国際目標であるSDGs (持続可能な開発目標) や、ESG\*1 (環境、社会、ガバナンスを意識した取り組み) などの取り組みとともに、日本でも相次いで導入企業が増えています。

環境省では環境会計を以下のように定義しています。

環境会計とは、企業等が持続可能な発展を目指して、社会との良好な関係を保ちつつ、環境保全への取り組みを効率的かつ効果的に推進していくことを目的として、事業活動における環境保全のためのコストとその活動により得られた効果を認識し、可能な限り定量的(貨幣単位又は物量単位)に測定し伝達する仕組みです。

塗装工場においても、この仕組みへの理解や導入が求められるようになっています。

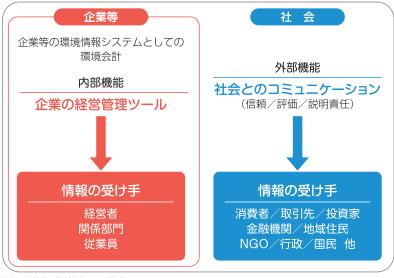
## 環境会計の効果

環境会計を行うことで、例えば以下のような効果が得られます。

- ●省エネを通じて長期的な収益向上につながる。
- ●環境コストを把握することにより、適正受注価格や経営上のリスクマネジメント分析に活用できる。
- ●環境保全活動に寄与する。
- ●企業価値が向上する。

## 環境会計の機能

■環境会計の機能と役割



環境会計には、内部機能と外部機能があると言われています。

内部機能は、情報の受け手は社内になり効率的で効果的な環境保全への取り組みを社内に促す機能になります。

情報の受け手は、以下になります。

●経営者 ●関係部門 ●従業員

外部機能は、企業が環境保全に取り組んだ成果を外部へ情報開示することで、企業の外の利害関係者の意思決定に影響を与えるという機能になります。

情報の受け手は、以下になります。

- ●消費者 ●取引先 ●投資家
- ●金融機関 ●地域住民 ●NGO
- ●行政 ●国民 他

参考:環境省の資料を加工して作成

# 「環境保全コスト」「環境保全効果」「環境保全対策に伴う経済効果」の3つの側面

環境省が定めている「環境会計ガイドライン」では、「環境保全コスト」「環境保全効果」「環境保全対策に伴う経済効果」の3つを、盛り込むべき情報として定義しています。

「環境保全コスト」は例えば省エネ機器の導入にかかった毎年のコスト、「環境保全効果」はLPガス使用量の毎年の推移、「環境保全対策に伴う経済効果」は省エネによるエネルギー費の削減額、などを指します。

こうしてみると、単に外部へのアピールである「外部機能」ばかりでなく、「内部機能」も重要な効果をもたらすであろうことが理解できます。このような視点および取り組み姿勢は、LCAが求められる各メーカーへの大きなアドバンテージになりそうです。

# SDGsと塗装

株式会社エスジー 奥山 岑長

## 1 塗装におけるSDGsとの関わり

SDGs (Sustainable Development Goals=持続可能な開発目標)が国連で2015年に採択され、2030年までに達成すべく17 の項目が挙げられた。これは世界的な大きな動きとなり、日本でも各企業は早急な対応が求められているところである。

一方、2030年にCO₂をはじめとする温室効果ガスの排出量を2013年度比46%以上の削減目標を掲げ、さらに2050年までに は正味ゼロにする「カーボンニュートラル」と言われる、脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。CO₂を排出しないエネ ルギーについてはSDGsでも触れられているが、残念ながら一般に塗装工場はCO2の排出が多く、優先的に取り組まなければな らない課題となっている。

第1図: SDGsに掲げる17の項目



SDGsの17の項目の中で、目標7: エネルギーをみんなに そしてクリーンに (Affordable and clean energy)、目標8: 働き がいも経済成長も(Decent work and economic growth)、目標9:産業と技術革新の基盤をつくろう(Industry, innovation, infrastructure)、目標12:つくる責任 つかう責任 (Responsible consumption, production)、目標14:海の豊かさを守ろ う (Life below water)、目標17:パートナーシップで目標を達成しよう (Partnerships for the goals)、の6項目が塗装に関 わる項目と考えられる。

## 2 目標7:エネルギーをみんなに そしてクリーンに

塗装工場は、製造工程の中で最もエネルギー消費の多い工程とも言われており、このためCO₂排出量も多くなっている。目標 7の実現のためには、まずエネルギー使用量の減少化――省エネが求められるであろう。

温室効果ガスを一定以上排出する企業には、排出量を公表する義務が課され、この結果、企業の選別が進むことが予想されて おり、省エネに対応することはすぐ目の前の宿題となってきている。

## (1) 塗装工場の省エネとクリーン化

第1表に塗装工場における省エネ策として、設備や熱源使用量の減少策および省エネ化の方策を示す。また、第2表に省エネに 向けた使用エネルギーの再検討項目を示す。

第1表:塗装工場の省エネ

使用量の減少策	乾燥炉のコンパクト化		乾燥炉排熱利用
			乾燥炉排気→水切り炉加熱へ
		省エネ化	前処理液の加温への利用
	学が深/画浸り/性/画化	省上个化	排熱の暖房への利用
	乾燥時間、処理時温度の低温化		熱源のハイブリッド化による省エネ
	不要時のランニングのOFF化		乾燥温度の低温化、短時間化



第2表:エネルギー源の再検討

他エネルギー源	LPG (プロパンガス) からLNG (天然ガスへ)
他加熱方式	高周波加熱の利用
他加热力工	UV加熱への利用
	電気ヒーターとのハイブリッド化へ
川州の後った	バッチ炉の高効率化による省エネ
新規熱源	新規熱源の検討

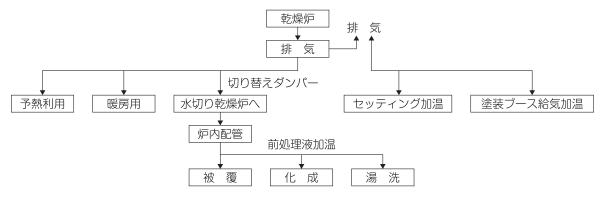
## (2) システム的発想

省エネ化やCO₂削減を計画する上で、発想の原点となるのは「システム的発想」である。個々の項目単体での発想では限界があり、発想の飛躍はない。その一つがカスケード省エネである。

カスケード省エネとは、段階に応じてエネルギーを利用することにより、トータルで無駄なく利用しようとする方法である。 江戸時代の江戸の水の利用方法もその典型的な例の一つで、川上側ほどクリーンな水を必要とする用途に利用し、下流側ほど 汚れた水でも利用可能な用途に利用しようとする方法である。現在のように、手洗いも、食器洗いも、野菜洗いも、飲料も同等 の水質である水道水を利用するのとは異なり、水質を分けて節水する方法であるが、エネルギーの面でもこれと同じ発想で省エネしようとするものである。

塗装の省エネに対するカスケード省エネは次のようなシステムが考えられる。

第2図:乾燥炉省エネカスケードシステム



## (3) 再生可能エネルギーの拡大

塗装工場でのエネルギー使用にあたって、まだ再生可能エネルギーを使用している工場は少ない。このため、今後増やしてい く必要があり、今後の方向性を探る。

## ① 塗装工場での再生可能エネルギーの導入例

塗装工場においては、乾燥炉の熱源を電気ヒーターとLPGバーナーによるハイブリッドとし、コンパクト化、短時間化、省エネ性の向上に成功している事例が増えている。一方で、塗装工場の屋根に太陽光発電パネルを設置し、再生可能エネルギーを採用する試みがスタートしている。再生可能エネルギーの全エネルギーに占める割合は20~25%であるが、将来増設し、50%以上を再生可能エネルギーで賄う計画を持っている。

## ② 電気を売るのではなく、エネルギーシステムの販売へ

塗装工程を含む多くの工程を抱える複合的な製造工場では、敷地や屋根の総面積が広い。その利点を利用し、塗装工程で使用するエネルギーに占める再生可能エネルギーの利用率を100%に近づけようとする構想がある。他の製造工程のための建屋屋根も利用して、太陽光発電パネルを設置し、塗装工場分のエネルギーを確保しようとするものである。

塗装専用工場とは異なり、製造工場では工場建屋の屋根面積が大きく、太陽光発電パネルの設置面積が確保できる場合が多い。このため、製造工場全体で太陽光発電パネルの設置をレイアウトし、それにより塗装工程で使用するエネルギー分を確保しようとするものである。最もエネルギーを使用する乾燥炉はハイブリッド方式とし、熱風循環に用いるエネルギー源も自社工場で得られた電気で賄う。こうして塗装工程で使用するエネルギーを100%再生可能エネルギーとする。このシステム全体を電力会社が提供しようとするものであり、電力会社が電力のみを売るのではなく、トータル的なエネルギーシステムを販売しようとしている。

## 3 目標8:働きがいも経済成長も

塗装が他の工程と大きく違う点の一つが「実稼働時間が少ない」ことであると言われている。稼働時間に対して、製品がアウトプットされる実稼働時間が長くならないと、働き方の改善にはつながらない。この解決策の一つが、ラインの「着荷から脱荷まで」の時間を短くすることである。この場合ポイントになるのが、塗装ラインの中で最も多くの時間とスペースを占有している乾燥炉の短時間化、コンパクト化である。乾燥炉のコンパクトが実現されると、ラインの実稼働時間は確保され、生産性が向上し、その結果、利益が確保され成長に結びつく。

## 第3図:実稼動時間の確保



## 4 目標9:産業と技術革新の基盤をつくろう

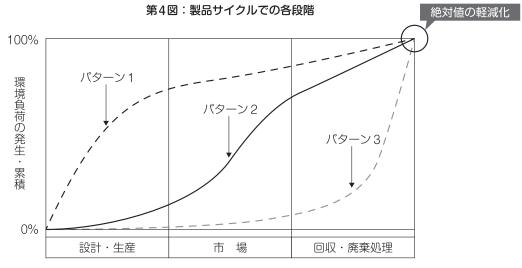
水道、橋梁、建設などインフラの整備に関して、塗装の役割は大きい。戦後急速に成長した経済に合わせて整備されてきたインフラは、いま大きな寿命の転換期にきている。この対応策として、かつ、環境改善を含む方法と以下のものが考えられる。 塗装での対応策は、以下の通り。

- ① 重防食塗装のレベルアップと対応化→重防食塗装の拡大化
- ② 粉体塗装の拡大→液状塗装から粉体塗装への切り替え
- ③ 現地工事の簡易化→セット式、現地工事の簡素化
- ④ 検査、品質チェックへの対応→ドローンの活用、カメラシステムの導入

## 5 目標12: つくる責任 つかう責任

塗装工場は、塗装時点における環境負荷の大きい産業である。環境負荷は、塗装された製品の生産から、使用、回収、廃棄までを含めた製品のトータルサイクルで考えなければならない。

塗装作業は、最初の生産時点での環境負荷が最も大きく、これをパターン1 (またはフェーズ1)、使用時や消費時をパターン2 (またはフェーズ2)、回収サイクルあるいは排気処理時点をパターン3とすると、製品サイクルでの環境負荷は第4図のようになる。



出典:「エコファクトリー」日経産業新聞 93年6月29日

塗装での環境負荷は、塗装時点で80~90%、使用時1~3%、回収・廃棄時5~10%程度と予想される。

## (1) パターン1での環境負荷軽減策

- ① 粉体塗装への切り替え→溶剤型塗装から粉体塗装へ
- ② 水系塗料への切り替え→溶剤系から水系塗料、水系薬品へ
- ③ 生分解率の高い素材、薬品の採用→生分解率の高い薬品の選定
- ④ 塗装工程の見直し→ポストコートからプレコート・ミドルコートシステムの検討、高塗着率の塗装システムの検討へ

## (2) 塗装設備、塗装機器の中古市場、リサイクル化の進展

他産業では、ほとんどの産業が機器として、完成品としての中古市場やリサイクル化が進んでいる。

産業の成熟度を示す方法として、その産業が、中古市場ができており、リサイクル化が達成されているかがポイントである。 塗装業界で、塗装機器や設備の中古市場やリサイクル化が未整備であり、環境対応した産業として成熟されていない。これを少しずつでも高めていくことが、塗装業界のレベルアップにつながる。

## (3) 設備メーカー、エンジニアリングの責務

設備メーカーやエンジニアリングメーカーは、設備計画・設計にあたって、従来技術よりCO₂排出量が低減される設備を提供しなければならない。最近では、社内炭素価格(インターナルカーボンプライシング:ICP)が設備投資の目安とされてきている。ICPは、毎年右肩上がりでアップしており、CO₂発生の設備に対して投資効果が高く、投資会社で評価され、炭素税導入時の対応の目安となる。

第5図:塗装におけるICP対応化



## | 6 | 目標 14:海の豊かさを守ろう

プラスチックの放棄によるゴミが5mm以下のマイクロプラスチックとなり、海洋汚染し、食物連鎖により結果的に海洋生物の生態系を破壊してきている。塗装でのこの面の貢献は、

- ① 生分解性系素材の採用
- ② 塗装での高効率化による使用塗料の減量化
- ③ 省エネによるCO2削減
- ④ 素材の見直しによる非プラスチック化
- ⑤ 塗装面積を減少化させる
- ⑥ 排水を流さない、流す場合は節水システムのもとで取水レベルに戻して放流する

## 7 目標 17:パートナーシップで目標を達成しよう

SDGsの大きな目標を、一塗装工場だけでは達成することはできない。このためには、塗装業界のみならず、産官学にまたがる総合的な連携のもとにプロジェクト化することが必要である。SDGsに対して塗装業界が貢献していくためには、塗装工場が中心となって進めてきた塗料メーカー・機器メーカーとの連携による技術開発から、他社とのパートナーシップはもちろん、大学や行政の研究機関などとの垣根を超えた重層的な連携を模索したい。国や行政による新たな法規制やSDGsに寄与する開発や取り組みに対する支援・補助金などに関する情報の収集と併せて、新技術を吸収するための学協会との接触など、従来にない手法での進め方が必要になる。

さらに、環境投資に対する金融機関との接触も重要である。最近では、企業の評価基準が大きく変化し、SDGsを進めた企業に対して数的評価を行い、高レベルの場合には積極的に投資しようとしている。特に塗装工場は、これまでCO₂排出量が大きい場合が多く、逆に評価をアップさせやすいかもしれない。パートナーシップの幅を拡大させることにより、これまでの自社の限界を超えたSDGsに対する貢献が可能となる。

SDGsを達成しようとする場合、部分最適となりがちな個々のパートに基づく発想ではもはや難しく、塗装全体をシステムとして捉える発想が必要となる。塗装において新たな技術開発や、設備投資を行ううえで、今まではシステム的発想が不足あるいは欠けたまま進められることが多かったのではないだろうか。塗装工場が、開発設備投資を行う場合、従来、塗料メーカーの仕様を基本として、前処理、設備、塗装機器、搬送装置の各メーカーに依頼して計画を進めることが主である。

設備は個々のパートが独立したものではなく、前処理も、塗装ブースも、塗装機器も、乾燥炉も、搬送装置も、全体のシステムの中の一つであり、これらをまとめて一つのシステムとして捉える視点が不可欠となる。その視点において、CO2削減、省エネをトータルで進めることが大切である。

塗装システムは、最小でシンプルであるべきで、不要なものを見出し、塗装からSDGsの実現に貢献したい。

 
 塗装機器
 国・行政

 メーカー
 金融機関

 塗装工場のSDGs
 設備メーカー

 エンジニア リング メーカー
 客 先

 メーカー
 学協会

## 第6図:塗装工場のSDGs目標のためのパートナーシップ

# 8 スマート塗装への道

SDGsへの道は、簡単ではない。従来の発想の延長ではなく、塗装業界における新しい「常識を創る」気持ちで望まなければ実現できないであろう。最新の新しい情報技術も取り組んだ「スマート塗装」が出現されることを期待したい。

MEMO	

# 第2章



# 赤外線技術による省エネ革新〜実例と技術的背景〜



第1章で「塗装」は、地球環境に少なからず悪い影響を与えているということがわかりました。さらには、特に自動車や工業分野における塗装工程の中の焼き付け乾燥工程が多くのエネルギー (全体の約40%) を消費し、多くのCO₂を排出していることもわかりました。逆に言えば、焼き付け乾燥工程を改善すれば、省エネに大きく貢献できるのです。

第2章では、多くのエネルギーを消費する焼き付け乾燥工程において、省エネ等に寄与する手段の1つとして、赤外線ランプ等を用いたハイブリッド乾燥システム(電気+ガス)を紹介します。システムの特徴や、実際にハイブリッド乾燥システムを導入し、2020年度省エネ大賞を受賞した株式会社小松電業所における成功事例を紹介しながら、どの様な手順で検討を進めれば本システムを有効的かつ効率的に活用できるのかを示していきます。まず、その前に塗装の基本的な要素を…。

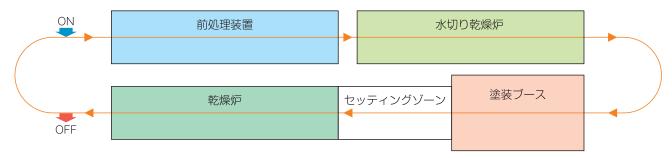
## プロローグ――本編に入るちょっとその前に…

# 塗装ラインってどんなもの?

塗装ラインは大きく分けて、前処理ラインと塗装ラインに分けられます。工場によっては、前処理と塗装が一本のラインで連結されている前処理・塗装の一貫ラインと、前処理ライン(前処理と水切り乾燥)と塗装ライン(塗装ブースと焼き付け乾燥炉)が分離独立している分離独立ラインがあります。

基本となるレイアウト(前処理・塗装一貫ライン)を下図に紹介します。

### ■一般的な工業塗装ライン (前処理・塗装一貫ライン) の基本レイアウト



## 1 前処理ライン

前処理ラインは一般的に、塗装する製品(被塗物といいます)に付着している油や異物リなどを取り除く「脱脂」と言われる工程と塗膜の付着性を良くし防錆性能を補助するための化成皮膜処理と言われる工程から成ります。

表面に油分があると塗膜の付着性は低下します。化成皮膜として一般によく知られているのは「リン酸亜鉛」です。リン酸亜 鉛皮膜の顕微鏡写真を参考に紹介します。脱脂を含めたリン酸亜鉛皮膜処理の主な工程は次のようになります。

脱脂 (一般にはアルカリ脱脂剤)→水洗 (すすぎ)→リン酸亜鉛処理 (皮膜形成)→水洗 (すすぎ)→水切り乾燥となります。

なお、表面に錆や酸化被膜などがある場合も塗膜の付着性・防錆性能は阻害されますので、この場合には上記の工程に一般には「除錆」と「水洗」がセットで追加されます。各薬液の塗付方法には、対象製品を薬液に浸ける「浸漬 (ディップ)」方式とノズルなどにより製品に吹き付ける「スプレー」方式があります。

## ■リン酸亜鉛皮膜の顕微鏡画像の例



■浸漬 (ディップ) 方式の例



■スプレー方式の例



## 2 塗装ライン

塗装ラインは、一般に被塗物と呼ばれる製品を搬送するためのコンベヤと塗料を塗布するための一般には塗装ブース呼ばれる 設備と塗った塗料を加温して乾燥・硬化させるための乾燥炉で形成されます。

塗料の塗付方法には大きく分けて、スプレーと浸漬(ディップ)方式がありますが、多くはスプレー塗装が行われています。スプレー塗装には、ハンドガンを作業者が手で持って行う人手による塗装、レシプロやロボットなどを使って行う自動塗装があります。液状塗料の場合には、塗装後にセッティングと呼ばれる時間を設けます。セッティングを設けることで、塗った塗料のレベリング(平滑性)を良くし、ワキなどにより外観を損ねる塗膜中の比較的に低温で沸騰するような溶剤の揮発を促します。塗料はその後の乾燥炉で乾燥・硬化することで、所期の性能を発揮する硬化塗膜になることができます。

20

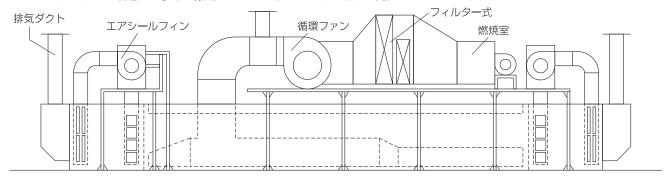
# 乾燥炉ってどんなもの?

# 乾燥炉の種類 (例)

塗装された塗膜が乾燥された塗膜になるということは、液状塗料では塗料中の揮発成分が蒸発して、樹脂がある程度の硬さを有するように変化することです。この乾燥工程で「熱」を加えて乾燥させることを「(焼き付け) 乾燥」と言います。 乾燥炉には主に3つの形状があります。最も利用されているガス熱風循環方式を例にその形状を見てみましょう。

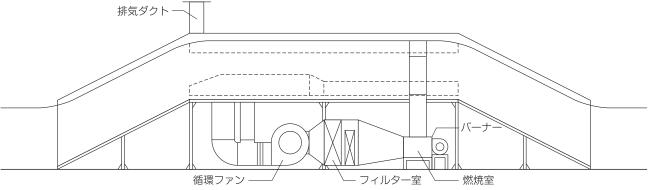
## 1 エアカーテン式トンネル炉の例

出入口にエアカーテンを設けて、炉内の熱が漏れ出すのを抑制しています。コンベヤに吊るした製品をアップダウンさせることなく、水平に搬送できるというメリットがありますが、熱の漏出を防ぐという点では、(2)の山形炉の方が優れていると言われています。ただ、最近では水平に搬送できるというメリットが改めて見直されてきています。



## 2 山形炉の例

熱は上昇するという性質を利用して、炉本体を出入口より高い位置に設置し、熱の漏れを防ぐ方法です。このため、炉の前後にエレベーションと言われる傾斜部があります。上下空間を有効利用できる点からも、多くの塗装工場でこの方式が採用されています。

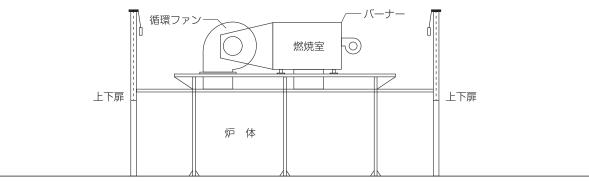


## 3 扉式炉の例

炉の前後に扉やシャッターをつけて、熱の漏れを防ぎます。ただし、製品を炉に投入あるいは搬出する際には扉を開けますので、そのときの熱の漏れが課題になります。比較的に大型の製品に用いられることが多いようです。

なお、片側だけの扉、同じ方向から製品を出し入れする方式の場合には、バッチ炉とか金庫炉とか呼ばれます。

バッチ炉は連続炉に比べると生産効率が劣ると言われますが、最近ではバッチ炉の高効率化に成功されている例も生まれています。



# どうして乾燥加熱工程が必要なの?

## 塗装乾燥の仕組み

塗装物の保護、美観の保持、機能の付加という塗料の目的を発揮するためには

●ムラなく塗装する。
●適切な膜厚で塗装する。 ●塗膜を形成させるために乾燥させる。

ことが必要です。この乾燥について詳しく見ていきましょう。

塗装の最大の特徴は相手の形状を選ばないということでしょう。成型や切削加工とは異なり、そこにある形状をそのまま生か して、それを強固な防錆性・防食性や外観による付加価値を加える塗膜で包んでしまうことができます。

液状塗料を例に見てみましょう。

一般に性能の高い塗膜を得るためには、高分子量の塗膜を得る必要があります。しかし、高分子量のままでは溶剤に溶けにく いので、塗料にすることが難しくなります。粘度が上がってしまい極端に塗りにくくなったり、あるいは溶かすために多量の溶 剤を必要としたりします。溶剤は「塗る」ときに必要なだけで、あとは蒸発させて環境負荷の原因にもなりますので、使用でき

## 塗料中に溶けている状態(低分子)

# 橋架け反応により高分子になる 加熱

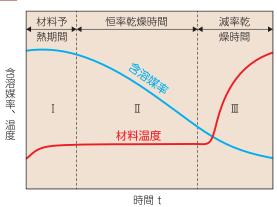
る溶剤の種類や量にはおのずと限界があ ります。

工業用途での多くの塗料では、塗った 後に硬化(橋架け)反応させ、分子量の 多い塗膜に変化させています。この硬化 反応には多くが熱を用います。

また、主剤と硬化剤を混ぜることで反 応させる2液型の場合でも、反応を促進 させるために加温がよく用いられます。

# 般的な液状塗料と粉体塗料の乾燥・硬化の違い

## 液体塗料の乾燥・硬化



参考:原崎勇次著「わかりやすいコーティング技術」を加工して作成

液体塗料は一般に左図のような相変化を経て、強靭な硬化塗膜にな ります。材料予熱期間は、溶剤に変化が生じない期間ですが、溶剤の 種類や高温の乾燥炉によってはこの期間はごく短く恒率乾燥期間に入 る場合も多くあります。恒率乾燥期間では与えられたエネルギーは主 として溶剤の蒸発に用いられます。この期間のエネルギーの与え方 が、多くの場合にその後の塗膜の外観不良の原因となります。

例えば、あまり炉内の温度が高いと溶剤が蒸発する前に塗膜中で沸 点に達し、細かい気泡がたくさん生じるワキを起こします。また、塗 膜の底部より表面部の乾燥が先行しすぎると、表面が流動性を失った 後に底部からの溶剤が表面に移行し、表面からの蒸発時に塗膜表面に 小さな孔である発泡を生じます。

塗膜が流動性を失うと減率乾燥期間に移ります。エネルギーは主に 硬化反応に用いられるようになり、活性化エネルギーのピークを越え て硬化塗膜になります。

# 2 粉体塗料の適正硬化条件の例

10分

エポキシ塗料の適性硬化条件

200℃ 190℃ 50~\70μm用途 180℃ 170℃ 焼き付け温度 160℃ 200~500μm用 150℃ 190℃ 180℃ 低温型粉体塗料 170℃ 160℃ 150℃ 140℃ └ 0分

30分

焼き付け時間

40分

50分

60分

左上のグラフは、エポキシの塗料の適正硬化条件(キュアウィンド ウ) の例です。一般には、50~70μmの標準膜厚では180℃×20分 (被塗物温度×保持時間)、200~500μmの厚膜では170℃×15分と 表記されている塗料です。標準膜厚の条件では、例えば190℃×15分 でも同じ良好な塗膜が得られます。管理幅は狭くなりますが170℃× 10分でも可能です。

続いて、左下のグラフは、代表的な低温型粉体塗料(エポキシポリ エステル) の適正硬化条件です。この塗料は一般には160℃×20分 (被塗物温度・保持時間) とされていますが、このグラフのように条件 は一つではありません。例えば180℃×15分でも同じ性能の塗膜を得 ることができます。

このことは、液状塗料でも粉体塗料でも同じですが、良好な塗膜を 得るための乾燥硬化条件は決して一つではありません。ただし、高い エネルギーを与えて短時間化しようとするほど、一般にはエネルギー の性質がより問題になります。

23

実例: そこにみる塗装工場の典型

塗装ラインのエネルギー消費が工場全体の3分の1以上を占める

## 2020年度省エネ大賞を受賞した工場はなぜ塗装乾燥炉をターゲットとしたのか?

2020年度の省エネルギー大賞を受賞された、石川県小松市に本社を置く株式会社小松電業所(塚林幸作代表取締役社長)の本社工場を例にして考えてみましょう。

建設・鉱山用機械部品製造や制御盤の製作を手掛ける同社は、エンジンフードやサイドカバーといった外装部品から燃料タンクや運転席、ヘッドガードといった運転席ユニットなど、マシンのあらゆる部分を製造しています。

まず、2次元/3次元レーザー加工機により鉄板を加工します。カットした鉄板を曲げる・絞る・穴を開けるためのプレス工程になります。プレス機の金型を変えることで鉄板を様々な形状に加工させます。工場内には絞る専門の800t、400t、250tプレス機や、抜く専門の150tプレス機があります。

その次は、プレスで加工された半製品をジグにセットして溶接します。半自動溶接機、ロボット溶接機、回転ポジショナー、スポット溶接機などがあります。ロボットを用いることで作業時間も大幅に短縮でき、品質も向上されましたが、ロボットでは溶接ができない箇所は熟練工の技術を用いて溶接します。

溶接により製品のカタチが作られたら、いよいよ塗装・乾燥です。下塗りは防錆性に優れたカチオン電着塗装を用い、上塗りは溶剤塗装から粉体塗装への転換を進めました。溶剤塗装も併用はしていますが、粉体塗装は揮発性有機化合物を用いないため、環境にも人にもやさしい塗料です。その後乾燥させて、塗装工程は完了となります。

次の組み立て工程ではエンジンフードやサイドカバーなど外装部品にはクッション材や断熱剤等の部品を取り付けます。例えば運転席ユニットでは1,500種類以上の部品を使って1から組み立てを行います。

完成工程では検査をします。出荷前に製品が図面通りにできているかの確認をし、寸法、色彩、塗膜など様々な項目に対して専門の測定機器を使って基準を満たしているか検査します。

#### ■主な製造工程



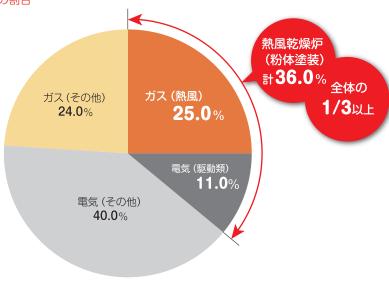
# 塗装ラインこそが、工場の全体の省エネ性を決定づけている

さて、その様々な工程の一貫システムを実現している本社工場ですが、そこで消費される全エネルギーのうち、塗装ラインで使用されるガス熱風乾燥炉の比率が36%を占めていることが、2013年の実績データからわかりました。

第1章で日産車体のコメントとして紹介した「車の塗装には、塗料を高温で焼き付け乾燥する工程があるため、塗装工場からのCO₂排出量は、工場全体の排出量の約4分の1にもなります」は、自動車工場だけの話ではなく、塗装を含む生産工場の典型的な姿だと言えます。

実は一般の塗装を含む工場では、本例のように塗装ラインでのエネルギー消費が3分の1以上を占めていることが多いのです。 塗装ラインの省エネの実現なしに、工場の省エネを語ることはできないのです。

## ■塗装工程におけるエネルギー消費量の割合



# 実例:乾燥炉のエネルギー効率は30%に過ぎなかった

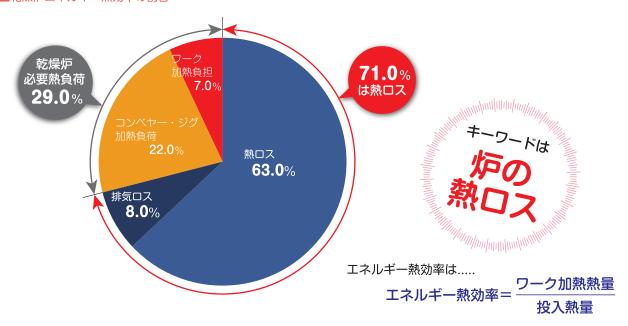
## 乾燥炉のエネルギーのうち、真に製品の加熱に要した分は10%に満たなかった

さらに、塗装乾燥炉のエネルギー効率を詳しく調べると、驚くべき数字が浮かび上がりました。

ガス熱風乾燥炉の消費エネルギーのうち、加熱に用いられている必要負荷は29%に過ぎず、71%がエネルギーロスとして消えていることが判明しました。しかもワークそのものの加熱に用いられているのは、わずか7%に過ぎませんでした。

こうして多くの工程がある本社工場の中で、「熱風乾燥炉はロスが多く、抜本的な省エネ革新が必要」となることが認識され、 プロジェクトチームが立ち上がったのです。

## ■乾燥炉エネルギー熱効率の割合



# プロジェクトチームの目標は、炉長を約4割短縮&エネルギー使用量も4割削減

プロジェクトチームのミッションは、既成の考えに囚われない「新乾燥炉」実現となりました。 掲げられた目標は以下の通りです。

塗装品質の条件を満たし、 建屋の限られたスペースに設置するため なおかつ、 乾燥炉が4割短縮するのであれば

(hallenge!

乾燥炉の炉長を

約4割短縮!!

(hallenge!! エネルギー使用量も

約4 割削減!!

# 省エネを実現のために重視した意識の問題

同社が熱風乾燥炉を使用してきたのは、塗料メーカーが熱風仕様の乾燥条件を推奨しているためでした。これは、様々な形状のワークでも同一炉で一様に昇温・温度キープできることを受けたもので、標準的に採用されている方式です。

しかし、この方式は省エネ性や生産性の面で半世紀以上にわたって変革がなく、製品の昇温に時間がかかり、必然的に炉が長くなりガスを多量に消費するといった課題を指摘されるようにもなっていました。

この方式が使われ続けてきたのは、取引上のしがらみや既成概念によるものであり、全く新しい発想を持ち、リスクを背負いながら抜本的なプロセス改善に挑戦していく必要がありました。

そこで、以下の2つの点について意識改革の徹底を図りました。

意識改革①

取引上のしがらみから抜け出すこと

意識改革②

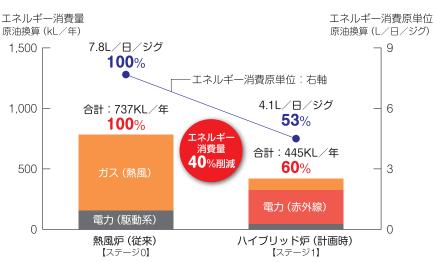
新しい技術や知識を学ぼうとせず、リスクを避けることに終始する姿勢を打破すること

# 実例:赤外線・熱風ハイブリッド炉の導入で目標を達成

## 赤外線・熱風ハイブリッド炉の導入で40%の省エネを実現

プロジェクトチームは生産性と省エネ性の抜本的改善に向け、赤外線・熱風循環ハイブリッド炉の導入を決め、導入のための課題やその解決策を検討しました。さらに、さまざまな実証試験を行って新乾燥炉を導入しました。

### ■ハイブリッド炉導入による省エネ効果(従来型の熱風炉との比較)



52mの炉の長さは赤外線・熱風ハイブリッド炉の採用により32mとなり、40%の乾燥炉長短縮を実現しました。製造リスク上の

- ●塗膜硬化不足:問題なし ●炉内における製品落下:解消
- ●コンベヤからの油滴付着:軽減
  ●コンベヤからの金属粉付着:軽減
- などの効果が得られ、省エネ上も
- ■エネルギー使用量:40%削減■CO₂排出量:36%削減

が実現しました。



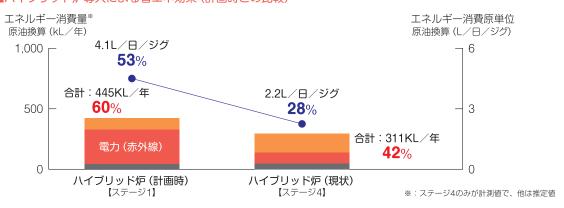
# 「熱風循環炉」とは ...

塗装用の炉では多くが「熱風乾燥炉」が用いられていますが、赤外線輻射方式に特に対比して「対流による加熱」を行っている炉であることを強調する場合には、塗装業界の文献などの慣例に従って「熱風循環炉」という用語を使用しています。

# 新発想の炉を導入した……だけでは道半ば

新しい炉の導入後、生産スピードのさらなる向上を目指し、赤外線の照射量や炉内設定温度の見直しなど、赤外線・熱風循環ハイブリッド炉の運用改善を行い独自の生産基準を確立しました。その結果、最終的にはエネルギー使用量は58%削減し、CO2排出量も57%もの削減が実現されています。プロジェクトを立ち上げる際に「省エネを実現するために重視した意識の問題」を重視されていますが、この実績値を見ると意識の重要さが理解できます。なぜなら炉というハードだけでは潜在的な可能性までは引き出せないからです。ハードと人が相まって初めて真の効果が生まれるのです。

## ■ハイブリッド炉導入による省エネ効果(計画時との比較)



以上の成果が本社工場全体に与えるインパクトは、以下の通りです。

インパクト① エネルギー使用量の削減率:27% (2019年度:1,601kL/年比)

インパクト② CO2排出量の削減率:26%(2019年度:3,300t-CO2/年比)

25

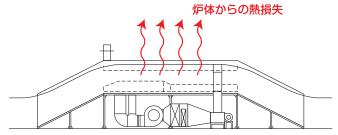
# 炉の熱ロス

# 炉における熱損失とチェックの視点

炉のエネルギー効率を見るためには、炉における熱口スと実稼働率を把握する必要があります。

## 1 熱貫流損失

炉体から発する損失熱量を言います。作業環境など周囲への影響も少なくありません。定期的に炉の外壁温度のチェックをされることをお勧めします。



熱貫流損失の計算は次式になります。

●熱貫流損失: Q= λ(T1-T2)

t :保温材厚み (mm)

λ:平均熱伝達率 (kcal/m·h·℃)

T1:炉内温度

T2:炉外温度

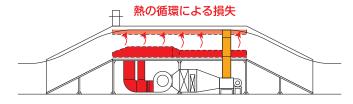
試算すると、保温材の厚み:t=0.1m(100mm) 、平均熱伝達係数: $\lambda=0.05$ kcal/ $m\cdot h\cdot \mathbb{C}$ 、炉内温度: $T1=200\mathbb{C}$ 、炉外温度: $T2=45\mathbb{C}$ では、炉体表面からの熱貫流損失は77.5kcal/ $m^2$ となります。後はこの数字に炉の表面積を掛け算することになります。

断熱材の性能もさることながら、根本的対策としては炉のコンパクト化・炉長を短くすることが何より有効です。

## 2 循環風損失

循環ダクト接合部等に熱漏れがないかを定期的にチェックしてください。また、循環ファン周り、循環フィルター周り、バーナー前後の断熱対策が不十分である設備も多いので対策が必要です。

炉内容積が大きいとそれだけ循環風量が大きくなり、熱損失を大きくする要因となります。炉のコーナー部やコンベヤ・ジグ 通過部など被塗物の加熱に直接寄与しない炉体容積部分はないか、設計段階と現状の被塗物サイズが合わなくなり炉の断面積が 過大になっていないかを確認し、仕切り板や仕切りダクト等を設け不要スペースをなくすように策する必要があります。



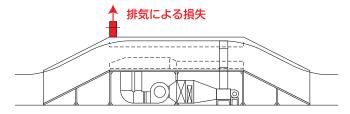
循環風損失の計算は次式になります。

●循環風損失:循環の供給温度-戻り側温度

## 3 排気損失

溶剤型塗料の場合、一般には爆発下限界の4分の1以下に保たれるように排気されます。

プロパンガスによるバーナーでは、12m³/プロパン1kgの空気が燃焼に必要になりますが、一般にはこの燃焼要求空気量が安全必要空気量を上回ります。炉内に持ち込まれる燃焼要求空気量の分だけを排気すれば良いのですが、過大になる分は熱ロスとなります。安全に十分に配慮しながら適切な排気量で管理してください。



## 4 加熱処理物による熱損失

一般には加熱処理物には被塗物に加えて、構造的にジグやコンベヤも含まれてしまっています。被塗物に対してジグの熱容量が適正であるか、またジグにより製品の通気が阻害される場合、製品内で炉内から遮断された空気の存在が温度上昇の妨げとなりますので、ジグの設計もとても重要です。

炉内のコンベヤ通過部の下に中天井を設け、コンベヤ等を加熱対象外にすることも効果的です。

## 引っ掛け密度を上げる

炉への製品投入数を増やしても、変化するのは「加熱処理物による熱損失」で、その他の熱損失はあまり変わりません。投入数を増やしても、炉のランニングコストはほとんど変わらないものです。したがって、製品引っ掛け密度を上げることが重要になります。

# **面積生産性・エネルギー消費**の視点

小松電業所が大幅な省エネ、 $CO_2$ 削減を実現できた最も大きな要因は、面積生産性を指標としたことと、炉のエネルギー効率に焦点を絞ったことです。面積生産性や、炉のエネルギー効率を導くエネルギー消費量の見方、熱損失のチェックポイント、実稼働率など、この要因に関わる基礎的な知識や考え方を見ていきます。

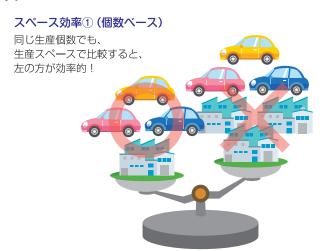
## 面積生産性……スペース効率とも言います

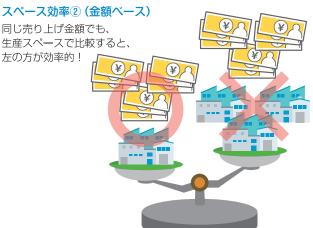
面積生産性、あるいは、スペース効率と言われるものに次の2つがあります。

●スペース効率① (個数ベース) = 完成数量 フロアスペース

スペース効率①は個数、スペース効率②は金額で考えることになります。さらに自社の床スペースを、平方メートル当たりの 経費、すなわち、スペース経費に換算しておくことも役に立ちます。

この面積生産性という発想は、省エネ、 $CO_2$ 削減に密接に関係します。改善成果を具体的に測定できる「ものさし」になります。





# 有効利用のためのエネルギー消費量の見方

エネルギー消費も「工場全体でいくら?」という発想だけだと、省エネの発想が生まれにくくなります。エネルギーの有効利用を図るため、実態に即した形でエネルギーの消費量を把握しておくことが重要です。

●製品当たりのエネルギー消費量 (金額) = 総エネルギー金額 (円/日) 完成個数 (個/日)

●製品当たりのエネルギー消費量 (熱量) = 総エネルギー使用量 (kcal/日) 完成個数 (個/日)

製品当たりで算出することが難しい場合には、ジグ当たりエネルギー消費量でも良いと思います。 2020年度省エネ大賞を受賞した小松電業所の場合には、ジグ当たりで把握することで、対策の効果をわかりやすく、そして正しく測定されていました。

- ●加工高当たりのエネルギー消費量 (金額、熱量) = 総エネルギー金額または使用量 加工高 (円/日)
- ●ラインごとのエネルギー使用量(金額または熱量)

稼働時間エネルギー使用量(熱量) 担入エネルギー量(熱量) ライン加工時間

実稼働時間とは、例えばコンベヤを回している時間や乾燥炉を稼働している時間を指すのではなく、実際にアウトプットしている時間=塗装ラインにとって売上となっている時間、に限定してカウントされるものです。

言い換えれば、塗装ラインでの工程が終了した次工程に供給され始めてから終了するまでの時間を言います。

## 実稼働時間=アウトプットしている時間

実際に行われた粉体塗装ラインの計画案を見てみましょう。

板厚は1mm~最大20mmで、炉の温度は180℃。コンベヤ速度は1.0m/分、1分間で平均10個の製品が塗装されます。

## 1 ケース1:熱風循環炉で計画した場合

炉の構成は、入口側フード+加熱有効部+出口側エアカーテンの熱風循環炉で検討しました。

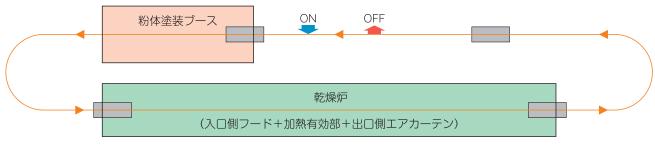
加熱硬化による必要な時間は、45分です。

コンベヤは1周するのに2時間を要します。

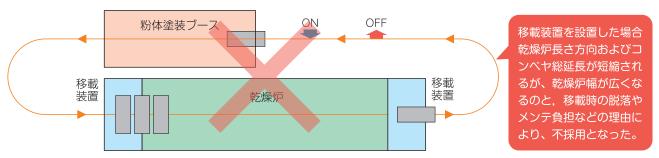
朝8時にコンベヤに吊るされた製品が、塗装から硬化乾燥を終えて、コンベヤからはずされるのは午前10時です。ここから終業時間の午後5時まで塗装ラインから製品はアウトプットされ続けます。なお、昼休憩は交代制で生産はされます。この場合の実稼働時間は、午前10時から午後5時までの7時間となります。

このケースでは、コンベヤの総延長を短縮するために、移載を行って、乾燥炉の手前で一次ジグを横向きにして炉に投入することも検討されました。乾燥炉の幅は大きくふくらみますが、長さ方向は短縮され、コンベヤの総延長も短くなります。しかし、小物から長尺ものまで様々な製品がありたびたび脱落が生じていた移載は費用と脱落リスクから断念されました。

## ■ケース1の基本レイアウト(入口側フード+加熱有効部+出口側エアカーテンの熱風循環炉)



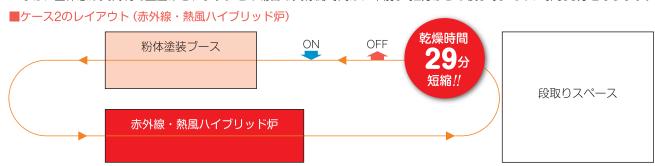
## ■ケース1の基本レイアウトに移載装置を追加した場合



## 2 ケース2:赤外線・熱風ハイブリッド炉で計画

赤外線・熱風ハイブリッド炉については後ほど詳しく説明しますが、硬化に必要な時間は16分に短縮されました。 朝8時にコンベヤに吊るされた製品が、塗装から硬化乾燥を終えて、コンベヤからはずされるのは午前9時2分になります。こ こから終業時間の午後5時まで塗装ラインから製品はアウトプットされ続けます。

なお、昼休憩は交代制で生産はされます。この場合の実稼働時間は、午前9時2分から午後5時までの7時間58分となります。



28

29

# 実稼働率とターン数・生産量・面積生産性との関係

先に、面積生産性という発想は省エネ、CO₂削減に密接に関係しますと言いましたが、その効果を向上させるためには、すな わち面積生産性を高めるためには、実稼働率を上げ、ターン数を多くすることが求められます。

## ターン数

前ページで紹介しましたケース1の熱風循環炉の場合、コンベヤが1周するのに必要な時間は2時間、1日の就業時間は8時間 ですので、ターン数は4回転/日となります。

ケース2の赤外線・熱風ハイブリッド炉の場合、コンベヤが1周するのに必要な時間は1時間2分、1日の就業時間は8時間です ので、ターン数は7.74回転/日となります。ターン数が多いほど効率的なラインとなります。

# 生産量との関係

平均生産量は10個/分です。

ケース1の熱風循環炉のラインでは、アウトプットされている=生産高が発生して いる時間である実稼働時間は7時間=420分です。したがって、生産量は4,200個/ 日となります。

ケース2では、アウトプットされている=生産高が発生している時間である実稼働 時間は7時間58分=478分です。したがって、生産量は4,780個/日となります。

ケース1に比べて生産量は約1.14倍になります。

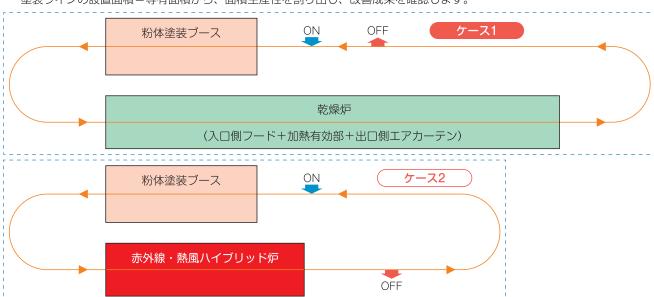
もし、仮にケース1もケース2も塗装工場から排出されるCO₂が同じだとしたら、製 品1個当たりのCO₂排出量は10%以上減ることになります。LCAの視点は、製品の生 産時のCO2排出量も使用時の排出量に加算することになりますので、この差は塗装工 場にとって大きな意味を持ちます。

しかも後述しますが、赤外線・熱風ハイブリッド炉を採用すると、炉から排出され る1時間当たりのCO2量も確実に減ります。

## ケース1 実稼働: 420分 生産量:4,200個 CO2排出量 生産性 1.14倍 10% 向上!! 削減!! 実稼働:478分 生産量:4.780個

# 実稼働率と面積生産性

塗装ラインの設置面積=専有面積から、面積生産性を割り出し、改善成果を確認します。



ケース1の専有面積は、塗装ラインの製品が通る通路部も含めて、設置面積: 15m×75.25m=1.128.75m<sup>2</sup>。 段取りスベースの効率性は悪いですが、コンベヤ沿いで行うことになります。

ケース2の専有面積は、塗装ラインの製品が通る通路部も含めて、設置面積:15m×55.5m=832.5m²。 続いて、面積生産性を見ると、

ケース1の面積生産性は、1日当たり生産量:4,200個/1,128.75m²=3.72個/m²/日

ケース1の面積生産性は、1日当たり生産量:4,780個/832.5m2=5.74個/m2/日

赤外線・熱風ハイブリッド方式の採用により、熱風循環式炉に比べて、

面積生産性では約1.54倍の生産量になります。

# 反応とエネルギーの関係

ここでエネルギー消費を検討するために、硬化とエネルギーの関係についてヒントを。

## 1 反応におけるエネルギーと時間の関係

■Q=q×T Q:総エネルギー、q:単位時間に投入したエネルギー、T:投入時間

この式からもわかるように、単位時間に投入したエネルギーが大きくなれば、投入時間は小さくなり、短時間乾燥が可能になります。

## 2 ル・シャトリエの法則

Hint!

フランスの科学者ル・シャトリエは、一般の化学反応は10℃上昇するごとに反応速度が倍になるというル・シャトリエの経験則を表しました。塗膜の硬化も化学反応ですから、温度の上昇と共に所要時間は大きく短時間化します。

しかし、経験的に160℃×30分の乾燥時間は、10℃アップして170℃にしても15分にはなりません。だいたい20℃ アップして反応速度が倍になるようなイメージです。

塗膜の硬化反応が一般の化学反応より緩慢なのは、硬化所要時間の中に直接反応を伴わない時間が含まれているからだと思われます\*。

※:引用文献:武田進監修「21世紀の塗装を考える・第3回テキスト」

## 3 シュテファン・ボルツマンの法則

温度(絶対温度)と放射エネルギーの関係はシュテファン・ボルツマンの法則で示されています。

ulletW= $\sigma$ T $^4$  (W/ $m^2$ )  $\sigma$ : シュテファン・ボルツ定数、T: 物体の絶対温度 (273+T $^\circ$ C)

上の式から温度が高いほど放射エネルギーが高いことがわかります。ヒーター温度の4乗に比例しています。炉内温度200℃よりも、1,000℃の赤外線ヒーターから放射されるエネルギーの方が強くなります。

左の式から温度が高いほど放射 エネルギーが高いことが分かり ます。ヒーター温度の4乗に比 例しています。炉内温度200℃ よりも、1,000℃の赤外線ヒー ターから放射されるエネルギー の方が強くなります。



# Hint! 単位を合わせる

これまで見てきたように面積生産性や炉のエネルギー効率といった現状を客観的に把握するためには、様々なデータを駆使する必要があります。データの基礎の基礎とも言える単位を確認しておきましょう。

## ■単位への換算

項目	従来単位	SI単位
熱量	kcal	4.187kJ
比熱	kcal/kg · ℃	4.187kJ/kgK
熱伝道率	kcal/mh℃	1.163W/m·K
熱伝達率	kcal/m²h℃	1.163W/m²·K
圧力	kgf/cm²	9.807×104Pa
圧 力	mmHg	1.333×102Pa
動力	hp	745.7W

### ■熱源の発熱量

			1=11
熱源	単位	国際単位	旧単位
LPG	kg	50MJ	11,992kcal
灯 油	kg	37MJ	8,767kcal
LNG	kg	55MJ	13,019kcal
都市ガス	m³	41MJ	9,818kcal
電力	kWh	4MJ	860kcal
蒸気	kg	3MJ	641kcal

## ■二酸化炭素提出係数

エネ 電気     0     kgCO <sub>2</sub> /kWh       LPG     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       灯油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       軽油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       重油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       都市ガス     2     kgCO <sub>2</sub> /Nm³       水(上水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       水(下水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg					
LPG       3       kgCO <sub>2</sub> /kg         灯油       3       kgCO <sub>2</sub> /L         軽油       3       kgCO <sub>2</sub> /L         軽油       3       kgCO <sub>2</sub> /L         都市ガス       2       kgCO <sub>2</sub> /Nm³         水(上水)       0       kgCO <sub>2</sub> /kg         水(下水)       0       kgCO <sub>2</sub> /kg         物質       一般廃棄物       3       kgCO <sub>2</sub> /kg         廃 油       3       kgCO <sub>2</sub> /kg         紙・木・食物       2       kgCO <sub>2</sub> /kg         セメント       1       kgCO <sub>2</sub> /kg		種類	CO2	発生量(容量:重量単位)	
灯油 3 kgCO <sub>2</sub> /L 軽油 3 kgCO <sub>2</sub> /L 重油 3 kgCO <sub>2</sub> /L 都市ガス 2 kgCO <sub>2</sub> /Nm³ 水(上水) 0 kgCO <sub>2</sub> /kg 水(下水) 0 kgCO <sub>2</sub> /kg 物質 一般廃棄物 3 kgCO <sub>2</sub> /kg 廃油 3 kgCO <sub>2</sub> /kg 廃プラ 3 kgCO <sub>2</sub> /kg	エネ	電気	0	kgCO <sub>2</sub> /kWh	
軽油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       重油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       都市ガス     2     kgCO <sub>2</sub> /Nm³       水(上水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       水(下水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg		LPG	3	kgCO <sub>2</sub> /kg	
重油     3     kgCO <sub>2</sub> /L       都市ガス     2     kgCO <sub>2</sub> /Nm³       水(上水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       水(下水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg		灯油	3	kgCO <sub>2</sub> /L	
部市ガス 2 kgCO <sub>2</sub> /Nm³ 水 (上水) 0 kgCO <sub>2</sub> /kg 水 (下水) 0 kgCO <sub>2</sub> /kg 物質 一般廃棄物 3 kgCO <sub>2</sub> /kg 廃 油 3 kgCO <sub>2</sub> /kg トポ・食物 2 kgCO <sub>2</sub> /kg セメント 1 kgCO <sub>2</sub> /kg		軽油	3 kgCO <sub>2</sub> /L		
水 (上水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       水 (下水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg		重油	3	kgCO <sub>2</sub> /L	
水 (下水)     0     kgCO <sub>2</sub> /kg       物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg		都市ガス	2	kgCO <sub>2</sub> /Nm³	
物質     一般廃棄物     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃油     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       廃プラ     3     kgCO <sub>2</sub> /kg       紙・木・食物     2     kgCO <sub>2</sub> /kg       セメント     1     kgCO <sub>2</sub> /kg		水 (上水)	0	kgCO <sub>2</sub> /kg	
廃油     3     kgCO₂/kg       廃プラ     3     kgCO₂/kg       紙・木・食物     2     kgCO₂/kg       セメント     1     kgCO₂/kg		水 (下水)	0	kgCO <sub>2</sub> /kg	
廃プラ     3     kgCO₂/kg       紙・木・食物     2     kgCO₂/kg       セメント     1     kgCO₂/kg	物質	一般廃棄物	3	kgCO <sub>2</sub> /kg	
紙・木・食物     2     kgCO₂/kg       セメント     1     kgCO₂/kg		廃油	3	kgCO <sub>2</sub> /kg	
セメント 1 kgCO <sub>2</sub> /kg		廃プラ	3	kgCO <sub>2</sub> /kg	
		紙・木・食物	2	kgCO <sub>2</sub> /kg	
		セメント	1	kgCO <sub>2</sub> /kg	
生コン   0   kgCO <sub>2</sub> /kg		生コン	0	kgCO <sub>2</sub> /kg	
鋼板 2 kgCO <sub>2</sub> /kg		鋼板	2	kgCO <sub>2</sub> /kg	
アルミ 1 kgCO <sub>2</sub> /kg		アルミ	1	kgCO <sub>2</sub> /kg	

出典:日本塗装機械工業会(CEMA)作成「塗料・塗装システムの省エネ化とCO2削減対策」

30 <sup>`</sup>

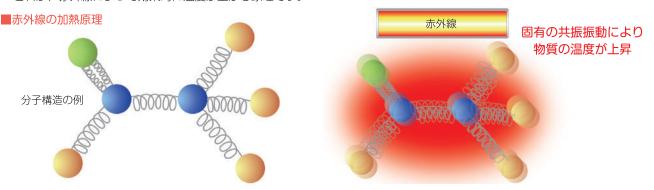
31

このように赤外線・熱風ハイブリッド方式の乾燥には熱風のみの乾燥に比べて大きなメリットがありますが、そもそも赤外線とはどのようなものなのでしょうか。

## 赤外線の加熱原理

物質を構成する分子は、それぞれ固有の共振振動数を持っています。例えば、C-Hという化学結合は片方に炭素原子、片方に水素原子が付いたバネとみることができます。分子は、温度に応じた分子運動を行います。ここに赤外線を照射すると、分子の振動数に一致した赤外線のエネルギーが分子運動を増幅させ、物質の温度が上昇します。

これが、赤外線によって効果的に温度が上がる原理です。



# 赤外線の種類と波長

## 1 波長による分類

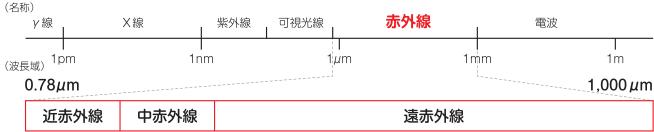
可視光線は一般に波長の短い紫から波長の長い赤色までです。その赤色のさらに外側に波長ピークを持つ光(電磁波)を赤色の外に位置するので赤外線と呼んでいます。その赤外線は、一般に可視光線に近い領域の近赤外線、遠い領域の遠赤外線、その中間に位置する中赤外線の3つにさらに分類されます。

CIE国際照明用語集の区分に従えば、それぞれの波長ピークは以下のようになっています。

●近赤外線:0.78~1.4μm ●中赤外線:1.4~3.0μm ●遠赤外線:3~1,000μm

ただし、一般的には $2\mu$ m〜を中赤外線、 $4\mu$ m〜を遠赤外線と呼ぶことが多いようです。

## ■電磁波における赤外線波長域



※:近赤外線、中赤外線を分ける数値ラインは諸説あるため表示しない。

## 2 赤外線エレメント (発生体) 温度と赤外線の種類の関係

放射エネルギー波長  $\lambda$  m ( $\mu$ m) と温度 (この場合はK) には、関係式=ウィーン変位則があります。

## $\bullet \lambda m = 2,898/273 + T^{\circ} (\mu m)$

この計算式から、波長1 $\mu$ mは約2,500 $^{\circ}$ C、3 $\mu$ mは約700 $^{\circ}$ C、5 $\mu$ mは約450 $^{\circ}$ Cになります。

## 3 各赤外線エレメント (発生体) の特徴 (例)

## ■各赤外線の有効エネルギー効率

名 称	照射有効エネルギー	照射有効 エネルギ <b>一</b> 率	発生体 (ランプ) 平均寿命	立ち上がり 速度	炉内温度 風の影響
遠赤外線	1,000×(1-393/737)=492	約49%	50,000h以上	10分以上	あり
中赤外線	1,000×(1-393/1,123)=650	約65%	20,000h~30,000h	1~2分	なし
近赤外線	1,000×(1-393/2,373)=827	約83%	5,000h~6,000h	1~2秒	なし

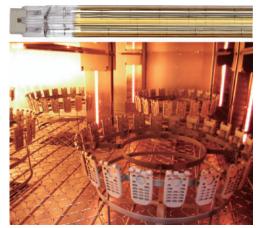
# 赤外線ヒーターの種類(例)

# 1 短波長赤外線 (近赤外線) ヒーター

## ■光源温度と波長の関係

## 

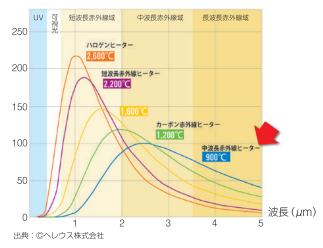
### ■ヒーターの写真(上)とヒーターの炉内設置例(下)



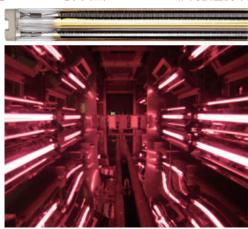
出典: ©Heraeus Noblelight GmbH

## 2 中波長赤外線 (中赤外線) ヒーター

#### ■光源温度と波長の関係



■ヒーターの写真(上)とヒーターの炉内設置例(下)

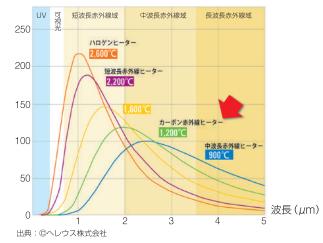


出典: ©Heraeus Noblelight GmbH

近赤外線ヒーターに比べてヒーターの寿命がとても長いという利点があります。

# 3 カーボンヒーター

## ■光源温度と波長の関係



## ■ヒーターの写真(上)とヒーターの炉内設置例(下)



出典: ©Heraeus Noblelight GmbH

カーボンヒーターは近赤外線と中赤外線のちょうど境界になる2μm付近にピークを持ちます。 小松電業所の炉で採用したのは、このカーボンヒーターでした。

32

33

# 赤外線の種類と塗膜温度の様子例

## 1 対流(熱風)加熱

塗膜と周囲の高温雰囲気との間には温度差から境膜で覆われた状態になります。その境膜は熱伝導で温度が伝わるため熱の伝達が遅くなります。対流の風速を速くすると境膜は薄くなり伝達速度は速くなりますが、炉の熱損失などは大きくなりコスト上の問題が生じてきます。

## 2 遠赤外線

遠赤外線は樹脂に対する吸収分がたいへん多く、金属の加熱能力は低い (一般に2µm以下が高い) ため塗膜表面からの加熱になります。発生体自身も中赤外線等に比較して大きくなりますので、例えば面状にして比較的熱容量の小さい対象物を全体的に加熱するのに適した方法と言えます。

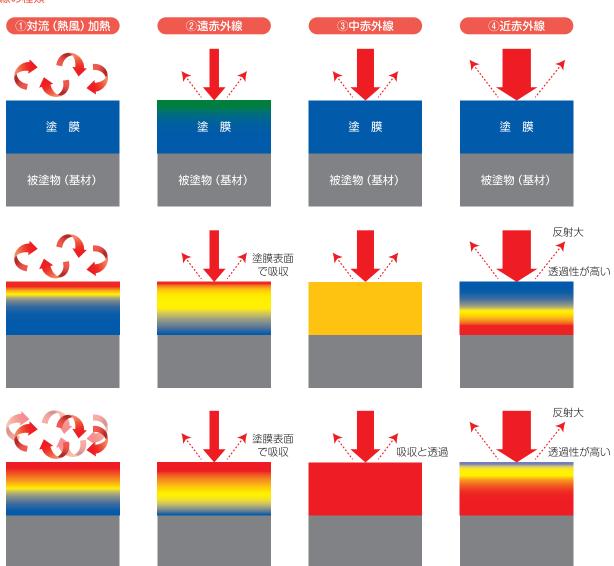
## 3 中赤外線

中赤外線は透過と吸収のバランスが良いため、塗膜の深部〜浅部までを加温することができます。また、一般にヒーター裏面には金膜を施すことができるので、背面へ向かうムダな光を製品側に反射させ有効活用することができます。乾燥炉における適用範囲が広い赤外線です。

## 4 近赤外線

塗膜への透過性が高く、金属の加温能力が高いため、被塗物表面から急速に加熱することが可能です。遠赤外線に比較して塗膜表面での反射が大きいため、炉内壁などによる2次反射の工夫が求められます。急速に温度を上げたい場合、被塗物の熱容量が大きい場合などに有効です。

## ■赤外線の種類



# 炉の加熱方法と熱の伝わり方

# 炉における熱の伝わり方

熱風循環炉と赤外線炉における製品への熱の伝わり方を見てみます。

## ■炉の加熱方法別の熱の伝わる率

名 称			赤外線炉	
4 例	素代/虫(ガ <sup>□</sup>	遠赤外線炉	中赤外線炉	近赤外線炉
対流熱	79%	42%	32%	22%
輻射熱	18%	55%	65%	75%
 伝導熱	3%	3%	3%	3%

熱風循環炉において製品に対する熱の伝わり方は対流熱が100%ではなく18%が輻射熱となっています。

また反対に、遠赤外線炉における製品への熱の伝わり方は輻射が100%ではなく対流熱が42%を占めています。したがって、 遠赤外線炉においては炉内雰囲気温度の影響が大きくなりやすくその管理も重要になります。

#### ■参考資料:熱を伝える3つの形態

#### 対 流

空気を媒体として対象物に熱を間接的に伝えます。高温の空気と低温の製品の間には温度差による境膜が生まれます。これを介して迅速に温度を伝えるためには風速を速くする必要があります。

## 輻射

太陽の発するエネルギーは、真空の宇宙空間を進み地球に到達して熱に変わります。媒体を必要とせず直接AからBへ熱を伝えることができるのが輻射です。赤外線による照射加熱は、この方式によるものです。

## 伝 導

物体の一方を加熱すると、熱は 高いところから低いところへと 伝わります。物質により伝導の 速度が異なります。

Part.3 革新を生んだキー技術 赤外線とは? ハイブリッド炉とは?

# 革新を生んだ**赤外線・熱風ハイブリッド炉**とは?

## 炉の形状

赤外線・熱風ハイブリッド炉への改造によって、炉の外観はどうなるでしょうか。赤外線+熱風ハイブリッド炉は赤外線の効果により熱風循環炉に比べて短くはなりますが、外観的には熱風循環炉と赤外線・熱風ハイブリッド炉は同じです。

#### ■ケース1で検討された熱風循環炉(入口側フード+加熱有効部+出口側エアカーテンの熱風循環炉)の例



赤外線輻射ゾーン(赤色部)

同じ粉体塗料を塗って、良好な硬化塗膜を得るのに、この事例では熱風循環炉に比べて、赤外線・熱風ハイブリッド炉だと加熱有効部の長さは約3分の1になりました。

そのことで実稼働率が向上し、スペース効率(面積生産性)も上がるため、同じ就業時間でも生産量は増えます。

先に見たように、乾燥炉の熱口スである熱貫流損失は炉体の面積に比例します。

炉の加熱有効部の長さが3分の1になったわけですから、熱貫流損失もほぼ3分の1になります。

# 赤外線だけでなく、熱風循環も必要とする理由

# 熱風循環の必要性

熱風循環を必要とするその理由と効果を考えたいと思います。

## ① 製品温度の均一化

熱風循環は、製品の形状に関わらず裏側も含めて同じ温度で加熱されるため、製品温度の均一化に優れています。温度が低い部分はより温度を上げようとし、温度が対流温度より高ければ逆に温度を下げようとする効果があります。さらに、液状塗料を例に熱風循環の効果を考えてみましょう。

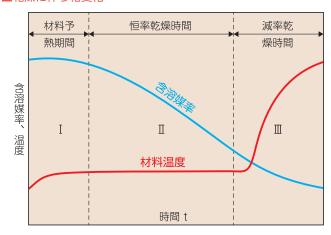
液状塗料の場合、塗料全体が乾燥する温度まで塗膜温度が上昇することが必要となります。

下図(乾燥に伴う相変化)の恒率乾燥期間においては、塗膜表面から溶剤が盛んに蒸発します。この期間における蒸発では、

- ② 溶剤分子は塗膜表面から抜け出して空気中に運ばれる必要があります さらに、
- ③ 塗膜表面近傍に形成される溶剤の蒸気層(境界膜)は塗膜表面から取り除かなければなりません。

塗膜表面に蒸気層があると、飽和状態となり、次の溶剤分子が塗膜表面から抜け出すことを阻害します。

#### ■乾燥に伴う相変化



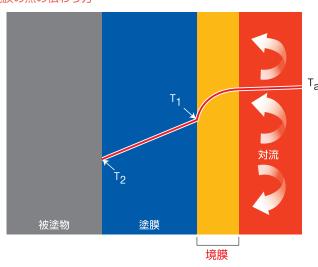
①のプロセスには主に熱が必要となり、②のプロセスには風が必要になります。もし、この風が塗膜温度より低かったら、①に必要な熱が奪われてしまうことになります。

つまり、①のプロセスに必要な熱と②のプロセスに必要な風を両方満たすことが求められます。

①~③の要件を満たす塗料の乾燥方法として、対流による加熱は優れているのです。

# 熱風対流により製品を加熱する際の留意点

## ■境膜の熱の伝わり方



左の図のように、熱風対流と塗膜の間には温度差により 生じる境膜というものが出現します。

この境膜の熱の伝わり方は、対流ではなく伝導となり、 伝熱速度は遅くなります。

この境膜は風速が速いほど薄くなりますので、対流にお  $T_a$  ける風速の役割はたいへん重要です。

高風速の乾燥炉を製作することで、伝熱速度を速め、乾燥時間を短くするという発想もあり得ますが、風速による製品の脱落・落下・揺れ、設備費、騒音などを考えると、塗装乾燥工程で使用する風速にも限界があります。

ある程度風速が速い方が有利であることは事実ですが、 大きな効果を得るためには、風速に大きく頼るより、境膜 を貫けて直接塗膜に熱を与えることができる赤外線による 輻射の方が有利になります。

# 赤外線・熱風ハイブリッドは両者の特長を活かすシステム

対流の特徴と重要性について、ご理解をいただけたでしょうか?

対流加熱には赤外線輻射加熱にはない特長があり、赤外線輻射加熱には対流加熱にはない特長があります。両者の特長を高い次元で融合させた…これが赤外線・熱風ハイブリッド炉なのです。

35

# 製品温度管理とコンベヤ速度の高速化・一定化

## 面積生産性を飛躍的に向上させるために

「赤外線加熱による粉体塗装乾燥の省エネ革新」というタイトルで、2020年度の省エネ大賞を受賞した株式会社小松電業所はそのレポートの中で、赤外線・熱風ハイブリッド炉を導入し、硬化条件を見直しすることで、炉のエネルギー使用量は40%削減され、CO<sub>2</sub>排出量も36%削減したと報告しています。

しかし、同社はさらなる改善策を継続して打ち出し、最終的にはエネルギー使用量は58%削減、CO₂排出量は57%の削減が 実現しています。期待を大きく上回る「省エネ効果」を実現したキーポイントは、赤外線・熱風ハイブリッド炉の導入に加え て、次の4つであったと思われます。

- 1 炉のエネルギー効率
- 2 面積生産性
- 3 製品温度
- 4 PDCA

です。

同レポートによると、炉のエネルギーのうち、被塗物・ジグ・コンベヤの加熱に使われているエネルギー効率は29%に過ぎないことを本書で説明しました。

面積生産性は、スペース効率ともいわれることをご紹介し、2つの式について記しました。面積生産性を向上させる最大の視点は「実稼働時間」です。

PDCAについては、さまざまな解説が本やセミナーですでにされているので、それらに機会を譲ることにしますが、設備導入後にこの「P:計画→D:実行→C:評価→A:改善→P:計画に戻る」の輪を繰り返し行ったことが期待を上回る成果を生んだ最大の要因であったと同レポートでは述懐しています。

省エネ大賞の共同受賞者である株式会社エスジーの奥山岑長氏も言われているように、「設備メーカー任せではダメ。ユーザーと設備メーカーが一緒になって取り組むことが必要」であることの証左でもあります。

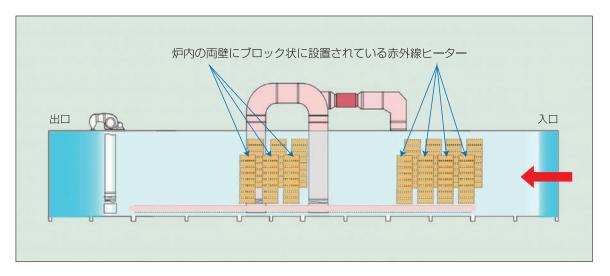
さて、本項ではその中で特に大きな決め手となった「製品温度」についてさらに詳しく見てみたいと思います。なぜなら、このことが、最終的には炉のエネルギーの自動制御を実現し、面積生産性を飛躍的に向上させたからです。

## 1 赤外線・熱風ハイブリッド炉とブロック制御

赤外線・熱風ハイブリッド炉はその名前の通り、熱風循環による対流加熱に赤外線による輻射加熱を加味したものです。対流の利点と、輻射の利点をうまく組み合わせることで、短時間加熱硬化・炉のコンパクト化を実現する方法として知られています。さらに、最近ではカーボンニュートラルの観点から、エネルギーミックスを求める要求が強まり、再注目をされています。

しかし、炉内を均一な雰囲気温度にするための対流とエネルギー密度が高く、何かを介在せずに直接塗膜や被塗物にエネルギーを与えることができる輻射の組合せの本質は、硬化乾燥の短時間化に留まるものではないようです。

ブロック制御の考え方を簡単に説明すると下図のようになります。熱風循環炉の内部に、均等ではなく、ブロックを形成するように、赤外線ヒーターが設置されています。



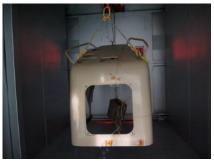
カーボンヒーターは、遠赤外線ヒーターとは違い、ヒーターのON/OFFや出力制御をほぼ瞬時に行うことができます。また発熱体は石英ガラス内に封入されているため、発熱体が炉内雰囲気に露出する遠赤外線ヒーター等とは異なり、周囲空気温度の影響により波長が変化することもありません。

37

同レポートによれば、まず粉体塗料の一般硬化条件に捉われずに、硬化仕様 (キュアウィンドウ) の範囲の中で、どの条件を選択することが自社によって、品質の観点からも、効率性の観点からも、ベストであるかを徹底的に調査したことが記されています。

約100種の被塗物について、温度プロファイルを測定したと聞きます。その測定を簡単に紹介します。 測定の様子を下に示します。







使用した炉内温度測定キットを下に示します。

被塗物に熱電対と呼ばれるセンサーを固定し、それをオーブンデータロガーに接続します。そのデータロガーは炉内の高温から断熱ボックスと熱緩衝吸収材により守られます。

断熱ボックスのみであると、ボックス内温度は直線的に上昇しますが、熱緩衝吸収材があることで、ボックス内に熱伝導で侵入してくる熱は吸収され、かなり長い時間にわたって一定に保たれます。

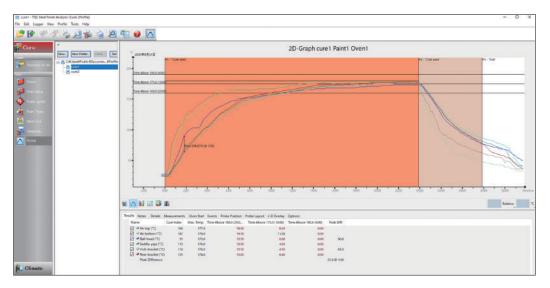
そのことにより、本システムによる測定では、室温時による精度だけではなく、実際の炉内の測定条件=ダイナミック時においても高い精度を保つと同時に、ヒートサイクルによるデータロガーの故障を抑制しています。







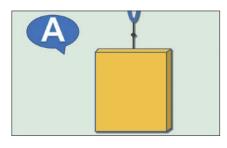
測定したデータは、PCにインストールした専用ソフトにより自動的に次に示す図のような温度グラフと基本指標が示されます。基本指標には30種類以上が用意されていますが、最高温度、指定温度によるキープ時間、ある温度からある温度まで上昇するのに要した時間(温度上昇率=ワキや発泡を引き起こす条件の調査などに有効)、キュアインデックス(硬化指数)などが代表例となります。

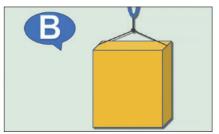


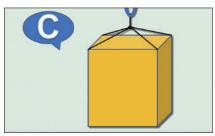
キュアインデックスは予め入力した塗料の硬化仕様から、ソフトがキュアインデックスを生成し、その測定ポイントから得られた温度・時間の組合せにより、何パーセントの硬化状態であるかを予測するものです。100を大きく超える場合には、オーバーベークやエネルギーのムダが懸念され、100を大きく下回る場合には硬化不足が懸念されます。

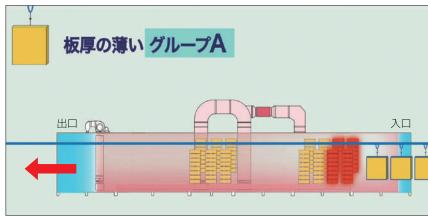
## 3 炉のエネルギーの自動制御

ブロック制御が実現できる炉と被塗物ごとにどのようなブロックの点灯パターンの時に適正な硬化塗膜が得られるかのデータの蓄積があることで、次のような自動制御が可能になります。例えば、厚みの異なる各製品を、加熱硬化に必要なエネルギーの量に応じて、3つのグループに分けます。

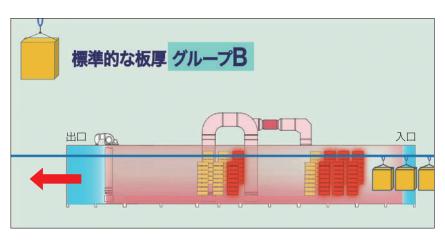




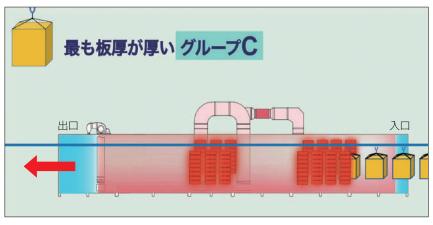




グループAは、左の図のように比較的 薄物の被塗物で、点灯するヒーターブ ロック数は少なくても十分です。 左右2ブロックずつを点灯させます。



グループBは、標準的な最も製品数の 多く、多用される条件になります。 左右4ブロックずつが点灯されます。



グループCは、最も板厚が厚い部類に 属する製品群です。

すべてのブロックが点灯されます。

小松電業所では0.1kg~80kg/個というさまざまな厚みの大きく異なる製品を、最終的には7つのグループに分け、それぞれのグループごとに最適な点灯パターンが割り当てられたそうです。

同レポートにもありますが、一般的に熱風循環炉のエネルギー効率は30%程度であると言われています。それだけに、変革の 余地がとても大きい工程でもあります。

硬化乾燥パートと言えば炉内温度管理になりがちですが、本来は製品温度管理であるべきではないでしょうか。ぜひ、製品温度プロファイルの重要性を見直していただき、CO₂削減に貢献ください。決して30%、40%削減も奇跡ではないようです。

39

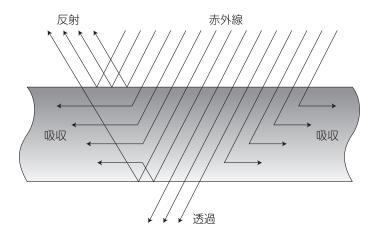
# Column

## 赤外線の加熱原理

赤外線は目的物に照射され、その物質の中で振動エネルギーとして共振吸収されます。そのエネルギーは分子(または原子) を振動させ、振動させられた分子間で摩擦熱が発生します。これが赤外線の加熱原理です。

赤外線ヒーターから放射された可視光を除く、赤外線は全て熱になりますが、全ての赤外線が対象物に吸収されるわけでは ありません。反射、透過、そしてはじめから当たらなかった赤外線は、加熱目的に対しては損失となります。

赤外線は、物質によっては内部に透過していく力があります。これは光の性質です。他の2つの加熱は表面にしか作用でき ないのに対し、赤外線は透過できる物質であれば、素材内部へ直接エネルギーを運ぶことができます。



## 赤外線ヒーターの選び方

## ■赤外線ヒーターの特徴を理解しよう

赤外線ヒーターには多くの種類があります。各種類の違いを見極め、目的の乾燥にどの種類が適しているのかを考える必要 があります。

一般に、赤外線を「波長の種類」から検討を始める傾向が強くあります。確かに赤外線ヒーターは「波長」で分類されるく らいに重要な要素ではありますが、それだけでは最適な種類は選ぶことはできません。

重要な要素を取り上げて、乾燥だけではなく、加熱も含めた一般的な赤外線ヒーターの選び方を説明していきます。

## ■要素その1:光源温度

赤外線加熱では、光源絶対温度 (T1) と対象物絶対温度 (T2) は下の式の関係があります。

温度の4乗で作用するというのは輻射加熱独特な性質ですが、単純に考えると「光源温度が高いヒーターほど強い」という 当たり前なことに戻ってきます。

大切な点は、光源温度と対象物温度の差ということです。エネルギーは高いところから低いところにしか流れません。この 差が大きいほどエネルギーが早く移動することもわかってきます。

例えば、テフロンコートを400℃まで加熱するのに、500℃の遠赤外線ヒーターを採用すると、この温度差が少ないために 目的温度に到達できない、もしくは非常に時間がかかってしまいます。それに対して1,000℃の赤外線ヒーターを採用すれば 十分なエネルギーレベルの差を有しているので、たとえ吸収波長が不利だったとしても早く加熱します。

# $\bullet E \alpha (T_1^4 - T_2^4)$

E:輻射熱伝達におけるエネルギー密度(W/m²)

T.:輻射温度(°K)

T<sub>2</sub>:対象物温度(°K)

## ■要素その2:立ち上がり性能

立ち上がり速度は、ヒーターの構造によって違います。

構造を大きく分けると、セラミックパネル型、棒状シーズヒーター型、ランプ型などに分類されます。ランプ型は秒単位の ON-OFF性能を持つのに対し、パネル型やシーズヒーターは分単位の動きとなります。

重要なのは立ち上がり時間以上に立下りに時間がかかるという点です。もし、緊急停止時に速やかにヒーターがOFFになる 必要があれば、ランプ型ヒーターが絶対条件となります。これは工場の安全性に関わる問題なので、検討の初期段階で確認し ておくべき点となります。

ランプ型ヒーターは予熱や待機状態でエネルギーの無駄を省けるので、タクトプロセスでは大幅な省エネが期待できます。

## ■要素その3:ヒーターの対流損失

赤外線ヒーターから外気に奪われる熱は、対流損失と言います。

パネル型やシーズヒーターのように輻射面が直接外気と接する構造では、外気の影響を大きく受けます。それに対し、ランプ型は石英ガラスの中に光源フィラメントを保持し、対流損失を極めて小さく抑えられます。

乾燥では風もしくは温風を流すことが重要となりますが、ランプ型は風の影響を受けずにしっかりと輻射エネルギーを作り出すことができます。

それに対してパネル型やシーズヒーターは風に熱エネルギーを大きく奪われ、熱伝達効率の劣る対流加熱へと熱エネルギーを変換することになります。乾燥プロセスでは、ランプ型を選択するのが得策と言えます。

## ■要素その4:赤外線吸収率と透過率

物質には特有の赤外線吸収率があります。

これらは加熱に対し大きく左右します。一般的には赤外線ヒーターの出力波長特性と対象物の吸収波長特性が一致することで、高効率な加熱と言われます。しかし、厚みのある機材の加熱や、塗装、コート、接着剤などの乾燥などでは、赤外線エネルギーを中に透過させると効果的な場合が多くあります。これは伝導加熱、対流加熱が表面にしかエネルギーを伝達できないのに対し、輻射加熱だけが物質の内部に直接エネルギーを与えられるからです。この特性は品質向上の鍵となる場合もあり、赤外線の選択では重要なポイントと言われています。

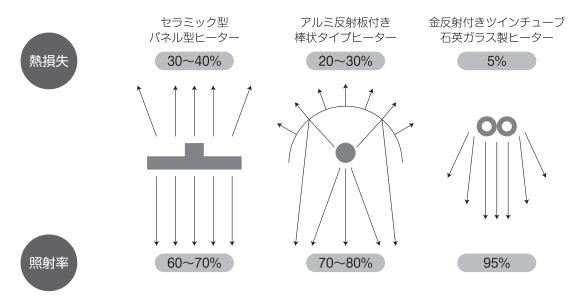
赤外線 波長を選ぶのは机上論ではわかりません。実際に比較実験してみることが大切でしょう。



## ■要素その5: 照射効率

赤外線ヒーターから輻射される光が対象物にどれだけ当たるかは、乾燥効率の大きな要素となります。 ヒーター種類によって、照射効率が異なります。

本章の資料や本コラムの出典にご協力いただいた、ヘレウス㈱の赤外線ヒーターの場合は、独自の金反射膜がヒーターに装着されており、照射率は95%を達成しています。反射板を必要とする他の製品と比べ、20%以上照射効率が高くなります。



# 第1部:自社の強みと弱みの分析

さて、小松電業所の取り組みは、最初に赤外線・熱風ハイブリッドがあったわけではない。既存の熱風炉エネルギー効率の低さへの「気づき」があり、それを気づきとして、「面積生産性を向上させる」というビジョンが浮かび上がり、その結果として、赤外線・熱風ハイブリッドに辿り着いています。たしかに、乾燥炉のコンパクト化は切り札になり得ますが、まずは自社の塗装工場の強みと課題を考察することが重要なようです。その取り組み実例からご紹介しましょう。

# ケースその1:多品種・短納期 小物~大物まで対応する塗装工場の場合

ここで取り上げる塗装工場は忙しく仕事をこなしています。忙しい工場の場合、概してそれが利益と結びついていないケースも多いと聞きます。その中には、定時+残業の能力を超えて依頼を受けてしまっており、無理な作業状況から、経費が大きくかさんでいる場合もあります。

ところがこの塗装工場の管理責任者に聞いてみると、無理な受注単価では受けておらず、そのような苦労はあまりしていない ということでした。塗装している製品の特徴は以下の通りです。

特徴① 取り扱う被塗物は量産品ではなく単品物ばかりで、いわゆる多品種小ロットの典型。

特徴② 製品が展示会、イベント用のもので、プランニングから現場取付までの納期の余裕はない。

| 塗装品のサイズが数cm~6ないし7mの大物まであり、このような広い大きさの違いに対応できる| 塗装工場は少ない。

前日に塗装工場に搬入されてきた製品を翌日には出荷していて、入荷〜出荷までのIN/OUTのサイクルが大変短くなっています。そのことが発注者側がこの塗装工場に依頼する大きな動機づけになっています。

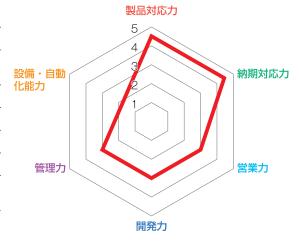
このような工場の体制になった経緯にはとても興味深いものがありました。当初は、営業力が弱く、そのために「来るものは拒まず」の精神で前向きに引き受けていたそうです。しかし、一方でそれを良しとはせずに、社内体制を徐々に整えていき、やがて依頼者側からも信頼を得るようになっていきました。

この塗装工場が依頼を受けている多品種小ロット品、あるいは一品物や大物の塗装品は、納期・輸送・管理などの面で海外生産化が難しく、内需の塗装品として今後も国内に残り、比較的に付加価値も確保されるものと予想されます。

塗装工場は、量産の自動化ラインに向かいがちですが、このような生き方も勝ち残る工場の1つのパターンであると思われます。試みに評価を5点法で表したものが、下の表とグラフです。

項目	特徴	内 容	評価(5点満点)
製品対応力	小物〜大物 まで	10cm~7mまで ほとんどが単品もの	4.5
納期対応力	即対応	半日~1.5日	4.5
営業力	受け身	数社に限定的	3
開発力	特になし	自社開発はない	3
管理力	納期管理主体	短納期処理のための管理	3
設備・自動化 能力	手吹き、 台車搬送	大物は自動搬送が困難 搬送活性示数:2	2





# ケースその2:高い技術力と顧客対応力

IT関係の部品の塗装を行っているケースです。塗装の自動化率が高く、ワークセットから完成まで無人化が図られ、作業者がジグや被塗物に触れることはほとんどありません。

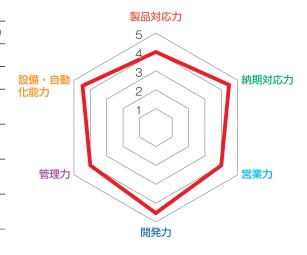
塗装はロボットを採用し、塗装パートと搬送は分け、自動移載を行うことで、搬送系への塗料の付着をなくしています。工場は管理も徹底され、高品質な塗装を行っています。清掃や整理も励行されていて、同種の塗装品を行っている他工場に比べて、製品不良率の低さが際立っています。

顧客対応力も高く、発注者側からの信頼も厚い。新製品や新塗料が導入される際には、よく相談が持ちかけられ、短期間に製品不良の解決方法や量産のための塗装条件の提示などを行っています。

自動化の高度化と短納期対応が同工場の利益を生む源となっているようです。

4

項目	特徴	内容	評価(5点満点)
製品対応力	小物	数cm~30cmまで	4
納期対応力	即対応	短納期対応	4.5
営業力	技術、 量産対応	技術力を背景とする 営業力	4
開発力	新技術の導入	前処理技術、 塗装ロボット、自動移載	4.5
管理力	塗装以外の 工程も対応	中間作業の管理力	4
設備・自動化 能力	無人ライン	クリーン化、自動化	4.5



※:評価点数はあくまで主観的なものであることをご了承ください。

この塗装工場と前出の塗装工場では、同じ「短納期対応」でも意味合いが異なります。前出の塗装工場では、塗装作業は手吹 きによる多品種小ロットへの対応であり、本塗装工場では自動量産塗装における短納期対応です。被塗物が30cm程度以内の小 物主体の量産品であるため、塗装の自動化は100%で、手吹きによる補正などの工程はありません。

したがって本塗装工場では、新製品に対する自動塗装の条件出し、さらには製品不良の少ない工程管理条件の確立の早さが、 短納期となっています。

今後も短納期処理は、塗装工場の大きな強みとなると思われます。

# ケースその3:提案型塗装工場

この塗装工場では、発注者側に積極的に提案を行うことで、受注増に結びつけています。

提案力を高めるために、国内外の展示会などにも赴き、新しい技術の情報収集に努めておられます。また、人的交流による情 報収集にも積極的で、その中から新しい塗装方法の提案ができないかを模索し、サンプルづくりを行っています。さらに他社が 行う前に、サンプルを発注側に提示しています。

自社のテストルームを発注者側の開発担当者にも貸し出し、協力してサンプルの完成度を高めるようにしています。サンプル 品が採用された場合には、もはや相見積となるケースはまれで、価格優位も保っています。

新技術が採用され、新製品として量産ラインに乗るころには、また次の提案を模索していることになります。一度や二度の提 案をすることはできても、常に新しいものを模索し、提案を行っていくその努力はたいへんなものです。

提案の方法ですが、その塗装工場の独自性に従って進め、自社の得意とする分野を積極的にアピールするのが良いようです。

項目	特徴	内容	評価(5点満点)
製品対応力	量産品	小物量産品	4
納期対応力	短納期	納期厳守	4
営業力	開発を伴う 営業	特殊品の受注	4.5
開発力	開発サンプル の提案	新技術、デザインの提案	5
管理力	量産品	新技術の立上げ、量産の 品質管理	4
設備・自動化 能力	自動ライン	自動ラインでの塗装	3

<sup>5</sup> 4 設備・自動 納期対応力 化能力 管理力 営業力 開発力

製品対応力

# ケースその4:デザイン指向の塗装工場

色彩や形状デザイン上の提案をして、業績を伸ばしている塗装工場もあります。

この塗装工場では、新しいデザインやモデルに注力し、無理に量産品を追求はせず、中程度の量産品の受注機会を自らつくり 出すことで、価格競争力を培ってきています。

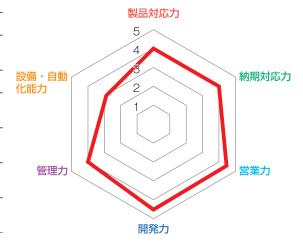
デザイン指向の塗装工場は地方においても見られ、会社規模によるメリットとは異なった特徴により、しっかしりした生き残 り戦略を描いています。

デザイン力のレベルにより、発注者側との力関係も対等化しています。

<sup>※:</sup>評価点数はあくまで主観的なものであることをご了承ください。

Æ	ī
?	
幺	Ę
46	4
t	ļ
Ų.	2
'n	ř
ľ	k
D	
и	7
_	į
Ε	,
4	ŝ
λ.	7
T	ĺ
E	
Z	L
Ε	9
-	ſ
ŧ	į
Ε	i
ø	Ī
	夕糸打分に ころをここきき

項目	特徴	内容	評価(5点満点)
製品対応力	中量産、自動車 関連部品	中量産品対応	4
納期対応力	短納期	半量産ライン	4
営業力	デザインを 含む営業	デザインの提案も含む	4.5
開発力	デザインサン プルの提供	新技術、デザインの提案	4.5
管理力	デザインの 均一性	品質、納期管理	4
設備・自動化 能力	半自動ライン	レシプロ、手吹き塗装	3



# ケースその5:独自の熱技術を塗装にも応用

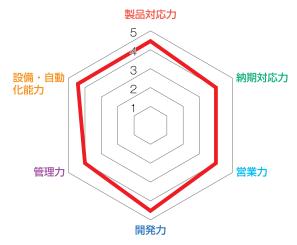
塗装を表面処理の一つとして捉え、塗装を展開している工場があります。

一般に塗装工場では硬化乾燥のための熱に関する技術を持っていますが、その対象となる温度帯は、おおむね250℃以下であ ろうと思います。しかし、この工場のベースになっている技術は「熱処理」で、焼き入れや焼き戻しなどで扱う温度帯は800~ 900℃にも及びます。

熱処理品は後工程で塗装を必要としているものも多くあります。こらに対応するために、液状スプレー塗装、静電粉体塗装、 粉体流動浸漬塗装などを行う設備を設置し、用途や要求に応じて使い分けています。塗装の品質要求は膜厚の厚い重防食から、 外観要求に厳しいものまで広くあります。

また、大型で炉内全体の昇温能力が要求される超大型被塗物の粉体塗装、高度な硬化温度管理が要求される高硬度粉体塗料、 さらには塗膜不良対策のための真空技術の応用など、同工場独自の熱処理技術による相乗効果を発揮している。

項目	特徴	内 容	評価(5点満点)
製品対応力	製品範囲が 広い	一品物から量産品まで 小型〜重量品まで	4.5
納期対応力	短納期	複数ライン	4
営業力	熱処理〜塗装 まで	同一工場での処理が可能	4
開発力	前向きな 技術導入姿勢	新技術の積極的導入	4.5
管理力	多品種管理	単品の小物〜 大型重量品まで	4
設備・自動化 能力	新設備の導入	塗装ロボット、特殊処理	4.5



# ケースその6:高効率バッチシステム

一般に塗装工場のライン構成を自動化し、自動塗装装置を導入することが、進んでいる塗装工場と思われがちで、バッチ処理 システムの塗装工場はその対極の時代遅れの感を持たれる方は多いと思います。

しかし、被塗物の条件によっては、自動化せずにバッチ処理システムを進化させることを考えた方が効率的であるケースも珍 しくはない。製品形状や形状がバラバラで一定化しない、塗装色が多い、要求塗装工程が多いなどの場合など、自動塗装には不 向きなケースもあります。

本塗装工場の例では、バッチ炉を2基保有していて、バッチ炉の回転効率を上げるための手動搬送システムを導入しています。 その搬送システムは、天井走行のX-X'-Yの3方向に手動で自由に動くように工夫してあります。さらにバッチ炉のへの搬入は炉 内7~8本のレールを敷き、どのレールを使うか自由に選べるようになっています。このため、炉内収容スペースの効率が高く、 炉の1日当たりの回転数は、フル収容で6~7ターンにも達しています。

設備の設置にも省スペースが図られていて、粉体塗装と液状塗装を自由に使い分けています。

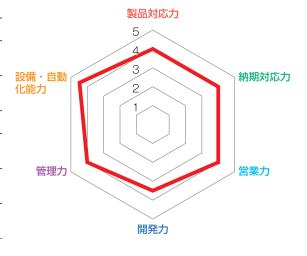
バッチ処理では、物の動き。移動をいかに効率よく行って、運搬の活性示数を上げるかがポイントになります。条件によって は、自動ライン以上の高効率を実現できている例もあります。

<sup>※:</sup>評価点数はあくまで主観的なものであることをご了承ください。

<sup>※:</sup>評価点数はあくまで主観的なものであることをご了承ください。

—
赤
Яï
ንኑ
始
級
士
泛
術に
Ma
I.T.
٠.
<b>表</b> 。
Υ.
ര
本
18
T
<del>+</del>
ネ
44
革新
<del></del>
The second

項目	特徴	内 容	評価(5点満点)
製品対応力	機械部品 板金部品	鋳物部品、機械加工部品、 板金部品など広範囲	4
納期対応力	短納期	社内組立工程に合わせて 迅速・柔軟に対応	4
営業力	社内外注	親会社と一体化	4
開発力	親会社と 一体化	親会社設計	3.5
管理力	工場内 一元管理	親会社の 組み立て工程に左右	4
設備・自動化 能力	バッチ処理	バッチ処理での 搬送合理化が進んでいる	4.5



※:評価点数はあくまで主観的なものであることをご了承ください。



ここで見てきた6つのケースでは、どの塗装工場も自身の特徴を代表する強みを持っていることがわかります。

設備面で分類すると、バッチ、半自動、全自動、と種類は多岐にわたりますが、その強みが平均レベルではなく、傑出し ているという共通点を持っています。これにより発注者側の高い評価を誘導し、仕事が集中し、高い収益力を得ています。 最近では「優れた塗装工場に仕事が集中する」という一極化の傾向が強くなっているように見受けられます。

繰り返しになりますが、最初に赤外線・熱風ハイブリッドありきではないのです。

まず自社の強みの分析とそして求める強みのビジョンを持つことが何より重要ではないでしょうか。検討される際にこの 6つのパターンを参考にしていただければと思います。もちろん、それかとどれかを組合せで考えていただいても良いと思 います。これらの塗装工場では自社の強みを先鋭化するために、巧みに赤外線・熱風ハイブリッド方式などの技術などを導 入しています。したがって赤外線・熱風ハイブリッド炉の形式も制御方法もそれぞれに特徴を有しています。

続く第2部では、バッチシステムへの赤外線・熱風ハイブリッド方式の活用も含め、さらに詳細に中身を見ていきたいと 思います。

# 第2部:強みを先鋭化するための計画と実績例

# ケースその1:既設の熱風炉をハイブリッド方式に改造したケース(例)

小松電業所の例は、新設する設備に赤外線・熱風ハイブリッドを導入したケースでした。一方で、既設の熱風炉を改造することにより効果をあげているケースも少なくありません。ここではその一例をご紹介します。

## 以下は、炉長16.0mの乾燥炉の改造の例です。

## ■既設乾燥炉改造点

No.	項目	仕 様	備考
1	炉体サイズ	16.0m (L)×3.2m (W)×3.4m (H)/保温100mmt/グラスウール	
2	炉体容積	153.6m³ (炉内ダクト分含む)/133m³ (炉内ダクト分除く)	傾斜部除く
3	温度	最高200℃ (雰囲気)	
4	バーナー	600,000kcal/hr	
5	循環ファン	620m³/min×15kW/バーナーファン1.5kW	
6	排気	炉体よりの排気なし、セッティング部よりの排気120m³/min	

## 1 既設乾燥炉改造点

改造を行う際の主な着眼点をご紹介します。なお、新設の際にもこれらの点を考慮した設計を行いたいです。

## 1) 炉内容積の縮小化

炉内の空きスペースを塞ぎ、炉内容積を少なくする。

## 2) 入口部への中赤外線ヒーターの取り付け

炉水平部入口ゾーンに中赤外線ヒーターを取り付けて、乾燥の短時間化、トータル省エネを図る。

## 3) コンベヤ長を短く

炉内コンベヤコーナー部を約6.0m短くし、ラインの1周当たりの時間を短くする。 コンベヤ長は12.0m短くなり、C.S:1.2m/分として10分短縮化される。

## 4) 炉内仕切り

コンベヤ長の短縮化に伴い、炉を6.0m短くした箇所で仕切る。

## 5) ダクト周りスペース塞ぎ

循環ダクト周りの炉内容の不要箇所を塞ぎ、炉内容積のコンパクト化を図る。

## 6) バーナー容量の見直し

上記項目での改善に伴う必要バーナー容量を計算し、見直しを行う。

## 7)循環ダクトの見直し

炉のコンパクトに伴う循環ダクトの見直しにより、不必要個箇所を塞ぐ。

## 8) 炉内仕切り(傾斜部)

炉傾斜部への仕切り取り付けて、コンベヤ中央部、炉体傾斜部に仕切りを取り付ける。

## 9) 新鮮空気取り入れ

バーナー容量ダウンに伴う新鮮空気取り入れ量の見直し。

## 10) 排気ファン

爆発下限界を十分に考慮してもなお排気風量が過多になっている。

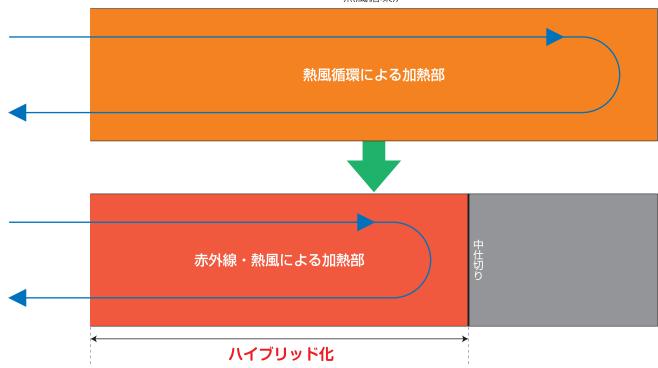
## 11) 制御の見直し

炉体容積減少に伴い、また、粉体塗装がメインであること、バーナー容量との関係でプレパージ、アフターパージタイマーの 見直しを行い、燃焼ロスを減少させる。

# 2 省工ネ計算

既設の乾燥炉とハイブリッド化した炉の加熱部の大きさを比較すると下図のようになります。





## ■省エネ計算条件表

記号	炉内仕様	現状仕様	改造仕様
q	炉容積	130m³	80m³
A	炉体表面積	258m²	170m²
T <sub>1</sub>	温度	180℃	180℃
Q <sub>1</sub>	循環ファン容量	620m³/min	320m³/min
$q_2$	排気ファン容量	120m³/min(セッティング排気含む)	<b>20m³/min</b> (セッティング排気30m³/min)
Т4	炉壁温度	45℃	45℃
T <sub>2</sub>	炉外温度	20℃	20℃
K	貫流熱損失	0.6kcal/m²h℃	0.6kcal/m²h℃
C/S	コンベヤスピード	1.2m/min	1.2m/min
W <sub>1</sub>	ワーク重量	30kg/個	30kg/個
HP	ハンガーピッチ	800mm吊りピッチ平均として	800mm吊りピッチ平均として
W <sub>2</sub>	コンベヤ他重量	10kg/m	10kg/m
Тз	リターン温度	吹き出し温度−20℃	吹き出し温度−20℃

## ■必要エネルギー容量

記号	項目	現状炉	改造炉
Q <sub>1</sub>	貫流熱損失	3,780kcal/hr	2,400kcal/hr
Q <sub>2</sub>	対流熱損失	139,892kcal/hr	72,202kcal/hr
Qз	排気熱損失	216,607kcal/hr	54,152kcal/hr
Q <sub>4</sub>	被塗物過熱	60,192kcal/hr	60,192kcal/hr
Q	合計kcal/hr	420,561kcal/hr	188,946kcal/hr
	バーナー選定	600,000kcal/hr	300,000kcal/hr

以上の条件に基づいて、ランニング費用を計算すると次表のようになります。

#### ■エネルギー費用比較

項目	現状炉	改造炉	備考
LPG使用量	1,800m³/月	674m³/月	(改造炉は予想値)
 稼働回数	22日/月	22日/月	
稼働時間	7hr/日	7hr/日	
LPG金額	280円/m³	280円/m³	24,000kcal/m³
LPG金額	140円/kg	140円/kg	12,000kcal/kg
電気使用量			
ヒーター	_	46.6kW	
電気代	18円/kW·hr	18円/kW·hr	
循環ファン	18.5kW (15.0kW)	7.5kW	乾燥炉相当容量
排気ファン	0.2kW	0.2kW	乾燥炉相当容量
バーナーファン	1.5kW	0.75kW	乾燥炉相当容量

続いて現状炉と改造炉のエネルギー費用を算出し、それを踏まえて両者を比較して見てみます。

## 1) 現状エネルギー費用

現状のエネルギー消費量 (実績値) 1,800m³/月から、平均11.7m³/時 (1,800÷154) の消費量となり、容量的には280,800 kcal/時です。

これは、必要容量42万kcal/時に対して約7割が実稼働時の使用量です。 金額計算では、

## 504.000円/月/LPG代(①)

です。

これに対し、稼働系の電気容量は20.25kWであり、この分の電気代は364.5円/時で同様、月当たりでは

## 56,133円/月(②)

となります。

①と②の合計が炉のエネルギー関係費用となります。

## 2) 改造炉エネルギー費用

改造の場合、必要エネルギー容量約19万kcal/時に対し、4万kcal/時が電気ヒーターの費用となるため、19.0-4.0=15万kcal/時がLPGバーナー側の負荷となります。

15万kcal/時は6.25m³/時ですが、実稼働での使用率を現状での約70%としてみると、 $6.25 \times 154$ (時/月) $\times 0.7 = 674$ m³/月が月当たりであり、金額的には

## 188.720円(①)

赤外線ヒーター他が55.05kW/時となり、金額的には

## 152.599円(②)

となります。

①と②の合計 341.319円/月 が月当たりのエネルギー費用となります。

## 3) エネルギー比較

エネルギー費は現状に対し、炉改造時との差553,773円-325,226円=差228,547円で、現状に比較し約40%ダウンとなりますが、改造では新設炉でないため、改造上の制約があり、エネルギー費はマイナスに見てコストダウンは30%と予想します。よって、月当たりのエネルギー費は、387,641円/月と予想します。

レイアウト上の現在のコンベヤ長は、111.6mです。

これに対し、6.0×2=12m短縮され、全長は99.6mとなります。

コンベヤスピード1.2m/分、吊りピッチ平均800mm、累積稼働時間の延長分20分とすると、完成ハンガー数は既設450ハンガーに対し、474ハンガー、24ハンガー増加分のエネルギーコストはアップしておらず、このため、1ハンガー当たりのエネルギーコストはさらに低下します。

## ■1ジグ当たりのエネルギーコスト比較

No.	項目	現状炉	改造炉	備考
1	エネルギーコスト	5,280.5円/hr	3,195.3円/hr	電気+LPG
2	コンベヤ時間	93min/1周	83min/1周	
3	ライン実稼働時間	360min/⊟	380min/日	炉点火7hr
4	コンベヤターン数	3.78ターン/日	4.5783ターン/日	
5	ジグ数	116.3ジグ/ターン	103.7ジグ/ターン	
6	完成ジグ数	450ジグ/日	474ジグ/日	
7	エネルギー費	36,963.5円/日	22,367円/日	
8	エネルギー費	82.1円/ジグ	47.1円/ジグ	
9	現状炉/乾燥炉	100%	57.3%	47.1/82.1

備考:コンベヤでの空きハンガーはないものとする。

1ジグ当たりのエネルギーコストは、炉全体では30%程度のコストダウンと金額ベースで予想し ましたが、1ジグ当たりでは実稼働時間の延長による生産性アップによりさらに42.7%までコスト ダウンします。

1ジグ当たりの エネルギーコスト

# ケースその2:既設のバッチ炉をハイブリッド方式に改造したケース(例)

バッチ乾燥炉または金庫炉と言われる乾燥炉は、塗装工場では一般的に採用されている乾燥方式です。

バッチ炉の特徴としては、省スペースであり、投入するワークの形状が自由で、処理時間、温度も自由に選定できるなどが挙 げられます。しかし、連続式のトロリーコンベヤ方式などに比較し、乾燥加熱処理ごとに被塗物を出し入れするため、生産性が 低く、エネルギーコストが高くなるというデメリットがあると一般には考えられています。これを解決する手段として、更新に 当って赤外線・熱風ハイブリッド方式を採用した例をご紹介します。

炉内収容台車を、6台収容のストレートの水平炉としました。

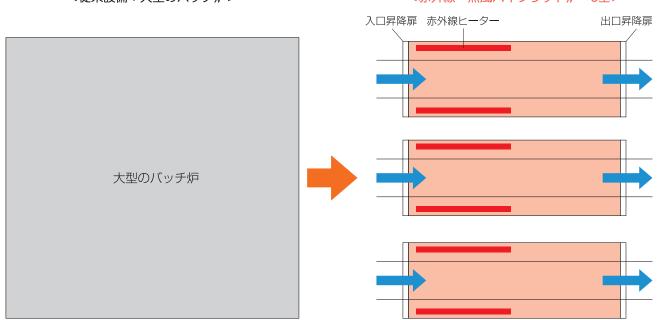
# 1 設計思想

台車に取り付けられたフックをフロアコンベヤがひっかけて、設定されたタクトタイムで炉に投入され、自動的に反対側に排 出されます。塗料は粉体塗料と液状塗料があり、しかも硬化乾燥温度や時間がそれぞれ異なります。しかも、粉体塗料も多色が あり、炉内風速によりコンタミ(粉体塗料が炉内の風で舞い色が混じる)のトラブルにも悩まされていました。

そこで、赤外線・熱風ハイブリッド炉の3基体制に変更し、それぞれに異なる温度、赤外線ヒーターの点灯条件、タクトタイ ムが振り当てられました。これにより、無駄なく、まったく異なる3つの硬化乾燥条件に同時に対応できるようになり、しかも 粉体塗料のコンタミも解消されました。

## <従来設備:大型のバッチ炉>

## <赤外線・熱風ハイブリッド炉×3基>



# 2 省工ネ計算

## ■バッチ炉での熱風炉とハイブリッド炉の設備概要

No.	項目	単位	熱風炉	ハイブリッド炉
1	炉体サイズ	m	3.3 (W)×2.0 (H)×18.0 (L) (予想)	1.9 (W)×3.3 (H)×6.5 (L)
2	炉体面積	m²	204	81
3	炉体容積	m <sup>3</sup>	76	24
4	温度	℃	180	180
5	バーナー容量	kcal/hr	20万Kcal/HR	10万Kcal/HR
6	循環ファン容量	m <sup>3</sup>	390	120
7	排気ファン容量	m <sup>3</sup>	30	20

続いて、赤外線・熱風ハイブリッド炉と熱風炉との加熱乾燥条件の比較を示します。

## ■省エネ計算条件表 (ハイブリッド炉と熱風炉の比較)

記号	乾燥炉仕様	熱風炉	ハイブリッド炉
q	炉容積	76m³	<b>24</b> m³
A	炉体表面積	204m²	81m²
T <sub>1</sub>	温度	180℃	180℃
Q <sub>1</sub>	循環ファン容量	390m³/min	120m³/min
Q <sub>2</sub>	排気ファン容量	30m³/min	20m³/min
T <sub>4</sub>	炉壁温度	45℃	45℃
T <sub>2</sub>	炉外温度	0°C	0°C
K	貫流熱損失	0.7kcal/m² · h℃	0.7kcal/m²h℃
TC	台車処理タクト	1 Omin	10min
W <sub>1</sub>	炉内収容重量	100kg	100kg
HP	台車ピッチ	3,300mm	3,300mm
W <sub>2</sub>	他重量	40kg/台車	40kg/台車
Тз	リターン温度	吹き出し温度−20℃	吹き出し温度−20℃

## ■必要エネルギー容量 (ハイブリッド炉と熱風炉の比較)

	項目	熱風炉	ハイブリッド炉
Q <sub>1</sub>	貫流熱損失	4,284kcal/hr	1,701kcal/hr
Q <sub>2</sub>	対流熱損失	51,862kcal/hr	36,101kcal/hr
Q <sub>3</sub>	排気熱損失	87,996kcal/hr	27,076kcal/hr
Q <sub>4</sub>	被塗物過熱	15,444kcal/hr	15,444kcal/hr
Q	合計kcal/hr	159,586kcal/hr	80,322kcal/hr
	バーナー選定	200,000kcal/hr	100,000kcal/hr



## ■エネルギー費用比較

項 目	熱風炉	ハイブリッド炉	備考
LPG使用量	2,047m³/月	1,032m³/月	
稼働回数	22日/月	22日/月	
稼働時間	7hr/日	7hr/日	
LPG金額	240円/m³	240円/m³	24,000kcal/m³
LPG金額	120円/kg	120円/kg	12,000kcal/kg
電気使用量			
ヒーター	_	75.6kW	
電気代	21円/kW·hr	21円/kW·hr	
循環ファン	11kW	2.2kW	
 排気ファン	0.75kW	0.4kW	
バーナーファン	0.4kW	0.4kW	
台車走行モーター	1.5kW	0.8kW	
	0.75×2kW	0.4kW	
電気容量	15.15kW	80.2kW	

## ■1台車当りのエネルギーコスト比較

No.	項目	熱風炉	ハイブリッド炉	備考
1	エネルギーコスト	13,398円/日	17,429円/日	電気ヒータ+駆動系+LPG代
2	完成台車数	24台車/日	42台車/日	
3	エネルギー費	558円/台車	415円/台車	
4	ハイブリッド炉/熱風炉	100%	74.4%	

## ■CO<sub>2</sub>削減効果

項目	熱風炉	ハイブリッド炉	備考
LPG使用量	2,047m³/月	1,032m³/月	
LPG使用量	4,094kg/月	2,064kg/月	
電気使用量 CO <sub>2</sub> 負荷	2,333kw/月	12,350kw/月	
プロパン	3.0kg/kW·hr	3.0kg/kW·hr	
電気	0.36kg/kW·hr	0.36kg/kW·hr	
LPG · CO <sub>2</sub>	12,282kg/月	6,192kg/月	
電気・CO <sub>2</sub>	840kg/月	4,446kg/月	
CO <sub>2</sub> 合計	13,122kg/月	10,638kg/月	LPG・CO2+電気・CO2の合計
CO2削減量	▲2,494kg/月	_	
CO2削減量	100%	81%	

バッチ炉への赤外線・熱風ハイブリッド方式の応用により、エネルギーコスト では熱風炉に比較し、25%の削減効果でした。ヒータの制御は、台車・ワークが ない場合はヒータをOFFにすることが可能ですので、実際の運用では、約40%に なっています。

CO2の削減も、ハイブリッド炉は熱風炉に対し8%程度ですが、コンパクト化、 省スペース化、実稼働時間の延長などの効果を総合すると、実際の運用における 赤外線・熱風ハイブリッドの導入効果は大きくなります。

1台車当たりの エネルギーコスト ダウン!!

CO<sub>2</sub>排出量 削減!!

# 第3部:乾燥炉の革新の成果を塗装工場全体に拡大する

## 塗装をシステム的発想で捉える

塗装工場で一般的に用いられているトロリーコンベヤラインにおいて、乾燥炉に赤外線・熱風ハイブリッド方式を導入し、さらにその発想をライン全体に展開するという、塗装ラインをシステム的発想で捉え、トータルで大きな省エネ、高生産性、CO₂削減を実現した例をご紹介したいと思います。

## 1 第1ステップ:乾燥炉のハイブリッド化

ここでご紹介する塗装ラインは、化成処理→水切乾燥→粉体塗装→乾燥の標準的ラインです。

乾燥炉にはLPGバーナーによる熱風循環方式に、中赤外線ヒーターを付加したハイブリッド方式を採用しました。ハイブリッド化と効果としては、これまで紹介してきたように

- 1 乾燥炉のコンパクト化
- 2 実稼働時間の延長
- 3 省エネ
- 4 ランニングコストの低減

などが挙げられます。

## 1) 各乾燥炉の必要エネルギー量

計画した塗装ラインの計画条件に基づく、水切乾燥炉と粉体塗料の乾燥炉の必要エネルギー量を下表に示します。

#### ■必要エネルギー量

	項目 水切り乾燥炉		粉体塗料用乾燥炉	
		水切り乾燥炉	ハイブリッド炉	熱風のみの場合
Q <sub>1</sub>	貫流熱損失	1,068kcal/hr	1,620kcal/hr	4,320kcal/hr
Q <sub>2</sub>	循環風熱損失	39,012kcal/hr	43,331kcal/hr	58,864kcal/hr
Qз	排気熱損失	26,008kcal/hr	49,811kcal/hr	81,227kcal/hr
Q <sub>4</sub>	被塗物加熱	22,440kcal/hr	44,880kcal/hr	_
Q	合 計	88,528kcal/hr	139,642kcal/hr	_
	赤外線ヒーター容量	_	67.2kW	_
	バーナー選定	100,000kcal/hr	200,000kcal/hr	300,000kcal/hr

バーナー容量は、水切り乾燥炉は100.000kcal/hr。

粉体塗料用の乾燥炉は昇温時間を短くしたいという要請により、200,000kcal/hrとしました。

## 2) 乾燥炉のコンパクト化

処理ワークが比較的薄物であったことから、中赤外線ヒーターを炉の入口昇温部に設置し、昇温時間の短縮化を実現することで、乾燥炉のコンパクト化を図りました。

熱風のみの乾燥炉での炉内長は約30mと見積られていたのに対し、ハイブリッド炉では22mと8mの短縮が図られましたが、 Uターン炉で計画されていたため、炉体長は約4mコンパクト化されることになりました。

## 3) ラインの実稼働時間の延長

炉のコンパクト化に伴い、着荷から脱荷までの所要時間は8分間が短縮されました。

さらに乾燥炉がコンパクト化されたことにより、始業時の炉の立ち上げ(昇温)に必要な時間も短縮され、8分間の時間短縮に加わり、トータルで14分間以上/日の実稼働時間が延長されました。

この結果、コンベヤスピード1.2m/分、ハンガーピッチ300mmが基本条件でしたので、ライン1回転当り12治具分の処理能力アップに結びつきました。

## 4) 省エネ

省エネは、乾燥炉のコンパクト化、実稼働時間の延長に加え、塗装ライン全体のシステム的発想による省エネが図られ、さらに大きな効果をもたらしています(具体的には54ページの表を参照ください)。

## 5) ランニングコストの低減

1ジグまたはワーク当りのエネルギーでのランニングコストも低減しています(具体的には54ページの表を参照ください)。

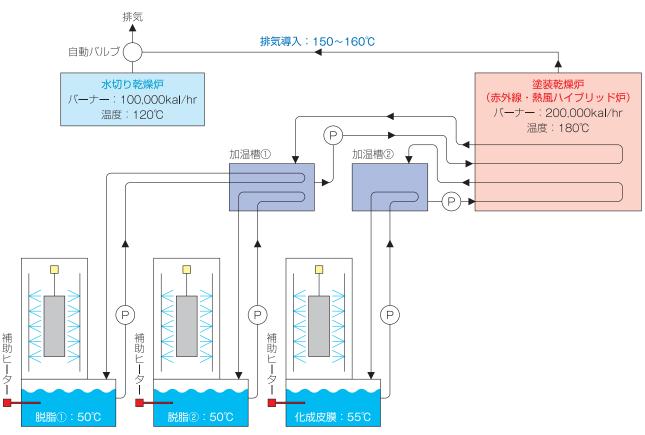
## **1** 第2ステップ:塗装ラインのシステム的省エネ

塗装ラインの設備は、前処理、塗装、乾燥炉、搬送装置と単独で、個々に計画する例が多いようです。しかし、現在私たちが 社会から求められている高次元の省エネ・環境性能に応えていくためには塗装ライン全体をシステム的にとらえた発想での計画 が不可欠になると思います。具体的にみてきましょう

## 1) 乾燥炉のハイブリッド化と排熱利用による省エネ

塗装乾燥炉をハイブリッド化し、コンパクトにしました。その乾燥炉の排熱および炉内の熱を利用して、システム的に省エネ を図ることにしました。そのコンセプトを下図に示します。

## ■赤外線・熱風ハイブリッド炉の排熱と炉内熱の利用システム図



続いて、乾燥炉のハイブリッド化、さらにはシステム的省エネによる効果を下表に示します。

## ■乾燥炉エネルギー費用

	-T D	1.17.6 +619.17	粉体塗料用	乾燥炉	l++ +/
No.	項目	項 目 水切り乾燥炉		熱風のみの場合	備考
1	稼動時間	8.0hr/日	8.0hr/日	8.0hr/⊟	
2	稼働日数	22日/月	22日/月	22日/月	
3	LPG使用量	440(1,056)kg/月	1,179kg/月	2,500kg/月	( )内:排熱利用なしの場合
4	LPG金額	130円/kg	130円/kg	130円/kg	
5	赤外線ヒーター容量	_	47.0 (35.25)kW/hr	_	( )内:制御によるヒーター使用の場合
6	電気代	18円/kW	18円/kW	18円/kW	
7	循環ファン容量	3.7kW	5.5kW	7.5kW	
8	排気ファン容量	0.4kW	0.4×2kW	0.4×2kW	
9	バーナーファン容量	0.4kW	0.75kW	0.75kW	
10	LPG金額	5.72(13.73)万円/月	15.33万円/月	32.5万円/月	( )内:排熱利用なしの場合
11	電気代	1.43万円/月	13.4万円/月	2.87万円/月	
12	電気使用量	4.5kW/hr	42.3kW/hr	9.05kW/hr	
13	電気使用量	792kW/月	7,445kW/月	1,592kW/月	
14	水切り炉+乾燥炉計	_	35.85 (43.9)万円/月	42.5万円/月	( )内:排熱利用なしの場合
15	エネルギー比	_	84.3%	100.0%	熱風炉100に対し
16	合計(排熱利用なし)	7.15 (15.2)万円/月	28.73万円/月	35.37万円/月	LPG金額+電気代

なお、前処理に用いる液の加温には一般的にボイラー熱を利用することが多いですが、今回はシステム的熱利用により、ボイラーは使用しなくて済んでいます。これによる省エネ、特にCO<sub>2</sub>排出の削減効果は大きいものがありました。

水切り乾燥炉の熱は、粉体塗料用の乾燥炉の排気熱により賄うこととし、ほぼ粉体塗料用の乾燥炉のバーナーのパイロットのみで水切り乾燥炉が稼働しています。

## 2) LPG使用量

水切り乾燥炉のLPG使用量は乾燥炉の排熱利用により、水切乾燥炉での必要エネルギーは9万kcal/hrですが、ランニング時の負荷をバーナー容量の80%=7.2万kcal/hr、これに対し排気熱での利用の場合は、5万kcal/hrが利用できるため、不足分はわずかとなり、粉体塗料用の乾燥炉のバーナーのパイロット程度のエネルギー使用で稼働できることになります。48kg/日が必要とされていましたが、実際の使用量は20kg/日程度となり、約60%省エネとなっています。

対流のみで加熱する熱風単一炉の場合は19万kcal/hrが必要となり、その熱源はLPGのみとなりますが約32万円/月と試算され、実際のハイブリッド炉では15万円/月程度に留まります。

## 3) ハイブリッド粉体塗料用乾燥炉

粉体乾燥炉の必要エネルギー量は14万kcal/hr、ランニング時の負荷は85%=12万kcal/hrとなります。この時のLPG使用量は10kg/hr、1日当り80kg/日/8hrとなります。

一方で炉に設置された中赤外線ヒーターの全電気容量は67.2kwですが、実際にはゾーン制御やワーク検知による制御が行われるため、現実の負荷は60%程度で、表中にあるように40.32kwとなります。この分が熱に変わるため、バーナーの必要熱量から差し引かれることになります。40.32×860≒3.47万kcal/hr分が赤外線ヒーターにより炉内に供給される熱として差し引かれますので、12万−3.47万=8.5万kcal/hr=7.1kg/hr/LPG、一日当りは56.8kg/日/LPGの使用量となります。

LPG使用量は炉のハイブリッド化により、約30%減少しています。なお、CO2の排出量を考えるときにはヒーターに用いられる電気の発電時のCO2分がこれに付加されることになります。

#### 4) CO2削減効果

出されるCO2の削減は、現在の塗装工場にとって最大のテーマの1つになってきています。

熱風のみの炉と赤外線・熱風ハイブリッド炉を比較した値を下表に示します。

ハイブリッド炉では電気ヒーター分の $CO_2$ が2965kgあり、熱風のみの炉に比較して多くはなりますが、一方でLPGの燃焼により排出される $CO_2$ は熱風のみの炉の10668kg/ $CO_2$ に対してハイブリッド炉では4857kg/ $CO_2$ となり、トータルで考えると、熱風のみの炉の11526kgに対してハイブリッド炉は7822kgとなり、約70%に削減されています(約30%の削減効果)。

#### ■CO₂削減効果

No.	項目	熱風のみの炉	ハイブリッド炉	備考
1	水切り炉LPG使用量	1,056kg/月	440kg/月	22日/月、8hr/日
2	乾燥炉LPG使用量	2,500kg/月	1,179kg/月	
3	電気使用量	2,384kw/月	8,237kw/月	
4	CO2負荷係数 電気	0.36kg/kw·hr	0.36kg/kw·hr	
5	CO₂負荷係数 プロパン	3.0kg/kg·LPG	3.0kg/kg·LPG	
6	LPG CO2	10,668kg/月	4,857kg/月	
7	電気 CO <sub>2</sub>	858.2kg/月	2,965.3kg/月	
8	CO <sub>2</sub> 合計	11,526.2kg/月	7,822.3kg/月	
9	CO2H	100%	67.9%	熱風炉100に対し
10	CO2削減量		△3,704kg/月	

一方システム的省エネにより、ほぼこれに約50%程度CO₂は削減され、ハイブリッド炉の発想を塗装ライン全体に拡大し、システム的省エネを図ることによる改善効果は大きなものがあります。

今後は、単体設備での省エネ、コンパクト化、高生産性、実稼働時間の延長、CO₂削減、コストダウンなどの要求に応えることには限界があり、塗装ライン全体のシステム的な発想からの解決が要求されると考えられます。

乾燥炉の熱源の変更のみならず、塗料面や塗装機器面も含めた総合的な見直 しが要求されていると考えるべきだと思います。 乾燥炉の エネルギーコスト **15.7**% ダウン!!

CO<sub>2</sub>排出量 **32.1**% 削減!!

MEMO	

# 第3章



# 新たなる塗装工場への変身~赤外線以外の挑戦~



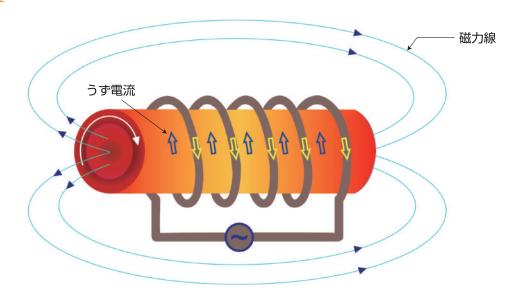
# 画期的なIHによる加熱

## でも塗装に応用するには大きな課題が…

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。

「電磁誘導」は、金属の近くで磁石を動かすことで電気が生じる現象のことを言います。この原理を使って加熱をする方法です。IHという言い方は、電磁誘導加熱を意味する英語のInduction Heatingを略したものです。

#### ■誘導加熱の原理



交流電源につながっ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、その金属の表面付近には磁束の変化を妨げる向きに高密度のうず電流が流れます。これを電磁誘導といいます。金属には電気抵抗があるため、「電力=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言います。

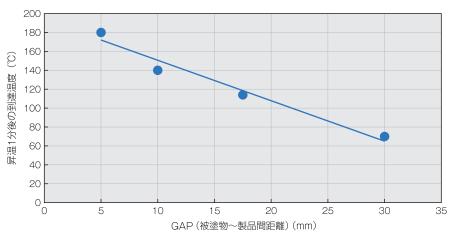
この方法で加熱すると、製品を秒単位で100℃あるいは200℃以上に加熱することができます。私たちの身近な製品で、この原理を活用したものがあります。IHクッキングヒーターです。

さて、この画期的な加熱方法を塗装に利用しようとすると、まず大きな課題に直面します。それは、IHコイルからの距離により温度が変わってしまうという点です。

下図は面型コイルを使用して、鉄板を昇温させた実験の例です。出力は一定です。グラフのプロットは昇温1分後の鉄板温度を示しています。IHコイルから鉄板までの距離が5mmの場合では180℃以上に昇温しているのに対して、距離10mmでは140℃と40℃の低下を示し、距離30mmでは80℃未満と100℃以上の低下を示しています。

また、板厚の厚い製品でも短時間に加熱することができますが、逆に薄い製品では温度が上がりすぎるという問題もあります。このため、IHの技術はなかなか塗装分野には活用されにくいままでした。

## ■IHコイル〜製品間距離の依存性



第3章では、「この課題に果敢に挑戦し、克服策を編み出した株式会社スガコーディングスの取り組み」をご紹介します。

56

# IHコイルの**フレキシブル化**

# フレキシブル化 その1:IHコイル位置の自動可変

IHコイルからの距離により温度が変わってしまうという課題を解消するため、コイルのフレキシブル化を実現しました。 配置されたコイルにそれぞれ電源を供給すると、双方で電界に大きな影響を及ぼすことから、コイルは一筆書きにすることが 必須となります。そのため、銅線を通した柔軟性のあるフレキ管で両側のコイルをつなぎ、コイル間隔を自由自在に変更できる ようにしています。

これにより製品の通過幅に応じて、コイルの位置を自動で変更することができます。

## ■製品のサイズに応じて自動可変するコイルの一例

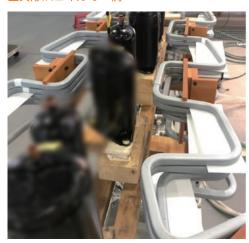


※加熱対象製品の写真は、形状を不鮮明にしています。

# フレキシブル化 その2:異形のIHコイルの実用化

加熱したい箇所だけを所定の温度に近づけるため、ワーク形状に合わせた異形のIHコイルを製作し、複雑な形状のワークにも対応可能にしました。

## ■異形IHコイルの一例







# 58

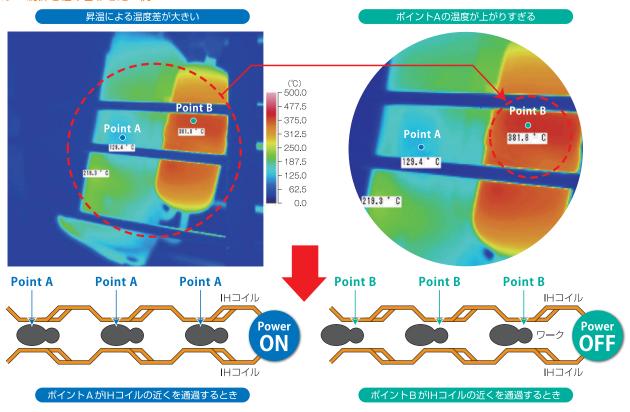
# フレキシブル化+**パワー制御** (パルス・ON/OFF)

## 電源のON/OFFで適所に加熱

課題は昇温による温度差が大きいことでした。

そこで、異形のIHコイルを製作し、加熱したい部分が近くを通過する時はON、加熱を抑制したい部分が通過する時はOFFにする、パワー制御することで安定的な温度の均一化が可能となりました。

#### ■パワー制御を組み合わせた一例



赤外線以外の塗膜硬化方法

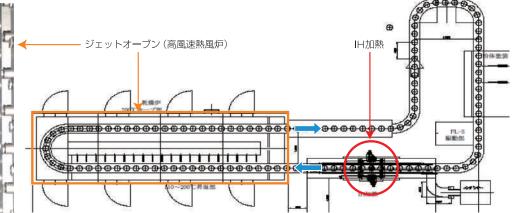
# フレキシブル化+パワー制御+**ジェットオーブン**

# ジェットオーブンとの組み合わせで温度差を均一に

IH加熱後に高風速の対流を製品に当てることにより、温度差を均熱化するとともに、反応に必要な時間を確保します。これにより塗装ラインの全長は35m(一般的な熱風炉のみでは120m)となり、大幅なライン短縮が実現可能です。



■ジェットオーブンを組み合わせた一例



# 検討~導入までの流れの一例(安心と信頼性の確保)

# 加熱テストの実施

加熱対象製品を用いて、誘導加熱による加熱テストの実施方法の流れを紹介します。

## STEP 1

塗装後,設備コイル を使用して温度上昇 を確認

## STEP 2

シミュレータによる 解析や設備コイルを 使用して温度均一化 の検討・テスト実施

## STEP 3

試作コイルを製作して、温度上昇を確認

## STEP 4

専用コイルを設計お よび製作して、最終 確認の実施

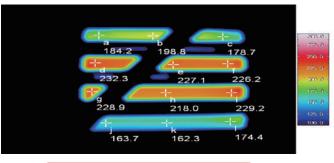
## STEP 5

導入,制約~立ち上 げ,検収

## 1 STEP 1:予備実験用のIHコイルを用いて、昇温基礎データを作成

ますは、加熱させたい塗装対象製品を用いて、実験用のIHコイルを使用して、ワークの昇温基礎データを収集します。

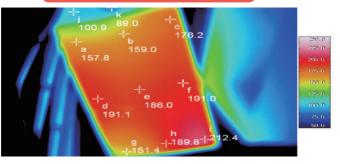
## サーモグラフィー温度分布<前面>



#### 塗装対象製品とコイルの位置関係<前面>



サーモグラフィー温度分布<側面>

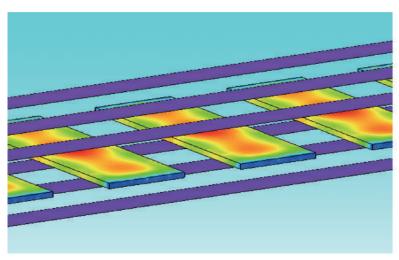


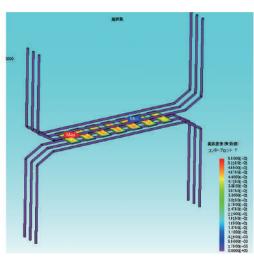
塗装対象製品とコイルの位置関係<側面>



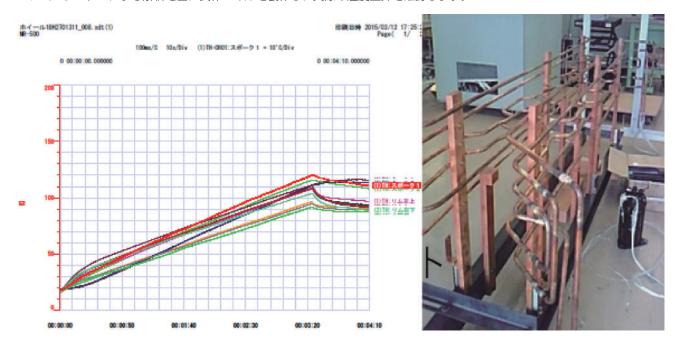
# 2 STEP 2:シミュレーターによる解析

提供された塗装対象製品をどのように加熱すれば最適な硬化乾燥が可能になるのか、専用のシミュレーターによる解析や設備コイルを使用して温度均一化の検討、テストを実施する。



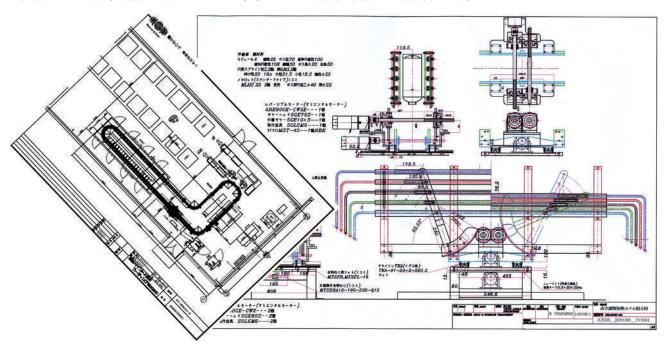


シミュレーターによる解析を基に試作コイルを製作し、実際の温度上昇を確認します。



# 4 STEP 4:専用コイルの設計、製作、最終確認

試作コイルで所期の結果が確認できたら、専用のコイルを設計、製作し、最終確認を実施します。



# 5 STEP 5:導入、成約~立ち上げ、検収

いよいよ専用コイルを導入します。

実際に現場での検収、立ち上げを行い、成約完了とな ります。



# IHならではのこんな利便性もあります

# 銅製のジグで簡単はく離

多くの塗装工場で製品ジグに付着した塗料のはく離で苦労されています。これは銅で製作されたジグです。

銅はIHで加熱しても鉄に比べて温度の上昇がとても遅い金属です。IH加熱後でもジグに付着した粉体塗料にブローエアを当てると簡単に除去できます。

また、加熱直後でもジグは熱くならないので(製品は熱いので注意)、安全性の高いジグです。この銅製ジグを使用している会社では、最初に使用してから20年以上変えることなく半永続的に使用しています。

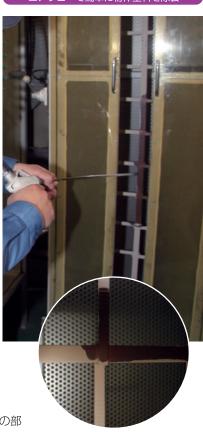
#### 銅製のジグを製作します



#### IH加熱後もジグには触れます

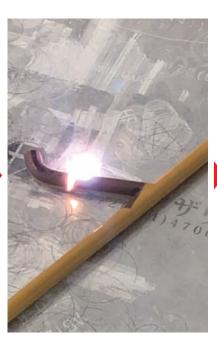


エアブローで簡単に粉体塗料を除去



それでも、製品に接する先端部分だけは粉体塗料が溶融して付着してしまいます。この部分はレーザー技術を利用してはく離することができます。







61

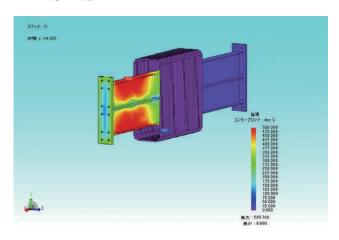
# 第3章 新たなる塗装工場への変身

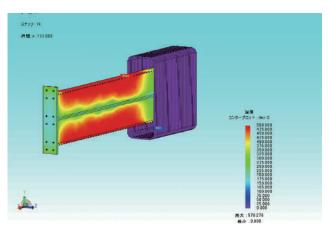
# IH技術の**導入効果**

# 適用例と導入効果

IHの技術を利用すると例えばこのシミュレーターが示しているように、重い建物を支えるH鋼のような厚いものでも短時間に 温度を上げることが可能です。

また一方で、出力を制御することで温度を徐々に上げることも可能になってきています。しかし、IHの特長を最大限に生かす ためには、やはり熱風循環炉では製品温度がなかなか上がらない、あるいはスペースがなく徐々に温度を上げる余裕がないと いった用途に適します。





また、塗料は急速加熱が適した粉体塗料や電着塗料の方がメリットを出しやすいようです。しかし、塗装後のセッティングを 注意することにより塗膜中の残留溶剤を管理することで、溶剤型塗料への適用を行った事例もあります。

加熱硬化ゾーンを極端にコンパクトすることで、期待以上の設備のコンパクトが実現しています。また、直接製品を加熱する ことができるので、例えば鉄素材で実験を行ったところ、熱変換効率は70%に迫りました。

乾燥工程にIH技術を導入することで、省スペース、省エネルギーそしてCO2の削減を進めませんか?







付録



# 赤外線・熱風ハイブリッド炉/誘導加熱 導入事例の紹介



# 赤外線・熱風ハイブリッド炉の導入で、 炉のコンパクト化、省エネルギー、CO₂削減を達成、 乾燥時間の短縮で生産性が向上。

株式会社更科製作所では、主に屋外で使用される換気部材のワークに耐候性・防錆性能を付与する粉体塗装の工程において、乾燥効率の向上を図るため、赤外線とガス熱風との併用によるハイブリッド方式を採用。炉長のコンパクト化により、生産効率の向上と大幅な省エネを実現しました。

## ● 株式会社更科製作所の概要

株式会社更科製作所は、昭和35年に個人企業として板金プレス業を開始。昭和51年に㈱更科製作所を設立しました。平成11年に換気フードの製造・販売事業を開始し、平成17年には換気フードをメーカー直販で全国展開し、現在の販売体制を構築。そんな中、平成28年に塗装工程の内製化に伴い小関工場を竣工しました。

主な事業内容は、創業以来長年培ってきた高度な加工技術をベースに、金属プレス加工、スポット溶接加工、換気フードの開発・製造・販売、ハウスウェア、キッチンウェア、カメラ用精密部品、音響製品用精密部品、各種容器類の製造など、多種多様な金属製品を世に送り出しています。

## ● 導入目的と採用の決め手

換気フード部材の塗装乾燥プロセスにおいて、乾燥時間を短縮し、生産効率の向上を図るため、同社では粉体塗装ライン新設時に、①硬化炉のコンパクト化、②省エネルギー、③生産性の向上、④CO₂排出量の削減について、電気(中赤外線)とガス熱風併用によるハイブリッド炉と、一般的な熱風循環炉との比較検討が綿密に行われました。

その結果、乾燥設備をコンパクトにすることで乾燥時間が短縮されることから、生産効率の向上、大幅な省エネ、エネルギーコストの削減が見込まれるとして、赤外線・熱風ハイブリッド炉の採用となりました。

# ● 導入効果

炉の前半部には、左右3箇所ずつ、計24本の中赤外線ヒーター(1.75kW/本製)を設置。所定温度までの昇温時間を短縮すると共に、安定的かつ迅速にワークは加温されます。プレヒートされたワークは、すでに所定の焼き付け温度近くに達しているため、バーナー部の入口側・出口側で温度差が少なく、安定した焼き付けが可能となります。

主な導入効果は、

## ●炉のコンパクト化

一般的な熱風循環炉と比較して、熱風炉:336m<sup>2</sup>、ハイブリッド炉:144m<sup>2</sup>で、**57%の省スペース**を実現。

#### ●乾燥時間の短縮

炉長を短くしたことで、熱風炉:45分、ハイブリッド炉30分で、**炉内滞在時間を15分短縮**。

#### ●省エネルギー

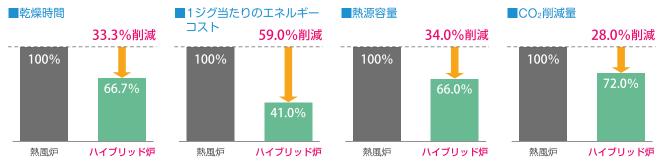
電気の併用により、熱風炉:383kW、ハイブリッド炉 (209kW+ヒーター42kW):251kWで、**バーナー容量を34%削減**、省エネルギーを達成。

## ●エネルギーコスト削減

1ジグ当たりのエネルギーコストは、熱風炉:28.3円/ジグ、ハイブリッド炉:11.7円/ジグで、**59%削減**。

#### ●CO<sub>2</sub>削減

乾燥工程におけるCO<sub>2</sub>排出量は、熱風炉:8.5t-CO<sub>2</sub>/月、ハイブリッド炉:6.1t-CO<sub>2</sub>/月で、**28%削減**を達成。



※月刊『塗装技術』2019年5月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.13」より抜粋



粉体塗装ラインの概要



粉体塗装

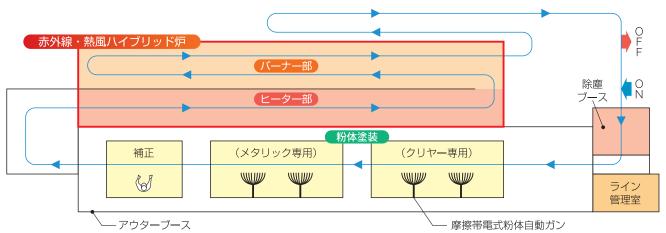


中赤外線によるプレヒート

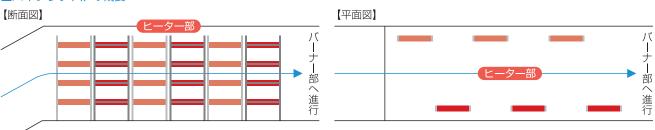


中赤外線ヒーター制御部

## ■ハイブリッド炉を組み込んだ粉体塗装ラインの概要



## ■ハイブリッド炉の概要



# 中赤外線を配したハイブリッド乾燥システムで、 粉体塗装ラインのコンパクト化を実現。 炉の熱・廃熱の有効活用で、工場全体の省エネも達成。

株式会社北浦工業の塗装部門を担う野田塗装 (CAL) では、金属部品の粉体塗装焼き付け乾燥工程において、ガス熱風に加えて加熱効率の高い「中赤外線」を配したハイブリッド炉を導入。乾燥炉 (粉体塗装ライン) のコンパクト化、生産効率向上を達成した。また、ハイブリッド炉の熱を前処理液の加温に、廃熱を水切り乾燥炉の熱源に有効活用しており、塗装工場全体の省エネに大きく寄与しています。

## ● 株式会社北浦工業の概要

株式会社北浦工業は、昭和36年に東京都荒川区に北浦工業を設立。昭和59年に㈱北浦工業に改組し、設立。金属プレス加工に特化してきました。しかし、平成26年に金型製作を行う㈱共立工業を、平成29年には塗装・組み立てを行う㈱北浦工業 野田塗装を設立。金型製作〜金属プレス加工〜塗装〜組み立て〜出荷までの生産工程を内製化し、一貫生産体制を構築、生産効率の向上、安定的な品質および納期の確保を確固たるものとし、ユーザーからの高い要求に応え続けています。

主な事業内容は、ユニットバスや屋根、体育館用の内壁や床などの建築用部品、フェンスやガードレール用部品、文具、パワーステアリング油圧部品やブレーキドラム用補助部品などの自動車部品、ヒートシンクなどの電気部品、オフィス家具用部品、束金物など200種類以上にも及ぶ部品の塗装を粉体塗装を中心に行っています。

# ● 導入目的と採用の決め手

野田塗装設立の際、居抜き物件をそのまま使用することとなったため、限られたスペース内に塗装ラインを構築する必要がありました。特に、焼き付け乾燥炉は山形にして十分な炉長を確保できないことから、炉長を短くする必要がありました。そこで、短時間で所定の温度に昇温させ、効率的な塗膜硬化を実現させるために、電気 (中赤外線) とガス熱風併用によるハイブリッド炉の導入検討が行われました。

その結果、乾燥設備をコンパクト化を実現、塗装ラインの設置スペースを確保しました。また、ハイブリッド炉からの熱および廃熱を塗装前処理工程に有効活用することで、工場全体の省エネも達成できることから、赤外線・熱風ハイブリッド炉の採用となりました。

# ● 導入効果

炉の前半部には、左右3箇所ずつ、計36本の中赤外線ヒーター(1.4kW/本製)を設置。ガスバーナーと併せて短時間で所定温度に昇温させ、効率的な塗膜硬化を実現しています。また、硬化炉の出入口を二重にし、エアカーテン設け、炉の形状をコの字ではなく同一炉内で折り返し構造にすることで、熱効率を上げる工夫も行っています。

主な導入効果は、

## ●炉のコンパクト化

一般的な熱風循環炉と比較して、約30%の省スペースを実現。限られたスペースに塗装ラインの収容が可能となりました。

#### ●乾燥時間の短縮

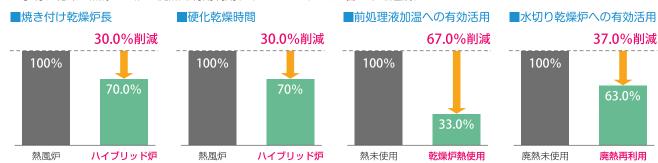
炉長を短くしたことで、熱風炉:17分、ハイブリッド炉12分で、**炉内滞在時間を5分短縮**。

#### ●前処理液加温による省エネルギー

前処理液の加温にはボイラーを使用せず、炉の熱を有効利用することで、67%の省エネを達成(補助ヒーターを併用)。

#### ●水切り乾燥炉への廃熱利用による省エネルギー

水切り乾燥の熱源に、炉の廃熱を有効利用することで、37%の省エネを達成。



※月刊『塗装技術』2021年6月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.20」より抜粋

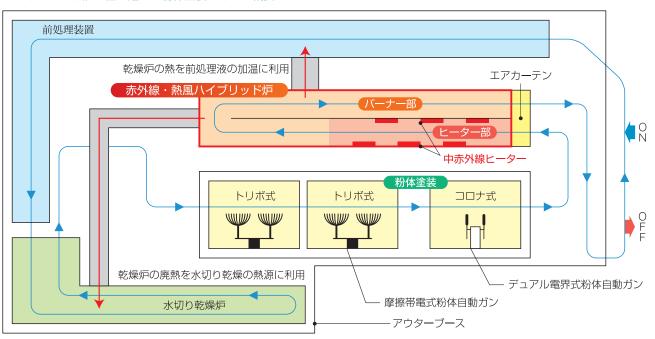




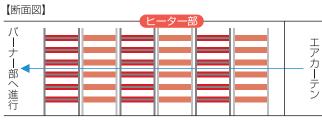
炉の前半は中赤外線による硬化乾燥

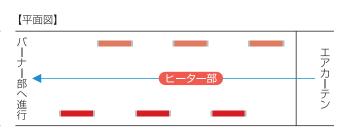
粉体塗装

## ■ハイブリッド炉を組み込んだ粉体塗装ラインの概要



## ■ハイブリッド炉の概要





# 赤外線・熱風ハイブリッド炉の導入で、 省スペース、省エネルギー、生産効率の向上を達成。 限られた設置スペースで最適な乾燥システムを構築。

株式会社マインの妻木工場では、中国で実施していたアルミダイカスト関連の塗装、樹脂の射出成型品の塗装内製化に伴い、移転した物流センター跡地にアルミダイカスト成型ラインおよび樹脂・金属製品の塗装ラインを新設しました。しかし、限られた設置スペースに塗装ラインを構築する必要があり、設備のコンパクト化が求められたことから赤外線とガス熱風との併用によるハイブリッド方式を採用。乾燥炉長が短くなったことからスペースの問題をクリアすると共に、乾燥時間短縮による省エネと生産効率の向上を達成しました。

## ● 株式会社マインの概要

株式会社マインは、昭和50年にミドリ産業として創業。平成3年に㈱マインに社名を変更しました。平成9年には中国福建省に中国アモイ工場を設立。平成27年にフードケースの生産をメインとした岐阜工場の稼働を開始。令和2年に前年に移転した物流センター跡地に、アルミダイカスト成型機および樹脂・金属製品用ロボット塗装設備を導入しました。

主な事業内容は、紙製品(紙すき鍋、耐油天紙、懐敷など)、フィルム製品(フードケース、グルメ皿、懐敷など)、樹脂製品(トレー、箸、メラミン食器、耐熱皿など)、金属製品(ステンレス製鍋、グリル鍋など)のほか、電磁調理器対応製品、木製品、グルメ石などの企画立案・製造・販売を行い、食の「安心」と「安全」を最優先に社内一貫生産体制を確立しています。

# 🧼 導入目的と採用の決め手

アルミダイカスト関連の塗装、樹脂の射出成型品の塗装を中国アモイ工場で行っていましたが、設備の老朽化、中国経済の発展に伴う人件費、運送費、諸経費の高騰、労働力の質の低下、生産管理体制の不備による不良率のアップなど、多くのデメリットが顕在化していたため、日本への生産移管が検討されました。当初、外注での塗装も考えましたが品質・コスト面を考慮して内製化へと踏み切りました。しかし、工場内の設置スペースが限られていたこと、生産効率の向上が求められたため、昇温速度が速い中長波カーボンヒーターとガス熱風併用のハイブリッド炉の導入が検討されました。

その結果、乾燥時間の短縮による生産効率の向上、省スペース、省エネを達成できるとして、赤外線・熱風ハイブリッド炉の 採用となりました。

# ● 導入効果

炉の前半部に、上部左右2列×9セット×2本の計36本の中波長カーボンヒーター (1.0kw/本) を設置。焼き付け温度が低ければ中波遠赤でも良いが耐熱塗装のため高温が必要なことと、昇温速度が2~3秒と早いため、中波長カーボンヒーターが採用されました。

主な導入効果は、

#### ●設置スペース

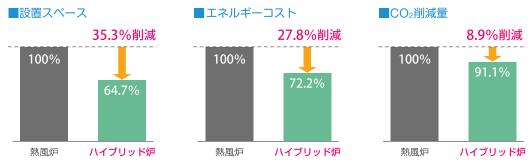
一般的な熱風循環炉と比較して、熱風炉: 15.75m (塗装ライン全長: 37.7m)、ハイブリッド炉: 9.8m (塗装ライン全長: 31.2m) で、設置スペース比で**35.3%の省スペース**を実現。

## ●エネルギーコスト

一般的な熱風循環炉と比較して、27.8%のエネルギーコスト削減を達成。

#### ●CO<sub>2</sub>削減

CO<sub>2</sub>排出量は、熱風炉:7,284kg-CO<sub>2</sub>/月、ハイブリッド炉:6,639kg-CO<sub>2</sub>/月で、**8.9%削減**を達成。



※月刊『塗装技術』2020年6月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.18」より抜粋



ハイブリッド炉の概要



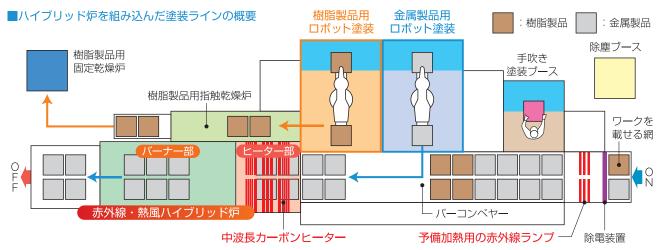
中波長カーボンヒーター



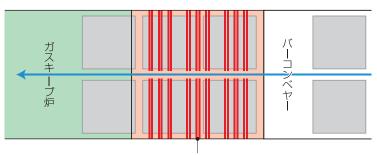
ロボット塗装



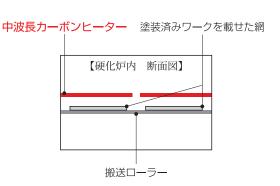
ハイブリッド炉入口



## ■ハイブリッド炉の概要



中波長カーボンヒーター



# 中赤外線ヒーターを効果的に組み込んだ、 赤外線・熱風ハイブリッド連続炉の導入で、 省スペース、生産効率・乾燥品質の向上を実現。

株式会社国分電機の茨城工場では、主に屋外に置かれることが多い配電盤・分電盤などの電力供給設備に耐候性・防錆性・耐塩性を付与する粉体塗装および耐塩塗装など各種塗装の乾燥工程において、ガス熱風に加えて加熱効率の高い「中赤外線」を組み込んだ連続式ハイブリッド乾燥炉を導入。乾燥炉のコンパクト化、塗装乾燥の生産効率向上による塗装工程のリードタイム短縮、乾燥品質の安定化を実現しました。

## ● 株式会社国分電機の概要

株式会社国分電機は、東京が空襲の痕を色濃く残していた終戦翌年の昭和21年に創業、配電盤の製造を開始する。昭和23年 に商号を㈱國分電機製作所として法人化。昭和63年に㈱国分電機に変更。本社工場機能を現在地に移転し、拡張しました。

主な事業内容は、金属閉鎖形スイッチギヤ、キュービクル式高圧受電設備、制御盤、分電盤、大型工場プラントや風力発電設備に使用される20kV級特別高圧配電盤、太陽光発電関連盤など、各種盤の製造・販売を行っています。これらは、商業・住宅複合施設、東京ドームや東京ビッグサイトなどの多目的施設、大型ホテル、競技場、娯楽施設、海外施設など、国民生活には欠かせない設備で、我々の社会活動や日々の暮らしを支える縁の下の力持ちです。

## ■ 導入目的と採用の決め手

従来の乾燥は、大型のバッチ炉(3基)にてまとめて行っていましたが、設備の老朽化、生産増への対応、生産効率の向上を目的に新たな塗装乾燥システムの構築が求められました。特にバッチ炉の場合、焼き待ちによる仕掛りの増加、乾燥炉への製品入れ替え待ちによる待機場の圧迫、乾燥の段取りに合わせるために塗装での色替えが必要以上に発生し、段取りが増え塗装効率が悪くなることから、塗装リードタイムを短縮し、短い時間で乾燥品を個々に出したいというニーズがありました。そこで、既存の限られたスペース、塗装乾燥工程改善による全体の生産効率の押し上げ、安定した乾燥品質の維持、環境性などを考慮して、中赤外線とガス熱風によるハイブリッド連続乾燥炉の導入が検討されました。

その結果、最大の目標であった塗装工程のリードタイム短縮、塗装乾燥品質の安定化を実現できるとして、ハイブリッド方式の連続乾燥炉 (粉体塗装乾燥用:2基、溶剤塗装乾燥用:1基の計3基)の採用となりました。

# ● 導入効果

乾燥炉内は2つのゾーンに分かれており、前半部に片側9本×3列の中赤外線ランプ54本 (1.6kw/本)を配し、後半部はガス熱風による乾燥を各180 $^{\circ}$ ×10分で行います。前後半で各10分になるようランプの出力等はその都度調整されます。出入口は自動で上下にスライドして開閉、自動で炉内に搬出入します。炉内には常に2つの台車が入ります。

主な導入効果は、

## ●塗装乾燥時間

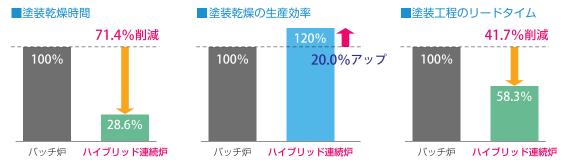
一般的なバッチ炉と比較して、バッチ炉:70分、ハイブリッド炉:20分で、71.4%の乾燥時間削減を実現。

## ●塗装乾燥の生産効率

一般的なバッチ炉と比較して、バッチ炉:70台車/定時、ハイブリッド炉:84台車/定時で、**20%の生産効率向上**を達成。

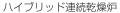
## ●塗装工程のリードタイム

一般的なバッチ炉と比較して、塗装工程のリードタイムを41.7% (200分/日(15台車/日)) 短縮。板金、組み立てを含めた生産工程全体の効率向上に大きく貢献しています。



※月刊『塗装技術』2020年10月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.19」より抜粋







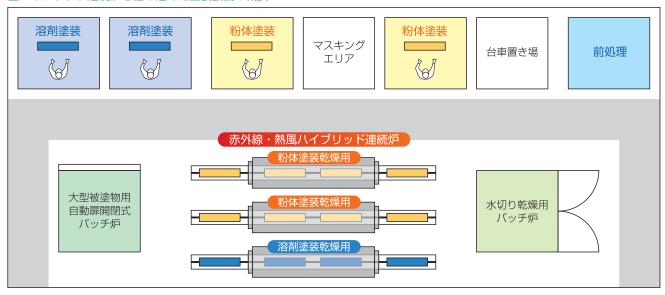
手吹きによる粉体塗装





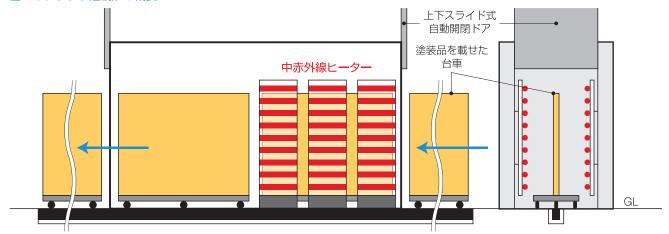
中赤外線ヒーター

## ■ハイブリッド連続炉を組み込んだ塗装設備の概要



炉の入口

## ■ハイブリッド連続炉の概要



# 誘導加熱を予備加熱ゾーンに応用展開し、 電気の力で省エネを達成。 電化ファクトリー化計画の実現に大きく寄与。

東芝キヤリア株式会社では、 $2006\sim2010$ 年にわたってコンプレッサー工場における塗装設備の改善計画を立案し、省エネ活動に取り組んできました。その成果は、 $CO_2$ 排出量の大幅な削減と消費電力等の削減をも達成するなど、当時としては画期的な改善をもたらしました。塗装ラインには、ヒートポンプユニットおよび高周波誘導加熱による電気の力をフル活用させ、環境改善と塗装工程全体の省エネを達成しました。

## ● 東芝キヤリア株式会社の概要

東芝キヤリア株式会社は、平成11年に株式会社東芝の空調・設備事業部と米国キヤリア社の合弁会社として発足。平成20年に東芝キヤリア株式会社、東芝キヤリア空調システムズ株式会社、東洋キヤリア工業株式会社の3社が合併して新「東芝キヤリア株式会社」が誕生しました。

主な事業内容は、店舗・オフィス用エアコン、ビル用マルチ空調システム、設備用パッケージエアコン、産業用空調、熱源システム、ヒートポンプ給湯機、家庭用エアコン、コールドチェーン機器、換気扇、換気システム、コンプレッサーの設計、販売、製造、製造委託及び修理を行っており、我々の快適な暮らしに欠かせない機器・システムを世に送り出しています。

## ● 導入目的と採用の決め手

従来の塗装ラインでは多くのエネルギーが使用され、多量のCO₂が排出されていたことから、環境改善と省エネを目的に電力を活用した塗装ラインの構築を目指して、様々な検討が行われました。

その結果、塗装前処理装置にヒートポンプを、塗装乾燥工程に高周波誘導加熱を効果的に活用することで、目標としていた環境に配慮した電化ファクトリーに相応しい塗装ラインの実現が可能となりました。特に、エコキュートに搭載されるCO₂冷媒のコンプレッサーは、高圧対応のため外殻(ケース)が肉厚であり、従来の焼き付け乾燥方式では2回の焼き付けを要していました。当初は、高周波誘導加熱による塗装焼き付けが検討されましたが、立体形状であり、電磁波が均一に届かないため断念。発想を変え、塗装焼き付け乾燥前の予備加熱として高周波誘導加熱装置を導入しました。

# ● 導入効果

塗装ラインへのコンプレッサーおよび高周波誘導加熱の導入効果は、

## ●低温薬液の採用と蒸気の再利用

ヒートポンプユニットでお湯をつくり温水槽に貯めます。この温水槽は2槽(高温と低温槽に分離)の設計で、ここから脱脂液(シャワー方式)と化成液(浸漬)を加温するようになっています。それぞれの槽内にはプレートコイルが設置されていて、プレートコイルと温水槽は、ポンプでお湯を循環することにより液温39℃を維持しています。

#### ●CO₂排出量を削減

旧来の設備では、年間612t (工場の圧縮空気180t+蒸気310t+電気122t) のCO₂を排出していましたが、新設備では排気量80tへと532tもの削減を達成しています。その内訳 (年間) は、①エアブロー方式の変更による削減:180t、②ヒートポンプユニットによる加温循環水の効果と低温処理液の採用による削減:302t、③ポンプの小型化による削減:50t、となっています。

## ●設置スペースのコンパクト化

旧塗装前処理装置の設置スペース267m²を、新設の塗装前処理装置へリニューアルして設置面積104m²にするというように、実に60%もの省スペース化となりました。

## ●焼き付け乾燥炉へのIHの応用

熱風循環式乾燥炉の前工程に、高周波誘導加熱装置による予備加熱を設置、旧来の時には2回の焼き付けを余儀なくされていたのが、1回で済むようになりました。乾燥時間の短縮により、生産効率の向上に大きく寄与しています。また、改造により焼き付け乾燥炉の外壁を保温強化し、熱効率を高める工夫がされています。

高周波誘導加熱装置の高周波発振器の出力は、高出力⇔低出力の制御ができるようになっていて、6回の加熱を実施。コイルの全長は2700mm。コンプレッサーが通過する両サイドに、縦に4本構成のコイルが並んでおり、コイルから発生した電磁波がコンプレッサーケース表面に渦電流を発生させ、ジュール熱が生じて加熱するようになっています。コンプレッサーのケース自体(塗装の内部)から塗料が乾燥するために、ピンホールやワキなどの影響を受けにくいという特徴が挙げられます。

※月刊『塗装技術』2020年10月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.19」より抜粋

※同社では、本システムをさらに進化させた塗装乾燥システムを構築しており、さらなる高効率、省エネを達成しています。



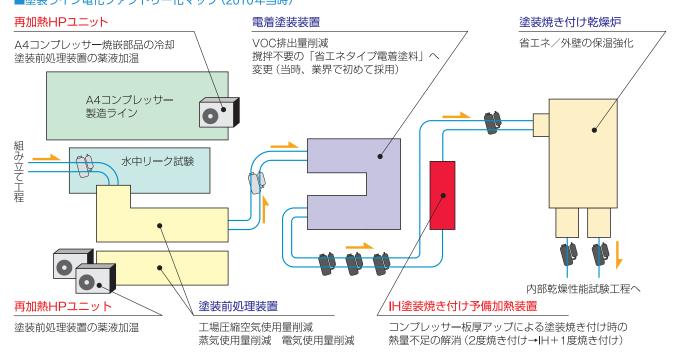


ヒートポンプを活用した前処理設備

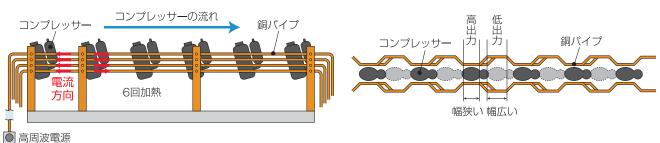


誘導加熱による予備加熱

# ■塗装ライン電化ファクトリー化マップ(2010年当時)



## ■誘導加熱による予備乾燥装置の概要(2010年当時)



# 高周波誘導加熱式粉体塗装システムの開発で、 乾燥時間の大幅な短縮による生産効率の向上、 塗装乾燥設備の小型化、省エネを達成。

株式会社吉野工作所の焼津工場では、主力製品の塗装内製化に伴い、10m角の限られた工場スペースへの塗装・乾燥設備を設置するため、乾燥設備の省スペース化を実現するIHを組み込んだ、高周波誘導加熱式粉体塗装の開発・製作を実施しました。

## ● 株式会社更科製作所の概要

株式会社吉野工作所は、昭和24年に挽物・ネジの製造業として静岡市梅屋町に創業。昭和34年に旬吉野工作所を設立しました。昭和40年に本社を現在地に移転。平成元年に焼津工場を新設。平成12年には焼津工場に塗装工場を新設し、高周波誘導加熱式粉体塗装装置を開発し、導入しました。

主な事業内容は、金属プレス加工(順送プレス/単発プレス加工、金型の設計・製作)、旋盤加工、溶接加工、粉体塗装、カチオン電着塗装、メッキ処理を実施。金属部品の材料調達、試作加工、量産プレス加工、塗装、組み立て、完成品梱包まで一括で対応し、農業・工業・商業の幅広い分野において、卓越した加工技術とノーハウを生かした高品質な製品を提供しています。

# ■ 導入目的と採用の決め手

主力製品であるイレクタージョイント (イレクター: スチールパイプと継ぎ手との無限の組み合わせにより、ラックや机、椅子などいろいろな構造物をつくることができる組み立て素材) の板金加工~塗装までの大量生産を行っていますが、以前は、外注による溶剤塗装を行っていました。しかし、品質改善、コスト低減、環境対応を目的に内製化 (粉体塗装) が検討されました。

内製化の妨げとなったのが、塗装設備を導入する工場建屋が10m角とスペースが限られていたことでした。一般的な乾燥炉では設置スペースが必要となるため、乾燥設備の省スペース化を実現できるIHを組み込んだ、高周波誘導加熱式粉体塗装装置の開発・製作に踏み切りました。

その結果、10m角という狭いスペースに塗装・乾燥設備、コンベヤーを配し、設備全体のコンパクト化を実現。大量生産であることと製品の特性上(形状、大きさ)、IHのみの硬化乾燥を実現したことから大幅な乾燥時間の短縮となり、生産効率が劇的に向上しました。

# ■ 導入効果

本システムの最大の肝は「可変コイル」にあります。第3章でも示した通り、製品の大小や形状に合わせてコイル間隔や高さをフレキ管でつなぐことで自在に調整できます。また、各ハンガーはICタグで管理されているので、コイルと製品間の距離やインバーター出力により温度調節を自動で行い、製品の大きさや形状に合わせた最適な硬化を実現しました。主な導入効果は、

## ●塗装乾燥時間の短縮

一般的な熱風循環炉と比較して、熱風炉:40分、誘導加熱:2.5分で、93,7%の時間短縮。

## ●設置スペース

一般的な設備と比較して、約1/3分の省スペース化を実現。

#### ●脱脂工程が不要

素材にリン酸亜鉛コーティングされているボンデ鋼板を使用しているため、プレス加工後の表面に付着する油脂は加熱時に気化消失するため、脱脂工程が不要。

## ●銅製ハンガーで簡単はく離

第3章でも紹介しました、加熱しても塗料が固着しない独自の銅製ハンガーを使用しています。銅製なので硬化後も熱くならいため安全性が非常に高く、ハンガーに付いた粉体塗料は回収可能で、エアブローで簡単に除去できます。

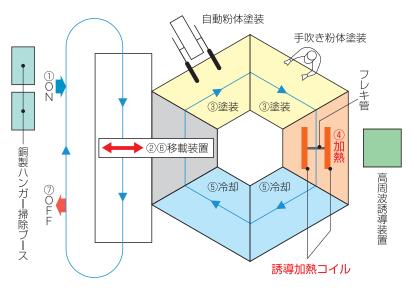


※月刊『塗装技術』2020年5月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.17」より抜粋

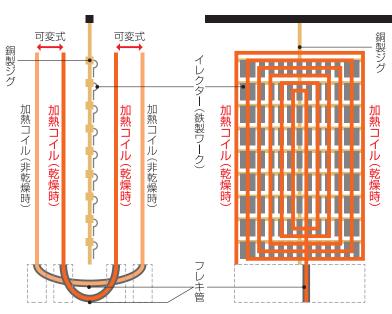


塗装設備の概要 (塗装・乾燥側)

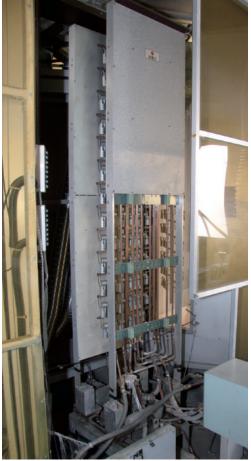
## ■高周波誘導加熱式粉体塗装設備の概要



## ■高周波誘導加熱装置の概要







誘導加熱乾燥装置

# 既存の塗装ラインに誘導加熱による 予備加熱ゾーンの設置で、塗装乾燥時間の短縮を実現。 省エネおよび生産効率が向上。

屋外で使用する製品の粉体塗装を行うT社では、板厚の厚いワークの塗装の場合にセッティングに時間が取られ、乾燥時間も長くなることから、ガス使用量が多くなっていたため、塗装ブースと乾燥炉の間のスペースに誘導加熱による予備加熱ゾーンを設置。まず先にワークの中心部分のみを誘導加熱により予備加熱させ、その後、熱風炉で全体を均一に焼き付けることで、安定的な塗装品質を維持しながら、乾燥時間を短縮させ、省エネと生産効率の向上を達成しました。

## ● 導入目的と採用の決め手

塗装されているワーク (スチール製品) の板厚の厚い物 (max:6mm) は、セッティングで時間を取られ、乾燥炉の使用時間も長くなり、LPGの使用量が多くなるという課題がありました。こうした現状を踏まえて、乾燥時間の短縮と省エネの達成が検討されました。

まずは、塗料メーカーの推奨温度分布表に基づいて炉内温度の保持が提案されました。この条件の保持には、板厚によってコンベヤースピードを変えるなどの対応を取ってきました。しかし、厚物は充分な焼き付けを行うためには、さらにコンベヤースピードを落として、乾燥炉内の滞在時間を長くする必要がありました。

当初は充分な焼き付けを得るために、乾燥炉の延長や予備加熱の熱源として電気(赤外線)やガスの導入が検討されましたが、 既存の塗装ラインをそのまま生かすことが可能な、誘導加熱方式による予備加熱が提案されました。

誘導加熱導入の検討当初は、ワーク全体を加熱するという提案を受けましたが、製品は数10種類に及ぶことから、コイル数が多くなってしまうことと、ワークが流れている際は、電力ロスが多くなるという課題がありました。また、乾燥炉内の温度分布は、上部と下部は温度が高い一方、中間では温度が低いことが判明したことから、ワークの中腹部のみを加熱するというテストを1年間程度トライして、コイル数を少なくすることができました。

その結果、焼き付け乾燥前に、ワークの中腹部のみを100℃程度 (塗膜に影響を及ぼさない範囲) までプレヒートしておくことで、熱風炉の稼働時間を減らすことが可能となり、コンベヤースピードと塗装品質を落とすことなく、省エネと生産効率の向上を実現できると判断し、既存と塗装ラインはそのままに、塗装ブースと熱風炉の間のスペースに誘導加熱による予備加熱ゾーンを設置することになりました。

# ● 導入効果

誘導加熱による予備加熱は塗装ブースと熱風炉の間のスペースに設置、通過する1分間で加熱させます。消費電力は40kW程度(計測値)。コイルを1種類のみとし、予熱対象を必要部分のみとしたことで投資額も抑えられました。主な導入効果は、

## ●塗装乾燥時間

誘導加熱による予備加熱導入前と比較して、乾燥時間を11.2%削減。

#### ●生産効率(年)

誘導加熱による予備加熱導入前と比較して、3.3%生産効率が向上、年間で12日間の稼働日が短縮されました。

## ●LPG使用量

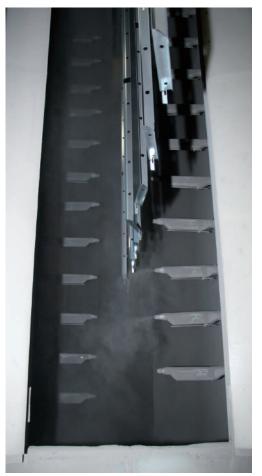
誘導加熱による予備加熱導入前と比較して、9.8%削減を達成。

## ●塗装品質の向上

安全上、設備保持の観点から排気量を増やす必要がありましたが、誘導加熱の導入と排気量を増やすことの副産物として光沢感が増し、塗装品質の向上につながりました。



※月刊『塗装技術』2019年3月号掲載「緊急スペシャルレポート Part.12」より抜粋

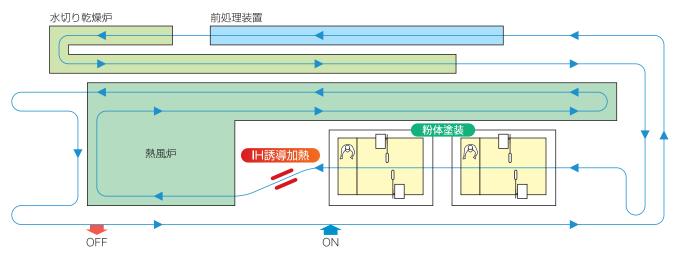




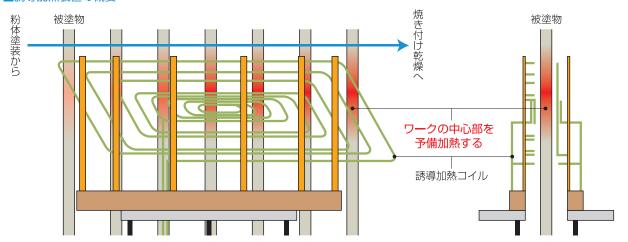
粉体塗装

誘導加熱による予備加熱装置

## ■誘導加熱による予備加熱を組み込んだ粉体塗装ラインの概要



## ■誘導加熱装置の概要



売 品 非

禁無断転載



産業電化が導くカーボンニュートラルの未来 一般社団法人 日本エレクトロヒートセンター

〒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

www.jeh-center.org/