

**令和元年度  
VOC 排出削減のための  
取組事例について**

**令和 2 年 3 月**

**一般社団法人産業環境管理協会**

## はじめに

光化学オキシダントや微小粒子状物質(PM2.5)の原因物質の一つとされている揮発性有機化合物(VOC)の排出を抑制するため、平成18年4月に大気汚染防止法が改正されました。法規制と自主的取組のベストミックスによる排出削減により、平成22年度には、平成12年度比でVOC排出量を3割以上削減することができ、直近の平成30年度実績では同年度比で約6割削減となりました。

しかし、VOC排出抑制制度を廃止した場合、再び大気環境の悪化を招くおそれがあるとの指摘があることから、引き続き法規制と自主的取組を組み合わせた現行のVOC排出抑制制度を継続することとなっています。

より効果的かつ効率的にVOC排出抑制対策を行うためのご参考としていただきたく、産業界や民生部門における主要な対策事例を以下にご紹介いたします。

表1 事例収録項目

No.	事例項目	業種分野	掲載ページ
事例1	塗着効率の向上	塗装	<a href="#">p.2</a>
事例2	低圧スプレーガンの導入	塗装	<a href="#">p.6</a>
事例3	水性塗料への代替	塗料	<a href="#">p.10~17</a>
事例4	粉体塗料への代替	塗料	<a href="#">p.10~17</a>
事例5	ハイソリッド塗料への代替	塗料	<a href="#">p.10~17</a>
事例6	印刷機からの溶剤の発散防止とVOC警報器の活用	印刷	<a href="#">p.18~20</a>
事例7	GP認定制度と低VOC資材の利用	印刷	<a href="#">p.21~23</a>
事例8	洗浄作業における蓋・カバーの設置	洗浄	<a href="#">p.24~25</a>
事例9	冷却の適正化	洗浄	<a href="#">p.26~28</a>
事例10	スプレー製品における低VOC製品の動向	民生品	<a href="#">p.29~31</a>
—	その他の参考情報	—	<a href="#">p.32~33</a>

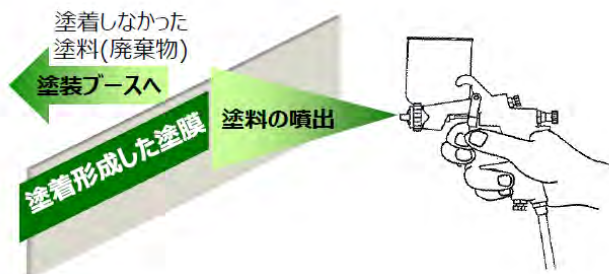
# 事例 1 塗着効率の向上

## 1. 塗着効率の定義とスプレー塗装の物質バランス

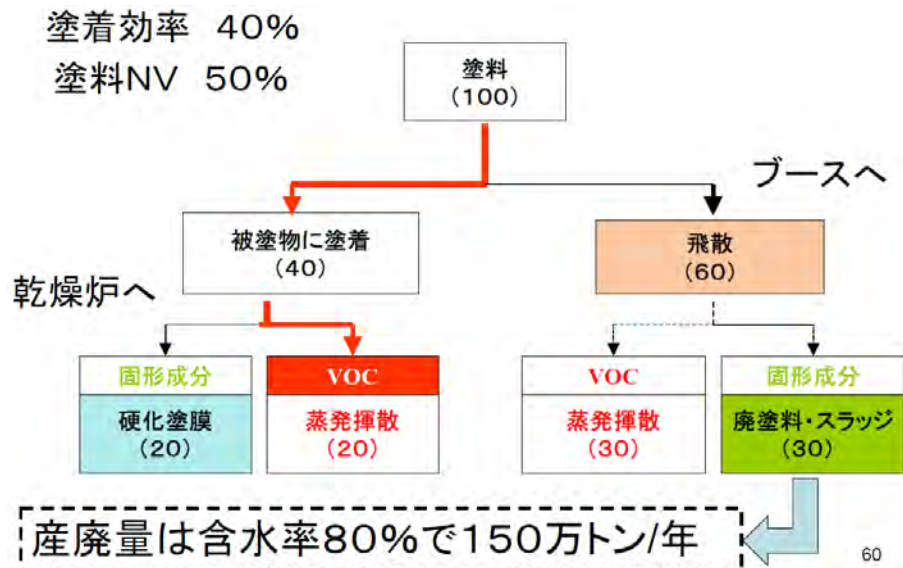
中小事業者にとって、排ガス処理装置の導入や塗装方法の転換は難しく、塗料の代替を図る場合でも、塗料のみを変更すれば良いのではなく、設備の変更を伴う場合が多い。従って、溶剤塗装方式のまま、VOC 対策を図る方法を検討する必要があるが、その 1 つが、塗着効率の向上である。

塗着効率の定義は、次式にて表わされる。塗着効率のイメージを付図 1 に示す。

$$\text{塗着効率 (\%)} = \frac{\text{被塗物に塗着した塗料の固形分質量}}{\text{スプレーガンから噴出した塗料の固形分質量}} \times 100$$



付図 1 スプレー塗装における塗着効率のイメージ



付図 2 塗装作業における VOC の揮散と産廃のバランス例

塗装作業における固形分と揮発分の物質バランスの例を付図 2 に示す。この図の例の場合、希釈塗料全体を 100 としたとき、その中の固形分は 50 (= 塗料 NV (Non Volatile))、被塗物に付着した固形成分 (= 硬化塗膜) は 20 であるから、塗着効率は 40% となる。

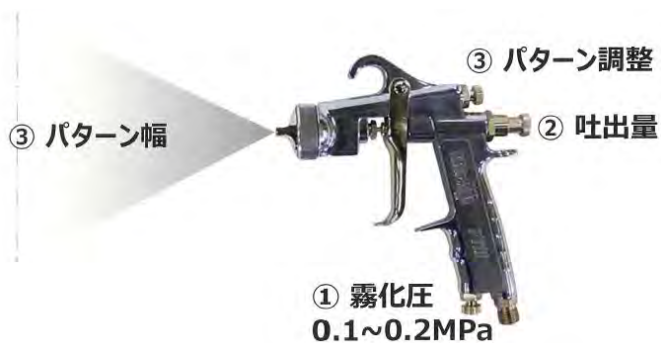
## 2. 塗着効率を向上させるパラメータの調整

塗着効率を向上させるには、以下のような要素がある。

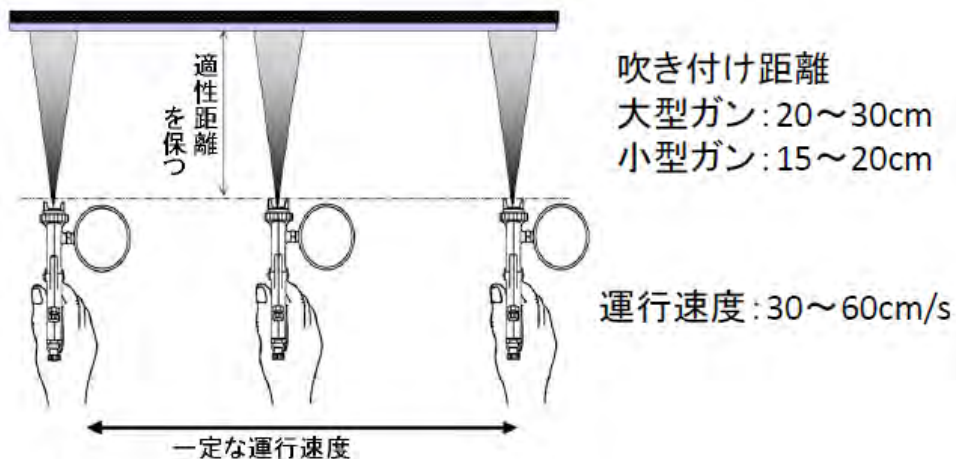
付表 1 塗着効率に影響するパラメータとその調整方法

パラメータ	調整方法と塗着効率の改善例	対応図
①霧化圧	低くする(0.1~0.2MPa程度) 例:0.3MPaで塗着効率60%→0.2MPaで70%以上	付図 3
②吐出量	少なくする	付図 3
③パターン幅	狭くする 例:幅150mmで塗着効率60%→幅80mmで75%以上	付図 3
④運行速度	スプレーガンをゆっくり一定速度で動かす	付図 4
⑤吹付距離 (ガン距離)	スプレーガンを被塗物から適正な距離に保つ 例:距離300mmで塗着効率70%→200mmで80%以上	付図 4
⑥吹き付け角度	スプレーガンを被塗面に対し90度に保つ 例:45度で塗着効率50%→90度で70%以上	付図 5
⑦塗り重ねの間隔	1/4~1/2の範囲に保つ	付図 6
⑧ストローク開始点	被塗物の端での無駄吹きを避ける	付図 6

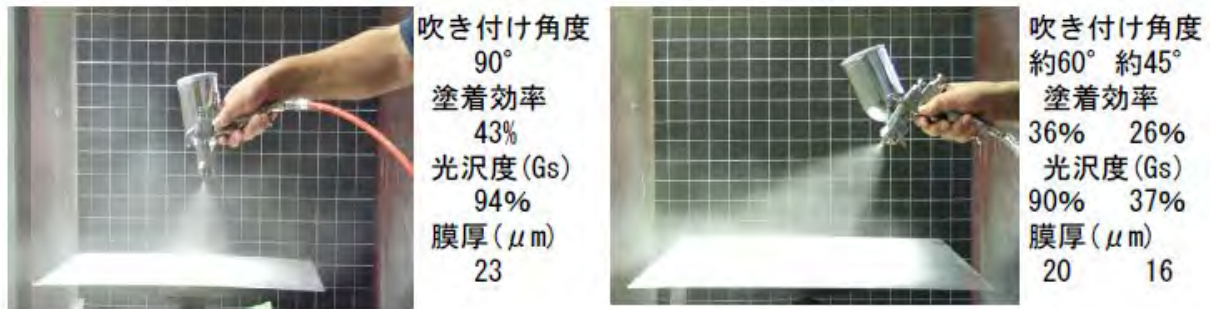
①~⑥は、定常的なスプレーガンの調整や動かし方に関する項目であり、⑦、⑧はその他スプレー開始点や塗り重ねの工夫により、無駄な塗料量を減らすための項目である。



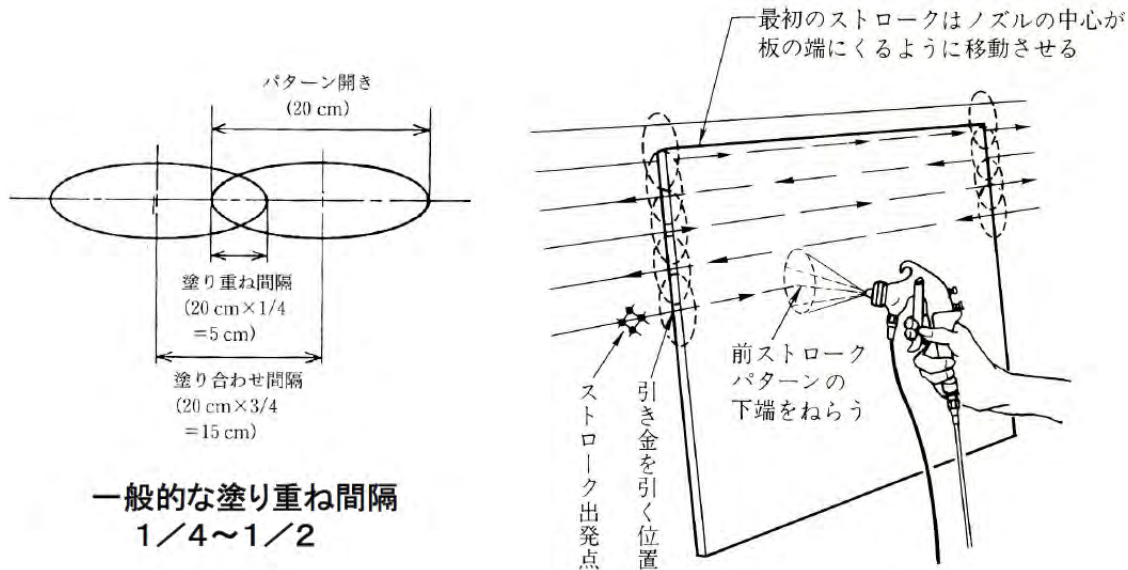
付図 3 霧化圧、吐出量、パターン幅の調整



付図 4 塗着効率の高いスプレーガンの運行速度、吹き付け距離



付図 5 吹き付け角度が塗着効率に及ぼす影響



付図 6 塗り重ね、ストローク端における効率的なスプレー操作

霧化圧や吐出量を抑えることで、塗着面からの跳ね返りを抑えることができる。パターン幅が大きいと、パターンの端では斜めの角度で吹いていることになり、吹き付け角度が90度でない場合と同じように塗着面に沿って流れてしまうロス分が生じる。

他に、ISOなどの仕組みを活用して塗装の手順を標準化することによって、塗着効率が安定した塗装作業の再現性が高くなる効果が期待できる。

### 3. 塗着効率向上によるメリット

付図 2 のように、塗着する塗料にも、塗着せずに塗装ブースに飛散してしまう塗料にもいずれも溶剤分(VOC)が含まれ、溶剤分は揮散して VOC 排出となり、飛散塗料中の固形分は産廃処理負荷となる。

塗着効率を向上させると、元々の塗装の技量にもよるが、一般には 20%程度の VOC 排出削減が可能となる。この仮定で1か月の塗装資材(塗料+溶剤(シンナー))を 120 万円とすれば、1か月で 24 万円のコストダウンになる。塗着効率の向上により、ブースへの飛散量が減るので、産廃処理費の低減にもつながる。工場内の臭気対策にも寄与する。

### 事例 1 の参考資料

- 1) VOC 対策の基本・現在・未来、IPCO mook、2009 Vol.1、(一社)国際工業塗装高度化推進会議
- 2) 工業塗装における VOC 排出抑制及びリスクアセスメントへの対応、IPCO 窪井要氏講演資料、関東経済産業局 VOC 排出抑制セミナー、平成 31 年 1 月 29 日
- 3) VOC 排出抑制対策セミナー in 東大阪、講演資料、「塗装工程における VOC 対策取り組み事例」、日本塗装機械工業会 平野克己、平成 30 年 11 月 29 日  
<https://www.kansai.meti.go.jp/3-6kankyo/H30fy/VOC20181129results.html>
- 4) すぐにできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き、環境省、平成 19 年 3 月、  
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>

### 協力団体・企業

(一社)日本塗料工業会、(一社)国際工業塗装高度化推進会議(IPCO)、日本塗装機械工業会、久保井塗装(株)

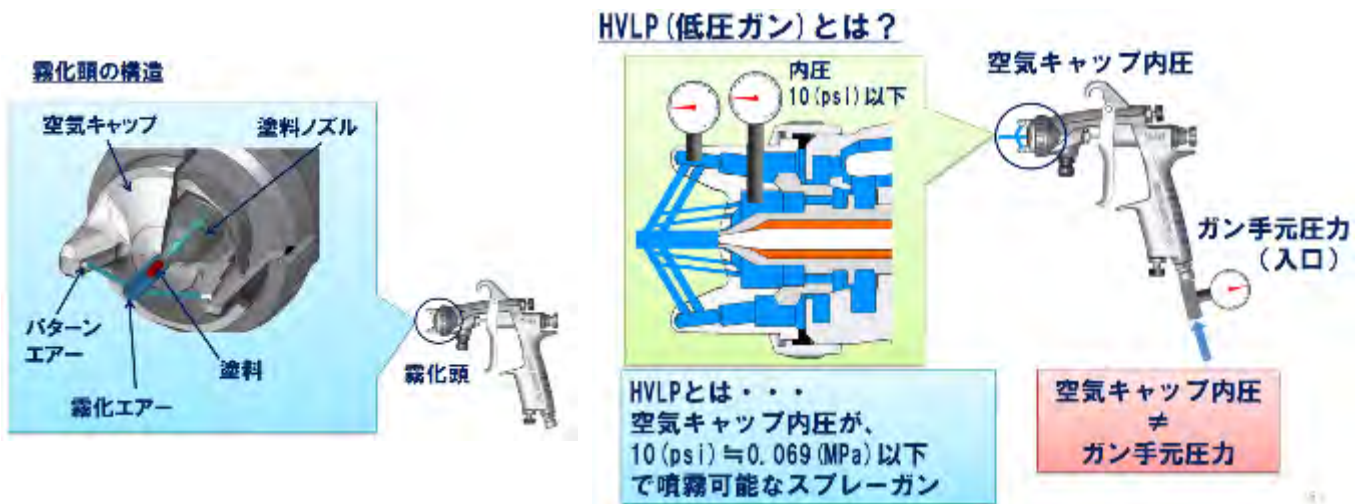


## 事例 2 低圧スプレーガンの導入

中小事業者の自主的取組における対策要素の1つに、低圧スプレーガンの導入がある。標準的なエアスプレーでの塗着効率がおよそ 30～50%なのに対し、少なくとも 10～20%、最大で 30%程度の塗着効率の向上が期待できる。

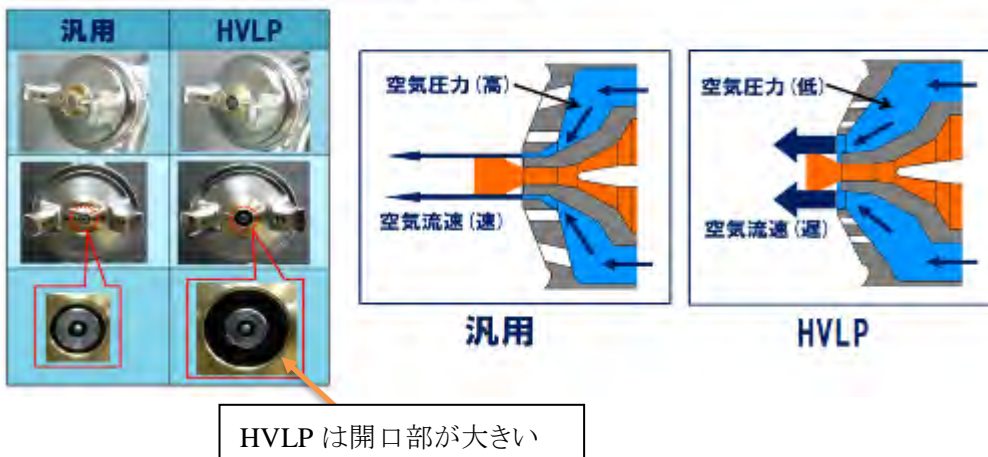
### 1. 低圧スプレーガンの定義

低圧スプレーガンとは、HVLP (High-Volume-Low-Pressure) スプレーガンのことで、アメリカ合衆国カリフォルニア州の SCAQMD (South Coast Quality Management District) が Rule 481 (Spray Coating Operations (制定 1977 年、最終改訂 2002 年)) の中で定めたもので、塗料噴霧中の空気キャップ内圧力が、0.1～10 (psi) (=0.00069～0.069MPa) でも塗装できるように設計されたスプレーガンのことである。霧化頭部での開口部が大きいことで、空気流速が遅くなるように設計されている。



付図 7 低圧スプレーガン(HVLP)の空気キャップ内圧イメージ(出典:文献 4)

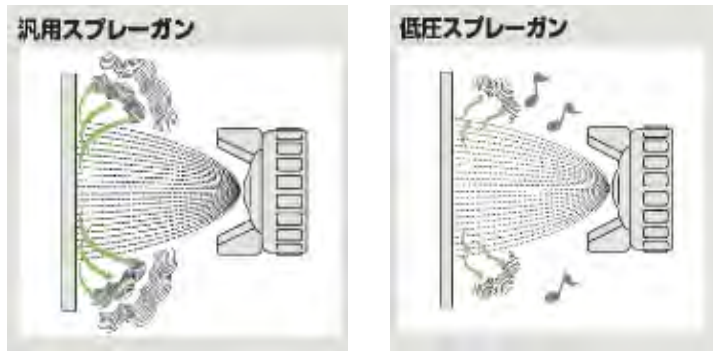
### 汎用とHVLPの構造上の違い



付図 8 汎用エアスプレーガンと低圧スプレーガンの霧化頭構造の違い(出典:文献 4)

## 2. 低圧スプレーガンによるメリット

空気キャップの内圧を低くすることで噴霧スピードが抑えられるので、被塗物への衝突時に跳ね返る塗料粒子の量を抑えることができる。



付図 9 低圧スプレーガン導入による塗料の飛散量の低下イメージ(出典:文献 5)

### ■各種スプレーガンの概要と塗着効率(参考)

付表 2 各種スプレーガンの概要

	概要	メリット	デメリット
エア(汎用)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧縮空気により、塗料を微粒子にして被塗物まで搬送する。</li> <li>・供給する空気圧力は、0.15～0.4MPa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的細かく均一な粒子。塗膜性能良好。</li> <li>・空気の圧力と量を調整することにより粒子径の制御がしやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗着効率が相対的に低い。</li> </ul>
低圧エア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗料噴霧中の空気キャップ内圧力 0.069MPa 以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・汎用より塗料の飛散が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴霧スピードが遅くなる</li> <li>・汎用より空気量 1.5～2倍に増加。</li> <li>・調整幅が小さくなる</li> </ul>
静電エア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・-30～-100kV の電圧を印加して搬送力に適用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電界を搬送力に使うため、エアでは飛んでしまう微粒子も塗着</li> <li>・塗膜品質を落とさずに高塗着効率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全対策が必要(設備と作業者の確実な接地と安全装置、インターロックの設置)</li> </ul>
ベル型(回転霧化)静電(付図 10(1))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベルカップが回転し遠心力で塗料を霧化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗着効率が最も高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ハンドガンタイプの製品は無い(自動工程向け)。</li> </ul>
エアレス(付図 10(2))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗料に高い圧力(10MPa 程度)をかけて、小さい孔へ通すことで塗料に剪断力が加わり微粒化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアを使わないので塗料の飛散が少なく高塗着</li> <li>・一度の厚膜塗装や屋外でも塗装可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微粒化程度とパターン幅はノズルチップの孔サイズに依存</li> </ul>
エア・エアレス(付図 10(3))	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアレスに圧縮空気流を加えることで、微粒化の促進やパターン幅の調整を可能としたもの。塗料圧力 5MPa 程度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアレスに比べ塗料圧力を低くできるので、ノズルチップのつまりが少なくなり扱いやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エアスプレーに比べて塗装面の仕上がりが劣る。</li> </ul>

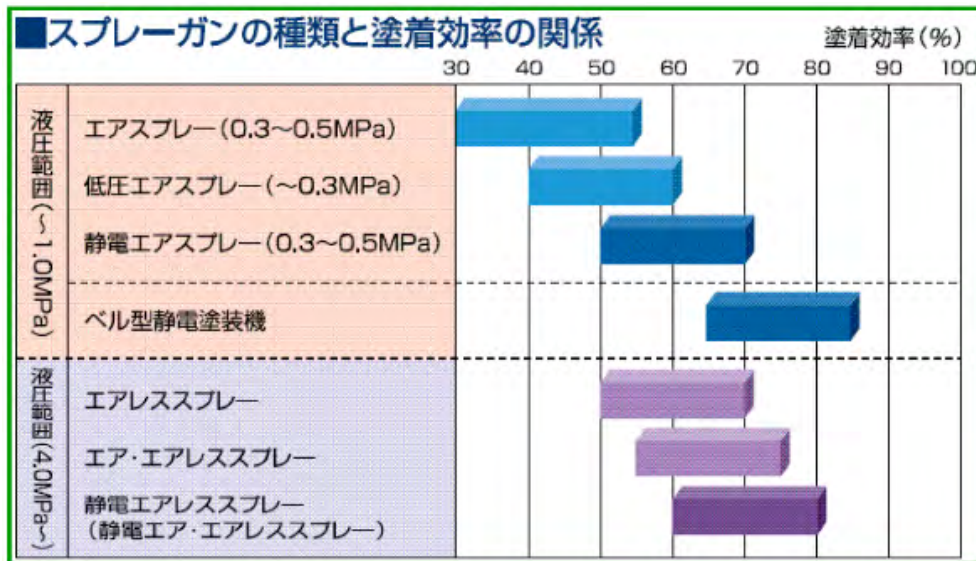
空気の役割:①塗料を微粒化する、②被塗物への搬送

スプレーガンの価格イメージ:ベル型静電>>静電、エアレス、エア・エアレス>>低圧>エア





付図 10 各種スプレーガンの構造(図の出典:文献 6)、7)、8))



付図 11 各種スプレーガンの塗着効率

### 3. 塗着効率向上に伴う塗料の使用量削減効果の試算

希釈塗料中の固形分を30%とし、塗装面積1m<sup>2</sup>(平板)、膜厚30μmで塗装する場合に必要な希釈塗料量は以下の表のように試算できる。この条件下では、塗着効率が50%→70%に向上した場合、必要な希釈塗料量は約3割削減できる。

付表 3 塗着効率向上による塗料量の削減試算例

	エアスプレーガン	静電エアスプレーガン	備考
①希釈塗料の固形分率	30%		
②塗着効率	50%	70%	
③塗装条件	塗装面積1m <sup>2</sup> 平板、膜厚30μm		
④塗膜になる固形分 mm <sup>3</sup>	30,000	30,000	③の体積
⑤必要な固形分 mm <sup>3</sup>	60,000	42,857	④÷②
⑥希釈塗料の総量 mm <sup>3</sup>	200,000	142,857	⑤÷①
⑦必要な希釈塗料量 mL	200	143	⑥を単位変換

塗着効率 = 塗膜となった固形分の量 / 希釈塗料中の固形分の量 × 100%

## 4. 低圧ガン導入に当たっての必要事項

### (1) 空気コンプレッサの能力増強

空気使用量が一般的なスプレーガンに比べて 1.5～2 倍程度になるので、空気圧縮機(コンプレッサ)の出力が 2.2～3.7kw 程度は必要となる。一般的なスプレーガンは 0.75～1.5kW でまかなえるものもあるので、これらのスプレーガンからの切り替えではコンプレッサの買い替えが必要となる。塗料の供給ポンプはそのまま使用可能である。

### (2) 作業性の変化

噴霧スピードが遅くなるのでスプレーガンの操作として、「吹付距離を近づけ、スプレーガンの移動速度を遅くする」必要がある。

低圧スプレーガンの導入は、スプレーガンの購入価格が若干高くなるが、塗料の使用量を削減するメリットにより、賄える可能性がある。

中小規模の事業者でもう一つ選択肢となる余地があるのは静電ガンである。導入費用と、設備対応は必要であるが、塗膜性能が良く、塗着効率も高い。

いずれの場合も、被塗物(ワーク)の切り替えや、色替えの頻度が少ない場合には、メリットを享受しやすい条件となる。

### 事例 2 の参考資料

- 1) VOC 排出抑制対策セミナー in 東大阪、講演資料、「塗装工程における VOC 対策取り組み事例」、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成 30 年 11 月 29 日  
<https://www.kansai.meti.go.jp/3-6kankyo/H30fy/VOC20181129results.html>
- 2) すぐにできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き、環境省、平成 19 年 3 月  
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>
- 3) SCAQMD ホームページ(Rule481)  
<http://www.aqmd.gov/home/rules-compliance/rules/scaqmd-rule-book/regulation-iv>
- 4) エアスプレーガンにおける微粒化制御方法、日本塗装技術協会 平成 30 年度第 2 回講演会、アネスト岩田(株) 諸星敦之氏講演資料、2018 年 10 月 5 日
- 5) スプレーガン総合カタログ、アネスト岩田(株)
- 6) 静電エアスプレーガンを用いた意匠性塗料の塗装についてエアスプレーガンにおける微粒化制御方法、色材協会 塗料講演会/自動車を中心とした塗料塗装の最新技術動向、アネスト岩田(株) 諸星敦之氏講演資料、平成 24 年 5 月 11 日
- 7) エアレスユニットカタログ、アネスト岩田(株)
- 8) Multi Spray Guns SERIES カタログ、アネスト岩田(株)

### 協力団体・企業

(一社)日本塗料工業会、(一社)国際工業塗装高度化推進会議(IPCO)、日本塗装機械工業会、アネスト岩田(株)

### 事例 3 塗料の水性化

### 事例 4 塗料の粉体化

### 事例 5 塗料のハイソリッド化

## 1. 塗料の代替の概要

塗料の代替について、代表的な手法である水性化、粉体化、ハイソリッド化について整理する。

最も一般的な溶剤型塗料は、樹脂と硬化剤を有機溶剤に溶かし、顔料などを分散したものである。溶剤が揮発し、硬化反応により塗膜が形成される。塗装作業性に優れ、均質な塗膜を得やすいのが特徴である。塗料に含まれる内部溶剤(20~60%)と、塗装時の希釈溶剤(塗料に対し5~50%)がVOCである。

溶剤型塗料は固形分濃度により分類される。塗料中の固形分70%以上又は塗装時の固形分420g/L以下のものをハイソリッド塗料と呼ぶ。なお、樹脂を反応性希釈剤に分散させ、全てが固形分になる無溶剤塗料もある。

水性塗料は溶剤を水に置き換えた塗料である。水溶性樹脂は塗膜性能が劣るため、通常は樹脂を分散させたエマルジョン型が使われることが多い。水性塗料においても、塗装作業性および成膜性の向上のため、5%以下の有機溶剤を用いるのが一般的である。水性塗料のメリットは、大気環境の他、作業環境改善(有機則、特化則、悪臭)、非危険物(消防法上の届出不要)もある。

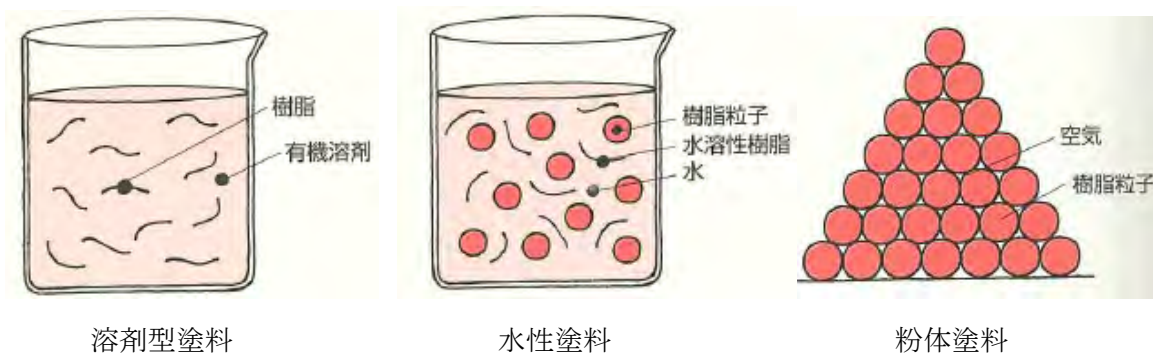
粉体塗料は数十 $\mu\text{m}$ 程度の粒子径の粉体状で、焼付時に熔融して均一の塗膜を形成する。100%固形分であるが、一部ブロック剤と呼ばれる溶剤を5%未満含むことがある。路面標示用の粉体塗料では、固形樹脂と顔料を施工現場で混合して用いる。

VOC含有量の少ない塗料への転換は、VOCの排出削減に有効であるが、塗膜性能(強度、伸び、対候性)や意匠性(外観)、作業性(塗りやすさ、作業時間)、塗料の転換に伴う設備の変更、コスト(資材、設備、ランニングコスト)など、総合的な検討のもとに進める必要がある。日本塗料工業会の推計(文献1)によれば、全分野における低VOC塗料(水性、ハイソリッド、無溶剤、粉体)の比率は59.1%(平成29年度、出荷実績)である。

なお、超臨界状態の $\text{CO}_2$ を溶剤の代わりに使用する塗料が研究されているが、現状では実用レベルには至っておらず、塗膜の仕上がりや装置コストなど課題も残されている。

付表 4 塗料の分類

性状	分類		概要
液状	溶剤型塗料	低固形分 10~40%	樹脂を有機溶剤に溶かした塗料
		中固形分 40~70%	
		高固形分 70%以上 (ハイソリッド)	
	無溶剤型塗料(ノンソルベント)	反応性希釈剤などを用いた溶剤を含まない塗料	
	水性塗料	水に溶解したり、分散させた樹脂を用いる塗料	
粉体状	粉体塗料	固体樹脂を微粉碎した塗料	



付図 12 塗料の形態(出典:文献 2)、p.105)

## 2. 水性塗料

水は、低分子量であるが常温で液体であり、沸点はそれほど高くないが蒸発速度が遅いなど、水素結合に基づく特異な性質を持つ。表面張力が大きいので、下地へのなじみ、顔料に対する濡れ性が溶剤型より劣る。泡が生じやすく消えにくいなども技術的課題となる。溶剤の代わりに水を使用すると、樹脂を溶かしにくい、水和性の高い水溶性樹脂を用いると塗膜の耐水性が低下する。このため、水性塗料の樹脂は、コロイド分散型、あるいはエマルジョン型(液-液分散系)が用いられる。水は蒸発速度が遅いため、スプレー時は低濃度、塗着時は高粘度になるような塗料設計が行われる。水性専用の塗装ブースが必要である。また、排水処理設備が必要である。電気抵抗が低いため、静電塗装機は使用出来ない。塗装時に赤外線や熱風を用いて蒸発を促進する方法も取られる。水の蒸発は湿度に影響されるため、屋外では天候の影響を受けやすい。金属表面の第1層(ベースコート)に水性塗料を塗布する場合、錆びが生じないように注意が必要である。

## 3. 粉体塗料

硬化剤に添加するブロック剤(安定化剤)や低分子成分が焼付時に僅かに揮発するが、基本的にVOCを含まない塗料である。一度塗りで強靱な厚膜の形成が可能であることが最大の利点である。専用設備が必要であること、色替えが難しいこと、塗膜の外観性が劣るなどの課題もある。こうしたことから、単色厚膜が要求される金属製品への適用が多い。金属平板に粉体塗装を行った後に成型加工するプレコート塗装も行われる。焼付けによる流動工程があるため、屋外塗装やプラスチックの塗装には適していない。

付表 5 粉体塗料のメリット・デメリット(文献 2)、3より編集)

長所	短所・課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>・VOC含有率ほぼゼロ</li> <li>・危険物非該当</li> <li>・1回塗りが可能</li> <li>・厚膜塗装可能(広範囲な膜厚)</li> <li>・粉体の再利用可能</li> <li>・強靱な塗膜が形成される</li> <li>・セッティング不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗膜外観性(ゆず肌)</li> <li>・専用塗装設備が必要</li> <li>・色替えが面倒</li> <li>・少量多品種生産が不向き</li> <li>・調色が難しい</li> <li>・メタリック塗料が作りにくい</li> <li>・再塗装(リコート)ができない</li> </ul>



#### 4. ハイソリッド塗料

塗料中の固形分 70%以上又は塗装時の固形分 420g/L 以下の溶剤型塗料をハイソリッド塗料と言う。固形分が多いため、塗装作業性を担保するために系の粘度を下げる必要があり、従って樹脂の分子量が相対的に小さいものを使う。そのままでは塗膜の硬さ、対候性などが低下するため、硬化する際の架橋反応が高密度で起こるように工夫されている。塗装作業時にタレ、濡れ不良などを起こしやすいので、塗装作業時に粘性調整などが必要である。基本的に、現行の溶剤塗装設備を利用できるのが利点である。

付表 6 各種塗料のメリット・デメリット（文献 2）、3より編集）

	溶剤型	ハイソリッド	水性	粉体
VOC 削減	×	△	○～◎	◎
臭気	×	×	○～◎	◎
既存設備適応	◎	◎	○	×
空調経費	◎	◎	△	○
仕上がり外観	◎	◎	○	○
作業性（常温乾燥）	はけ・ローラー	◎	○	×
	スプレー	◎	○	×
	乾燥性	◎	○	×

◎:非常に良い ○:良い △:やや劣る ×:劣る

付表 7 各種塗料の主な適用分野と課題（文献 1）、2）、5より編集）

塗料タイプ	適用分野	課題	
水性塗料	VOC 含有量削減	<u>建築物内外装(建物、建築資材)</u> 、 <u>電着塗料</u> 、 <u>家庭用</u> 、 <u>窯業建材</u> 、 <u>金属製品</u>	乾燥性、作業性低下、低温造膜性、塗膜強度
	溶剤型からの変換	<u>自動車新車中・上塗り</u> 、 <u>自動車補修</u> 、 <u>車両</u> 、 <u>木工</u> 、 <u>構造物</u>	乾燥性、作業性低下、塗膜強度、光沢、鮮映性、コストアップ
無溶剤塗料	床、船舶、構造物	作業性、塗料ロス、コストアップ、多液化	
ハイソリッド塗料	<u>船舶</u> 、 <u>構造物</u> 、 <u>機械</u> 、 <u>建材</u> 、 <u>金属</u>	作業性低下、コストアップ、多液化	
粉体塗料	<u>電機・家電</u> 、 <u>金属製品</u> 、 <u>機械車両</u> 、 <u>路面表示</u>	設備自由度限定、素材の選択性、コストアップ	

二重下線:約 50%以上の比率を持つもの 一重下線:約 20%以上の比率を持つもの(H29、出荷量)

#### 事例 3～5 の参考資料

- 1) 平成 29 年度塗料からの VOC 排出実態推計のまとめ、(一社)日本塗料工業会、平成 31 年 3 月
- 2) トコトンやさしい塗料の本、中道俊彦、坪田実、2008、日刊工業新聞社
- 3) よくわかる最新塗料と塗装の基本と実際－環境対応型塗料入門－、坪田実、2016、秀和システム
- 4) 屋外塗装における環境配慮型塗料について(建築・土木重防食塗料分野)、東京都 VOC 対策セミナー、鈴木譲氏講演資料、2019 年 12 月 5 日
- 5) 揮発性有機化合物の排出抑制ガイドライン、(一社)日本塗料工業会、2004 年 7 月
- 6) すぐのできる VOC 対策(塗装で取り組む VOC 削減の手引き、環境省、平成 19 年 3 月

<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/pamph4/full.pdf>



■重防食塗装における水性塗料の活用事例(首都高速道路)

屋外塗装においては、長年使用されてきた溶剤系塗料が、使用実績(耐久性、対候性の実証など)の面で重視される傾向にあり、価格面や施工面で課題があった水性塗料は実用化が進まない傾向にあった。

付表 8 屋外塗装における水性化のメリットと課題

メリット	課題	
	問題点	対策
VOC を大幅削減できる	施工時の降雨や結露など、湿気の影響を受け易い	換気設備等により適切な湿度管理を実施
有機溶剤の臭いや中毒の健康影響が少ない	素地の油分や錆の残存影響を受け易い	ブラストを基本とした適切な素地調整を実施
保管や塗装時の火災の心配がない	低温環境で正常な塗膜ができにくい	技術開発により溶剤系と概ね同等の性能が実現

出典:文献4)(前ページ)

平成 30 年 9 月に、水性塗料を追加した JIS 規格として、下塗り塗料の「JIS K 5551:2018 D・E 種構造物用さび止めペイント」、及び上塗り・中塗り塗料の「JISK5659:2018 B 種鋼構造物対候性塗料(中塗り含む)」が定められた。建築用水性塗料の JIS は国土交通省の標準仕様書に記載されているが、重防食水性塗料はそこまで至っていない。

首都高速道路(株)では、平成 26 年 3 月と平成 27 年 2 月に首都高速道路の塗装塗替工事を行う中で火災事故を起こした経緯がある。これは、工事足場内の密閉空間で構造物(鋼製が多い)の古い塗装を剥がす際、塗膜剥離剤を使った後、なお残存している塗膜及び塗膜剥離剤を、使用を禁じていたラッカーシンナーで拭き取っていたことから発火したとされている。同社ではこれを機に独自に水性塗料の仕様を定め、平成 27 年 10 月から水性塗料の試行を開始し、平成 31 年 7 月には工事足場内における使用材料の完全水性化を達成した。水性塗料の耐久性については、1 か月の耐候性促進試験、2 年の長期暴露試験等により確認し、実用化に至っている。水性塗料の課題について、同社の対応をまとめると以下ようになる。

付表 9 首都高速道路(株)における水性塗料採用に際しての課題と対応

課題	対応
水が揮発すると塗膜が乾燥しにくい	・湿度 85%以上(例:梅雨期の降雨時)では施工しない。
ダレやすく厚膜塗布しにくい。	・1 回の塗布は薄くし、何層も重ねることで膜厚(200~300 μm)を確保。
光沢が少ない	・吹付けや仕上げ用ローラー塗りで遜色ないレベルを確保。
塗料の価格が高い	・工費全体に対しては、塗料資材が占める割合は小さい。
鋼材面に塗る水性塗料(水性有機ジンクリッチペイント)による錆(フラッシュラスト)発生	・フラッシュラストの発生抑制、進行抑制試験を実施。これに基づき素地調整方法を 1 種のみとし、2 種を原則禁止。耐フラッシュラスト試験方法を新たに定め、これに合格した水性ジンクリッチペイントのみ採用できるようにした。
塗装職人が慣れていない	・作業に慣れることでダレを起こさなくなった。 ・部位に応じてハケ塗やローラー塗りを併用できるようにした。

水性塗料の特徴と今後の展望、東京都平成 30 年度 VOC 対策セミナー、首都高速道路(株)講演資料、2018 年 2 月 19 日 を元に編集

同社では、塗膜の剥離方法に関しても、循環式ブラスト工法や、消防法上の非危険物に分類される塗膜剥離剤をすでに導入している。首都高速道路の塗装の寿命は数十年であり、塗装塗替工事は設備の更新工事に含めて計画的に行われる。今後は完全水性化仕様に基づいて塗装塗替工事が行われる。



塗装前状況(足場内)



水性塗料塗布後(足場内)



水性塗料施工後(橋脚部、全景)



付図 13 水性塗装施工後の写真(首都高速道路(株)提供)

## ■ VOC 対策としての塗料転換時の設備改造について

塗装分野における低 VOC 塗料への代替対策として、溶剤形塗料から粉体塗料や水性塗料への転換が挙げられる。しかし、既存の溶剤塗装ラインでの適用の場合、設備の改造が必要となる。実際には既存の塗装ラインを総点検しての改造が必要であるが、最低限、共通して必要となる改造を本節に整理する。なお、粉体、水性の割合が極端に少ない場合、現行の溶剤ラインで塗装機だけ替えて塗装することも可能ではあるが、塗装品質を事前に確認しておく必要がある。

### 1. 粉体塗装に改造する場合

溶剤塗装装置を撤去し全て粉体塗装装置に代えてしまう方法と、溶剤塗装装置はそのままにしてセッティング工程に塗装ブースを設置して両方兼用出来るようにする方法の2つがある。それぞれの設備改造のポイントを示す。

#### (1) 全面的に粉体塗装装置に代える場合

##### ① 塗装装置

- ・溶剤塗装ブース、塗装機、排気ダクトを撤去し、粉体塗装装置を設置

##### ② 乾燥炉を塗料仕様に応じて変える

- ・温度設定は 160°C⇒180°Cに変更
- ・通過時間は立ち上がり時間も含めて 5 分程度長くする(セッティングゾーン側に乾燥炉を延長する)

#### (2) 溶剤塗装装置のセッティング工程に粉体塗装装置を追加する場合

現行のセッティングゾーンに粉体塗装装置を設置して兼用ラインとする

##### ① 粉体塗装装置: セッティングゾーンの前半部に設置

##### ② 乾燥炉: 塗料仕様により(1)②項の改造を行う

付表 10 粉体化における改造点

	改造箇所	改造点
1	塗装ブース	現行水洗ブースを撤去して粉体ブースを設置する
		粉体ブースはホッパー形式で高さが少し高くなる (ピット掘るかコンベア上げるかの選択)
2	乾燥炉	時間延長のため炉本体を長くする (セッティングは不要になるので入口部に増設)
3	コンベア	設定温度を上げる場合は潤滑油を確認

### 2. 水性塗装に改造する場合

水性塗料は、水の特有の性質(蒸発速度が遅い、表面張力が高い、油となじまない等)に基づいて、良好な塗膜を形成するために各工程で種々の注意を要する。

#### (1) 前処理

脱脂が完璧に出来ていないと「はじき」を発生しやすいため、脱脂工程の事前確認を要する。

## (2) 塗装

- ① 塗装ブース本体: 接液部はステンレスが望ましい。水槽がある場合は泡の発生があるため液面管理に注意が必要
- ② 水分離フィルター: 排気部のフィルターでは水分も完全に除去し屋外部分の着色を防ぐ
- ③ 給気装置: 高湿度時の塗装に問題が生ずるため、加温装置など減湿の工夫が必要
- ④ 塗装機: 静電塗装の場合、絶縁装置など塗料を通しての電気漏洩の防止が必要

## (3) 乾燥炉

- ① 水性塗料の場合、一般的に乾燥時間が長くなる。前半に水分を飛ばす予熱ゾーンを設けてから、本設定ゾーンに入れ沸きなどを防止する
- ② 内板はステンレス製が望ましい

## (4) 廃水処理

塗装ブースからの廃水がある場合は、排水中の **BOD**、**COD** が増加するため、廃水処理に生物処理など追加が必要となる。ブース水を産業廃棄物として処理する場合は不要だが、産廃処理費の分コストが上がる。

付表 11 水性化における改造点

	改造箇所	改造点
1	前処理	脱脂不良により「はじき」が生じやすい (使用予定塗料で確認)
2	塗装	ブース本体材質: SUS 製が望ましい
		泡対策: 液面管理
		フィルター: 水滴も除去出来るフィルターに変更
		給気の加温: 高湿度の塗装時の「垂れ」防止
		静電塗装機の場合: 絶縁装置付きの塗装機
3	乾燥炉	予熱部を設置して「垂れ」「沸き」を防ぐ
		乾燥炉の長さは塗料により延長
4	排水処理	塗装ブースの廃水がある場合 <b>BOD・COD</b> 処理装置が必要 (活性炭または生物処理の増設)

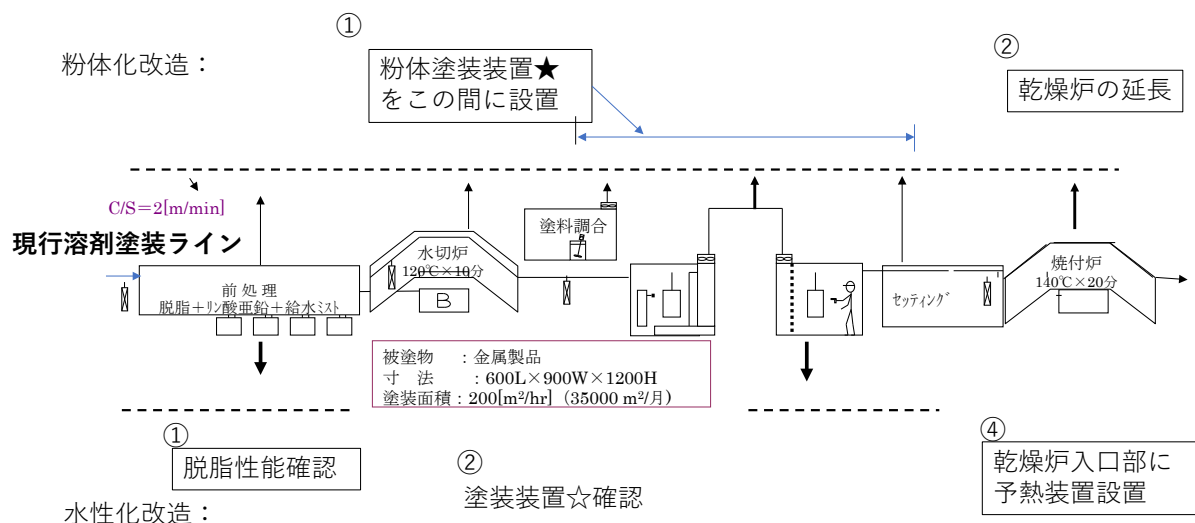
### < 塗装用語 >

垂れ、ダレ、たれ: 垂直面や傾斜面を塗装した時、硬化・乾燥までに塗料が下方に流れて塗膜が局部的に厚くなり不均一になる状態。

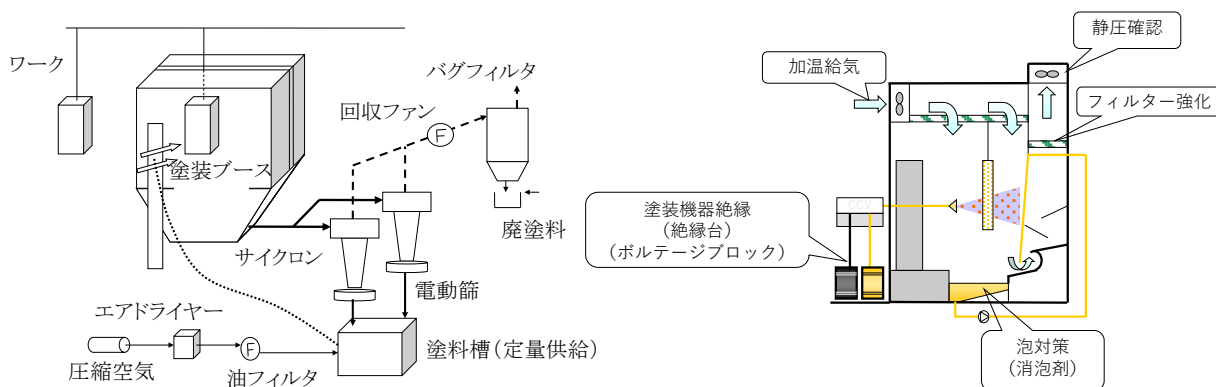
沸き、ワキ: 塗膜の硬化、乾燥の際、泡状の小さな膨れや穴を生じる現象。

ハジキ、はじき: 塗膜の一部に下地が露出する現象。下地面と塗料との間の表面張力の不均等などによって起こる。塗面に塗膜が押しつけられたような凹みを生じる。窪みが下地に達している場合を「ハジキ」、下地までは至らないが塗膜が窪んだ状態になっている状態を「ヘコミ」という。





③ 廃水処理の場合  
BOD・COD処理



★粉体塗装装置の構成

☆水性塗装装置と留意点

付図 14 既存溶剤型塗装ラインに対する粉体化・水性化の改造イメージ

### 本節の参考資料

- 1) 水性塗装ラインの設計と環境対策および排水処理技術、技術情報協会セミナー、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成 18 年 7 月 17 日
- 2) 環境問題に適応する塗装ラインの設計方法、日本テクノセンター、日本塗装機械工業会 平野克己氏講演資料、平成 19 年 7 月 25・26 日

### 協力団体・企業

(一社)日本塗料工業会、日本塗装機械工業会、(株)、首都高速道路(株)

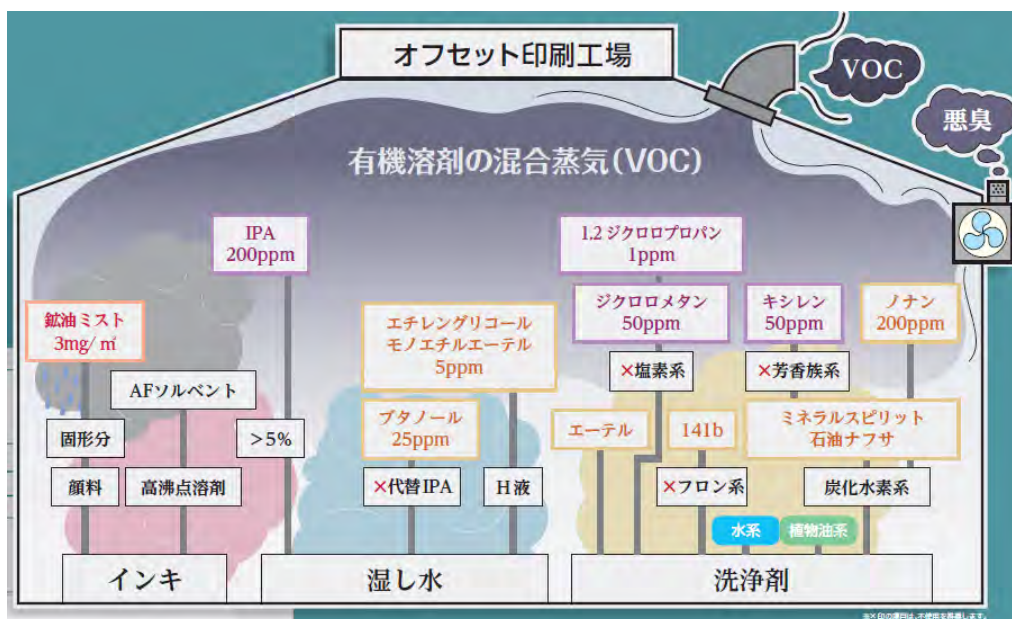


## 事例 6 印刷機からの溶剤の発散防止と VOC 警報器の活用

### 1. 概要

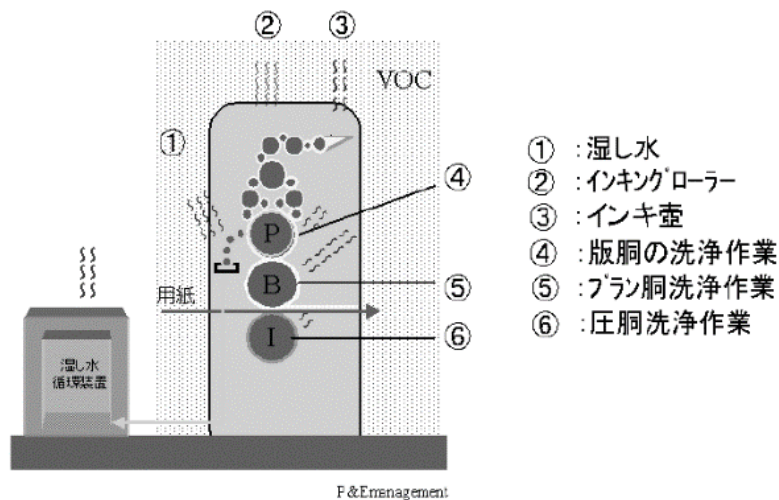
印刷工場では印刷インキの他にも、湿し水、洗浄剤などに様々な薬剤を使用する。この中には VOC、フロン及び代替フロンなどが含まれ、労働安全衛生法の有機溶剤障害等予防規則(有機則)に基づく作業者の曝露防止措置も求められている。

(一社)日本印刷産業連合会(以下、日印産連)ではパンフレット「オフセット印刷工場における有機溶剤管理」を平成 27 年 3 月に発行した。印刷工場における適正な有機溶剤管理は、作業者の曝露防止を第一の目的としているが、これは同時に、VOC の排出削減、近隣への悪臭防止にもつながり、対策によっては資材削減を通じたコストメリットにも繋がる。



付図 15 オフセット印刷工場における様々な使用物質

### オフセット印刷機からのVOC発生



付図 16 オフセット印刷機の VOC 発生源

労働衛生工学的なリスク削減の観点から、優先順位の高い順に、対策項目は以下のようにまとめることが出来る。

付表 12 印刷工場における VOC 発生対策

対策項目	内容
有害性の低い VOC に代替	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SDS 入手による有害性の把握</li> <li>・GP 認定資材使用の推奨</li> </ul>
VOC 蒸気の発生を遮断	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資材や廃棄物、廃ウェスなどの容器の密閉化、二重化</li> </ul>
VOC の高濃度環境をなくす	<p>[VOC 蒸気発生量の低減]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・残肉、廃ウェスの管理</li> <li>・作業位置、姿勢の工夫</li> <li>・作業方法の標準化(手洗浄作業の標準化等)、遠隔作業化(ドクター洗浄作業の隔離等)</li> <li>・使用量・時間の検討</li> <li>・洗浄システムにおける対策                      ブランケット洗浄: 含浸布型洗浄システム                      ローラー洗浄: 自動洗浄装置</li> </ul> <p>[換気や気流の改善]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・気流の管理、換気量の確保(換気回数 10 回/時以上)</li> </ul>
VOC 蒸気曝露を防ぐため呼吸保護具の使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・呼吸保護具(マスク)、めがね、手袋の使用</li> </ul>

インキや溶剤などの資材、残肉・廃ウェスなどの容器の蓋を密閉化することで、蒸発濃度が 100 分の 1 程度まで下がる効果があり、工場内の整理整頓、資材の削減によるコストメリットにも繋がる。



付図 17 インキ缶、溶剤缶の密閉化の事例

## 2. 容器密閉化による揮散防止対策のコストメリットの試算例

試算の条件:

平均気温 21.5℃、湿度 54.1%、インキ・溶剤 ノントルエンタイプ

4色機が4台(4×4=16ユニット(5色機なら20ユニット))、24時間稼動、年間260日稼動

1斗缶:開口部面積 552.3cm<sup>2</sup>、(0.06(kg/8h/unit)×3)/d×16unit×260d/y=748.8kg/y

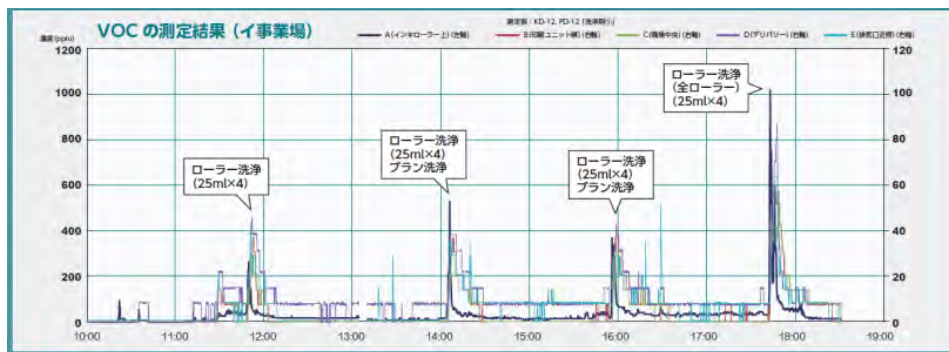
溶剤バケツ:開口部面積 1734.1cm<sup>2</sup>、0.10(kg/8h/line)/d×3×4line×260d/y=312.0kg/y

廃ウエス入れ:開口部面積 2835.0cm<sup>2</sup>、(0.28(kg/8h/line)×3)/d×4line×260d/y=873.6kg/y

経済効果(溶剤購入費削減効果):仮に溶剤購入単価を200円/kgとすると、200円/kg×1934.4kg/y=386,880円/y(文献2、p.39を参考に試算)

## 3. 瞬間的な高濃度曝露の防止

定常的なVOCの発散を低減することと同時に、瞬間的な高濃度VOCへの労働者の曝露を避ける対策も行われている。図のように、ローラー洗浄時に周辺が高濃度になることが分かっている。



付図 18 ローラー洗浄時の高濃度ピークの測定例

## 4. VOC 警報装置の利用

自動洗浄装置を導入するなどの対策が有効であるが、VOC は見えないので、警報装置を設置して作業者に警報で知らせる装置が活用されている。ガス機器メーカーと日印産連が共同開発したのもあり、GP 資機材(事例7参照)に認定されている。

熱線型半導体方式でガスを検知し、石油系溶剤に含まれるノナンの許容濃度 200ppm を超えるとアラーム音と共に換気を促すメッセージが流れる。印刷機のローラー上部、ユニット間、デリバリー部などに設置して使用する。半導体部品の寿命があるので3か月ごとの点検、2年ごとの交換が必要である。



付図 19 VOC 警報器

### 事例6の参考資料

- 1) オフセット印刷工場の有機溶剤管理第2版、平成29年4月、(一社)日本印刷産業連合会
- 2) 印刷産業におけるVOC排出抑制自主的取組推進マニュアル、(社)日本印刷産業連合会、2006年3月

協力団体・企業 (一社)日本印刷産業連合会

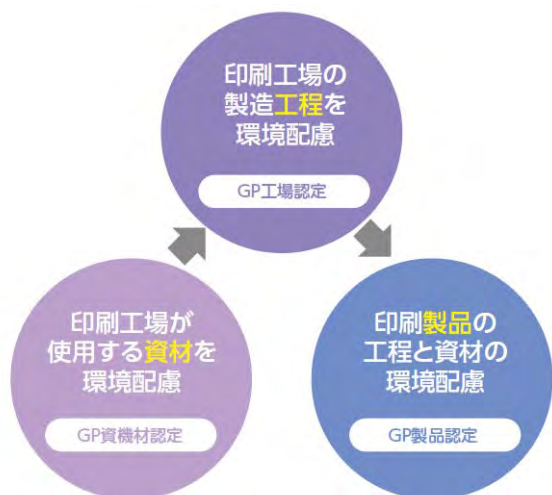
## 事例 7 GP 認定制度と低 VOC 資材の利用

### 1. GP 認定制度の概要

グリーンプリンティング(GP)制度は(一社)日本印刷産業連合会が2006年からスタートした環境配慮自主基準である。ISO14001の取得・維持が難しいと考えられる中小事業者を念頭に、自主認証型の環境ラベルとして制度設計されている。GP認定基準は、VOC発生などの大気汚染防止の他に、法令や条例に対する遵法、地域住民への環境影響(悪臭、騒音、振動等)の未然防止、廃棄物削減、リサイクル推進、地球温暖化防止など地球規模での環境対応と、それらを推進するマネジメントシステムで構成されている。また、近年では労働安全衛生の配慮、緊急時対応の基準が追加されている。2020年2月までに全国417の工場がGP認定工場となっている。

### 2. GP 認定の種類と認定の仕組み

GP認定には付図20のように3種類がある。それぞれの概要を付表13に示す。



付図 20 GP 認定の種類

付表 13 GP 認定の3種類の概要

種類	認定内容	審査方法
資機材認定	印刷工場が使用する資材や機械設備(洗浄剤、エッチ液、印刷版、現像機、セッター、製版薬品、デジタル印刷機等)を認定。	・資機材メーカーの認定基準適合証明書を元に環境配慮達成度を審査。GP事務局でランクを設定し、認定委員会で承認する。 ・GP資機材として認定を受けたのは累計で691製品(40社)。
工場認定	印刷工場の製造工程の環境配慮を認定	4つの印刷方式(オフセット、シール、グラビア(軟包装)、スクリーン)ごとに定められた認定基準(事業所全体および工程別)に基づいて審査
製品認定	GP認定工場が製造し、用紙、インキ、製本・表面加工方法等が環境配慮基準を満たした印刷製品へのGPマーク(環境ラベル)表示	・環境ラベル(GPマーク)は認定を受け、条件を満たしていれば認定工場の判断で入れることができる。



日印産連の会員 10 団体に所属する企業が GP 認定を申請し、印刷会社の勤務経験のある GP 認定審査員が書類審査及び現地審査を行い、その報告に基づいて、第 3 者からなる GP 工場認定委員会が認定の可否を判断する。



付図 21 GP 認定の審査の仕組み

### (3) 認定基準と受審イメージ

工場認定の場合、GP 認定マークは、環境配慮の達成度に応じてワンスターからスリースターにまで分かれる(付表 14)。印刷方式、工程などの種類別にチェックリスト(付図 22)が策定されており、申請者は自社の達成度を点数付けし、エビデンスを提出する。

付表 14 GP 認定工場の認定基準

	ワンスター	ツースター	スリースター
GP マークの種類	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001	 GREEN PRINTING JFPI P-Z10001
工程の環境配慮 (注 1)	少なくとも印刷工程 が GP 工場	全工程が GP 工場	全工程が GP 工場
印刷資材の環境 配慮(注 2)	水準 2 以上の印刷 資材	水準 2 以上の印刷 資材	水準 1 の印刷資材(水 準の区分が無い場合 はその基準)

(注 1)印刷発注者が印刷原稿・版下を用意する場合は GP 工場が受け取った後の工程

(注 2)資材については、環境配慮度がより高い資材を水準 1 としている。



④印刷（プレス）工程…輪転印刷

日印産連「オフセット印刷サービス」グリーン基準		グリーン基準の取組み評価及びチェック							申請時に必要な		
項目	該当有無	グリーン原則	グリーン基準	必須項目	評価・チェック項目	実施状況・数量など	単位	達成点数	基準点数	添付書類	
工 程	輪転印刷 該当 チェック <input type="checkbox"/>	①VOC発生を抑制している	・熱風乾燥印刷の場合、VOC排出処理装置（脱臭装置）を100%設置し適切に運転・管理していること。またはV印刷を行っていること	必須	実施・導入状況	している していない	-		3		
			・湿し水からのVOC発生を抑制していること	-	導入状況	している していない	-		3	【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・水なし印刷システムを採用していること（※）	-	導入状況	している していない	-		3	【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・湿し水循環システムを採用するなど、IPA濃度を5%未満に管理していること	-	実施・導入状況	している していない	-		3	【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・環境配慮型湿し水を使用していること	-							
			＜水準-1＞ スリースター認定のエッチ液を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		5	購入実績表	
			＜水準-2＞ ワンスター認定以上のエッチ液を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		3		
			・洗浄剤からのVOC発生を抑制していること	-	導入状況	している していない	-		3	【様式-1 環境配慮型機器一覧表】	
			・自動布洗浄を使用する、または自動液洗浄の場合は循環システムを使用していること	-							
			・環境配慮型洗浄剤を使用していること★	-							
＜水準-1＞ スリースター認定の洗浄剤・含浸型洗浄布を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		5	購入実績表				
＜水準-2＞ ワンスター認定以上の洗浄剤・含浸型洗浄布を使用（購入）していること	-	使用・購入状況	している していない	-		3					
・廃ウェス容器や洗浄剤容器に蓋をする等のVOC発生抑制策を講じていること	必須	実施状況	している していない	-		3	手順書				

付図 22 チェックリストの例

3. GP 認定の波及効果

一部のクライアントは GP マークを入れることが発注条件になっており、そのクライアントから受注している工場は仕事が増えている。GP 製品は 2018 年度下期までの累計で 592.8 百万部になり増加傾向にある。

事例 7 の参考資料

- 1) (一社)日本印刷産業連合会、社会責任報告書 2018-2019、2019 年 3 月
- 2) (一社)日本印刷産業連合会ホームページ、<https://www.jfpi.or.jp/greenprinting/>

協力団体・企業

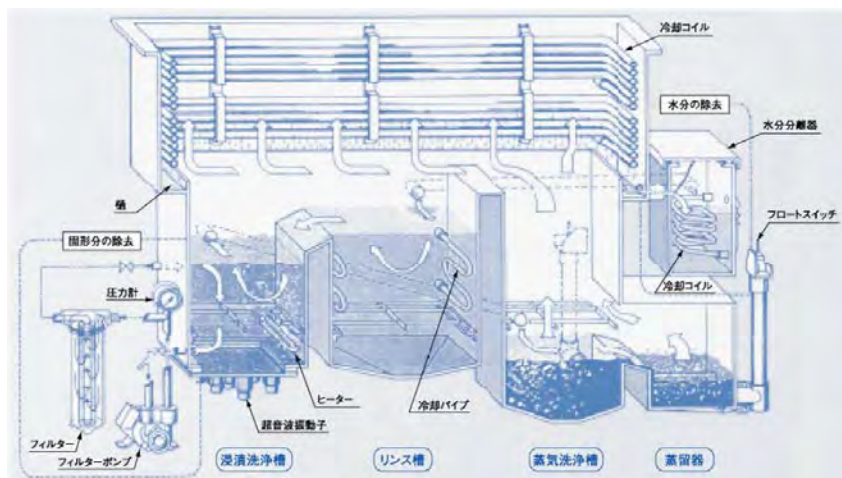
(一社)日本印刷産業連合会

## 事例 8 洗浄作業における蓋・カバーの設置

洗浄は金属加工における脱脂洗浄などに欠かせない処理工程である。洗浄剤は水を除けば溶剤が使用され、揮発性がないと洗浄機能を発揮できないのが特徴である。

### 1. 洗浄装置の構成

代表的な非引火性溶剤用の洗浄装置は付図 23 のような三槽式洗浄機である。浸漬洗浄槽、リンス(すすぎ)槽、蒸気洗浄槽から成る。蒸気洗浄は、洗浄溶剤を温めてベーパーを発生させ、その蒸気とワークの温度差で仕上げ洗浄する。その後ワークを冷却コイル付近まで持ち上げ、溶剤を冷却凝縮させ、回収する。



付図 23 代表的な形式である湿式開放型三槽式洗浄機

### 2. 産業洗浄における VOC 対策

洗浄作業における主な VOC 対策は付表 15 のようにまとめられている。自主的取組の中で比較的簡単に出来る対策として、蓋・カバーの設置、および冷却の適正化が挙げられる。

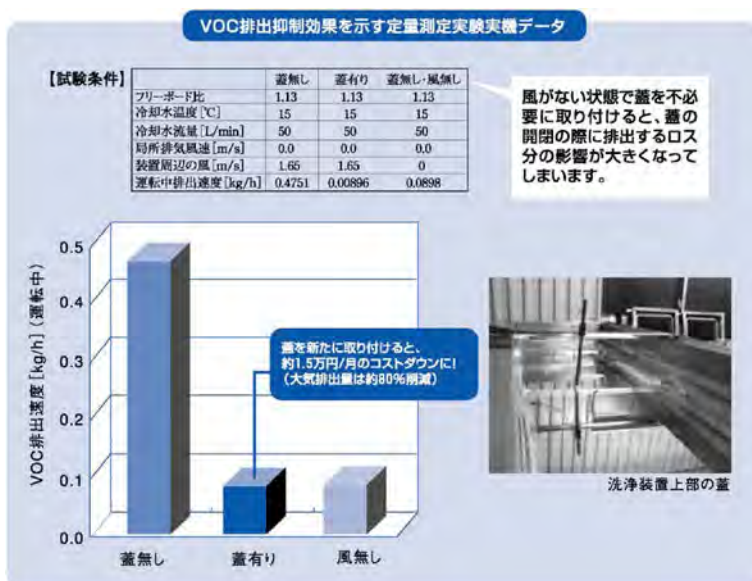
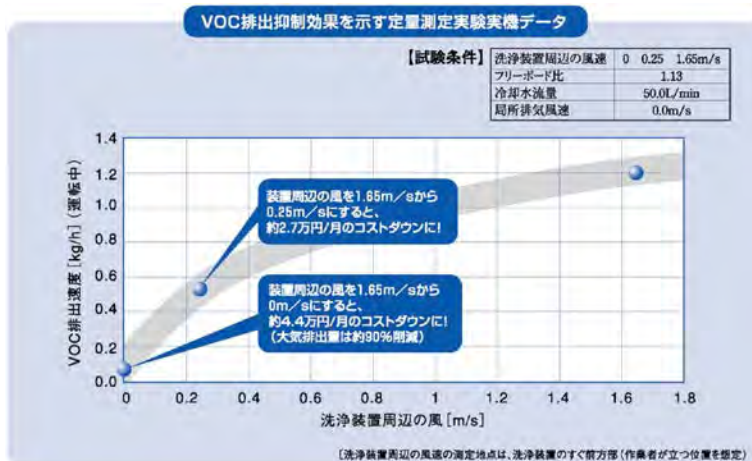
付表 15 産業洗浄における VOC 排出削減対策の一覧

対策の種類	具体的方法	VOC排出抑制効果 (注:特記な条件も確認のこと)	対策に必要な イニシャルコスト	コストダウン事例 (洗浄剤削減分)	
洗浄工程の改良	・起動、停止の手順	—	ゼロ	—	
	運転・操作の改善	・洗浄装置周辺の風の減少	約60~90% (モデル洗浄装置データp9参照)	10万円程度	2.7~4.4万円/月
		・ドゥエル方法の検討	約15~80% (モデル洗浄装置データp11参照)	ゼロ	0.2~1.8万円/月
		・被洗浄物による吐出量削減	約80% (モデル洗浄装置データp12参照)	1万円程度	1万円/月
	洗浄装置の改造	・局所排気方法の検討	約70~85% (モデル洗浄装置データp10参照)	0~100万円	2.2万円/月
		・蓋、カバーの設置	約80% (モデル洗浄装置データp13参照)	1~50万円	1.5万円/月
		・冷却効果の適正化	約10~30% (モデル洗浄装置データp14参照)	10~100万円	0.14万円/月
・フリーボード比の確保		約20% (モデル洗浄装置データp15参照)	100万円以下	0.1万円/月	
代替洗浄剤の導入	水系、準水系、炭化水素系、ハロゲン系(フッ素系、臭素系)などの洗浄剤	100% (但し、代替物質の排出は別)	数千円 (装置入れ)		
回収・再生装置の導入	・活性炭吸着法 ・圧縮深冷凝縮法	60~80%	数百万~ 2千万円		
装置の密閉化	・減圧蒸気洗浄システム ・密閉型洗浄装置	70~80%	数百万~ 2千万円		

### 3. 蓋、カバーの設置

揮発した洗浄剤は、冷却コイルで凝縮回収されるが、それでも一部は槽外に揮散する。従って、洗浄作業をしていない場合には、蓋やカバーをし、揮発を抑制することが有効である。無風状態よりも装置周辺に風がある場合、溶剤液面上の飽和蒸気が持ち去られることによりさらに蒸発が促進される。蓋、カバーの設置は溶剤液面に外乱気流が当たるのを防ぐ役割も果たす。外乱気流は、洗浄槽に局所排気装置を設けている場合、その吸い込みを阻害する要因にもなる。

脱脂性が高いトリクロロエチレンなどの洗浄剤を使う場合には樹脂製の蓋は適していない。金属(ステンレス)製の蓋が良い。



付図 24 蓋閉めによる効果の測定例

#### ◎密閉型の洗浄装置(参考)

密閉型の洗浄装置も開発されている。溶剤の揮散ロスは相当程度抑えられるが、装置導入の初期コストが掛かることと、蓋を閉めるなど開放型よりも1回のバッチ作業に作業時間を要するため、同一時間に処理できるワークの数が減少してしまう欠点がある。

#### 協力団体・企業

日本産業洗浄協議会

## 事例 9 冷却の適正化

### 1. 冷却水の冷却方法の特徴

洗浄装置の上面は、ワークの取り出しなどの作業性から一般には開放されている。かつてフロン類や1,1,1-トリクロロエタンなど安価な洗浄剤を用いていた時代には、高い冷却性能は求められていなかったが、洗浄溶剤の価格が上がったために、蒸発ロスを抑えたいことや、VOC 排出抑制が求められるようになってきた。そこで、冷却コイルを流れる冷却水温度の適正化を図ることが有効である。

かつては安価で性能の良い大型冷水器が無かったこともあり、地下水やクーリングタワーが利用されていたようである。現在、代表的な塩素系洗浄剤はトリクロロエチレン(沸点 89℃)とジクロロメタン(沸点 42℃)である。ジクロロメタンや、フッ素系洗浄剤のような低沸点溶剤では、クーリングタワーでは十分に冷却できない。

付表 16 洗浄装置の冷却水の冷却方法とその得失

	特徴	短所
地下水	<ul style="list-style-type: none"><li>・地域によっては安価に利用できる</li><li>・水道水よりは低温</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・温度コントロールには限界がある。</li><li>・使用水量の制限を受ける場合もある。</li></ul>
クーリングタワー	<ul style="list-style-type: none"><li>・比較的導入コストが安い。</li><li>・消費電力が少ない。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・最大で外気温 -5℃程度の冷却性能が限度である。</li><li>・夏場はよく冷えず、冬場は逆に冷えすぎる問題がある。</li><li>・水のミストが発生するため、屋内には設置できない。</li><li>・一定温度のコントロールはできない。</li></ul>
冷水器	<ul style="list-style-type: none"><li>・安定した冷却性能を得られる</li></ul>	

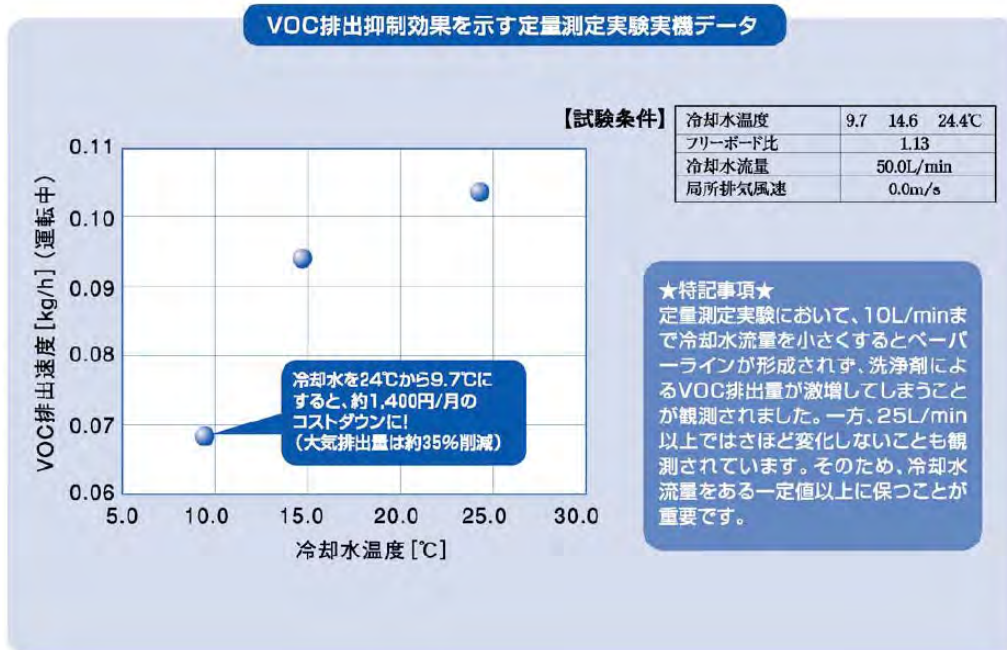
冷却水は低温ほど蒸発ロスが少ないが、冷えすぎると空気中の水分が結露し、洗浄剤に過剰な水分が混入する原因になる。10～15℃にするのが適当である。25℃の時の気化放散量を 1 とすると、10℃では 0.6 になる。

冷水器を導入すると、夜間連続運転や、年間を通じて安定した温度で運転することが可能である。洗浄装置の運転開始時には洗浄機のヒーターを ON にする 10～20 分前から冷却水を流し、洗浄装置停止後は 30 分後(液温低下後)に冷却水を停止することにより、立ち上げ、シャットダウン時の冷却効果が損なわれるのを防ぐことが出来る。

### 2. 冷水器導入に当たっての注意点

洗浄装置側の状況(発熱量等)によって冷水器の能力を検討する必要があり、設置場所などの面もあることから、クーリングタワーを冷水器に入れ替える場合は、洗浄装置メーカーに相談することが適切である。日本産業洗浄協議会のホームページの「洗浄相談」でも、技術的な相談を受け付けている。





付図 25 冷却水温度の改善効果の測定例

### 3. 冷却性能の評価計算例

冷却性能の評価計算の例を示す。必要な物性値を付表 17 に、運転パラメータを付表 18 に示す。

これらの値より、洗浄剤の凝集量と蒸発量がそれぞれ次式により求められる。凝集量 >> 蒸発量なら、冷却は良好である。

$$\begin{aligned} \text{冷却による洗浄剤の凝集量} &= \text{冷却水が吸収した熱量} \div \text{洗浄剤の蒸発エンタルピー} \\ &= (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \times Q_{\text{water}} \times C_w \div \Delta H_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{溶剤の蒸発量} &= \text{ヒーター供給熱量 (kJ/h)} \div \text{洗浄剤の蒸発エンタルピー} \\ &= W_{\text{heat}} \times 3600 \div \Delta H_m \end{aligned}$$

付表 17 物性値

物質	熱容量 (kJ/°C・kg)	蒸発エンタルピー (kJ/kg)
水	$C_w: 4.18$	$\Delta H_w: 2,259$
ジクロロメタン	$C_m: 1.20$	$\Delta H_m: 330$
トリクロロエチレン	$C_t: 0.93$	$\Delta H_t: 239$

付表 18 運転パラメータ

パラメータ	記号	備考
冷却水入口温度	$T_{\text{in}}$ (°C)	測定値
冷却水出口温度	$T_{\text{out}}$ (°C)	測定値
冷却水流量	$Q_{\text{water}}$ (kg/h)	チラー水量などから計算
ヒーター容量	$W_{\text{heat}}$ (kW)	装置仕様から確認



### 事例 8、事例 9 の参考資料

- 1) 産業洗浄における自主的取組マニュアル、環境省、2007 年 3 月  
(このマニュアルにおける数値、グラフは、洗浄剤としてジクロロメタン(メチレンクロライド、 $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )を使用した場合のデータである)
- 2) 産業洗浄現場における VOC 対策事例集、環境省、2008 年 3 月
- 3) 工業洗浄工程における VOC 排出抑制の事例、関東経済産業局 平成 30 年度 VOC 排出抑制セミナー、日本産業洗浄協議会・梅木義彦氏講演資料、平成 31 年 1 月 29 日
- 4) トコトンやさしい洗浄の本第 2 版、2017 年 11 月、B&T ブックス
- 5) 工業洗浄工程におけるトリクロロエチレン排出抑制の事例、新潟県トリクロロエチレン排出抑制セミナー、日本産業洗浄協議会・梅木義彦氏講演資料、平成 31 年 1 月 22 日
- 6) VOC 対策取組事例集—アドバイザー派遣事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き(平成 21 年度版)一、近畿経済産業局、平成 22 年 3 月
- 7) 産業洗浄協議会ホームページ(洗浄相談)、<http://www.jicc.org/consultation/index.html>

### 協力団体・企業

日本産業洗浄協議会

## 事例 10 スプレー製品における低 VOC 製品の動向

スプレー製品は主に日用品として多くの家庭用品で使われている。ポンプ構造の多様化や、新しいバルブの開発、圧縮ガスの使用は、主に製品の多様化や、品質保持の目的で開発されたものであるが、結果として VOC の排出削減に寄与する場合がある。

### 1. エアゾール製品

エアゾール製品とは、気化した液化ガスまたは圧縮ガスの圧力によって、内容物を容器の外に自力で霧状や泡状などにして放出させる製品である。噴射剤となる液化ガスとしては現在主に LPG(プロパン、ブタン)、DME(ジメチルエーテル)、HFO(ハイドロフルオロオレフィン)などが使われている。処方中に占めるガス量によって、概ね以下のように分類される。

付表 19 エアゾール製品の分類

種別	処方中のガス量	用途	製品の例
空間用 (霧)	ガス量 60～80%	広い空間、あるいは遠くまで噴射させる用途	殺虫剤、消臭剤
表面用 (霧)	ガス量 40～60%	霧状に噴射し塗布する用途	塗料、ヘアスプレー
泡	ガス量 5～10%	泡状に吐出する用途	泡製品(シェービングクリーム、ガラスクリーナー等)

#### (1) 容器の多様化

##### ①二重構造容器(バッグオンバルブ(BOV))

バルブに内容物(スプレー成分)の入ったパウチバッグが付いており、パウチの外側の噴射ガスの圧力によって吐出するタイプの製品(付図 26(1))。製品例として後発泡シェービングジェル、化粧水スプレーなど。品質保持に有効。噴射剤は窒素ガスが使用される。

##### ②使用直前に混合するタイプの製品

2本の容器を1つの噴霧治具に結合した構造で、噴射時に2つの成分が混合されて吐出するタイプの製品。例として染毛剤の染料が第1容器、酸化剤が第2容器のものなど(付図 26(2))。1本の容器に異なる2成分を収納し、噴射時に混合して吐出するものもある(付図 26(3))。いずれも噴射剤は窒素ガスが使用される。



(1) 二重構造容器  
(バッグオンバルブ)



(2) 直前混合タイプ  
(容器分離型)



(3) 直前混合タイプ  
(2 バッグ収納型)

付図 26 様々なタイプのエアゾール製品の容器構造

### ③容器の小型化

エアゾール製品の容器は圧力容器であり、ブリキまたはアルミ製が殆どを占める。容器の容量が100mL以下の小型容器の製品も増えている。容器の小型化により溶剤や液化ガスの削減を図る。小型化が進んだ代表的な製品例は、携帯用各種製品、定量型殺虫剤、芳香剤、などがある。

### (2) 低吐出量バルブの開発

バルブ構造の開発により、旧来の連続噴射式でなく、①定量吐出型バルブ(1回のプッシュで一定量を吐出)、②プッシュ式、③タイマー式などの製品が製造されている(付図 28)。

### (3) 圧縮ガスの利用

噴射剤として、可燃性の液化ガスでなく、窒素、二酸化炭素、空気、酸素などの圧縮ガスを使用した製品も作られている(付図 27)。圧縮ガスの場合、製品の終期には圧力が急激に低下するため、空間用途には向かない。



付図 28 定量型、タイマー式製品のイメージ  
出典:文献 1)



付図 27 圧縮ガスの利用

## 2. ポンプ式製品

高い吐出圧力(飛散距離)を必要とせず、粒子が粗くて良い場合には、ハンドスプレー、プッシュ式などのプラスチックボトルを利用したポンプ式の製品(エアゾール製品ではない)がある。ハンドルを握ったり、ボタンを押す時の空気の圧力で吐出する。製品例としては、浴槽の洗浄剤、化粧品などがある。



付図 29 ポンプ製品

出典:文献 1)

## 3. 摘要上の注意

- ・エアゾール製品の噴射剤は、フロンによる成層圏オゾン層破壊問題を契機に、1990年頃にフロンからLPGやDMEなどの可燃性ガスに置き換わった。このため、廃棄時の爆発事故への注意が必要である。
- ・液化ガス(LPGなど)を噴射剤とするエアゾール製品は液相と気相の平衡により、使用当初から最後まで噴射ガスの圧力が維持されるため、空間用途(飛散距離を必要とする殺虫剤など)には適している。圧縮ガス(N<sub>2</sub>など)を噴射剤とするエアゾール製品の場合には気体であるため、使用の終末期には吐出圧力が急激に落ちる性質があり、そのため初期充填圧力が高く設定されている。
- ・圧縮ガスを噴射剤とするエアゾール製品やポンプ製品の場合、噴射剤にはVOCを含まないが、スプレー成分にはVOCが含まれることがある。

### 事例 10 の参考資料

- 1) 身近な低VOC製品の選び方ガイドブック、東京都環境局、平成30年3月
- 2) スプレー製品の広報活動 安全・環境負荷低減の取組み、東京都環境局シンポジウム「光化学スモッグのない夏をみんなの手に!」、(一社)エアゾール協会講演資料、平成29年3月9日
- 3) (一社)日本エアゾール協会ホームページ、<https://www.aiaj.or.jp/index.html>

### 協力団体・企業

東京都、日本主婦連合会、(一社)日本エアゾール工業会

## その他の参考情報

### 【VOC 関連情報が充実したホームページ】

- 1) 環境省 <https://www.env.go.jp/air/osen/voc/voc.html>
- 2) 経済産業省 <https://www.meti.go.jp/policy/voc/index.html>
- 3) 東京都 VOC 対策アドバイザー派遣制度  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air\\_pollution/voc/index.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/voc/index.html)
- 4) 神奈川県 揮発性有機化合物 (VOC) の排出削減について  
<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/pf7/voc/index.html>
- 5) 埼玉県 埼玉県の VOC 対策、VOC 対策サポート事業  
<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0504/saitamavoc/index.html>
- 6) 千葉県 VOC (揮発性有機化合物) 対策、VOC 対策アドバイス制度  
<https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/voc/index.html>
- 7) 愛知県 VOC (揮発性有機化合物) の排出抑制対策、VOC 排出抑制の手引き、  
<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000022713.html>
- 8) 広島県 揮発性有機化合物 (VOC) 排出規制について、VOC 排出抑制ガイド  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/e-e1-voc-vocindex.html>
- 9) 川崎市 VOC 対策アドバイザー派遣制度について  
<http://www.city.kawasaki.jp/300/page/0000062800.html>
- 4) 日本産業洗浄協議会 <http://www.jicc.org/>
- 5) (一社) 産業環境管理協会 (VOC 自主的取組支援ボード)  
<http://www.jemai.or.jp/tech/about.html>

### 【VOC 対策技術、対策事例集】

- 1) 東京都 大気中微小粒子状物質検討会 報告書 資料編 3 対策事例調査、令和元年 7 月  
[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air\\_pollution/torikumi/pm2\\_5/pm2\\_5.html](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/torikumi/pm2_5/pm2_5.html)
- 2) 愛知県 塗装、印刷、接着、洗浄、ドライクリーニング、給油など各分野における VOC 対策技術の情報を紹介 (VOC 排出抑制に関するアンケート集計結果の参考資料)  
前編 <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13637.pdf>  
中編 <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13638.pdf>  
後編 <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/13639.pdf>
- 3) VOC 排出抑制の取組事例、中国経済産業局、平成 28 年 1 月 (セミナー資料の一部)  
[https://www.chugoku.meti.go.jp/topics/kankyo\\_recycle/pdf/160203/okayama4-1.pdf](https://www.chugoku.meti.go.jp/topics/kankyo_recycle/pdf/160203/okayama4-1.pdf)
- 4) VOC 対策事例集、関東経済産業局、平成 24 年 1 月
- 5) 今すぐできる！コストダウン・作業効率アップにつながる自主的取組、中部経済産業局、平成 22 年 3 月 <https://www.chubu.meti.go.jp/d22recycle/data/zireisyu104.pdf>
- 6) VOC 対策取組事例集～アドバイザー派遣事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き～ 平成 21 年度版、近畿経済産業局、平成 22 年 3 月 [http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H21voc\\_case.pdf](http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H21voc_case.pdf)
- 7) VOC 対策先進事例集～取組事例に学ぶ VOC 排出抑制の手引き～、近畿経済産業局、平成 19 年 3 月 [http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H19voc\\_case.pdf](http://www.ematec.or.jp/news/vocnet/H19voc_case.pdf)
- 8) 千葉県 揮発性有機化合物の排出抑制対策事例集 (Web 上の公表)  
<https://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/jirei.html>
- 9) 愛知県 VOC 排出抑制取組事例集 (平成 22 年作成、平成 25 年 2 月、平成 26 年 1 月に追加) (Web 上でも公表) <https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/0000036567.html>



### 【自主的取組の支援団体】

#### ①日本産業洗浄協議会 <http://www.jicc.org/>

日本産業洗浄協議会(産洗協)は、洗浄装置メーカー、洗浄剤メーカー、関連機材メーカー等からなる業界団体である。産業洗浄が、多くの業種にまたがって利用されることから、産洗協として自主的取組の自主行動計画等を取りまとめるのではなく、支援団体として活動している。

#### ②(一社)産業環境管理協会 <http://www.jemai.or.jp/tech/about.html>

業界団体に所属しない事業者が、自らの自主的取組の成果を経済産業省に報告できるよう、受け皿として「VOC 自主的取組支援ボード」を平成 19 年 10 月に開設した。同協会の豊富な経験を踏まえ、自主行動計画のまとめ方や、排出量報告のやり方など、自主的取組参加のための助言を受けることが出来る。

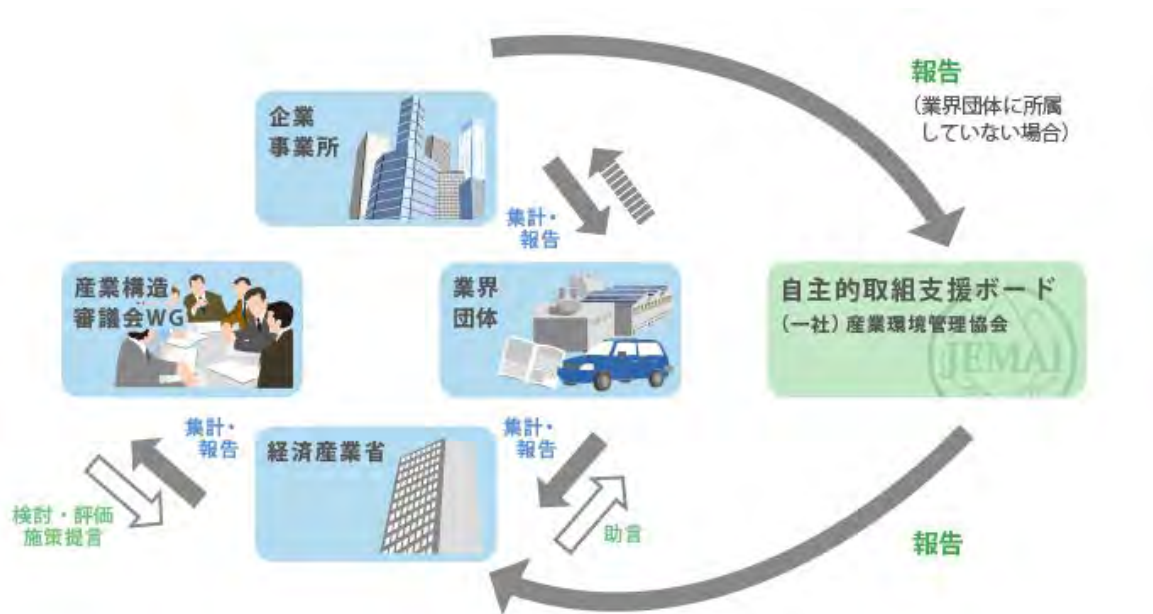


図 1 VOC 自主的取組支援ボードのしくみ

## おわりに

VOCの排出抑制のための自主的取組は、法+自主的取組で3割の削減目標を大きく上回る45%の削減実績を達成し、平成23年度以降も現状非悪化を前提に継続しています(図1)。VOCの大気中濃度は低下していますが、オキシダント濃度は一言で言えば「横ばい」という状況です(図2、図3)。

この広報資料では、改めて、VOC排出削減に自主的取組を通じてできるだけ簡単に取り組める対策手法を中心に整理しました。業界団体や企業へのヒアリングに基づき、具体的(図やイラストを多用)、定量的(メリット等の計算式を記載)、多角的(他の側面や導入時の考慮事項も記載)な記述に努めました。密閉化や資材の削減は、特定の業種に限らず、VOC排出事業者が広く活用しやすい対策手法です。収録した事例以外にも、対策技術や対策事例を紹介した情報源を整理しました。

本書が、VOC排出削減対策を検討する一助となれば幸いです。

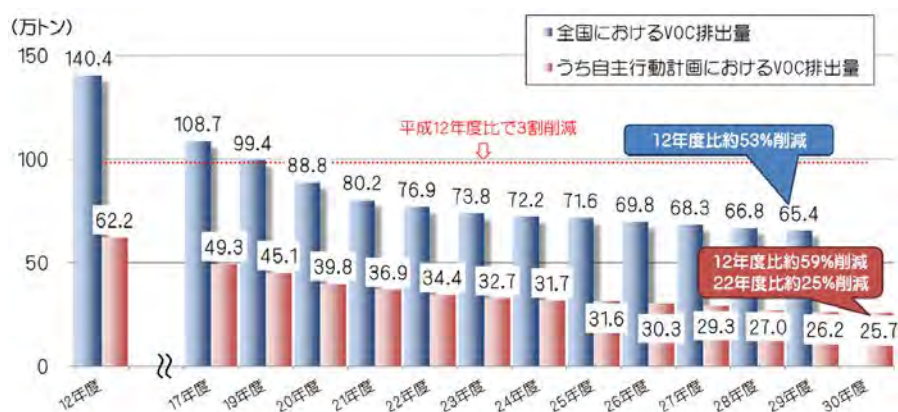


図1 VOCの排出削減状況(出所:文献1、2))

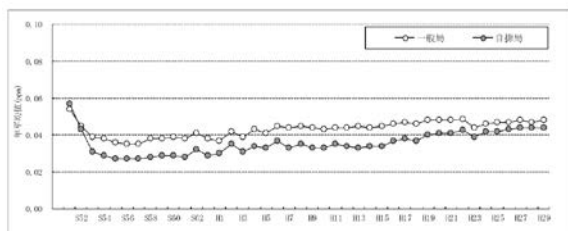


図2 光化学オキシダント濃度の推移(昼間の日最高1時間値の年平均値)(左図)(出所:文献3))

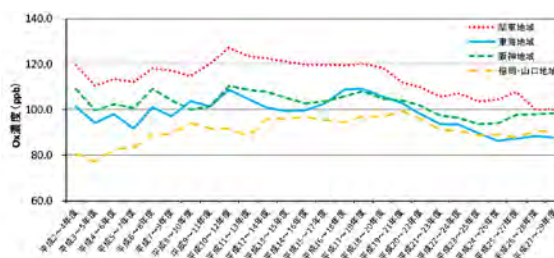


図3 光化学オキシダント濃度の推移(8時間値の日最高値の年間99パーセンタイル値(年間上位1%を特異的な値(外れ値)として除外した値)の3年平均値)(右図)(出所:文献3))

## 出典

- 1) 第8回産業構造審議会産業技術環境分科会 産業環境対策小委員会 資料2-1、令和2年2月  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo\\_gijutsu/sangyo\\_kankyo/008.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/008.html)
- 2) 揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリについて、環境省、平成31年3月  
<https://www.env.go.jp/air/air/osen/voc/H30-Main.pdf>
- 3) 平成29年度大気汚染状況について、環境省、平成31年3月  
<https://www.env.go.jp/press/106609.html>

令和元年度 VOC 排出削減のための取組事例について 令和 2 年 3 月

この広報資料は、経済産業省「令和元年度 VOC 排出削減効果の定量的評価に向けた検討等業務」の一環として(一社)産業環境管理協会が作成したものです。