

特集：MAZDA CX-90

07

マツダ独自の塗装技術「匠塗」のさらなる進化 Further Evolution of Mazda's Unique Paint Engineering “TAKUMI-NURI”

寶山 修士^{*1} 三村 夏海^{*2} 岡本 圭一^{*3}
Shuji Hozan Natsumi Mimura Keiichi Okamoto
山根 貴和^{*4} 野中 隆治^{*5}
Takakazu Yamane Ryuji Nonaka

要約

車両製造工程の中でも多くのCO₂を排出している塗装工程では、一貫して環境への取り組みを継続しており、更なる進化に向けた工程革新や生産技術開発に取り組んでいる。その中でマツダは「カラーも造形の一部」という考え方の基、魂動デザインの造形をより美しく見せるためのカラーを追求してきた。職人が丁寧に手塗りしたような美しい塗装を量産ラインで実現する「匠塗」は、意匠性と環境性能を両立させながら、これまで多くの技術的な課題に取り組み、その進化を続けてきた。今回、「匠塗」カラー第1弾のソウルレッドプレミアムメタリックの生産開始から10周年の節目を迎えるにあたり、ブランドの熟成・深化をメッセージに込めた新たな「匠塗」カラーであるアーティザンレッドプレミアムメタリックを開発した。

本稿では、10年という年月の中で進化してきた匠塗技術の軌跡を振り返ると同時に、これまでの「匠塗」カラー開発で培ってきた技術を織り込んだアーティザンレッドプレミアムメタリックの取り組みについて紹介する。

Abstract

In our painting process in which a lot of CO₂ is emitted, we are making a challenge for process innovation and production engineering development to further accelerate environmental activities in the vehicle manufacturing process. Based on the idea that “Color is a part of design”, Mazda has been pursuing colors to make the KODO Design look even more beautiful. TAKUMI-NURI which realizes beautiful painting that looks like craftsman’s meticulous hand painting in production line has continued to evolve, while making a lot of engineering efforts combining design and environmental performance. To celebrate the 10th anniversary milestone from the production start of the first TAKUMI-NURI color, “Soul Red Premium Metallic,” we developed “Artisan Red Premium Metallic” which is a new TAKUMI-NURI color that conveys a message as mature and deepened Mazda brand.

This article looks back on the TAKUMI-NURI technologies that have been evolving over the decade and introduces challenges in the “Artisan Red Premium Metallic” development that reflects skills we have cultivated through the TAKUMI-NURI color development to date.

Key words : Materials, Paint, Process, Design, Color, Development, Artisan Red Premium Metallic

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「匠塗 (TAKUMI-NURI)」カラーを開発し、お客様にお届けしてきた。2012年にアテンザへ導入した「ソウルレッドプレミアムメタリック」⁽¹⁾を皮切りに、「マシーング

レープレミアムメタリック」, 「ソウルレッドクリスタルメタリック」⁽²⁾, 「ロジウムホワイトプレミアムメタリック」⁽³⁾の量産を経て、匠塗10周年を迎えた2022年、新たな匠塗カラーである「アーティザンレッドプレミアムメタリック」を開発し、MAZDA 6へ導入した。続く2023年にCX-90へ導入した (Fig. 1)。

CX-90のデザインは、「引き算の美学」によるシンブ

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

*3 デザイン本部
Design Div.

*2,5 ボデー開発部
Body Development Dept.

*4 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

ルな造形と、ダイナミックかつ堂々としたプロポーションが実現されており、深みと濃厚さを演出するアーティザンレッドプレミアムメタリックによって、この造形の強さと美しさを際立たせている。

アーティザンレッドプレミアムメタリックは、これまでの匠塗カラーの開発で培ってきた多くの技術が織り込まれており、マツダが歴代こだわってきた赤の世界観の幅を広げるべく開発されたカラーである。



Fig. 1 Artisan Red Premium Metallic

2. マツダの塗装の取り組み

自動車塗装工程は、電着・シーラー・中塗・上塗などの多様な材料を塗布する塗装ブースと、それらの塗膜を硬化させる乾燥炉で構成される。このため塗装工程では、塗料に含まれるシンナーなどの揮発性有機化合物（以下、VOC）と、乾燥炉などの塗装設備で多くのエネルギーを消費することによるCO₂を排出しており、車両工場から排出するVOCの95%、CO₂の60%を塗装工場が占めている。塗装工程の環境対策は非常に重要な課題であり、継続的な取り組みを行っている。

マツダでは2002年に、中塗塗装ブースを上塗塗装ブースに集約し中塗乾燥炉を廃止したスリーウェットオン塗装を開発、導入した。更に、2009年には中塗工程自体を廃止し、VOCとCO₂を同時に削減可能とした世界トップレベルの環境性能をもつアクアテック塗装を開発、導入した（Fig. 2）。アクアテック塗装における中塗工程の廃止は、中塗が担っていた耐チッピング性などの機能を高機能なベースコート層、クリアコート層に分配・機能集約することで実現した⁽⁴⁾。このように各層ごとの機能を定義し、材料や工程を設計することで相反をブレイクスルーする塗膜設計技術を確立してきた。2012年以降はその技術をカラー開発に応用し、匠塗技術として上質なカラーを提供してきた。

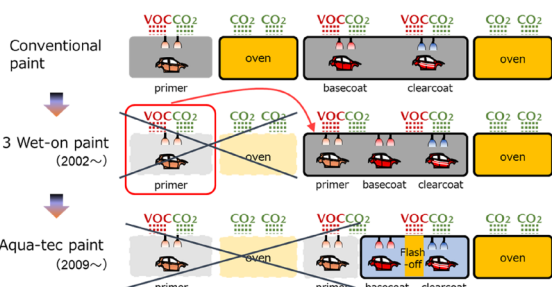


Fig. 2 Process Integration of Topcoat

3. マツダ独自の塗装技術「匠塗」

匠塗とは、カラーで造形を際立たせるため陰影感にこだわり、職人が丁寧に手塗りしたような美しい塗装を量産ラインで実現する、マツダ独自の塗装技術である。発色や質感を高める場合、塗膜層を増やしていく手法が一般的であるが、多くの塗料と工程が必要となり環境性能が低下する。これに対しマツダでは、意匠性と環境性能を両立させながら技術を積み重ねていくビルディングブロックの考え方を基盤とし（Fig. 3）、塗膜数を増やすことなく上質なカラーを作り出すことにこだわっている。これまでの匠塗カラーの意匠のねらいと、意匠を実現させるための取り組みについて振り返る。

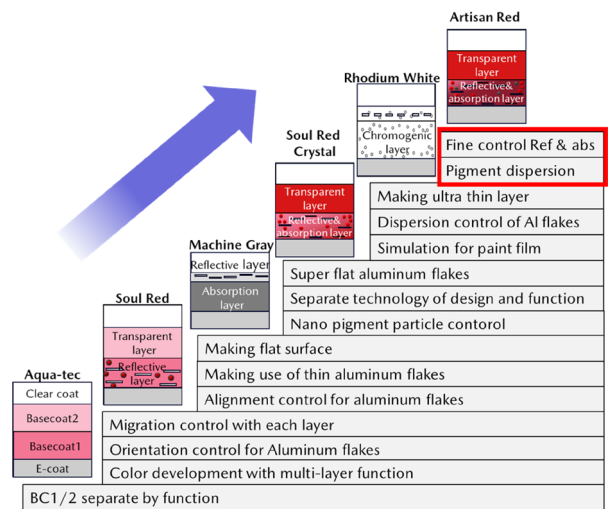


Fig. 3 Building Block of Sophisticated Color

3.1 ソウルレッドプレミアムメタリック

ソウルレッドプレミアムメタリックは、「内から発せられたような鮮やかな赤」をテーマとし、“ハイライトの鮮やかさ”と“深み”の両立を目指して開発した。ここで、“深み”とは陰影感のことであり、正反射付近の観察角度（ハイライト部）では光の反射が強く鮮やかな赤を感じるが、それ以外の観察角度（シェード部）では光の反射がほとんどなく暗く感じることであり（Fig. 4）。

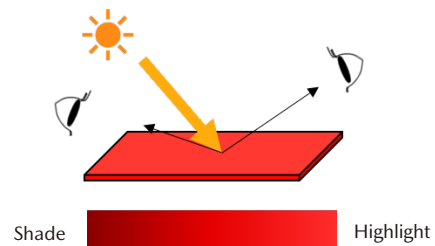


Fig. 4 Changing Light Intension

一般的なメタリックカラーのベースコート塗膜は、顔料やアルミフレークを含んだ1層の発色反射層で構成されているが（Fig. 5(a)）、鮮やかさと陰影感を出すために

顔料やアルミフレークの総量を増やすと、耐チップング性や耐候性を担う樹脂が相対的に減るため塗膜品質が低下する。また、顔料に対してアルミフレークを増やすと鮮やかさは失われていき、アルミフレークに対して顔料を増やすと陰影感は失われるという相反関係に陥る。そのため、1層のベースコート塗膜で、ハイライトの鮮やかさと陰影感を両立させるのは困難であった。

そこで、アクアテック塗装で培った塗膜の機能配分設計技術を元に塗膜構造を見直し、発色機能と反射機能を2層に分離することでこれを解決した。具体的には、第1ベースコート層はハイライトでの強い反射と強い陰影感が出る高輝度アルミフレークを含んだ反射層、第2ベースコート層は鮮やかな赤を発色する高彩度赤顔料を含んだ半透明な発色透過層とした (Fig. 5(b))。入射した光は第1ベースコート層の高輝度アルミフレークで反射され、反射した光は第2ベースコート層の透過層を通過することで、ハイライトでの鮮やかな赤の発色と、シェードでの陰影感が実現できた。

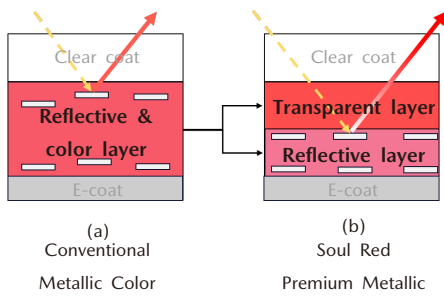


Fig. 5 Film Structure

また、圧倒的な高意匠を具現化した匠塗カラーの開発においては、デザイン意図をそのまま実用塗膜に変換するため、デザイン意図をエンジニアが理解し、物理特性へ変換、塗膜設計を行い、その実現のための技術開発を同時に行うというプロセス革新を行った。このプロセス革新が匠塗の実現に対し、技術的な側面に加えて極めて重要なファクターであり、これは以降の匠塗カラー開発においても一貫して継続している。

3.2 マシーングレープレミアムメタリック

マシーングレープレミアムメタリックは、「機械が放つ精緻な美しさの追求」をテーマとし、「緻密な金属質感」と「深み」の両立を目指し開発した。「緻密な金属質感」を、面で光る潤いのある鉄の黒光り感ととらえ、必要な反射特性と表面構造に落とし込み、塗膜構造を決定した。具体的には、ソウルレッドと同様にベースコート層は2層に機能分離した上、金属表面の微細な凹凸感をアルミフレークの水平な並びと段差で表現し (Fig. 6)、黒光り感をアルミフレークの間隙から漆黒顔料を投入した吸収層 (黒色カラー層) が覗くことで表現する塗膜構造とした (Fig. 7)。

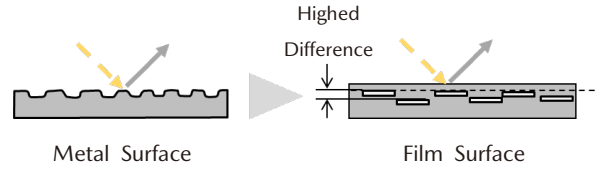


Fig. 6 Align Aluminum Flakes

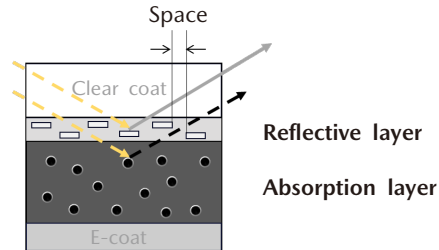


Fig. 7 Film Structure of Machine Gray Premium Metallic

課題は、アルミフレークをねらったとおりに制御することであった。アルミフレークの水平な並びを制御するために、下地となる吸収層の塗料粘性や塗料粒子サイズを最適化し、平滑さを向上させた。また、アルミフレークの段差及び隙間を制御するために、塗膜が乾燥工程で一気に収縮するよう体積収縮率を向上させた塗料を開発した (Fig. 8)。

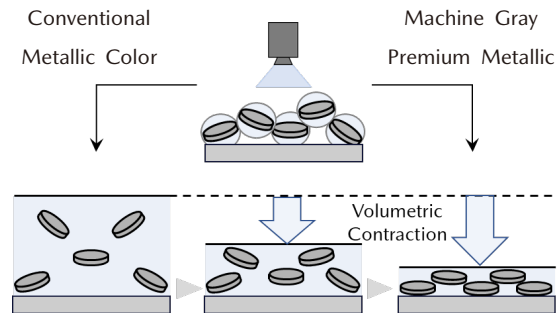


Fig. 8 Volumetric Contraction Effect

3.3 ソウルレッドクリスタルメタリック

ソウルレッドクリスタルメタリックは、ソウルレッドプレミアムメタリックから「鮮やかさ」と「深み」の更なる進化を追求し開発した。ねらいの光学特性を実現する塗膜構造はソウルレッドプレミアム、マシーングレーで培った反射層と吸収層の機能配分を見直し、再配置した構造となっている (Fig. 9)。

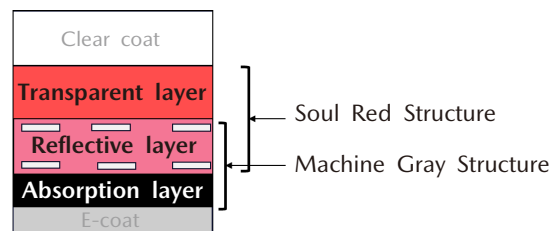


Fig. 9 Design of Film Structure

ここでの課題は2つあり、(1)“透明感ある鮮やかな赤”を実現する透過波長特性、(2)“更なる深み”を実現する反射特性である。(1)に対しては、既存の赤顔料の組み合わせでは実現が難しく、(2)に対しても従来のアルミフレークではシャープな反射強度が得られない上、単純にソウルレッドとマシーングレーの塗膜構造を重ね合わせたとしてもベースコート塗膜が透過層、反射層、吸収層の3層構造となり塗膜数が増えてしまう。

(1)の課題に対し、透過層の赤顔料を改良することで解決した。具体的には、赤顔料をナノサイズまで小さくし顔料表面で乱反射する光を抑え、ピュアな赤の波長のみを反射する顔料を新たに開発した。

(2)の課題に対し、アルミフレークの改良と、反射層と吸収層の機能を集約することで解決した。まずアルミフレークについては、従来よりも表面の平滑性を向上させ、よりシャープな反射強度をもつ高輝度アルミフレークを開発した。次に塗膜層の集約については、アルミフレークの反射を阻害することなく光を吸収する光吸収フレークを新規に開発し、反射層に投入した。

これによりハイライトでの“透明感ある鮮やかな赤”と、シェードでの“深み”を実現した (Fig. 10)。このようにソウルレッドクリスタルメタリックの開発では、これまで培った機能分離・集約技術に加え、原料レベルの開発にも着手し技術を進化させた。

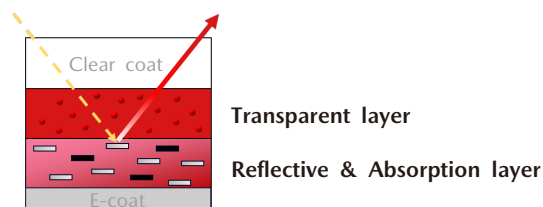


Fig. 10 Film Structure of Soul Red Crystal Metallic

3.4 ロジウムホワイトプレミアムメタリック

ロジウムホワイトプレミアムメタリックは、「金属質感と白さの両立」をテーマとし、“白くなめらか”、“緻密な金属感”、“艶やかな潤い”の表現を目指し、デザイン意図を物理特性に落とし込み、塗膜構造を決定した (Fig. 11)。

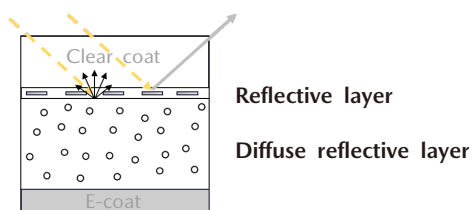


Fig. 11 Film Structure of Rhodium White Premium Metallic

第1ベースコート層は拡散反射層、第2ベースコート層はアルミフレークを含む極薄の反射層とする構想とし、第1ベースコート層の白色光をアルミフレークの間隙から反射させることで金属感と白さを両立させるねらいとした。

課題は、反射層中のアルミフレークの水平な並びと隙間の制御であり、アルミフレークを水平に並べるため、マシーングレーで用いた体積収縮制御技術を更に進化させた。具体的には、塗料中の固形分を少なくする塗料設計を行い、体積収縮率をマシーングレーの約4倍まで拡大することで反射層のアルミ配向制御を可能とした。また、アルミフレークの隙間を制御するため、アルミフレークの分散性を向上させた塗料を開発し、そのアルミフレークを均一に分布させた塗膜にする塗装工法を導入した。具体的には、塗料中のアルミフレークと樹脂や溶剤、添加剤などの成分との相互作用を最適化する塗料設計を行い、かつ塗装機によって噴霧された塗料中のアルミフレークが均一な分布になるよう塗装パラメーターを制御することによって、アルミフレークの分散性を向上した。均一に分布させる塗り方は、膜厚シミュレーション技術を活用し、塗装ロボットの動作設計を最適化することで解決した (Fig. 12)。

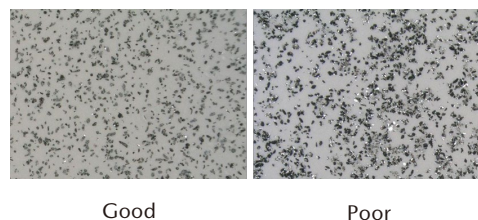


Fig. 12 Dispersivity of Aluminum Flakes

4. アーティザンレッドプレミアムメタリックの開発

4.1 デザイン意図

意匠と技術を進化させてきた匠塗カラーは誕生から10年の節目を迎え、更なるブランドの成熟・深化をメッセージに込め、より上質で成熟した大人の世界観を表現する赤として、匠塗カラー第4弾となるアーティザンレッドプレミアムメタリックを開発した。「最高峰の職人技で生み出される熟成されたワインのような赤」というテーマの基、ハイライトは“透明感が高く鮮やかな赤”に、シェードでは深く濃く変化する“濃厚さ”の両立を追求した。

4.2 物理特性変換と塗膜設計

“透明感の高い鮮やかな赤”と“濃厚さ”を両立させるため、匠塗開発プロセスに基づき、デザイン意図を物理特性に落とし込み、必要な3つの光学特性に変換した (Fig. 13)。

- ①高彩度な赤の反射特性
- ②ハイライトからシェードにかけての極端な反射の減衰
- ③金属のような反射強度分布

ここで①、②、③を定量的に評価するための指標を設けた。①と②の評価指標として、ハイライトとシェードの彩度変化を示す「彩度陰影感」という指標を作成した。

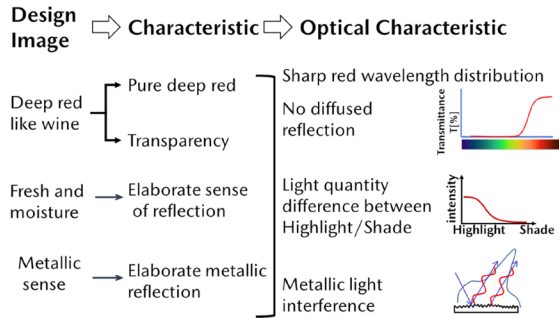


Fig. 13 Conversion to Optical Characteristics

③は面で光る緻密さに相当するため、粒子の大小を評価指標とした。

これらの光学特性を発現させる塗膜構造として、これまでの匠塗カラー開発で培った技術を織り込んだ。具体的には、ソウルレッドと同様、第1ベースコート層を反射吸収層、第2ベースコート層を発色透過層とした。①の特性を実現するため、ソウルレッドクリスタルで開発した高彩度赤顔料を発色透過層に投入し、②、③の特性を発現させるため、高輝度アルミフレーク、光吸収フレークを投入し、更に、分散性を向上させ黒さを増したマシーングレーの漆黒顔料を反射吸収層に投入した。また、反射吸収層でのアルミフレークの並びをより水平にするためロジウムホワイトのアルミフレーク分散技術を織り込み、緻密なアルミフレークの分布によって更なる陰影感を強調させた (Fig. 14)。

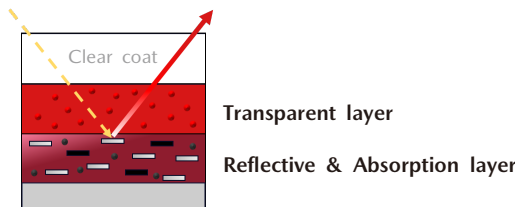


Fig. 14 Film Structure of Artisan Red Premium Metallic

4.3 課題への取り組み

主要技術課題は、上質感のある内板カラーの作り込みであった。内板カラーとは、ボンネットやドアなどの蓋物の裏面や、通常蓋物で隠れているボディー内板部のカラーのことである (Fig. 15(a))。マツダの上塗工程では、まず蓋物を開けて内板部を塗装し、次に、蓋物を閉め外板部を塗装している。そのため、外板塗装時に外板カラーが蓋物の隙間から内板部に入り込んでしまうと、部分的に異なるカラーになってしまう (Fig. 15(b))。

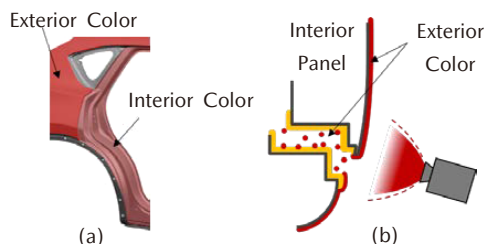


Fig. 15 Over Spray to Interior Panel

アーティザンレッドでは、入り込み部が明るくなり深みのある上質感が損なわれる懸念があった。そのため、塗装工程における内板部への入り込みを抑制する必要があった。

そこで、外板塗装時に発生しているオーバースプレー現象に着目した。塗装機でボディーを塗装する際、塗料を高速回転するお椀状のベルカップから空中に放出させることで細かく剪断し、そこで生成された塗料粒子をエアの流れによってボディーまで運び付着させている。この時、ボディーに衝突したエアは塗料粒子をボディー外へ運び去る気流を作ってしまう。この飛散をオーバースプレー (以下、O/S) と呼んでいる。O/Sは塗装ブースの空中を漂い付帯設備などに付着するものもあるが、一部はボディーの外板部や内板部に降りかかり意匠を損ねてしまう。そのため、内板部への入り込みを抑制するには、エアの気流を制御し、O/S量を最小限まで減らすことが必要と考えた。

エアによって発生するO/Sだが、単純にエア流量を下げた場合、O/S量は増加する。塗装機から吐出される塗料粒子には、高速回転するベルカップからの遠心力と、押し出されるエアによってボディーに対して直進方向の推進力が働き、釣鐘状の塗料パターンを形成している (Fig. 16(a))。エア流量を下げると直進性が失われ、相対的に遠心力の影響が強くなることでより広い釣鐘状になってしまう。広いパターン中に含まれる塗料粒子は、ボディーに付着する前に推進力が減衰することで拡散したり、ボディー表面の気流に流されてしまい、塗装範囲外へのO/S量が増えてしまう (Fig. 16(b))。

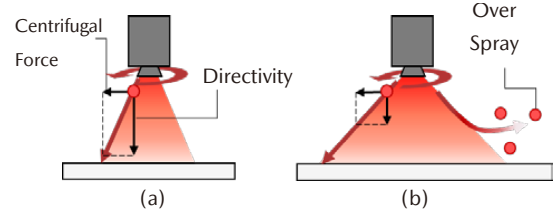


Fig. 16 Spray Pattern

ここで、その推進力が減衰してしまう前に効率よくボディーに塗料を届けるために、塗装機からボディーまでの距離である「塗装距離」を極限まで近づける方法が有効だと考えた。

O/Sが塗料粒子の運動量の減衰に起因することから、塗装距離を近づけることで減衰する前に、塗着させたいところに塗着させる発想で塗装条件を根本的に見直すことに取り組んだ (Fig. 17)。

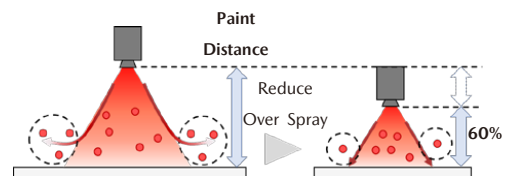


Fig. 17 Spray Particle Control

今回、塗装距離を従来の60%とし、かつエアフローを約15%下げて塗装する工法を導入した。これによりO/Sを減らし、内板部への入り込みを抑制することで、上質感のある内板カラーの作り込みを達成した (Fig. 18)。また、従来O/Sとして塗装範囲外に拡散していた塗料をボディに効率よく附着させることができたため、塗料の使用量を約10%削減でき、環境性能の向上にもつながった。



Fig. 18 Interior Panel Appearance in CX-90

5. 開発結果

アーティザンレッドプレミアムメタリックは、一般的なダークレッド色と比較して、粒子感が小さく、彩度陰影感が高くなっており、“透明感の高い鮮やかな赤”と“濃厚さ”を実現した (Fig. 19)。また、アーティザンレッドプレミアムメタリックはソウルレッドクリスタルメタリックに対し深みが増しており、赤の世界観を広げることができた (Fig. 20)。

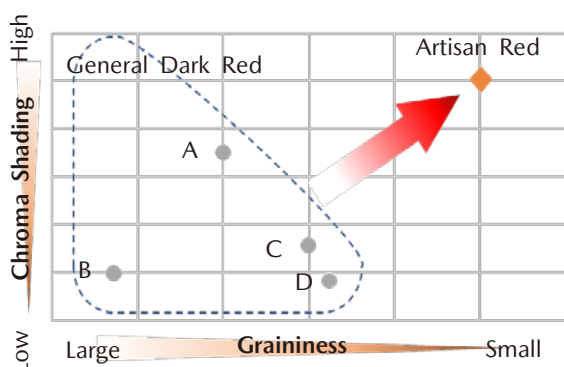
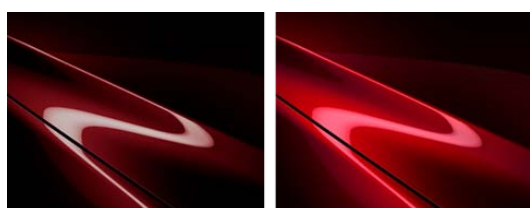


Fig. 19 Chroma Shading and Graininess



Artisan Red Soul Red Crystal

Fig. 20 Artisan Red Premium Metallic and Soul Red Crystal Metallic

6. おわりに

現在マツダでは塗装領域のCO₂排出の更なる削減に向けて、より低温で塗膜が硬化し、省エネを実現する塗装工法の開発などの環境対策を進めている。また塗装という工法に限定せず、最終的な塗装レスを目標にフィルムなどの工法にも取り組みを開始しており、直近ではMAZDA 2にてルーフィルムを量産を開始し上塗工程を2周させる2トーン塗装と比較して、CO₂排出量を半減した。このようにマツダでは、継続的な工程革新を行っており、今後も意匠性と環境性能を両立させるべく、より高度な課題を乗り越え、サステナビリティに貢献しながらお客様に更なる感動をお届けできるよう、関係各者が一丸となって本気のモノづくりを継続していく。最後に、アーティザンレッドプレミアムメタリックの開発・生産にご協力いただいた社内外全ての関係者の皆様に感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 中野さくらほか：「“SOUL RED”の開発」、マツダ技報, No.30, pp.83-87 (2012)
- (2) 平野文美ほか：「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)
- (3) 松田隆臣ほか：「ロジウムホワイトプレミアムメタリックの開発」、マツダ技報, No.39, pp.139-144 (2022)
- (4) 篠田雅史ほか：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, pp.77-82 (2016)

■ 著 者 ■



寶山 修士



三村 夏海



岡本 圭一



山根 貴和



野中 隆治