

特集：MAZDA MX-30

14

MX-30 省エネルギー 3 トーン塗装の開発 Development of Energy-Saving 3-Tone Paint Process for MX-30

永田 浩太郎^{*1} 服部 博晃^{*2} 松元 貴大^{*3}
Kotaro Nagata Hiroaki Hattori Takahiro Matsumoto

要 約

マツダは 2030 年を見据えた技術開発の長期ビジョン「サステナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030」に基づいて Well-to-Wheel 視点での CO₂ 排出量削減に取り組んでおり、生産工程においても再生可能エネルギーの利用や工程革新によるエネルギー・資源・廃棄物の削減を進めている。

今回、MX-30 にマツダ初となる 3 トーンカラーを採用した。一般的なマルチトーン塗装は塗装工程を数回周回させることで異なる色を塗り分けていくが、ボディを塗装工程に通した回数だけエネルギーを消費するため環境負荷は大きくなる。本稿では、MX-30 に新たに採用した環境にやさしいマツダ独自の 3 トーン塗装の内容について紹介する。

Abstract

Mazda is taking a “Well-to-Wheel” approach to reduce CO₂ emissions based on its “Sustainable Zoom-Zoom 2030” long-term vision for technology development. We are also working towards using renewable energy in the production process and reducing waste and the use of energy and resources through process innovation.

The Mazda MX-30 is the first model to offer 3-tone color options at Mazda. In general multi-tone color options, paints are applied multiple times by repeating the painting process for every different color, resulting in a great environmental impact because of the energy required for every painting process. This article introduces the development of Mazda’s unique eco-friendly 3-tone paint process that has been applied to the Mazda MX-30.

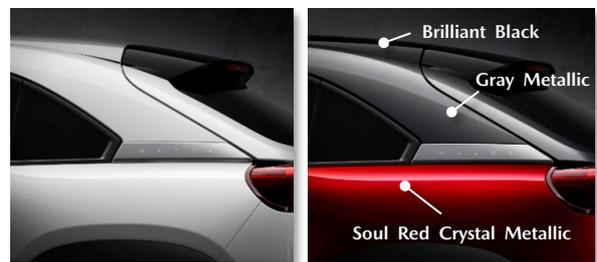
Key words : Environment, Energy, Resources, Production, Life cycle assessment, Body, Exterior, Paint, 3-tone

1. はじめに

マツダは「カラーも造形の一部」という考え方にに基づき、魂動デザインの造形を光の陰影によって際立たせる特別なカラーであるソウルレッドクリスタルメタリックやマシングレープレミアムメタリックをお客様にお届けしてきた⁽¹⁾。

MX-30 では「Human Modern」のデザインコンセプトの下、躍動的な生命感あふれる造形、そして特徴的なフリースタイルドアをより際立たせるために新たにフレームドトップ (3 トーン塗装) を採用した (Fig. 1)。

また、マツダはサステナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030 に基づいて、ライフサイクル視点での環境負荷低減に取り組んでおり、環境にやさしい製品だけではなく



1-tone color

3-tone color

Fig. 1 MX-30 3-Tone Color

生産段階での環境対策も進めている⁽²⁾。塗装工程は自動車生産工程の中でも特に環境負荷の高い工程であるが、その中でも製品に色彩を付与する上塗工程の CO₂ 排出量は最も多い。

*1~3 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

マツダでは「スリー・ウェット・オン塗装」や「アクアテック塗装」などの革新的な塗装技術により、世界最高水準の低環境負荷を実現してきた⁽³⁾。今後カーボンニュートラルの実現に向けて取り組みを進める中で、3トーン塗装による環境負荷の抑制を重要課題として位置づけ、環境にやさしい3トーン塗装を新たに開発した。

2. 工程設計の考え方

上塗工程の機能は、ボディに美観や耐久性を持った塗膜を付与することである。具体的には、温度と湿度を一定に保った塗装ブースの中で塗料をボディに塗装する。そして、高温に保った乾燥炉の中にボディを入れて、塗料を化学反応で硬化させ、強固な塗膜をつくっている。

MX-30の3トーン塗装は、ボディの下側半分をソウルレッドクリスタルメタリックなどのメイン色とし、ピラーとルーフサイドをシルバー色、ルーフを黒色とした合計3色の塗り分けを行う。

特に、2色目のシルバー色、3色目の黒色はボディの上半分に集中していることが特徴である (Fig. 2)。



Fig. 2 Paint Area

Fig. 3に「一般的な3トーン塗装工程 (a)」と「MX-30に採用した3トーン塗装工程 (b)」との比較を示す。

ボディ塗装用の上塗工程は、ボディ外板やドア開口部やエンジンルームなどボディ全体を塗装する長い工程となっている。(a)の工程でMX-30の3トーンを塗装しようとする、まずはボディ色の塗装、2色目のシルバー色、3色目の黒色と合計3回も上塗工程を周

回させることになる。また、シルバー色と黒色に関しては、塗装する面積が小さいためボディ全体を塗装できる上塗工程は過剰能力であり、そこで消費されるエネルギーはロスである。これは、乾燥炉でも同じことが言える。

そこで今回、マルチトーン塗装に特化した専用工程を新たに設置し、そこで2色目と3色目の塗装をするようにした (Fig. 3(b))。加えて、今回は単なる専用工程をつくるのではなく、「必要な部位だけに必要な量だけ」という工程設計コンセプトの下、一般的な方法の (a) と比較して大幅にCO₂排出量を削減できる新しい上塗工程の確立を目指した。この実現にあたっては、塗装工程及び乾燥工程における消費エネルギーの最小化が課題であり、以下の取り組みを行った。

1. 材料の硬化温度を下げる
2. 塗着効率の向上
3. 塗装ブースのシンプル化、コンパクト化
4. 乾燥効率の向上

次章に具体的な課題への取り組みを述べる。

3. 主要取り組み

3.1 低温硬化塗料

一般的な自動車用塗料はおよそ140℃以上という高温での乾燥工程を経て、美観や耐久性能を発現する設計になっているが、塗料の硬化反応選択の段階で硬化に必要なエネルギーが決まる。

そこで、エネルギーを大幅に削減するために低温で硬化する塗料の開発が最重要課題と考え、今回新たに開発に取り組んだ。

具体的には、アクアテック塗装にて開発した2液硬化型クリアにおける塗料設計の考え方⁽³⁾を、今回の3トーン塗装ではベース層にも適用し、80℃で硬化する塗料を開発した。

新たな塗料を用いる上で、美観や耐久性を持ったねらいの塗膜をボディ表面に正確に付与するために、塗装した塗膜のシンナー揮発の時間変化などをシミュレー

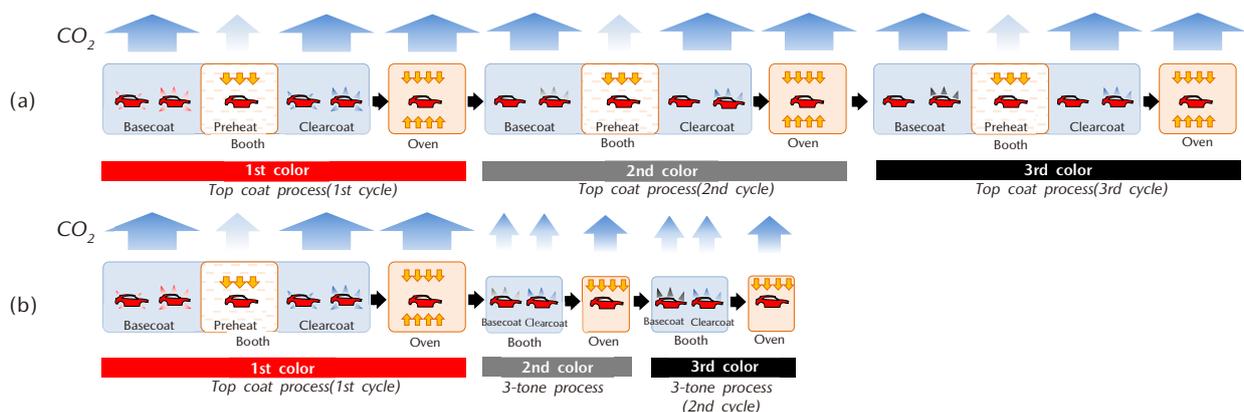


Fig. 3 CO₂ Emissions In 3-Tone Process

ション (Fig. 4) によって検証した上で、塗装条件の決定や塗装ロボットのプログラミングを行った。これによって、塗膜として保証すべき品質を確保しながら硬化エネルギーを削減できた。

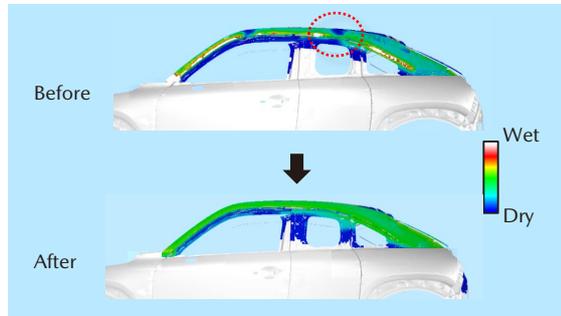


Fig. 4 Solvent Evaporate Simulation

3.2 省エネ塗装機

一般的な塗装システムでは、エアースプレーガンや回転式静電ベル塗装機などにより塗料を粒子化して空中を輸送し、塗装面に塗着させる方式が用いられている。通常、自動車ボディのような大きな面積のワークを限られた一定時間内で塗装する必要があり、更に塗装機とボディとの相対的な位置関係のバラツキの影響を吸収するために、スプレーパターンの大きい塗装機を使用しているが、MX-30の3トーンのような狭い面積の塗装範囲に対しては、非塗装面にはみ出して付着したり (Fig. 5 (a))、空中輸送中に塗装面から大きく外れて非塗装面や付帯設備に付着したりするといういわゆるオーバースプレー (以下、O/S) が発生してしまい、材料ロスとなる (Fig. 5 (b))。

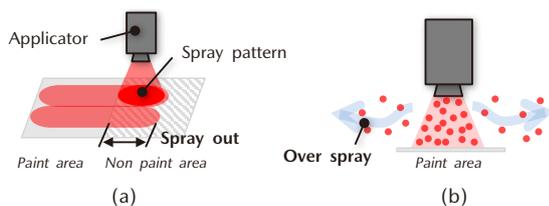


Fig. 5 Material Loss

従って、①細かい部分の塗装に適したスプレーパターンの小さい塗装機の実用化と②O/Sの最少化を課題ととらえ、以下に取り組んだ。

まず、①に対して、エア使用量を最少化できる新たな塗装機の量産適用に挑戦し、先述のシミュレーションを活用しながら塗装面からはみ出す面積を最小化した。また、②に対して、スプレー塗装する際のエア使用量をいかに少なく抑えるかがポイントとなった。今回採用した塗装機は塗料を粒子化し、塗装面へ付着させるために、エアを使用しているが、その使用量が多くなると、

塗装面に当たり跳ね返ったエアやブース内の気流などによりエアの流れに乱れが発生し、それによりO/Sが増加する。今回、塗装機とボディとの相対位置のバラツキを設備によって小さくする事で、小さなスプレーパターンを適用することができた。これによりエアの使用量を最少化し、従来よりもO/Sの少ない塗り方を実現できた (Fig. 6)。

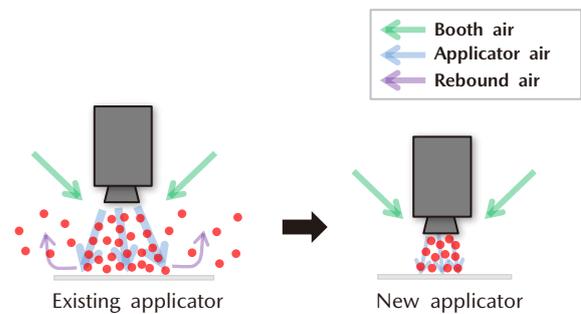


Fig. 6 Over Spray By Turbulence Flow

また、通常の塗装ラインでは1つの塗装機に対し、異なる塗色の塗料供給装置を設け、複数の塗色を塗装する。この際、1つの色を使い終えるごとに溶剤で経路内を洗浄した後で、異なる塗料を充填する色替えを実施する。この際、経路内から押し出して捨てる塗料やそのために使用する溶剤も大きな材料ロスである (Fig. 7(a))。

そこで、塗装機に付随する塗料ホースやエアホースなどをコンパクトに配置し、塗色ごとに塗装機を設けることによって、色替えを廃止し、材料ロスを大幅に削減できた (Fig. 7(b))。

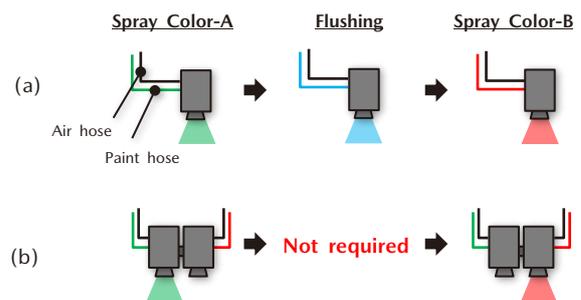


Fig. 7 Color Change Process

このように、ロスとなっている塗料や溶剤は廃棄または回収して一部再利用されるが、塗料や溶剤の製造には多くのエネルギーが必要であり、ライフサイクルアセスメントの観点においてもエネルギーを削減できた。

3.3 省エネ塗装ブース

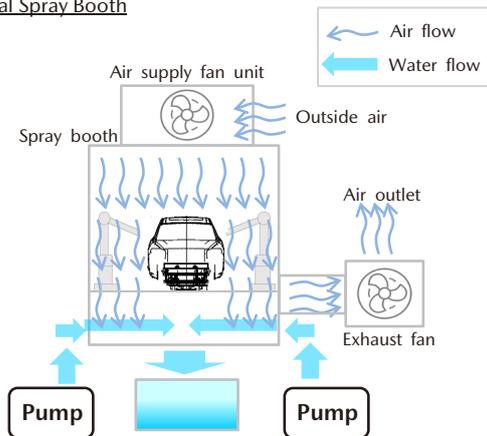
塗装ブースの機能は、大きく3つあり、1つ目は、労働安全衛生法に基づく省令である有機溶剤中毒予防規則に則り、安全な作業環境を確保するため、塗装ブース内の換気することである。2つ目は、塗膜の中に含まれる溶

剤分の揮発速度を一定に保つため、塗装ブース内の空気温度を一定に制御することである。3つ目は、排気に含まれる有機溶剤分を外部に排出せずに回収することである。

一般的な塗装ブースでは、上記1つ目と2つ目を満足するために、天井から温度制御した空気を供給して、塗装できる環境を作るとともに、床から排気することで、一定速の下降気流を作り出し、塗装ブース全体の換気を行っている。また、ボディ全体の塗装を前提として設計されており、3トーン塗装のように特定部位のみを塗装する場合には、多くのエネルギーがロスとなる上に、塗分け回数に応じて、複数回塗装ブースを通過させなければならないことから、それに伴ってロスが増大する。

更に、3つ目を満足するために、ブース下部を循環させている水流に排気を接触させることで、排気中に含まれている有機溶剤分を回収する方法が用いられている。このように水流循環させる湿式回収方式では、水流を作り出すために複数の大揚程ポンプを回さなければならず、多くのエネルギーが必要になる。また、循環水に含まれる有害物質を無害化する排水処理にも多くのエネルギーが必要である (Fig. 8(a))。

(a)General Spray Booth



(b)MX-30 3-Tone Spray Booth

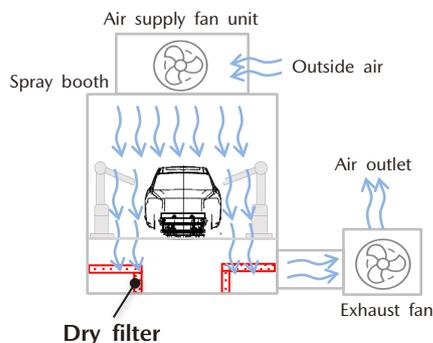


Fig. 8 Spray Booth (Front View)

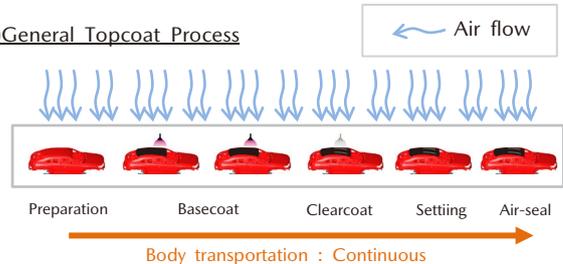
従って、①塗装ブースにおける必要空気量の削減と②O/S削減を課題ととらえて以下の取り組みを行った。

①に対する施策として、ボディを各工程に一時停止させるシャトル搬送形式を採用し、ベース塗装・クリア塗装・セッチングといった各工程に必要な作業時間をそれぞれ一か所で確保するライン設計を行った。これにより塗装ブース長を短縮することで、必要空気量を大幅に低減した。

加えて、工程間にシャッターを導入し、シャトル搬送と同期動作させて、ボディ搬送時のみ開閉動作する方式を採用した。これにより、ブース内空調と外気との接触時間を最小限に抑え、ブース内温度の変化を抑制することで、空気の温度を安定に維持するための加温や冷却にかかるエネルギーを削減した。

更に、シャッターによる間仕切りを活かし、ゾーンごとに給気風量の個別コントロールを適用した。一般的に自動車製造ラインにおける塗装ブースには大きく分けて4ゾーンあり、塗装前のボディのワイピングなどの作業を行う『準備』、実際にボディに塗膜を付与する『塗装』、塗装後に塗膜中の溶剤を揮発させながら塗膜を安定化させる『セッチング』、乾燥炉からの熱気を遮断する『エアシール』の構成になっている。しかしながら各ゾーンの必要風量は、機能上同一ではなく、全てのゾーンを同じ風量で運転することは大きなロスとなる。今回は各ゾーンに間仕切りを設けることで各工程に機能上必要な風量のみを供給し、全体として作動空気量を削減した (Fig. 9)。

(a)General Topcoat Process



(b)MX-30 3-Tone Process

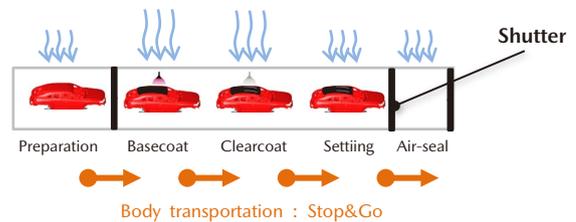


Fig. 9 Air Supply In 3-Tone Process(Side View)

また、②に対する施策として、O/Sの回収を乾式フィルターで捕捉する方式とした。今回の3トーン塗装工程では、3.2のようにO/Sを削減できたため、乾式フィルターで十分に有機溶剤分を捕集でき、湿式溶剤回収システムの運転にかかっていたエネルギーを全て削減することができた (Fig. 8(b))。

3.4 省エネ乾燥工程

塗装における乾燥工程の機能は、塗膜に熱エネルギーを与え、硬化させることである。

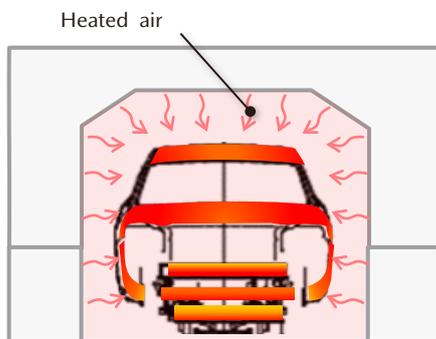
一般的な乾燥工程は、ボディの外側だけでなく、ドア内板部などのお客様の目に触れるさまざまな部位に塗装された塗料を硬化させるため、高温の乾燥炉内にボディを投入し、ボディ全体を加温する方式である (Fig. 10 (a))。

しかし、今回の3トーン工程では、ボディ上部のみを塗装しており、全体を加温する必要はない。

従って、①狙った部分(塗膜)だけに熱を供給する設備構造と、②必要な時間のみ熱を供給する設備制御を課題ととらえ、以下の取り組みを行った。

①に対する施策として、アクアテック塗装のフラッシュオフ工程で用いた赤外線ヒーターにより放射熱で塗膜のみを温める技術を進化させ、ボディ上部の塗膜のみ加温する乾燥炉構造に改良した。具体的には、ボディ側面のピラー部を温めるヒーターを炉内側面に配置し、ルーフを温めるヒーターを炉内天井に配置して、塗装したエリアのみのヒーターを作動できる制御にした (Fig. 10(b))。

(a)General Oven



(b)3-Tone Oven

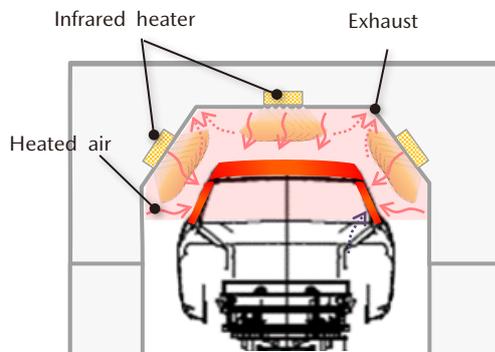


Fig. 10 Oven (Front View)

しかし、アクアテック塗装におけるフラッシュオフは塗膜中の水分を蒸発させるのみの機能だったが、赤外線ヒーターのみで塗膜を硬化させるには、ボディ鋼板に多くの熱を奪われ、効率よく塗膜を温めることができな

い。そこで、ボディ上部のみの雰囲気をも温める温風も併用することで、短時間かつ省スペースでの塗膜硬化を達成した。具体的には炉内側面に温風の吹き出し口を設け、炉内天井部から排気して循環させることで硬化させたい塗膜の付近のみの上部雰囲気を温めるようにした。また、これに対するノイズを低減するため、塗装ブース同様に、乾燥炉出入り口にはシャッターを設け、外気遮断を施している。また、ブースと同様にシャトル搬送を用いて、必要な作業時間をそれぞれ確保して塗膜硬化させるライン設計によりロスを最小化した。

次に、②に対する施策として、工程内での塗膜に熱を与える効率を最大化するため、赤外線ヒーターの部位ごとによる出力・時間を可変制御できるようにした。塗膜は急激に温度上昇させると品質不良を招き、緩やか過ぎると生産性が低下する。そこで、塗色ごとの塗料の熱伝達率や熱伝導率に併せて最適な昇温ができるように出力部位・出力値・出力時間を制御することで、昇温と温度キープのためのエネルギーを最小化した。

以上のように、必要なところに必要なエネルギーを与える乾燥工程を実現し、3トーン乾燥炉でのボディの温度分布を確認すると、温めるべき所のみが温まっている様子が観察できる (Fig. 11)。

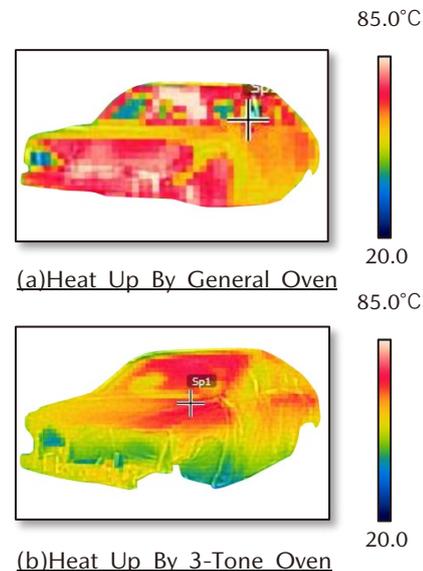


Fig. 11 Temperature Distribution By Thermography

また、乾燥炉を出た後の検査工程で人が作業できるように安全性と作業性を確保できる温度まで、ボディを冷却する工程が必要である。この冷却工程においても、乾燥工程と同様に、ピラーとルーフのみ局所的に冷却する考え方で設備設計し、冷却風量を少なくし、間欠運転することで冷却時間を最小化することで、工程全体の消費エネルギーを最小化できた。

4. 省エネルギー 3 トーン塗装の効果

今回の一連の取り組みにより、一般的な 3 トーン塗装工程に比べて大幅なエネルギー削減が可能となり、年間 CO₂ 排出量に換算すると、約 37%削減できた (Fig. 12)。

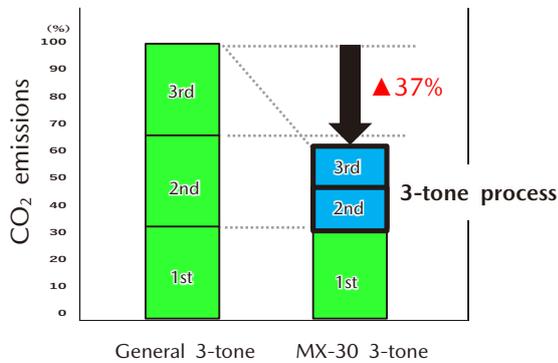


Fig. 12 CO₂ Emissions

この他にも、検査作業に必要な照度を人間工学に基づいて明らかにし、それを実現できる LED 照明システムを導入して検査工程における消費エネルギーも従来比 80%削減している。

また、湿式ブースを廃止したことにより水資源の保全にも貢献できた。

更に、今回の 3 トーン工程は環境にやさしいだけでなく、大規模な設備投資なしで、マツダ創立 100 周年記念の限定車に採用したような 2 トーンカラーも導入する事ができ、将来の商品ラインナップの幅を広げることが可能にするフレキシブル性も兼ね備えている (Fig. 13)。



Fig. 13 MX-30 100th Anniversary Special Edition

5. おわりに

先述のように、塗装工程は環境負荷の高い工程であり、持続可能な社会実現のためには、省エネルギーの取り組みを加速させていく必要がある。今回開発した技術や知見を継続進化させ 3 トーン工程やアクアテック工程の更なる環境負荷低減に取り組みつつ、高意匠カラーなどのお客様へ感動して頂けるような価値を提供することに、今後も挑戦していく。

参考文献

- (1) 平野ほか：ソウルレッドクリスタルメタリックの開発，マツダ技報，No.34，pp.87-92 (2017)
- (2) 本橋ほか：サステイナブル “Zoom-Zoom” 宣言 2030，マツダ技報，No.35，pp.3-8 (2018)
- (3) 篠田ほか：VOC と CO₂ を同時削減する新塗装技術「アクアテック塗装」，自動車技術，Vol.70，No.6，pp.77-82 (2016)

■ 著 者 ■



永田 浩太郎



服部 博晃



松元 貴大