

論文・解説

19

高効率な多品種変量塗装システムの開発

Development of a Highly Effective Painting System of Many Colors in Variable Quantities

寺本浩司^{*1} 世良和也^{*2} 末次道久^{*3}

Kouji Teramoto

Kazuya Sera

Michihisa Suetsugu

要約

近年、自動車塗装の分野では、VOC排出量低減とコスト削減のために塗料使用量を削減することが重要課題となっている。一方、市場ニーズの多様化に対応できるフレキシブルな多色少量生産に対応するため、塗色の切り替え時に発生する塗料ロス（以下、カラーチェンジロス）は増加している。

従来から、カラーチェンジロスに対して様々な対策を実施してきたが、抜本的な解決には至っていない。

本稿では、カラーチェンジロスが少ないが、初期投資とランニングコストが増加するというカートリッジ式塗装システムの課題を解決し、高効率な多色変量塗装システムとしてバンパ塗装工場へ導入したので紹介する。

Summary

Recently, reducing paint usage to reduce VOC exhaust and cost becomes an important task in auto painting area. However, to correspond flexible production that is producing of a wide variety of colors in small volume which is market demand, paint loss (color change loss) occurred when changing paint color has tendency of increasing.

Many countermeasures have been taken to improve color change loss, however, drastic measure has not been achieved.

In this report, we would like to introduce implementation of cartridge paint system as high efficiency multi-color variable-volume system, after solving issue of high initial investment and running cost.

1. はじめに

自動車の塗装ラインには数十台の塗装ロボットが導入され、ラインを流れる生産車種に応じて20～30色の塗色を自動でカラーチェンジしながら塗り分けている。カラーチェンジを行う毎に、塗料経路内の塗料を入れ替える必要性から塗料と洗浄シンナの排出が繰り返される。これをカラーチェンジロスと呼んでいる。

カラーチェンジロスは、コストアップだけではなく、塗料や洗浄シンナに含まれるトルエンやキシレンなどの揮発性有機溶剤であるVOC (Volatile Organic Compounds) の排出により大気汚染に繋がる。

一方、市場ニーズの多様化による多色化や受注～配車リードタイム短縮に向けたオーダ順序生産にフレキシブルに対応するため、カラーチェンジロスは益々拡大している。これまでも塗料経路の短縮や洗浄性向上により、塗料や洗浄シンナのロス削減を行ってきたが、抜本的な解決には至っていない。

今回、カラーチェンジ方式が従来とは全く異なるカートリッジ式塗装機に着目し、カラーチェンジロス削減メリットの拡大と初期投資やランニングコスト等の課題解決によって、高効率な多色変量塗装システムを開発したので紹介する。

*1, 2 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

*3 第2車両製造部
Vehicle Production Dept. No.2

2. 現状の問題点と開発アプローチ

2.1 従来システムの問題点

従来のカラーチェンジ方式 (Fig.1) は、塗装したい塗料を選択するCCV (Color Change Valve) ~ 塗装機の吐出ノズルまでの塗料経路について、以下の一連の動作により塗料を入れ替える方式である。

- ① 前色の塗料排出
- ② 塗料経路の洗浄
- ③ 次色の充填 (吐出ノズルより一部排出)

バンパ塗装においては、①、③で塗料を71cc/台ロスし、②で洗浄用シンナを114cc/台ロスする。

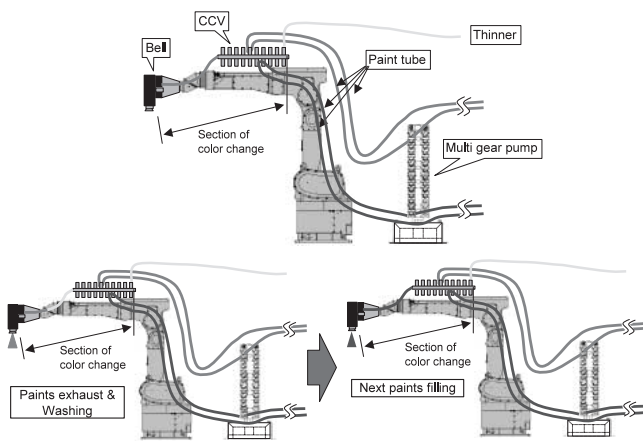


Fig.1 Conventional Method of Color Change

2.2 カラーチェンジ方式の選択

カラーチェンジロスの削減には以下のアプローチがある。

- ① カラーチェンジ回数 (頻度) を減らす
- ② カラーチェンジ1回あたりのロス量を減らす

- ・ 塗料経路の容積縮小
- ・ 洗浄性向上による洗浄シンナ削減

上記①を実現するには、カラーロット生産など生産順序への規制が必要となり、本来の趣旨から外れる。また②については、従来システムを前提とした場合、改善による効果が頭打ちの状態である。カラーチェンジロスを抜本的に削減していくためには、塗装システムの全面的な見直しにより②を対策していくことが必要と考えた。

塗装システムの見直しは、実績ある塗装機の要素技術や構成機器を活用しながら、アプリケーション開発に注力し、システムとして最適化を図るアプローチを採った。

開発のベースとなる塗装機を選定した結果、カラーチェンジロスが少ない基本特性を有するカートリッジ式を選択し、単色カートリッジとフラッシュブルカートリッジの組み合わせの最適化を図り、展開スペースやランニングコストなどの課題を解決することにした (Table 1)。

Table 1 Comparison of Color Change Method

Kind of color change method	Color change loss		Stability of quality	Initial cost	Maintenance cost	Space efficiency
	Paints	Thinner				
① Multi gear pump + CCV (Conventional system)	△	○	◎	○	○	○
② Multi feed	○	○	○	○	○	○
③ Exchange of gun	○	○	○	△	△	△
④ Gun with a paint tank internally	△	△	◎	○	△	○
Cartridge	⑤ Single color cartridges	◎	○	◎	△	△
	⑥ Cartridges that can be changed color	△	△	◎	◎	△

2.3 カートリッジ式塗装機の特徴

カートリッジ式の構成機器を以下に示す (Fig.2)。

- ・ 塗装機
 - ・ カートリッジ (単色タイプ, フラッシュブルタイプ)
 - ・ 吐出量制御装置
 - ・ ハンドラ
 - ・ カートリッジステーション (塗料充填及び洗浄装置)
- カートリッジ式のカラーチェンジは、カートリッジステーションにおいてカートリッジに塗料を充填し、ハンドラによって塗装機のカートリッジを交換することでカラーチェンジを行う。また、塗装後に余った塗料は塗料配管に戻すことでロスが出ないという特徴がある (ただし、塗装機先端のベルカップの洗浄は必要)。また、カラーチェンジができるフラッシュブルカートリッジもあるが、内部を洗浄して塗色の入れ替えを行うため、ロスは避けられない。

カートリッジの内部はピストン構造になっており、吐出量制御装置から圧送されるDCL (Delivery Control Liquid) によってピストンを押し下げ、塗料の吐出を行う。

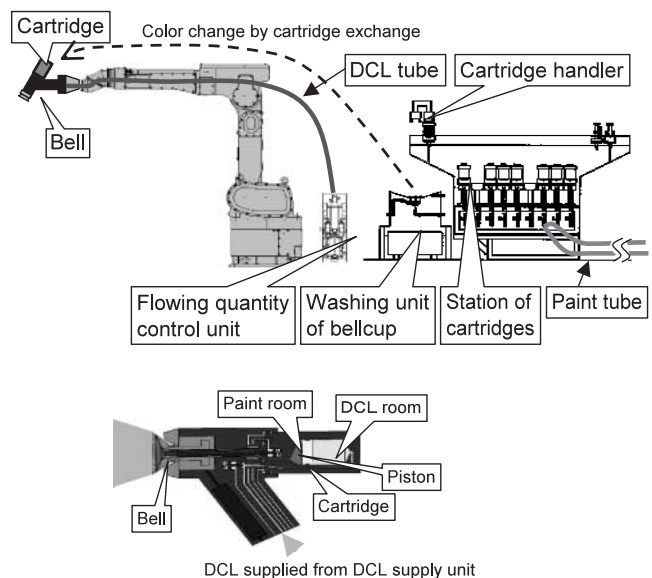


Fig.2 Cartridge Paint System

2.4 開発の目標と課題

新たに開発する塗装システムにおけるカラーチェンジロスの目標値は、従来システムを前提にカラーロット生産を行った場合と同等を狙い、以下のように設定した。

- ・ロスコスト 70%
- ・VOC排出量 33%

実ラインへの導入及び開発目標を達成するためには、カートリッジ式が抱える下記の課題を解決する必要がある。

(1) 省スペース化

生産塗色数だけの単色カートリッジを準備すれば、ロスはなくなる。ただし、同じ塗色を連続して塗装するケースに対応するには2本/色のカートリッジが必要であり、塗色が20色のラインでは40本のカートリッジが必要になる。単色カートリッジのみの構成では2.1m²の展開スペースが必要になり既存ラインに収まらない。

(2) フラッシュャブルカートリッジのロス削減

フラッシュャブルカートリッジはカラーチェンジが可能のため、カートリッジ数の削減に有効である。しかし、その構造上、塗料経路の容積が大きくカラーチェンジロスが大きい(従来システム比の約2倍)。フラッシュャブルカートリッジのメリットを拡大するためには、ロス削減が必要である。

(3) 品質保証機能の織り込み

塗装品質は、塗装を乾燥させてからでないと判断できないものが多く、設備の異常等が起こると多発性不具合に繋がる。従来システムでは、設備の異常を検出してラインを停止させる仕組みを構築・熟成してきた。これらの仕組みを機構の異なる新システムにも織り込む必要がある。

(4) 極少量色に対するフレキシビリティ向上

従来システムでは、カラーチェンジロスの増大や現場の運用が複雑になるため、生産量の少ない塗色や塗料配管数を超えた塗色数は生産できない。今回、カラーチェンジロスが少ないカートリッジ式のメリットに加え、現場の運用を簡易化する仕組みを織り込むことで少量生産を可能にする。

(5) ランニングコスト削減

カートリッジ式は構成部品が多く、塗装品質を維持するためのメンテナンスコストが増加する。特に、カートリッジは、内部に蓄積する塗料粕が原因となるブツ不良等の品質不具合を予防するために、1回/月の分解洗浄が求められた。ランニングコスト削減のためには、メンテナンスコストを削減できる機能開発が必要である。

3. 開発内容

3.1 省スペース化

カラーチェンジロスと省スペース化を両立させるためには、カートリッジの総数を少なく抑えながら、ロスのない単色カートリッジの使用頻度を高め、逆にフラッシュャブル

カートリッジの使用頻度を下げる必要がある。

生産比率の高い大量色は、単色カートリッジを2本持ち、生産比率が少ない少量色はフラッシュャブルカートリッジに割り当てる構成が一般的である。しかし、目標のロス削減を達成するためには、フラッシュャブルカートリッジに廻せる塗色は20%~30%に限られ、単色カートリッジの数を減らすことができない。そこで、生産比率が1%~3%程度の中量色に対して、単色カートリッジ1本持ちを基本として同色が連続するケースをフラッシュャブルカートリッジでバックアップするという方式を加えた(Fig.3)。これにより、単色カートリッジ数及び占有面積を約60%削減でき、実ラインにレイアウト可能なサイズとなった。

実際のラインでは、塗色の変更、生産比率の変動が起こる。最少のカラーチェンジロスを生産現場で維持・管理できるように、塗色とカートリッジタイプの割付をパソコン画面での設定変更と塗料経路の小変更のみで容易に行えるように工夫した。限られたカートリッジ数の中で、ロスを最小化できる塗色とカートリッジの構成は、離散系シミュレーションのソルバなどの最適化ツールを用いて容易に求めることができ、効率の維持を可能とした。

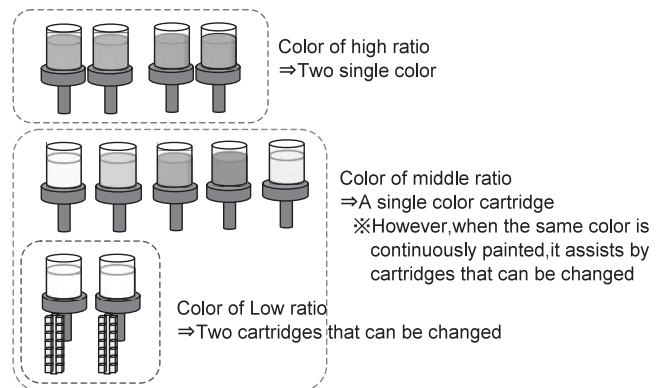


Fig.3 Constitution of Cartridges

3.2 フラッシュャブルカートリッジのロス削減

フラッシュャブルカートリッジのカラーチェンジロスの内訳は以下となっている。特に①はフラッシュャブルカートリッジ特有のロスであり、対策が必要である。

- ① 塗装後にカートリッジ内部に残る塗料の排出 (75%)
- ② カートリッジ内部の洗浄 (23%)
- ③ 次色の充填時の塗料抜き (2%)

①のロスを削減するには、「残塗料を塗料配管に戻す」、「塗装後にカートリッジ内部に塗料が残らないようにする」というふたつの考え方がある。

前者では、残塗料を塗料配管に戻す際に装置異常やオペレーションミスにより他色が塗料配管に混入して変色するリスクがある。また、残った塗料を塗料配管に戻す時間も無駄である。よって、後者の考えに基づき、充填中の塗料流量をリアルタイムで計測しながら、必要な量に達した時

点で充填を停止する「指定量充填機構」を新たに開発した。

塗料の流量計測は、塗料流量を直接測るのではなく、塗料充填によりカートリッジのピストンから押し出されるDCL流量を測る方式とした。DCL経路は各カートリッジステーションに繋がっているため、DCL経路上に流量計を1個だけ設けることで全カートリッジの充填量測定が可能になる (Fig.4)。これにより、カートリッジ毎に流量計を持つ必要がなくなり低コスト化できた。また、流量計の選定に当たっては、塗料の密度や粘度に差があっても安定した流量精度が得られるように、機械ギヤ式を採用した。

一方、充填量の目標値となる塗料使用量の精度も重要である。塗料使用量は、車種×塗色毎に異なる値をとるため、新車導入時や塗装ロボットティーチング修正時に、データの採取や変更管理に多大な工数がかかる。今回、吐出量制御装置から送り出すDCL量 (= 塗料使用量) をサーボモータの回転情報から算出し、車種×塗色情報と関連付けて次回の塗料充填にフィードバックする機能を付加し、塗料使用量の精度向上と維持を両立した (Fig.5)。

3.3 品質保証機能の織り込み

(1) カートリッジへの塗料充填、内部洗浄の保証

各カートリッジは、塗料の充填や内部の洗浄を行うためにカートリッジステーションにドッキング (着座) する必

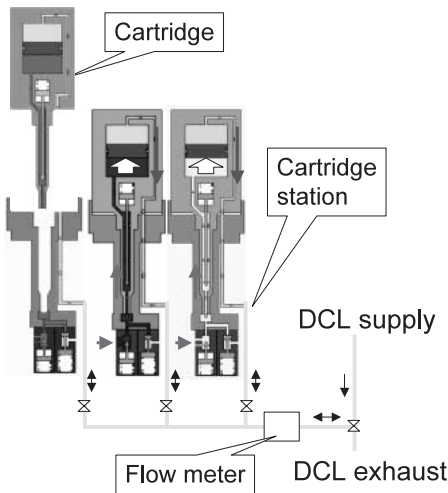


Fig.4 Method of Flow Quantity Measurement

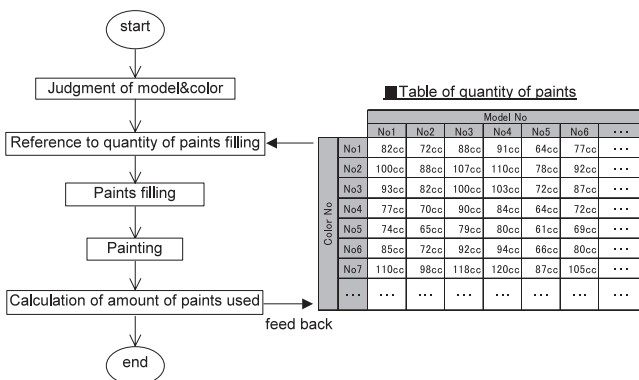


Fig.5 Procedure to Feed Back Quantity Filled Up

要がある。この着座が不確実だと塗料やDCLの漏れ、作動エア圧低下が起こり、塗料充填や内部洗浄が正しくできず、品質不良に直結する。着座を保証するためには、着座を常時監視する機構が必要だと考えた。今回、危険物を扱う塗装区での防火に配慮して電気式センシングではなく、着座時に高圧エアをカートリッジステーションに封じ込め、着座不良時のエア漏れによる圧低下を検出するエア式センシング機構を開発した。着座異常時には、設備を停止させることで、確実な塗料充填と内部洗浄を保証する。

(2) 塗装時の吐出保証

塗装時の塗料吐出の安定性は塗装品質を大きく左右する。吐出が不安定だと膜厚の変動が発生し、スケやナガラなどの品質不良が発生する。カートリッジ式塗装機は、吐出量制御装置 (サーボモータ駆動) から押し出されたDCLがカートリッジのピストンを押し下げることで塗料を吐出する。もし、DCL圧力が高過ぎると吐出の瞬間に塗料が突出する。また、低いと吐出の立ち上がりが遅れる。安定した吐出を得るためには、DCLの圧力管理が重要となる。

今回、DCL圧力の適正化を図るために、塗料充填済みカートリッジが塗装機とドッキングした後、DCL圧力が適正圧と一致するようにサーボモータが正転/逆転を行い、自動調整する機構を設けた (Fig.6)。

また、塗装機のトリガバルブの動作不良やカートリッジ内部のピストンが正常に動作しなくなり、吐出が不安定に

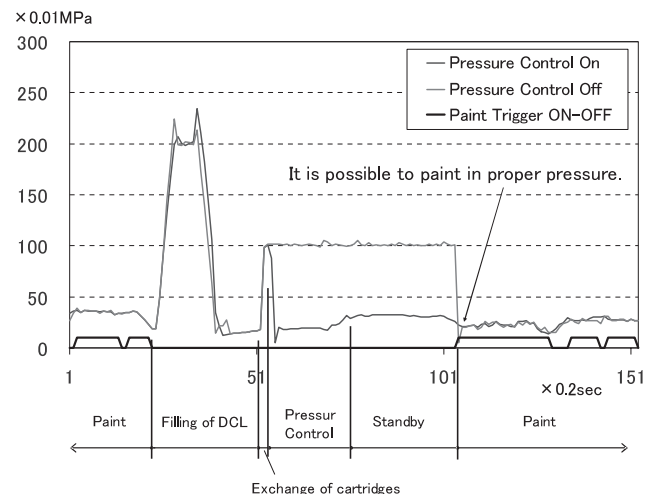
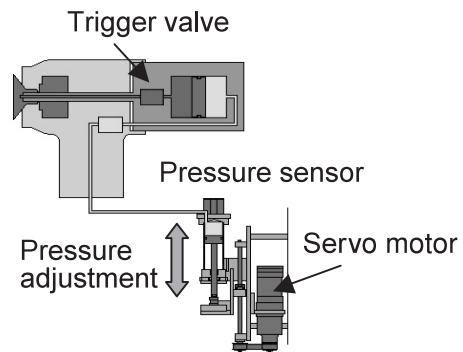


Fig.6 DCL-Pressure Adjustment Function

なるとDCL圧力の変動として表れる。これを利用して、DCL経路上に設けた圧力センサでDCL圧力を監視し、異常圧力を検出した場合にはアラームを出してライン停止する仕組みを織り込み、吐出を保証した。

3.4 極少量色に対するフレキシビリティ向上

限定色、サービスパーツなど生産頻度が極めて少ない塗色は、塗料配管に長時間仕込んでおくと顔料の破壊や沈降が進み、使用できなくなる。また、限られた塗料配管を複数色で共用すると、頻繁な塗料の入れ替えが発生し、カラーチェンジロスや現場の工数ロスが大きくなる。

このような極少量色固有の問題に対して、オフラインでカートリッジに塗料を充填できる「簡易型の洗浄&充填装置」と、「カートリッジを生産中にライン投入及び回収できる機構」を設け、塗料配管なしでも塗装できる仕組みを作った (Fig.7)。これにより、塗料配管数の制約を受けることなく少量多色生産の対応が可能になった。

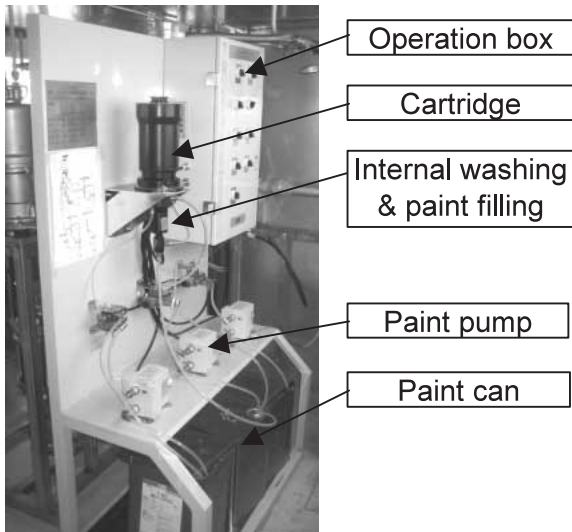


Fig.7 Washing & Filling Device of Brief Mechanism

3.5 ランニングコストの低減

多くのカートリッジを使用する当システムのランニングコストを低減するためには、カートリッジ内部に塗料粕が蓄積しないように、「分解なしで内部を洗浄できる機構」と「現場に負担をかけずに頻繁に洗浄できる機構」を設けることで、コストがかかる分解洗浄周期を延ばそうと考えた。

まず、単色用途を含め全てのカートリッジをフラッシュアップタイプとすることで内部洗浄を可能とした。本来、単色用途のカートリッジステーションには、内部洗浄機能は必要ない。全てのカートリッジステーションに洗浄機能を設けるとコストアップを招く。そこで、フラッシュアップカートリッジ用ステーションに元々ある洗浄機構を共有させ、ハンドラのティーチングによってカートリッジを順次フラッシュアップ用ステーションに移動させて自動洗浄させ

る仕組みとした。これにより、分解洗浄の周期は3ヶ月まで拡大できることを確認しており、シールラバー等の消耗品交換が必要な6ヶ月の周期を目標に実ラインで評価中である。

4. 開発システムの導入効果

開発したカートリッジ式塗装システムをバンパ塗装工場へ導入した効果は、以下の通りである。

(1) カラーチェンジロスの削減

今回、開発した単色カートリッジとフラッシュアップカートリッジの混成システムは、従来システムに対して、初期投資を抑えながらカラーチェンジロスコストを77%、VOC排出量を37%削減できた (Fig.8, 9)

(2) 多色変量生産へのフレキシビリティの向上

塗色の生産量に合わせてカートリッジの構成を変更していくことで、多色変量生産下でもロスが最小化できるフレキシブルな塗装システムを構築できた。

また、少量色を生産する際のラインの運用性が改善でき、生産できる塗色数を約20%増やすことができた。これにより、限定色やサービスパーツの供給に対する柔軟性が向上した。

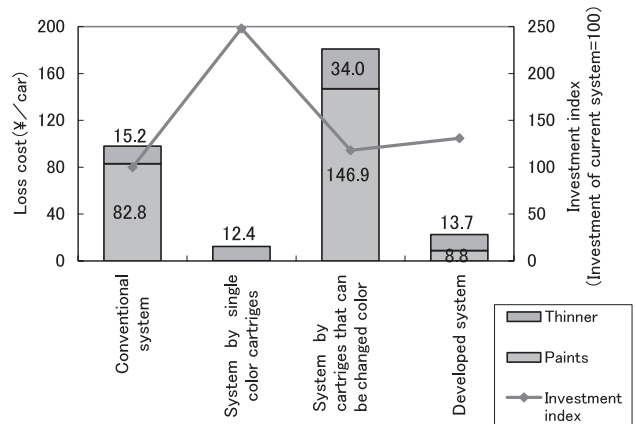


Fig.8 Reduction Effect of Loss Cost

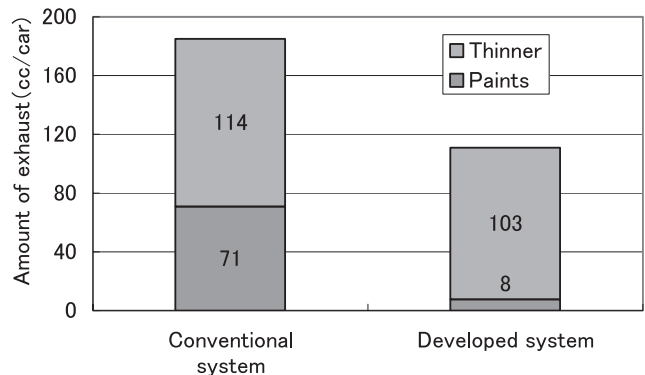


Fig.9 Reduction Effect of VOC Discharge

5. おわりに

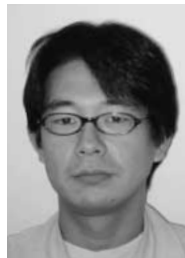
今回、開発した塗装システムにより、多色変量生産下で問題となっていたカラーチェンジロスの低減が可能になった。今後、メンテナンス周期及び消耗品交換周期など実ラインで検証を重ね、より熟成を図っていく考えである。また、ロボット台数の多いボデー塗装ラインへ展開していくために、システムのシンプル化を進めてイニシャルコストの更なる低減を図っていきたい。環境にやさしく、高品質な塗装を低コストで提供していくために、これからも生産技術開発に取り組んでいく所存である。

最後に、今回の取り組みに関して、多大なご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

著者



世良和也



末次道久