



ロボット塗装手法改善による 塗装効率の向上

An Improved Robotic Painting Method that Improves Painting Efficiency

濱田 忍 Shinobu Hamada
●ボディ SyS 統括部 外装 SyS 技術 G

Abstract

In recent years measures to protect the environment are being undertaken in all fields of industry on a worldwide scale. The field of industrial painting is no exception, as manufacturers take on the responsibility of reducing the volumes of organic solvent waste from the painting process.

In the case of motorcycles, there are many plastic external parts with complex shapes, like cowling. And, since the edges and back sides of these parts must also be painted, there tends to be a relatively large amount of VOC (Volatile Organic Compound) waste generated per unit of surface area painted. What's more, due to the complex shapes of cowling parts, it is still the norm in the industry for these parts to be hand sprayed, and there are few cases where they are painted completely by robots. Because in the case of hand spraying it is difficult to make fine adjustments in the amount of paint sprayed and the spray pressure level for each different part compared to robotic painting, there is a limit as to how much you can reduce the amount of paint used and increase the efficiency of the painting process. On the other hand, with robotic painting it is possible to optimize the spraying conditions for each part, but there are other problems like the amount of time it takes to create the teaching data itself. In response to these problems, we succeeded in improving the methods for determining the robot path-of-motion data and setting the conditions for the various painting aspects to enable completely robotic painting of cowlings that reduces the amount of paint used and improves painting efficiency and thus contributes to reducing the volume of organic solvent waste generated.

要旨

近年、あらゆる産業分野において世界規模で環境保全に対する取り組みが進められており、塗装分野においても、有機溶剤排出量削減が重要な責務となっている。

モーターサイクルでは、カウリングに代表される形状が複雑な外装樹脂部品が多く、意匠上の必要性から端面や裏面にも塗装を施しており、単位面積あたりの VOC（揮発性有機化合物）排出量が多くなる傾向がある。また、カウリングの塗装は、その形状の複雑さから、現在も手吹き塗装が主流となっており、完全ロボット塗装化されている例は少ない。手吹き塗装では、塗装中に吐出量、霧化圧力等の塗装条件を部位毎に細かく切り替えることが難しい為、ロボット塗装に比べ、塗料使用量低減、塗着効率向上に限界がある。一方、ロボット塗装では、塗装部位毎に最適条件で塗装することが可能であるが、ティーチングデータそのものの作成に時間がかかるなどの問題を抱えていた。そこで、軌跡データの作成及び各種塗装条件の設定に関する手法改善に取り組み、カウリングの完全ロボット塗装化によ

る有機溶剤排出量削減に寄与する塗料使用量低減と塗着効率向上を達成した。

1 はじめに

近年、あらゆる産業分野において世界規模で環境保全に対する取り組みが進められており、人と環境に優しい先端技術の開発は、企業が担う大きな課題の一つとなっている¹⁾。塗装分野においても、塗装作業における有機溶剤排出が大気汚染源の一つとなるだけでなく、塗装作業員自身の健康にも影響を及ぼすとされており、その削減が重要な責務となっている²⁾。

モーターサイクルでは、カウリングに代表される形状が複雑な外装樹脂部品が多く、意匠上の必要性から端面や裏面にも塗装を施している。平面的な形状物への塗装と比較すると単位面積当たりの有機溶剤排出量が多くなる傾向がある。また、カウリングの塗装は、その形状の複雑さから現在も手吹き塗装が主流となっており、完全ロボット塗装化されている例は少ない。当社においても、その殆どが手吹き塗装にて生産されている。パネルなどの比較的単純形状の部品と比較し、作業効率が悪く、塗料ミストの飛散が多いなどの問題点を抱えており、予てよりロボット塗装化が望まれていた。そこで、軌跡データの作成及び各種塗装条件の設定（以下、ティーチングと称す）の手法改善に取り組み、カウリングの完全ロボット塗装化による塗装吹き付け作業の無人化、並びに有機溶剤排出量削減に寄与する塗料使用量低減と塗着効率向上を達成したので、その概要を述べる。

2 現状の塗装方法

ヤマハ発動機(株)（以下、当社という）では、外装樹脂用塗装ラインに塗料を空気エネルギーで微粒化させるエア霧化タイプのスプレー塗装方式を主に採用している。この方式は、微粒化に使用する空気量が多く、吹き付け圧力が高いほど塗料の微粒化が向上し、仕上がり外観が向上する傾向がある。しかし、ワークに付着できない微小粒子も増える為、塗着効率としては、低下する傾向がある（図1）³⁾。

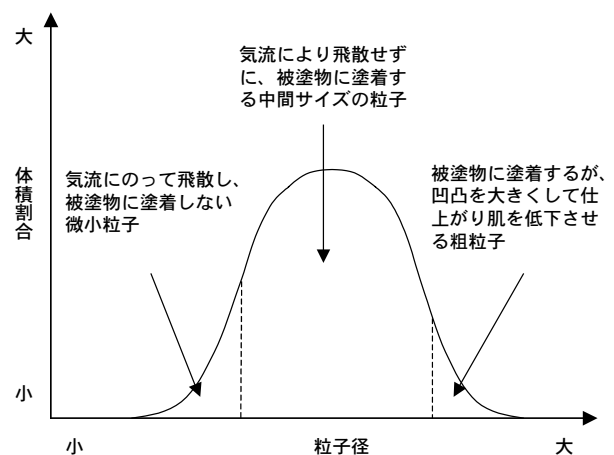


図1 霧化粒子の粒度分布

2.1 手吹き塗装

手吹き塗装では、左手を駆使することで複雑な面形状、ヘッドライトやウインカーなどの開口部、端面・裏面への塗装に柔軟に対応することができる（図2）。また、塗装の濡れ具合を見ながら環境変化に応じた補正を適宜実施できるなどの長所がある。しかし、低圧塗装ガン¹⁾やパターン切り替

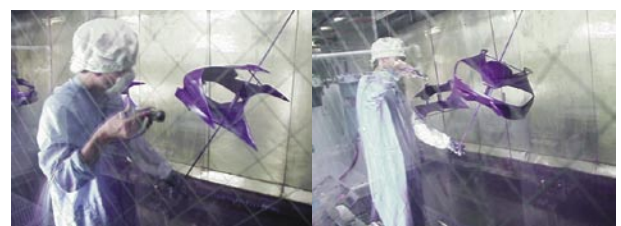


図2 手吹き塗装時の左手活用例

え塗装ガン⁴⁾の開発により、塗料使用量低減、塗着効率向上に対する取り組みは行われているものの、塗装中に吐出量、霧化エア圧力等の塗装条件を部位毎に細かく切り替えることが難しい為、ロボット塗装に比べ、塗料使用量低減や塗着効率向上に限界がある。また、塗装作業者によって品質のばらつきを生じやすいなどの短所がある。

2.2 ロボット塗装

ロボット塗装では、塗装作業中に吐出量、霧化エア圧力、パターンエア圧力の細かな調整が可能であり、塗装部位毎に最適条件で塗装することが可能である(図3、4)。また、長時間連続生産ができ、安定的に高品質が得られるなどの長所がある⁵⁾。しかし、①ティーチング技能の習得に熟練を要す、②CAD (Computer Aided Design) システムによるオフラインティーチングへの取り組みは行われているものの、カウリングなどの複雑形状の部品で実用化された例は少なく、ティーチングデータそのものの作成に時間がかかる⁶⁾(図5)、③加・減速、回転動作に時間がかかる為、手吹き塗装よりも塗装時間が長くなる傾向がある、④常に設定した条件で塗装してしまう為、気温・湿度等の塗装環境変化に柔軟な対応ができないなどの問題を抱えていた。

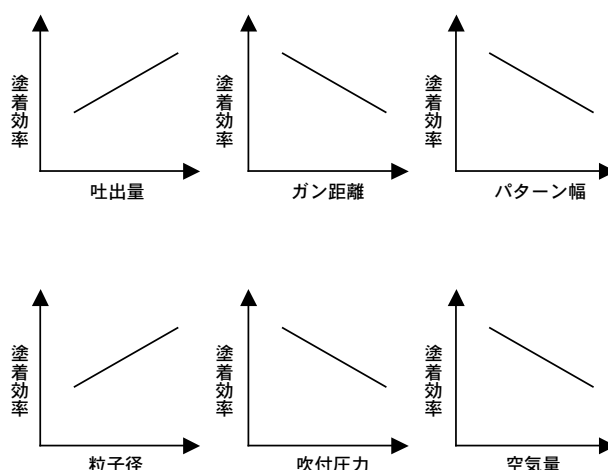


図3 各種塗装条件と塗着効率の関係

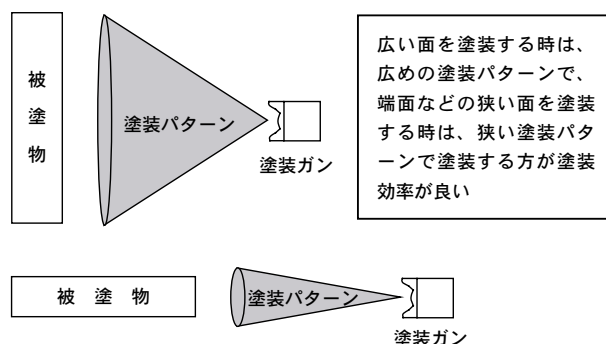


図4 塗装部位別の塗装パターン適用例

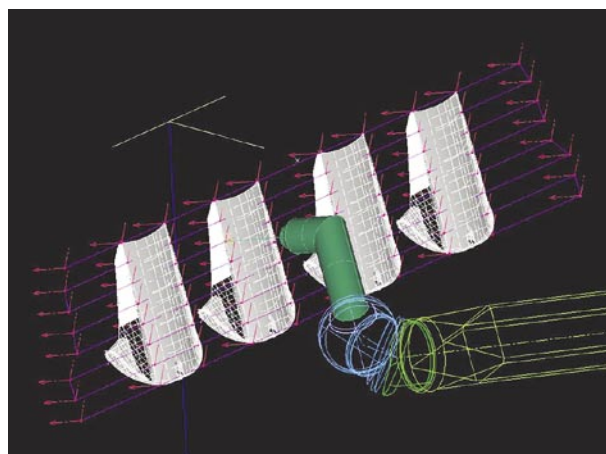


図5 3D CAD システムによるオフラインティーチングの一例

3 ティーチング手法改善に関する取り組み

3.1 軌跡データ作成上の改善

3.1.1 塗装時間短縮

ロボットメーカーと共同開発したロボット外部2軸同期制御システムを人の左手代わりに活用することで、ロボット動作量の最小化に挑戦し、ロボット塗装での課題の一つであった塗装時間の短縮に取り組んだ(図6、7)。本システムの開発により、ワークの回転+チルト動作が可能となり、従来の回転のみで塗装した場合と比較し、約3割の塗装時間短縮を達成した。

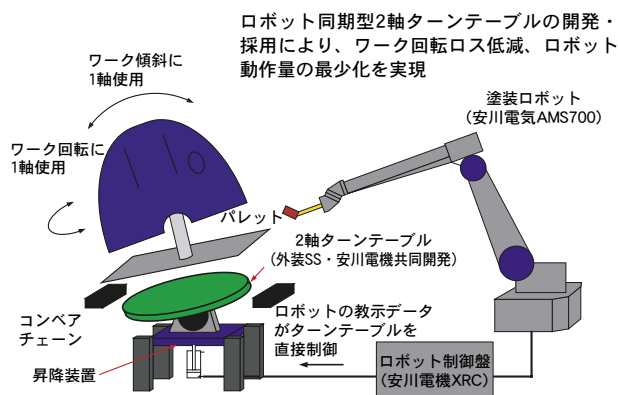


図6 ロボット外部2軸同期制御システムの概要

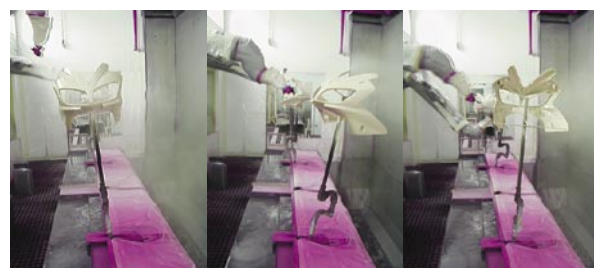


図7 ロボット外部2軸同期制御システムを利用したロボット塗装例

3.1.2 軌跡データの汎用化

同一のティーチングデータで複数の塗色を塗装した場合、実ワークでの塗装膜厚にばらつきが生じると、ある塗色では塗装外観上の問題が出なくても、別の塗色では、たれ、透けなどの問題が出る場合がある。これは、塗色毎に、たれ限界膜厚、下地隠蔽性などの塗料特性が異なる為に生じるものである。たれ限界膜厚の低い塗色は、膜厚が厚くなる部位で、たれが生じやすくなり、下地隠蔽性が低い塗色では、膜厚が薄くなる部分で透けが生じやすくなる。そこで、実ワークでの徹底した膜厚均一化に取り組み、繰り返し塗装テストでの膜厚測定結果を軌跡データに反映することで、軌跡データの作りこみを実施した(図8、9)。更に、従来の軌跡データと合わせて塗装条件をプログラムする方式を見直し、軌跡データと塗装条件を分離独立化することで、軌跡データの汎用化(多色化)を図った(図10)。これらにより、軌跡データの汎用化に成功し、ティーチング期間の大幅短縮を実現した。

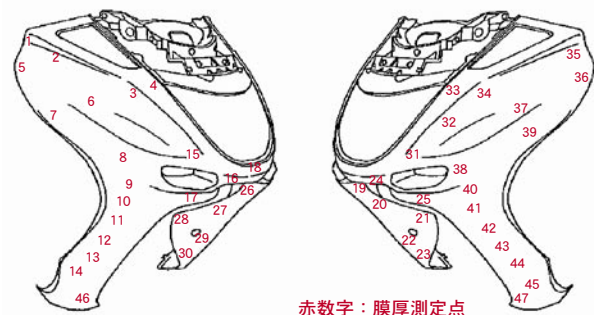


図8 塗装テスト時の膜厚測定ポイントの一例

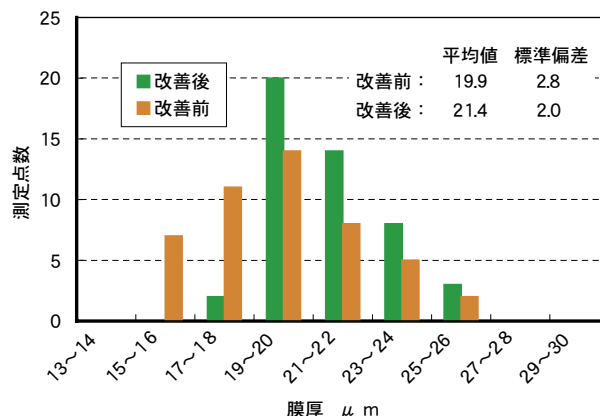


図9 実ワークでの膜厚分布の一例

3.2 塗装条件の最適化

3.2.1 塗料条件

当社では、外装樹脂用塗料として、2液型ポリウレタン系塗料を採用している。ポリウレタン系塗料は、その成分にイソシアネート（ $-N=C=O$ ）と活性水素化合物（一般的にはOH基）をもち、これらの反応によりウレタン結合をもつ3次元網目構造の塗膜を形成する⁷⁾（図11）。

ロボット塗装では、前述のように環境変化に対して柔軟な対応が難しい為、塗装外観品質の維持・向上には、使用する塗料の特性を把握し、塗装作業環境に合った希釈シンナーの選定と塗料粘度の調整が重要となる（図12）。そこで、膜厚均一化により作りこんだ軌跡データを用い、メタリック、ソリッドなどの塗色カテゴリー別に各種希釈シンナーと塗料粘度の水準別塗装テストを実施し、それぞれで最も優れた塗装外観が得られる最適領域を明確化することで、希釈シンナーと塗料粘度の最適化による塗装外観品質の安定化を図った（表1、2）。

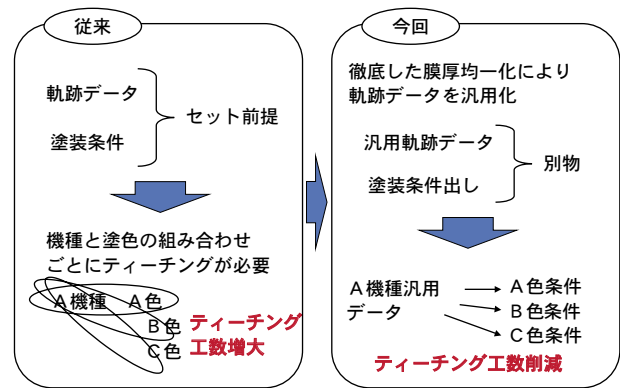


図10 ティーチング手法改善の考え方

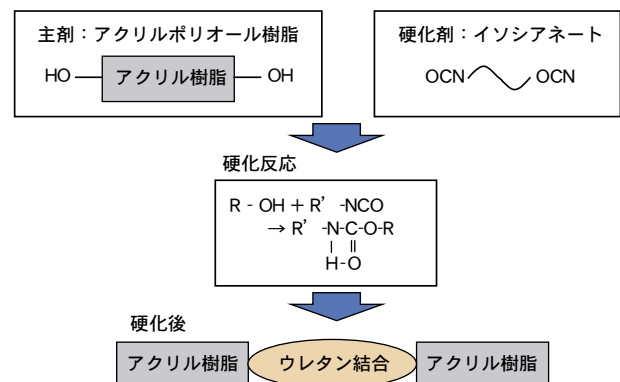


図11 ポリウレタン系塗料の反応モデル

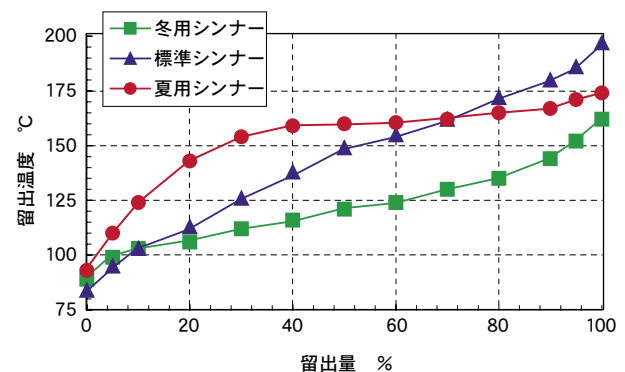


図12 希釈シンナーの蒸留曲線

表1 希釈シンナーの水準別塗装テスト結果の一例

希釈シンナー		上塗り		
希釈シンナー		冬用	標準	夏用
下塗り	冬用	△ (肌荒れ)	△ (肌荒れ)	△ (肌荒れ)
	標準	△ (肌荒れ)	○	○
	夏用	△ (肌荒れ)	○	◎

◎：色調、ツヤ、肌ともに最も外観が優れる条件、
○：色調、ツヤ、肌ともに良好な外観が得られる条件
△：色調、ツヤ、肌のいずれかに問題がある条件

表2 塗料粘度の水準別塗装テスト結果の一例

塗料粘度		上塗り		
塗料粘度		標準-2秒	標準粘度	標準+2秒
下塗り	標準-2秒	◎	○	○
	標準粘度	○	○	○
	標準+2秒	○	○	△ (肌荒れ)

◎：色調、ツヤ、肌ともに最も外観が優れる条件、
○：色調、ツヤ、肌ともに良好な外観が得られる条件
△：色調、ツヤ、肌のいずれかに問題がある条件

3.2.2 塗装エア圧力

塗料使用量の低減と塗着効率向上には、必要最小限の塗料で目標膜厚を確保する必要がある、一般面、端面などの塗装部位別に最適塗装エア圧力を設定し、塗料ミストの飛散を最小限に抑えることが重要である（図4）。そこで、霧化エア圧力とパターンエア圧力の水準別塗装テストを実施し、各水準での塗装パターン形状及びパターン幅を測定することで、塗装部位別、塗色カテゴリー別に最も効率良く、目的とする色調が得られる最適塗装エア圧力を設定した（表3）。

3.3 効果

ティーチング手法改善に取り組み、塗装外観品質を手吹き塗装と同等以上に維持すると共に、①塗料使用量 35 ～ 60% 低減と塗着効率 5 ～ 10% 向上により大幅な塗料コスト低減を達成した。②揮発性有機溶剤（VOC）を 30 ～ 50% 低減し、地球環境保護に寄与する VOC 削減に貢献した。③設定色 12 色の場合、60 日間必要であったティーチング期間を半減化し、生産準備期間の大幅短縮を達成した。

表3 霧化エア圧力、パターンエア圧力の水準別塗装パターン形状・幅測定結果

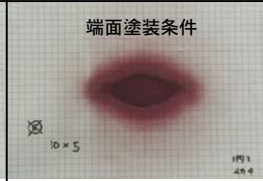
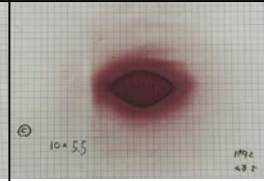
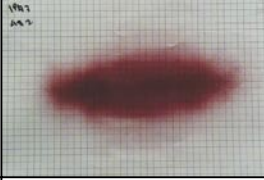
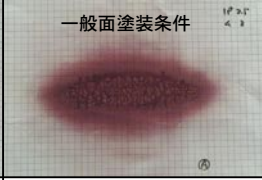
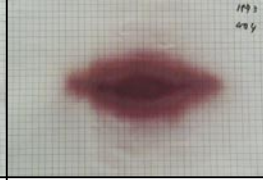
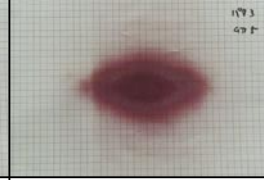
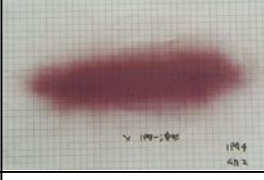
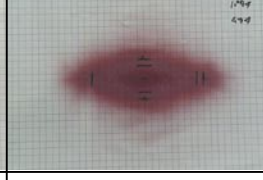
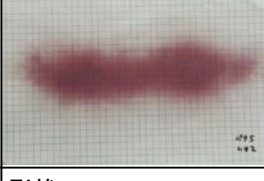
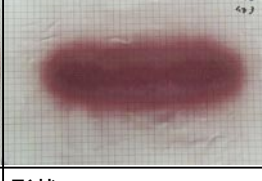
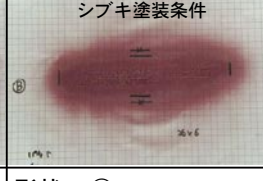
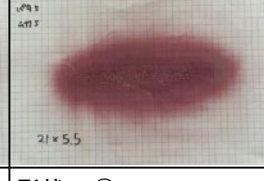
		霧化エア圧力			
		0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa
パターン エア圧力	0.2MPa				
		形状：○ 幅：16 × 5cm	形状：×	形状：○ 幅：10 × 5cm	形状：○ 幅：10 × 5cm
	0.3MPa				
		形状：×	形状：○ 幅：21 × 6cm	形状：×	形状：○ 幅：7 × 4cm
	0.4MPa				
		形状：×	形状：×	形状：○ 幅：10 × 4cm	形状：○ 幅：8 × 3cm
	0.5MPa				
		形状：×	形状：×	形状：○ 幅：26 × 6cm	形状：○ 幅：21 × 6cm

表 4 ロボット塗装化による塗装効率向上効果の一例

測定ワーク		手吹き塗装ライン				ロボット塗装ライン			
		塗料（主剤）使用量 g			塗着効率	塗料（主剤）使用量 g			塗着効率
部 品	塗 色	プライマー	下塗り	上塗り	%	プライマー	下塗り	上塗り	%
カウリング	ホワイト系パール	無し	495	440	20	無し	262 (Δ 47%)	276 (Δ 37%)	30 (+10%)
パネル	ブルー系パール	120	224	176	10	48 (Δ 60%)	109 (Δ 52%)	104 (Δ 41%)	15 (+5%)

表 5 ロボット塗装化による VOC 削減効果の一例

測定ワーク		手吹き塗装ライン				ロボット塗装ライン			
		VOC 使用量 g			TOTAL g	VOC 使用量 g			TOTAL g
部 品	塗 色	プライマー	下塗り	上塗り		プライマー	下塗り	上塗り	
カウリング	ホワイト系パール	0	391	332	723	0	219 (Δ 44%)	233 (Δ 30%)	452 (Δ 37%)
パネル	ブルー系パール	138	176	95	409	84 (Δ 39%)	86 (Δ 51%)	56 (Δ 41%)	226 (Δ 45%)

4 おわりに

手吹き塗装からロボット塗装への生産移管に際して、ティーチング手法改善に取り組み、カウリング 4 機種、モールサイドカバー左右 1 機種、パネル左右 1 機種の全 16 色について完全ロボット塗装化を短期間で達成することが出来た。しかし、年間を通じたロボット塗装品質の安定化には、塗装環境（温度・湿度）の変化に応じた詳細な塗装条件設定が必要であり、また、更なる塗装効率向上には、ゴミブツ等の塗装欠陥低減が不可欠である。今後は、これら残された課題を含め、ロボット樹脂塗装での静電塗装化にも挑戦し、塗装効率の更なる向上に取り組んでいきたい。

■参考文献

- 1) 畠隆行：「低圧スプレーガン」，工業塗装 No.166
- 2) 姫野祐子：「VOC 削減と塗装作業の効率化」，工業塗装 No.170
- 3) 菊田真人ほか：「VOC 削減に対する最近の塗装技術動向」，塗料の研究 No.132 Apr.1999
- 4) 「エア静電ハンドガン HB2000 シリーズ（VI）」，塗装技術 2001 年 10 月号アサヒ・レポート
- 5) 坂本進：「ロボット塗装システムの設計事例」，塗装技術 2001 年 7 月号
- 6) 竹内徹：「塗装シミュレーションの世界」，塗装工学 Vol.36 No.6(2001)
- 7) 塚平博之ほか：「アレスエコレタン」，塗料の研究 No.136 Apr.2001

■著者



濱田 忍