

VOC 排出対策ガイド  
—基礎から実践・評価法まで—

2 塗装編

## 2 塗装編

### はじめに

塗装は、塗料を被塗物表面に塗り広げて塗膜を形成させる加工技術で、製品に対し美観、保護、特殊機能を付与し、付加価値を高める重要な役割を持っています。また、工場での塗装加工は、自動車や家電製品、建築資材、家具など産業界全体で多くの企業が製品を生産する過程において塗装加工と関連しており、モノづくりのための基盤技術です。

しかし、塗装がモノづくりに重要な役割を果たしている反面、揮発性有機化合物（VOC）を使用することの多い塗装施設は、光化学オキシダントやSPMの環境濃度低減を図り、ヒト健康へのリスクを間接的に低減することを目的として平成16年に改正された大気汚染防止法において、規制対象施設に指定されました。これを受けて塗装関連業界でも、VOC削減に対し、法規制と自主取組みによるベストミックスを基本とした考え方により、取組みが進められています。

本ガイド塗装編では、塗装施設を有する企業の方々が、VOC排出削減の自主的取組を実施しやすいように、また塗装およびVOCに係わる行政の方々や技術者、研究者がVOC排出削減に取組むために、塗装の工程とはどのような内容か、塗装工場においてVOCや悪臭がどのように発生し、測定するのか、どのようなVOC排出削減の考え方があり、具体的に行うのかを中心にわかりやすく解説したものです。併せて、発生したVOCは環境にどのように影響し、規制値はどんなものか、実際の改善事例とVOC削減効果をどう評価するのか、についてもまとめました。いわば、塗装分野におけるVOC排出削減とその評価のための手引き書です。

本編によって、塗装関連施設のVOC削減のための手法、その効果の評価方法が理解され、自主的取組への一助となれば幸いです。

本章では、工場内での塗装工程において、VOCが発生する要因と、塗装方法として最も一般的なスプレー塗装を例として、工程ごとのVOC排出の測定結果を解説します。また、塗装工場のVOC排出状況を実際に測定した事例についても紹介します。

## 1.1 塗装工程の概要

塗装とは、製品の保護・美観・機能性の付与を目的に、塗料を何らかの方法を用いて被塗物の表面へ移行させ、塗膜を形成させる表面加工のことです。

工場内の塗装施設において、金属素地を対象にした基本の塗装工程を表 2.1.1.1

に示します。ただし、この基本塗装工程は、最も丁寧な工程を示しており、塗装目的によって適当な組み合わせが決定されます。また、現在の急速な塗料や塗装法の進化により、すべての工程を用いることは少なく、目的の性能を有する簡便で合理的な工程が選択されるのが実情です。

表 2.1.1.1 金属素地の基本塗装工程

順序	工程	内容	効果	
1	素地調整	研磨、洗浄、脱錆、脱脂	表面清浄、調整	
2	下地処理	化成処理	塗膜付着性向上、防錆性向上	
3	下塗り	調整	パテ付き、プライマー（下塗り用塗料）塗装	防錆性向上
		塗布		
		セッティング		
		乾燥		
4	中塗り	調整	サーフェーサー（中塗り用塗料）塗装	表面平滑性・美観向上、膜厚調整
		塗布		
		セッティング		
		乾燥		
5	上塗り	調整	上塗り用塗料（エナメル、クリヤー）塗装	表面平滑性、意匠性付与、塗膜特性
		塗布		
		セッティング		
		乾燥		
6	研磨	コンパウンド、ワックス磨き	表面の平滑性、艶の向上	

## 1.2 塗装工程のVOCの発生要因

塗装工程において発生するVOCは、直接的には塗料や塗料に含まれる溶剤の組成に起因しますが、発生する箇所は塗装工程に伴う塗装設備や塗装機器などの装置に関連します。

### 1.2.1 塗料に関わる発生要因

VOCの発生要因のうち塗料に係わるものとして図2.1.2.1の①、②が考えられま

す。①は樹脂、溶剤、添加剤などの原材料で、もともと塗料に含まれる物質が原因となる場合であり、主に塗装ブースやセッティングゾーンから発生します。②は塗料組成が変化してVOCを発生する場合であり、乾燥炉内で塗料中の低分子物質などが高温により酸化され、焦げ臭を伴うVOCが発生します<sup>1)</sup>。これらの中でも、溶剤に起因するVOCが発生要因の多くを占めると考えられ、工業用塗料には表2.1.2.1示したように塗料の種類によって異なる複数の溶剤成分が含まれています<sup>2)</sup>。

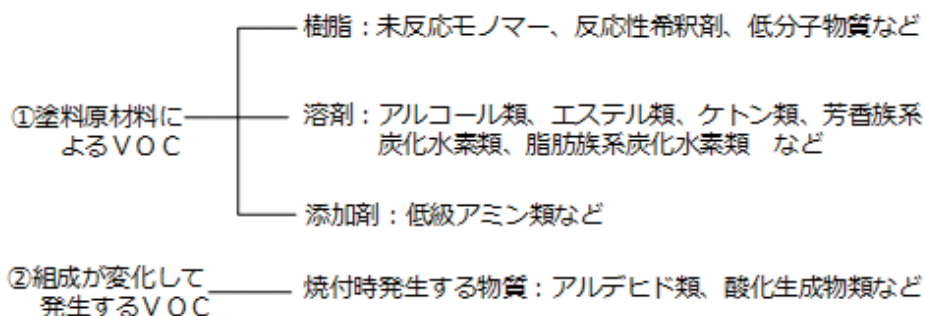


図 2.1.2.1 塗料に関わる VOC 成分

(引用：塗料・塗装機器研究会、「塗装工場における悪臭防止ハンドブック」、(社)日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、1995、pp.29-31)

表 2.1.2.1 塗装工場で使用される主な塗料と有機溶剤

(引用：日本塗装機械工業会技術部会、「新しい塗装実務ハンドブック入門編」、日本塗装機械工業会、2000、p.131)

塗料の種類	主な有機溶剤
ラッカー	トルエン、キシレン、メタノール、IPA、ブタノール、酢酸エチル、酢酸ブチル、MIBK、セロソルブ類
ウレタン樹脂系	トルエン、酢酸エチル、酢酸ブチル、MEK
エポキシ樹脂系	トルエン、キシレン、IPA、MIBK、セロソルブ類
アミノアルキッド樹脂系 (メラミン)	トルエン、キシレン、メタノール、ブタノール、酢酸ブチル
アクリル樹脂系	トルエン、キシレン、イソブタノール、ブタノール、酢酸エチル、酢酸ブチル、MIBK、アノン、石油系混合溶剤
水溶性樹脂系	IPA、ブタノール、ブチルセロソルブ

## 1.2.2 塗装工程別の発生要因

VOCを発生する場所や発生量は、施

設の設備、塗装条件などによって異なりますが、主な工程は塗布工程、セッティング工程、乾燥工程です(図2.1.2.2)。

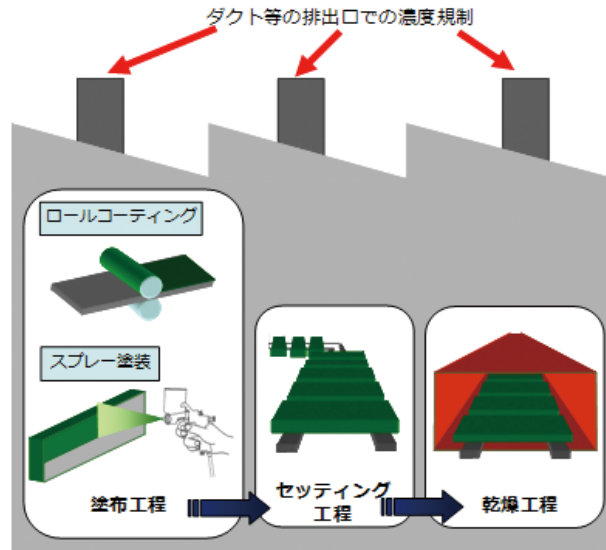


図 2.1.2.2 塗装工場からのVOC排出のモデル

### (ア) 塗布工程

塗料を塗布する方法には、ロールコーティングやフローコーティングのような塗料をそのままの状態ですべて被塗物へ移行する方法(バルク塗布)と、塗料を一度「霧」

にして移行する方法(スプレー塗布)があります。工場の塗装施設で行われる各種の塗装方法を表2.1.2.2に示します。また、それらのうち代表的な塗装方法を図2.1.2.3～図2.1.2.7に示します。

表 2.1.2.2 各種の塗装方法

(引用：技術委員会／塗料・塗装機部会、「工業塗装ラインにおける塗装・塗料管理ハンドブック」、(社)日本塗料工業会、2002、p.95)

対象塗料	塗布形態	手段及び道具	塗装方法及び塗装機器
液状塗料	バルク塗布(塗料をそのままの状態ですべて被塗物へ移行する)	浸せき付着	浸せき塗り(ディッピング)
		電解付着	電着塗装
		スリットから流す	フローコート
		ロールコーター	ロールコート
	スプレー塗布(塗料を一度「霧」にして移行する)	圧縮空気による微粒化	エアスプレー
		液圧による微粒化	エアレススプレー
粉体塗料	バルク塗布	遠心、静電、空気、液圧による微粒化	静電塗装
	スプレー塗布	熔融により被塗面につける	流動浸せき塗装
		空気・静電気により被塗面につける	静電粉体塗装

比較的低濃度の水溶性塗料中に被塗物を浸漬し、被塗物と塗料の間に電流を流して電氣的に塗膜をつくります。塗膜が均一で、ロスが少ないなどの利点があります。自動車のボディ・部品、スチール家具、アルミサッシなどの金属製品の塗装に使用されます。

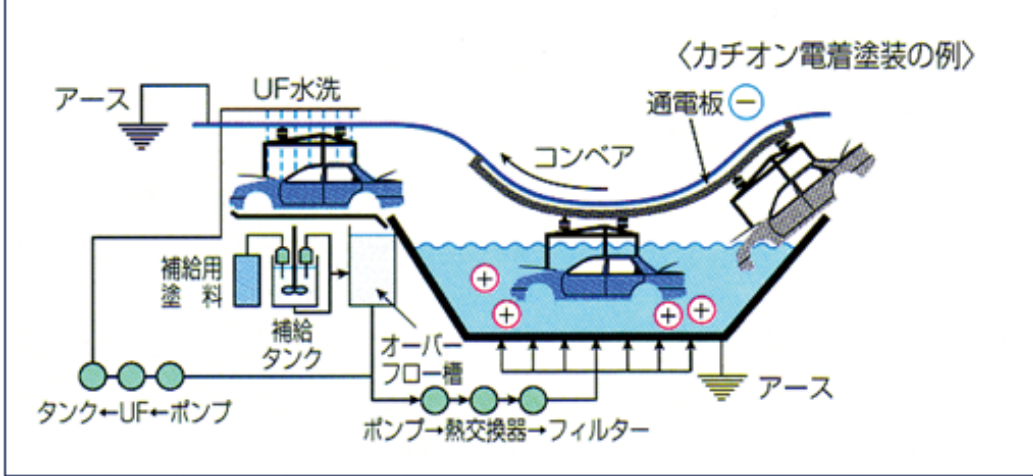


図 2.1.2.3 電着塗装の構成例

(転載：(社) 日本塗料工業会、「日本の塗料工業 '03」、2003、p.20)

塗料をカーテン状に落下させて、その下をコンベアに平板をのせて流し、平板上に塗膜をつくります。作業効率がよく、塗膜が均一でロスもありません。合板、スレート板など工場での連続塗装に適しています。

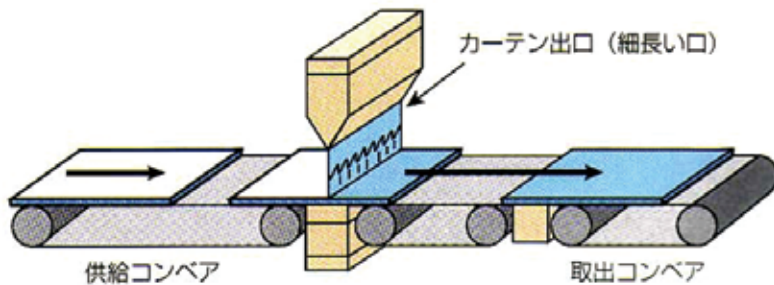


図 2.1.2.4 フローコーターの構成例

(転載：(社) 日本塗料工業会、「日本の塗料工業 '03」、2003、p.20)

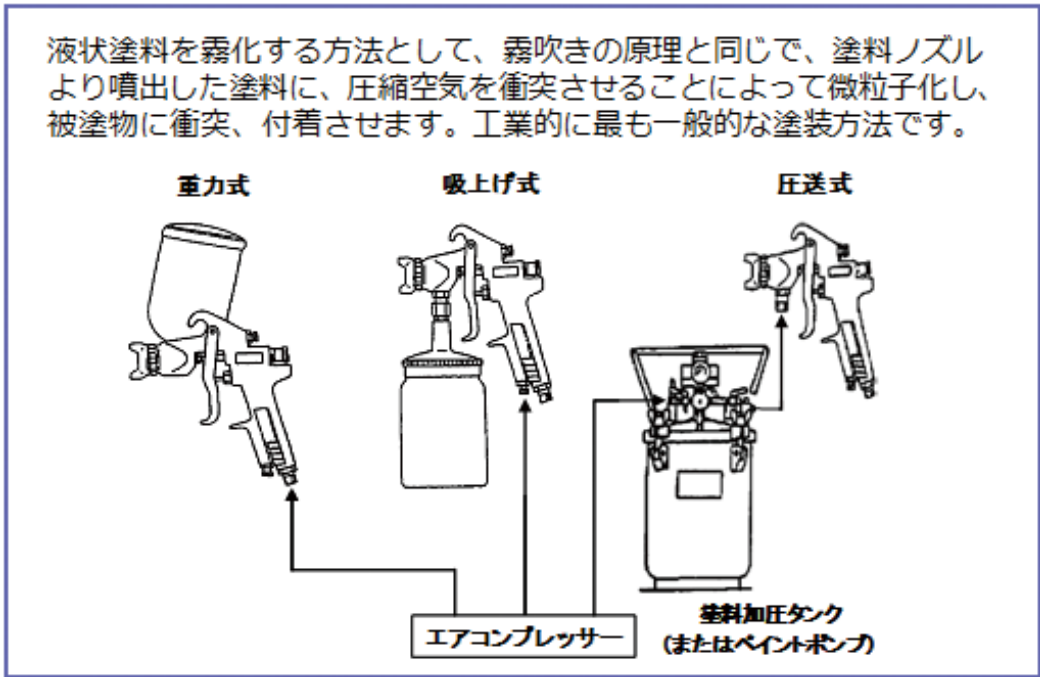


図 2.1.2.5 スプレーガンの各塗料供給方式

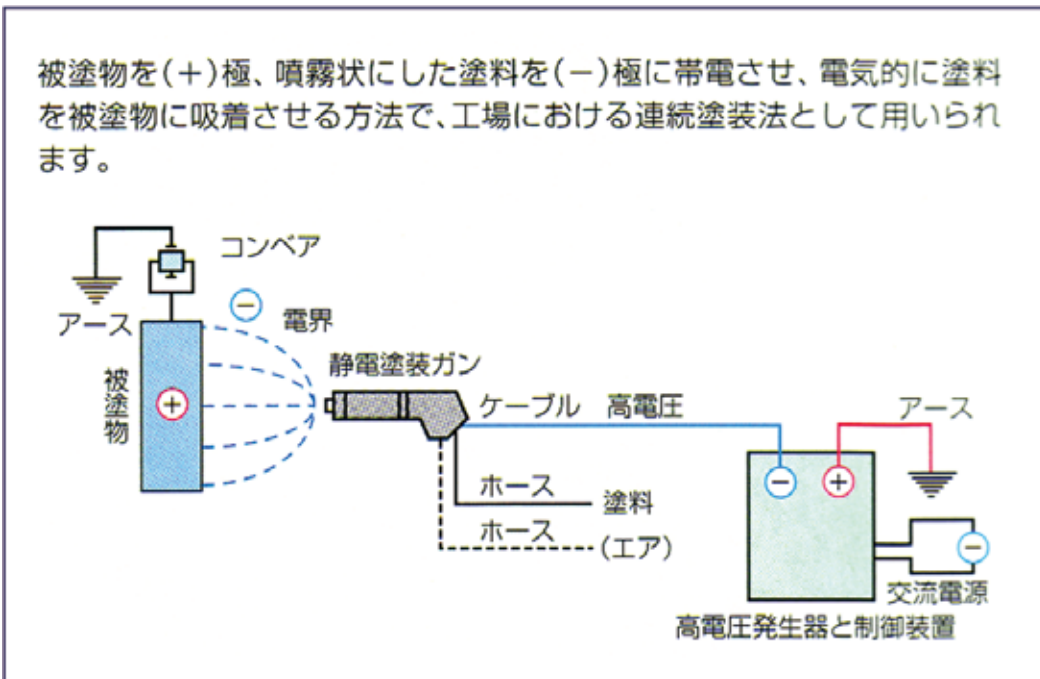


図 2.1.2.6 液体静電塗装機の構成例

(転載：(社) 日本塗料工業会、「日本の塗料工業 '03」、2003、p.20)



粉体塗料を空気で噴射し、静電塗装と同じように電氣的に付着させてから、乾燥炉で加熱溶融し連続塗膜をつくります。1回塗りで厚膜を得たいものに適しており、金網、自動販売機などの塗装に使用されています。また飛散した塗料は回収して再利用されます。

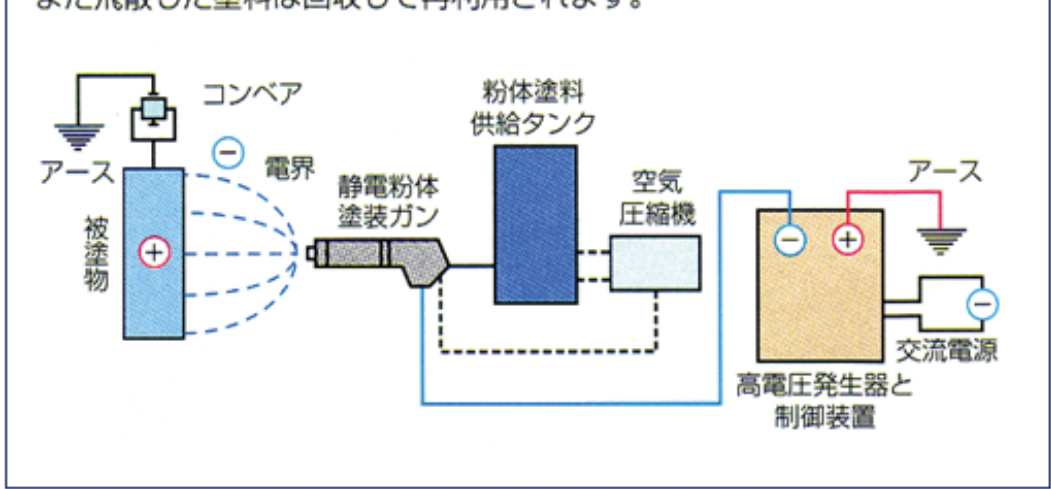


図 2.1.2.7 粉体静電塗装機の構成例

(転載：(社) 日本塗料工業会、「日本の塗料工業'03」、2003、p.20)

これら塗布工程から発生する VOC は、強制排気ダクト及び塗装ブースダクトから排出されます。塗装ブースは、スプレー塗装作業によって発生する作業場の浮遊塗料ミストを捕集し、VOC を含んだガスを強制排出する装置で、乾式・湿式、給気装置付など目的に応じて各種あります(図 2.1.2.8、図 2.1.2.9)。

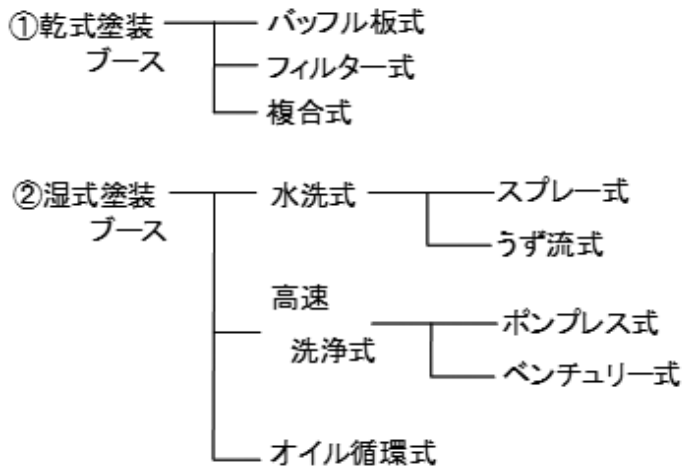


図 2.1.2.8 塗装ブースの種類

(引用：日本塗装機械工業会技術部会、「新しい塗装実務ハンドブック入門編」、日本塗装機械工業会、2000、pp.59-63)





乾式ブース バッフル板式



湿式ブース 水洗式

図 2.1.2.9 塗装ブースの一例

ロールコーティング用排気ダクトとスプレー塗装におけるブースダクトから排出される VOC 濃度の変化例を図 2.1.2.10 に示します。ロールコーティングの排出パターンは、一定の変動幅の中で短い周期の濃度変化をするのに対し、スプレー塗装は短い周期の中で変動幅が大きく、周期や変動幅そのものも変わりやすく、被塗物や塗料が変わることにより VOC 濃度の波

形や最大値が変化し、排出量も異なります<sup>3)</sup>。工業塗装の分野ではスプレー方式での塗布が最も一般的で、溶剤に起因する VOC の多くは塗装ブースから発生するものと考えられ、VOC 発生量の大小、工程内の VOC 発生割合は、塗料中の揮発成分量、塗装時の塗着効率、給排気条件などによって変化します。

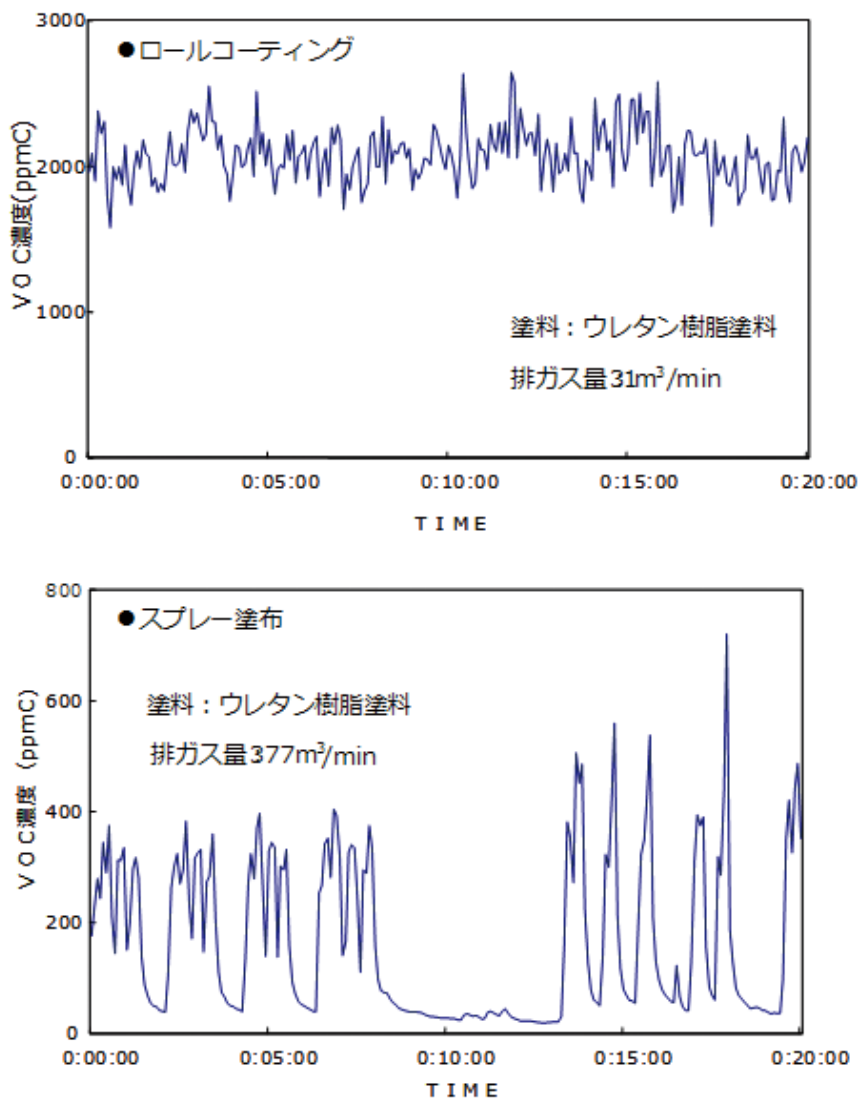


図 2.1.2.10 塗布工程のVOC 排出濃度パターン (例)

(転載：木下稔夫、「改正大防法の概要と木材塗装工場のVOC対策について」、第17回木材塗装ゼミナールテキスト、木材塗装研究会、2006、p.12)

### (イ) セッティング工程

セッティングは塗料が被塗物に付着した後、レベリングしながらある程度塗料中の溶剤を揮発させる工程で、その時間は塗料の種類、塗装条件、塗装設備、被塗物の形状などによって異なります。ラインの焼付塗装の場合は通常3～6分程度で、

常温や予備加熱をする場合もあります。バッチ式塗装の場合は、塗装室内の乾燥用棚か乾燥炉を加熱しない状態で被塗物を放置します。セッティングゾーンから揮発する溶剂量は、使用する溶剤の蒸発速度やセッティングの時間によって異なります。

(ウ) 乾燥工程

塗膜の乾燥硬化方法は、熱を加える加熱乾燥と紫外線、電子線などの特殊なエネルギーを用いる硬化に大別されます(図2.1.2.11)。焼付乾燥炉の排気口からは、塗料中の残留溶剤、一部の添加剤、樹脂モノマー、未反応物の熱分解生成物、更に樹脂の反応生成物や酸化物が複雑に混

ざり合い、焦げ臭を伴うVOCが発生します。発生する悪臭物質の種類と量は、塗料、溶剤、添加剤の種類、塗装方法並びに乾燥条件によって異なりますが、まず低沸点溶剤が揮発し、次に、中、高沸点溶剤(表2.1.2.3)が、続いて熱分解生成物やその酸化物が発生します<sup>1)</sup>。

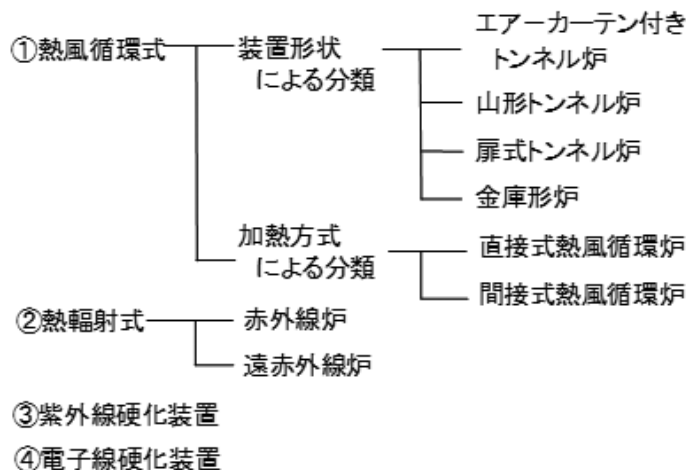


図 2.1.2.11 塗膜の乾燥方式の種類

(引用：日本塗装機械工業会技術部会、「新しい塗装実務ハンドブック入門編」、日本塗装機械工業会、2000、pp.64-69)

表 2.1.2.3 塗装工場で使用される主な塗料用有機溶剤の沸点

分類	溶剤名
低沸点溶剤 (沸点 100℃未満)	メタノール (64 ~ 66℃)、酢酸エチル (70 ~ 85℃)、 MEK (79 ~ 97℃)、IPA (81 ~ 97℃)
中沸点溶剤 (沸点 100 ~ 150℃)	イソブタノール (106 ~ 109℃)、トルエン (110 ~ 112℃)、 MIBK (114 ~ 117℃)、 <i>n</i> -ブタノール (115 ~ 120℃)、 酢酸 <i>n</i> -ブチル (115 ~ 132℃)、エチルセロソルブ (130 ~ 138℃)、キシレン (138 ~ 142℃)
高沸点溶剤 (沸点 150℃以上)	シクロヘキサノン (150 ~ 162℃)、ブチルセロソルブ (166 ~ 173℃)

## (エ) 工業塗装ラインの工程別 VOC 発生状況

工業塗装ラインにおいて、塗装加工は一般的に塗料調合→塗装→セッティング→乾燥の工程順で進められますが、それ

ぞれの VOC 発生量は、図 2.1.2.12 のようになります<sup>1)</sup>。また、このほか、器具の洗浄や溶剤の保管時にも、VOC が発生します。

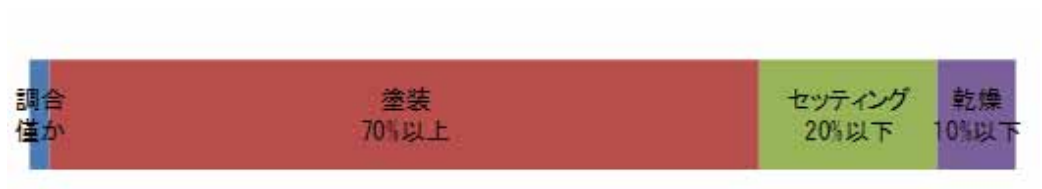


図 2.1.2.12 金属塗装ラインの工程別 VOC 発生状況

(転載：塗料・塗装機器研究会、「塗装工場における悪臭防止ハンドブック」、(社)日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、1995、pp.29-31)

## 引用文献

1. 塗料・塗装機器研究会、「塗装工場における悪臭防止ハンドブック」、(社)日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、1995、pp.29-31
2. 日本塗装機械工業会技術部会、「新しい塗装実務ハンドブック入門編」、日本塗装機械工業会、2000、p.131
3. 木下稔夫、「改正大防法の概要と木材塗装工場のVOC対策について」、第17回木材塗装ゼミナールテキスト、木材塗装研究会、2006、p.12

## 1.3 塗装シミュレータによる VOC 排出調査

塗装工程における VOC の排出実態について、工場塗装で最も多く用いられるスプレー塗装を例に、調査した事例を紹介します。

### 1.3.1 VOC 排出実態測定方法

図 2.1.3.1 及び図 2.1.3.2 のように、塗装ブースや乾燥炉の排気ダクトからテフロンチューブを介して VOC 濃度の連続測定と、VOC をサンプリングし、基礎編第 3 章 3.1 の方法で VOC の分析を行いました。また、使用した塗料も、ヘッドスペースガスについて分析しました。

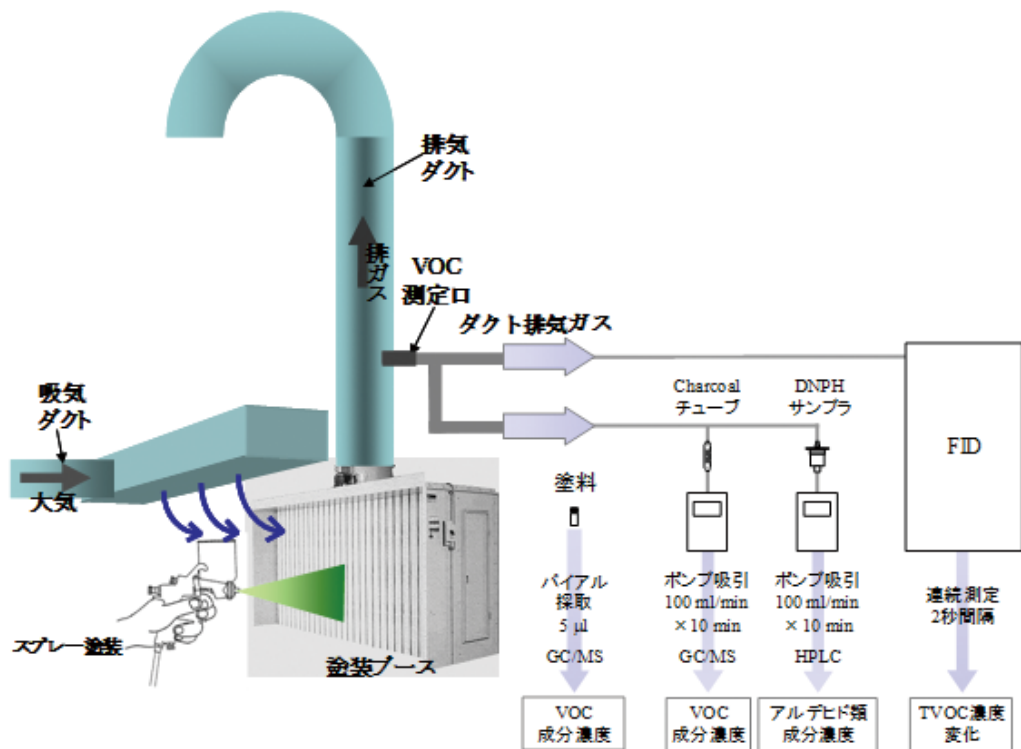


図 2.1.3.1 スプレー塗布工程における塗装ブースからの排ガス測定構成図

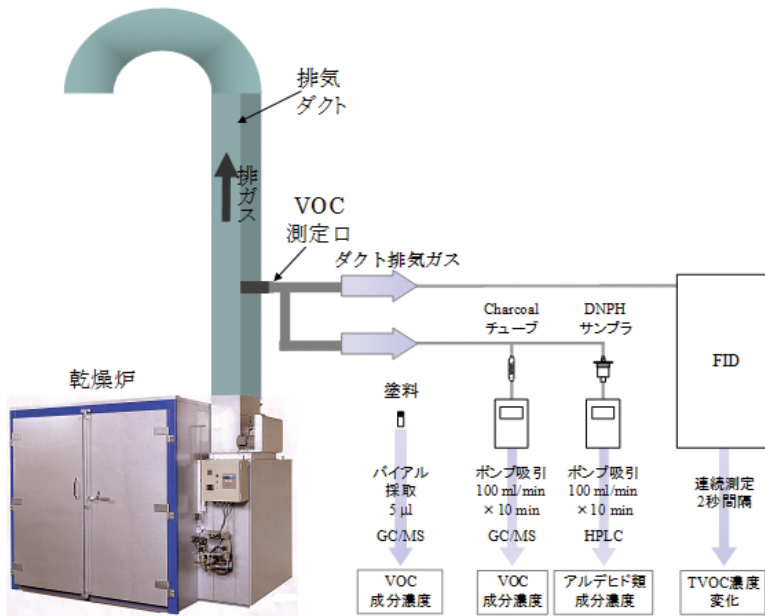


図 2.1.3.2 セッティング、乾燥工程における乾燥炉からの排ガス測定構成図

### 1.3.2 VOC 濃度経時変化

塗装工程による VOC 濃度の変化は、  
図 2.1.3.3 ~ 2.1.3.5 のようになります<sup>1)</sup>。

この実験は、実際の塗装ブース及び乾燥炉を用いて塗装工程をシミュレートし、発生したTVOCの濃度変化を FID で測定した結果です。

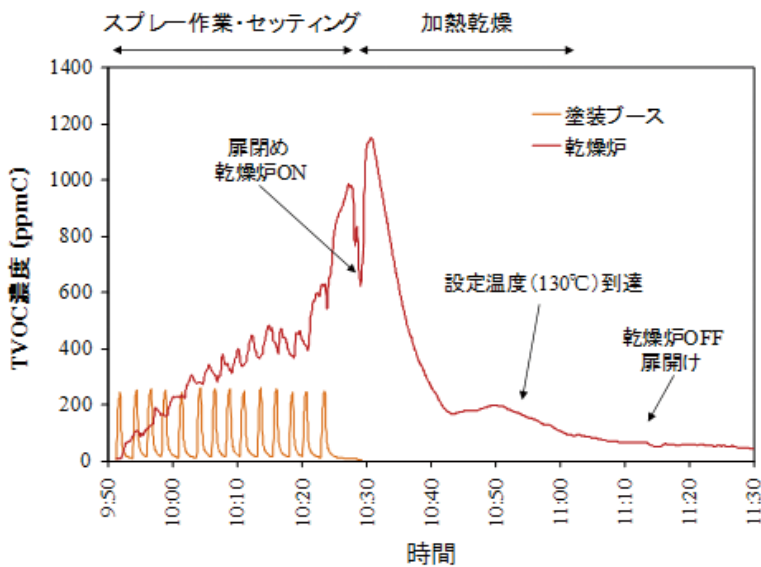


図 2.1.3.3 バッチ式塗装時の VOC 濃度変化 (メラミン樹脂塗料使用時)



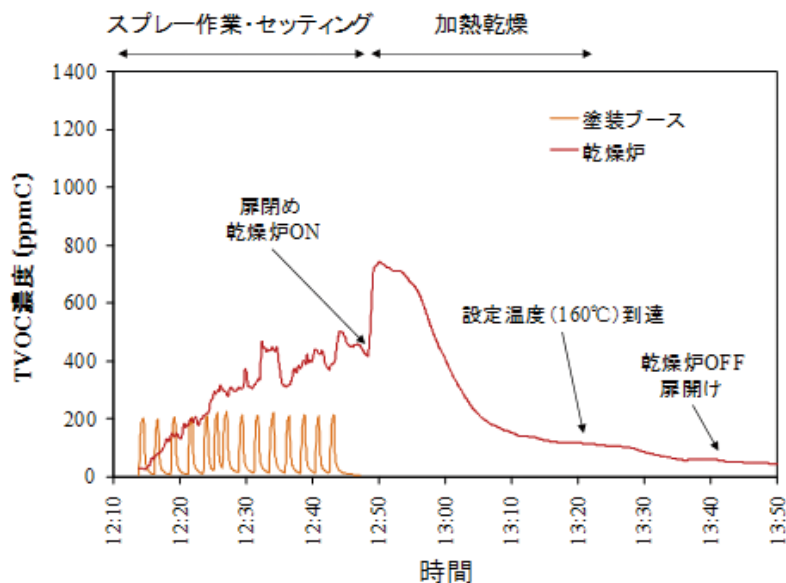


図 2.1.3.4 バッチ式塗装時の VOC 濃度変化 (熱硬化性アクリル樹脂塗料使用時)

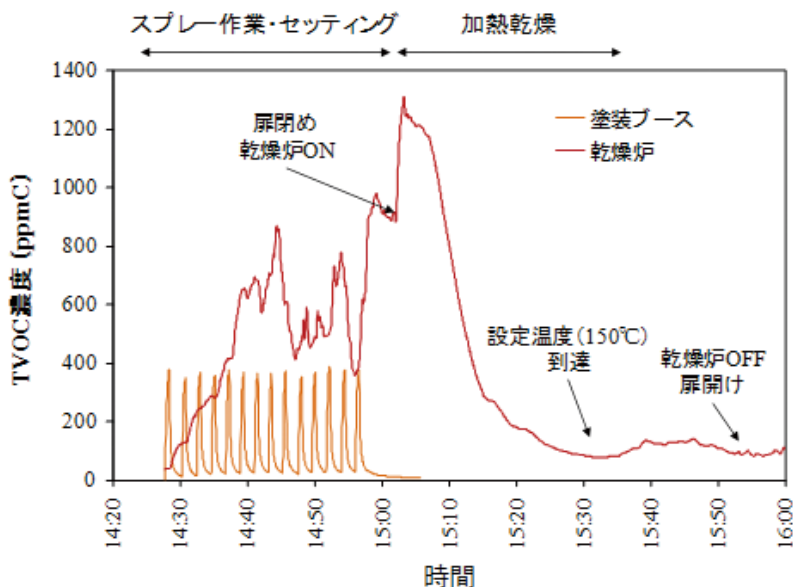


図 2.1.3.5 バッチ式塗装時の VOC 濃度変化 (エポキシ樹脂塗料使用時)

VOC 濃度は、塗装ブースでは、スプレー作業により平板を 1 枚塗装することにより上昇と下降を繰り返しました。一方乾燥炉では、被塗物をセッティングしている間

に徐々に上昇し、扉を閉めると炉内が密閉されて急上昇しました。その後、ダクトからの排気により速やかに減衰し、設定温度付近で再び上昇しました。

表 2.1.3.1 に、各種塗料の塗装工程における VOC 排出状況をまとめました。VOC 濃度の平均値は、塗装工程では 70 ～ 106ppmC、セッティング・乾燥工程では、260 ～ 393ppmC となり、最大値は、塗装工程では 226 ～ 389ppmC、セッティング・乾燥工程では、743 ～ 1310ppmC となりました。塗装工程とセッティング・乾燥工程を比較すると、平均値、最大値ともに乾燥工程のほうが塗装工程よりも 3 ～ 4 倍高い値となりました。また、平均値と最大値を比較すると、塗装工程、セッティング・乾燥工程どちらも最大値のほうが平均値よりも 3 ～ 4 倍高い値となっています。これらの値は、塗料中の揮発成分量、塗装時の塗着効率、ダクト排ガス量によって変わる値なので一概には言

えませんが、処理装置を設計するにあたって参考になります。例えば、乾燥炉での最大濃度は、塗料成分の爆発下限界値と比べると十分に低いため、ダクト排ガス量を下げることができる可能性があります。排ガス量を低く設定することで、乾燥炉及び処理装置の消費エネルギーを低く抑えることができます。乾燥炉用処理装置のガス量と濃度の考え方については、「5.5 塗装乾燥炉用処理装置の研究開発事例」を参照してください。

VOC 濃度と排ガス量、計測時間から求めた VOC 排出量の排出比は、塗装工程が 76 ～ 77%、セッティング・乾燥工程が 23 ～ 24% となり、図 2.1.2.12 金属塗装ラインの工程別 VOC 発生状況と概ね一致した結果となっていることが分かります。

表 2.1.3.1 各種塗料の塗装工程における VOC 排出状況

項目		メラミン樹脂塗料		熱硬化アクリル樹脂塗料		エポキシ樹脂塗料	
		塗装工程	セッティング 乾燥工程	塗装工程	セッティング 乾燥工程	塗装工程	セッティング 乾燥工程
ダクト排ガス量	(ml/min)	160	5	160	5	160	5
	(ml/h)	9600	300	9600	300	9600	300
VOC 濃度 (ppmC)	平均値	74	323	70	260	106	393
	最大値	260	1150	226	743	389	1310
計測時間(sec)		2238	4920	2004	5400	2032	5280
VOC 排出量	吐出塗料中 揮発分量 (g)	365		357		524	
	炭素数 1 の V に換算した容 量 (ml)	0.442	0.132	0.374	0.117	0.574	0.173
排出比 (%)		77	23	76	24	77	23
排出比による吐出塗料の 揮発分量 (g)		281	84	272	85	403	121

### 1.3.3 塗装工程別のVOC成分濃度<sup>1)</sup>

図 2.1.3.6 ~ 図 2.1.3.8 に、図 2.1.2.1 で示した塗装実験における各塗装工程での VOC 成分濃度と組成比を示しました。測定は、第 3 章 3.1.2 の方法で行っています。VOC 成分は、塗装時(①)には塗料からの揮発成分と同様の傾向を示していますが、乾燥時(②、③、④)にホルムアルデヒドの割合が増加しています。ホルムアルデヒドは、国際癌研究機関(IARC)により"ヒトに発がん性がある"に分類され

(基礎編第 4 章 表 1.4.3.1 参照)、労働安全衛生法による作業場の管理濃度基準は 0.1ppm です(基礎編第 1 章 表 1.1.3.3 参照)。このことから、乾燥炉付近では、作業者はホルムアルデヒドに曝露しないよう適切な防護をする必要がある場合があるといえます。また、乾燥の設定温度に達した時に、酸化反応生成物と考えられるアルデヒド類も検出されました。これらは嗅覚閾値が低いことから、悪臭の原因となる可能性があります。臭気に関しては塗装編第 2 章を参照してください。

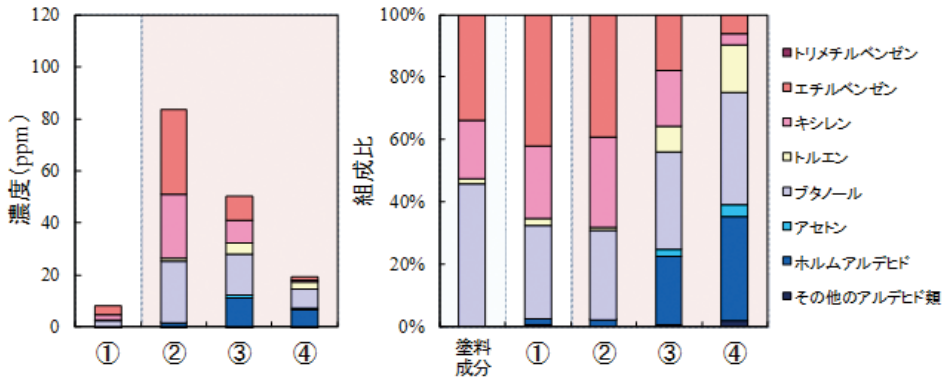


図 2.1.3.6 塗装工程ごとの VOC 成分濃度と組成比 (メラミン樹脂塗料使用時)

① 塗装時、② 被塗物セッティング時、③ 乾燥開始時、④ 設定温度 (130°C) 時

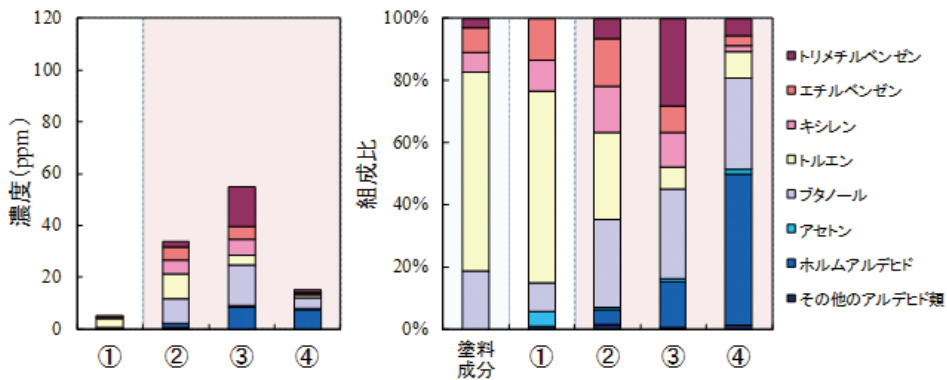


図 2.1.3.7 塗装工程ごとの VOC 成分濃度と組成比 (熱硬化性アクリル樹脂塗料使用時)

① 塗装時、② 被塗物セッティング時、③ 乾燥開始時、④ 設定温度 (130°C) 時

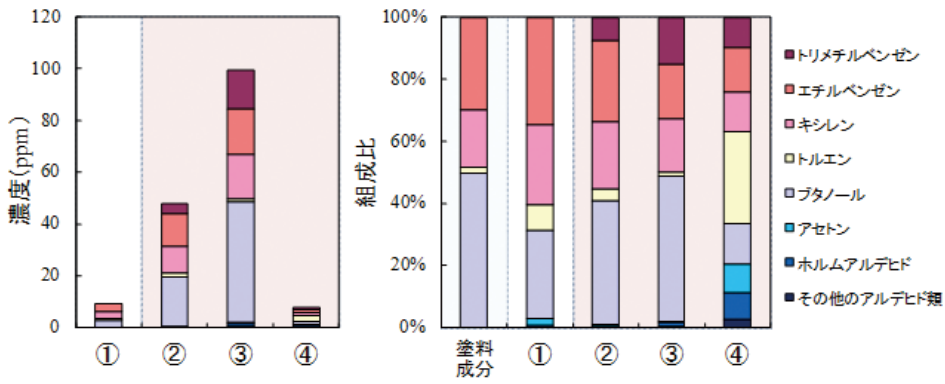


図 2.1.3.8 塗装工程ごとの VOC 成分濃度と組成比 (エポキシ樹脂塗料使用時)

① 塗装時、② 被塗物セッティング時、③ 乾燥開始時、④ 設定温度 (130°C) 時

## 引用文献

1. 水越厚史, 木下稔夫, 野口美由貴, 齋藤京子, 柳沢幸雄、「塗装シミュレータによる塗装工程ごとの VOC 成分の調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、5号、2010、pp.52-55

## 1.4 小規模塗装工場におけるVOC排出の実態

東京都内において工業製品への塗装を専門とする小規模塗装工場の塗装工程のうち、法規制の対象になっている吹付け塗装施設の塗布工程および乾燥工程に関するVOC排出実態を、VOC濃度連続測定により解析を行った調査結果について報告します。

### 1.4.1 調査事業所と塗装施設の概要

VOC排出実態調査を行った事業所の概要は次のとおりです。

業種:	金属製品塗装業
事業所数:	4事業所
地域:	東京都内
規模:	従業員数20人以下

本調査では、塗装施設の基礎データとして聞き取り、および現場での観察調査を行いました。調査した4事業所の塗装施設の概要を表2.1.4.1に示します。

いずれの事業所もハンドスプレーによるバッチ式の塗装施設(図2.1.4.1)で、使用する塗料はメラミン樹脂塗料が最も多く、その比率も大半を占めています。また、VOC削減に効果のある塗装機器として粉体塗料を塗装するための粉体塗装機や塗着効率の向上が図れる静電塗装機を導入していました。塗料使用量は、事

業所Bが塗料と溶剤の合計量で28.2tと最も多く、事業所Dの11t、事業所Cの8.2t、事業所Aの3.7tと続きます。しかし、その中に含まれる各事業所のVOC対象物質総量は、塗料中に含まれる溶剤等の揮発性物質と希釈・洗浄溶剤量の合計となるため、これらの数値と希釈・洗浄溶剤量の数値の間になると考えられます。

吹付け塗装において規制対象施設となる塗装ブースからの排出系統は、いずれの事業所も塗装ブースを2基有していますが、最終的な排出口となる排気ダクトをそれぞれに別にしているのが2事業所、途中で結合して一つにしているところが2事業所でした。



図2.1.4.1 ハンドスプレーによる塗装作業

表 2.1.4.1 調査塗装施設の概要

事業所	A	B	C	D
塗装施設の種類	バッチ式焼付け 塗装ライン	バッチ式焼付け 塗装ライン	バッチ式焼付け 塗装ライン	バッチ式焼付け 塗装ライン
塗布機器	重力式エアスプレーガン 粉体塗装機	重力式エアスプレーガン 圧送式エアスプレーガン 粉体塗装機	重力式エアスプレーガン ハンド液体静電塗装機 粉体塗装機	重力式エアスプレーガン ハンド式静電塗装機
塗布方式	ハンドスプレー	ハンドスプレー	ハンドスプレー	ハンドスプレー
乾燥設備	熱風循環式金庫形炉	熱風循環式トンネル炉 熱風循環式金庫形炉	熱風循環式金庫形炉	熱風循環式金庫形炉
使用する主な塗料の 使用比率*	a : c : d : e 65 : 15 : 10 : 10	a : b : d 60 : 30 : 10	a : b : d : g 85 : 5 : 5 : 5	a : d : f 90 : 5 : 5
塗料の年間使用量 (t)	2.2	21.2	4.4	6.5
希釈・洗浄剤の 年間使用量 (t)	1.5	7	3.8	4.5
主な被塗物	弱電機器パネル	照明器具	機械関係部品	計測器、通信機器
塗装ブースの種類	湿式ブース水洗式 湿式ブースオイル循環式	乾式ブースパツフル板式	湿式ブースオイル循環式	乾式ブースパツフル板式
ブースダクトの系統と数	ブース2、排出ダクト2	ブース2、排出ダクト2	ブース2、排出ダクト1	ブース2、排出ダクト1
*)a.メラミン樹脂塗料 b.熱硬化アクリル樹脂塗料 c.ポリエステル樹脂塗料 d.ポリウレタン樹脂塗料 e.エポキシ樹脂塗料 f.ラッカー g.粉体塗料				

## 1.4.2 VOC の排出調査方法

VOC の排出実態について次の項目に関する測定を行い、解析しました。

### (ア) VOC 濃度の測定

各事業所の吹付け塗装施設の塗装ブースおよび乾燥炉の排気ダクトから排出されるガスに対し、VOC 濃度の連続測定を、FID 式ポータブル全炭化水素計を用いて行いました。また、連続測定時に並行して公定法（平成 17 年環境省告示第 61 号、水素炎イオン化形分析計（FID）法）に準拠した測定を行いました（図 2.1.4.2）。

### (イ) 排ガス量の測定

ピトー管または熱式風速計を用いてダク

ト内の排ガスの風速を測定するとともにダクトの断面積を計測し、次式により排ガス量を算出しました。

$$\text{排ガス量 (m}^3\text{/h)} = \text{ダクト断面積 (m}^2\text{)} \times \text{風速 (m/s)} \times 60^2$$

### (ウ) 使用塗料

調査時の使用塗料に関して、聞き取り、MSDS、現地でのサンプリングを行いました。



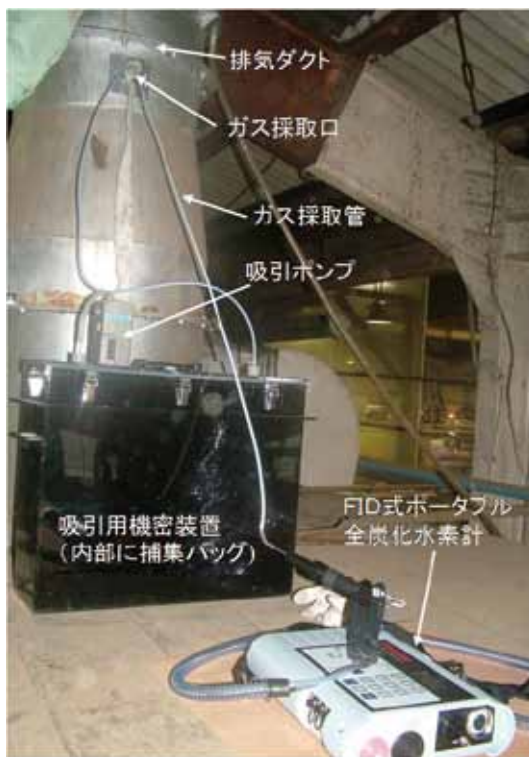


図 2.1.4.2 工場における VOC 採取と VOC 濃度の測定 (例)

### 1.4.3 VOC の排出実態

#### (ア) 塗布工程の VOC 排出実態<sup>1)</sup>

調査時における各事業所の塗装ブース

からの VOC 排出実態を表 2.1.4.2 に、塗装に使用された塗料の種別、用途、加熱残分、揮発分、MSDS に示された成分の種類を表 2.1.4.3 に示します。

表 2.1.4.2 吹付け塗装施設における塗布工程の VOC 排出実態

事業所	A	B	C	D
測定時間（休憩時間は除く）	10:11～11:34	9:39～11:55	9:14～14:02	9:35～12:25
スプレー作業者	1名	2名	1名	2名
スプレー機器	重力式ハンドスプレーガン	圧送式および重力式ハンドスプレーガン	重力式ハンドスプレーガン ハンド液体静電塗装機	重力式ハンドスプレーガン
VOC排出設備（間口（㎡））	湿式ブース水洗式（3.4）	乾式ブースパツフル板式（7.6）	湿式ブースオイル循環式（6.5）	乾式ブースパツフル板式（9.4）
被塗物の大きさ	小	小～中	中～大	小～中
使用した塗料の種類と数	メラミン樹脂塗料（2）	メラミン樹脂塗料（4） エポキシ樹脂塗料（1）	メラミン樹脂塗料（4） エポキシ樹脂塗料（1） その他（1）	メラミン樹脂塗料（8） エポキシ樹脂塗料（1） ラッカー塗料（1）
使用塗料の平均揮発分（%）	57	46	42	52
測定箇所	ブースダクト	ブースダクト	ブースダクト	ブースダクト
ダクト形状（m）	0.5×0.5	0.8×0.8	0.8×0.6	0.8×0.85
ダクト面積（㎡）	0.25	0.64	0.48	0.68
ダクト内風速（m/s）	4.6	5.2	6.6	9.0
ダクト排ガス量（m <sup>3</sup> /h）	4,140	11,981	11,405	22,032
VOC濃度（ppmC）	平均値	242	377	127
	最小値	88	120	63
	最大値	406	903	1048
VOC排出量（炭素数1のVOCに換算した容量（m <sup>3</sup> /h））	1.0	4.5	2.4	2.8

各塗装施設の VOC 濃度は、いずれも平均値で 400ppmC 以下であり、法による排出基準値の 700ppmC を下回り低濃度でした。しかし、濃度の変動が大きく、最小で 11ppmC、最大で 1048ppmC を示す事業所、時刻がありました。吹付け塗装施設のダクトから排出される VOC の濃度は、排ガス量、時間当たりの塗料吐

出量、塗料中の VOC 成分比に左右されると考えられます。VOC 排ガス量の違いによる濃度への影響は、事業所 A と D の調査結果に現れており、事業所 A の VOC 排出量は D の約 1/3 にもかかわらず、排ガス量が少ないため VOC 濃度は倍近い値を示しました。

表 2.1.4.3 調査時に各塗装施設で使用された塗料の種別と性状

事業所	塗料	種別		塗料 加熱残分 (%)	希釈塗料 加熱残分 (%)	希釈塗料 揮発分 (%)	MSDSによる揮発成分名
A	A-①	メラミン樹脂塗料	上塗り	-	59	41	キシレン、エチルベンゼン、n-ブタノール、イソブタノール、メチルメトキシブタノール、高沸点芳香族ナフサ、ホルムアルデヒド
	A-②			-	55	45	
	平均値					57	
B	B-①	メラミン樹脂塗料	上塗り	67	59	41	トルエン、キシレン、エチルベンゼン、トリメチルベンゼン、メチルイソブチルケトン、酢酸エチル、メタノール、n-ブタノール、イソブタノール、イソプロピルアルコール、プロピレングリコール、ブチルセロソルブ、低沸点芳香族ナフサ、石油系炭化水素、ホルムアルデヒド
	B-②			65	50	50	
	B-③			65	53	47	
	B-④			65	51	49	
	B-⑤	エポキシ樹脂塗料	下塗り	-	16	84	
	平均値					46	
C	C-①	メラミン樹脂塗料	上塗り	64	44	57	トルエン、キシレン、エチルベンゼン、酢酸ブチル、n-ブタノール、イソブタノール、プロピレングリコールモノメチルエーテル、シクロヘキサノン、ブチルセロソルブ、C9炭化水素混合物、C10炭化水素混合物、ホルムアルデヒド
	C-②			70	51	49	
	C-③			70	49	51	
	C-④			70	51	49	
	C-⑤	エポキシ樹脂塗料	下塗り	53	33	68	
	C-⑥	合成樹脂		56	27	73	
	平均値					42	
D	D-①	メラミン樹脂塗料	上塗り	66	59	41	トルエン、キシレン、エチルベンゼン、アセトン、酢酸エチル、酢酸ブチル、メタノール、n-ブタノール、イソブタノール、ブチルセロソルブ、プロピレングリコールモノメチルエーテル、ブチルセロソルブ、シクロヘキサノン、低沸点芳香族ナフサ、ホルムアルデヒド
	D-②			60	50	50	
	D-③			66	47	53	
	D-④			-	46	54	
	D-⑤			68	54	46	
	D-⑥			-	53	47	
	D-⑦			64	58	42	
	D-⑧	63	50	50			
	D-⑨	エポキシ樹脂塗料	下塗り	53	41	59	
	D-⑩	ラッカー（導電塗料）		上塗り	68	57	
	平均値					52	

4 塗装施設の調査時間あたりの使用した塗料の種類は、少ない施設でも2種類、多い施設は10種類と少量他品種を特徴とする小規模塗装工場の実態を示していました。塗料の多くはメラミン樹脂塗料であり、1コート仕上げが主に行われていましたが、事業所B、Cでは被塗物によりエポキシ樹脂塗料を下塗り、メラミン樹脂塗料を上塗りにした2コート1ベーク仕上げが行われていました。それぞれの塗料における希釈前の加熱残分、塗装時に希釈した後の加熱残分と揮発分の比(%)から、塗料により塗装時の揮発分(VOC成分)に違いがあることがわかりました。また、塗料中のVOCと考えられる成分は、

調査時間内だけでも最も少ない事業所で7成分、最も多い事業所では16成分にのぼり、塗装加工時においては、排出されるVOCの種類も多いことがわかりました。これら4事業所の調査時に使用された塗料の種別における塗装時の揮発分(VOC)比の平均値について、樹脂の種類によるものを表2.1.4.4、下・上塗りといった用途によるものを表2.1.4.5にまとめました。樹脂の種類では、エポキシ樹脂塗料が主に使用されるメラミン樹脂塗料に比べて22%、また用途では、下塗り塗料が上塗り塗料に比べて15%揮発分が多く、種別によりVOC成分に違いがあることがわかりました。

表 2.1.4.4 調査時に使用された塗料の種別(品種)の加熱残分と揮発分(VOC成分)比

種別(品種)	希釈塗料加熱残分(%)	希釈塗料揮発分(%)
メラミン樹脂塗料	52	48
エポキシ樹脂塗料	30	70
ラッカー(導電塗料)	57	43
合成樹脂	27	73

表 2.1.4.5 調査時に使用された塗料の種別(用途)の加熱残分と揮発分(VOC成分)

種別(用途)	希釈塗料加熱残分(%)	希釈塗料揮発分(%)
下塗り用	37	63
上塗り用	52	48

## (イ) 乾燥工程の VOC 排出実態

乾燥炉からの VOC 排出実態を表 2.1.4.6

調査時における事業所 A、事業所 B の

に示します。

表 2.1.4.6 吹付け塗装施設における乾燥工程の VOC 排出実態

事業所		A	B
測定時間		11:36~12:55	10:30~11:35
乾燥設備機器		熱風循環式金庫形炉	熱風循環式金庫形炉
乾燥炉外形 (W×H×Dm)		1.1×1.8×1.5	2.5×2.8×2.0
被塗物の大きさ		小	小~中
測定箇所		乾燥炉ダクト	乾燥炉ダクト
ダクト形状(m)		0.1φ	0.24φ
ダクト面積 (㎡)		0.008	0.045
ダクト内風速 (m/s)		5.5	0.4
ダクト排ガス量 (m <sup>3</sup> /h)		158	65
VOC濃度 (ppmC)	平均値	141	1,041
	最小値	15	87
	最大値	308	2,104
VOC排出量 (炭素数1のVOCに換算 した容量(m <sup>3</sup> /h) )		0.022	0.067

事業所 A の乾燥炉ダクト内 VOC 濃度が平均で 141ppmC なのに比べて、事業所 B では平均 1,041ppmC と 7 倍以上の濃度を示していました。これは、乾燥炉の大きさの違いから乾燥可能な被塗物の量(総面積)が異なるため、事業所 A より大きい事業所 B の乾燥炉から発生する VOC 排出量が多いことと、さらに、ダクトからの排ガス量は、逆に事業所 B の乾燥

炉の方が少ないため、事業所 B の乾燥炉のダクト内 VOC 濃度が大きくなったと考えられます。

## 1.4.4 VOC 濃度の変化

### (ア) 塗布工程の VOC 濃度の変化

塗装施設から排出される塗布工程の VOC の全測定時間の濃度変化において、同じ塗料、被塗物を塗装している時間を抽出したものを図 2.1.4.3 に、被塗物、塗料が短く変わっている時間を抽出したものを図 2.1.4.4 に示します。図 2.1.4.3 から、

吹付け塗装で同じ塗料、被塗物の場合、似た波形を繰り返していますが、その短い周期の中で VOC 濃度の変動幅が大きく、周期も変わりやすいことがわかりました。また、図 2.1.4.4 から被塗物、塗料が変化することにより VOC 濃度の波形や最大値も変化し、排出量も異なってくるということがわかりました。

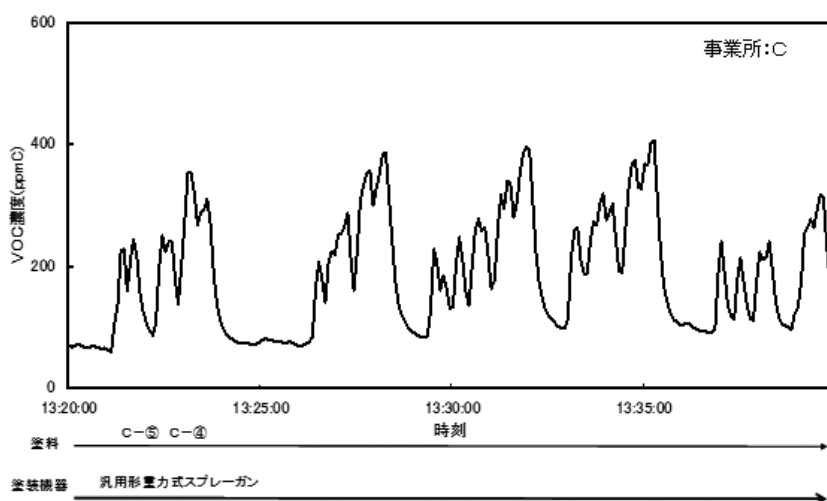


図 2.1.4.3 吹付け塗装作業の時間経過による VOC 濃度変化 (1)

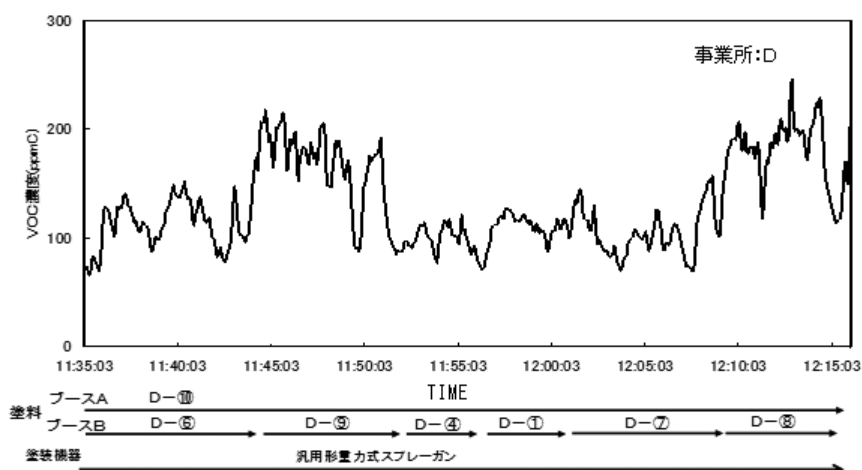


図 2.1.4.4 吹付け塗布工程の時間経過による VOC 濃度変化 (2)



### (イ) 乾燥工程のVOC濃度の変化

塗装施設の乾燥工程から排出されるVOC濃度変化の一例を図2.1.4.5に示します。乾燥炉の加熱開始後(10時34分)、炉内の温度上昇に伴い、急激なVOC濃度増加が見られます。事業所Bの乾燥炉のダクト内風速は、表2.1.4.6に示したように0.4m/sと非常に遅い(排ガ

ス量が少ない)ため、VOC濃度は最大で2,104ppmCと高く、波形は山型を示します。また、乾燥炉内温度が設定温度である100℃に達した後は、30分間温度を保つために、炉のon-offを繰り返すと考えられ、それが排出濃度の小刻みな濃度変化に現れていると考えられます。

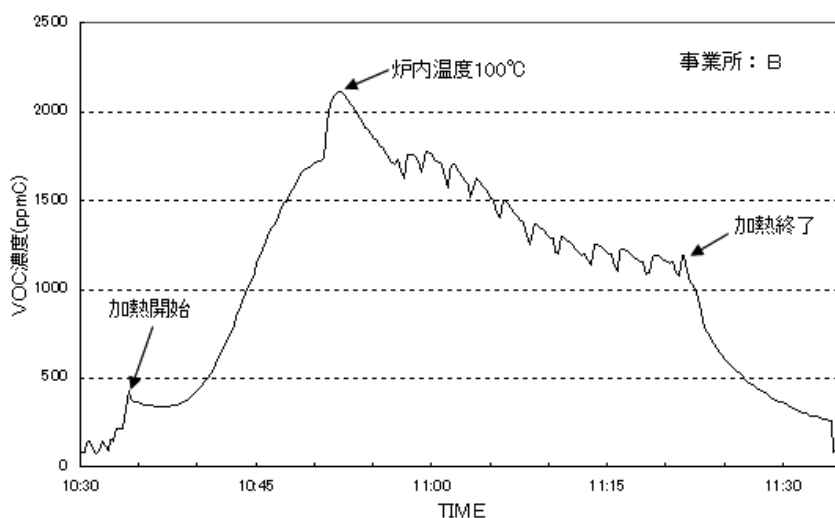


図 2.1.4.5 乾燥工程の時間経過によるVOC濃度変化

## 引用文献

1. 木下稔夫、「小規模工業塗装工場におけるVOC排出実態調査・研究」、塗装工学、Vol.42、No.7、2007、pp.208-213

本章では、工場内での塗装工程において、臭気が発生する要因とその発生源について解説します。また、その対策方法についても紹介します。

### 2.1 VOC と悪臭問題

VOC 排出量の多い塗装工場は悪臭の苦情件数も多く(図 2.2.1.1)<sup>1)</sup>、VOC 対策と悪臭対策は深く関わっているといえます。

工場内塗装における悪臭の大部分は VOC によるもの考えられます。実際、

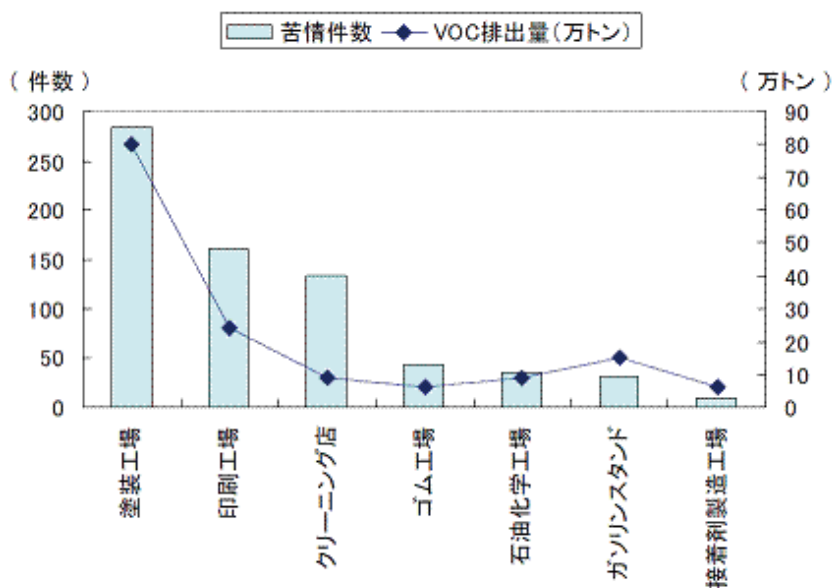


図 2.2.1.1 主要業種別の VOC 排出量と悪臭苦情件数 (2000 年度)

(転載: 木下稔夫、「塗装工程における臭気対策の現状と対策および技術課題」、塗装技術、Vol. 45(9)号、2006、pp.58-62)

### 引用文献

1. 中辻康、「脱臭装置導入状況 -VOC 処理装置設置事例の紹介 -」(社)におい・かおり環境協会平成 18 年第 1 回臭気対策セミナー講演資料集、2006、pp.33-37

## 2.2 臭気の発生源

一般に塗装の工程には、1.被塗物の前処理（表面仕上げ、洗浄）、2.塗料・溶剤の配合と調整、3.吹き付け塗装（塗装ブース）、4.セッティング、5.乾燥・焼付け、6.表

面仕上げ、があり、各工程において臭気が発生します。また、塗料や溶剤の保管場所、中間製品の置き場、排水処理系も臭気発生源となります<sup>1)</sup>。発生源を図2.2.2.1に示します。

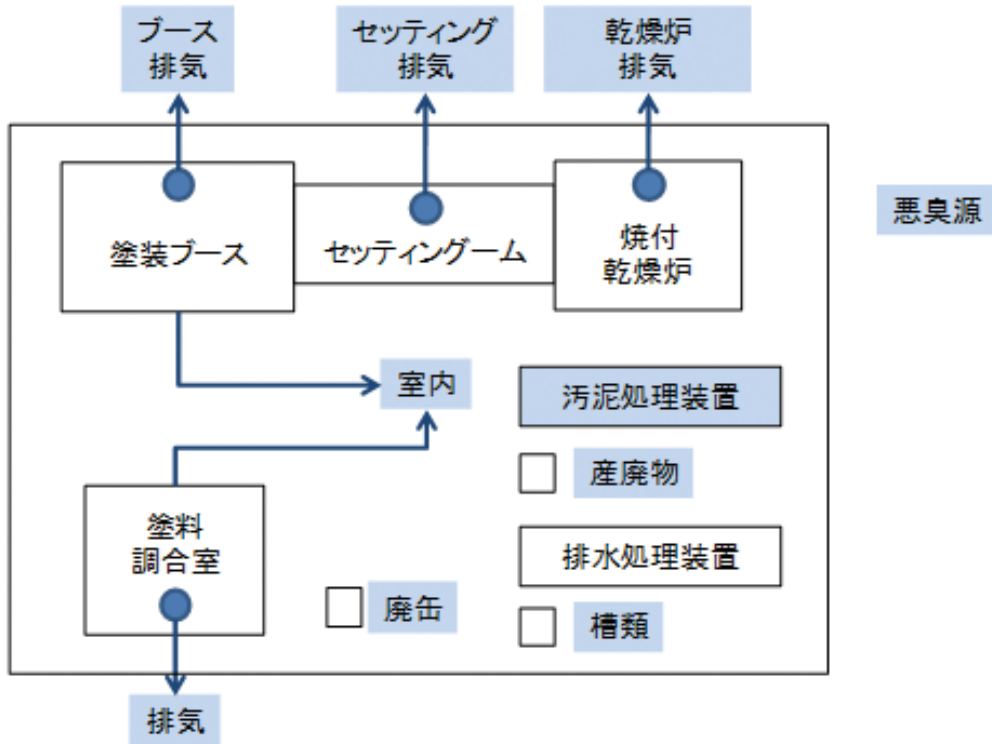


図 2.2.2.1 悪臭の発生源

上記の塗装工程のうち、特に、塗装、セッティング、乾燥工程においては、VOCの発生量が多く(1.2.2(エ))、悪臭が問題となります。日本工業塗装協同組合連合会のアンケート調査によると、気になる

悪臭が「あり」と答えた104社(全体の53%)のうち、悪臭の発生個所と比率は図2.2.2.2のようになり<sup>2)</sup>、乾燥炉やブースでの悪臭が課題であることが分かります。

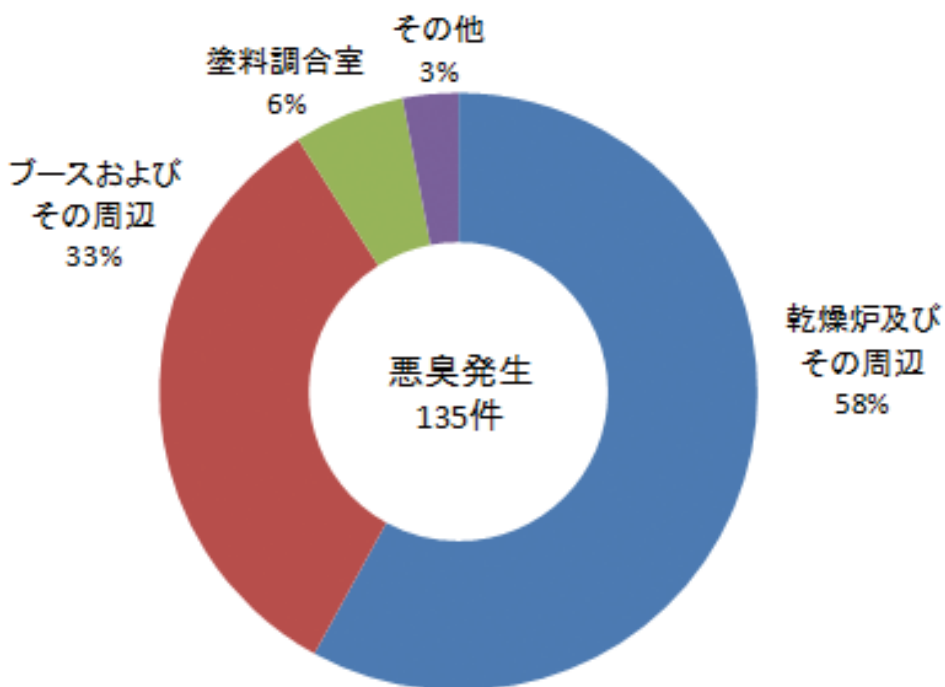


図 2.2.2.2 悪臭の発生個所と比率

(転載：東京工業塗装協同組合、「VOC 規制に対するアンケート調査結果」、平成 17 年 3 月)

## 引用文献

1. 環境庁大気保全局特殊公害課、「塗装・印刷工場の防・脱臭マニュアル - 悪臭防止法改善普及推進調査結果報告書 - 塗装工場編, 印刷工場編 - 改定・普及版 -」、社団法人臭気対策研究課、1993、pp.47-48
2. 塗料・塗装機械協議会、「塗装工場における悪臭防止ハンドブック」、社団法人日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、1995、p.25

## 2.3 臭気と VOC 成分

塗装、セッティング工程では、樹脂、溶剤、添加剤などの塗料原材料から揮発した VOC 成分による溶剤臭やモノマー臭が問題となります。一方、乾燥工程では、焼付時に発生する低級脂肪族アルデヒド

類等の、酸化生成した VOC による焦げ臭が問題となります。表 2.2.3.1 に代表的な臭気の VOC 成分<sup>1~3)</sup>と嗅覚閾値<sup>4)</sup>を示しました。嗅覚閾値は VOC によって大きく異なり、特に、焼付乾燥工程で生成する低級脂肪族アルデヒド類は嗅覚閾値が低い(臭気が強い)ことが分かります。

表 2.2.3.1 塗装工場における臭気の VOC 成分と嗅覚閾値

主な発生工程	VOC	嗅覚閾値 (ppm)	特定悪臭物質
塗装工程	トルエン	0.33	○
	o-キシレン	0.38	○
	m-キシレン	0.041	○
	p-キシレン	0.058	○
	酢酸エチル	0.87	○
	酢酸 n-ブチル	0.016	
	メチルエチルケトン	0.44	
	メチルイソブチルケトン	0.17	○
	アセトアルデヒド	0.0015	○
	イソブタノール	0.011	○
焼付乾燥工程	ホルムアルデヒド	0.50	
	プロピオンアルデヒド	0.0010	○
	n-ブチルアルデヒド	0.00067	○
	イソブチルアルデヒド	0.00035	○
	n-バレルアルデヒド	0.00041	○
	イソバレルアルデヒド	0.00010	○
	アクロレイン	0.0036	

第 1 章 1.3.3 で塗装実験における各工程での VOC 成分濃度と組成比を示しました。この成分濃度をもとに**閾希釈倍数**及び**閾希釈倍数**に排出ガス流量を掛け算し

たものを求めると、図 2.2.3.1 のようになります。この結果から乾燥工程(③、④)では塗装時、セッティング時と比べて、その他のアルデヒド類(プロピオンアルデヒ

ド、クロトンアルデヒド、ブチルアルデヒド、ベンズアルデヒド、バレルアルデヒド、トルアルデヒド、ヘキサアルデヒド) の値が

大きくなり、臭いの主な成分が変化していることが推定されます。

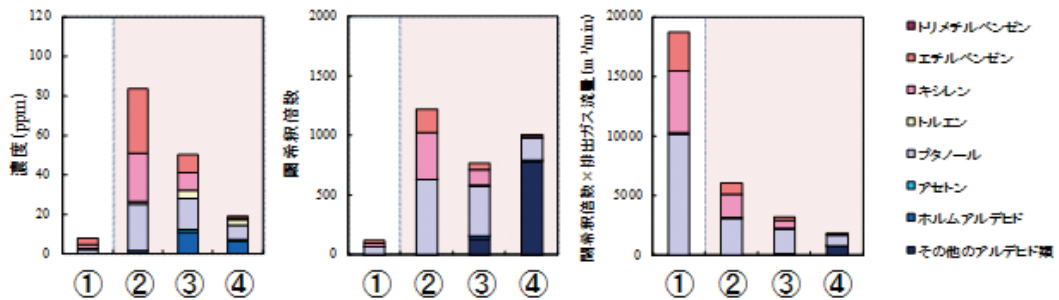


図 2.2.3.1 塗装工程ごとの VOC 成分濃度と閾希釈倍数 (メラミン樹脂塗料使用時)

①塗装時、②被塗物セッティング時、③乾燥開始時、④設定温度 (130°C) 時

臭気の大部分は VOC に起因するので、臭気対策は VOC 対策と同様と考えることができます。基本的な対策としては、1.VOC の蒸発低減対策、2.VOC の使用量の削減、3. 低公害塗料への転換、4. 建屋からの VOC の漏洩対策、が挙げられます<sup>6)</sup>。こ

れらの対策のほか、排ガス処理装置の設置も有効です。基本的な対策については、第 4 章「工程改善による VOC 削減の手法」を、排ガス処理装置については、第 5 章「塗装工場用 VOC 処理装置」を参照してください。

## 引用文献

1. 環境庁大気保全局特殊公害課、「塗装・印刷工場の防・脱臭マニュアル - 悪臭防止法改善普及推進調査結果報告書 - 塗装工場編, 印刷工場編 - 改定・普及版 -」、社団法人臭気対策研究課、1993、pp.48-49
2. 塗料・塗装機械協議会、「塗装工場における悪臭防止ハンドブック」、社団法人日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、1995、p.30
3. 悪臭法令研究会、「ハンドブック 悪臭防止法 四訂版」、株式会社ぎょうせい、2008、p.412
4. 永田好男、竹内教文、「三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果」、日本環境衛生センター所報、No.17、1990、pp.77-89
5. 水越厚史、木下稔夫、野口美由貴、齋藤京子、柳沢幸雄、「塗装シミュレータによる塗装工程ごとの VOC 成分の調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、5号、2010、pp.52-55
6. 木下稔夫、「塗装工程における臭気対策の現状と対策および技術課題」、塗装技術、Vol. 45(9)号、2006、pp.58-62

塗装工程で発生する VOC の環境への影響を、大気環境と作業環境に分けて解説します。

### 3.1 大気環境

塗装に伴い排出される VOC は光化学オキシダントや浮遊粒子状物質などの大気汚染及び悪臭の原因となり、大気環境へ影響を及ぼします。大気環境への影響を低減するためには、塗装に伴い工場等から大気環境へ排出される VOC 等の大気汚染物質の排出量を低減させる必要があります。

#### 3.1.1 塗装工場等固定発生源に関する VOC 規制

塗装工場等の固定発生源から排出される VOC はその種類が多く、かつ発生源の業種や業態も多様であるため、従来か

らの大気汚染物質毎の排出規制だけでは効果が期待できません。そのため、大気汚染防止法では、①法規制は排出量の多い大規模固定発生源に対して限定的に行い、②関連業界の自主的取り組みを促進させ大きな削減効果を期待する、という2つの方策を適切に組み合わせて相乗的効果を発揮させるという、政策のベストミックスという考え方が導入されています。

(基礎編第1章 1.5.1 参照)

法による規制対象となる塗装に関する VOC 排出施設は、換気能力が毎時 10 万 m<sup>3</sup> 以上の吹き付け塗装施設と、換気能力が毎時 1 万 m<sup>3</sup> 以上の塗装用乾燥施設が対象で、それぞれ排出基準が定められています。(表 2.3.1.1)

表 2.3.1.1 VOC 排出規制対象の塗装施設と排出基準

施設の種類の種類	対象施設の規模要件	排出基準 (ppmC)
吹き付け塗装施設 (自動車)	換気能力が毎時 10 万 m <sup>3</sup> 以上	既設 700、新設 400
吹き付け塗装施設 (自動車以外)		700
塗装用の乾燥施設 ※	換気能力が毎時 1 万 m <sup>3</sup> 以上	600

※ 電着塗装、吹き付け塗装用を除く



### 3.1.2 屋外塗装に関する規制

屋外での塗装工事は大気汚染防止法の規制の対象外ですが、努力義務としてで

はなく、事業者の「責務」として、自主的取組で対応するよう法の中に明文化されています。

#### 大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について（通知）

##### 第 11 事業者の責務

規制の対象となる VOC 排出施設の排出口からの排出の抑制のみならず、VOC の排出又は飛散の抑制のために必要な措置を幅広く講じることが事業者の責務とした（法第 17 条の 13）。

VOC は、屋外塗装などの屋外作業に伴って飛散するもの、排出口以外の窓等の開口部から排出されるもの及び VOC 排出施設以外の施設から排出されるものも多くある。これらについては、本条及び法第 17 条の 2 に規定する施策等の実施の指針を受けて、事業者の自主的取組で対応することとしている。

悪臭については、悪臭防止法は工場・事業場における事業活動に伴って発生する悪臭について必要な規制を行うものであるため、屋外での塗装工事は規制の対象外となっています。しかし、悪臭苦情

件数の約 2～3% が建設作業現場からの苦情であることから、臭いの少ない低 VOC 塗料の採用を検討するなど、周辺環境への配慮も重要とされています。

## 参考文献

1. 東京都環境局、「東京都 VOC 対策ガイド【工場内編】・東京都 VOC 対策ガイド【屋外塗装編】」、[http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air\\_pollution/voc/guide/index.html](http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/voc/guide/index.html)、2014/01/23 確認
2. 環境省環境管理局长、「大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について（通知）」、平成 17 年 6 月 17 日付環管大発第 05061700 1 号

## 3.2 作業環境

塗装作業を行う作業者の健康障害を防止するためには、作業環境内のVOC濃度を十分に低くする必要があります。そのためには、塗装ブースや乾燥炉などの発生源からの漏出を防ぐことがポイントとなります。本項では、参考のため、実際に作業環境内のVOC濃度レベルを測定した結果の例を示します。また、作業環境においては、労働安全衛生法に基づき有機溶剤に対して作業環境評価基準が定められています。そこで、塗装工場で発生するVOCの作業環境評価基準と管理濃度について説明します。

### 3.2.1 工場内VOC濃度分布について

塗装工場4か所において工場内VOC濃度分布を調査しました。測定には、ポータブル炭化水素計（FID方式）を用いました。一例を図2.3.2.1に示します。このように、簡易型の測定器を用いて工場内のVOC濃度分布を調べることによって、作業者がどこでVOCに曝露するかが分かり、曝露低減対策のための情報となります。なお、ここで示した測定値はあくまで参考値で、作業状態によって大幅に変動すると考えられます。

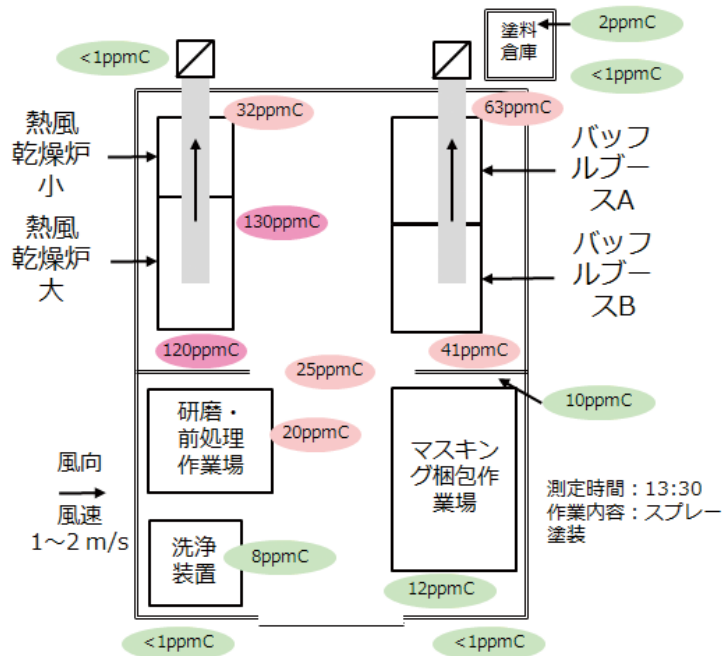


図 2.3.2.1 塗装工場 D の工場内 VOC 濃度分布

4か所の工場で測定場所ごとの濃度分布をこの調査結果によると、熱風乾燥炉の付近を集計したものを表 2.3.2.1 に示します。この調査結果によると、熱風乾燥炉の付近で最も高濃度でした。

表 2.3.2.1 工場内 VOC 濃度分布 (ppmC)

測定場所	工場			
	A	B	C	D
マスキング梱包作業場	18-25	-	-	12
塗装前作業場	12	50-90	28	20
塗装ブース付近	-	170-190	-	41-63
乾燥炉付近	15-50	31-51	31-55	32-130
塗料倉庫内	-	55	-	2
洗浄装置付近	-	-	-	8
工場内全体	12-50	31-190	28-55	8-130

-: 測定値なし

### 3.2.2 作業環境評価基準

作業環境において 3.2.1 の測定値のような VOC の総量に対する規準はありません。ただし、個別の VOC については、労働安全衛生法の規定に基づき、作業環境評価基準が定められています(基礎編 1.3.1 (ウ) 参照)。「有機溶剤を製造または取り扱う屋内作業場」に該当する塗装工場では、作業環境評価基準が適用され、作業環境測定が義務付けられています。塗装工場が発生する VOC (表 2.1.2.1 および表 2.2.3.1 に基づく) のうち、管理濃度が定められている物質を表 2.3.2.2 に示します。

表 2.3.2.2 塗装作業で発生するVOCと管理濃度

(労働安全衛生法第6の2、抜粋)

VOCの種類		管理濃度	
No.	名称	ppm	ppmC
42	ホルムアルデヒド	0.1	0.1
51	イソプロピルアルコール	200	600
54	セロソルブ	5	20
55	セロソルブアセテート	5	30
56	ブチルセロソルブ	25	150
57	メチルセロソルブ	5	15
59	キシレン	50	400
66	酢酸エチル	200	800
80	トルエン	20	140
88	n-ブタノール	25	100
90	メタノール	200	200
91	メチルイソブチルケトン	50	250
92	メチルエチルケトン	200	800
-	酢酸ブチル	-	-
-	イソブタノール	-	-
-	アノン	-	-
-	アセトアルデヒド	-	-
-	プロピオンアルデヒド	-	-
-	n-ブチルアルデヒド	-	-
-	イソブチルアルデヒド	-	-
-	n-バレルアルデヒド	-	-
-	イソバレルアルデヒド	-	-
-	アクロレイン	-	-

表 2.3.2.2 によると、塗装工場で発生する VOC の管理濃度は、0.1 ~ 800ppmC と範囲が広いことがわかります。ただし、代表的な塗料成分であるキシレン、トルエン、n-ブタノールの管理濃度は 400, 140, 100ppmC であり、表 2.3.2.1 の結果は概ねこれより低い値を示しています。塗装ブース付近や乾燥炉付近では一部超過するケースがあるため、これらの発生源付近では局所排気などによる濃度低減が重要といえます。

一方、ホルムアルデヒドの管理濃度は他の VOC と比べて非常に低いことがわかります。ホルムアルデヒドは、[アミノ樹脂](#)

やアミノアルキド樹脂の原料であり、焼付乾燥時に生成します。また、焼付乾燥時に、炉内での熱分解および反応生成物としても生成します<sup>1)</sup>。実際、塗装実験を行い、乾燥炉ダクト濃度を測定したところ、セッティング時に 0.3 ~ 1.8ppm、焼付乾燥時に 0.7 ~ 11.1ppm のホルムアルデヒドが検出されました<sup>2)</sup>。作業環境内に漏出した場合、管理濃度を超過する恐れがあります。したがって、作業環境中のホルムアルデヒド濃度が高い場合、乾燥炉付近での排ガスの漏出を低減することが重要となります。

## 引用文献

1. 臭気対策研究協会：塗装・印刷工場の防・脱臭マニュアル - 悪臭防止法改善普及推進調査結果報告書 - 塗装工場編，印刷工場編 - 改定・普及版 - 環境庁大気保全局特殊公害課編集（1993）
2. 水越厚史、木下稔夫、野口美由貴、齋藤京子、柳沢幸雄：「塗装シミュレータによる塗装工程ごとの VOC 成分の調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、5 号、pp.52-55 (2010)

VOC対策には、大別して、工程内対策（インプラント対策）と、除去設備の設置（エンドオブパイプ対策）の2つがあります。本章では、塗装施設における工程内対策の考え方を解説し、工程改善によるVOC削減効果の事例についても紹介します。

## 4.1 VOC削減の概要<sup>1)</sup>

塗装業全般に対するVOC排出低減対策は、大きく工程内対策（インプラント対策）と排ガス処理装置の導入（エンドオブパイプ対策）の2つに分けられます。これらのうち、排ガス処理装置の導入は効果が高いのですが、一方で大きな設備投資やランニングコストを必要としますので、工程内対策でできる工夫を先にするのが一般的で、塗料のむだな使い方を見直すことから行うべきです。工程内対策は、低VOC塗料と塗着効率の向上を目的とした塗装方法の実践、装置の導入によ

りVOC使用量の削減を図るとともに、工場内の脱脂用シンナーや塗料容器からの蒸発量削減といった地道な取り組みが基本となります。塗着効率とは、塗装に使用した塗料中の固形分質量と実際に被塗物に塗着した塗料が乾燥した塗膜の質量との比をいい、スプレー塗装時の塗着効率を示す数値の一つです。この数値を向上させることによりVOCの削減だけでなく、塗料使用量・廃棄物の削減（表2.4.1.1）や省エネにもつながるため、スプレー塗装においてはVOC対策として優先して取り組むべきだと考えられます。

表 2.4.1.1 塗着効率の違いと使用塗料、廃棄物の関係

（転載：河合宏紀監修、「工業塗装ハンドブック」、テクノシステム、2008、p.871）

塗着効率 (%)	被塗物に塗着した塗料の乾燥固形分	塗着に使用した塗料			廃棄物 (塗料スラッジ)
		乾燥固形分	溶剤 (VOC成分)	使用した塗料総量	
10	50	500	500	1000	450
20	50	250	250	500	200
30	50	167	167	333	117
40	50	125	125	250	75
50	50	100	100	200	50
60	50	83	83	167	33
70	50	71	71	143	21
80	50	63	63	125	13
90	50	56	56	111	6
100	50	50	50	100	0

\*)使用した塗料の固形分を50%と仮定した場合。

## 引用文献

1. 河合宏紀監修、「工業塗装ハンドブック」、(株)テクノシステム、2008、p.871

## 4.2 小規模塗装工場の取組状況

中小規模塗装事業所におけるVOC削減への取組は、東京工業塗装協同組合が行ったアンケートによると、約半数の企業で行っていると答えており<sup>1)</sup>、その意識は高まってきていることが伺えます。具体的

な取り組みの内容としては、「塗料における対策」と「塗装装置における対策」がほぼ同じ割合で最も多く、次に「脱脂等前処理工程の有機溶剤量の削減」で、最も少ないのが「VOC処理装置による対策」でした(図2.4.2.1)。

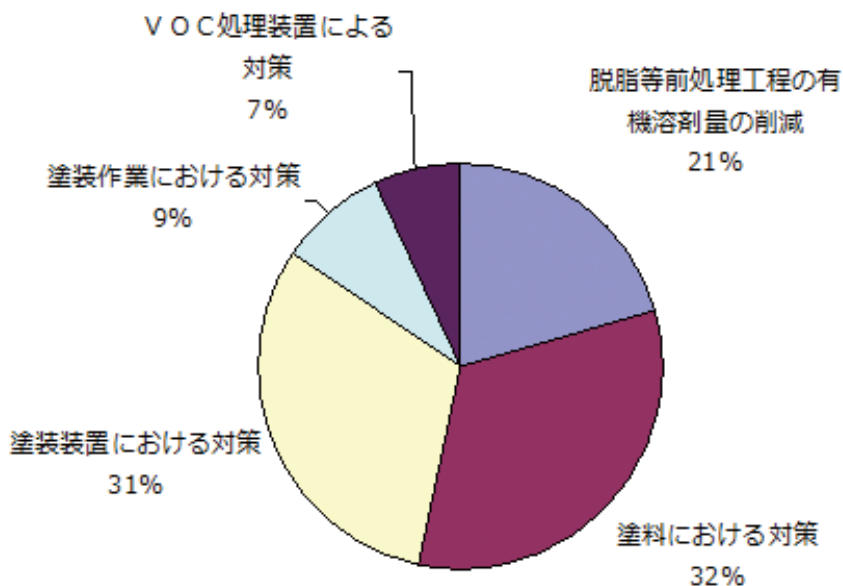


図 2.4.2.1 工業塗装専業事業所(東京)の塗装方法におけるVOC削減のための具体的な取り組み内容

(転載：東京工業塗装協同組合、「VOC規制に対するアンケート調査結果」、平成17年3月)

中小規模工業塗装事業所が行っているVOC排出削減の塗料における対策内容は、先のアンケートによると、ハイソリッド塗料と粉体塗料の採用がほぼ同じで40%を越え最も多く、塗料業界が力を入れている水性塗料は約10%と最も少ない状況です(図2.4.2.2)。これは、ハイソリッド塗料が溶剤系塗料のため、VOC削減効果は粉体塗料や水系塗料に劣るものの、

従来の塗装ラインで対応可能であり、採用しやすいためです。また、粉体塗料は溶剤を含まないため、VOC対策には最も優れていますが、粉体塗装用の装置が必要であることに加え、以前は「色替えに時間がかかる」、「塗料の色数に制限がある」、「乾燥温度が高い」、「厚膜になり、表面の仕上がりも溶剤系に劣る」などの理由からなかなか普及してきませんでした。しか



し、塗料の進歩により表面の仕上がりも以前に比べて良くなり、色数も増え、メタリックなどの高輝度の粉体塗料も使われるようになってきました。また、塗装装置の開発により色替えの時間も短縮がされてきていることから採用が進んでいます。

ただし、まだ色数や乾燥温度、塗膜性能の問題からすべての工業塗装が粉体に置き換わることは難しい状況です。水性塗料は、粉体以上に設備の変換が必要とされることや実績の少なさが変換を遅らせていると考えられます。

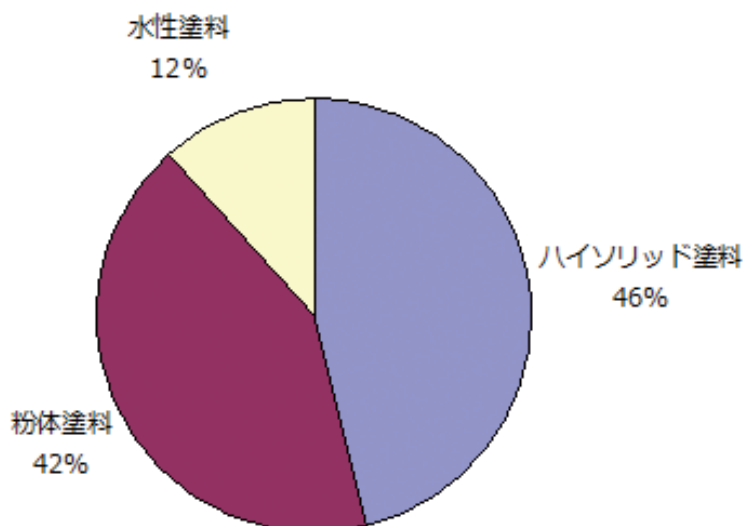


図 2.4.2.2 工業塗装専門事業所（東京）のVOC削減への塗料での対策内容の塗装方法  
 （転載：東京工業塗装協同組合、「VOC規制に対するアンケート調査結果」、平成17年3月）

中小規模工業塗装事業所が行っているVOC排出削減の塗装装置における対策内容は、先のアンケートによると、静電塗装によるものが半数以上を占め、後のHVLPガン、ロボット、ホットスプレー、電着塗装は10%前後でほぼ横ばいです（図2.4.2.3）。しかし、回答した上位の対策である各塗装装置は、次の内容により塗着効率を上げようとするものです。

1. 静電塗装……塗料粒子を帯電させる。
2. HVLPガン…通称「低圧ガン」と呼ばれ、噴霧圧力を下げる。
3. ロボット……塗装効率を上げる。

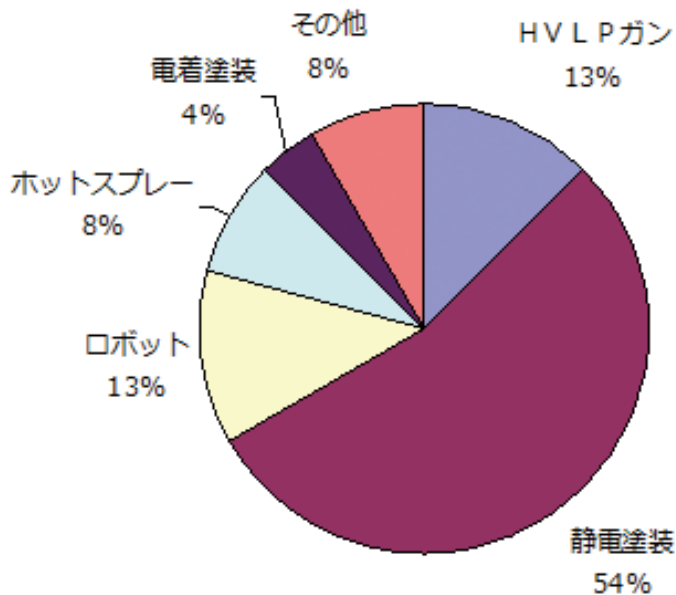


図 2.4.2.3 工業塗装専門事業所(東京)のVOC削減への塗装装置での対策内容の塗装方法  
(転載：東京工業塗装協同組合、「VOC規制に対するアンケート調査結果」、平成17年3月)

## 引用文献

1. 東京工業塗装協同組合、「VOC規制に対するアンケート調査結果」、平成17年3月

## 4.3 工程改善の手法と削減効果

効果的な排出抑制が求められています。

### 4.3.1 塗装分野におけるVOC排出抑制法

東京都が発行しているVOC対策ガイドでは、塗装分野におけるVOC対策の方法について解説しています。その中で示されている、工程内対策の内容とVOC削減効果を表2.4.3.1<sup>1)</sup>に示します。

大気汚染防止法の改正により、塗装施設、乾燥施設などが対象施設である塗装工場においても、VOCの排出規制と事業者の自主的取組とを適切に組み合わせて

表 2.4.3.1 VOC削減に向けた工程内対策の項目と内容

(転載：東京都環境局環境改善部有害化学物質対策課、「VOC対策ガイド[工場内編]」、2006、pp.1-21)

塗装工程	対策項目	対策内容	VOC削減効果
調色・調合	色替え方式・調色順序の見直し	・調色する塗料の量を的確に把握する ・調色を手早く行う ・塗装する色の順序を薄い色から濃い色にする	～5%
塗装	スプレーガンのタイプ選択による塗着効率の向上	・スプレーガンのタイプの変更 ・被塗物の大きさに適したスプレーガンの選定 ・カップガンを使う	10～20%
	スプレー作業の改善による塗着効率の向上	・スプレーガンのエア圧力・塗料吐出量の適正 ・スプレーガン距離の適正化 ・吹付け方向の適正化 ・スプレーガンの運行速度の適正化	10～20%
	研修による塗装技能向上	・塗装技能を向上させることにより、オーバースプレーの量が減り、VOC排出量を抑制。	5～20%
	塗装ブースの風速調整	・スプレーガン周辺の風速によって、塗着効率が変わる。速度が速すぎると塗着効率が下がり、塗料の使用量が増加するため、制御風速を法定値の範囲内で下げ、風速の適正化を行う	5～10%
	室内環境改善による製品の歩留まり向上	・ブース内・乾燥炉内の清掃励行 ・作業着から発生する毛ぼこりの防止 ・シンナー拭き用のカーゼや布の洗濯 ・塗装場付近の空気の流れの防止、簡易型クリーンルームの設置	～5%
	塗料の供給配管の見直し	・供給配管の長さや径を見直す ・フッ素樹脂製のホースの使用 ・同じ供給ホースに色味の近い塗料を使用する	～10%
	塗料の供給方式の見直し	・複数台のペイントポンプ設置、内缶の使用 ・供給回路の導入	～10%
器具洗浄	交換・洗浄作業における揮発防止	・洗浄溶剤の少量化 ・塗装用ホース洗浄時のエア混入 ・洗浄溶剤の回収・再利用	5～10%
保管	保管・貯蔵における揮発防止	・塗料缶・容器の蓋開め励行 ・容器や栓・蓋の材質の確認 ・作業場での容器の置き場所の確認 ・塗料スラッジの定期的な清掃と保管時の適正	～5%

### 4.3.2 エアスプレー塗装と塗着効率

塗装方法のうち塗料を微粒化するスプレー法は、作業性や仕上がり性が良く、比較的広範囲な被塗物形状にも対応できる利点があり、スプレー塗装技術の進歩が塗装の発展に大きく寄与したといっても過言ではありません。しかし、塗着効率は、はけ塗りやローラーコートなどのバルク塗布に比べて低く、スプレー塗装最大の欠点となっています。これは塗装時の VOC

排出をはじめとして環境負荷を大きくする要因ともなっており、塗着効率の向上がスプレー塗装における環境負荷低減への技術的課題となっています。

塗着効率とは、塗装に用いられた塗料の固形分質量と被塗物に塗着した塗料の固形分質量との比を百分率で示すもので、スプレー塗装時の塗着効率を示す数値の一つです。塗装する塗装機の塗着効率の標準測定法は次のとおりです<sup>2)</sup>。

$$E = \frac{W \times 6000}{D \times NV \times T} \times 100$$

E(%) : 塗着効率  
 W(g) : 塗着した塗膜質量  
 D(g/min) : 塗料噴出量  
 NV(%) : 塗料の乾燥固形分  
 T(s) : 吹付時間

この測定法を、もう少し詳しくスプレーガンの方式別に次に示しました。手動スプレーガンのうち、重力式と吸上げ式に

ついては、1～2 kg 程度まで計ることができる精密秤があれば塗着効率が測定可能です。

$$E = \frac{W}{F \times NV} \times 10^4$$

E(%) : 塗着効率  
 W(g) : 塗着した塗膜質量  
 F(g) : 塗料噴出量  
 NV(%) : 塗料の乾燥固形分

W(g) = 塗装後の被塗物の質量(g) - 塗装前の被塗物の質量(g)

NV(%) = (乾燥後の塗料質量(g) / 乾燥前の塗料質量(g)) × 100

①手動スプレーガン(重力式、吸上げ式)

F(g) = 塗装前のスプレーガン質量(g) - 塗装後のスプレーガン質量(g)

②手動スプレーガン(圧送式)、自動スプレーガン

F(g) = 単位時間当たりの塗料噴出量(g/min) × 被塗物を塗装した時間(s) / 60

塗着効率の視点から、スプレー塗装における溶剤形塗料成分の流れを、乾燥固形分50%の溶剤型塗料1kgを塗着効率40%でスプレーした場合を例として図2.4.3.1に示しました。1kgの塗料中の乾燥固形分は50%、つまり0.5kgで塗着効率が40%のため被塗物に0.2kg付着し、残りの0.3kgはブースに捕集されます。塗料中のVOC成分は乾燥固形分以外となるので0.5kgとなり、スプレー時に塗装ブースからその多くが揮発し、被塗物に塗着した塗料に含まれるVOCはセッ

ティングゾーン及び乾燥炉から揮発することとなります。また、図2.4.3.2に示したように、塗着効率の向上によって塗料使用量が減少し、VOC、スラッジなどの廃棄物の削減が可能となり、現行の塗着効率が低いほどその向上により塗料使用量、およびVOC抑制効果が高いことが分かります。この塗着効率を左右する因子としてスプレー方式、スプレーガンの調整・操作条件、被塗物形状・大きさなどが挙げられ、この大小が使用塗料、排出されるVOC量に大きく関係します。

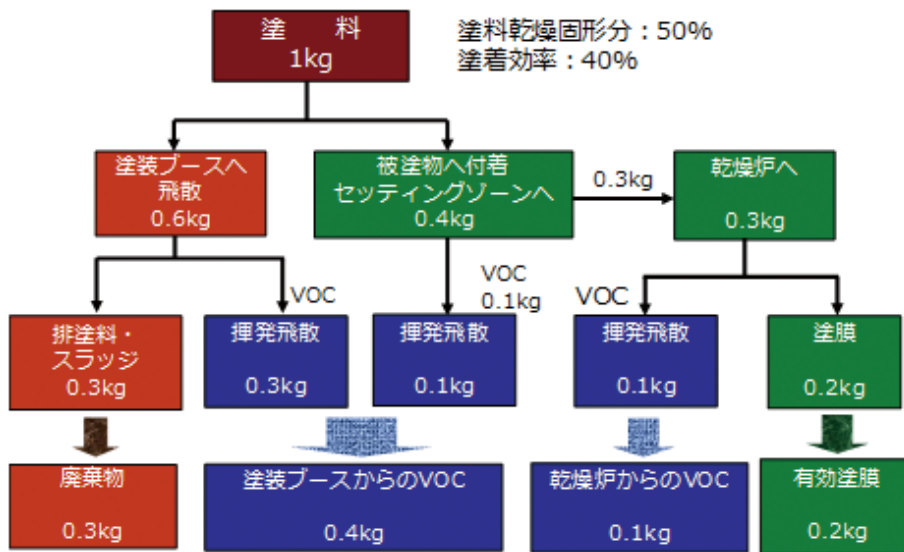
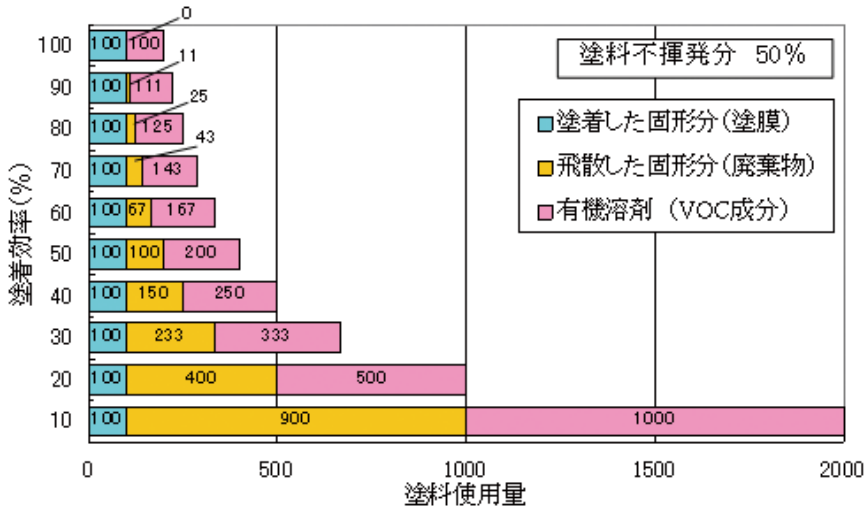


図 2.4.3.1 スプレー塗装における塗着効率と各塗料成分の流れの一例

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装におけるVOC削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.60)



\*塗着した固形分量(塗膜)を100と仮定した。

図 2.4.3.2 塗着効率の違いによる塗料使用量と成分量の関係

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.60)

### 4.3.3 塗着効率向上のためのスプレー方法

#### (ア) スプレー方式の違いと塗着効率

スプレー方式による塗着効率の違いを

図 2.4.3.3 に示します。汎用性のあるエアースプレー塗装が最も塗着効率が悪いのですが、低圧化、静電スプレーにすることで塗着効率は上昇します。

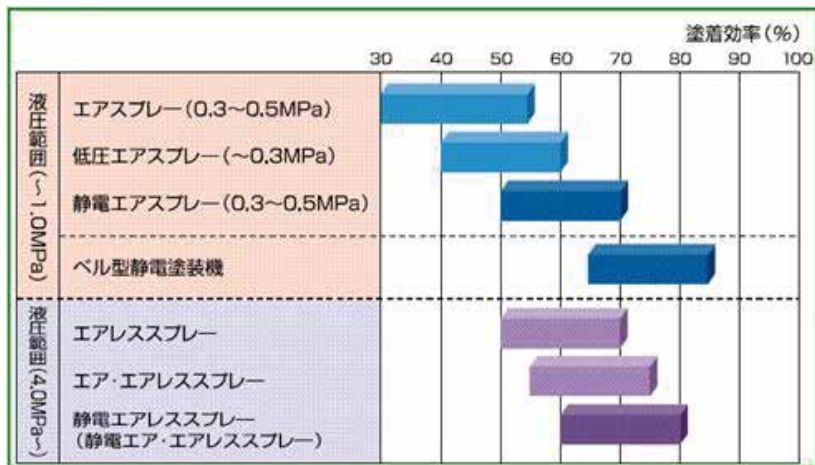


図 2.4.3.3 スプレーガンの種類と塗着効率の関係

(転載:環境省 水・大気環境局大気環境課、「すぐにできる VOC 対策 塗装で取り組む VOC 削減の手引き」、(社)産業と環境の会、2007、p.7)

## (イ) スプレー条件と塗着効率

各種スプレーガンにおいて、塗料の吐出条件の調整や運行条件によっても塗着効率は大きく変わってきます。図 2.4.3.4

に他条件を一定にした場合の、スプレー条件と塗着効率の代表特性を示しました。

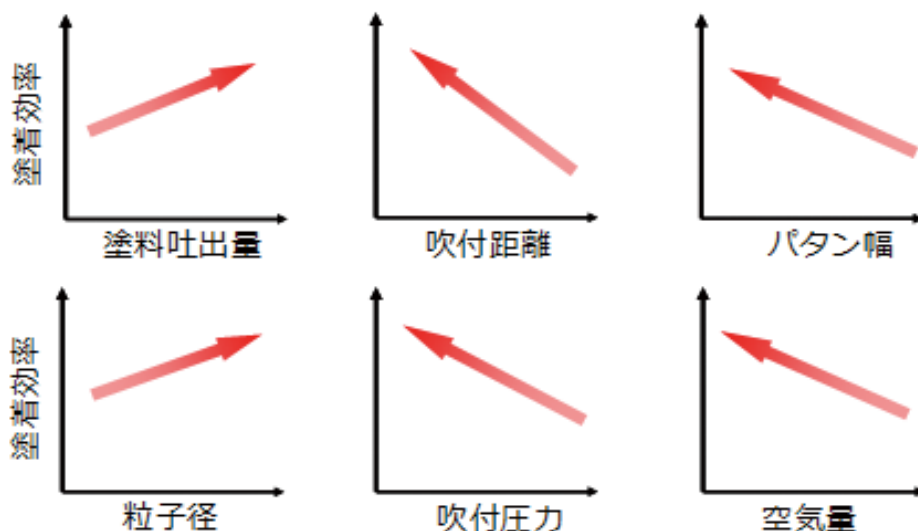


図 2.4.3.4 スプレーガンの代表特性

(引用：畠隆行，金子克、「低圧スプレーガンの低空気量化のための最新霧化頭技術」、塗装工学、Vol.36、No.9、2001、p.325)

また、スプレーガンを被塗物に対して直角に保持した場合と角度をつけた場合の、塗装特性を図 2.4.3.5 に示します。吹き付け角度が  $90^\circ$  の場合に比べて  $60^\circ$ 、 $45^\circ$  と傾きが小さくなるにつれて塗着効率、光沢度の値は低くなり、つまり塗料使用量、VOC 発生量、廃棄物量は増加しますが、塗膜外観はざらつき、膜厚が薄くなります。





吹き付け角度  
90°  
塗着効率  
43%  
光沢度 (Gs)  
94%  
膜厚 (μm)  
23



吹き付け角度  
約60° 約45°  
塗着効率  
36% 26%  
光沢度 (Gs)  
90% 37%  
膜厚 (μm)  
20 16

使用塗料：メラミン樹脂塗料(20秒NK-2)


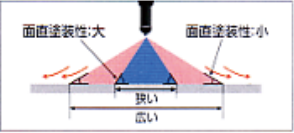
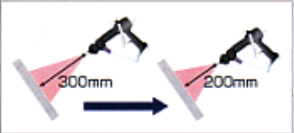
被塗物：アルミ板(30×40cm) ノズル口径：1.3mm

吹き付け圧力：0.25MPa重力式 垂直距離：約20cm

図 2.4.3.5 吹付け角度の違いによる特性

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装におけるVOC削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.62)

また、静電塗装を行った場合のスプレー条件と塗着効率の変化を図 2.4.3.6 に示します。この考え方ではスプレー条件を変えることで塗着効率が向上し、塗料の削減につながるということが数値で示されています。

	塗装条件	塗着効率の変化	塗料削減率
①	スプレー角度を塗装面に対し垂直にする	角度45°で塗着効率50%程度の場合、90°(面直)にすると、70%以上へアップすることが望める。 	30%以上
②	パターン幅を狭くする	幅150mmで塗着効率60%程度の場合、80mmにすると、75%以上へアップすることが望める。 	20%以上
③	霧化エア圧を低くする	0.3MPaで塗着効率60%程度の場合、0.2MPaにすると、70%以上へアップすることが望める。	15%以上
④	スプレー距離を近づけ、一定に保つ	距離300mmで塗着効率70%程度の場合、200mmにすると、80%程度へアップすることが望める。 	12%以上

※上記塗着効率の数値は、静電塗装機を使用し塗装条件を変更した状態を示します。

※上記数値は効果の一例であり、被塗物、塗料や塗装環境などにより異なります。

※仕上り品質に影響が生じない範囲で塗装条件を調整します。

出典:日本塗装機械工業会

図 2.4.3.6 塗装条件と塗着効率の変化

(転載:環境省 水・大気環境局大気環境課、「すぐにできる VOC 対策 塗装で取り組む VOC 削減の手引き」、(社)産業と環境の会、2007、p.7)

### (ウ) 被塗物形状と塗着効率

スプレー方式・条件の他、被塗物の大きさ、形状等によっても塗着効率は変化します。特に網目のような隙間の多いものや、オーバースプレーが多い小さくまたは細い形状の被塗物の場合、塗着効率は低下します。図 2.4.3.7 に被塗物の形状の違いによる塗着効率の例を示します。平板に比べ箱形外面はオーバースプレーが多くなるため塗着効率は低く、逆に、スプレーミストの跳ね返りがあり、塗りにくいとされている箱形内面は、塗料粒子の飛散が少ないため塗着効率は高い傾向にあります。被塗物に応じてスプレー方式を

選択することや、スプレー条件を設定することが塗着効率向上のポイントとなります。



平板



箱形外面



箱形内面

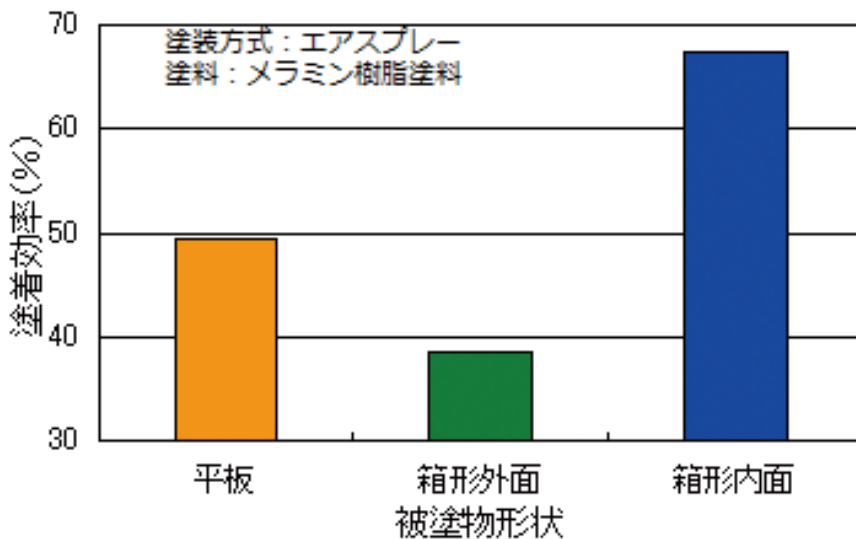


図 2.4.3.7 被塗物形状の違いによる塗着効率

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.63)

### (エ) スプレーテクニックの見直し、向上

塗装工場において、最も汎用的に用いられているハンドスプレーガンは、塗装者が長年の経験と熟練によってそのスプレー条件を作り上げることが多いものです。しかし、その場合の指標はあくまで塗面の美観と要求膜厚であって、塗着効率の向上が目標になることはなかったといえます。図 2.4.3.8 に、異なる工場のスプレー塗装者が同じハンドスプレーガンを

用いて、同一の被塗物を塗装し、塗着効率を測定した事例を示します。8 人のスプレー塗装者の塗着効率の平均は 49% で、その前後の値が多いものの、最も大きい塗装者と小さい塗装者の差は 26% もあります。美観、膜厚を維持したまま塗着効率を向上するよう、スプレーテクニックの見直し、向上に努めることが VOC 削減のために必要です。

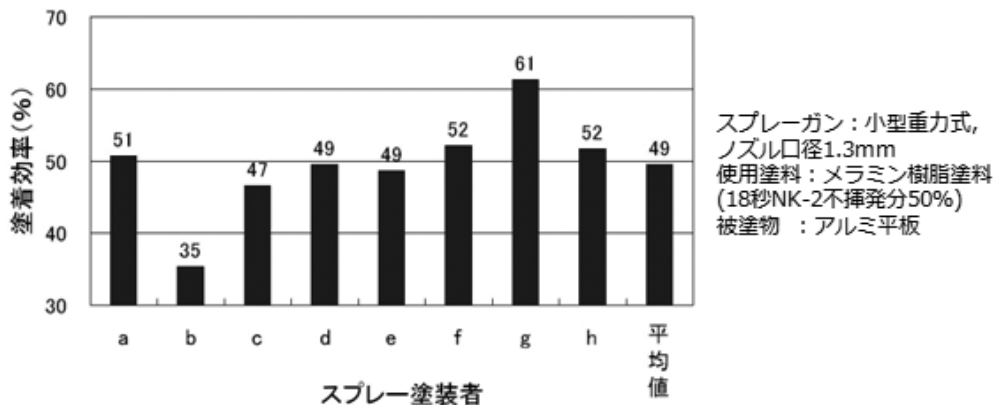


図 2.4.3.8 スプレー塗装者の違いによる塗着効率の測定例

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装におけるVOC削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.63)

#### 4.3.4 塗着効率向上とVOC、塗料、廃棄物削減効果

塗着効率と塗料中の乾燥固形分の違いによる溶剤使用量 (VOC 発生量) を図 2.4.3.9 に示しました。この図から、塗料

中の塗料固形分も少ないほど、塗料転換やシンナーによる希釈を減らして、数%でも多くし、塗着効率の向上を図ることと並行して行うことで、より高いコスト削減効果が得られることが分かります。

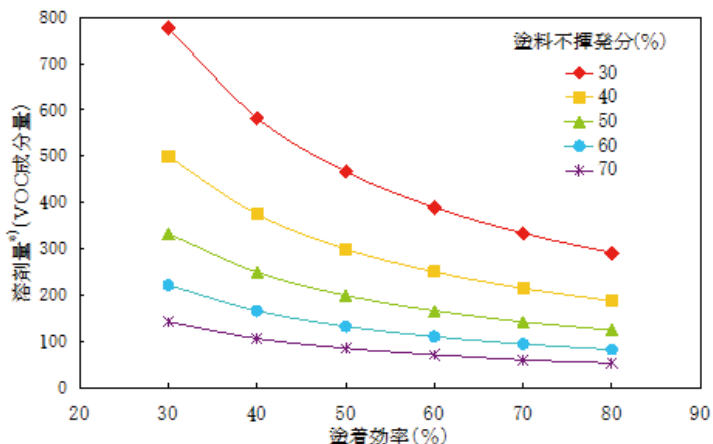


図 2.4.3.9 塗料不揮発分と塗着効率の違いによる溶剤使用量 (VOC 発生量)

(転載：木下稔夫、「エアスプレー塗装におけるハイソリッド塗料への転換によるVOC抑制効果」、塗装工学 vol.43、No.8、2008、P.260)

表 2.4.3.2 には、塗着効率と塗料固形分の違いによる塗料使用量・廃棄物量を示しました。この表から塗着効率、塗料(塗料固形分)の検討前後の塗料使用量の差を求めることにより、生産コストに関連する塗料使用量、廃棄物量の削減効果を確認することができます。例えば、塗膜量を100と仮定して、塗着効率30%、塗料固形分30%の時点から、塗着効率50%、

塗料固形分40%に変更できた場合、塗料使用量は1110から500、廃棄物量は233から100に削減できます。塗料使用量の削減量は610、削減割合は55%、廃棄物量の削減量は133、削減割合は57%となります。現在の実態を把握しながら、塗着効率の向上に向けた地道な検討を行うことが、有効なコスト削減にもつながると考えられます。

表 2.4.3.2 塗着効率と塗料中固形分の違いによる塗料使用量・廃棄物量

(転載：木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減技術」、中部塗装研究会講演会「明日の工業塗装を考える」テキスト、2008、p.9)

塗着効率 (%)	塗着した固形分 (塗膜)	飛散した固形分 (廃棄物)	塗料使用量									
			塗料中固形分 (%)									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	100	900	10000	5000	3333	2500	2000	1667	1429	1250	1111	1000
20	100	400	5000	2500	1667	1250	1000	833	714	625	556	500
30	100	233	3330	1665	1110	833	666	555	476	416	370	333
40	100	150	2500	1250	833	625	500	417	357	313	278	250
50	100	100	2000	1000	667	500	400	333	286	250	222	200
60	100	67	1670	835	557	418	334	278	239	209	186	167
70	100	43	1430	715	477	358	286	238	204	179	159	143
80	100	25	1250	625	417	313	250	208	179	156	139	125
90	100	11	1110	555	370	278	222	185	159	139	123	111
100	100	0	1000	500	333	250	200	167	143	125	111	100

\*) 塗着した固形分量(塗膜)を100と仮定した。

### 4.3.5 スプレー塗装における低 VOC 塗料への転換による VOC 排出削減効果

イソリッド塗料があり、その VOC 含有量と特徴を表 2.4.3.3 に示しました。

#### (ア) 低 VOC 塗料の特徴と転換への手順

低 VOC 塗料への転換は塗装時の VOC 成分が直接少なくなることから、その削減効果は大きいです。低 VOC 塗料の代表的なものには粉体塗料、水性塗料、ハ

表 2.4.3.3 低 VOC 塗料の種類と特徴

(参考：①(社)産業環境管理協会、「VOC排出抑制の手引き - 自主的取組の普及・促進に向けて - 参考資料」、経済産業省、2006、p.112。②環境省 水・大気環境局大気環境課、「すぐにできるVOC対策 塗装で取り組むVOC削減の手引き」、(社)産業と環境の会、2007、p.4)

塗料の種類	VOC含有率	VOCの組成	長所	短所
粉体塗料	0.5%以下	・焼付硬化時の非反応性物質	・非危険物である。 ・塗布効率が低い。 ・厚膜塗装が可能。	・薄膜化塗装困難 ・焼付け温度が高い。 ・現場での調色困難。
水系塗料	7%以下	・アルコール系他 ・焼付硬化時の非反応性物質	・水による希釈が可能。 ・塗装時の臭気が少ない	・塗装作業性低下。気象の影響を受けやすい。 ・低温・高温時の造膜性問題。 ・洗浄排水の処理必要。 ・貯蔵安定性低下。
ハイソリッド塗料	30%以下	・炭化水素系 ・焼付硬化時の非反応性物質	・ラインの大幅な変更を必要としない。	・乾燥時間遅延 ・樹脂を低分子量化するため、塗膜性能が低下。

\*)一般溶剤系のVOC含有率は30～60%

\*\*\*)ハイソリッド塗料は溶剤で希釈されるため塗装時のVOC含有率は40%以下

ハイソリッド塗料は、溶剤形塗料の溶剤を低減し、不揮発分(固形分)を多くした塗料の総称です。ハイソリッド塗料は、水性塗料、粉体塗料に比べてVOCの削減量は少ないものの、ハンドスプレーを多く用いている小規模、小ロットのスプレー塗装においては、現在使用中の塗装設備や塗装方法の変更を必要とせずに塗装が可能であり、導入が容易です。

低VOC塗料への転換はVOC削減効果だけでなく、それぞれの特徴から被塗物、塗装設備、作業性、塗膜外観、性能など総合的に判断して導入を検討すべきです。導入に際しては、塗装性や塗膜性能を確認しながら進めていく必要があり、その場合の工程フローを図2.4.3.10に示しました。



目標達成まで繰り返す。

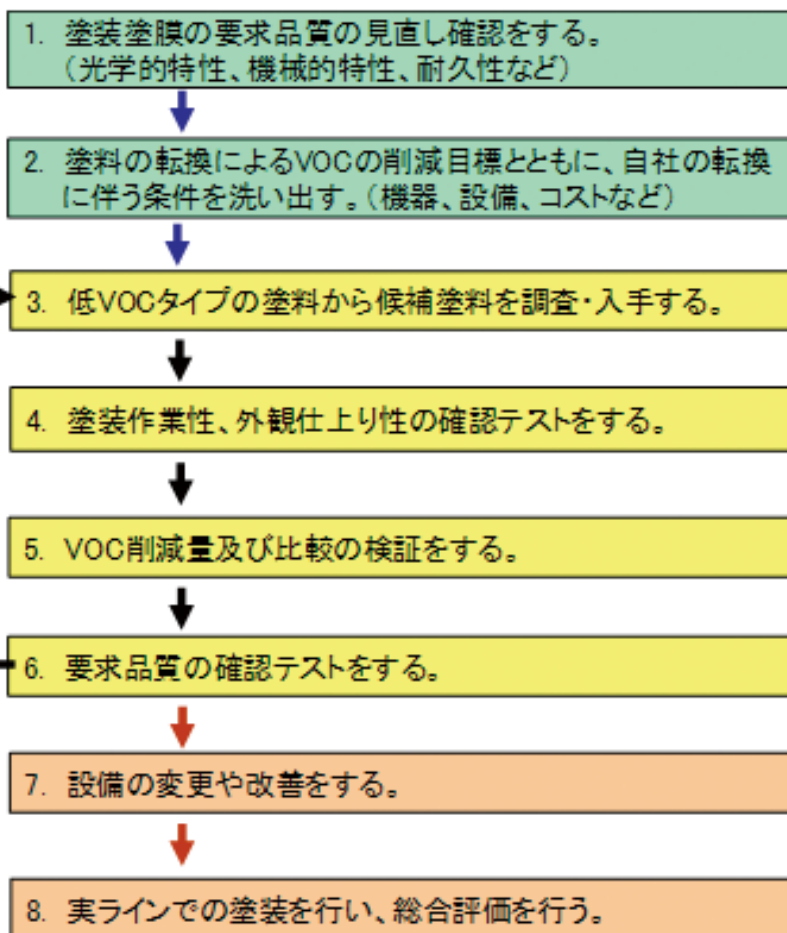


図 2.4.3.10 低 VOC 塗料への転換フロー

(転載：河合宏紀監修、「工業塗装ハンドブック」、テクノシステム、2008、p.873)

### (イ) ハイソリッド塗料の転換によるスプレー時の VOC 排出量の変化

改正された大気汚染防止法において、吹付塗装施設の VOC 規制は、ブースダクトからの排出濃度を規定するものとなっています。スプレー塗装におけるブースダクトからの VOC 排出は、排風量が大きいため、その濃度が安定するまでに時間を要します。実際の塗装工場においては、スプレー開始とともに VOC 濃度が上昇し、

停止とともに降下する、VOC 排出パターンを繰り返します。更に被塗物の形状、大きさ、塗装方法、塗料の種類などにより噴出量やその中に含まれる VOC 成分割合が違うため、小ロット、多品種のスプレー塗装工場では安定した VOC 濃度とはなりません<sup>3)</sup>。

小規模塗装工場で最も多く用いられていると考えられる小型重力式スプレーガンとメラミン樹脂塗料において、ハイソリッ



ド塗料に転換することでブースダクトから排出されるVOCはどのように変化するかを調べました<sup>4)</sup>。主なスプレーガン仕様、塗料・スプレー条件は次のとおりです。

### ①スプレーガン

塗料供給方式： 重力  
 塗料ノズル口径： 1.3 φ mm  
 吹付空気圧力： 0.24 MPa  
 空気使用量 :145 L/min  
 (以上はカタログデータです)

### ②塗料

アルキドメラミン樹脂塗料：従来形、ハイソリッド形（同一メーカー品）  
 粘度：20 ± 0.5sec  
 (岩田粘度カップ NK-2)  
 不揮発分量：希釈前  
 従来形 68%，ハイソリッド形 75%  
 希釈後 従来形 53%，  
 ハイソリッド形 62%

### ③スプレー条件

被塗物：無し  
 塗料噴出量：スプレーガン塗料噴出量調節装置により5段階に調節  
 (各段階において従来形とハイソリッド形をほぼ同量にした。)  
 スプレー時間：1 min  
 スプレー箇所の風速：0.6 m/sec  
 ブースの種類：乾式ブース  
 (バッフル式)  
 ブースダクトの風量：160 m<sup>3</sup>/min

### ④VOC濃度測定条件・VOC量算出式

測定機器：FID式VOC測定機  
 測定箇所：60 φ cm  
 ブースダクト内中心部  
 測定：連続測定  
 (2sec間隔でロギング)  
 VOC量(炭素数1のVOCに換算した容量)  
 算出式：VOC量(cm<sup>3</sup>) =  
 排出VOC平均濃度(ppmC) ×  
 排ガス総量(m<sup>3</sup>)

スプレーガンの塗料噴出量調節装置を調節することにより噴出量(重量)を変化させた、従来形メラミン樹脂塗料とハイソリッド形塗料のVOC濃度変化を、[公定法に準拠したFID法\(水素炎イオン化法\)](#)により連続測定した結果を図2.4.3.11に示します。メラミン樹脂塗料を用いた1分間のスプレーでは、塗料の噴霧とともにブースダクト内のVOC濃度が上昇し、濃度が安定したあたりで塗料の噴出を終えているのがわかります。従来形、ハイソリッド形ともにVOC濃度変化のパターンは類似しているものの、塗料噴出量の違いによりその高さは異なります。また、ダクト内VOC濃度の連続測定から得られたVOC排出量は、スプレー時に噴出した塗料の量や塗料中の揮発成分(VOC成分)、不揮発成分(固形分)量と相関が認められました(図2.4.3.12)。

このことにより、同一メーカーのアルキドメラミン樹脂塗料を用いたスプレー塗装において、同じ重量を噴出した従来形に対し、ハイソリッド形は、VOC 排出量

において約 25% の削減効果が認められました。これは、噴出させた塗料中に含まれる揮発成分 (VOC 成分) 量が異なるためです。

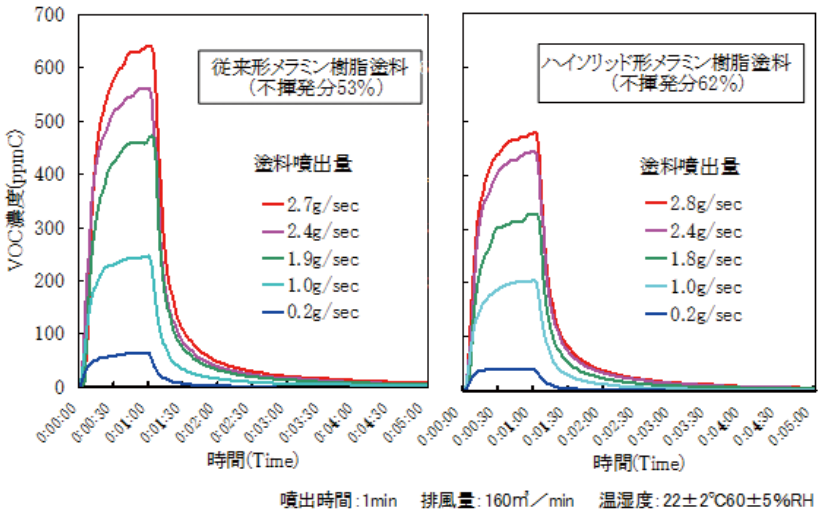


図 2.4.3.11 エアスプレー塗装における塗料噴出量の違いとブースダクト内の VOC 濃度変化  
(転載: 木下稔夫, 「エアスプレー塗装におけるハイソリッド塗料への転換による VOC 抑制効果」、塗装工学、Vol.43、No.8、2008、p.262)

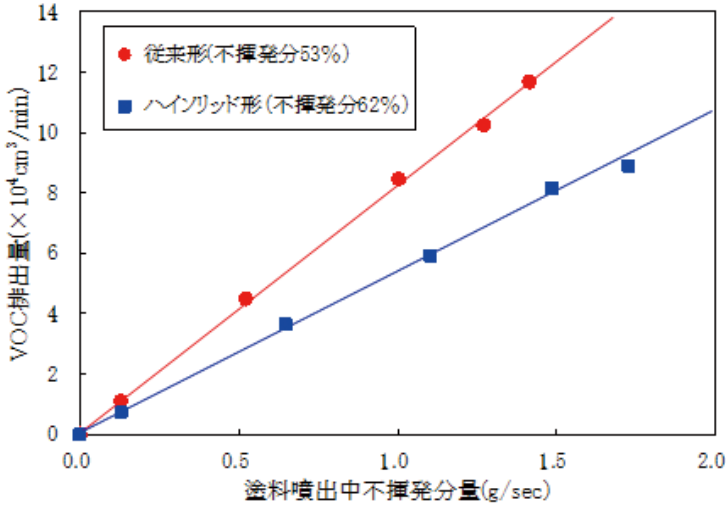


図 2.4.3.12 塗料噴出量と VOC 排出量の関係

(転載: 木下稔夫, 「エアスプレー塗装におけるハイソリッド塗料への転換による VOC 抑制効果」、塗装工学、Vol.43、No.8、2008、p.262)

(ウ) ハイソリッド塗料への転換による VOC 削減効果<sup>5)</sup>

表 2.4.3.4、図 2.4.3.13、図 2.4.3.14 に塗装時、汎用塗料より不揮発分(固形分)を 9%多くしたハイソリッドメラミン樹脂塗料を用いて平板にスプレー塗装をした場合の VOC 削減効果の事例を示します。

汎用塗料と塗料噴出量を同じにして、ハイソリッド塗料を同量スプレーした場合(条件 B)、塗料中揮発分の削減と塗着効率の結果から VOC 成分量は 20% 削減で

きました。しかし、塗料中の固形分が多いために汎用塗料に比べて被塗物上の膜厚が厚くなり、ブースに飛散した固形分(廃棄物)も増大しました。そこで、スプレーガンの塗料噴出量調節装置を約 1/4 程度締め込んで、噴出量を減少させてスプレーした場合(条件 C)、VOC 成分削減量は 29% に増加し、膜厚は汎用塗料と同じで、ブースに飛散した固形分は 10% 減に転じました。

表 2.4.3.4 スプレー塗装における使用塗料・条件と塗装結果

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.65)

条件	塗料	希釈前		希釈後		噴出量 (g/sec)	スプレーに要した塗料			塗着した塗膜 重量 (g)	膜厚 (μm)	塗着 効率 (%)	ブースダクトからの VOC排出実態*	
		塗料揮発分 (%)	密度 (g/ml)	重量 (g)	固形分 重量 (g)		揮発分 重量 (g)	VOC濃度 最大値 (ppmC)	VOC量** (cm3)					
A	汎用メラミン 樹脂塗料	31	1.19	47	2.4	31.6	16.8	14.9	8.0	22	48	265	18100	
B	ハイソリッドメラミン 樹脂塗料	26	1.33	38	2.4	31.2	19.3	11.9	9.8	24	51	210	14080	
C					2.1	27.8	17.2	10.6	9.3	22	54	182	12858	

塗装条件: スプレーガン: 重力式スプレーガン(口径1.3mm) 被塗物: アルミ平板(40×50cm) 塗料粘度: 20秒(NK-2)

\*: FID式VOC測定機の連続測定による解析値

\*\* : 炭素数1のVOCに換算した容量

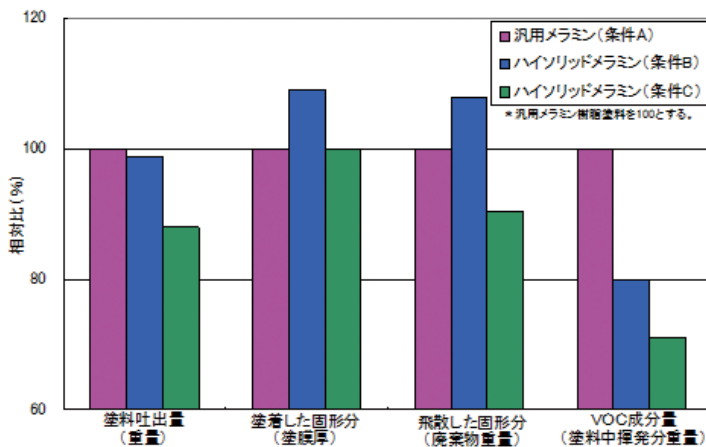


図 2.4.3.13 スプレー塗装におけるハイソリッド塗料の塗料使用量および成分量

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.65)

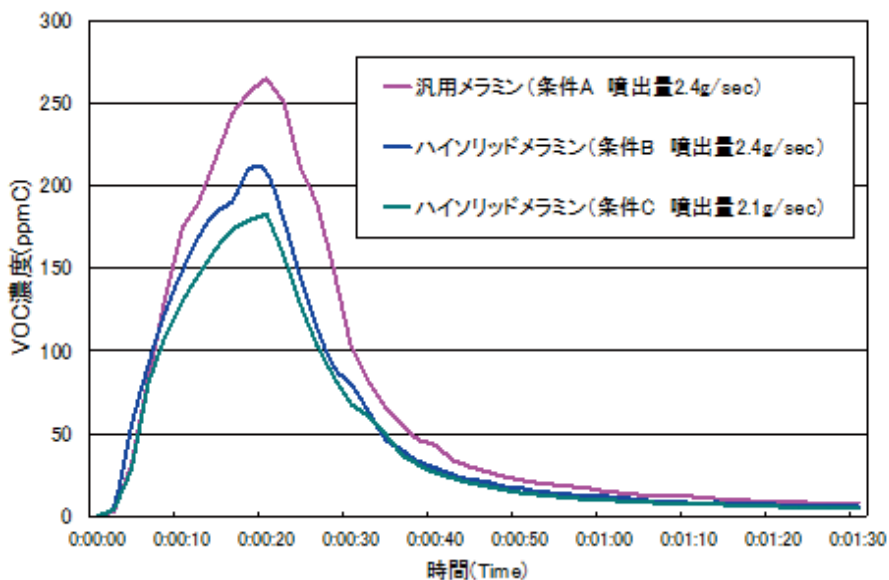


図 2.4.3.14 スプレー塗装における排気ダクトからの VOC 濃度変化

(転載:木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47、No.7、2008、p.65)

このことから、ハイソリッド塗料を用いたスプレー塗装においては、汎用塗料の場合と比べて噴出量を一定量減らして塗装することで、膜厚品質が同一で VOC 低減量がより増加し、高い低減効果が得られることが分かります。また、スプレー時の排気ダクト中の VOC 濃度パターンも低い曲線を描くことから (図 2.4.3.14)、改正大防法の規制対象となっている VOC 濃度を下げる効果も確認できました。

これら有効な削減効果を得るためには、膜厚管理を行い、スプレー塗装の特性を生かしたスプレーガンの調節と運行作業を身につけることが重要です。

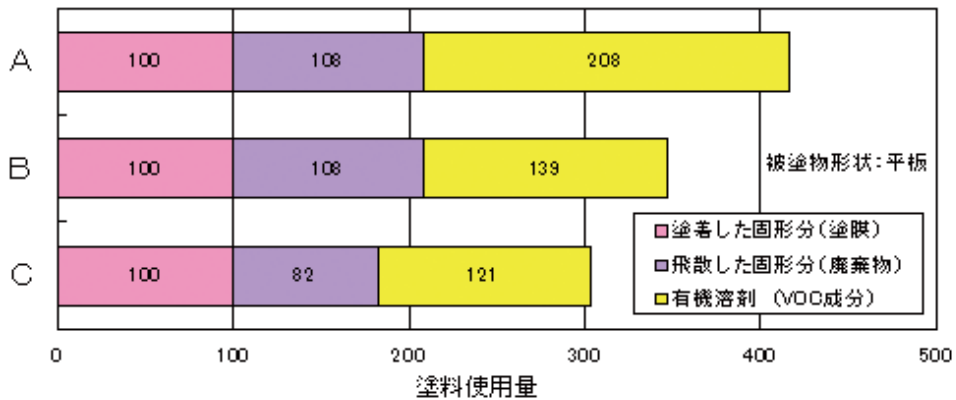
#### (エ) 低圧スプレーとハイソリッド塗料の検討による VOC 抑制

市販のハイソリッド塗料と低圧スプレーガンによる環境への負荷低減効果を解析するため、塗装実験を行った結果を図 2.4.3.15 に示します。塗料は、工業塗装において最も一般的なアルキドメラミン樹脂塗料を選択し、従来形とハイソリッド形を用いました。塗料の原液での不揮発分は従来形 63%、ハイソリッド形 75% ですが、専用希釈剤により標準希釈を行った結果、それぞれ 50%、60% となり、固形分比で 10% の差となりました。スプレーガンは、重力式ガンで、汎用形と低圧形により比較を行いました。低圧形はガン入口空気圧が汎用形に比べて低い分、空気量を多くして微粒化を図っています。実

験は、数年以上のスプレー作業経験者9名が、アルミ平板に対しスプレーを行い、塗着効率を測定しました。その結果、スプレーガンで汎用形を用いた場合48%、低圧形を用いた場合55%と、低圧形の使用による塗着効率の向上が確認されました。測定された塗着効率と、従来形、ハイソリッド形塗料の不揮発分から、塗着した固形分(塗膜)を100と仮定した場合の、塗料使用量及び成分量を示しま

した。塗料を従来形からハイソリッド形にすることにより、塗料使用量で17%、VOC量で33%抑制でき、ハイソリッド形塗料を低圧形スプレーガンで塗装することにより、塗料使用量を27%、VOC量42%を抑制できることが認められました。

これまでの検討から、塗料中の揮発成分及び噴出塗料の削減、塗着効率の向上、がVOC濃度の低下に有効であることが示唆されました。



\* 塗膜となる塗着した固形分量を100と仮定した。

条件	塗料(アルキドメラミン)			スプレーガン				塗着効率(%)
	タイプ	原液不揮発分(%)	希釈後不揮発分(%)	方式	塗料ノズル口径(φ)	ガン入口空気圧(Mpa)	空気使用量(L/min) 物効率が一定	
A	従来形	63	50	エアスプレー	1.3	0.35	85	48
B	ハイソリッド形	75	60	エアスプレー	1.3	0.35	85	48
C	ハイソリッド形	75	60	低圧スプレー	1.4	0.12	200~240	55

図 2.4.3.15 メラミン樹脂塗料のスプレー塗装による塗料使用量および成分量

(引用: 東京工業塗装協同組合活路開拓委員会、「環境適応型塗料・低圧ハンドスプレーガン導入実験報告書」、東京工業塗装協同組合、2002、pp.57-74)

**(オ) スプレー作業以外の塗装工程、作業の改善**

塗装施設におけるVOC対策は、前項で述べたように、まず工程内でできることを考え、塗料、溶剤のムダをできるだけ無くすことを考えるべきです。塗布作業以外の塗装工程、作業では、洗浄時の溶剤量の適性化や作業内容の改善による削減、洗浄後、溶剤を蓋のついた缶にすばやく貯めて、再生利用する(図2.4.3.16)等を検討することなどが挙げられます。

洗浄溶剤量を減らすということに関しては、吹き付け塗装におけるスプレーガン(図2.4.3.17、図2.4.3.18)、圧送式の場合のポンプやホース内洗浄(図2.4.3.19)についても同じです。

また、2液混合タイプの塗料の場合、使用量やポットライフ(可使用時間)の予測、計算違いなどにより廃棄しなければならない塗料を作らないことや塗料や溶剤の入った容器には必ず蓋をすることも重要です。



図 2.4.3.16 溶剤再生装置による廃シンナーの再生利用



一般的なスプレーガンの洗浄

スプレーガン洗浄機による洗浄

図 2.4.3.17 重力式スプレーガン使用後の洗浄方法



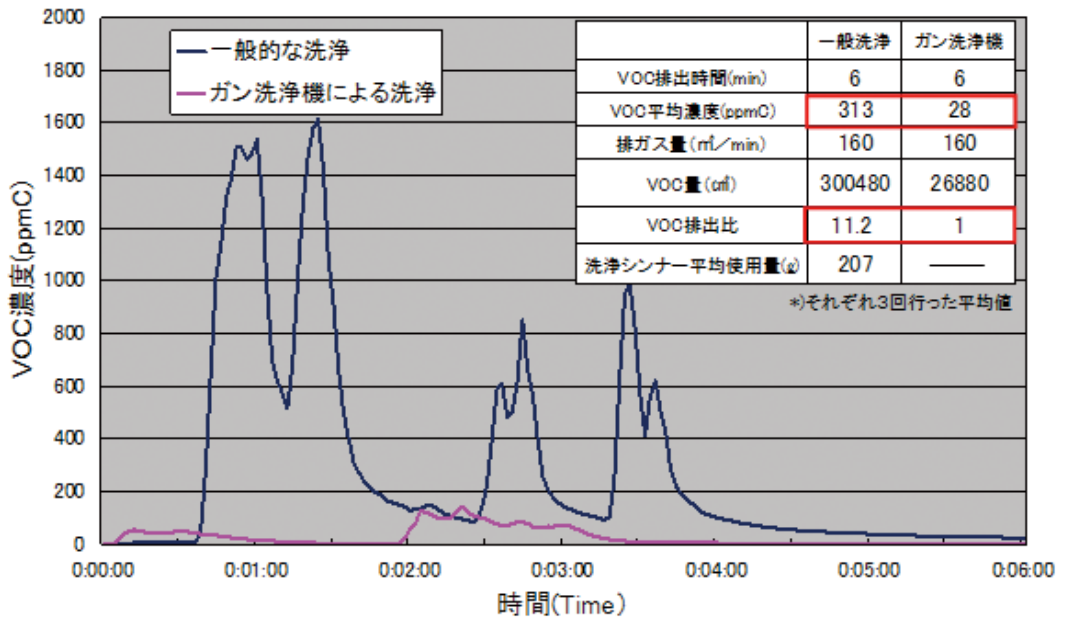


図 2.4.3.18 重力式スプレーガン洗浄時の方法の違いと VOC 排出量 (例)

(転載：木下稔夫、「小規模塗装工場の VOC 排出と対策」、大気環境学会第 50 回年会・発生源対策分科会講演会資料、2009)

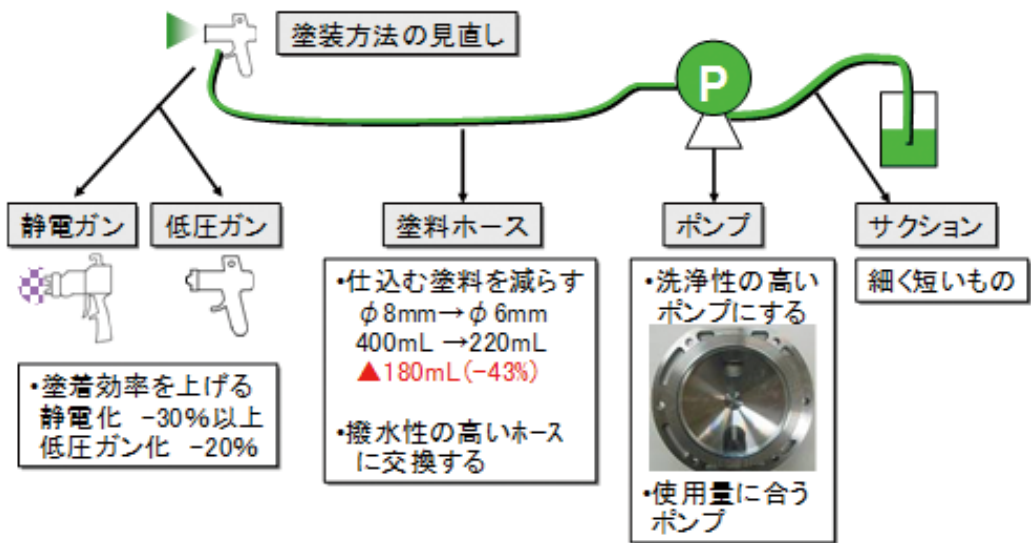


図 2.4.3.19 溶剤再生装置による廃シンナーの再生利用

(転載：日本塗装機械工業会 技術部会、「日本塗装機械工業会第 9 回技術シンポジウム発表資料」、2008)

## 引用文献

---

1. 東京都環境局環境改善部有害化学物質対策課、「VOC 対策ガイド [工場内編]」, pp.1-21 (2006).
  2. 日本塗装機械工業会編、新しい塗装実務ハンドブック入門編, 日本塗装機械工業会, pp.153 (2000) .
  3. 木下稔夫、「エアスプレー塗装におけるハイソリッド塗料への転換による VOC 抑制効果」、塗装工学, Vol.43 No.8、2008、p.256-263
  4. 木下稔夫、「小規模工業塗装工場における VOC 排出実態」、塗装工学、Vol.42 No.7、2007、pp.208-213
  5. 木下稔夫、「ハンドスプレー塗装における VOC 削減の手法」、塗装技術、Vol.47 No.7、2008、pp.57-66
-



本章では、塗装プロセスのVOC処理装置について、市販の装置を整理して解説するとともに、東京都地域結集型研究開発プログラムで取り組んだ処理装置の研究開発事例についても紹介します。

### 5.1 塗装における処理装置

処理装置は、処理技術による分類及び用途による分類ができます。処理技術による分類は基礎編の「2.1.1 処理技術の分類」に記述してあります。用途による分類は同じく基礎編の「2.1.2 ガスの種類と処理技術」で簡単にふれています。

塗装分野でのVOC排出状況は、印刷や洗浄などとは異なっています。詳細は、塗装編の「1.3 塗装シミュレータによるVOC排出調査」及び塗装編「1.4 小規模塗装工場におけるVOC排出の実態」を参照してください。塗装分野の処理装置、処理方法を決めるには、塗装作業の工程、排気量、塗料の種類など様々な条件を検討しなければなりません。

塗装分野でVOC処理装置が必要なのは、主に、吹き付け工程の塗装ブースからの排気と乾燥工程（レベリングを含む）の乾燥炉からの排気です。塗装ブースの排気は大風量で、通常は人手による吹き付け塗装用ブース1台から10,000 m<sup>3</sup>/h (=167 m<sup>3</sup>/min)の排気があります。また、塗装ブースでは、

水や油を使用したミストトラップが使われていますが、それでも取りきれない微小なミストが排気に混ざります。更に、塗装の排気にはシリコン含有物など、触媒を被毒する物質が含まれていることが多くあります。

以上の実態から、塗装ブースの排気処理には、従来から直接燃焼法が主に使われてきました。しかし、補助燃料を燃焼させることによるCO<sub>2</sub>の増加と高温燃焼による窒素酸化物の増加などから、様々な見直しがされています。直接燃焼法の燃焼効率の改善、エネルギーの回収、蓄熱燃焼法の使用などです。また、塗装ブースの排気中のVOC濃度が低いので、まずVOCを濃縮してから燃焼させる処理方法も採用されて来ています（本研究で実施した中小塗装工場調査では排気中のVOC濃度は平均で266ppmCでした）。

乾燥炉については、乾燥炉の大きさにもよりますが、塗装ブースと比較すると排気量が小さくなります。排出されるVOCの量は塗装ブースの1/4程度です。ただし、排気のなかには、昇温することにより発生するアルデヒド類などにおいの強い物質が多く

含まれています。乾燥炉も、悪臭対策から処理装置は重要です。燃焼法で処理する場合は、塗装ブースの排気と乾燥炉の排気を同時に処理することが可能です。現在、中小企業向けの乾燥炉専用の小型の汎用装置は普及しておらず、それぞれの工場が工夫をこらした悪臭対策を採っています。本研究ではその点に注目し、乾燥炉一体型のVOC処理装置を開発しています（塗装編 5.5「塗装乾燥炉用処理装置の研究開発事例」参照）。

2 塗装編

第5章 塗装工場用VOC処理装置

表 2.5.2.1 VOC 処理装置の仕様

(引用：環境省、「VOC 脱臭処理技術評価ガイド」、[http://www.env.go.jp/air/akushu/voc\\_guide/img/08.jpg](http://www.env.go.jp/air/akushu/voc_guide/img/08.jpg)、2014/01/23 確認)

装置メーカー名	型式	処理方式	サイズ(幅×奥行き×高さ) (mm)	稼働重量 (kg)	本体価格 (円)	運転費 (円/年)	消耗品費 (円/年)	処理風量 (m <sup>3</sup> /分)
アマノ精	VRT-290	燃焼法(触媒)	2,815×2,253×4,378	2,530	15,000,000	2,327,231	710,000	297
荏原実業㈱	EJV-10S	生物分解法	φ1,100×1,900	1,200	1,000,000	24,630	608,400	6
SAC技研(株)	TR-140P	吸収法(薬液)	2,110×1,500×3,450	650	3,200,000	179,650	140,000	83
中外炉工業株	R-RTD-184-S8	燃焼法(蓄熱)	2,600×17,000×8,400	16,000	40,000,000	768,431	241,000	89
㈱アマノ精工	AUY-0100PP	燃焼法(触媒)	2,020×1,630×710	500	6,790,000	313,184	0	10
取り扱い終了								
㈱荏原製作所	BIOTON SB-10	生物分解法	2,400×3,000×2,600	7,000	2,500,000	52,573	48,600	9
鉄道車輛工業㈱	CU-20	燃焼法(触媒)	1,480×2,750×2,050	2,500	9,850,000	410,567	100,000	13
北炭化成工業㈱	CRT350-20	吸着法(活性炭)	500×900×2,200	270	1,650,000	32,878	134,400	5
試作機								
㈱西部技研	PP-60(触媒コーイ)	プラズマ分解法	650×1,100×1,150	300	-	64,574	-	1
近代化成㈱	アアソリュ+HC	吸着法(清浄炭)	1,500×1,200×1,800	100	2,500,000	37,153	-	1

備考：価格・サイズは本体分だけで、運転費はメーカーからの資料提示によります。

## 5.2 市販の処理装置

### 5.2.1 小型・低価格な処理装置

市販の処理装置について、「VOC脱臭処理技術評価ガイド」の評価結果一覧を表 2.5.2.1 に示します。これは環境省が東京都に委託して実施した「排ガス処理装置技術評価調査」（平成 18 年 3 月報告）に基づき、製品 10 機種、試作品 2 機種の評価をしたものです。処理装置の性能を客観的に第三者が評価して公表している例は稀で、貴重な資料です。

表 2.5.2.1 において、本体価格 300 万円以下の製品は 4 機種が存在します（1 機種は取り扱い終了）。安価な装置の処理方式は吸着、プラズマ分解（取り扱い終了）、及び生物分解です。この価格帯では燃焼方式は存在しません。

表中で本体価格の 1 番安い EJV-10S（荏原実業株式会社）の 100 万円から 4 番目の BIOTON SB-10（株式会社荏原製作所）の 250 万円までは、処理風量が  $9 \text{ m}^3/\text{min}$  以下と小さなものです。塗装工場では、塗装ブース 1 台が  $167 \text{ m}^3/\text{min}$  程度ですから、塗装分野で使用するには、用途がかなり限定されます。また、この表の中で、キャノン株式会社のプラズマ分解法による製品は取り扱いが中止になりました。北炭化成工業株式会社は 2009 年 11 月に破産手続きを行っています。株式

会社荏原製作所の製品は、取り扱いが荏原エンジニアリングサービス株式会社に変更されています。価格が 320 万円の TR-140P（SAC 技研（株））は風量が  $83 \text{ m}^3/\text{min}$ （ $=4,980 \text{ m}^3/\text{h}$ ）と大きいのですが、数値は「排ガス処理装置技術評価調査」で設置した装置を短期間評価したのもので、長期間使用したときの吸収液の飽和、液中に含まれた吸着材の破過の見積もりが必要です。

一般に、吸着や吸収による VOC 処理装置は、初期の処理能力は優れていますが、その性能がどれだけ持続するか、また、脱着など、再生した場合に初期能力がどの程度まで回復するか、再生コストはいくらになるか等のデータが必要です。しかし、これらの数値は使用条件によっても大きく変わりますから、VOC 処理装置の一般的な評価は非常に困難です。

表 2.5.2.1 の上記以外の製品は本体価格が 600 万円以上になりますが、触媒燃焼法を採用し、主に印刷分野の排気処理などに利用されているものです。一般に、印刷の排気量は塗装より小さく、装置も小型になります。

塗装分野の VOC 対策は、法律で規制されている大規模施設を除けば、VOC 処理装置ではなく、工程改善や塗料の変更などで行われています。もちろん、工程改善などをした上で更に VOC 処理装置を設置することが最大の VOC 削減効果を発

揮します。

## 5.2.2 中規模の処理装置

塗装工場の排気ガス処理などに使用するには、風量 10,000 m<sup>3</sup>/h 以上に対応した VOC 処理装置が必要です。代表的な処理方法である直接燃焼法、蓄熱燃焼法、触媒燃焼法、吸着法、TPS 法（温度・圧カスイング法：温度と圧力を変えて VOC を凝集させる方法）の装置について、その例を表 2.5.2.2 に挙げます。また、性能データが明らかな表 2.5.2.1 に記載された装置のいくつかも、参考のために加えました。ただし、データ取得の時期が異なっていますし、電話での口頭による回答も含まれていますので、正確な値は各社に問い合わせてください。企業が公表している数値は、「VOC 排出削減支援ツ


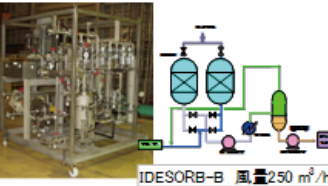
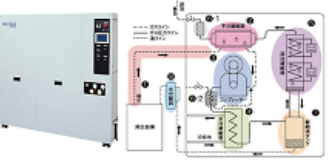
ル」<sup>1)</sup>を参照してください。「VOC 排出削減支援ツール」は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託により開発され、VOC 削減技術に関する情報を集めてインターネット上に公開したものです。開発担当は（株）三菱化学テクノロジー、（株）三菱総合研究所、みずほ情報総研（株）、（独）産業技術総合研究所の 4 社で、開発研究の統括は東京大学生産技術研究所が行ったものです。「VOC 排出削減支援ツール」に記載された VOC 処理装置は 2011 年 3 月 21 日時点で 74 件です。（「VOC 排出削減支援ツール」は、2013 年 2 月 15 日現在休止中です）

また、「VOC 排出削減支援ツール」に載っている処理装置の初期コスト及び運転コストを処理風量を横軸にとって整理したグラフが基礎編「[2.5 処理装置導入のコスト](#)」に記載されています。





表 2.5.2.2 市販処理装置の例 その2 (各社 HP 及び環境省ガイドなどを参考)

処理技術	装置・方式名 メーカー	写真・構造 (HP又はカタログによる)	処理対象	① 処理風量 ② 初期費用 ③ 運転費用 ④ 装置形状	備考
触媒燃焼	AUY-0100PP 有限会社アマリ精工 <a href="http://www.amari-seikou.co.jp/index.html">http://www.amari-seikou.co.jp/index.html</a>		少風量の脱臭用	① 1.5~10 m <sup>3</sup> /minラインアップ ② 679万円 ③ 約2万6千円/月(触媒毒ない場合) ④ 2.1×1.7×0.8 m 環境省「VOC脱臭処理技術評価ガイド」より	*性能試験: 塗装工場の乾燥炉、入口濃度398ppmC、臭気10,000、風量10 m <sup>3</sup> /min VOC処理効率70%、臭気68%
吸着	IDESORBシリーズ 出光エンジニアリング株式会社 <a href="http://www.idemitsu.co.jp/eng/index.html">http://www.idemitsu.co.jp/eng/index.html</a>		VOC(石油系、ケトン系、エステル系、無機系吸着材ではプラスしてハロゲン系、アルコール系)	① 大風量対応可能(写真は4.2 m <sup>3</sup> /minの装置) ② 仕様によって異なる ③ 仕様によって異なる ④ 仕様によって異なる	吸着法の一体型システム B型は圧カスイング型吸着法採用
(温度・圧力変化)	REARTH S500 株式会社モリカワ <a href="http://www.morikawa-ltd.co.jp/index.html">http://www.morikawa-ltd.co.jp/index.html</a>		塩化メチレン、トリクロロエチレン、1-プロモプロパン、酢酸エチル、IPA、メタノール等	① 60~100 m <sup>3</sup> /min ② 920万円~1230万円 ③ ~3万6千円/月 ④ 設置面積1.52 m <sup>2</sup> 「VOC排出削減支援ツール」より	(株)モリカワでは「圧縮深冷凝縮法」と呼んでいる 回収液の品質劣化が少ない特徴をもつ

\*性能試験は、環境省 VOC 脱臭処理技術評価ガイドの数値

### 5.2.3 脱臭装置

大気汚染防止法で規制されている大規模塗装工場などでは、塗装ブースからのVOCと乾燥炉等からの悪臭を同じVOC処理装置で分解して処理しています。しかし、塗装ブースからの排気は風量が大きいため、工場全体のVOC処理装置を設置するコストは非常に高額になり、容易には導入できません。一方、特に住宅に隣接する都市の中小工場などでは、悪臭対策が焦眉の課題になっていて、「まず、脱臭」というニーズが強くあります。

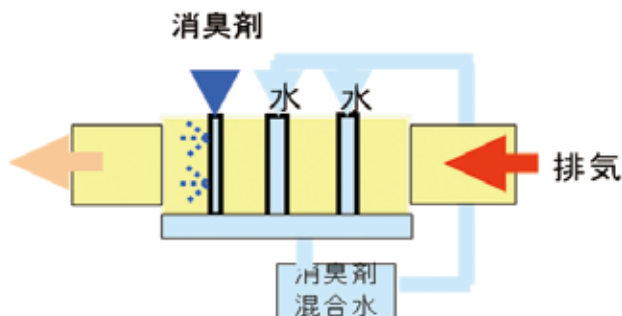
公益社団法人におい・かおり環境協会 (<http://www.orea.or.jp/>) は、脱臭の問

題にも力を入れて取り組んでいます。「脱臭ナビ-ひと目でわかる脱臭装置選択ガイド-」 (<http://www.dashdb.jp/>) を公開し、市販の脱臭装置の仕様と評価を公開しています。評価項目は、経済性、省スペース、脱臭性能、信頼性、維持管理です。「脱臭ナビ」では脱臭装置を業種等で分類していますが、塗装工場で使用可能な装置は多くはありません。しかし、塗装の場合も脱臭を考える上で貴重な情報が得られます。

塗装工場で、使用されている脱臭に特化した処理装置例を紹介します。アルデヒドなどの悪臭原因物質を捕捉する目的で、水のシャワーを使用した脱臭装置で

す。パケットベッド（空気と水の接触面積を増やすための詰物です）と消臭液を使

用した脱臭装置を乾燥炉の排気に使用したときの性能を図 2.5.2.1 に示します。



	臭気濃度 (臭気指数)	全炭化水素
入口	410(26)	130ppmC
出口	170(22)	110ppmC
処理効率	59%	15%

図 2.5.2.1 水洗方式の塗装工場脱臭装置（消臭液の噴霧）

この装置は東京都内の塗装工場に設置されたもので、消臭液に年間 200 万円以上使用したとのことでした。運転経費としては、その他にも電気や廃水処理の費用がかかります。処理効率をみると臭気は減少していますが、全炭化水素の処理については効果が少ないことが分かります。

都市部の塗装工場では、おが屑を詰めて水や消臭液を噴霧し、脱臭とミスト除去をする装置など、それぞれ工夫した様々な装置が使用されています。

## 5.2.4 濃縮装置

VOC 濃縮装置をつければ、処理風量を 1/5 ~ 1/20 に減少させることができます。濃縮装置として、ゼオライトや繊維状活性炭を使用した濃縮機が現在は製造・販売されています。吸着材としてゼオライトを使用し、VOC を円盤の一端で吸着させ、吸着した VOC を反対側で脱着する回転方式の濃縮装置、株式会社西部技研の型式 UZU-2950V40 の原理と写真を図 2.5.2.2 に示します。図の右側の写真は風量が 33,000 m<sup>3</sup>/h（工業用吹き付け塗装ブースで約 3 台分に使用可能）です。加熱脱着後の排気は高温になります。

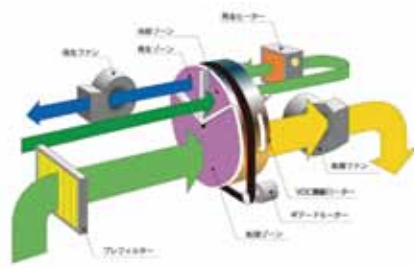


図 2.5.2.2 ゼオライトを使用した VOC 濃縮装置の原理と製品例

(転載：株式会社西部技研、「VOC 濃縮装置」型式 UZU-2950V45、風量 33,000 m<sup>3</sup>/hr、対象 VOC は IPA、アセトンなど、[http://seibu-giken.co.jp/sky\\_save\\_c/index.html](http://seibu-giken.co.jp/sky_save_c/index.html)、2014/01/23 確認)

また、繊維状活性炭を濃縮用吸着材に使用した大気社の装置例(アドマットC型)を図 2.5.2.3 に示します(繊維状活性炭は、細孔中の大部分をマイクロ孔が占めており、粒状活性炭などと比較すると脱着時の VOC 残留が少ないとされています)。アドマットC型の吸着体は、繊維状活性炭をフェルト状に加工したマットを使用しています。このマットを円筒状の金網に巻

き、カセットにして、ローターに取り付け、ローターは回転しながら、吸着・脱着を連続的に行います。吸着は、未処理ガスがカセットの外側から内側に通過するときに行われ、脱着はカセットの内側から外側に向かって、約 130℃の熱風を通過させることによって行われます。吸着から脱着への変換は、カセットがローターの最上部に来たときに行われます。

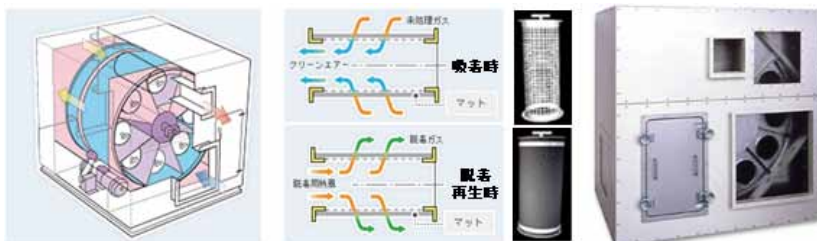


図 2.5.2.3 活性炭を使用した VOC 濃縮装置の原理と製品例

(転載：大気社、「アドマットシステム VOC 処理・悪臭防止システム」、<http://www.taikisha.co.jp/service/adomat.html>、2014/01/09 確認)

本装置の処理効率は、処理ガスの種類、濃度により異なります。対象物質として、

塗料・インキ用シンナー、アルコール、有機溶剤などが挙げられています。

## 引用文献

1. (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、「VOC 排出削減支援ツール」、<http://www.voc-info.jp>、2014/01/23 休止中



## 5.3 ランニングコスト

### 5.3.1 直接燃焼方式

大規模な塗装工場で実績の多い直接燃焼方式は、VOCの種類によらず安定した処理が可能です。触媒燃焼方式における触媒の被毒、あるいは蓄熱燃焼方式における蓄熱体の目詰まりなどはありません。ただし、低濃度VOCでは、VOCの発熱量が不足で、灯油やLNG（液化天然ガス）などの補助燃料が必要です。装置により、熱回収が工夫されていますが、それでも運転コストは高額になります。

### 補助燃料コスト

直接燃焼法の運転経費について参考文献の試算結果を引用します（表 2.5.3.1 参照）。塗装ブース1台からの排気風量に相当する10,000 m<sup>3</sup>/hを処理する運転経費は、蒸気で熱回収をした利益を差し引いた年間評価換算値で約9,000万円/年です。補助燃料の費用8,680万円/年が大きな割合を占めています。また、表 2.5.3.1の値は、灯油価格が35円/Lで計算されていますが、今は灯油価格は90～100円/L程度に上昇しています。

表 2.5.3.1 直接燃焼法による処理装置の運転経費の試算例

(引用:経済産業省,(社)産業環境管理協会:「有害大気汚染物質対策の経済性評価報告書」,2003年2月)

区分	2,000Nm <sup>3</sup> /h		5,000Nm <sup>3</sup> /h		10,000Nm <sup>3</sup> /h		30,000Nm <sup>3</sup> /h	
	必要量	年間費	必要量	年間費	必要量	年間費	必要量	年間費
補助燃料 [L/h]	65	1,820	160	4,480	310	8,680	930	26,040
電力 [kWh]	13	156	30	360	60	720	180	2,160
BFW [m <sup>3</sup> /h]	0.6	82	1.5	204	3.0	408	8.9	1,210
圧縮空気 [Nm <sup>3</sup> /h]	25	200	55	440	105	840	300	2,400
年間用役費 [万円]	2,258		5,484		10,648		31,810	
年間補修費 [万円]	160		210		280		460	
年間運転費 [万円]	2,418		5,694		10,928		32,270	
蒸気量 [kg/h]	575		1,430		2,830		8,450	
年間評価換算 [万円]	1,840		4,576		9,056		27,040	

#### 試算条件

- ・設備の原価償却は対象外と設定
- ・設備起動時、異常時、停止時には運転員が関与するが、通常運転時は夜間も含めて事業所の総合的な設備安全監視の一環にて対応できることから、運転要員費は対象外と設定
- ・運転経費試算対象は用役及び年間当りの補修費と設定
- ・蓄熱方式と同様に直接燃焼式焼却設備も連続稼働されるケースが多い事を考慮し稼働率は以下を設定  
稼働率 24時間/日×30日/月×11ヶ月/年=約8,000時間/年
- ・用役単価は以下を設定  
補助燃料(灯油):35円/L、ボイラー給水(BFW:Boiler Feed Water):170円/m<sup>3</sup>、電力:15円/kWh、圧縮空気:10円/m<sup>3</sup>
- ・回収蒸気(4円/kg)は回収量として表示し、年間用役費に加算しない扱いとす
- ・年間補修費はボイラーの定期検査及び通常補修費合計として設備建設費の1.5%と設定
- ・排ガスの2次処理、フロー水、排水の処理は対象外と設定

上記の例で風量 10,000 m<sup>3</sup>/h を処理する場合、補助燃料として燃やす灯油 310 L/h の年間 CO<sub>2</sub> 排出量を計算しました。灯油の平均比重を 0.7945 kg/L、体積当たり平均高位発熱量を 36.6 MJ/L、CO<sub>2</sub> 発生量 68.5 gCO<sub>2</sub>/MJ とすると、年間 8,000 時間の運転で約 6,200 トンの CO<sub>2</sub> を発生することになります。非常に大量の CO<sub>2</sub> を排出することになるので、VOC を削減するメリットと CO<sub>2</sub> を増加させるデメリットを総合的に検討する必要があります。

直接燃焼法の新しい装置の例として、処理風量は 1 台当たり 2,400 m<sup>3</sup>/h という E 社のマイクロガスタービン方式の直接燃焼装置があります。この装置は、処理風量は塗装ブース 1 台の排気量の約 1/4 ですが、並列運転が可能とのこと。運転コストに関しては、メーカーに問い合わせたところ、風量 2,400 m<sup>3</sup>/h を処理する場合、29.4 m<sup>3</sup>/h の都市ガス 13A を補助燃料として使用します（低濃度で自燃しない VOC の場合です）。都市ガスの価格は季節と使用量により大きく変動しますが、工業用大口として 80 円 /m<sup>3</sup> で計算すると 2,350 円 /h になります。風量 10,000 m<sup>3</sup>/h では 9,790 円 /h が必要です。年間 8,000 時間の運転をすると約 7,800 万円の燃料費になり、表 2.5.3.1 に示した従来からの直接燃焼方式よりかなり安価になります。

一般的に、空気の温度を上昇させると

きのエネルギー量と費用は次の数値を使用して概略を見積もることが出来ます。都市ガス（東京などで使用されている 13A）を例に計算します。

### 計算に使用する定数

空気の比熱：1.3 kJ/(m<sup>3</sup>K)又は0.32 kcal/(m<sup>3</sup>K)<sup>注1</sup>

都市ガスの発熱量：45 MJ/m<sup>3</sup>又は11,000 kcal/m<sup>3</sup>

都市ガスの価格：80 円 /m<sup>3</sup>（2011年2月：東京ガスの一般料金 145～102 円 /m<sup>3</sup>、業務・工業用選択約款 3 料金 77～88 円 /m<sup>3</sup>）

都市ガスの CO<sub>2</sub> 発生量：2.28 kg/m<sup>3</sup>

注1：乾燥空気 1 気圧 0℃において、定圧比熱は 1.007 kJ/(kg K)、密度は 1.293 kg/m<sup>3</sup>です。比熱は温度により変化しますが、近似値として一般的にこの数値を使用しています。

### 計算の条件

昇温度：100℃

処理風量：10 m<sup>3</sup>/min (600 m<sup>3</sup>/h) の場合

### 計算方法と計算結果

エネルギー量：78 MJ (=処理風量 600 m<sup>3</sup>/h × 空気の比熱 1.3 kJ/(m<sup>3</sup>K) × 昇温度 100K)

都市ガス量：1.73 m<sup>3</sup>/h (=エネルギー 78 MJ/ 発熱量 45 MJ/m<sup>3</sup>)<sup>注2</sup>

都市ガス料金：139 円 /h (=都市ガ

入量  $1.73 \text{ m}^3 \times \text{価格 } 80 \text{ 円 / m}^3$  注2  
発生する  $\text{CO}_2$  量:  $3.94 \text{ kg/h}$  (都市ガス入量  $1.73 \text{ m}^3 \times \text{都市ガスの } \text{CO}_2 \text{ 発生量 } 2.28 \text{ kg/m}^3$ ) 注2

注2: 有効数字は空気の比熱に合わせて2桁です

なお、ここで計算した値は、純粋に空気の温度を上げるためだけの数値です。実際は、装置外壁からの放熱、熱交換器によるエネルギーの回収などを考慮する必要があります。また、VOCを燃焼させる温度と排ガス温度との差である昇温度や風量については、実際の数値を用いる必要があります。

### 5.3.2 蓄熱式燃焼法

蓄熱式燃焼方式は、熱回収効率が80～95%とされており、運転経費の削減が可能です。以下にロータリー式蓄熱燃焼装置の運転における助燃費用例を示します。

#### 運転条件

処理風量:  $155 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $9,600 \text{ m}^3/\text{h}$ )

運転温度:  $870^\circ\text{C}$ 、外気温度  $20^\circ\text{C}$

温度効率: 90%

VOC: トルエン(自燃なし、自燃は700ppm以上)

補助燃料: LNG ( $11,000 \text{ kcal/m}^3$ )

#### 処理運転時

必要熱量:  $334,600 \text{ kcal/h}$

LNG消費量:  $30.4 \text{ m}^3/\text{h}$  LNG 価格を  $65 \text{ 円 / m}^3$  とすると約  $2,000 \text{ 円 / h}$

直接燃焼法と同様に年8,000時間運転すると、経費は1,600万円/年で、補助燃料代は、直接燃焼法の前機種と比較して1/5になります。装置本体の価格は約6,500万円でした。装置設置費用や前処理装置などの価格は含んでいません。

### 5.3.3 吸着方式

交換式活性炭吸着塔は、安いイニシャルコストで大風量を処理することができます。東京都立産業技術研究センターが購入した  $10,000 \text{ m}^3/\text{h}$  の処理が可能な北炭化成工業株式会社の装置が約600万円でした。活性炭はトン規模で購入すると  $300 \sim 800 \text{ 円 / kg}$  (2009年7月調査)です。そして、VOCの種類にもよりますが、吸脱着を繰り返して使用する場合の吸着量は、活性炭の重さの10～20%程度です(基礎編「表1.2.3.1 VOCおよび悪臭物質の活性炭による吸着保持量」)。また、活性炭は使い捨てではなくて再生して繰り返し使用して、性能が落ちてきたら再賦活や交換をします。再生は通常は専門の業者に委託し行われますが、その料金はVOCの種類と量、及び場所(運賃)などによって異なり、汎用的な料金は見積もることができません。北炭化成工業の装

置の場合は、風量 400 m<sup>3</sup>/min (24,000 m<sup>3</sup>/h) で活性炭の再生などの処理装置運転コストが約120万円/月とのことでした。

株式会社モリカワでは、新しい活性炭吸着方式のリサイクルサービス（リアース<sup>®</sup> サービス）を平成 22 年度より開始しています。設備のイニシャルコストが不要で、VOC を回収・再使用するサービスです。

## 2 塗 装 編

### 第5章

#### 塗装工場用VOC処理装置

## 5.4 塗装ブース用処理装置の研究開発事例

### 5.4.1 はじめに

光化学オキシダントの抑制を図るため、VOCの排出を規制する改正大気汚染防止法が平成18年から施行されています<sup>1)</sup>。自主的取組の対象となっている中小規模の吹付け塗装工場では<sup>2)</sup>、塗装ブース内において、塗着しなかった微粒子化した塗装ミストと低濃度VOCが発生しています。中小企業の多くは、未だ排ガス処理装置を設置しておらず、小型かつ導入費・維持費が安価な処理装置の開発が望まれています<sup>3,4)</sup>。

私達は、装置価格が低い吸着方式<sup>5)</sup>において、塗装ミストフィルタを不要とし、安価な粉末活性炭(ACP)を使用する、VOCと塗装ミストを同時に処理できるバグフィルタ型VOC処理装置の開発に取り組みました。処理装置の縮小モデル機を試作して、ACPの処理性能を調査し、塗装工場への適用について検討した結果について報告します。

### 5.4.2 排ガス処理装置試作機

#### (ア) 中小塗装工場からの排ガス

開発する処理装置は、塗装ブースから排出されるガスを対象としました。労働

安全衛生法により、塗装ブースにおける吹付け作業時の風速は0.5 m/s以上と定められており<sup>6)</sup>、また塗装ブースの開口部面積は多くの場合2～6 m<sup>2</sup>であることから<sup>4)</sup>、中小塗装工場での換気量を10,000 m<sup>3</sup>/hと仮定しました。その他の作業条件を表2.5.4.1に示します。実験に用いた塗装ブースは、設備導入費の低い<sup>7)</sup>乾式ブース(アネスト岩田製, BBC-20D)としました。乾式ブースの塗装ミスト除去効率は、アミノアルキド樹脂塗料(ロックペイント製, エミラック050-1205)を使用し、乾式ブース通過後の塗装ミストを全量、フッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタ(Pallflex Products製, T60A20)により捕集して求めました(吹付け量2 g/s、風量10,000 m<sup>3</sup>/h)。また、塗料固形分比率は、シンナーで希釈した(塗料:シンナー=100:34.2)アミノアルキド樹脂塗料について、JIS K 5601-1-2「塗料成分試験方法-第1部:通則-第2節:加熱残分」に準じて、加熱乾燥後の重量変化から算出しました。

微粒子化した塗装ミストは、乾式ブースに装備されている排気フィルタを通過するものがあり、その1日の固形分量は、表2.5.4.1の塗料消費量、塗着効率、乾式ブースの塗装ミスト除去効率、塗料固形分比率から、275 g/dと推定されます。また、乾式ブースの排気フィルタはVOCを除去しないと考え、1日のVOC排出量

は表 2.5.4.1 から、同様に 7.90 kg/d と計算されます。これから、VOC をトルエ

ンとすると、排ガスの平均 VOC 濃度は 32.0ppm となります。

表 2.5.4.1 塗装工場の操業条件モデル

換気風量	10,000 m <sup>3</sup> /h
操業時間	6 h/d
塗料種	アミノアルキド樹脂塗料
塗料消費量 (シンナーを含む)	15.8 kg/d
塗着効率	40wt%
塗装ブースの種類	乾式ブース
乾式ブースの塗装ミスト除去効率	94.2wt%
塗料固形分比率	50wt%, (白色)

### (イ) 縮小モデル機

従来、バグフィルタは主に除塵のために使用されてきました。ここでは、ACP を保持するためにバグフィルタを用い、保持された ACP に塗装ミストと VOC を同時に除去させることを考えました。ACP のバグフィルタへの保持は、バグフィルタでの除塵と同様に、バグフィルタ通過後を負圧にすることで、粉体保持面に対して垂直な力が ACP に作用し、保持されます。

1日の VOC 除去に必要な量の ACP をバグフィルタに保持させた後、塗装作業を開始し、作業終了後に VOC を吸着した ACP を払い落します。払い落とし作業は、ガス処理方向とは逆向きに圧縮空気を瞬間的に流すパルスジェット方式を用いました。

ポリエステル不織布バグフィルタ (ホー

コス製, TE5ME2) を内蔵した 1/100 規模の縮小モデル機 (図 2.5.4.1) を試作し、スプレーガン (ランズバーグ・インダストリー製, T-AGPV- 868-805MT-G) と乾式排気フィルタ (パーカーエンジニアリング製, アレスターパッド) を装備した乾式ブース模擬装置 (新菱工業製) に接続しました。縮小モデル機の仕様を表 2.5.4.2 に、実験装置の概略を図 2.5.4.2 に示します。

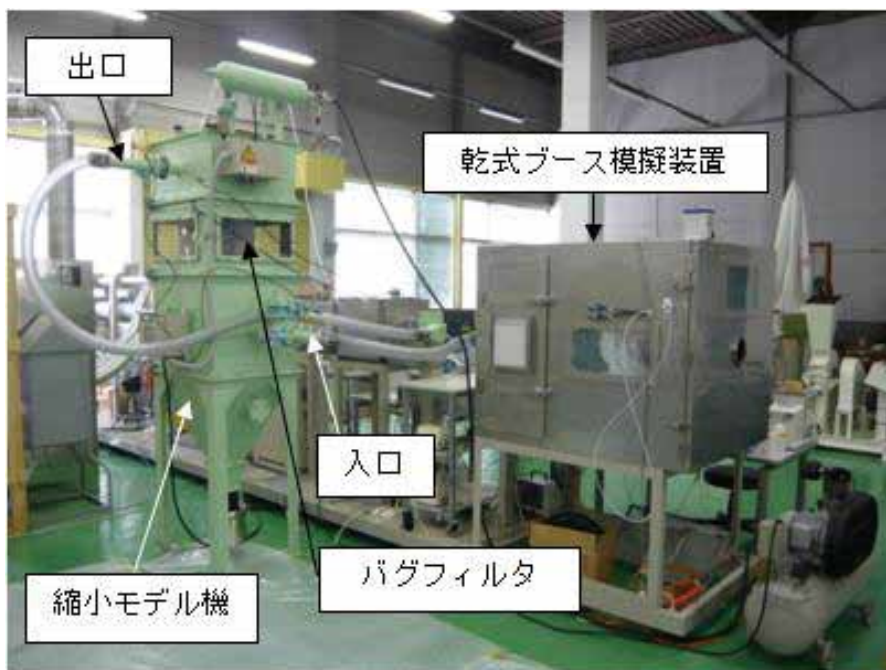


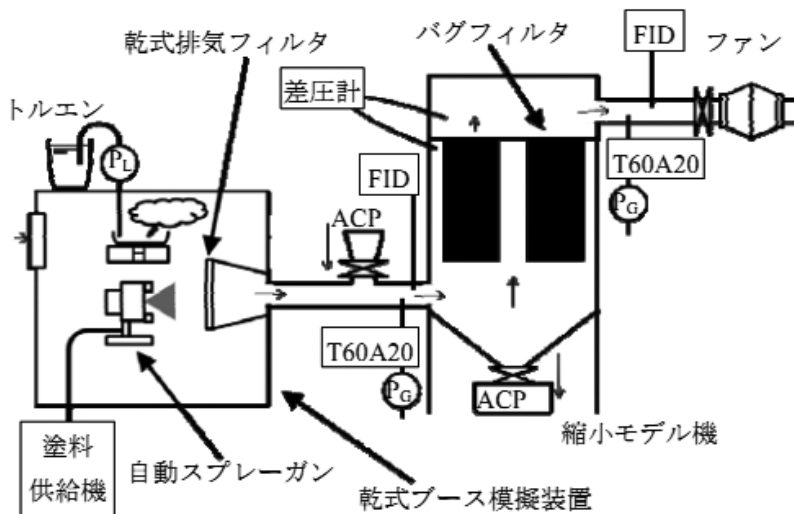
図 2.5.4.1 縮小モデル機

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.39)

表 2.5.4.2 縮小モデル機の仕様

処理風量	36 ~ 200 m <sup>3</sup> /h
粉体保持面積	0.5 m <sup>2</sup>
バグフィルタ外径	0.155 m
バグフィルタ長さ	0.257 m
バグフィルタ本数	4 本
バグフィルタ設置面積	0.233 m <sup>2</sup> (0.44 mx 0.53m)
塗料吹付け量	0.2 g/s





$P_L$ : 液体用ポンプ (ペリスタポンプ)

$P_G$ : 気体用ポンプ

H: ヒータ

T60A20: フッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタ

図 2.5.4.2 実験装置概略図

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.39)

### 5.4.3 実験

#### (ア) 粉末活性炭による圧力損失

ACP の導入量を調整してバグフィルタの ACP 保持量を変化させ、ガスが ACP を通

過する線速度 (LV) を 0.02 及び 0.04 m/s として、ACP の圧力損失を測定しました。使用した ACP は木質系活性炭であり、粒度の異なる 3 種類を用いました。ACP のメジアン径を表 2.5.4.3 に示します。

表 2.5.4.3 使用した粉末活性炭 (ACP) のメジアン径

型番	$\mu\text{m}$
PG-1PD	19
PG-1PD(B)	37
PG-1PD(C)	67

ACP: ダイネン製



## (イ) 塗装ミスト付着の影響

### (1) ミスト導入量

専用シンナーで希釈したアミノアルキド樹脂塗料をスプレーにて吹付け、縮小モデル機へ導入されるミストをフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタを用いて捕集しました。実験条件を表 2.5.4.4 に示します。

また、乾式ブースの排気フィルタを通過し、縮小モデル機へ導入される直

前のミストの粒度分布を、実際の乾式ブースを通過した直後の粒度分布と比較しました(エアースンプラー：柴田科学製、AN-200 アンダーセンタイプ)。なお、実際の乾式ブースでの計測では、アミノアルキド樹脂塗料を 2 g/s の速度で吹付けました(ハンドスプレーガン：アネスト岩田製、W-101, 吹付け圧力 0.24 MPa)。

表 2.5.4.4 ミスト導入量調査実験条件

塗料希釈重量比 (塗料:シンナー)	100:34.2
自動スプレーガン使用圧力	霧化エア:1.20 MPa パターンエア:0.07 MPa
希釈塗料吹付け量	0.2 g/s
線速度 (風量)	0.02 m/s (36 m <sup>3</sup> /h) 0.04 m/s (72 m <sup>3</sup> /h)
吹付け時間	1200 s

### (2) ミスト除去

バグフィルタの ACP 保持量を変化させ、表 2.5.4.4 の条件でミストを導入し、ACP で除去できないミストはフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタを用いて捕集しました。

過後にフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタで捕集されるミストがないことを確認し、導入したミストが全て ACP に付着した場合の**圧力損失**の変化を求めました。

### (3) 圧力損失

前項 (2) のミスト除去実験時に、ACP へのミスト付着による**圧力損失**の上昇を計測しました。バグフィルタ通

## (ウ) 粉末活性炭のトルエン吸着性能

メーカーが提供する塗料及びシンナーのMSDS<sup>8,9)</sup>を参考にして、前述の(イ)における希釈塗料の揮発成分比を表 2.5.4.5 に作成しました。その結果、トルエンが

VOC 排出の 50% 以上を占め、最も寄与することが示されたことから、縮小モデル機の VOC 処理性能はトルエンを用いて評価することとしました。

表 2.5.4.5 希釈塗料中の揮発成分

物質名	重量比 wt%
トルエン	53.5
キシレン	16.3
n-ブタノール*	22.2
エチルベンゼン	7.1
ホルムアルデヒド*	0.8

\* 最小値と最大値が記載されている物質は中間値を用いた。

一定濃度のトルエンガスを ACP へ送り、ACP のトルエン吸着率を調査しました。一定濃度のトルエンガスを発生させるために、ペリスタポンプ (ATTO 製, AC-2120) を用いて乾式ブース模擬装置内にトルエンを導入し、115℃で加熱気化 (トルエンの沸点: 110.6℃) させました。トルエンガス濃度が約 100ppm になるようにペリスタポンプの送液速度を調整し、濃度は FID 式 VOC 濃度計 (東亜 DKK 製, GHT-200) を縮小モデル機の入口に接続して監視しました。ACP 通過後のトルエン濃度も FID で監視し、ACP 通過後のトルエン濃度が 15ppm に上昇するまでトルエンガスを導入しました。トルエン導入量を吸着量とし、トルエンを吸着した ACP 保持量

から吸着率を求め、ACP 保持量と粒度の違いによる吸着率の変化を調査しました。

## 5.4.4 実験結果と考察

### (ア) 縮小モデル機の圧力損失特性

ACP による圧力損失と ACP 保持量との関係を図 2.5.4.3 に示します。圧力損失は、保持量、ACP を通過するガスの LV 及び粒度に依存し、粒度を大きくすることによって圧力損失を著しく低下させることが可能でした。

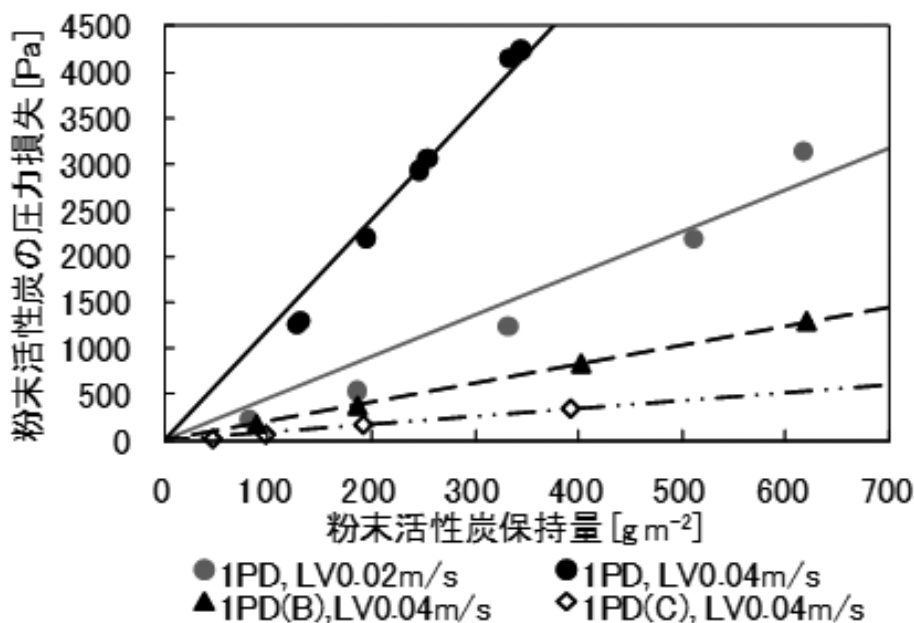


図 2.5.4.3 粒度ごとの粉末活性炭保持量と圧力損失の関係

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭，「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.40)

### (イ) 塗装ミスト付着の影響

#### (1) ミスト導入量

1,200 s の吹付け時間での縮小モデル機へ導入される塗装ミスト量を表 2.5.4.6 に示します。実機における 1 日のミスト導入量  $M$  [g/d] は、塗料消費量を  $C$  [g/d]、

$$M = C \left(1 - \frac{\eta_T}{100}\right) \left(1 - \frac{\eta_R}{100}\right) \frac{\eta_S}{100} = 15.8 \times 10^3 \times \left(1 - \frac{40}{100}\right) \times \left(1 - \frac{94.2}{100}\right) \times \frac{50}{100} \dots (2.5.4.1)$$

縮小モデル機内において、粉体保持面積は  $0.5 \text{ m}^2$  で一定ですので、ACP を通過するガスの  $LV$  が  $0.04 \text{ m/s}$  のとき、風量は  $72 \text{ m}^3/\text{h}$  となります。実機で、ACP を通過する  $LV$  を  $0.04 \text{ m/s}$  とした場合、縮小モデル機の風量から、実機の約  $1/140$  スケールとなります。すなわち、縮小モデ

塗着効率を  $\eta_T$  [wt%]、乾式ブースフィルタの除去効率を  $\eta_R$  [wt%]、塗料固形分比率を  $\eta_S$  [wt%] とすると、(2.5.4.1) 式のように表され、表 2.5.4.1 の値から 1 日のミスト導入量は  $275 \text{ g}$  と計算されます。

ル実験において、1 日分のミスト導入量は  $1.98 \text{ g}$  に相当します。

表 2.5.4.6 の実験結果は、塗装ブース模擬装置で  $1,200 \text{ s}$  の吹付けによって、実機の約  $1/140$  スケールにおける 1 日分のミスト導入量を縮小モデル機へ供給していることを示します。

表 2.5.4.6 縮小モデル機の 1,200 s での塗装ミスト導入量

線速度 (風量)	塗装ミスト導入量 g	
	0.02 m/s (36 m <sup>3</sup> /h)	0.04 m/s (72 m <sup>3</sup> /h)
1 回目	2.12	2.49
2 回目	2.15	2.36
3 回目	2.03	1.72
平均	2.10	2.19

次に、縮小モデル機へ導入したミストと実機の乾式ブース通過後のミストの粒度分布の比較を図 2.5.4.4 に示します。線速度によらず、いずれのミストも実機乾式

ブースから排出されるミスト粒径とほぼ等しく、数  $\mu\text{m}$  オーダであることが明らかとなりました。

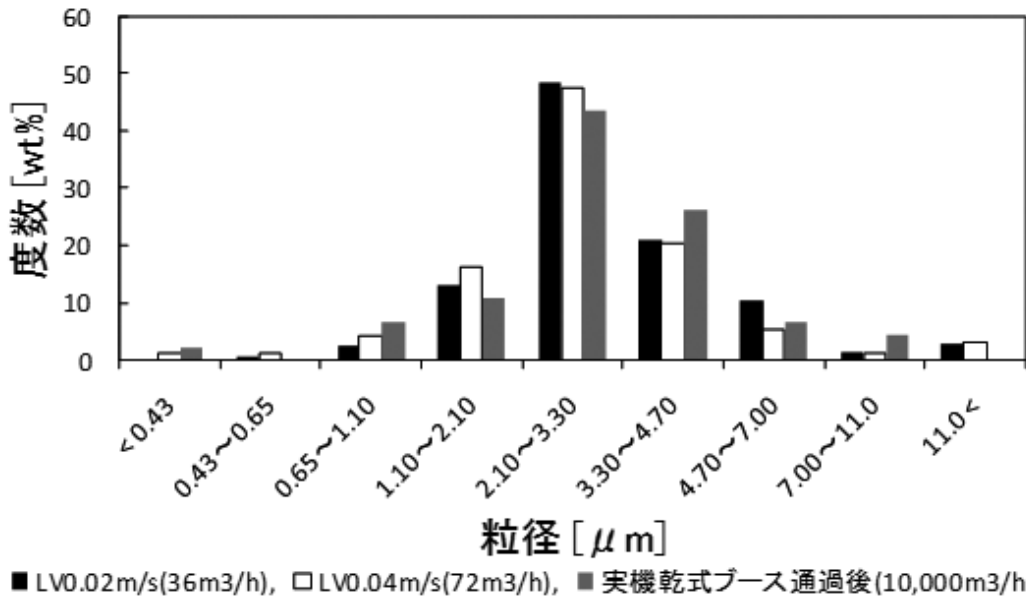


図 2.5.4.4 縮小モデル機に導入したミストと実機乾式ブースを通過した後のミストの粒度分布 (転載：平野康之、萩原利哉、小島正行、伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.41)



図 2.5.4.5a 塗装ミスト付着後の全体写真

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.41)



図 2.5.4.5b 塗装ミスト付着後の全体写真

(粘着テープではがした部分(矢印箇所)は ACP のみが観察されました)

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.41)

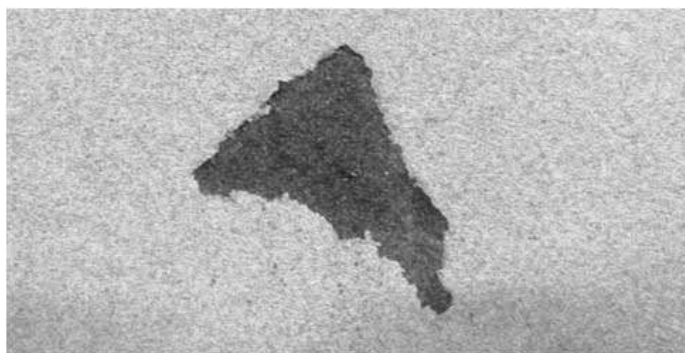


図 2.5.4.5c 粘着テープで剥した部分の拡大写真

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.41)

## (2) ミスト除去

全てのミスト除去実験において、ACPを通過したミストを捕集するために設置したフッ素樹脂処理ガラス繊維フィルタの重量変化は検知されず、ACPによるミスト除去率は100%であることが分かりました。したがって、本方式によって0.4  $\mu\text{m}$  程度までの微粒子の除去が可能であることが明らかとなりました。

目視では、ミストはACP表面に付着し、バグフィルタ表面まで到達している様子は確認できませんでした(図2.5.4.5)。なお、ミスト付着後のACPは、通常の払い落とし操作で容易に回収することができました。

## (3) 圧力損失

塗装ミスト付着後の圧力損失の変化は小さく、処理装置全体の圧力損失に対して、塗装ミストの寄与はACPの粒度に比べ小さいことが明らかとなりました(図2.5.4.6)。また、ACPへのミスト付着量は一定であるにもかかわらず、ミストが付着すると保持されているACP量に依存して圧力損失が上昇しました。このことから、ガス通過面積と微視的に見たACP粒子周りの風速が変化していることが示唆されます。

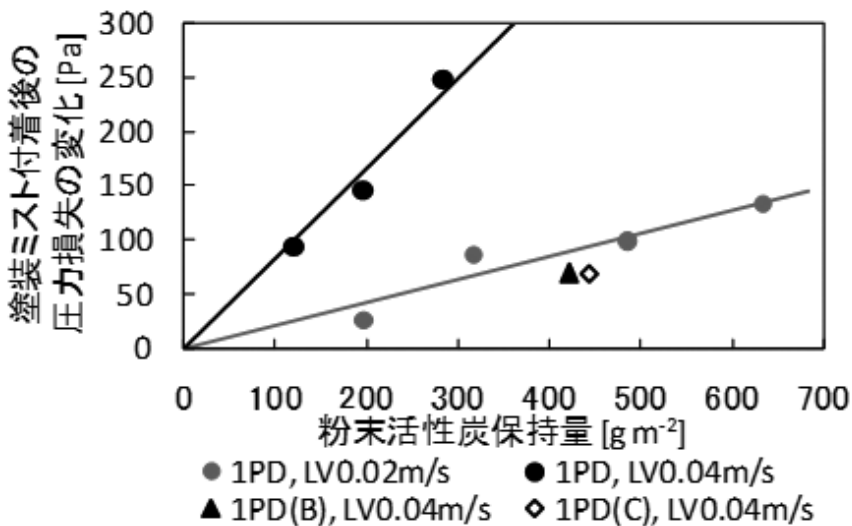


図 2.5.4.6 ミスト付着による粉末活性炭の圧力損失の上昇

(転載：平野康之，萩原利哉，小島正行，伊瀬洋昭、「バグフィルタ型VOC処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第5号、2010、p.41)

### (ウ) 縮小モデル機のトルエン吸着性能

ACP のトルエン吸着率を図 2.5.4.7 に示します。PG-1PD(C) は著しく低い吸着率を示しました。これは、PG-1PD(C) の粒子が大きいいため、活性炭粒子間の空隙が大きく、ガスが流れ易く、粒子中のマイクロ孔まで到達するトルエンガス量が少ないことが考えられます。この実験結果か

ら、使用する ACP のメジアン径は  $37 \mu\text{m}$  以下が適することが分かりました。また、保持量によっても吸着率は低下します。これは、保持量の増加に伴って ACP 層が不均一な厚さとなっていることが目視にて確認されたことから、流れの偏りによって吸着率が低下したものと考えられます。

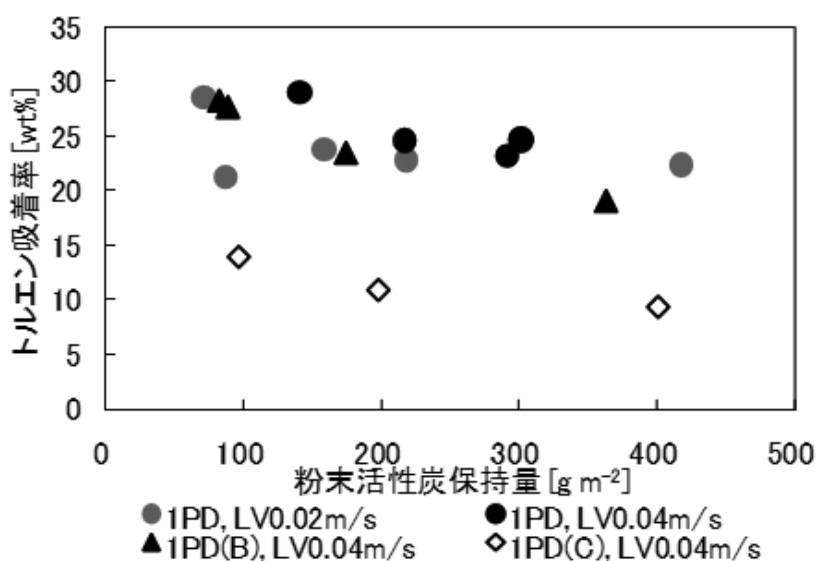


図 2.5.4.7 粉末活性炭保持量とトルエン吸着率の関係

(転載：平野康之、萩原利哉、小島正行、伊瀬洋昭、「バグフィルタ型 VOC 処理装置の開発」、東京都立産業技術研究センター研究報告、第 5 号、2010、p.41)

### (エ) 実機的设计

実機処理装置の粉体保持面積  $S$  [ $\text{m}^2$ ] は、縮小モデルの粉体保持面積が  $0.5$  [ $\text{m}^2$ ] で一定であるため、縮小率を  $R$  [%] とすると (2.5.4.2) 式のように表されます。

$$S = 0.5 \times \frac{100}{R} \dots\dots\dots (2.5.4.2)$$

縮小モデルを使った実験において、ACP

を通過するガスの  $LV$  が  $0.04 \text{ m/s}$  のとき、 $R$  は  $0.72\%$  ですから実機の保持面積は  $69.4 \text{ m}^2$  と設計されます。同様に、 $LV$   $0.02 \text{ m/s}$  のときは  $R$  が  $0.36\%$  ですから、実機保持面積は  $139 \text{ m}^2$  です。この様に、実機保持面積を決定する  $LV$  は、装置の小型化のために大きいことが望まれます。

実機の  $LV$  を  $0.04 \text{ m/s}$  と設定し、実機の設置面積を需要が大きい  $3.3 \text{ m}^2$  以下



4)とした場合、例えば実験で使用した外径 0.155 m、長さ 2.55 m のバグフィルタを使用すると、表 2.5.4.7 のように 4 本のバグフィルタを用いた装置の設置面積は 0.233 m<sup>2</sup> となりますから、バグフィルタ 56 本では 3.26 m<sup>2</sup> (1.76 m x 1.86 m) に装備する設計となります。

LV 0.04 m/s の吸着率の設計値を、PG-1PD は図 2.5.4.7 において、およそ 25 ~ 30wt% の範囲であったので、最小の 25wt% とし、同様に PG-1PD(B) は

20wt%、PG-1PD(C) は 10wt% とそれぞれ設定して、1 日の ACP 必要量を次に求めます。1 日の VOC 処理量は 7.9 kg ですから、ACP 必要量は、PG-1PD を使用する場合は 31.6 kg、PG-1PD(B) は 39.5 kg、PG-1PD(C) は 79 kg となります。保持面積は 69.4 m<sup>2</sup> ですから、粉末活性炭保持量はそれぞれ表 2.5.4.7 に示す値となります。粉末活性炭保持量から**圧力損失**は、それぞれ図 2.5.4.3 及び 2.5.4.6 から推定され、表 2.5.4.7 の値となります。

表 2.5.4.7 設定した吸着率による必要保持量と圧力損失

型番	吸着率 wt%	粉末活性炭保持量 gm <sup>2</sup>	粉末活性炭圧力損失 kPa	塗装ミスト付着後の圧力損失 kPa
PG-1PD	25	455	5	0.4
PG-1PD(B)	20	569	1.3	0.1
PG-1PD(C)	10	1138	1	0.15

PG-1PD は高い吸着率で使用できるため、ACP ランニングコストを更に低くすることが可能ですが、装置の**圧力損失**が 5 kPa を超えるため、イニシャルコストと電力コストが高くなります。いっぽう、PG-1PD(C) は活性炭の必要量が多く、また、**圧力損失**から PG-1PD(B) と同程度の送風機が必要です。したがって、使用する ACP は PG-1PD(B) が適しており、実機処理装置の**圧力損失**は 1.3 kPa と設計されます。

## 5.4.5 まとめ

粉末**活性炭**をバグフィルタに保持させて、塗装排ガスを処理する装置を試作し、塗装排ガス処理性能を評価しました。バグフィルタ型 VOC 処理装置の**圧力損失**は、メジアン径 37 μm の粒度の粉末活性炭を使用する場合、1.3 kPa 程度に制御することができ、高静圧型のブロワを必要としません。また、処理装置は 3.3 m<sup>2</sup> に設置可能であることを示しました。表 2.5.4.8 にバグフィルタ型 VOC 処理装置の仕様をまとめます。

バグフィルタの外径やバグフィルタ間のなる小型化が期待できます。  
距離等の最適化によって、処理装置の更

表 2.5.4.8 バグフィルタ型 VOC 処理装置の仕様

風量	10 000 m <sup>3</sup> /h
装置設置面積	3.26 m <sup>2</sup>
バグフィルタ長さ	2.55 m
バグフィルタ外径	0.155 m
バグフィルタ本数	56 本
粉体保持面積	69.4 m <sup>2</sup>
ACP 必要量 (トルエン 7.9 kg/d)	39.5 kg/d
使用 ACP メジアン径	37 μm
線速度	0.04 m/s
VOC 吸着率	20 wt%
装置圧力損失	1.3 kPa

## 引用文献

1. 環境省、「大気汚染防止法の一部を改正する法律案」の閣議決定について」(2004年3月8日)、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=4763>、2014/01/23 確認
2. 環境省、「揮発性有機化合物 (VOC) の排出規制制度の概要」(2006年2月22日)、<http://www.env.go.jp/air/osen/voc/seido/001.pdf>、2014/01/23 確認
3. 中央環境審議会専門委員会、「揮発性有機化合物の排出抑制に係る自主的取組のあり方について」(2006年8月14日)、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7055>、2014/01/23 確認
4. 東京都環境局、「中小企業者向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果」(2006年1月16日)、<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/paint.pdf>、2014/01/23 確認
5. 石黒辰吉、「臭気対策の基礎と実際」、オーム社出版局、1997、p.133
6. 総務省法令データ提供システム、「有機溶剤中毒予防規則」(2006年1月5日)、<http://law.e-gov.go.jp/htmlldata/S47/S47F04101000036.html>、2014/01/23 確認
7. 奥山岑長、「塗装ブースの種類と管理ポイント」、塗装技術、Vol.48、No.6、2009、pp.57-64
8. ロックペイント(株) / 技術文献閲覧サービス /MSDS/016-1134、[http://www2.rockpaint.co.jp/home\\_j/gijutu/msds/pdf/016-1134.pdf](http://www2.rockpaint.co.jp/home_j/gijutu/msds/pdf/016-1134.pdf)、2014/01/23 確認
9. ロックペイント(株) / 技術文献閲覧サービス /MSDS/050-1205、[http://www2.rockpaint.co.jp/home\\_j/gijutu/msds/pdf/050-1205.pdf](http://www2.rockpaint.co.jp/home_j/gijutu/msds/pdf/050-1205.pdf)、2014/01/23 確認

## 5.5 塗装乾燥炉用処理装置の研究開発事例

本節では、東京大学と東京都立産業技術研究センターが中心となり開発したコバルト系触媒（従来の白金系触媒より100℃低温で塗料ヤニを分解）とこの触媒を使用した処理装置から排出される高温浄化ガスの一部を乾燥炉に戻す省エネ形システムの開発事例について述べます。

### 5.5.1 検討フローと検討項目

乾燥炉内の被塗物は加熱源により130～180℃の温度まで加熱され、VOCの他に反応生成物やヤニ等が排出されます。この排出ガスは触媒処理装置の粗塵除去用フィルタ、送風機、熱交換器、加熱源、ヤニ除去用前処理材を経由して触媒層で酸化分解され浄化ガスとして熱交換器から大気中に放出されます（図2.5.5.1）。

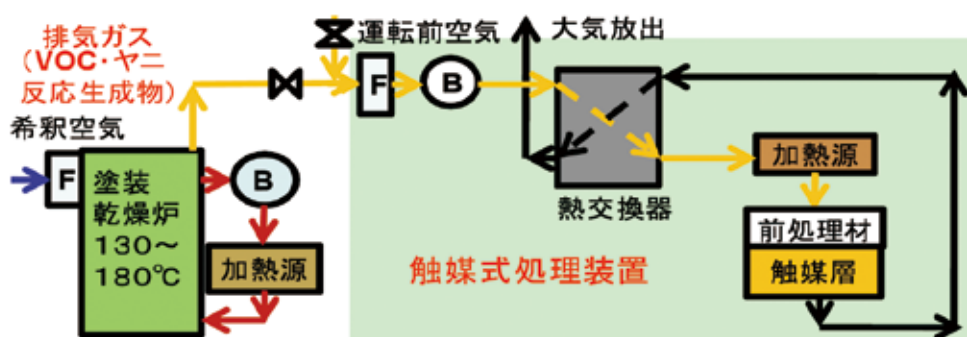


図 2.5.5.1 基本フロー

処理装置開発にあたり、乾燥炉排気ガスが処理装置流入ガスとなりますので、乾燥炉特性を文献と乾燥シミュレータ実験などで調査し、その結果を装置設計条件として省面積・省エネ処理装置の検討を行いました。

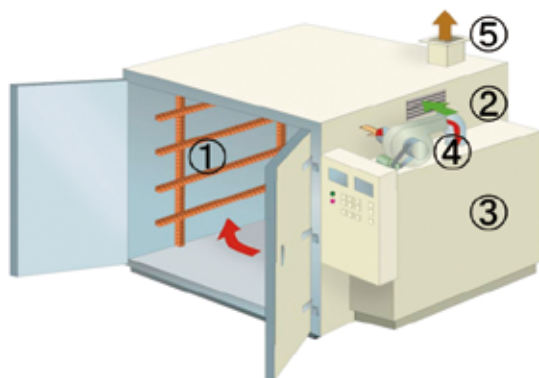
## 5.5.2 乾燥炉特性について

### (ア) 乾燥炉型式と機能

乾燥炉型式には大量生産用の連続式トンネル乾燥炉と多品種少量用の不連続式金庫型乾燥炉の2方式が、また、加熱方式には直接熱風式と間接熱風式がありますが、今回は中小企業で多数利用されている直接熱風式金庫型乾燥炉を対象としました。

金庫型乾燥炉は炉体、扉、加熱源、ファン、吸気口、排気口から構成され、炉内温度を制御するために加熱源の熱エネルギーを炉体内に供給するファンで強制循環されています。

加熱により炉体内濃度は被塗物中のVOCと反応生成物で高くなりますので、一定量の大气を吸引して排気口から排出しています(図2.5.5.2)。



#### 乾燥炉種類(熱風式)

トンネル乾燥炉	金庫型乾燥炉
連続・大量生産	不連続・多品種少量
熱損失大	熱損失小
設置面積大	設置面積小

乾燥炉数:6万基(規制対象533基)  
第9回CEMA技術シンポジウム資料(2008年)より

#### 構成部品と機能

部品名	機能
①炉体	被塗物収納と気密性確保
②吸気	VOCの希釈空気導入
③加熱源	炉内・吸気空気、炉体、被塗物、放熱量分の加熱
④循環	熱風ガスを炉内に供給
⑤排気	VOCとヤニ排出

図 2.5.5.2 乾燥炉型式と機能

労働安全衛生規則では、地下作業場などの可燃性ガス濃度について、爆発下限界の値の30%以上になったら労働者を退避させるなど危険防止の措置を講じなければならないと規定されています。このことから、乾燥炉内のVOC濃度についても、各VOC成分の爆発下限界の値の30%未

満になるように、給排気量を設計する必要がありますと考えられます。

(イ) 塗料成分と爆発下限界値

中小塗装工場で多く使用されている塗料のVOC成分(次項「5.5.3 乾燥シミュ

レータ実験」で用いる塗料)と乾燥時発生する反応生成物の爆発下限界値を表2.5.5.1に示します。

表 2.5.5.1 塗料成分と爆発下限界値

揮発成分:wt%、爆発下限界値:vol%				
揮発組成成分	メラミン樹脂塗料	熱硬化アクリル樹脂塗料	エポキシ樹脂塗料	爆発下限界値
トルエン	19.2	8.8	—	1.3
キシレン	8.0	5.6	33.3	1.0
エチルベンゼン	3.4	2.4	16.6	1.0
メチルイソブチルケトン	—	0.7~1.4	—	1.4
メチルアルコール	—	0.9~4.3	0.6~6.0	6.7
n-ブチルアルコール	9.0~13.0	1.6~5.7	16.1~22.2	1.7
メチルセロソルブ	—	2.1	—	2.3
エチレングリコールモノブチルエーテル	—	—	8.4~13.9	0.8
1,3,5-トリメチルベンゼン	—	0.9~4.3	1.1	0.9
ホルムアルデヒド	0.1~0.7	0.1~0.8	—	7.0
酢酸ブチル	—	—	—	1.7
アセトン(乾燥時発生)				2.6

塗料MSDSによるスプレー塗装時揮発成分組成

(ウ) 文献調査(排気濃度と排気パターン)

環境省による排出濃度実測調査等から、吹付塗装の用に供する乾燥又は焼付施設の処理前の排出ガス濃度の下

位10%値~上位10%値は概ね60~5,500ppmC<sup>1)</sup>、中央値480ppmC(トルエン換算値69ppm)<sup>2)</sup>と、かなり低い濃度となっています(図2.5.5.3)。

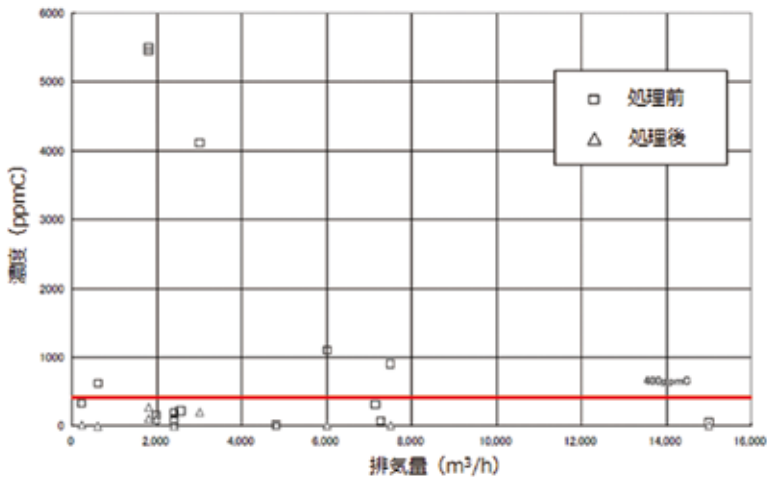


図 2.5.5.3 排気濃度

(転載: 環境省、「塗装に係る規制対象施設の排出基準値(案)」、[http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03\\_2.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03_2.pdf)、図-3「吹付塗装の用に供する乾燥又は焼付施設における裾切り指標と濃度の関係」、2014/01/23 確認)

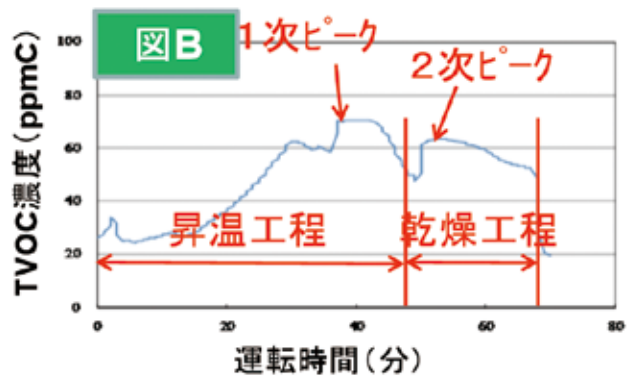
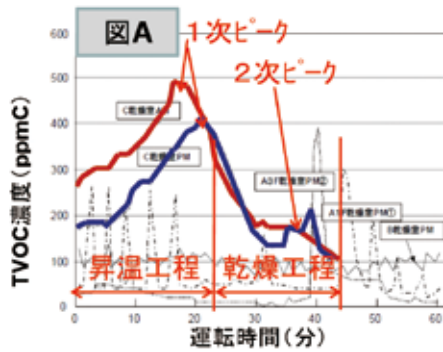


図 A の赤線および青線は金庫形乾燥炉。その他及び図 B は連続乾燥炉

図 2.5.5.4 排気パターン

(引用：小林悟，浦田昭雄，竹内浩士、「中小塗装現場における VOC の排出実態」、環境管理、Vol.45、No.3、2009、pp.39-45)

この理由として、乾燥炉製造メーカーの排出量は安全性から、炉内に多数収納可能な平板に塗装をした被塗物面積で算出しています。一般的な排気量は乾燥炉容積を毎分排出する量としていますが、実塗装工場の被塗物は 3次元構造で塗装面積が少ないためか、作業段取りから午前か午後の塗装工程終了後、乾燥工程に移行するために被塗物面積が少ないためと推定されます。

排気濃度パターン<sup>3.4)</sup>は乾燥昇温中に高濃度な一次ピークが発生し、その後、減少して乾燥後半に再度上昇する傾向があります(図 2.5.5.4)。

排気濃度データ等から排気量を低減すると、加熱エネルギーが削減でき省エネになります。文献データでは塗料種類、面積、膜厚、乾燥条件など詳細が不明ですので、乾燥シミュレータによる実験を行いました。

### 5.5.3 乾燥シミュレータ実験

乾燥シミュレータの実験により運転条件、塗装種類などを変えて、経時変化別の VOC 濃度及びパターンなどを調査し、その結果を処理装置開発の前提条件としました。

#### (ア) 実験装置

乾燥シミュレータとして乾燥炉容積 4.5 m<sup>3</sup>の金庫型乾燥炉と各種計測機器をセットして、中小塗装工場でも多く使用されている 3種塗料(メラミン樹脂塗料、熱硬化アクリル樹脂塗料、エポキシ樹脂塗料)をスプレーガンで平板アルミ板 0.4 m×0.5 m×14 枚に吹付け塗装し、各種実験を行いました(図 2.5.5.5)。





図 2.5.5.5 乾燥シミュレータ実験装置

(イ) VOC 濃度の経時変化

塗装ブース、セッティング、乾燥の各工程での経時変化別 VOC 濃度結果<sup>4)</sup>が

ら、下記特性が明らかになりました(図 2.5.5.6)。

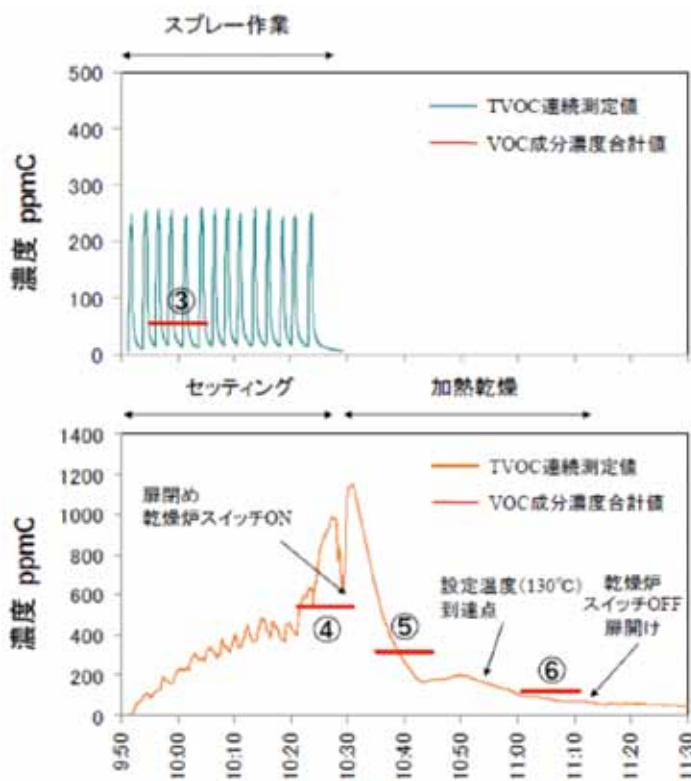


図 2.5.5.6 VOC 濃度の経時変化

(転載：水越厚史，木下稔夫，野口美由貴，齋藤京子，柳沢幸雄、「塗装シミュレータによる塗装工程ごとの VOC 成分の調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、No.5、2010、pp.52-55)



## <塗装ブース>

- ・スプレーガンの ON・OFF 運転により VOC 濃度は上昇と下降を繰り返し、濃度は排気量が多いため低濃度

り減少

- ・乾燥後半に再度上昇
- ・他塗料も同様の傾向

## <乾燥炉>

- ・乾燥炉のほうが高濃度
- ・セッティング期間に徐々に上昇
- ・扉を閉めると急激に上昇し排気によ

## (ウ) VOC 成分濃度

乾燥工程のほうが高濃度で乾燥後半にアルデヒド類と悪臭が発生します(図 2.5.5.7) 5)。

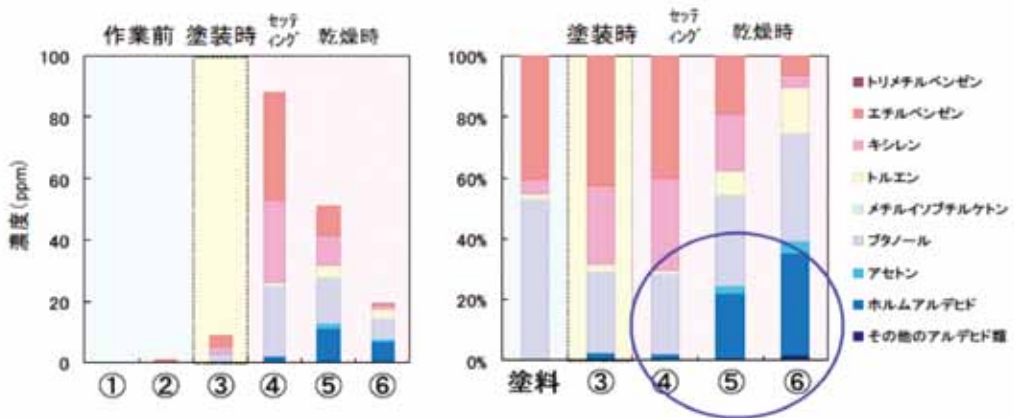


図 2.5.5.7 VOC 成分濃度

<④工程>被塗物中の VOC の気化が主体で成分は塗装成分由来

<⑤⑥工程>加熱反応のためホルムアルデヒドの割合が増加(塗料、シンナー中の含有量は 1%以下)

## (エ) 排気量別 VOC 濃度変化

毎分当たりの排気量は乾燥炉容積を基

準に排気風量を低減させるとピーク濃度は上昇します(図 2.5.5.8)。

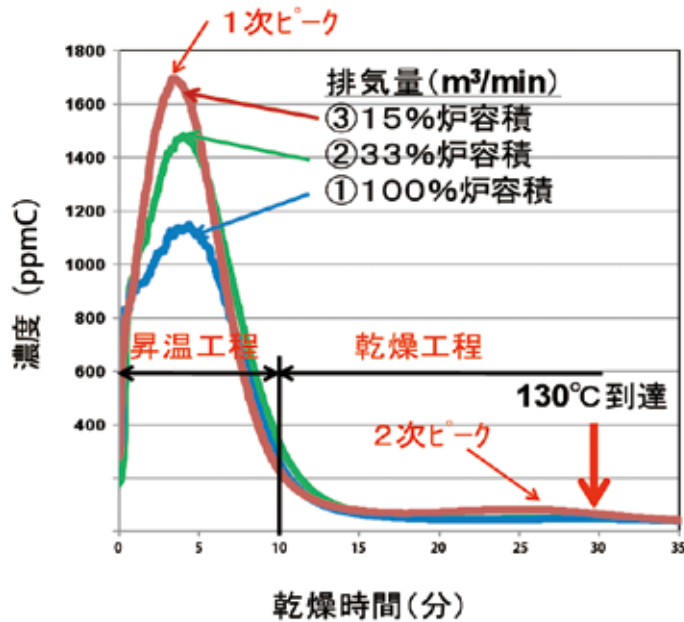


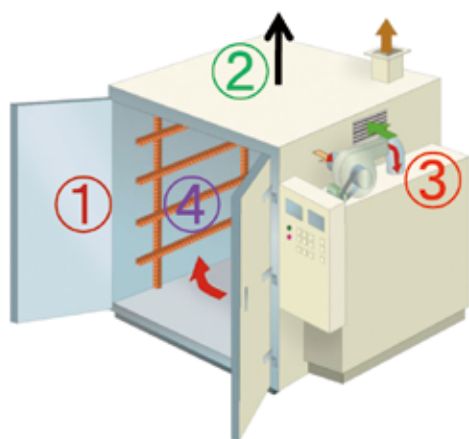
図 2.5.5.8 排気量別 VOC 濃度変化

- ・濃度は昇温工程と乾燥工程で異なる
- ・昇温工程は高濃度
- ・排気風量が少ないとピーク濃度は高いが、風量に反比例すると考えた時に予想される濃度よりは低い
- ・乾燥工程の①、②は排気量が多く二次ピークが無いことから、排気量は乾燥炉容積の 1/3 程まで低減可能(排気ガス濃度、製品品質などの調査が必要)

熱量、④炉内空気加熱量、⑤被塗物加熱量の合計です。実験条件の 130℃での実測時間と計算時間はほぼ 32 分で一致しました。③吸(排)気加熱量は全熱量の 62%を占めています。この風量を低減することで省エネ化が図れます(図 2.5.5.9)。

## (オ) 加熱エネルギーの検証

乾燥炉加熱エネルギーは①炉体加熱量、②炉体からの放熱量、③吸(排)気加



実験条件

項目	仕様
乾燥炉容積	4.5m <sup>3</sup>
吸(排)気量	5Nm <sup>3</sup> /min
外気温	13°C
乾燥炉温度	130°C
ヒータ容量	24kW

加熱熱量内訳	計算値 Kcal/h (MJ/h)	比率 (%)
①炉体加熱量	4910(20.5)	30
②炉体放熱量	1200(5)	7
③吸(排)気加熱量	10560(44.2)	62
④炉内空気加熱量	176(0.7)	1
⑤合計熱量	16846(70.4)	100

図 2.5.5.9 加熱エネルギーの検証

## 5.5.4 装置化検討

### (ア) 製品化コンセプト

東京都環境局が実施したユーザアンケート調査結果<sup>6)</sup>(設置面積 4 m<sup>2</sup>以下、維持管理費 40 万円/年以下、本体価格 300 万円)をベースに下記 4 コンセプトで検討を行いました。

- ① 省面積
- ② 低圧損・維持管理が容易
- ③ 省エネ・安価な維持費
- ④ 低温処理触媒の採用

### (イ) 省面積化

処理装置の設置場所として乾燥炉設置の同一床面設置、屋上設置、乾燥炉上部

設置の3案で検討した結果、面積、装置流入温度、送風機動力、ダクト工事などを総合的に勘案した結果、乾燥炉上部搭載の一体化方式としました(表 2.5.5.2)。

表 2.5.5.2 省面積化

方式	別置方式	一体方式
配置	 K: 乾燥炉 T: 処理装置 D: ダクト	
設置面積	△(必要)	○(不要)
装置流入温度	△(ダクト放熱で低下)	○(低下無し)
送風機動力	△(ダクト圧損で増加)	○(増加無し)
ダクト工事	△(有り)	○(不要)
評価	△	◎(採用)

(ウ) 触媒仕様

触媒成型方法は金型を用いた一体成型法と担体表面に触媒を付着させる担持成型法が有りますが、設備投資が少なく、機械強度を有して市販品との互換性を有していることから担持成型法を採用しまし

た(表 2.5.5.3)。

担体材質としては金属、セラミックなどがありますが、表面積、圧力損失などからセラミックハニカムを用いた薬液浸漬担持法を採用して試作を進めました(表 2.5.5.4)。

表 2.5.5.3 成型方法

成形方法	一体成型	担持成型
金型	△必要	○不要
設備投資	△大	○小
製造費	△高(小量)	○普通
機械強度	△小	○高い
市販品との互換性	×無し	○有り

表 2.5.5.4 担体材質

種類	メタルハニカム	セラミックハニカム	セラミックペレット	発泡体
拡大写真				
担体材質	金属	セラミック	セラミック	セラミック、金属
形状	300セル	200~400	Φ3~5	発泡体
表面積比	4.7	2.8~4	1	1.4
圧力損比	0.13	0.11~0.22	1	0.13

セラミックハニカムで VOC 除去する一般的な運転条件は下記となります。

SV：20,000～30,000 h<sup>-1</sup>

LV：圧損 300 Pa 程度の速度

処理温度：350℃（ヤニ分解実験結果から、白金触媒は 450℃以上ですが、開発触媒（TIRI 触媒）は 350℃でヤニ分解可能）

除去率：98%以上（トルエン 500ppm 時、乾燥前半では VOC 除去、乾燥後半では悪臭除去で、物質濃度と感覚量は対数関係となるので 98%以上必要）

## （エ）ヤニ除去方法

ヤニとは広辞苑では「脂」と書き、動植物などから採れる疎水性の常温では固体の物質です。塗料では合成樹脂塗料中の油成分や未反応モノマーで、加熱すると 1 μm 未満のヒューム状物質です。塗装工場の場合、排気ダクトが屋内から屋外に出てガスが外気で冷却されるコーナ部に堆積したタール状物質です。

処理方法としては、①水スクラバー方式、②ろ過方式、③熱分解方式がありますが、設置面積不要、動力が小さい、廃棄物が発生しないなどから、開発触媒の特長を生かした熱分解方式を採用しました（表 2.5.5.5）。

表 2.5.5.5 ヤニ除去方法

方式	水スクラバ方式	ろ過方式	熱分解方式
原理	水冷却でヤニを固形化して排水処理で固液分離後処分	ヤニをろ過材に付着させ除去し、ろ過材と共に処分	ヤニを加熱し酸化分解
設置面積	△大	△大	○不要
動力	×大	△中	△中
廃棄物	×大	△中	○無し
メンテ費	×大	△中	○無し

実稼働中の塗装工場ダクトから採取したヤニ成分と粉末触媒を用いた熱分解特性実験結果から、ヤニ分解温度はヤニ単独時は 480℃、白金触媒は 450～500℃、開発触媒は 300～350℃の結果

で、開発触媒は白金触媒より 100℃以上低温でヤニ分解が可能です（図 2.5.5.10）。

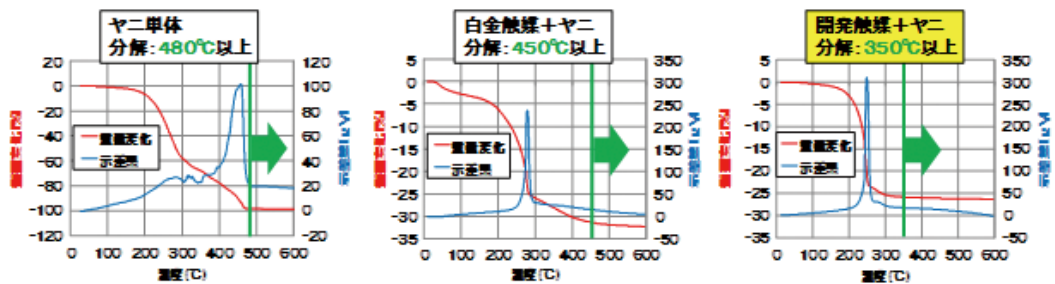


図 2.5.5.10 熱分解特性実験結果

また、開発セラミック触媒を用いた 350°C以下で分解しています(図 2.5.5.11)。TPReaction 法でも開発触媒はヤニを

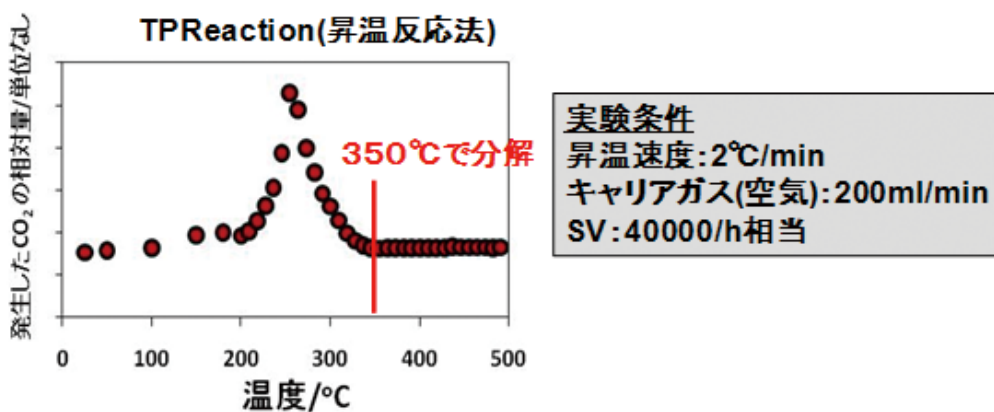


図 2.5.5.11 昇温反応法結果

### (オ) 低圧損化

ヤニ処理材を使用しない方式のため圧力損失は従来方式の千数百 Pa から数百 Pa まで低減可能で、送風機動力を小さくすることが可能なため省エネ化が図れます(表 2.5.5.6)。

表 2.5.5.6 低圧損化

方式	従来方式	開発方式
フロー M: ヤニ処理材 C: 触媒材		
ヤニ除去方法	処理材に付着で除去	350℃の高温酸化除去
ヤニ処理材抵抗	1600Pa(層高70mm)	-(ヤニ処理材無し)
触媒材抵抗	1900Pa(層高150mm)	350Pa(層高さ200mm)
抵抗合計	3500Pa	350Pa

条件 LV: 1Nm/s、気体温度: 300℃

(カ) 運転制御

本開発装置は乾燥炉と処理装置を一体化して処理装置浄化高温ガスの一部を乾燥炉に戻す方式で、処理装置と乾燥炉を

自動調整弁を介して接続し、戻し量は乾燥炉温度計からの信号でサイリスタによる弁開度制御方式を採用しています(図 2.5.5.12)。

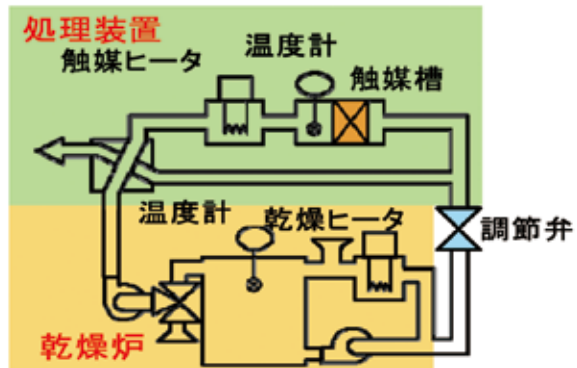
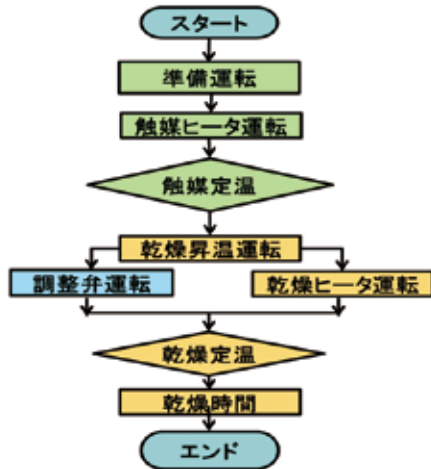


図 2.5.5.12 運転制御方法

運転方法としては処理装置を単独で立上げ、触媒温度が設定温度到達後、乾燥炉を運転させ処理装置の高温浄化ガスを調整弁経由で乾燥炉に戻しながらヒータ

で加熱し、乾燥炉温度が設定温度到達後、一定時間、タイマーによる運転を継続してから停止します(図 2.5.5.13、図 2.5.5.14)。



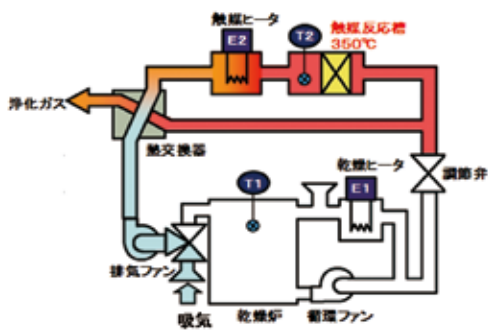


図 2.5.5.13 処理装置準備運転

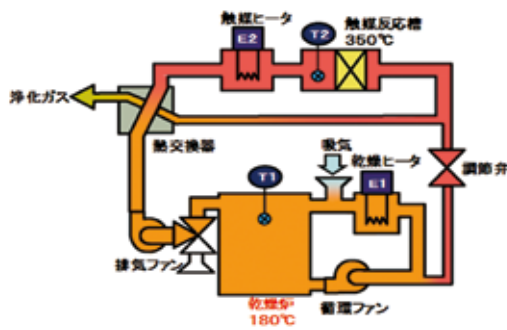


図 2.5.5.14 処理装置・乾燥炉同時運転

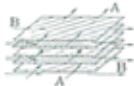

### (キ) 熱交換器

熱交換器は高温気体（処理装置からの放出高温ガス）からの熱量を低温気体（乾燥炉からの排出ガス）に薄膜板を介して

熱移動させる構造で、平板方式とチューブ方式がありますが、ガス圧力が中圧の平板プレート溶接構造品を採用しています（表 2.5.5.7）。

表 2.5.5.7 熱交換器

◎：最適、○：使用可




方式	平板プレート方式			チューブ方式	
	シール式	溶接式	波板シール式	チューブ式	フィン付
構造	高温、低温の2物質が薄板壁の両側を流れ熱交換 			高温、低温の2物質がパイプ壁の内外側を流れ熱交換 	
気体・気体/中圧		◎		○	
気体・気体/高圧				◎	○
気体・蒸気		○		○	◎
気体・液体		○		○	◎
液体・液体			◎	○	
気体・気体/高温				○	
気体・気体/中温	◎				
重量	小	小	小	普通	普通
価格	安価	安価	安価	普通	高価

### (ク) 電気ヒータ

加熱源としては都市ガス、灯油、LNG、電気などが有りますが、実験機は可搬式なので電気方式を採用しています。電気式ヒータの方式としてはシェル式、ダク

ト式、バンド式などが有りますが、耐熱温度と価格面から処理装置はシェル式、乾燥炉はダクト式を採用しています（表 2.5.5.8）。

表 2.5.5.8 電気ヒータ

方式	シェル式	ダクト式	バンド式
構造体	被加熱体が通過する圧力容器内に電気ヒータ挿入 	被加熱体が通過するダクト内に電気ヒータ挿入 	被加熱体が通過する容器外に電気ヒータ帯を巻きつけ 
圧力	中圧以上	低圧	圧力問わず
流体	押出流れ	押出流れ	滞留(要攪拌)
伝熱効率	高	高	低(容器も加熱)
耐熱温度	中温	低温	中温
価格	普通	多少安価	高価

### 5.5.5 試作機運転結果

#### (ア) 実験機仕様

乾燥炉(炉容積 1.0m<sup>3</sup>) 上部に触媒式

処理装置を搭載し、ベース下部には移動用キャスターと設置用アジャストボルトを設けた構造です(図 2.5.5.15、表 2.5.5.9、図 2.5.5.16)。



図 2.5.5.15 処理装置外観

表 2.5.5.9 実験機仕様

項目	仕様
乾燥炉容積	1.0m <sup>3</sup>
乾燥炉温度	最大180℃
循環量	最大6.0m <sup>3</sup> /min
排気量	最大1.0m <sup>3</sup> /min
形状	幅:2.15m 奥行:1.4m 高さ:2.0m
動力	ヒータ:10kW ファン:1.15kW



図 2.5.5.16 処理装置上部写真

### (イ) 運転制御の一例

被塗物を収納しない無負荷の状態での運転を行った結果を示します(図 2.5.5.17)。

常温から処理装置を立上げ、運転開始 46 分後、反応器(触媒) 出口温度が処理装置設定(300℃) に到達したので乾燥炉運転を開始しました。乾燥炉の立上げ

時間は 41 分で、乾燥炉設定温度(130℃) に到達し定温乾燥時間(31 分)を持続し乾燥終了となります。

反応器入口と出口の温度差は触媒担体のセラミック素材の熱伝導率(0.003 cal/cm・sec・℃) が小さいため、つまり、温まりづらく冷えづらいためです。

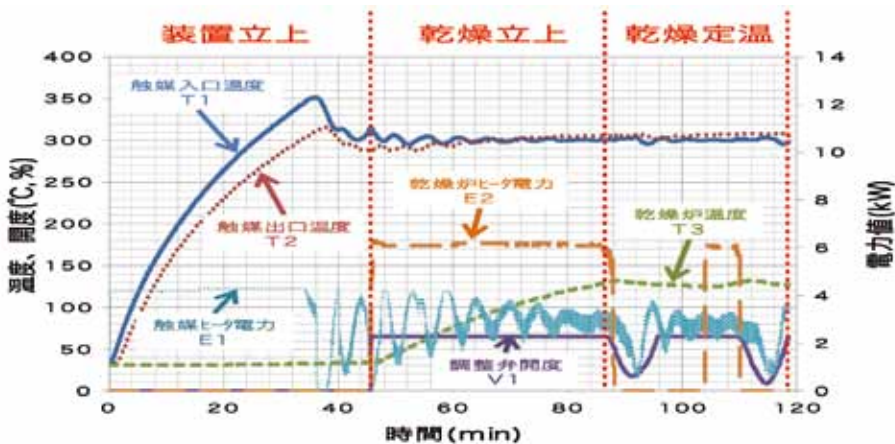


図 2.5.5.17 運転制御例

## (ウ) 無負荷消費電力

処理装置温度 300℃、乾燥炉温度 130℃、排気量 0.7 Nm<sup>3</sup>/min 時の消費電

力は 12.21 kWh となりました。更なる、省エネ運転の検討を行えば消費電力の低減は可能です (図 2.5.5.18)。



図 2.5.5.18 消費電力

## (エ) 実負荷運転

実負荷運転時の VOC・臭気除去性能と運転制御による消費電力を求めました。

表 2.5.5.10 に実験条件を示します。図 2.5.5.19 に実験手順写真を示します。

表 2.5.5.10 実験条件

項目	内容
塗料	メラミン樹脂塗料
VOC負荷量	23.5g/6枚
触媒	TIRI触媒(400セル)
触媒量	1.125L
SV	37000/h
触媒入口・出口温度	300°C
乾燥温度	130°C × 30分
処理量	0.70Nm <sup>3</sup> /min
循環量	3.0Nm <sup>3</sup> /min
吸排気量	0.13Nm <sup>3</sup> /min



図 2.5.5.19 実験手順写真

図 2.5.5.20 に VOC 除去性能を示します。処理装置入口濃度は乾燥開始 5 分後に最大 1,150ppmC、乾燥立上終了間際に 2 度目のピーク 700ppmC となり以後

低下しました。出口濃度は最大 6.5ppmC で以降は 1ppmC 以下となり平均除去率は 99.7% 以上となりました。なお、計測は FID で実施しました。

表 2.5.5.11 に三点比較式におい袋法の結果を示します。乾燥定温時に発生する悪臭の脱臭効率は 99.8% を示しました。

出口の臭気指数 15 は、第一種区域内の煙突出口基準 22 (排出口の高さ 15m 未満、排出口の口径 0.9m 以上) 以下でした。

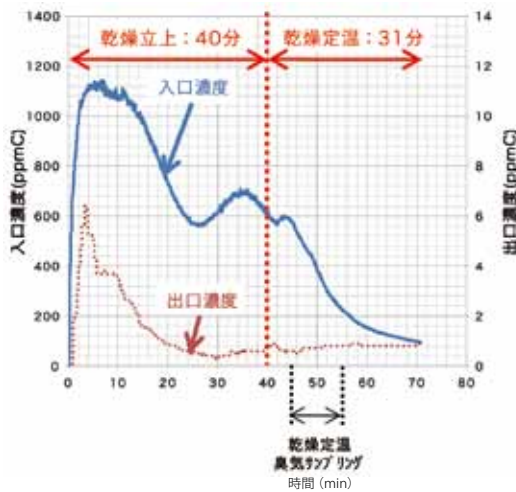


図 2.5.5.20 VOC 除去性能

表 2.5.5.11 TIRI 触媒脱臭性能

採取時間	ガス	臭気濃度	臭気指数	脱臭効率	臭質
乾燥定温	入口	13,000	41	—	樹脂のコゲ臭
	出口	31	15	99.8%	かすかな刺激臭

図 2.5.5.21 に運転制御例を示します。触媒出入口温度が 300℃ に到達後、乾燥炉内に塗装物を充填し、乾燥炉扉を閉めて乾燥を開始しました。触媒出口温度は触媒反応により 30℃ 程度上昇、その間に、乾燥炉は乾燥ヒータと調整弁で制御される処理装置からの熱風で昇温され 130℃ に到達しました。乾燥定温工程では、乾燥ヒータは OFF 状態で、調整弁は開度 65 ~ 0% の間で PID 制御され、触媒ヒータは 4 kW 定格の約 65% 負荷で PID 制御

されました。塗料を用いた実負荷時電力は、触媒反応熱により無負荷運転時より 12% 減で運転出来ました。また、午後の運転では、午前中運転による装置内の蓄熱効果で、無負荷運転時の 21% 減で運転出来ました。



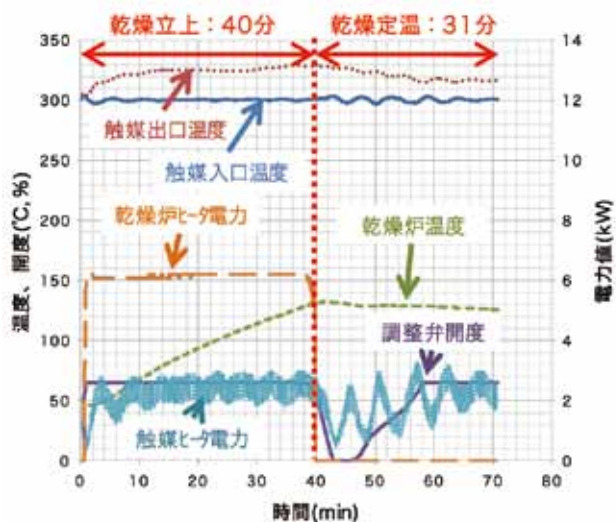


図 2.5.5.21 運転制御例

(オ) 省エネ効果

試作機運転結果の全消費電力は 10.75 kWh となりました。試作機結果をもとに検討した結果、設備電力は従来方式 112.2 kW に対して、開発方式は 54% 低減の 51.7 kW、運転費は従来方式 141.2

万円に対して、開発方式は 52% 低減の 68.7 万円となりました。開発方式の運転費は乾燥炉単独 43.5 万円に対して 25.2 万円アップで、毎月約 2.1 万円で悪臭ガスと VOC の浄化が可能です(表 2.5.5.12)。

表 2.5.5.12 処理装置製品化まとめ

方式	A. 乾燥炉	B. 従来方式	C. 開発方式
構造 K: 乾燥炉 T: 処理装置			
吸・排気量(Nm <sup>3</sup> /min)	5	5	MAX1
乾燥炉温度(°C)	180	180	180
処理風量(Nm <sup>3</sup> /min)	—	5	3
処理装置温度(°C)	—	450	300
設備動力(kW)	40.4 (36+2.2+2.2)	112.2(100) (36+2.2+63+11)	51.7(46) (13+2.2+31+5.5)
電気代(万円/年)	37.5	112.2(100)	48.7(44)
消耗品他(万円/年)	6	29	20
運転費(万円/年)	43.5	141.2(100)	68.7(48)

条件: 1. 乾燥炉容積: 5m<sup>3</sup>、2. 昇温時間: 60分、3. 乾燥時間: 80分、  
4. 稼働回数: 2回/日 × 260日/年、5. 電気代: 20円/kWh、6. 外気温: 20°C

## (カ) まとめ

TIRI 触媒の搭載と浄化ガス循環式試作機により、下記特徴を有する処理装置を製品化しました。

- ①省面積：乾燥炉・処理装置一体化（設置面積ゼロで適用拡大）
- ②省エネで安価な運転費：従来方式の52% 減触媒浄化高温ガス循環利用、乾燥炉排気量の低減、VOC とヤニを同時処理、TIRI 触媒で 100℃低温処理）
- ③安価な設備費：検討中（ヤニ処理材削減、吸気量低減による小型化）

## 5.5.6 今後の課題

実塗料を使用した試作機の実験結果から、処理装置浄化ガスを乾燥炉に戻す方式と白金触媒に変わるTIRI 触媒の採用で、当初の目標であるVOC とヤニの同時処理が可能で、省面積・省エネ・低維持費を満足できる結果となりました。現在、試作機については、株式会社エア・ガズ・テクノス（本社 東京都台東区）より、「触媒処理装置付金庫型塗装乾燥炉」として、炉内容積 5m<sup>3</sup> と 10m<sup>3</sup> の 2 種類を販売しています。また、TIRI 触媒については、三協興産株式会社（本社 神奈川県川崎市）が耐久性のフィールドテストを実施するとともに、サンプル提供の相談に応じています。

## 引用文献

1. 環境省、「塗装に係る規制対象施設の排出基準値（案）」、[http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03\\_2.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03_2.pdf)、2014/01/23 確認
2. 環境省、「塗装に係る規制対象施設（案）」、[http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/voc/paint/04/mat03_1.pdf)、2014/01/23 確認
3. 小林悟，浦田昭雄，竹内浩士、「中小塗装現場における VOC の排出実態」、環境管理、Vol.45、No.3、2009、pp.39-45
4. 水越厚史，野口美由貴，倪悦勇，柳沢幸雄、「小規模印刷工場および塗装工場における VOC 排出の実態調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、No.4、2009、pp.8-11
5. 水越厚史，木下稔夫，野口美由貴，齋藤京子，柳沢幸雄、「塗装シミュレータによる塗装工程ごとの VOC 成分の調査」、東京都立産業技術研究センター研究報告、No.5、2010、pp.52-55
6. 東京都環境局、「中小企業向け VOC 脱臭処理装置のニーズに関するアンケート調査結果」、<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachement/paint.pdf>、2014/01/23 確認