水性リサイクル塗装システム

日比 進*・山内 正弘*

1. はじめに

大量生産、大量消費、大量廃棄型の経済システムの問題が取り上げられるようになった20世紀末から、21世紀にはいり、ようやく日本でもその対策が実施されつつある。生産から流通、消費、廃棄にいたるまでの物質の効率的な利用とリサイクルを進めることにより、資源の消費を抑制し環境への負荷が少ない「循環型社会の形成」を目的とした廃棄物処理法や資源有効利用促進法といったいわゆるリサイクル法が改正および新規制定された。

化学工業分野においてもここ数年環境をキーワードとした商品開発が進められている。塗料業界でも大気汚染の問題から有機溶剤の含有量が少ない水性塗料、粉体塗料の検討が行われるようになり、自動車、家電、鋼製家具、住宅建材などの工業塗装分野において実用化が進んでいる。

しかしながら、塗装において水性塗料を使用することで大気へ揮散される有機溶剤量は軽減できるものの、塗装工程で発生する被塗物に付着しなかった塗料（廃塗料）や廃水は廃棄物として新たに発生する。廃塗料は産業廃棄物として埋め立て処理される場合には土壤汚染の原因となり、焼却される場合には有害物質や二酸化炭素の大気中への放出につながる。一方、廃水についても水質汚染の原因となる。いずれにしても、塗料を塗装する場合には環境に負荷を与えているのが現状である。

通常、エアースプレー等で塗料をこまかい粒子に霧化して目的の被塗物に有効に塗布される塗料の割合は塗装ガンの種類や被塗物の形状により異なるが一般的には約30～70％程度である。換言すれば約70％～30％の塗料を廃棄物として処分しており、塗料を購入している立場からすると環境と経済的負荷が同時に発生していることになる。

こうした塗装状況に対して、環境面と経済面の両立をはかることができるのが「水性リサイクル塗装システム（RWBシステム）」であり、被塗物に塗着しなかった水性塗料をブース循環水に捕集し、そのブース水を限外ろ過（UF）装置を用いて塗料と水に分離し、回収した塗料は同じ塗料として使用し水も再びブース循環水として利用できる環境にやさしく、塗料の無駄がない塗装システムである。

従来のRWBシステムは一つの塗装ブースで1色の塗料のみ回収したブース水をブースに近接して設置した濃縮装置で濃縮して再利用するものであったが、今回新たに塗装ラインの塗料使用状況に応じた2つのシステムを紹介する。

一つは同一ブースで複数色の塗料を混合回収して再利用する多色対応型RWBシステムであり、もう一つは二つ以上のブースから集められたブース水を一つの濃縮装置でまとめて濃縮して再利用する多ブース1濃縮RWBシステムである。

2. リサイクル塗装システムの概要

図-1にRWB（Recycle Water Borne）システムの概念図を示す。本システムは、スプレー塗装において被塗物に塗着しなかった塗料ミストをブース水循環水に捕集する「塗料ミスト捕集ブース」と、捕集する塗料ミストをブース水に溶解しやすくするための「ブース水の組成調整」、塗料ミストを含有したブース水をUF装置を用いてブース水と再生塗料に分離する「濃縮ユニット」、およびこのシステムに適合した「リサイクル用塗料」からなる。

まず最初に、1)水性塗料は塗装ガンでスプレー塗装され、被塗物に塗着しなかった塗料ミストはウォーターカーテン部でブース水に捕集される。2)捕集された塗料ミスト量が増加し一定の塗料濃度に達したブース水は濃縮槽に移送される。3)濃縮槽の塗料ミストを含有したブース水はUF装置を用いてろ液と塗料に分離・濃縮される。4)UF装置を用いて分離されたろ液はブース水や洗浄水として、回収された塗料は再生塗料として再利用される。このようにRWBシステムは、従来廃棄物処理していた塗料ミストを塗料としてインラインで再利用できるシステムである。

さらに、RWBシステムの各構成ユニットの設計のポイントは以下のとおりである。

- 1) 塗装ブース構造に関しては、塗料ミストのブース水への捕集効率が高いこと、ブース水に溶け込んだ塗料が沈降しないようかくはんされないデッドスペースがないこと、水はね・泡立ちがないことを考慮した設計が必要となる。
- 2) UF装置に関しては、回収した塗料の粘度が塗装粘度以上になるまで効率よく分離ろ過できる膜の選定とそのUF膜本数の最適化が必要となる。
- 3) ブース水の組成調整に関しては、スプレー塗装された際の塗料ミストは塗料成分の一部が揮発しブース水に溶けにくくなるため、ブース水にあらかじめアミンおよび親水性溶剤を添加しその溶解性を高める必要があり、さらにブースでの蒸発など

平成14.11.7受理

Water-Borne Recycling System

Susumu Hibi and Masahiro YAMAUCHI

*日本ペイント株式会社自動車塗料事業本部第1開発部
大阪府寝屋川市池田中町19-17（〒572-8501）

Fig. 1 Requirements of RWB system

Fig. 2 Mechanism of paint concentration by Ultra Filtration (UF)

A Spiral Type UF Membrane Model

Fig. 3 Structure of ultra filtration unit

による pH および溶剤濃度変動を適正領域に管理する必要がある。また水の蒸発に対してもブース水とろ液のトータル液量が常に一定となるような管理を行う。

4) 塗料に関しては、ブース水に無限希釈された状態であっても安定であること、pH および溶剤濃度変動に対しても安定であること、濃度変化に対して安定であることといったこれらリサイクル適性を満足する塗料設計が必要となる。

3. UF 膜による濃縮の仕組みと膜構造

塗料希釈液を限外ろ過濃縮する際の仕組みを図-2 に示す。水性塗料の主要構成成分は水、樹脂、顔料、親水性溶剤であるが、

この塗料希釈液を UF 膜表面に一定加圧、所定流量以上で通過させることで水および水に溶解する成分はろ液として分離され、その他の樹脂、顔料等はろ別されずに通過する。希釈液は所定の濃度になるまでこの濃縮を繰り返す。さらに UF 膜としては図-3 に示すスパイラル膜と呼ばれる構造をした膜を使用することで、低濃度から高濃度まで効率よく濃縮することが可能となる。

4. リサイクル用水性塗料の設計

本システムに適合した塗料設計の詳細についてはすでにくつが投稿されており、ここでは簡単な説明にとどめる。

塗料タイプはその硬化系より強制乾燥型（酸化硬化）と焼付け

Fig. 4 Outline in multi-color paints recycling system using the same booth

乾燥型（アルキド/メラミン硬化）塗料があり，リサイクル塗装システムの概要のところでも少し述べたように，一般の吹き捨て水性塗料以上に塗料希釈液での水和安定性が要求される。このリサイクル適性は塗料構成成分（樹脂・顔料・添加剤等）をより親水性にすることで向上するが，硬化塗膜となった時の耐水性能と背反する。したがって，リサイクル用塗料を設計する場合はこのリサイクル適性と塗膜性能の両立が課題となる^{1,2)}。

5. 多色対応型 RWB システム

従来の RWB システムは一つのブースおよび濃縮装置を用いて 1 色のみの塗料を回収再利用するシステムであったが，同じブースで 2 色以上の塗色を塗装されるケースもある。そのような塗装ラインに RWB システムを導入するためには，塗色ごとに塗装ブースと濃縮装置を設ける必要があるが，実際には同一ラインに複数の塗装ブースと濃縮装置を設置するのはスペースや投資コストの制約から困難である。

同一ブースで複数色の塗料ミストを再利用するためには，図-4 に示すように塗色ごとの塗料ミストの回収と濃縮が基本的には必要となる。しかしこの場合，少量であるが塗色ごとに回収したブース水に他の塗料ミストが混入するため，濃縮・再生した塗料の色は使用したい塗色とは一致しなくなる。このため再生塗料をいかに目的の塗色に再調色するかが課題となる。

そこで，同一ブースで複数色の塗料ミストを効率よく回収・再生するために塗色を構成原色およびその比率によりグループ化し，グループごとの塗料ミストを混合回収し，再生塗料を目的の塗色として再利用する検討を行った。

5.1 塗色のグループ化

複数の塗色が混合回収された再生塗料の調色精度を向上させるために導入された手法が塗色のグループ化である。使用する塗色を構成原色種が同一となるように分類（グループ化）することにより，そのグループ内の塗色は構成原色の比率が異なる塗料となる。この塗料は必要な原色を加えて原色構成比率を調整することで同一グループ内の塗色に自由に再調色が可能となる。

通常，塗色ごとに濃縮装置が必要であるが，設備コストの低減・省スペース化を考慮して，濃縮装置を 2 つにして多色対応の検討を行った。

今回検討した塗色の原色構成とグループ化の例を図-5 に示した。濃縮装置を二つに設定したため，塗色も二つのグループに分類した。ここではホワイトの原色構成比が 95% 以上の淡彩色 4 色と，それ以外の濃彩色 3 色に分類した。

グループ 1（淡彩色）とグループ 2（濃彩色）をそれぞれグループの塗色を混合塗料ミストとして回収し，濃縮再生してコンピューターカラーマッチング（CCM）にて再調色を行った場合と，すべての塗色をグループ化せずの一つに合わせて混合回収し，濃縮再生して CCM にて再調色を試みた（図-6）。

二つのグループに分けて塗料ミストを回収し濃縮再生した塗料において，原色の赤と青を除いたグループ 1 は，再調色精度が上がり，同一グループ内に属する塗色への再調色が $\Delta E < 0.3$ で可能となった。グループ 2 の濃彩色グループは，ブラックあるいはほかの塗色に調色が可能となり，再生塗料を有効に使用できる。

グループ化せずに全塗色が混ざって回収された場合，グループ 1 の塗色に対しては不要な原色も混入されるために，分光分布が違ってもかかわらず特定の観測条件により等しい色に見えてしまうメタメリ感などを生じ，再調色を行っても $\Delta E > 0.5$ となり調色精度が低くなった。また，ブラックへ調色は可能であるが，生成する再調色塗料量と実際の塗装ラインで使用されるその塗色の使用量とのバランスがとれずにシステムが成立しない。

また，多色 RWB システムのグループ化の一例を図-7 に示した。この場合，つやの有無，淡彩色と濃彩色，マット調などの意匠性材料の有無によるグループ化とした。なお，意匠性材料を用いている場合は，その材料がフィルターなどによりブース水から除去できるかどうかで分類は変わってくる。

このグループ化によって，ブース水の切り替え，すなわちブース洗浄をともなった色替えが必要となるのは，異なるグループへの色替えの場合のみであり，同一グループ塗色内での色替えにおいてはブース水の切り替えは不要となり，従来の吹き捨て型スプレーと同様に短時間で可能となる。

ただし，他のグループの塗色を塗装する場合はブース水にそれ以外の塗色が混入しないようにしなければならない。たんにブース水を入れ替えるだけでは配管に残った他のブース水が混入したり，ブースの壁面などに付着した他の塗色の塗料が混入する。

そのため，ブースの洗浄等を効率よく実施できる設備上の工夫

Primary Color	Black	Light Blue	Light Brown	Light Gray	Pale Gray	Light Beige	Cream
Blue	0	17.1	0	0	0	0	0
Red	3.4	0	1	0	0	0	0
Yellow	14.7	0.6	6.3	1.8	1.2	1.3	0.2
Black	35.5	1.4	1.8	1	0.5	0.3	0
White	46.4	80.9	90.9	97.2	98.3	98.4	99.8

Fig. 5 Primary color content and color grouping of various colors for multi-color RWB system

Fig. 6 Result of color grouping for multi-color RWB system

Fig. 7 Color grouping for multi-color RWB system

Fig. 8 System washing flow at changing color group

が重要となる。

5.2 多色化のための設備工夫

同一ブース内でブース水を入れ替え（切り替え）て、複数の塗色グループの塗装を可能とするためには異なった塗色グループのブース水の混入をできるだけ少なくする必要がある。異なった塗色グループの混入を少なくするためには、ブースの洗浄が必須となる。

多色 RWB システムで今回採用したウォーターカーテンブースは、これまでと同様スクラバー構造のためカーテンの裏面（ブース裏面）に塗料ミストやブース水が付着する。このためブース裏面も積極的な洗浄が必要であり、短時間で効率よくブース全体を洗浄できるシステムの検討を行った。

この洗浄は塗色グループが異なる塗料を塗装する場合のみに必要であり、同じ塗色グループの場合は必要がない。

図-8 に今回検討したグループ間での色替えシステムを示す。淡彩色グループの塗装が終了すればブース内のウォーターカーテンをろ液洗浄する（Step 1）。つぎにブース裏面の洗浄をブース水およびろ液で実施する。通常、ブース裏面はウォーターカーテン面にくらべ汚れが落ちにくく多量の洗浄水が必要となるため、ブース水で予備洗浄した後（Step 2）に、ろ液ですすぎ洗浄（Step 3）する。その後、ブース水を濃彩色グループ用ブース水と入れ替え、濃彩色グループの塗料を塗装する。濃彩色グループの塗色から淡彩色グループの塗色への塗装変更の場合も同様の工程で洗浄、ブース水の入替えを行う。

この洗浄システムを用いることで、異グループ塗色間でのブース水の混入が低減でき、回収再生した塗料の再調色が精度よく行えるようになった。塗料の適正なグループ化とブースの洗浄方法の工夫により、同一ブースで色替えが可能な多色対応型 RWB システムが完成した³⁻⁵⁾。

6. 多ブース 1 濃縮 RWB システム

同じ塗色の塗料を使用した塗装ラインが工場内に二つ以上ある場合に、これまでの一つの塗装ブースの近傍に一つの濃縮装置を設置していたのでは、やはりスペースおよび投資コストの観点から経済的ではない。

そこで、塗装ラインごとにブースは必要となるものの、濃縮装置を一つにするシステムの検討を行った。具体的には実際にライン導入したケースとして三つのブースに一つの濃縮装置を設置する 3 ライン 1 濃縮システム（図-9）として示す⁵⁾。

この場合の前提条件として、濃縮タンクの最大容量=3 ブース分のトータル液量、また同じ敷地内の塗装ブースであるためブースから濃縮装置までの液移送は配管でつなぐ方式を採用した。

このシステムの設計のポイントは以下の通りである。

- 1) 各槽の最適液容量およびトータルろ液量の確保
 - ① ブース水の入替え頻度（塗装された被塗物数とそのブース水中の塗料固形分濃度の関係より入れ替え可能な塗料濃度（NV=15%前後）になるまでの塗装日数を推定）
 - ② 濃縮頻度（本システムを使用するユーザーの要望により設定、たとえば1週間に1回）
 - ③ 1回の濃縮に要する時間
- ①～③を考慮し、ブース水がストックタンクへ移送されるすべてのケースにおいて、濃縮完了するまでに貯蔵すべきブース水液量とその間必要なろ液量をシミュレーションし、ろ液量の不足が生じない最適容量を設定する。
- 2) ブース水の蒸発に対する水補正

個々の塗装ブースの塗装環境が必ずしも同じでない場合にはブース水中の水の蒸発量はブースごとに異なる。ブース水の液量が少なく溶剤濃度が高いまま各ブース水を混合しては前述した溶剤濃度が所定値に管理できなくなるため、ストックタンクに

Fig. 9 Tree booth-one concentration unit RWB system

て混合される前に各ブース水への水補正が必要となる。

3) 配管内の顔料沈降

ブースから約 100 m 離れた濃縮装置まで配管でつないだ場合、配管内に残った塗料希釈液は静置されるため顔料沈降による配管閉塞が懸念される。そのため所定濃度になったブース水をポンプでストックタンクへ移送した後、所定量のろ液による配管残液の押出しを実施することで、配管内残液の塗料濃度をできるだけ低く抑える必要がある。

以上のことから、三つのブース水をまとめて一度に濃縮することが可能となった。

また、この多ブース 1 濃縮システムの将来系としてブースから濃縮装置までの液移送は配管接続ではなく、たとえばコンテナ置換による液移送にすることで他工場の同一塗料希釈液であれば特定の濃縮装置まで運搬すれば再生塗料が得られることになり、ますます効率的な濃縮システムが構築できる。

7. RWB システムの効果

スプレーによる吹き捨て塗装していたラインに RWB システムを導入した効果として、システム導入前後の塗料使用量の比較を行った (図-10)。

鋼製家具ラインに適用した焼付け型塗料および自動車部品ラインに適用した強制乾燥型塗料、いずれも塗料の使用量は RWB システムを導入する前の半分以下に減少している。

このように吹き捨て塗装ラインのうち、とくに被塗物への塗着効率がわるいラインあるいは塗料使用量の多いラインに対して、廃棄物および塗料使用量の削減による環境と経済性の両立が高位に達成できるシステムであることがわかる。

Paint type	Baking finish type	Forced dry type
Object	Rack	Automotive parts
Amount of used paint (tonnes/year)	<div> <div>Current: 40</div> <div>RWB: 18</div> </div>	<div> <div>Current: 15</div> <div>RWB: 7.5</div> </div>

Fig. 10 Effects of RWB system

8. おわりに

21 世紀に入って環境保護、資源保護につながる循環型社会形成への取り組みが始まり、そのシステムが構築されつつある。

各企業は、今後も継続して環境配慮型商品を開発することで環境負荷の低減に少しでも貢献する必要がある。RWB システムは工業塗装分野に限られるものの、その機能については前述した通りである。本システムがより多くの塗装ラインに導入されるために、簡易設備の採用や販売方式の変更等による初期設備投資コストの低減を提案するとともに、また新たな用途として塗料の使用量が格段に多い中塗り塗料などの自動車ボディ塗装に適した RWB システムの開発を進めている。

文 献

- 1) 上野山一夫：塗装工学, **31**, 69 (1996).
- 2) 日比 進：塗装工学, **33**, 362 (1998).
- 3) 山内正弘, 末吉純一：テクノコスモス, **14**, 8 (2001).
- 4) 山内正弘：塗装工学, **37**, 119 (2002).
- 5) M. Yamauchi, K. Uenoyama, S. Hibi, J. Sueyoshi : 75 th JSCM Anniversary Conference 要旨集, p. 118 (2002).