

株式会社名村造船所

3D ペイントトレーナーの運用と活用

仲谷 匡弘*

Masahiro Nakatani



弊社では2016年3月に3Dペイントトレーナーを導入した。スプレー塗装は塗装作業の中でも高度の技術力が要求され、半製品の塗料を塗膜として完成させ、役割を発揮させる為には、適正な要領でスプレー塗装を行う必要がある。スプレー塗装の技量の習得/向上を図る為の訓練方法としては、口頭での説明と実物への塗装を見て覚え、試し塗りをしながら徐々に塗装範囲を拡大し、塗装後の塗膜状態を自分で見て、膜厚の付き方と塗装姿勢やスプレーガンの移動速度や距離、塗料の粘度やエアレス機の圧力を各々調整し、次の塗装作業の際に修正することを繰り返し、腕を磨き続ける。しかしスプレー塗装の実作業にはエアレス塗装機や塗料、動力、スプレーガン、チップ等が必要になり、別途塗装を行う対象物も準備が必要になる。また一旦塗装した塗膜は乾燥するまで正確な膜厚が計測出来ないため、自身が塗装した膜厚も翌日まで結果の確認が出来ない。さらに、膜厚計測には計測器と知識と経験が必要で、任意の一点しか測ることが出来ない。合わせて有機溶剤を使用する為、作業中は防毒マスクや塗装服等の特殊な装備も必要となる。

そこで、本設備を導入することで、基本動作となる対象物との距離、スプレーガンの移動や軌跡、塗装者自身の作業姿勢、塗装の順序等が、塗装経験者/未経験者含め、一定の基準で判断/比較が可能となった。また、塗装した膜厚をグラデーションの濃淡で表す機能があり、自身のスプレー塗装の状況が数値化出来る点は今までに無い経験であった。また教育訓練への活用では、ベテランの作業姿勢や要領の手本が実際の塗装環境下ではなく講習形式で行えることが利点となり、若年者/未経験者がスプレー塗装の技量を身に着けるまでの時間もトレーニング次第で短縮を図れる。

最後に、グラデーション機能で表示された画面は、作業者の膜厚への意識向上を図る動機づけとなり、過剰な膜厚を抑制して塗料費削減に貢献出来るものと考えている。

1. 緒言

2013年秋頃に本システムを製作している旭エレクトロニクス(株)から弊社に紹介があり、デモ機を設置して塗装関係者をメインに実体験をした。立体的に映し出された対象物、いかにも目の前に有る様に映るスプレーガン、引きがねを引くとチップの先端から出る塗料、その先の対象物に付着する塗料と、スクリーン上で目の前のモノを塗装しているという感覚は衝撃的な出会いと印象であった。そして2015年に入り、塗装の技量を次の世代に伝えて行く事、若年者が一人前のスプレーマンに成るまでの時間を短縮出来る事、

また塗料費を抑える為の手段として活用する事を目的とし、導入に向けた調査を開始した。運用面では他社における活用方法を参考に、実際に設備の見学を行い、弊社にマッチした活用方法と塗料費削減に向けた取り組み内容をイメージしながら設備導入の計画を行った。また、再度デモ機での検証を行い、塗装関係者だけではなく、システム部門や設計及び設備間接部門からも意見を収集した。品質、工程、コスト、安全の4つの命題に向き合う視点から、この3Dペイントトレーナー活用方法を紹介する。

原稿受理日：July 21, 2017

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 製造本部 艀装部 塗装課

2. スプレー塗装の現状と背景

2. 1 トレーニング方法

スプレー塗装の実践的なトレーニングを行う際は、エアレス塗装機と塗料の他に、動力等の準備が必要になる。技術指導については、熟練者について実際にスプレー塗装を行っている傍で、スプレーガンの動かし方や角度、塗り始める位置等を頭に入れ、塗り方を見て覚え、聞いて理解し実際に塗装作業を行うのがトレーニングの現状である。スプレー塗装を行った直後は、正確な膜厚や塗膜の状態（不具合）を知る事が出来ない為、翌日塗膜が乾いた後に自分が塗装した範囲を確認する事で、前日塗装した技量がどの程度のものだったかを気付く事が出来る。写真1は試験塗装を行っている状況であるが、機器材等の準備の他、塗装する対象物、周囲の養生が必要となる。

2. 2 膜厚の現状

塗料を大量に塗って膜厚が十分付いていれば良いと言う訳にはいかない。過剰な膜厚は塗膜の不具合にもつながり、塗装の品質を損なう結果にもつながる。また予想で決められた以上の量を使用してしまえば、その分損失につながる事となる。実態を調査した所、施工が始まった際に用意しておいた塗料の缶数では不足し、予定していた範囲の塗装がその日の内に終わらない事態を回避する為、10%程増量して手配しておく事や、膜厚検査を行う際に薄膜を指摘されない為に、作業者は厚めに塗る傾向があることがわかった。

適正な膜厚（塗装仕様で決まっている膜厚や塗料メーカー推奨の範囲内）で塗装出来るという事は、船の仕様や船価を決める際に必要な材料費に影響するため、塗装作業に於いてもコスト意識を持たなければならない。また、塗料メーカーの推奨値を超えた膜厚となっていれば、適正值まで戻す必要がある。これは一度塗装した塗膜を削り、再度塗り直さなければいけない事を意味し、無駄な後戻り工事となる。写真2は過剰に塗装された乾燥後の塗膜で、見た目の煩雑さも有るが、塗料の種類によっては後々塗膜が割れる可能性が有り、塗膜として機能を発揮出来ず、バラストタンク内等腐食しやすい環境下では鋼板の発錆に繋がる。



写真1 試験塗装（スプレー塗装中）



写真2 塗膜のタレ（スプレー塗装後）

2. 3 塗装作業の現状

昨今3D、VR(Virtual Reality)が製造の分野でも急速に活用されて来ている中、塗装に注目された理由がいくつか考えられる。特に有機溶剤を使用する塗装環境下での指導教育となると、顔全面を覆う防毒マスク姿では口頭で伝えたい事も話せず、ジェスチャーで身振り手振り要点を伝えたくても困難である。また、一度塗装した塗膜は乾燥/硬化するまで膜厚計での計測も出来ない。写真3はスプレー塗装を行う際の保護具装着状況、写真4はスプレー塗装作業中の状況を示す。当然同じ作業場内でスプレー塗装を見学するには、見る方も同じ服装と保護具が必要になる。そして写真5はスプレー塗装後、塗膜が乾き塗装した区画に踏み入れる事が可能になってから実施した膜厚測定後の様子で、規定膜厚より薄い箇所はタッチアップを行う。



写真3 保護具装着状況



写真4 スプレー塗装作業中

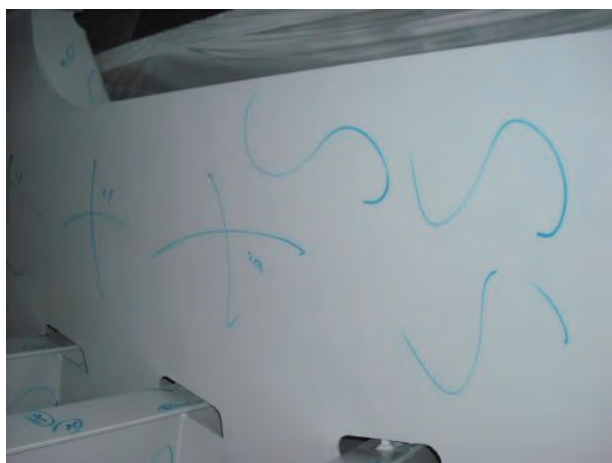


写真5 スプレー塗装後の膜厚測定

2. 4 スプレー塗装教育の背景

塗装の環境は多くの有機溶剤を使用し、人体への影響を防ぐために保護具を着用する。マスクだけではなく、面体も必要となる。ダスト付着で視界が悪くなるため、保護フィルムの付け替えも頻繁に行っている。また、一度塗装したものは硬化/乾燥するまで触れたり、踏み入れたりすることは許されない。少なくとも翌日までは膜厚も状態も確認

出来ないといった事で、実機を使ったトレーニングでは時間と塗料が必要なのはここまで述べたとおりである。加えて面体とマスクを装着して懐中電灯の明かりを頼りにスプレーを行っている熟練者からの技術指導は、指導を受ける本人の習得レベルにも差が出る状況となってもおかしくない。

3. 技量と塗料費の問題点

塗装作業の中でもスプレー塗装は、一度塗った箇所の塗り直しは乾燥するまで出来ず、写真2で表した様な不具合（垂れや過膜厚）は再度塗膜を剥ぎ、塗り直しを行わなければならない。現在弊社の塗装現場には毎年新入社員が配属され、塗装前に行う磨きから塗装ファイナルまで塗装作業の一連を担っている。入社3年目でスプレー塗装を始められるようになるというのが現状で、スプレー塗装は高度な技量を必要とするが、溶接訓練や作業姿勢毎の溶接資格といった様な、塗装技能レベルを評価/位置付けする指針は溶接資格と比べても備わっていない。

また、仕様書通りの塗膜が確保出来ているか確認する方法として、膜厚計測を実施しているが、任意の計測点しか測れず、記載された数値を眺める事か、計測結果を取り纏めない限り状況を把握出来ない。塗装した区画すべてが均一で厚膜が無いことを目指さなければならないが、作業上不可能に近い。膜厚のコントロールの多くは、作業者の経験や感覚といったものに頼っており、工程・検査を意識する結果どうしても厚膜になりがちで、結果として塗料費の増加にもつながっている。

現状塗料メーカーから購入した一隻の塗料費に関して、使用実績は予想から数十%オーバーしている区画が有る。実際に計測しても規定膜厚より平均して1.5倍から2倍多く塗装されている箇所もあり、塗ってしまえば取り返しがつかない。

4. 導入に向けた調査と仕様決め

4. 1 調査によるイメージ作り

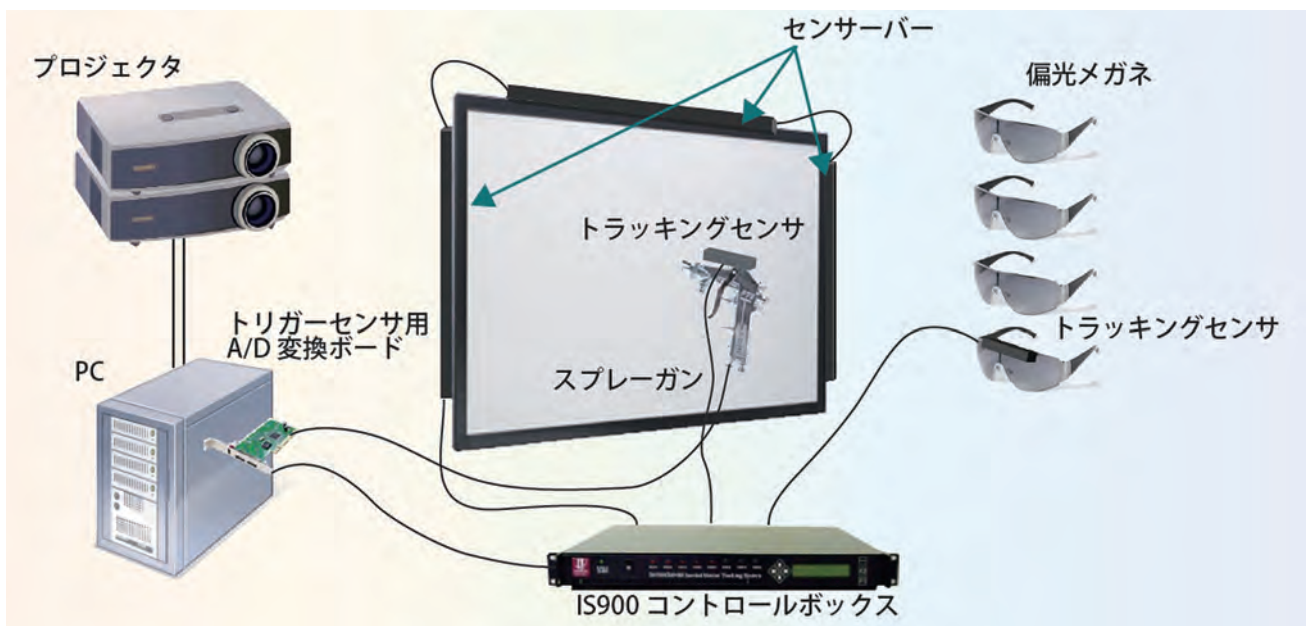
2015年の夏に実際に3Dペイントトレーナーを使い、塗装技術を研究している大学の研究室を訪問して、設備の詳細や、システム内の主な機能（アプリケーション）、また実際に塗装現場の中堅作業員も同行し、実際の塗装感覚との違いを洗い出した。既に導入している造船所の見学では、弊社での運用方法のイメージも膨らませ、使用目的に合った機械の選定やプロジェクトの設置方法を検討した。またデ

ータの活かし方についてもヒアリングし、スプレー塗装の技能評価につなげる事も目的の一つとした。第1図と第2図に3Dペイントトレーナーシステムの概要説明とシステムフローを記す。

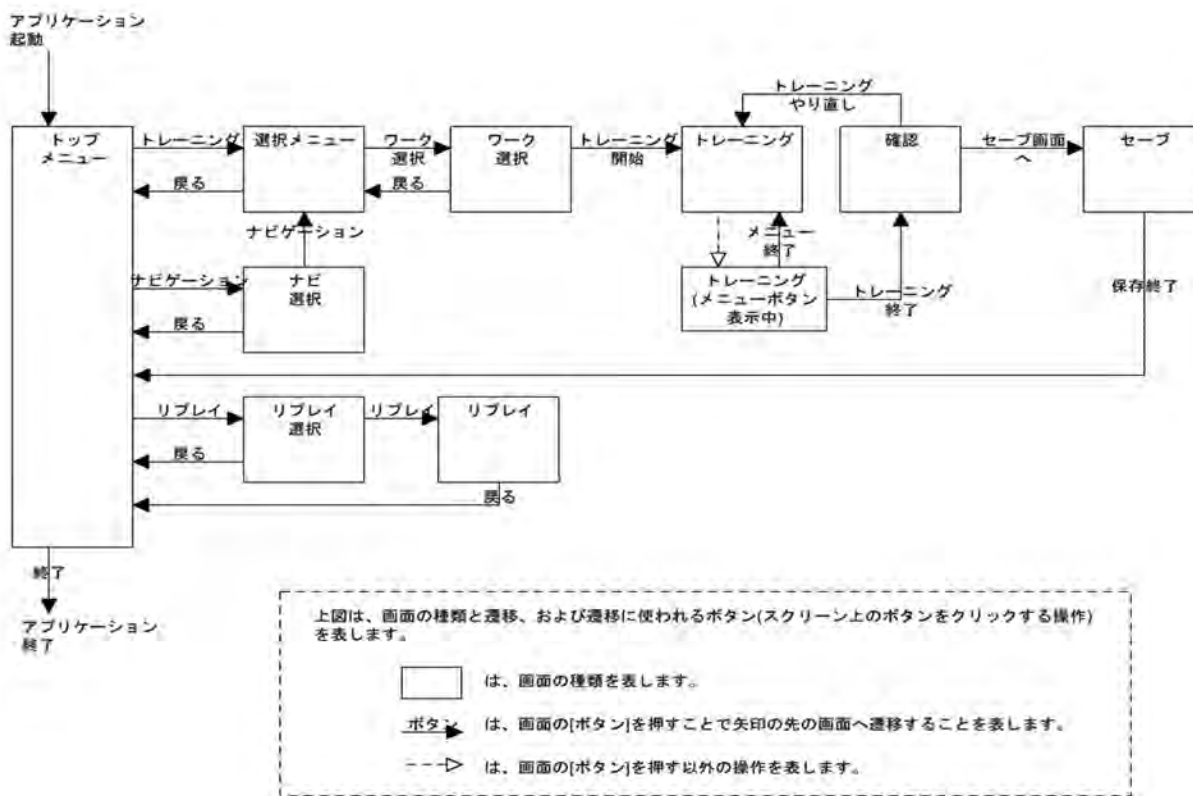
4. 2 システムの仕様決め

見学を通じ活用状況を参考にして、弊社での仕様決めを行った。トレーニングの際に使用する塗料の選択、目標とする膜厚の選択、塗装する対象物となるモデルに関して仕様を決めた。

まずは使用量が多い塗料を洗い出し、代表的な塗料と、一般的な塗装仕様、膜厚、塗料メーカー推奨のチップサイズ等、実際に近い仕様でのイメージを固めた。導入後の運用方法も想定し、塗装する対象物（モデル）、色を決め、基本仕様を設定した。実際に船体の一部が塗装出来る様、設計図面と3D CADからの情報を基に、ブロック形状が映し出されるモデルも盛り込んだ。3Dで映し出す場合もスクリーンの背面から画像を映し出す事で、正面に人が立っても影が出来る事は無い。



第1図 3Dペイントトレーナーのシステム概要



第2図 3Dペイントトレーナーのシステムフロー

5. 内容紹介

5. 1 設備及び周辺機器の紹介

パソコンやプロジェクタを使用するため、会議室程の環境が整った部屋が必要条件であったが、建屋の一角を改築して塗装工場や事務所にも近く、気軽に立ち寄れる場所を確保した。写真6は3Dペイントトレーナーを設置した室内の状況である。

また周辺機器では第1図の通り、PC、プロジェクト、スクリーンと合わせ、スプレーガン及び偏光メガネに取付けられたトラッキングセンサを、スクリーン画面に取り付けられたセンサーバーにて感知し対象モデルとの距離/角度/位置を認識し、操作者の移動に合わせて対象モデルの投影が変動する。実際のスプレー塗装と同様に、スプレーガンを移動する速さや塗装する面までの距離によって、スプレーガンから出る塗料の付着量が決まるのは実際のスプレー塗装を再現している。

5. 2 トレーニング内容の選択

第2図の流れに沿って始めにアプリケーションを起動し、トレーニング選択画面からこれから塗装を行う為の条件を選択する。実際のスプレー塗装作業では塗装前の準備に相当する内容である。写真7の画面で上から順に塗装する対

象物の選択、使用するチップの選定（スプレーガンの先から出る塗料の量と塗り幅を調整する部品の事で、塗料毎に推奨値が有るので、適正なサイズを選ぶ事が重要で仕上がりと品質に影響を与える）、使用する塗料名、色を決定しトレーニングを開始する。写真8はトレーニング実施者が実際に選択している状況だが、スプレーガンのトリガを引く事でワークの選択と決定が出来る。



写真6 3Dペイントトレーニング室



写真7 トレーニング選択画面

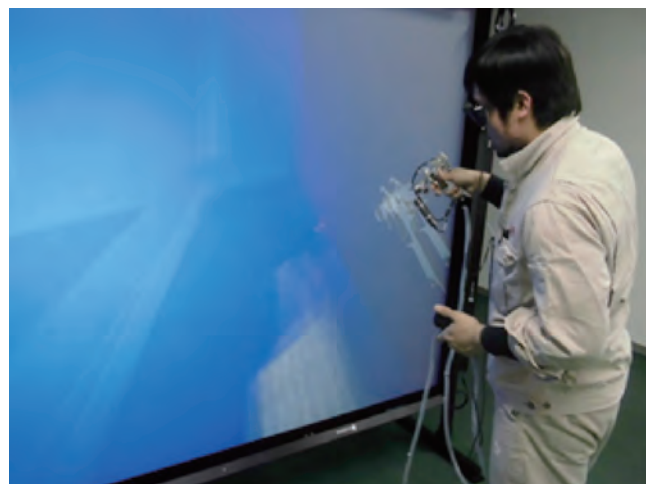


写真9 トレーニング状況1

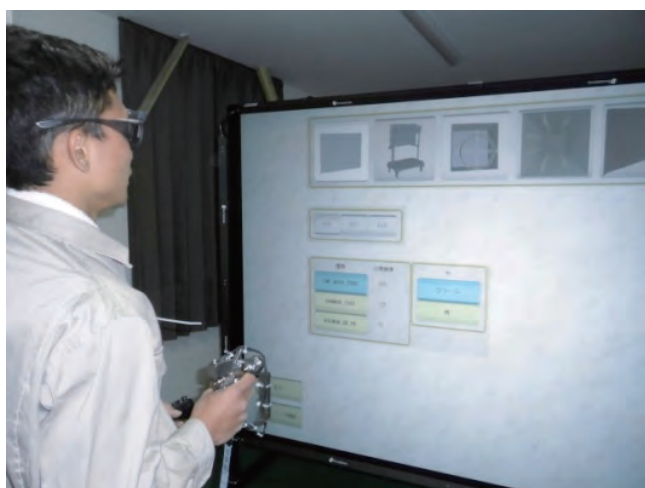


写真8 各項目の選択と決定



写真10 トレーニング状況2

5. 3 トレーニング実施

塗装を行う準備（ワークの選択）が出来たら、実際に画面に向かってスプレー塗装を開始する。その時の基本姿勢が塗装の仕上がりに左右される。スプレー塗装を行う際には、一定の距離と一定のスピードでスプレーガンを動かす事が膜厚をコントロールする為の重要なポイントとなる。早く動かせばその分膜厚は付かず、スプレーガンと対象物（スクリーン）との距離が離れるほど同じく膜厚は付かない。直角平行に一定の距離で動かす事が出来ないと、綺麗に仕上がらない。

写真9, 写真10 はバラストタンク内をイメージしたモデルを塗装している所だが、写真3, 写真4 の状況と見比べれば、服装や保護具は必要なく、実際に塗装をしている動作は一緒である。また写真11 ではトレーニングしている本人はその空間に入って塗装している様に見える。また塗料が付着して行く様子は色の濃淡で解る様になる。



写真11 3D画面の見え方

しかしながら、実際の塗料と比べれば色艶、過剰な膜厚から起きる塗料のタレや流れ、凸凹までは表現出来ない。

6. 特徴的な機能と活用

6. 1 グラデーション機能

トレーニング画面で塗装した画像は5.3で述べた様に塗装色の濃淡しか表示されない。本システムの最大の特徴ともいえるグラデーション機能は、実際の塗装では見る事も判断する事も出来ない塗装膜厚の段階的な表示が出来る。写真12はトレーニングをしている状況で、トレーニングが終わった時点でグラデーション表示に切り替えると写真13や写真14の様な表示が出来る。トレーニングで塗装した画面の膜厚の付き方が、段階的に解るという事は、実際の塗膜の付き方も同じ様な傾向と推測が出来る。トレーニング画面で均一に適正な膜厚で塗装出来た場合は、グラデーション表示に切り替えた時、緑色の割合が多い。規定膜厚より薄ければ黒～青色の割合が多く、厚すぎる場合は赤～白色の割合が多い。

再度見比べて頂きたいが、従来方式の写真4や写真5の状況で、正確な膜厚を計測するには、塗装中であればウェットゲージと言う道具でまだ濡れている塗膜の厚みを測り、そこから塗膜が乾燥/硬化して目減りした際の割合を引きおおよその乾燥膜厚の検討を付ける必要がある。ウェットゲージの使用はスプレーマン自身の感覚を確かめる為の道具でも有り、適正な膜厚、予量缶数通りの施工を行うのに重要な確認作業の一つである。また乾燥/硬化後の塗膜を測るには電磁式の膜厚計を使用する。塗膜の厚みを測るのはウェットゲージ、膜厚計共に任意の一点しか測れない。平均的な数値や膜厚の付き方の傾向を判断するには計測ポイントを増やすしかない。

しかしスプレーマンが実際の塗装作業通りに、画面上で塗り方を表現出来たら、グラデーション表示の結果がいつも塗装している状況と同じとも言える。作業者の癖を見つけ出し、厚膜気味なのかどうかの見方も出来る。これは新人を教育して行く為だけではなく、厚膜への意識改善にも有効に活用出来る内容で、経験が有るスプレーマンでも厚膜に対する本人への意識付けが、適正な塗料使用量に繋がる事を期待する。

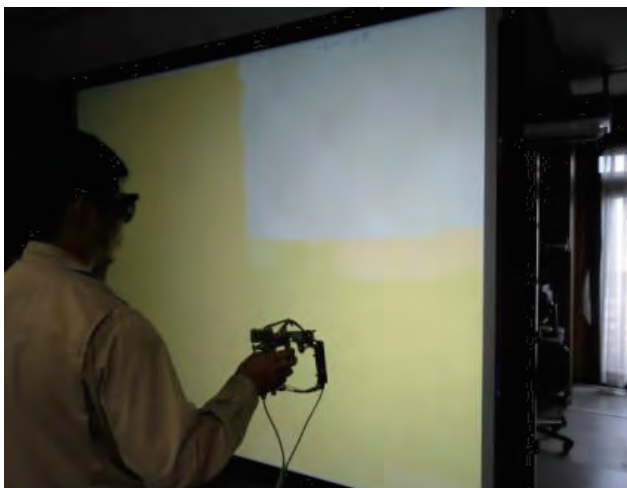


写真12 トレーニング状況(単色)

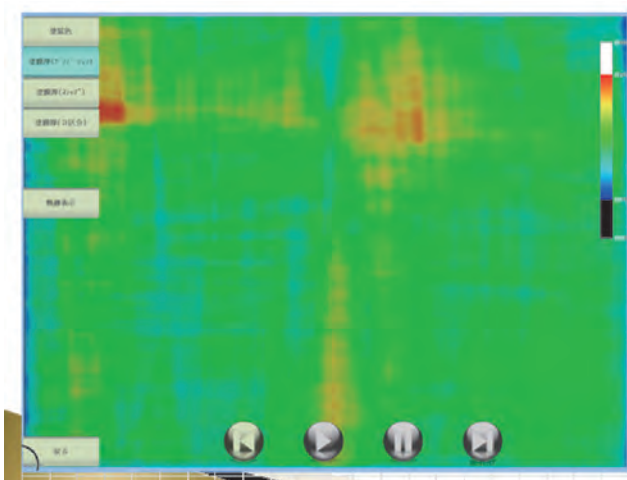


写真13 グラデーション表示切り替え後1

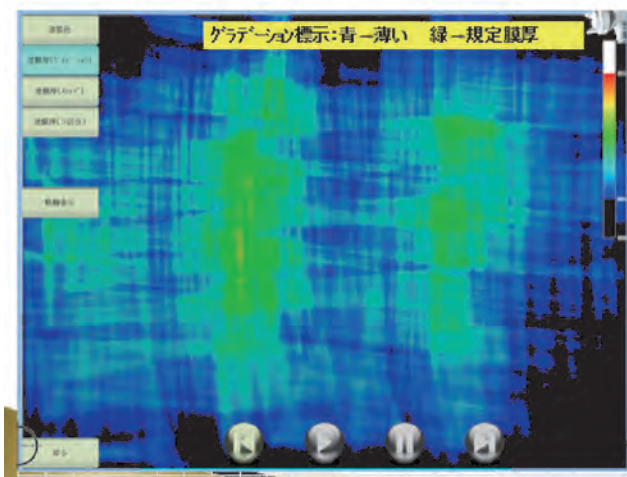


写真14 グラデーション表示切り替え後2

6. 2 軌跡表示機能

グラデーション機能と合わせ、スプレーガンを動かした軌跡の表示も出来る。写真15は赤色と青色の線が画面上に表示されている。赤色の線はスプレーガンのトリガを握って塗料が出ている事を表し、青色の線では塗料が出ていないがスプレーガンの動きを表している。基盤の目の様に一定の間隔で直角平行に書かれた線が現れれば理想的で、スプレーガンを動かす動作は完璧だ。

トレーニングの評価のポイントとして、未熟者が熟練者から指導を受ける際もこの様な軌跡表示があれば、塗り出しや塗り終わりの位置、膜厚を付ける為の動かし方、スプレーダストを抑える為にトリガを離す位置、オーバーラップしている所の過膜厚を抑える塗り方等、口頭だけでは伝わらないポイントを可視化する事でより理解が得られる教育が行える。



写真15 軌跡表示

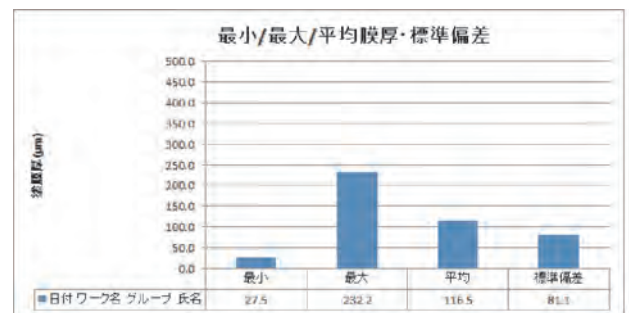
6. 3 ナビゲーション機能とリプレイ機能

トレーニング内容は記録保管が出来る。誰がいつどのワークを塗装したかの記録を残すことが出来、お手本となる動作を記録しておけば、ナビゲーション機能からスプレーガンが画面上に現れ、それを追って塗装していく事で、熟練者のスプレーマンの動作を真似する事が出来る。特に今からトレーニングを始める未経験者にとっては真似する事で基本動作を植え付けるのに有効な機能である。

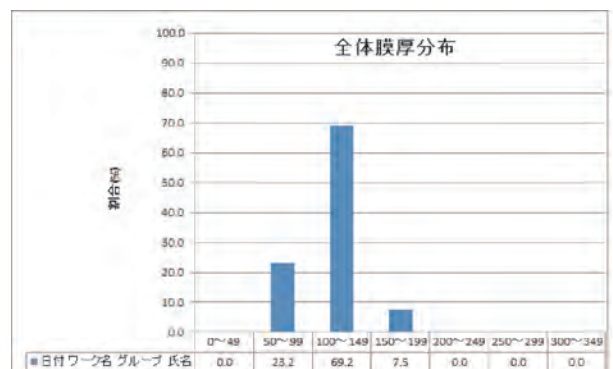
またリプレイ機能では保存したデータを基に、グラデーション画面や軌跡表示画面から多角的に検証する事で、塗装した本人へのアドバイスも容易に出来る。講義形式で熟練者が指導を行うのに有効である。

6. 4 データからグラフ作成

スプレー塗装が仮想空間で行える事、膜厚が可視化出来る事、マスク姿で現場にてポイントを伝えるのではなく、講義形式に指導出来る事に加え、トレーニングデータを基にグラフを作成出来る機能が有る。保存したデータからグラフ表示作成のアプリケーションを使えば、第3図や第4図の様なグラフを作成出来る。目標の膜厚からどれ位差が有るのかを知る事で、写真13や写真14の時の膜厚の数値や分布が解る。目標膜厚より大きくなれば最大の膜厚も増え、分布のグラフも右に山が立つ。逆に薄くなれば左に山が立つ。均一に塗装出来た場合、平均膜厚も目標値に近く、標準偏差も小さな値となる。このデータとグラフは各個人毎にファイルに保存しておけば、次回トレーニングを行った際に結果を見比べるのに有用で、成長が伺える記録にもなる。



第3図 最小/最大/平均膜厚グラフ



第4図 膜厚分布グラフ

6. 5 技能評価と採点基準

未経験者や若年者のトレーニングと合わせ、さらに本システムを活用すべく、構内のスプレー塗装従事者を対象に定期的に技能評価を行う予定としている。第5図にその評価基準を紹介する。

【スプレー塗装技能評価 採点基準】

機装部塗装課

試験内容 平面塗装 使用塗料はエポキシ塗料 Dry 1 2 5 μm 目標

①最低膜厚（持ち点：5）

5	0～30 μ	-5
	31～60 μ	-4
	61～90 μ	-3
	91～100 μ	-2
	101～125 μ	-1
	125～150 μ	0

補足

各自持ち点100点とし、減点方式で採点を行う。

適正な範囲/目標設定値に近いほど得点が高い。

②最大膜厚（持ち点：5）

5	201 μ ～	-5
	181～200 μ	-3
	151～180 μ	-1
	125～150 μ	0

③平均膜厚（持ち点：10）

10	0～79 μ	-10
	80～99 μ	-5
	100～124 μ	-3
	125～149 μ	0
	150～179 μ	-3
	180～199 μ	-5
	200 μ ～	-10

塗膜分布（合計持ち点：60）

④塗膜分布1（薄膜厚：水色以下 80 μ）

20	薄膜（0%）	0
	薄膜（1%～5%）	-5
	薄膜（5%～10%）	-15
	薄膜（10%～）	-20

⑤塗膜分布2（不均一な塗膜）

20	不均一な塗膜1	0
	不均一な塗膜2	-5
	不均一な塗膜3	-15
	不均一な塗膜4	-20

⑥塗膜分布3（過剰膜厚：白 220 μ 以上の割合）

20	過剰膜厚（0～5%）	0
	過剰膜厚（6～15%）	-5
	過剰膜厚（16～25%）	-15
	過剰膜厚（25%～）	-20

⑦基本動作（持ち点10）

		合格	不合格
10	ガンが被塗物に対して垂直か	0	-4
	クロスハットしているか	0	-2
	エントでトリガーをきっているか	0	-2
	適正距離を保っているか	0	-1
	コートを踏んでいないか	0	-1

⑧時間：2分（持ち点10）

10	持ち時間内	0
	+20秒超	-2
	+40秒超	-4
	+60秒超	-6
	+90秒超	-10

採点例	点数
①最低膜厚（持ち点：5）	
結果：90 μ	-3
②最大膜厚（持ち点：5）	
結果：180 μ	-1
③平均膜厚（持ち点：10）	
結果：100 μ	-3
④塗膜分布1（薄膜厚：水色以下 80 μ）	
結果：薄膜（1%～5%）	-5
⑤塗膜分布2（不均一な塗膜）	
結果：不均一な塗膜1	0
⑥塗膜分布3（過剰膜厚：白 220 μ 以上の割合）	
結果：過剰膜厚（0～5%）	0
⑦基本動作（持ち点10）	
結果：合格	0
⑧時間：2分（持ち点10）	
結果：2分25秒	-2
減点合計	-14
100点ー減点合計	86

第5図 評価基準

7. 今後の展開

今後の展開としては本設備のメーカーよりデータの蓄積による人工知能の活用について提案されている。さまざまな塗り方や膜厚の付き方、塗装する角度のデータを活かし、適正な膜厚と予定缶数通りでの塗装、均一な塗膜、手直しの無い完成塗膜が塗装出来る熟練作業者と同一様な塗装が出来るアシスト機能が生まれるかもしれない。

3Dペイントトレーナーはロボットでは塗装出来ない細やかな部品や複雑な形をした部品を塗装するのに必要なスプレー塗装の技量を身に付ける為に開発されたものである。ベテランと呼ばれる職人が少なくなる中、弊社でも塗装の経験は無いが塗装をやりたいと思い入社して来た新入職員や海外からの研修生等、職業訓練教育のプログラムとしても活用出来る。また、有機溶剤を使用する特殊な作業環境や、塗料が塗膜となり製品として役目を果たすには、適正な環境下で最適な道具、そして複雑な構造物でも、人の手が届く限り塗装が行える技量が揃わないと効果を得られない。

新塗装性能基準(PSPC for COT)により、一隻の塗装範囲は多くなり、作業量も増加しているが、基準通りの施工を行う事が塗装の品質を左右する。

8. 最後に

導入後1年半が経ち、昨年入社の塗装現場の新入社員は導入前の者と比べ1年早くスプレー塗装がデビュー出来ている。雨で屋外の作業が出来ない時や、時間を作ってトレーニングをコツコツと行った努力が今技術として身につけ始めている。現場での指導と合わせ、練習台を頻繁に使用し、熟練者からのアドバイスと小集団での活動を通じ、同僚から塗装姿勢を見てもらう事は、本人と周りも一緒に成長出来る機会である。新しく入って来た仲間にも、教わった通りに自分なりに表現して指導していく事がチーム力にも繋がる。写真16の様な白い部分が多い結果(=厚膜)でも、次はもっと白い部分を無くそう、平均値が良いデータを目指そうという気持ちで現場塗装も挑んで頂きたい。

PSPC ルールによる塗装性能基準下での適正な塗装を行う事は、技量が無ければ品質にも影響し、工程にも影響を及ぼす。また安全な作業を行う為にも、塗装の環境は指導教育面からも変わってきているのは確かな事である。

塗料費に関しても厚膜傾向にあるのは現状を把握した際に見受けられたが、未だ目に見える形で結果を出し切れていない面があるので、技能評価を通じて今後更に取り組み

を加速させ、導入した設備を無駄にせずコストメリットを生み出していく。



写真16 トレーニングはやり直しがきく

謝辞

他社調査では設備導入前から使用状況や運用方法をアドバイスして頂いた関係者の皆様、デモ機を使用した際、アンケートにご協力頂いた弊社関係者の皆様、並びに本稿執筆にご協力頂いた皆様に感謝致します。