

## 塗装乾燥分野におけるカーボンニュートラル実現への取組

藤田 淳一\*

### 1. はじめに

株式会社ヒートエナジーテック（HET）のカーボンニュートラルに対する取り組みを紹介する。工業用の水素バーナは既に実用化されているが、塗装乾燥分野等の低温域、とりわけダクトインタイプの水素直接燃焼式熱風発生装置については我が国では実用化されていない。その実情に鑑みて塗装乾燥分野における弊社主力製品である AH-NM 型熱風発生装置の水素対応型を東京ガス株式会社と共同開発し、2023 年 3 月 24 日より一般受注を開始した。他に、弊社独自開発品である水素専焼・混焼バーナを搭載した熱風発生装置についても販売を開始しており、両製品の概要について紹介する。

### 2. HET のカーボンニュートラルに対する取り組み

産業界においてもカーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速し始めている。我々ヒートエナジーテックとしても持続可能な社会の実現のため、工業用水素バーナの開発に既に着手している。弊社のア

プリケーション開発ロードマップを図 1 に示す。2014 年に水素を燃料とした炬火台バーナの開発に着手し、2018 年の福井国体で世界初の 2 MW 級純水素燃焼式炬火台バーナを実用化しており、2021 年には Phase2 に移行、工業用の水素燃焼式バーナの開発に本格的に乗り出した。高温加熱分野においてはシングルエンド方式の水素燃焼ラジアントチューブバーナーを採用した熱処理炉や分解ガス型熱処理炉の商用化も予定している。

### 3. 水素直接燃焼式熱風発生装置 AH-NMH2

#### 3.1 水素の基本特性

水素と都市ガスの基本特性を表 1 にまとめた。周知の通り、水素は燃焼速度が速いため、従来の炭化水素系燃料とは異なるアプローチが必要である。最小着火エネルギーが 0.02 mJ と非常に低く、この値は人間が指先に僅かに感じる程度の静電気エネルギーである。従って設計施工時には細心の注意が必要であることが分かる。また、燃焼速度については都市ガスの 8 倍程度であり、構造上フラッシュバックしないはずの

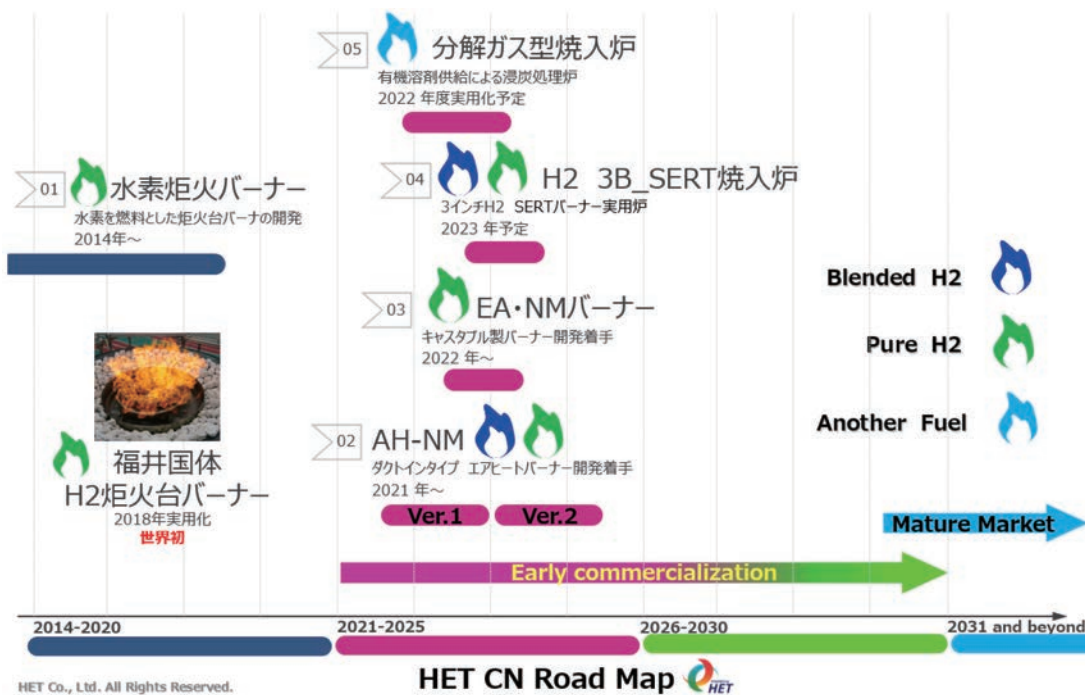


図 1 CN アプリケーション開発ロードマップ

\* 株式会社ヒートエナジーテック 技術部

表1 水素と都市ガスの基本特性

ガス種	水素	都市ガス(13A)
比重(空気=1)	0.07	0.638
理論空気量(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	2.38	10.7
最大燃焼速度(cm/s)	346	43
最小着火エネルギー(mJ)	0.02	0.28
消炎距離(mm)	0.6	2.0
総発熱量(MJ/Nm <sup>3</sup> )	12.78	45
真発熱量(MJ/Nm <sup>3</sup> )	10.8	41.6
燃焼範囲(%)	4~75	4.3~14.5
火炎	無色	青色

ノズルミックスバーナーにおいても点火時や消炎時に発生することがあるため、N<sub>2</sub> パージ等の対策をすることが望ましいと考えている。弊社が参画した前述の2018年福井国体水素炬火台プロジェクトにおいてもN<sub>2</sub> パージが導入されており、安全性を高めている。水素燃焼における特筆すべきこととしてもう一点、水分発生量の増加が挙げられる。

3.2 開発目標

ダクトインタイプ熱風発生装置は主に塗装乾燥炉の熱源として使用され、図2に示すフロー図の通り、乾燥炉の循環ダクト内に設置され、バーナーにより循環エアを加熱し、乾燥炉に熱風を供給するための装置である。

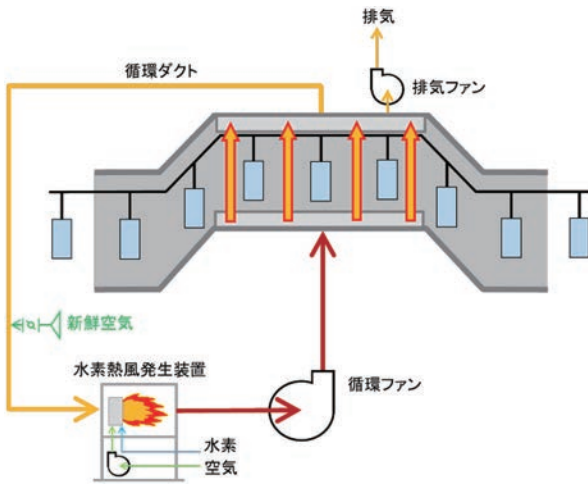


図2 塗装乾燥炉フロー

水素は燃焼時にCO<sub>2</sub>が発生しないため、脱炭素社会実現に向けた有望な選択肢の一つであるが、天然ガス・LPGと比べて燃焼速度が速く、火炎温度も高い等の特徴があり、本製品の開発にはNO<sub>x</sub>の増大とバーナー部品の焼損が激しくなる等の課題があった。表2に開発目標及び評価項目を示す。

AH-NM型のバーナーヘッドは金属製であるため、プレートの表面温度は耐久性能を考慮し、都市ガス・LPGと比較して+50℃以下を目標とした。ノズルミックス方式のバーナーであるため、炭化水素系の燃料においてはイエローチップ（空気不足状況下で発生する現象）やスーティング（バーナーや炉体への煤の付着）の発生を抑制するため、燃焼用空気と燃料の混合促進を必要とするが、水素燃料の場合は異なったアプローチが必要である。

3.3 開発経過

図3に燃料別の火炎写真を示す。理論上、水素火炎は無色と言われているが、図示の通り輝度の低い火炎が形成されている。従来の火炎検出器が測定している波長域での紫外線強度が低いことから、何らかの対策が必須である。

水素の燃焼範囲は4~75%であり、他の可燃性ガスと比較して広いことが特徴であり、燃焼状態も濃度で大きく異なる。8%程度では燃焼音も殆ど発生しないが、20%を越えると激しい燃焼となる。水素燃焼においては水素と空気の混合方法の最適化が課題となる。図4に本製品の概略断面図を示す。混合機構の検証により緩慢燃焼域を形成することで窒素酸化物及び燃焼騒音抑制に関する知見を得ている。

図5に燃焼排ガス特性(NO<sub>x</sub>)を示す。開発初期

表2 AH-NMH2 開発目標

項目	目標性能	備考
ターンダウンレシオ	1:8	13Aと同等性能
騒音値	+3dB以下	13A比較
NO <sub>x</sub> (O <sub>2</sub> 0%換算値)	120ppm以下	13Aと同等性能
プレート表面温度	+50℃以下	13A比較
火炎検知		実証試験機
フラッシュバック抑制		N <sub>2</sub> パージ
未燃H <sub>2</sub> 調査		HETラボ
低温乾燥分野での実炉評価		HETラボ
水素用制御機器の評価		実証試験機

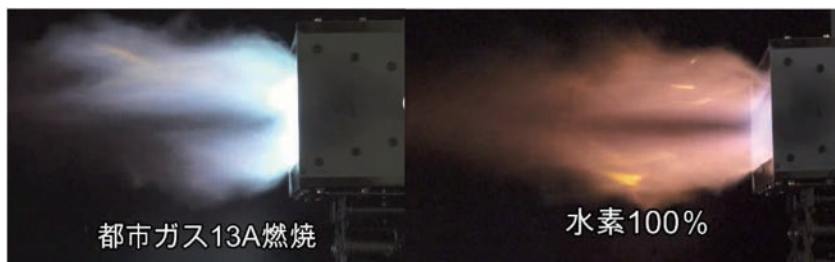


図3 燃料別火炎比較

の段階ではプレートの表面温度上昇が顕著であり、900℃以上となる部位も認められた。超耐熱鋼やセラミック等への材質変更によるアプローチも考えられるが、コストアップ要素となるため、従来と同じ材質での課題クリアを目標とした。

NOx 値を向上させたモデルにおいてはO<sub>2</sub>ゼロ%換算値で40ppm（空気過剰率=3）が得られ、プレート表面温度についてもほぼクリアできていたが、従来モデルからの課題である、ミキシングプレートの赤熱を解消させるべく、さらなる最適化を図った結果、NOxベンチマークをクリアしつつ、プレート表面温度は従来モデルを100℃以上下回るパラメータを確立することができた。

図6にバーナミキシングプレート近傍のサーモグラフィを示す。図示の通り、炭化水素系燃料における燃焼状態と比較しても表面温度上昇を大幅に抑制できて

いることが分かる。

### 3.4 実証試験

循環系ダクト内での燃焼は大気開放状態とは燃焼条件が大きく異なり、水素燃焼ではその傾向が顕著に表れたため、弊社ラボでの実証試験が開発の進捗に大きく寄与した。また、水素は都市ガスと比較して約1.6倍の燃焼由来水分が発生するため、循環雰囲気中の水分増加が及ぼす工業用製品加熱への影響を導入前に検証する必要があると考えている。

ラボ乾燥炉は弊社神奈川工場内（神奈川県綾瀬市）に設置され、2023年3月より試験受付を開始している。ラボスケールではあるが、生産設備と同様の構成であり、水素直接燃焼式熱風発生装置の導入をご検討頂く

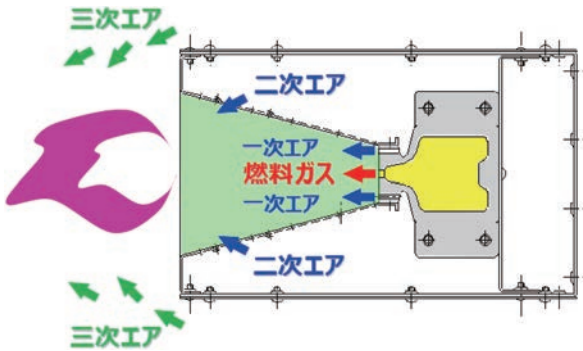


図4 AH-NMH2の混合機構

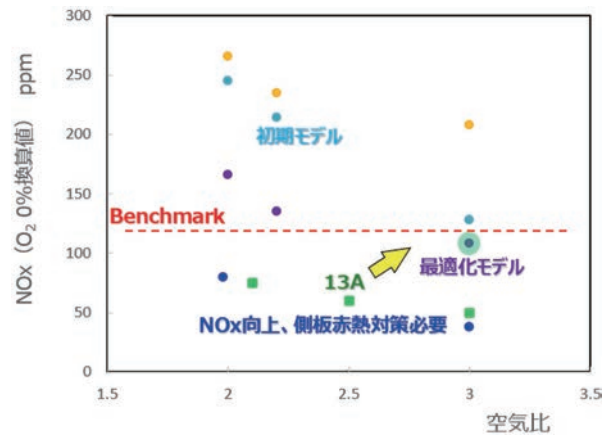


図5 排ガス特性 (NOx)

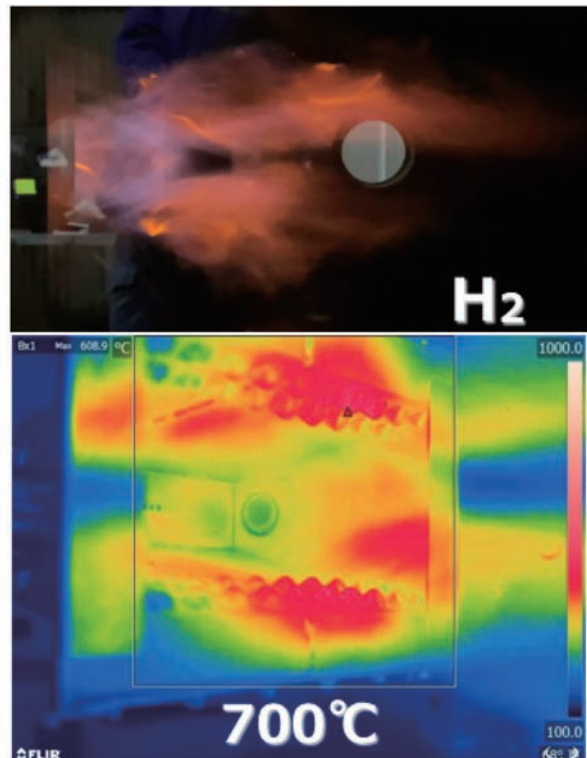
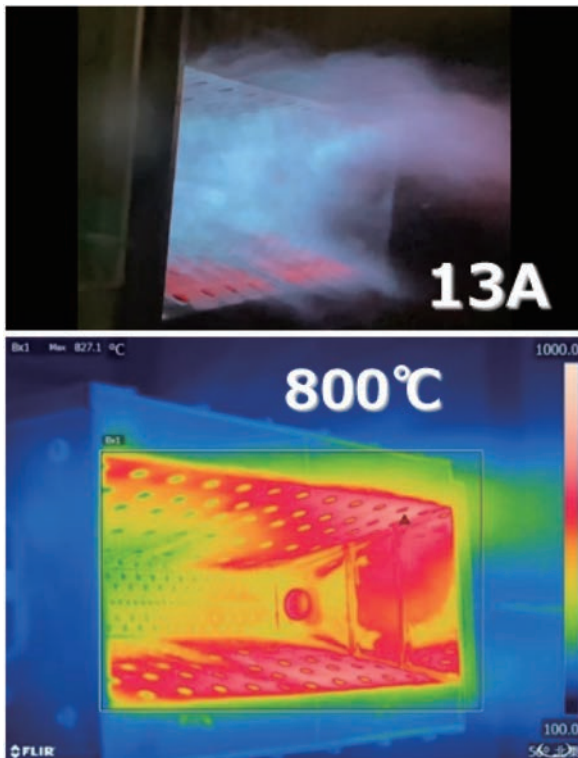


図6 ミキシングプレート表面温度

際の実証試験が可能となっている。図7にラボ乾燥炉外観を、表3に概略仕様を示す。弊社設備をご活用頂き、我が国のカーボンニュートラル促進に向けて、皆様のご協力を賜りたい次第である。

### 3.5 製品仕様

製品仕様を表4に示す。現在は下記の3ラインナップのみの販売であるが、水素供給価格の低下を見込み、500 kW以上のモデルも順次リリースしていく予定である。

### 3.6 今後の開発方針

水素100%専焼モデルの販売を開始したが、炭化水素系燃料との混焼を可能としたモデルの開発が必要と考えている。従来モデル（都市ガス専焼モデル）にて水素混焼試験を実施した。

図8に混焼時の燃焼状態及びミキシングプレート表面温度測定結果を示す。僅か15 vol%（熱量ベース5%）の水素混合比でも表面温度の上昇が確認できる。混焼比率に比例して表面温度は上昇し、1000℃程度で安定する結果となった。従来モデルでは15 vol%混焼が限界値と考えている。

今後は水素専焼モデルでの混焼試験を実施してデータの蓄積を進め、混焼モデルの開発に着手する予定である。

## 4. 水素混焼バーナ搭載熱風発生装置

現在、我が国に流通している水素はほとんどがグレー水素であり、単位発熱量当たりの実勢価格は都市ガスの4倍以上である。再生可能エネルギー由来のグリーン水素の台頭に伴い、水素価格が都市ガスやLPGと同等の価格に低下するまでは炭化水素系の燃料との混焼バーナを採用することで段階的なカーボンニュートラルへの移行が可能と考えている。弊社では2022年10月に需要家へ初号機を納入し、稼働状況が順調であることから、一般向けの受注を開始している。

### 4.1 製品の特長

本製品の外観写真（46 kW）を図9に、製品仕様を表5に示す。最大燃焼量は1.86 MWまで対応可能となっている。最大の特徴は混焼比率を無段階で切り替えることが可能な点である。混焼可能な燃料は都市ガ



図7 HET ラボ乾燥炉外観

表3 HET ラボ乾燥炉仕様

No.	項目	仕様
1	炉構成	JETゾーン + 熱風循環ゾーン
2	JETゾーン仕様	燃料 LPG, H2
		JET吹出風速 (MAX) 50 m/sec
		JET吹出温度 (MAX) 300℃
3	熱風循環仕様	燃料 LPG
		炉内雰囲気温度 (MAX) 300℃
4	投入可能TP	寸法 (MAX) 1,000W × 1,000L × 1,000H (mm)
		総重量 台車使用時 (MAX) 200 kg
		吊り下げ時 (MAX) 50 kg (分散荷重)
5	搬送装置	型式 往復型フワーコンベアー（固定台車搬送）
		速度 0.5 ~ 2.5 m/min

表4 AH-NMH2 製品仕様

項目	仕様		
バーナ型式	NMAH-200H2	NMAH-300H2	NMAH-400H2
定格出力	233kW	349kW	465kW
バーナ連数	2	3	4
燃料混合方式	ノズル先混合		
ガス種類	水素		
供給圧力	10kPa		
TDR	1 : 10		
NOx (0%換算値)	120ppm以下		
主な安全装置	N2バージ フレイムアラスタ ガス漏れ警報器		

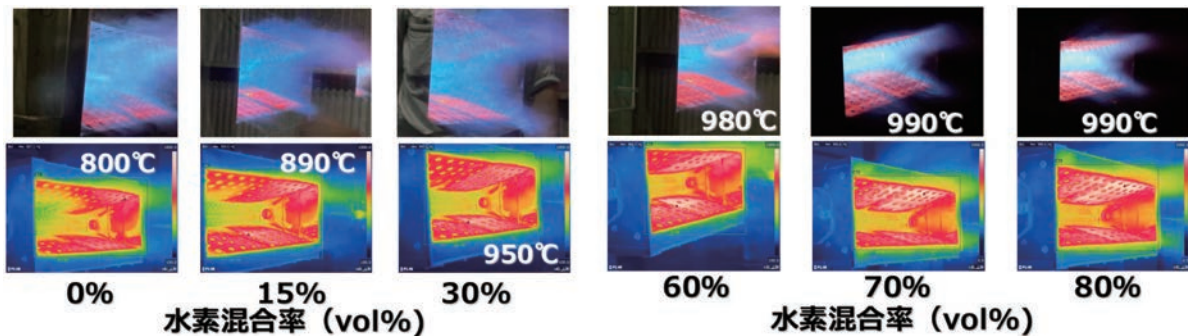


図8 混焼時の燃焼状態及びミキシングプレート表面温度（都市ガス専焼モデル）

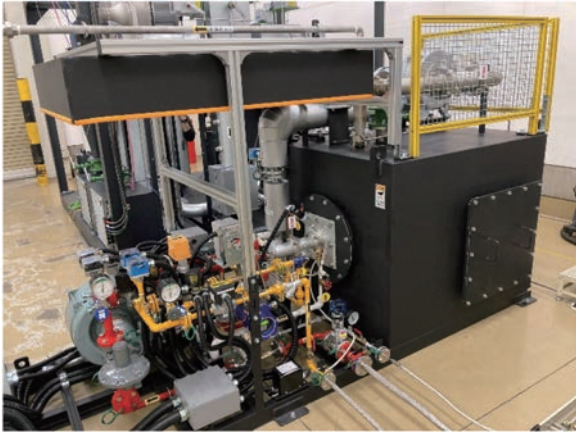


図9 熱風発生装置外観 (46 kW)

表5 製品仕様

項目	仕様	備考
型式	DF-40~1600	
定格出力範囲	46~1860kW	
ガス種類	水素/13A	水素/LPG可能
供給圧力	10kPa	
TDR	1:10(H <sub>2</sub> >80vol%) 1:5(H <sub>2</sub> <50vol%)	
NOx 0%換算値	100ppm以下	混焼比率によりEGR実施
水素混焼比率範囲	任意	
主な安全装置	N <sub>2</sub> パーージ フレイムアレスタ ガス漏れ警報器	拡散/吸引

ス及びLPGの何れも対応可能となっている。

#### 4.2 開発経過

図10に混焼バーナの配管フロー抜粋を示す。主な安全増対策としてフレイムアレスタ、N<sub>2</sub>パーージ、ガス漏れ警報器(吸引及び拡散式)を搭載している。弊社ではバーナ構造とN<sub>2</sub>パーージの最適化により、フラッシュバックの発生を回避し、フレイムアレスタレスを実現しているが、販売段階においては施行された工業用ガス燃焼設備の水素燃焼に関する安全指標に従って設計・製作を進めていく考えである。

図11に混焼バーナの構造概略図を示す。前述の通り水素の火炎温度を低下させるための手法として緩慢燃焼域の形成が有効であることを述べたが、炭化水素系燃料との混焼の場合は未燃分の生成が助長されるため、トレードオフの関係にある。本製品では混合促進域と緩慢燃焼域を混在させる構造を採用し、課題を解決した。

水素の理論空気量は2.38 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>であり、単位発熱量当りに換算すると0.186 Nm<sup>3</sup>/MJとなる。都市ガス13A及びプロパンガスの単位発熱量当り理論空気量は何れも0.238 Nm<sup>3</sup>/MJであり、水素と炭化水素系燃料の間には20%程度の乖離があることが分かる(表6)。燃焼空気量と燃料ガスを比例制御する際、混

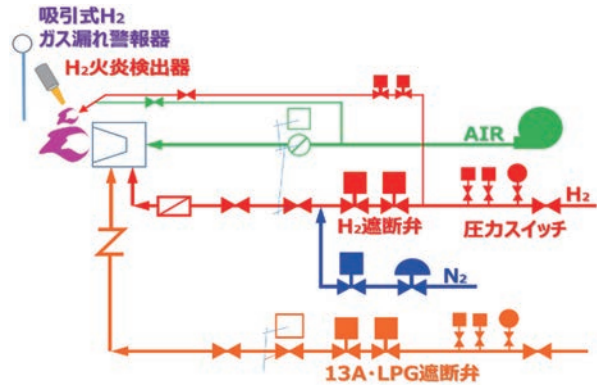


図10 混焼バーナ配管フロー抜粋

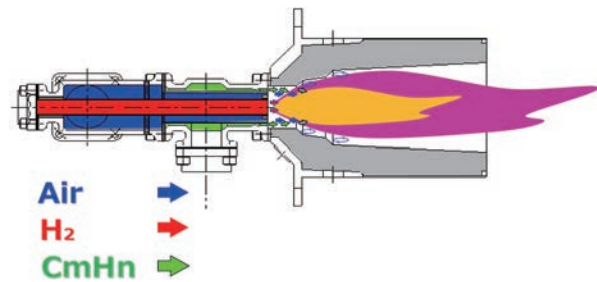


図11 混焼バーナ構造概略

表6 ガス種別の理論空気量

ガス種	理論空気量 Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	単位発熱量ベース Nm <sup>3</sup> /MJ
水素	2.38	0.186
都市ガス(13A)	10.7	0.238
プロパン	23.8	0.238

焼比率によって燃焼空気量及び燃料ガスの供給量を可変させる必要がある。図12及び図13に概念図を示す。厳密に空気比制御を掛ける場合はマスフローコントローラ等を用いて流量制御を実施するのが望ましいが、弊社のシステムではエア、水素、都市ガス流量制

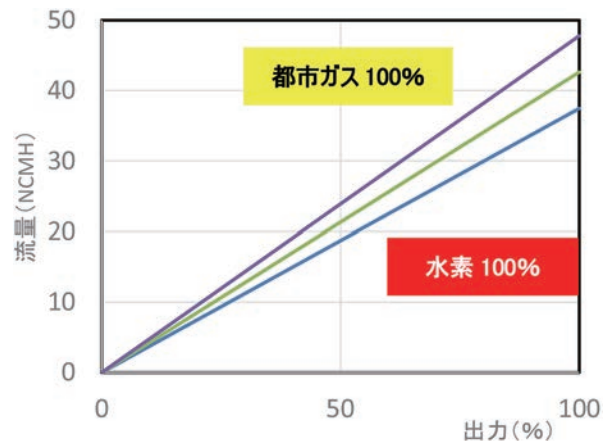


図12 混焼時燃焼用エア流量 (46 kW)

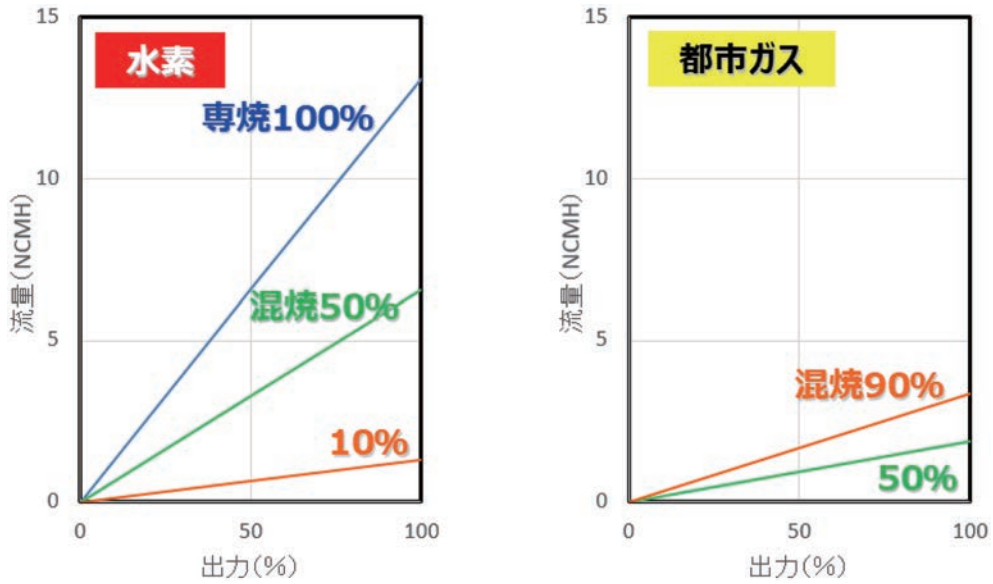


図 13 混焼時燃料ガス流量 (46 kW)

御弁に対して混焼比率に応じたバイアスを掛けることで安価なシステムで混焼比率の無段階制御を実現している。

図 14 ~ 16 に混焼バーナの排ガス特性 (NO<sub>x</sub>) を示す。図 14 は水素専焼時のデータであるが、排ガス再循環 (EGR) を掛けることにより全域平均で

100ppm (O<sub>2</sub> ゼロ%換算値) 以下となっていることが分かる。図 15 は都市ガス専焼時における排ガス特性 (NO<sub>x</sub>) を示す。構造の変更により弊社標準品よりも低い NO<sub>x</sub> 値が得られた。図 16 は混焼比率 50% (熱量比) における排ガス特性 (NO<sub>x</sub>) を示す。出力が 85% を越えると NO<sub>x</sub> が増大するため、高出力域にお

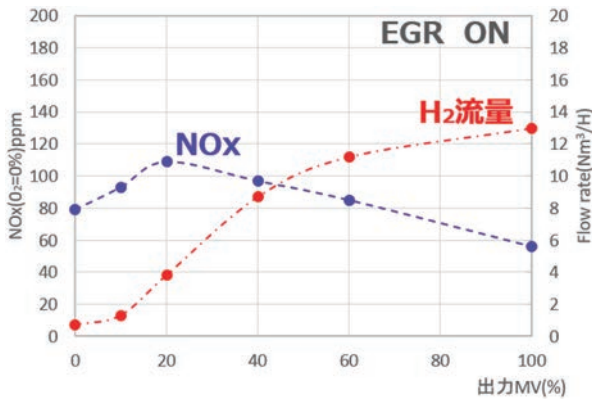


図 14 水素専焼時排ガス特性 (NO<sub>x</sub>)

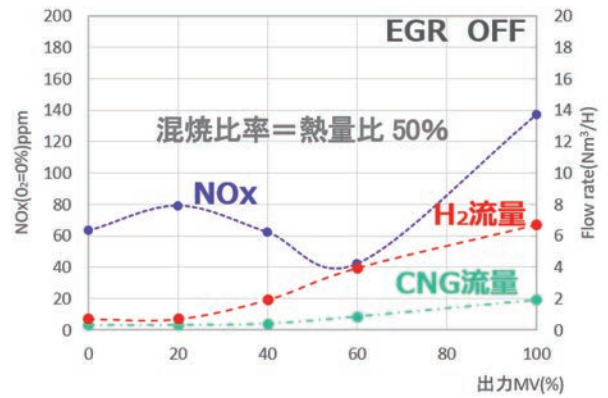


図 16 混焼時排ガス特性 (NO<sub>x</sub>)

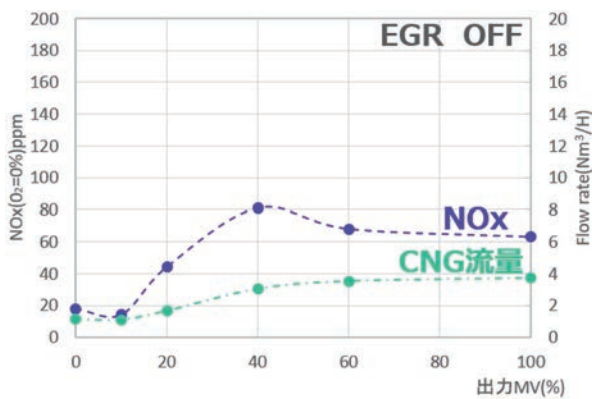


図 15 都市ガス専焼時排ガス特性 (NO<sub>x</sub>)

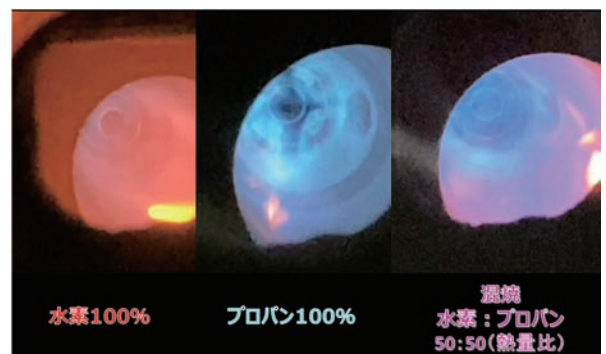


図 17 混焼バーナ燃焼状態 (燃料別)

表7 混焼バーナ性能

項目	水素	都市ガス (13A)	混焼 (1:1)
NOx (全域平均) O <sub>2</sub> 0%換算値	80ppm	70ppm	80ppm
フレイム電圧 (V)	4.2V	4.3V	4.2V
ターンダウンレシオ※	1:18	1:8	1:7.5
水分量 (vol%)	21%	13%	15%
EGR	ON	OFF	OFF

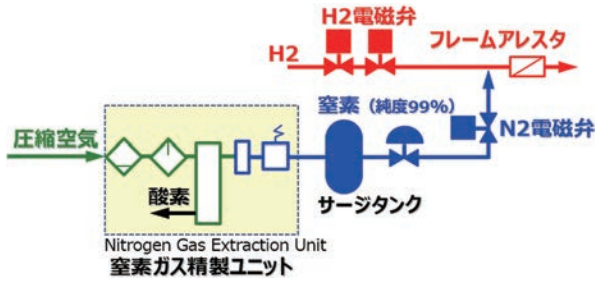


図18 N<sub>2</sub> パージシステム配管フロー

いては局所的に EGR を掛けることで低減することが可能である。図17に各燃料における燃焼状態(写真)を示す。水素の割合が増大すると共に輝度が減少し、火炎色にも変化が見られる。水素専焼時は火炎から放出される紫外線強度が減少し、火炎検知器のフレイム電圧も減少することから光学的に増幅することで課題を解決している。

表7に混焼バーナの性能抜粋を示す。NO<sub>x</sub>は全域

平均値で100ppm以下を達成している。また、燃焼排ガス中の水分量についても測定しているが、理論値通りの結果が得られた。昇温開始時は燃焼炉内に想定以上の結露が発生するため、ダクト接続部のガスケット材質の変更も必要であった。

### 4.3 N<sub>2</sub> パージについて

N<sub>2</sub> パージはフラッシュバックの発生を回避させるため、点火前と消炎時に実施することが好ましい。特に消炎時は低燃焼位置で消炎させる際にリスクが高まるため、配管内ガス流速が燃焼速度を上回るように設計することが重要である。窒素はシリンダー供給が一般的であるが、高価であるため、大容量のバーナを使用する際は、圧縮空気から窒素ガスを精製するユニットを採用し、ランニングコストの低減を図ることが可能である。図18にシステムフローを示す。

## 5. おわりに

水素専焼バーナはグループ会社である桂精機製作所の粉体塗装ラインへの導入を検討しており、燃焼排ガス中の水分量増加が及ぼす塗膜性能への影響に関する評価を実施している。混焼バーナは1 MW級商用機の納入を2024年度に控えており、初号機で得られた知見を元にアップデートを予定している。今年度は塗装乾燥分野と共に、熱処理分野におけるカーボンニュートラルアイテムの開発にも取り組んでいきたいと考えている。

## 熱交換から見た塗装現場の熱ロスと暑熱問題 及び増加するエネルギーコスト問題

岩澤 賢治\*

### 1. MDI 株式会社とは？

排熱回収専門の熱交換器メーカーとして 2005 年に設立してから、各地の大手自動車工場、食品工場、中小企業の現場調査、従来の問題点の指摘コンサルタント業務、熱回収設計、機器設置を行ってきた。最近では省エネルギーセンター様をはじめ、多くの電力、ガス等のエネルギー会社様の委託契約の元で、東北から九州までの企業への訪問、CO<sub>2</sub>削減のための改善業務を行っている。排熱回収を語る上では単なるメーカーではいられないため、過去の不具合経験、現場側の悩みを含めて理解する必要がある、常に現場側とのやり取りが必要となる場面が多い。(それでもすべての現場を知り尽くしているということではないが)

### 2. 排熱とは？

日本の工場はそのほとんどは昭和またはそれ以前から多くの経験と改善を繰り返し、より良い品質、ローコスト化、合理化を行っている結果、現在の形になったものと思われる。

さらには昨今の環境問題、省エネ、CO<sub>2</sub>削減ブームの波にも、VOC 処理、LED 化、自動化、材料の再検討なども進めている箇所が多く見受けられる。それらを見た MDI からの見解としては、大手企業であっても、その多くは最新の改善対策をしているにも関わらず、熱に関してはほぼ垂れ流して排出し、知らんぷりしている、または本当に気が付いていないと感じている。簡単に言うと、排熱 1 kW を捨てたら、その 1 kW 分以上のお金を出して再び購入しなくてはいけなくなることに気が付いていない場合がある。もし 1000 kW 捨てているのであれば、少なくとも 1000 kW 分のガスまたは電気を購入しないと工場運営ができないということになる。例えば 1000 kW 排出して、購入するエネルギーは常に 500 kW でもよいということであれば、工場内で何らかの自然発熱をしているということになるため、一般的には考えにくい状況となる。では、どのようなものが排熱、熱ロスというものなのか？を考える必要がある。

- ・排気 … 煙突、換気、コンプレッサ排気、集塵機排気、洗浄槽湯気、エアコン排気、空冷チラー排気、ダクトや機械からの輻射熱等
- ・排水 … 洗浄水、下水、冷却塔水、活性汚泥処理排水等

これらの排熱は一部では数百度ある場合もあるが、そのほとんどは数十度であるため、気が付いていないことがほとんどだ。さらには排熱に関して現時点では日本政府は何の規制もないために、垂れ流しが何も問題が無いという認識だと思う。

私が住んでいる神奈川県には、多摩川という川がある。この川もかつては排水規制がなく多くの工場、家庭から有害物質や、高温排水が垂れ流しされていた。その結果、ヘドロ堆積が多くなり、色は濁り、異臭を放ち、背骨が曲がった魚が出現するまでになった。その後ようやく排水規制制度が発足して綺麗な自然が徐々に復活を遂げるという歴史がある。皆様も地域が違えど同じような川、山などの現場はあると思う。

現在では、世界規模の温暖化（沸騰化）が発生しているからこそ、京都議定書からスタートした“CO<sub>2</sub>削減”、“脱炭素化社会”、“SDGs”等という言葉が出現している。要は川だけではなく、海や空気までもが排熱や温暖化ガスを含む有害ガスで汚染されてしまったため何とかしないとイケないという国際ルールができた。しかもその時間的なリミットがもうほとんど残されていない現実を多くの人は理解していないのか、対策を知らないのか、無視しようとしているのかわからないが、取り組みをしていないのが日本の現実だと捉えている。

しかも、対策案を知っている人でも、“投資回収”とか“予算が無い”という一言で相変わらず何もしないという声をよく聞くようになっている。

もう一度言うと、排熱回収とは、回収することができればできるほど、購入するエネルギー代は要らないということである。もっとわかりやすく言うと、いまままで捨てていた熱を回収することができたら営業マンが不要の純利益に変わるということだ。

しっかりとした不具合対策やメンテナンス対策を行うことができれば、以降のエネルギーコストがほぼ無くなるだけでなく、排熱を地球に放出しないという画期的な結果が伴う。

熱回収で利益増大+温暖化防止アピールができるため、納品先や社会全体へのイメージアップ、対策の内容によっては、イメージアップ+環境改善により新入社員を獲得しやすい会社になる（一部実現している）。

それでもその結果を求めずに、目を背けた“従来通り”、“事なかれ主義”、“実績偏重主義”という日本特有の思想のまま活動している企業が多いという現実を知っていただきたい。その活動結果は、もうすぐに

\* MDI 株式会社 代表取締役



発表されると思うが、各大手企業が公表しているCO<sub>2</sub>削減ロードマップの実際の対策として、熱エネルギーに関しては、有効的な対策が取れないまま期限を迎える企業が多く発生すると考えている。しかしそれでも数値だけをそろえようとしているが、どのような取り組みをするかという、排熱を多く発生している現場だけ別会社にしてしまうという取り組み？である。

そうすれば、“自社”ではなくなるため、そっくりとCO<sub>2</sub>が減るといってお門違いな取り組みを裏で行い、表ではちゃんとやっています！というアピールをコマercialで堂々と言うというトンデモ企業が多く出始めているのも事実である。

中小企業は、そのような行為はしてはいけなし、できないと思う。ではどうすればいいのか？簡単だ。しっかりと排熱の箇所を探し、熱が必要な所と結べば良い。

### 3. 塗装、表面処理工場の排熱

以下が現時点で気が付いている塗装プロセスにおける排熱回収が可能であろうと思われる箇所となる。

#### 3.1 洗浄工程

洗浄槽の加温を、40℃～70℃前後にするため、蒸気ボイラを使用している。その結果、温水槽からの湯気熱、蒸気管からの輻射熱や火傷リスクがある。作業現場は、熱気だけでなく、高湿度により作業現場は常に地獄（図1、図2参照）。

##### (1) 熱回収+作業環境改善の両立対策：

洗浄槽の加温に、部屋の熱気を利用する。簡単に実現するために超小型ヒートポンプを耐熱ホース

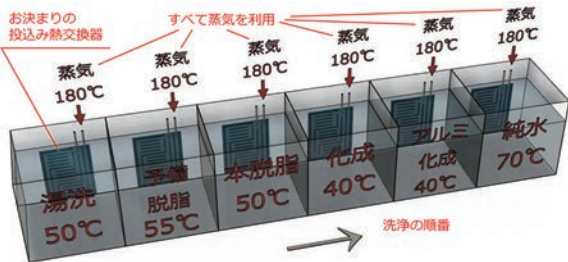


図1 塗装前洗浄フロー 蒸気熱利用

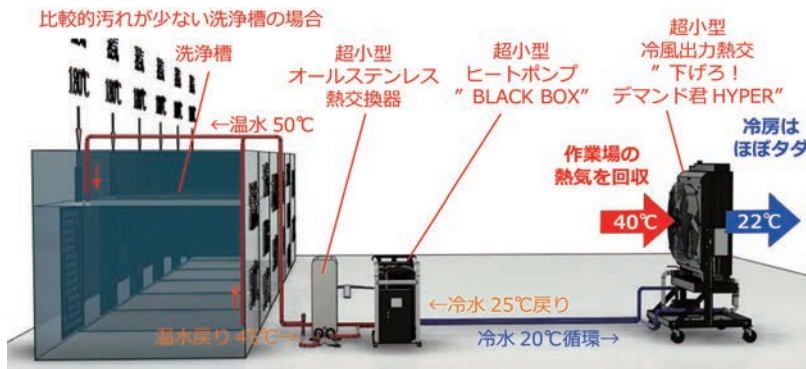


図2 比較的汚れが少ない温水槽

で接続することで、現場担当者が自身で設置、運転することも可能。

結果、冷房はほぼタダになり、熱回収した分、温水槽が加熱できるため蒸気ボイラの負荷が大幅に削減。

効果試算では、1トンボイラ（実運転は50% = 0.5トンボイラとして試算）した場合、本システムへ置き換えがうまく進んだ場合、温水加温に必要なガス代9,531,200円/年がほぼ不要となり、エアコン代5,546,564円が不要となるため、合計-15,000,000円/年の従来の光熱費が削減できる。CO<sub>2</sub>は、約65%削減されることから、排熱を大きく削減できた証拠となる。

（運転時間3360時間/年、都市ガス100円/Nm<sup>3</sup>、電気代25円/kWとして試算）

このシステムに必要な電力代は年間+5,412,960円/年と想定されるため、差額約-1000万円のランニングコスト削減となる。これが実利益として会社に即還元されるのである。

（理論計算値であり、環境、エネルギーコスト、運転時間、管理温度により都度異なるため補償値ではない。）

このシステムの特徴はすべてがハンドキャリア可能であり、高温ホース接続でも稼働できるため、現場担当者がやる気があれば自身で構築が可能なので、大幅な工事コストを削減できる可能性がある。もしくは苦手な作業のみを外注することで投資回収どころの騒ぎではなくなってしまいうメリットがある。

さらには、すべてを同時に施工する必要がなく、一か所だけ小型で試験的に運用をしながら、評価を行い、問題なければ少しずつ増設することも可能であるため、中小企業の経営者から見た負担も少なくさせることも可能である。

##### (図3参照)

##### (2) リスク対策：

塗装工場内は、場所により粉体塗料の粉が舞っているため、一般的なエアコンのようなフィンチューブでは閉塞、故障してしまう。粉体塗料工場での実績がある“高圧洗浄できる可能な”冷風熱交換器を提供すれば解決できる。

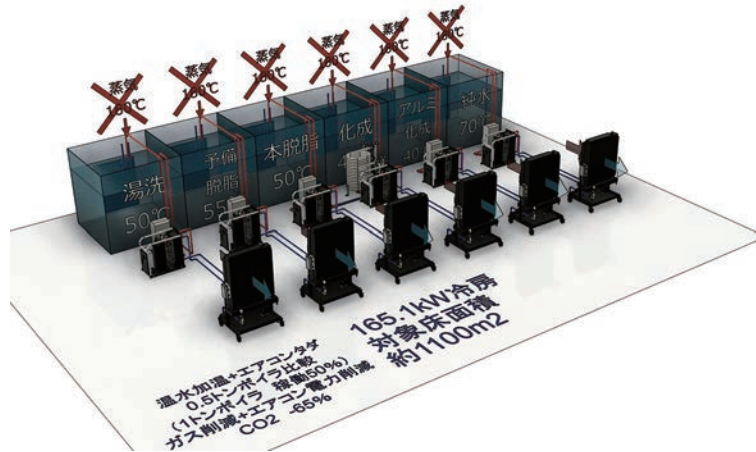


図3 温水槽 1500-1500-H2000-2 v7

表面処理工場では、水を加熱させているだけでなく、酸性薬品を加熱している箇所もあるため、空気自体が強酸になっている場合も珍しくない。このような現場でもエアコンを導入すると即故障、交換の繰り返しとなるが酸腐食に比較的強い熱交換器を独立させて、チラーを遠隔場所に設置することで大きな故障トラブルを避けられる。ヒートポンプは、高温を作れるものが高効率だと思っている人がいるが、逆である。できるだけ高温を作らずに液を加熱させるほうが省エネであるのは当たり前であり、そのために熱交換器が高効率化しなければならず、現場ごとに汚れリスクの評価がかならず必要となるのである。MDIでは、汚れの度合いにより熱交換器の選択肢がある。油汚れ、スラッジなどの汚れの質の違いにも対応した対策提案を行うことが可能である。

### 3.2 電着液冷却工程

電着液は電気により金属表面へ塗装を行うので、電気エネルギーが液の加温に直結してしまう。そのため

にチラーを用いる必要がある。

- (1) チラー効率の見直し、縁切り熱交換器の効率改善対策：

液体を冷やすからチラーという簡単な発想ではなく、そのチラーが膨大に電力を消費してしまうからこそ、しっかりとした効率チェック及び縁切り熱交換器の性能チェック、見直しが必要である。大手メーカーが製造しているから安心とか、実績あるエンジニアリング会社が設置したものだから安心とかという思想は論外である。

さらに昨今の電着液温度は、過度な冷却温度ではなく、少し常温に近い25℃管理を可能としている場合も多い。液体を常に25℃に維持するためであれば、むやみに電力消費が莫大なチラーを常時稼働させる必要はなく、日本は四季があることを利用したクーリングタワー主体のフリークーリングシステム制御により秋、冬、春の冷却ニーズはほぼタダとなる。

(図4参照)

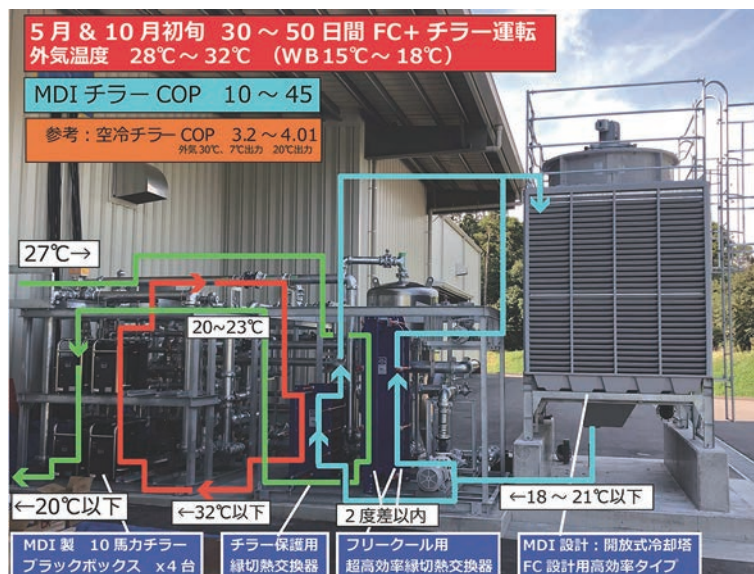


図4 冷房はタダでボイラを削減

(2) リスク対策：

チラーシステムの効率アップ、性能維持に最も大切なのは、どのメーカーなのかという議論などはほぼ意味がなく、最終放熱の冷却塔性能がすべてを支配する。この冷却水がしっかりと冷えていなければすべてが台無しであり、空冷チラーなどは近い将来温暖化の影響でパンクすることから、しっかりと水冷システムの見直しが急務である。現在では場合により無薬注化させるための取り組みが可能となっており、レジオネラ菌対策、SS 汚れ、スラム、スケール対策を含めた改善が実績として出てきている。これらの冷却水側の汚れ、腐食問題が解決できるトライアルを行うことで、今後のチラーまたはフリークーリングシステムによるほぼタダでの冷却も夢ではない。

3.3 乾燥工程

塗装したワークを乾燥炉に導入し、高温空気をういて焼付を行う。

そのプロセスでは、断熱材が施工されているが、効果は薄く炉の周囲は輻射熱が多く発生し続けているため、長時間作業者が居続けることが難しい環境である。

しかし中小企業では、直近の場所で粉体塗料を塗布する必要があるため、コンプレッサエアを直接作業着の中に導入し涼を取らざるを得ない現場も多い。

炉から排出される排気は、低沸点 VOC を含んでいる可能性が多いがそれでも洗浄による解決が前提でしっかりと熱回収を行うことで、大幅な熱回収が実現できる。

熱回収をすでにしている！という工場もあるが、その熱回収効率は十分に良いものが入っているのだろうか？私を知る限り、あまり良い効率のものは付いておらず昭和の設計のまま、形だけは付いているが熱回収効果はほとんどないようなものが多いため、見直しを行うことも重要である（図5参照）。

回収方法は、排ガス熱回収/吸気加温のガス/空気熱交換器が最有力候補であり、その熱回収効率は70～80%の実績がある（図6、図7参照）。

現場の設置場所が狭く、ダクト施工もしにくい現場の場合には、排ガス/液加温熱交換器にて、いったん液体へ熱を移動させ、吸気側に別の液/空気加温熱交換器で吸気加温を実現させることで、現場側の設置問題を解決できる場合がある。その場合の効率は50～64%前後である。

こんなの付いてませんか？

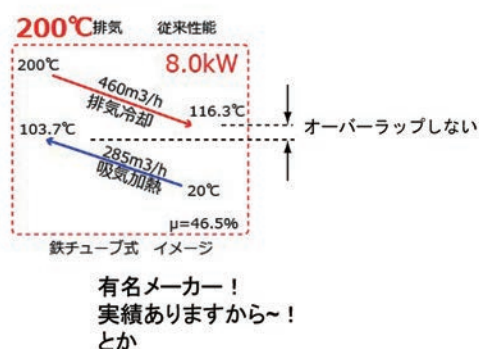


図5 塗装工場の排気熱回収/吸気加熱 (1)

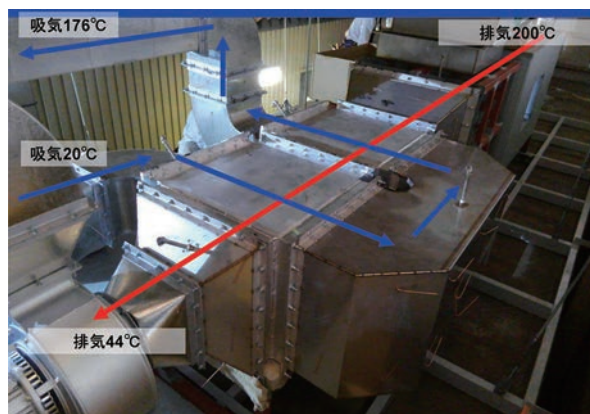
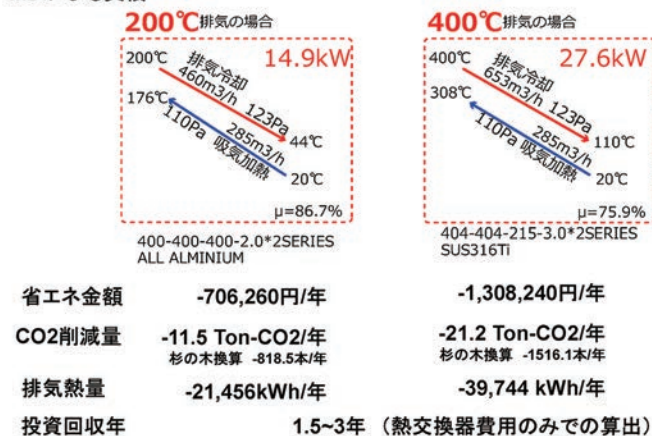


図6 塗装工場の排気熱回収/吸気加熱 (2)

MDIによる実績



都市ガス単価 130円/m³、運転時間3360日/年、バーナー熱効率70%、電力単価30円/kWhとして算出

図7 塗装工場の排気熱回収/吸気加熱 (3)

塗装排ガス熱 200~400℃ 前後は、1 度回収しただけでは、まだ排気熱は 100℃ 前後残っている可能性があり、その残りの排熱も回収できる可能性がある。その排熱回収用途は、上記 1 と同じ手法で洗浄用温水又は乾燥空気のプレ加熱への投入ができるうまいくと塗装排ガスの排気温度は最終的に常温前後に低下させることも可能である (図 8 参照)。

(1) リスク対策：

排ガスのリスク対策は、ヤニの堆積問題が多いが、排ガスの VOC 処理と合わせてしっかりとした触媒対策により VOC を処理し、徹底的な熱回収の両立を行うことで、ヤニの減少も実現できる。それでもなお、絶対に汚れないということにはならないため、万が一でも熱交換器内部に堆積してしまう

ヤニのリスクには以下の 2 つの手法がある。

- 1) 熱交換器内部のヤニ対策用薬液洗浄 — MDI 製 “ダイナミック GC-S” により実績あり (図 9 参照)
- 2) 熱交換器の分解、交換 — 交換しやすい取り付け構造としておく

### 3.4 空気コンプレッサ (及び集塵機)

塗装プロセスには、コンプレッサが必須であるが、そのコンプレッサは膨大な電力を必要とする。例えば定格 22kW コンプレッサは、吸気が高温になればなるほど、効率が悪くなるため消費電力は 22kW 以上必要とあるのは容易に想像できるであろう。その排気熱はどれくらい出ているのかというと、22kW 以上排気されていることをご存じだろうか？

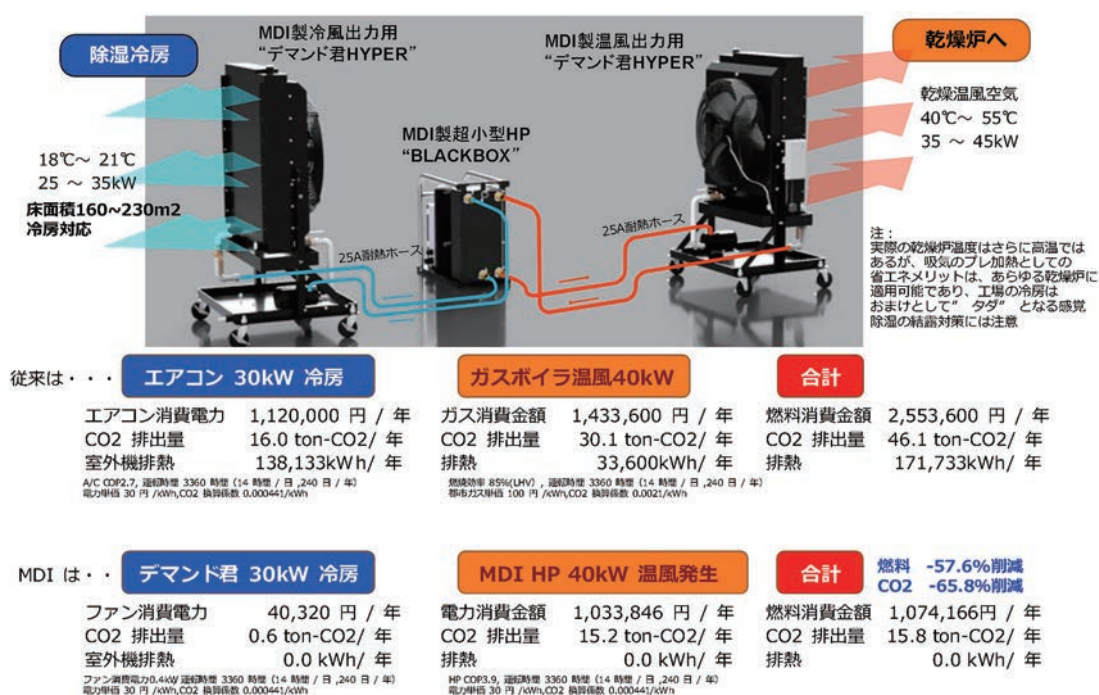


図 8 乾燥炉用 吸気加熱+工場冷房のすすめ



図 9 ダイナミック GC-S

22 kW の電力消費しかしていなかったとしても、コンプレッサの全体発熱量は 22 kW 以上の発熱をしていることから、従来のいい加減なコンプレッサ室の換気扇設計では、当然室内の温度はこもるだけで、すぐに 40℃ を超えてオーバーヒート＝運転停止問題に直結するのである。

コンプレッサの簡単な省エネ対策は、吸気冷却による機械効率向上が最優先である。

2023 年現在の日本国内の夏季の外気温度は異常な高温、高湿度であるが、コンプレッサは吸気 40℃ を超えた時点でどのメーカーであってもオーバーヒートで停止となってしまう (図 10 参照)。

塗装工場ではコンプレッサ室の高温環境である場合が多く、オーバーヒートリスクが高い。そこでエアコンを導入すればいいじゃないか？ というのは大きな過ちでありさらにエネルギーロス招いてしまうばかりか、エアコンの排気熱量は膨大であるため、温暖化に拍車をかけてしまう。そこで考えられる冷熱源は何かというと、冷却塔である。しっかりと設計された冷却塔と、超高効率熱交換器の組み合わせにより、40℃ を超える空気を 32℃ 前後へ冷却させることができる。

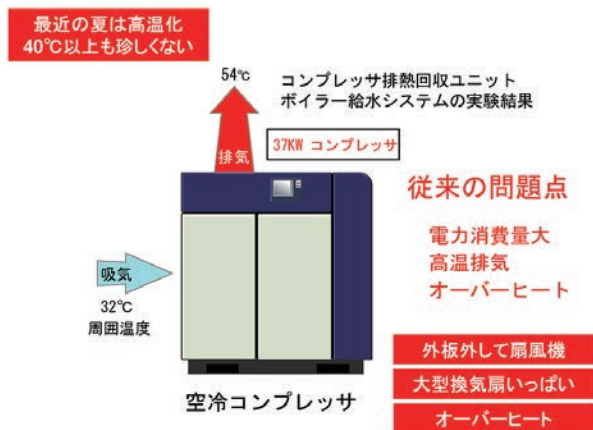


図 10 エアコンプレッサのオーバーヒート問題と対策最新情報

この冷房に必要な動力はポンプ、ファンのみでありエアコンと比較するまでもなく、省エネである。吸気温度が低下したコンプレッサは機械効率の改善が自動的にできるため安定化が可能である (図 11 参照)。

一方コンプレッサ (または集塵機) 排気熱で困っている場合、とくに排気熱が作業場に排出させてしまっている現場では、冷房したいのに暖房エネルギーが室内に投入されているために、環境悪化を自ら進んで行っているようなものである。この排気熱回収も吸気同様のシステムで行うことが可能であるため、工場内または環境にむやみに排気熱を排出させないということが実現できるのである (図 12 参照)。

### 3.5 エネルギーコストと今後の設備投資

従来の工場運営では、前記の通り多くの経験により構築されているものの、エネルギーコストが格安であることが前提であり、作業環境についても今日ほど灼熱化していなかったことが大きな違いである。今後も

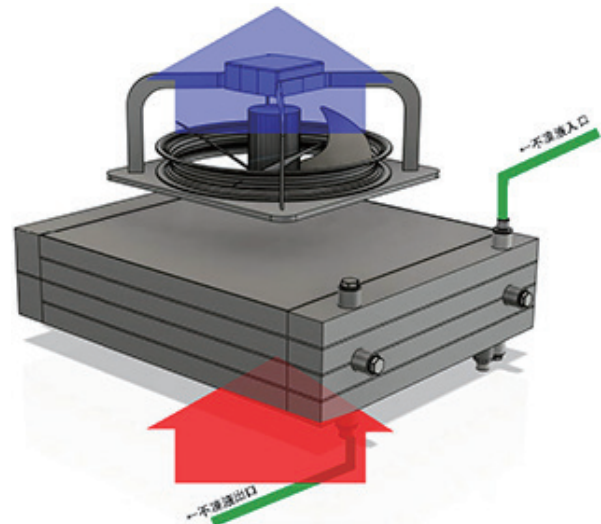


図 12

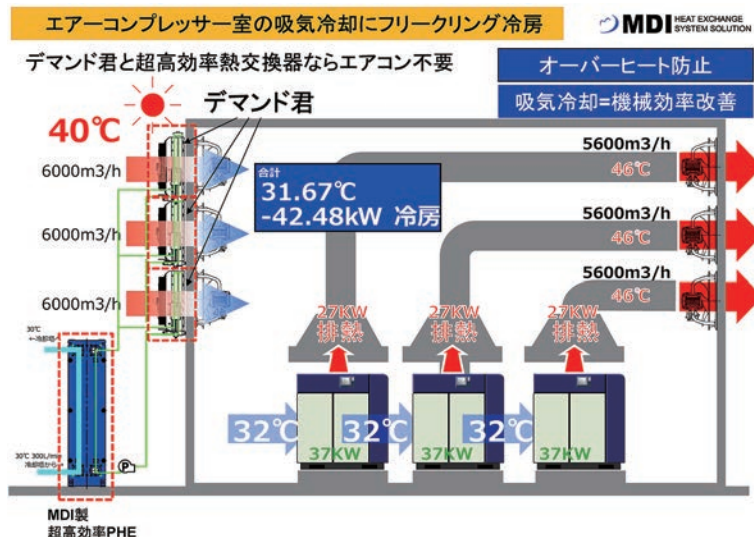


図 11 エアコンプレッサ室の吸気冷却にフリークリング冷房

エネルギーコストは下がる気配どころか、中東への紛争拡大や、円相場の弱気情勢が広がることが予想されることから一向に改善する気配はない。この現実を踏まえて工場運営側としてどうするべきかは、明確であり選択方向を間違え“従来通り”とか言っていると、納品先の大手企業からは製品を受け入れてもらえないばかりか、ESG 投資家からも環境悪化企業というレッテルを張られ大切な企業イメージも棄損してしまう。今度ばかりは方向づけをしっかりとしないとランニングコストが安くないかな？とか祈るばかりの経営思想では没落への道に直結してしまう可能性を示している。実際に他の業界ではあるが、しっかりと熱回収、環境改善を行った町工場と、従来通りのまま運営していた町工場では、明らかな違いが生まれてきており、

大きなランニングコストの違いだけでなく、新入社員の採用においても 3K、4K ともいわれる灼熱工場での根性論的な現場で働きたいという日本人は皆無であるため、近未来の人材確保においても大きな違いがあるため、死活問題に発展ししまっている現場も少なくなない。できることならば、熱の“ね”の字くらいは知ってもらいたいものである。MDI では有償ではあるが熱の基礎セミナー、工場の CO<sub>2</sub> 削減のための熱コンサルタント業務も行っているのご興味ある方はご連絡をいただければありがたい。

MDI 株式会社

本社：神奈川県川崎市川崎区

044-201-6822 [www.mdirect.jp](http://www.mdirect.jp)