

論文・解説

29

U2塗装工場新生の概要 Introduction of U2 Paint Shop's Renewal

吉岡 秀久*1 長嶺 浩*2 亀迫 裕介*3
Hidehisa Yoshioka Hiroshi Nagamine Yusuke Kamesako
安藤 宏泰*4 世良 和也*5 紙元 隆行*6
Hiroyasu Andou Kazuya Sera Takayuki Kamimoto

要約

宇品第2(U2)塗装工場は、マツダの生産ラインの基本コンセプトである「スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン」の実現を目指して2004年5月に再稼動を果たした。休止工場再稼動の工期メリットを活かし、既存の建屋・レイアウト・設備を最大限活用しながら、マツダのもつ最新の生産技術・製造技術、そしてものづくりの知恵を集大成することで、新設ラインと比較して大幅に投資を削減し塗装ラインの新生を図った。

本稿では、U2塗装工場新生に向けた3つのコンセプト『1. 地球環境と働く人にやさしいライン』、『2. 高品質・同期生産ライン』、『3. 多機種対応フレキシブル生産ライン』について、その基本的な考え方と施策内容について紹介する。

Summary

In May 2004, U2 paint shop resumed production aiming to realize Mazda's production line concept "slim, straight, and high-quality plant running the flexible and synchronized production". It made the maximal use of the merit "resumption of a dormant plant" with lesser production lead-up time. Using existing buildings, layout, facilities while bringing together the accumulated Mazda's latest production engineering and manufacturing wisdom, U2 paint line was rejuvenated with significantly reduced investment.

This report introduces the basic thought and the approaches to achieve three concepts, 1. friendly to humans and environment, 2. synchronization and high quality, 3. flexible production line for multiple models.

1. はじめに

U2工場は1972年12月に操業を開始して以来、マツダの小型車生産の主力工場として、ファミリアやデミオなどを生産してきたが、2001年9月に、生産体制を再編すべく工場を閉鎖した。そして、新商品導入による商品主導の成長に備えた生産体制の強化の一環として、2004年5月に操業を再開した。これは、単なる工場再開ではなく、働く人と環境に配慮しながらより高い品質と生産性を実現し、世界トップクラスのフレキシブルな生産ラインを目指してその新生を図った。本稿では、その基本コンセプトとその具現化に向けた考え方、施策内容について紹介する。

2. 塗装ラインの特徴と課題

従来の塗装ラインの基本プロセスをFig.1に示す。車体工場から送られてきたボデーは、洗浄・化成被膜処理後、防錆を目的とした電着塗装、防振・防水を目的としたシーラ・アンダーコートなどの下塗塗装、下地色隠蔽や耐チップング性等の塗装の機能を補助する中塗塗装、そしてカラーを付与するベースと耐候性等の機能を付与するクリヤから成る上塗塗装の順で塗装され、組立工場に送られる。このように塗装ラインは4つの基本工程から構成されており、それぞれの工程は、準備や検査・手直し等の付随作業や焼付け乾燥炉を備えている。

*1~6 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

従って、塗装ラインは、その生産時間が8時間以上となる長い工程から構成され、また、塗装以外に充填や貼り物等の多様な作業が存在する。このような特徴を踏まえ、塗装ラインは次のような課題を持っている。

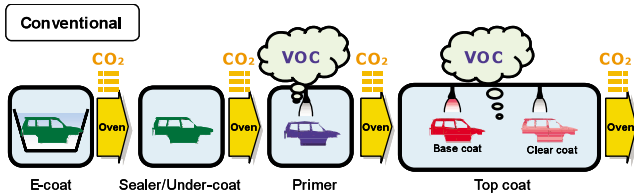


Fig.1 Basic Process of Painting Line

2.1 環境負荷物質の排出削減

塗装ラインは、塗料に含まれるトルエン・キシレン等の揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compounds, 以下VOC) や、塗装ブースや乾燥炉等における多量のエネルギー消費 (CO₂) など、多量の環境負荷物質を排出している。これまで、VOC排出の自主規制や省エネ活動など継続的な改善を進めているが、世界規模の環境保全への関心が高まる中で、その抜本的な取組みが急務となっている。

2.2 作業環境の改善

塗装ラインは、高温の焼付け乾燥炉を備えるため、暑熱作業環境を排除することは大きな課題である。これまでのU2塗装ラインは、作業場が乾燥炉の近くに散在するため冷房ダクト等を配するなどの対応にとどまっていた。新生に際し、暑熱環境の排除に向けた抜本的な対応が求められる。

また、吹付け作業を中心に自動化が進んだとはいえ、ボデー床裏や室内では、上向きや腰曲げなど難姿勢の作業が存在しており、大幅な改善が必要である。

2.3 無塵化ラインの実現

塗装ラインにおける第一の生産阻害要因はゴミ・ブツ不良である。これまで、その発生要因に溯った知恵と工夫で大幅な不良削減を図ってきたが、不良を作らないための準備作業や発生した不良を検出・修正する手直しなど、商品に直接価値を生まない付随作業が各工程に必要であった。

また、仕上げ工程の上塗塗装後に検出された不良は、ラインからボデーを抜き出して手直しするため生産順序を乱している。これは、生産ライン全体で進めている計画順序生産を実現する上での大きな課題となっていた。

2.4 塗装ラインの汎用化

将来を見据え、市場ニーズの多様化や変化にフレキシブルに対応していくには、ボデー形状やサイズに制約なく短期間に新型車の導入が図れ、また、生産車種数や量の変動に強い生産ラインの構築が求められる。

塗装ラインはディップ槽やブース、乾燥炉など大型の設備で構成されるため、特にボデー形状やサイズへの対応に

は塗装ライン全体としての制約があり、大幅な改造投資と工事期間を要する。この状況を踏まえ、生産準備期間の短縮に向け、設備の汎用化など量産準備プロセス革新と連携した生産ラインの構築が求められている。

3. U2塗装工場新生のコンセプト

U2塗装工場新生を、生産ライン全体のコンセプトである『スリムでストレートな高品質フレキシブル同期生産ライン』の実現と位置付け、上記で述べた課題解決を図るべく、以下の三つの基本コンセプトを掲げて取り組んだ。休止工場再稼働の工期メリットを活かし、既存の建屋・レイアウト・設備を最大限活用しながら、マツダのもつ最新の生産技術・製造技術、そしてものづくりの知恵を集大成し、新設と比較して大幅に投資を削減し塗装ライン新生を図ることとした。

3.1 地球環境と働く人にやさしい生産ライン

抜本的な環境負荷物質の削減と快適な作業環境に最大限配慮した生産ラインの実現を第一のコンセプトとし、工程集約を基本とした施策展開を図った。

環境負荷物質の削減として、VOC及びCO₂を同時に削減し、かつ、コスト低減が果たせる『3ウエットオン塗装』を展開した。また、働く人にやさしい生産ラインの実現に向けて、ダストレス塗装による難姿勢を伴う付随作業の削減や、作業工程を集約化することにより効率的で快適な作業環境の提供を図った。

3.2 高品質・同期生産ライン

お客様の期待に応える塗装品質を工程内で確実に作り込み、お客様の要求に即応して製品を提供する高品質・同期生産ラインの実現を第二のコンセプトとし、工程内不良ゼロの無塵化ラインの具現化による計画順序生産並びに同期生産の実現を目指した。

主要施策として、電着槽内のゴミ捕集率約100%を実現する電着新循環方式(対向流)や、徹底した防塵トンネル化など現場で培ってきた知恵を活かした施策を展開した。

3.3 多機種対応フレキシブル生産ライン

今後の商品主導による成長をサポートするため、「デミオ」クラスから「MPV」クラスの車種がフレキシブルに対応できる生産ラインの実現を第三のコンセプトとした。

従来、小型車に限定されていたU2塗装ラインをRV車まで対応することを前提に、ボデー形状やサイズ、カラーなどの塗装仕様の異なる複数の車種を同一のラインで生産する多種混流で、車種数や生産量の変動に強く、かつ、新型車を短期間に導入できる生産ラインの実現を目指した。この対応として、搬送系設備を中心とした全ボデーサイズ対応を図り、設備の汎用化領域拡大による新型車導入の即応化を進めた。また、MDI (Mazda Digital Innovation) と連携した生産プロセスとし、シミュレーション環境下でのボデー構造と生産設計のコンカレント化を進めることで、手

戻りのない生産設計が可能なラインとした。

U2塗装工場新生の工程レイアウトをFig.2に示し、3つのコンセプトに対する主要施策と内容を紹介する。

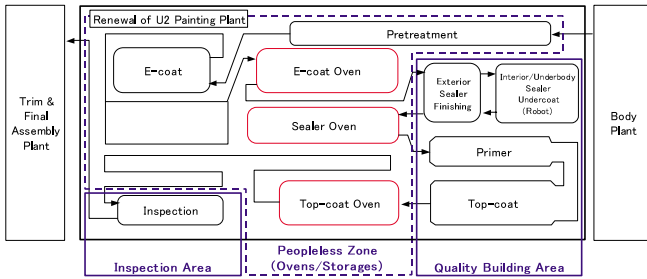


Fig.2 Process Layout of U2 Renewal Painting Line

4. 地球環境と働く人にやさしい生産ライン

4.1 3ウエットオン塗装の導入

3ウエットオン塗装は、工程短縮・集約の考えのもと、マツダで開発した最新の環境技術である。水性塗料などVOC削減を中心とした従来の環境技術に対し、VOC(50%減)とCO₂(20%減)を同時に削減し、更に、抜本的なコスト低減(20~25%減)も実現するものである。2002年に世界に先駆けて防府第1塗装工場に導入し、マツダの標準塗装としてU2塗装工場への展開を図った。

Fig.3に3ウエットオン塗装工程の概要を示した。3ウエットオン塗装は、中塗、ベース、クリアをウエット状態で連続塗装した後、一度に焼き付ける新工法で、これにより従来の中塗工程を廃止し、エネルギー消費により発生するCO₂とコストを同時に削減できる。また、塗料中に含まれるVOC含有量を減らす塗料の低溶剤化と、ロボット塗装技術による塗装効率向上や膜厚均一化など、塗料使用量自体の低減によるVOC排出削減を実現している⁽¹⁾。

U2塗装工場新生では、3ウエットオン塗装の展開のみならず、効率的な塗装ロボット配置による省スペース化を追求し、既存ラインの塗装ブースや乾燥炉などの塗装設備を踏襲しながら、新設ラインと同様に内板塗装ロボット導入や水性塗料化を可能とするレイアウトを実現できた。これにより、操業再開時点で欧州VOC排出基準である塗装面積あたり35g/m²以下を達成するだけでなく、将来に向けた環境施策の展開も可能となった。

4.2 下塗工程の集約

下塗工程は、ボデー床裏のシーラやアンダーコートなどの床裏工程と、ボデー室内外のシーラ工程に大別されている。また、マスキング材の貼り付けや剥ぎ、テーピング、仕上げや拭き取りなどの付随作業が散在し、床裏や室内作業では上向きや腰曲げの難姿勢作業が多く残っている。

下塗工程は、エルゴノミクス改善の観点から、早くから

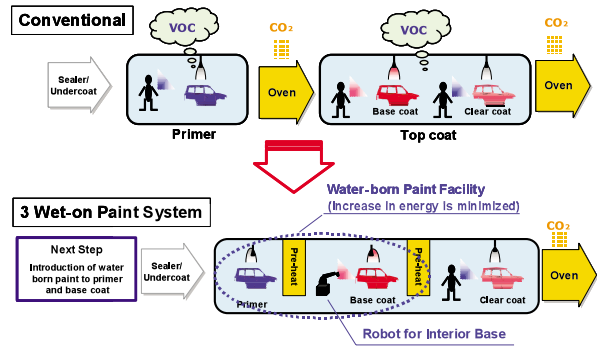


Fig.3 3 Wet-on Painting System

自動化への取組みを進めてきた工程である。しかし、これまで、床裏工程とシーラ工程を個別に捉え、それぞれを自動化することを前提としていたため、マニュアル作業以上に工程数が必要となり、スペースや投資効率の制約から既存ラインで自動化を進めることは困難と考えていた。これに対し、U2塗装工場新生では、床裏塗装と内板シーラを同一工程に集約(Fig.4)することを考え、Fig.5に示すようにロボットを二層に高密度配置することで、限られたスペースの中でこれらの自動化を実現することができた。

床裏工程のアンダーコート塗装では、一般的に高粘性塗料とエアレス塗装の組合せで塗装される。しかし、その構造上、塗料ダストが発生するため、部品取付け面には付着防止のマスキングや、付着した塗料ダストを拭き取るなど

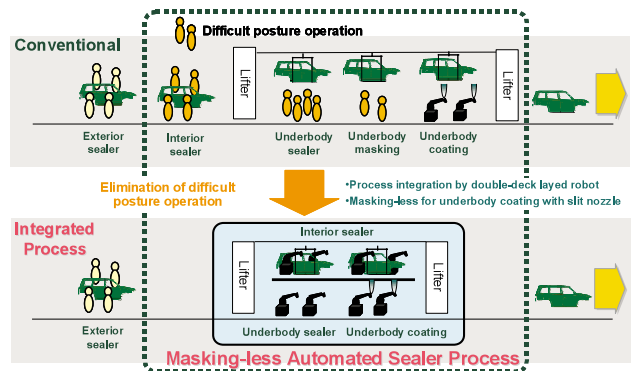


Fig.4 Process Integration of Interior Sealer/Underbody Coating

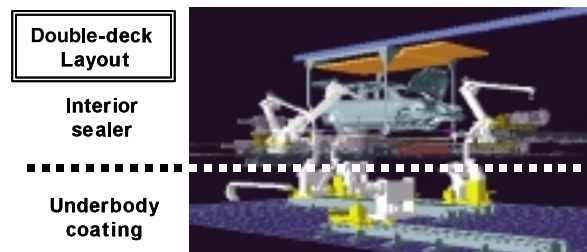


Fig.5 Double-deck Layout

の付随作業が必要であった。この下塗工程集約の中で、これらの付随作業を排除することを狙いに、その発生源である塗料ダストが発生しないスリット塗装によるダストレス工法を技術開発した。加えて、部品取付け面を正確に回避する高精度塗装と組合せ、マスキングを必要としないアンダーコート塗装の実現を図った（詳細は、「高粘度塗料のダストレス塗布工法の開発」の論文を参照）。

また、室内シーラでは、ノズルや材料の改良と塗装条件の最適化により、ロボットによるシーラ塗布精度の信頼性を大幅に向上させ、水漏れなど品質保証のために従来必要であった仕上げ作業の削減を図っている。

これらの取組みにより下塗工程での難姿勢作業を大幅に改善できた。

4.3 作業環境の改善

新設ラインにおける作業環境の改善は、1980年代に作業場と乾燥炉を分離して乾燥炉後にストレージラインを設けるなど暑熱作業に配慮したレイアウトが確立し、1990年代には作業エリアをゾーニングして効率的な空調環境が提供されるようになった。しかし、1970年代に建設されたU2塗装工場は、乾燥炉が工場の中央に位置し、その前後に作業場が散在するレイアウトとなっており、更に、乾燥炉後のストレージラインもなく、十分に冷却されていないボデーが流れてくるなど、新生に際して抜本的なレイアウト改善が必要であった。

U2塗装工場新生では、基礎工事を最少とするため既存のコンベヤ経路を踏襲しながら、前述の3ウエットオン塗装や下塗工程集約などで効率化したスペースを活用して、各乾燥炉後にストレージラインをレイアウトした。更に、これまで8つに分散していた作業エリアを4つに集約した上で、そのゾーニングと空調設備の導入を図った。これらの施策により、新設ラインと同様な快適な作業場を提供することができたと考えている。

5. 高品質・同期生産ライン

5.1 電着新循環方式（対向流）の導入

電着塗装工程の無塵化を図るため、防府工場に採用してきた電着新循環方式（対向流）をより進化させて導入した。

電着塗装は、ボデーをディップ槽に浸漬し、電気的にボデーに塗料を析出させる塗装方法である。その際、ボデーから持ち込まれる鉄粉や化成スラッジ、また、電着塗料の凝集物などのゴミが、電着塗装時にボデーに付着してブツ不良となる。これは、後工程で塗装面をペーパーで研いで修正されるが、不良の見逃しや研ぎカスが次工程でゴミの要因となり、上塗後の不良にまで影響を及ぼしていた。

新循環方式は、槽内の電着塗料の流れとゴミ捕集効率を解析することにより開発された電着ブツレス化技術である。従来の循環方式（Fig.6）は、ボデー進行と同方向に塗料は流れ、また、槽内ではよどみが生じてゴミの捕集効

率は約57%と低かった。これに対し、新循環方式（Fig.7）は、塗料の流れをボデー進行と逆方向とし、よどみのない流れにすることで、ボデーにゴミが付着せず、かつ、ゴミ捕集効率の抜本的な改善を図ることができる⁽²⁾。

今回のU2塗装工場新生への展開にあたっては、防府工場で採用した循環対向流方式よりも、更にゴミ捕集効率（100%）の高い全対向流方式を採用した。5.2で述べる無塵化プロセスに向けた取組みと合わせて、電着後の修正研ぎが不要なレベルまで電着ブツの削減ができた。

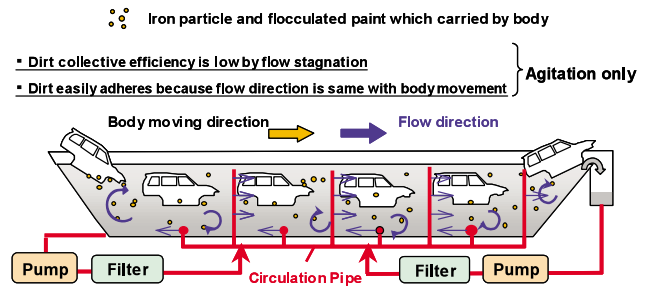


Fig.6 Conventional Type of Circulation

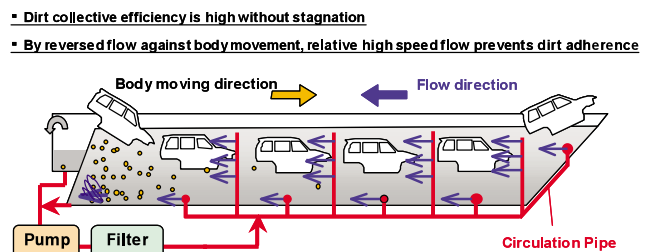


Fig.7 New Type of Circulation (Counter Flow)

5.2 無塵化ラインの実現

塗装ラインの究極の課題ともいえる無塵化ラインの実現は、“持ち込まない”、“発生させない”、“取り除く”の三原則に従い、ゴミ不良の要因系に基づく改善や管理の積み重ねが極めて重要であり、これをベースにしたレイアウト設計や技術開発が必要である。

U2塗装工場新生では、前述の3ウエットオン塗装や下塗の事例のような工程集約により、従来に比べ約36%の工程短縮が図れ、“品質の造り込みエリア”として重点管理が必要な工程を集約配置したレイアウト（Fig.2）とすることができた。また、不要となった中塗ブースや乾燥炉を活用しながら防塵トンネル化を徹底し、作業場では陽圧化を進めるなどゴミを持ち込まないレイアウトとした。

その他にも、ボデー内部を洗浄するスプレーやボデー外板を洗浄する高圧スプレーなどのボデー洗浄技術や、ボデーに付着したゴミの可視化など、これまで現場で培ってきた数千にものぼる改善を展開している（Fig.8）。これら無

塵化ラインの実現に向けた生産技術の集大成と現場で培ったものづくりの知恵を展開することにより、ゴミ不良件数を大幅に削減し、従来、85%程度であった計画遵守率を99%以上まで向上させることができ、狙い通り生産ライン全体の計画順序生産を実現することができた。

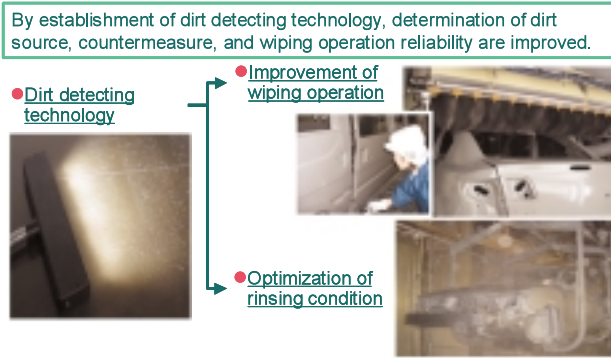


Fig.8 Dirt Detecting/Eliminating Technology

6. 多機種対応フレキシブル生産ライン

6.1 全ボデーサイズ対応

塗装ラインは、ディップ槽やブース、乾燥炉など大型の塗装設備で構成されており、工場設計時のボデーサイズを大幅に超える場合には、設備更新など大規模な設備対応が必要となる。これに対し、U2塗装工場新生では、ボデーを搬送するハンガーや台車など搬送設備を中心に、既存の塗装設備流用を前提とした全ボデーサイズ対応を図った。

ボデーをハンガーに吊り下げてディップ槽に浸漬させる表面処理・電着工程では、ハンガーの最大化や、ハンガーの揺れを防止するガイドバー設置などにより、小型車前提で設計されたディップ槽本体を流用しながら車高や車幅の拡大への対応を行った。

各乾燥炉では、ボデーサイズ拡大に伴う炉本体の延長をなくすため、高速昇温技術を取り入れた。これは、暖まりにくいボデー部位に熱風吹出し口を配置し、吹出し口をスリット形状にすることで風速をアップしてボデー昇温の速度を上げるものである。これにより、乾燥炉本体はそのままに小規模のダクト改造のみでボデーサイズ拡大に対応することができた。

これらの施策により、従来、小型車専用であったU2塗装ラインがMPVクラスまで生産可能となった。

6.2 生産設備の汎用化

新型車や車種追加に対し、投資ミニマムで即応していくには、設備の汎用化を進めることが極めて重要である。塗装ラインでは、その都度、ボデーの位置決めや搬送設備の受け部について装置追加や共用化改造を繰り返しており、その汎用化に向け次の施策を展開した。

(1) ボデー位置決め

シーラ・アンダーコート塗装の自動化工程では、より高

い塗布精度が要求されるため、フロントとリヤなどの基準穴を用いたボデーの位置決めが必要である。

この方法として、ピンを基準穴に差し込むボデー位置規制方式や、固定カメラで基準穴を検出してボデーの位置ずれを塗装軌跡側で自動補正する方法 (Table 1) が知られている。

Table 1 Conventional Method of Positioning of The Body

		Conventional method	
Applying accuracy	concept	Restrict the position of the body	Detect/Correct the position of the body
	correspond	Locator pin	Fixed camera
Generality		× 1 model/1 device	△ Commonizable if it is in view
Qualification for double-deck layout (Interference with robot)		×	△

しかし、これらは、基準穴の位置が異なる車種それぞれに専用装置を設けることになり、新型車や車種追加に合わせ装置追加や改造が必要となっていた。更に、前述の下塗ロボットを二層に集約配置する場合、これらの装置との干渉回避のため、ロボットの動作範囲に制約を受けることが大きな課題であった。

このボデー位置決めを汎用化する方式として、アンダーコートロボット自体にカメラを持たせ、車種に応じてボデー位置を検出させることを考えた (Fig.9)。この方式は、アンダーコートの塗料ダストがカメラを汚すため、誤検出や頻りにメンテナンスが必要であることから塗装工場での採用例は少なかったが、前述のダストレス工法の実現によりこれらの問題の解決が図れた。

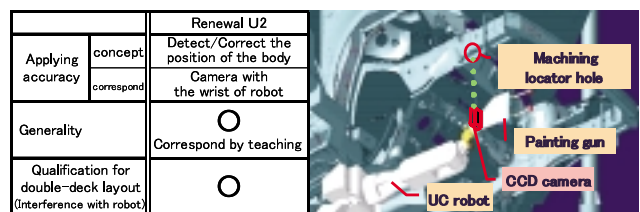


Fig.9 U2 Renewal Camera Method

(2) 搬送設備のボデー受け部

ボデーの搬送台車は、台車ベースとボデー受け部から構成され、これまで受け部を共用化改造して多機種対応を図ってきた。3Dでの設備設計が進んだとはいえ、車種導入の都度、多くの設計工数や現地改造が必要となっていた。

このボデー受けの汎用化のため、車種セグメントごとに受け部となる搬送基準や加工基準の位置や寸法を要件化し、台車では要件化された受け部を車種に応じピンを差し替えながら受けるピンチェンジ方式を開発した (Fig.10)。この開発は、開発部門との協力に加え、塗装工場固有の塗

料ダスト付着や乾燥炉での熱変形など信頼性に対する課題の解決により実現することができた。これにより、新型車や車種追加に、投資なしで即応化することが可能となった。

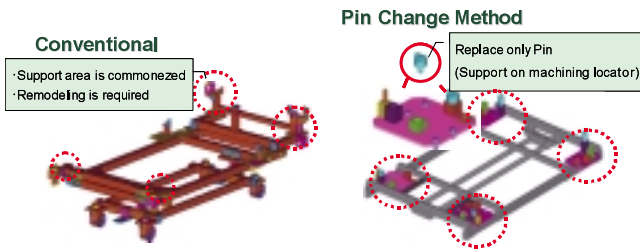


Fig.10 Generalization of Support

6.3 MDIによる生産準備プロセス革新

MDIによる生産準備プロセス革新を通じて、ボデー構造と生産工程のデータ化と併せてシミュレーション技術の開発や環境整備により、従来、実車で評価・検証していた項目を机上で評価できるようにしてきた。

3ウエットオン塗装の事例では、工程検証として、塗装ロボットのレイアウト検討のために動作範囲や干渉の評価を行い、更に、塗装効率の高い塗り方の設計や独自の膜厚シミュレーションによる品質検証など、設備設計から品質検証までの一連の塗装業務が同じ3D-CAD環境下で同時にできるようにした (Fig.11)。

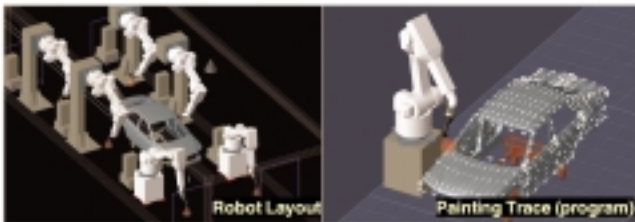


Fig.11 Robot Layout/Painting Trace Simulation

ここで検証されたロボット軌跡と塗装条件はティーチングプログラムとして直接実機にダウンロードされ、その精度は狙いの品質を手戻りなく実現できるレベルまで向上してきた。これにより、これまでの実ボデーを用いたライン塗装トライアルによる塗装条件の設定等の育成業務は不要とすることができた。

この他、ハンガー・移載機・ピンチェンジなどの搬送設備や下塗ロボット等の塗装装置など、新型車の開発や塗装品質育成が必要な設備には全て同じ環境を整え、MDIと連携した生産プロセスを実現できた。

また、設備制御領域もシミュレーションによる机上検証手法の確立を進め、ハード・ソフト両面から手戻りのないスムーズな立ち上げの実現を図った。

このように、生産設備のシミュレーション環境を整えたことで、これまで以上にボデー構造と生産設計のコンカレ

ント化を推進し、手戻りのない生産設計と量産準備期間の短縮が図れるものと確信している。

7. おわりに

U2工場新生では、世界中の自動車工場が目標とする知恵と技術の最先端工場を目指して三つの基本コンセプトを掲げ、その具現化に向けた様々な施策を導入した。本稿で詳細は触れないが、環境負荷物質や作業環境、無塵化、汎用化など塗装ラインの課題に対し、塗装工場の変革ともいえる抜本的な取組みが、品質、コスト、リードタイムなどの生産性指標の大幅な改善につながったと考えている。

しかし、更なる環境改善、コスト低減と品質向上、商品力や期間短縮などの普遍的な塗装ラインの課題に対して、U2塗装工場新生でそのスタートラインに立ったに過ぎない。U2塗装工場新生の考え方と施策を他ラインへの展開はもちろん、世界にベンチマークされ続けるモデルラインとして進化し続けるために、今後とも、R&Dと生産技術・製造が一体となった取組みを進めていきたい。

最後に、今回のU2塗装工場新生にあたって協力頂いた社内外の関係先の方々に、本誌面を借りて厚く感謝する。

参考文献

- (1) 神田輝夫, 他: 環境にやさしい新塗装技術の開発, マツダ技報, No.21, p.205-210 (2003)
- (2) 安藤宏泰: 新電着工法の開発, マツダ技報, No.20, p.227-231 (2002)

著者



吉岡秀久



長嶺 浩



亀迫裕介



世良和也



紙元隆行