

特集：生産技術領域の進化

16

## ソウルレッドクリスタルメタリックの開発 Development of Soul Red Crystal Metallic

平野 文美\*<sup>1</sup>      寺本 浩司\*<sup>2</sup>      岡本 圭一\*<sup>3</sup>  
Fumi Hirano      Kouji Teramoto      Keiichi Okamoto  
野中 隆治\*<sup>4</sup>      山根 貴和\*<sup>5</sup>  
Ryuji Nonaka      Takakazu Yamane

### 要 約

マツダは「カラーも造形の一部」という考えのもと、魂動デザインの造形をより美しく見せるための陰影表現を追求し、ブランドを象徴するカラーとしてソウルレッドプレミアムメタリック、マツダのヘリテージを表現したマシーングレープレミアムメタリックを量産化した。

発色や質感を高めようとする場合、塗膜層を増やしていく手法が主流であるが、多くの塗料と塗装工程数が必要になり、環境性能と経済性が低下する。マツダでは地球環境に優しい塗装工程を目指して、継続的に環境負荷物質の排出量低減に取り組んでいる。具体的には材料機能を高めることで塗膜の機能集約と配分を行い、工程機能を高めることで工程の集約を進め、スリーウェットオン塗装、更にはアクアテック塗装を開発してきた。そして、これまでの取り組みで積み上げてきた技術を生かすことにより、塗膜層の数を増やすことなく、高意匠カラーの開発を進めている。

今回、魂動デザインの進化した造形を更に際立てるために、ソウルレッドクリスタルメタリックを開発した。デザイン、開発、生産技術、サプライヤー様が連携した開発プロセスの中での取り組み内容を紹介する。

### Summary

Mazda has developed sophisticated colors to emphasize beauty of Kodo design, under the philosophy of “color is part of design”. We pursuit expression of contrast to emphasize form, and we have introduced Soul Red Premium Metallic as brand symbol color and Machine Gray Premium Metallic as Mazda’s heritage expression color, into global market.

Sophisticated color is typically composed of multiple film layers for coloring and texture, so it increases paint usage and process length, and affects environmental/economic performance. Mazda has been establishing paint process to reduce environmental load. 3 Wet-on paint and Aqua-tech paint were developed by film function redesign and process integration with upgrading function of material and process. By applying established technologies to color development, we are developing sophisticated color without increasing film layers.

This time, we have developed Soul Red Crystal Metallic to emphasize evolution of Kodo design. We would like to introduce co-creation activities with Design, R&D, and Production engineering, and Suppliers.

### 1. はじめに

命あるものだけが放つ一瞬の動きや美しさを追求する魂動デザインは、2012年に国内導入した初代CX-5から順次拡大してきた。また、同時にカラー開発は造形を際立てるといった機能の特化を進めてきた。

2012年から市場導入したソウルレッドプレミアムメタリックは、マツダが歴代こだわってきた赤を「鮮やかさ」と「深み」を高いレベルで両立させて、マツダブランドを象徴するカラーとしてお客様に認知されてきた。

更に、2016年にはロータリーエンジンやスカイアクティブテクノロジーなど“マシーンの美学の追求”という

\*1, 2 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

\*4 ボデー開発部  
Body Development Dept.

\*3 デザイン本部  
Design Div.

\*5 車両実研部  
Vehicle Testing & Research Dept.

マツダのヘリテージの表現を目指し、機械の持つ精緻な美しさを「緻密な金属質感」と「深み」という特性で、この2つを高いレベルで両立させたマシーングレープレミアムメタリックを導入した。

2016年11月に発表した新型CX-5は、これまでのキャラクターラインを用いた造形表現から、繊細な面の変化を光と影のリフレクションで表現する方法へ進化した。「カラーも造形の一部」という考えのもと、造形とともにブランドを象徴する赤を進化させるべく、ソウルレッドクリスタルメタリック (Fig.1) の開発に着手した。



Fig. 1 Soul Red Crystal Metallic

## 2. マツダの塗装の取り組み<sup>(1)</sup>

自動車塗装は、電着・シーラー・中塗・上塗などの多様な材料の塗布と乾燥を繰り返した複層膜で構成される。一般的な塗装工程はFig.2 に示すように長い工程であり、塗料に含まれるシンナーなどの揮発性有機溶剤 (以下VOC) の排出や、塗装ブースといった塗装設備で多くのエネルギー (CO<sub>2</sub>) を消費している。マツダの車両系工場から排出するVOCの95%、CO<sub>2</sub>の60%を塗装工場が占めており、塗装工程の環境対策はきわめて重要な課題である。

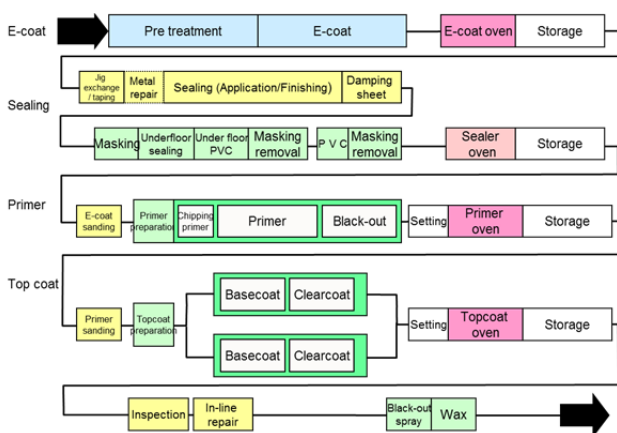


Fig. 2 Paint Process

この課題に対して、マツダでは継続的に環境対策を進めており、2002年には中塗工程を上塗工程に集約し、中

塗のブース及び乾燥工程を削減したスリーウェットオン塗装を開発した。更に2009年には、中塗の機能を上塗に統合することで中塗工程を削減し、VOCとCO<sub>2</sub>を同時に削減した世界トップレベルの環境性能を持つアクアテック塗装を開発し、現在は各工場へ水平展開を進めている (Fig.3)。

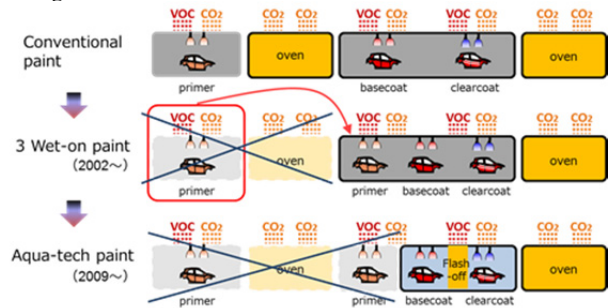


Fig. 3 Process Transition

アクアテック塗装は、大きく2つの技術的アプローチを柱にしている。1つ目は、材料の機能を高めることで塗膜に必要な機能を再構築・集約していくアプローチである。アクアテック塗装では、中塗が担っていた耐チップング性などの機能を高機能なベースコート層、高機能クリア層に分配・機能集約した (Fig.4)。

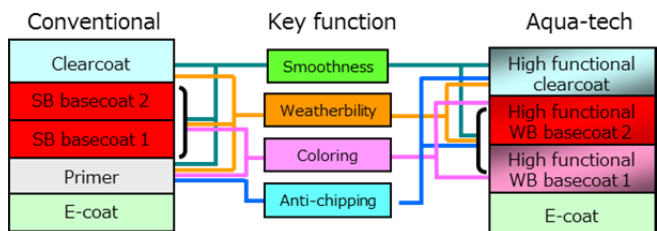


Fig. 4 Distribution of Film Function

2つ目は、工程機能を高めていくことで、省エネルギー化、省スペース化していくアプローチである。ブース、フラッシュオフ、塗装装置に求められる工程機能を物理・化学の原理に遡って解析し、機能を最大化する設備構造と制御を開発することで、省エネルギーと省スペースを追求している (Table 1)。

Table 1 Pursuit of Energy Efficiency

Item	Energy saving	Space saving	Material saving
1 ) Energy saving booth air conditioning	○		
2 ) High-efficient flash off	○	○	
3 ) Space saving cartridge paint supply system		○	○
4 ) Sharing paint piping with solvent borne paint			○

これらの取り組みによって、アクアテック塗装はFig.5 に示すようにVOCとCO<sub>2</sub>を同時に低減してきた。

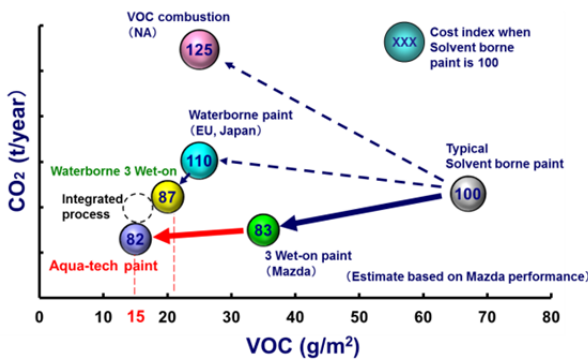


Fig. 5 Effect of Aqua-Tech

また、カラー開発においては、スリーウェットオン塗装やアクアテック塗装で培った材料設計、機能設計、塗膜設計技術を活かすことにより、一層ごとの塗膜の機能を高めていき、塗膜数を増やすことなく意匠性と環境性能を両立させてきた (Fig.6)。

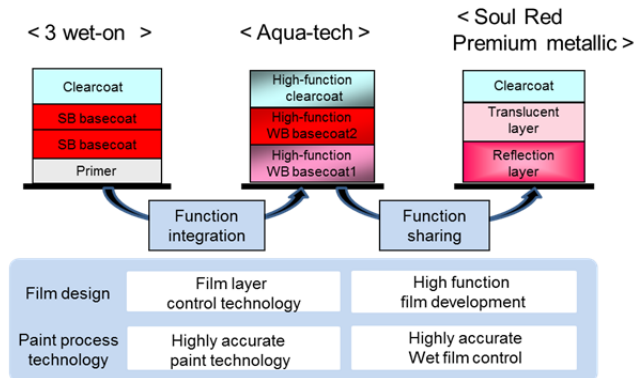


Fig. 6 Technology Expansion to Sophisticated Color

### 3. 開発ターゲット

“ブランドを象徴するカラーの進化”と“繊細な面の変化を光と影のリフレクションで表現する”ため、ソウルレッドプレミアムメタリックの「鮮やかさ」と「深み」の更なる進化をターゲットにした (Fig.7)。

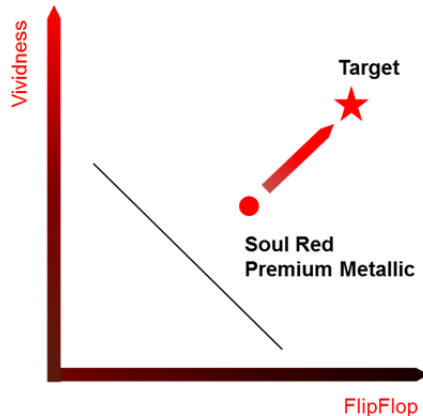


Fig. 7 Target image of Next New Red

また、“お客様が車を見たときに感じていただきたい質感表現”を以下のように定めた。

- ① 艶：宝石のような透明感と流れる水のような瑞々しい潤い感
- ② 凜：日本刀のような威厳を感じる品格と緻密で硬質な鋭い輝きを放つ金属質感
- ③ 動：マグマのような生命感あふれるエネルギッシュな躍動感

## 4. 実現に向けたカラー開発

### 4.1 カラー開発プロセスの変革

従来のカラー開発は、まずデザイナーが試行錯誤で創りあげたカラーをもとに、開発部門が耐久性などの機能を織り込む。次に生産技術が生産性を付与していく。そのバトンタッチを経ることで当初のデザイナーの意図は変化してしまう。これまでは、「商品化、量産化のためには仕方がない」と考えてきた。

圧倒的な高意匠カラーを開発していくには、デザイン意図をそのまま実用カラーに変換する必要がある。そのために社内各部門の技術者と塗料サプライヤー様が一堂に集まり、デザイン意図をエンジニアが理解して、物理特性へ変換、塗膜設計を行い、その実現のための機能開発と生産技術開発を同時に行うという新たなプロセスを導入した (Fig.8)。

これはマシーングレープレミアムメタリックの開発から本格的にスタートしたが、本カラーの開発からは更に塗料原料サプライヤー様も加わり、より広範囲な機能開発が可能な体制とした。

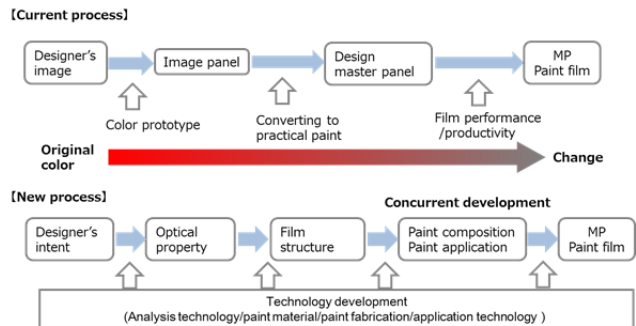


Fig. 8 Transformation of Color Development

### 4.2 イメージから物理特性への変換

ソウルレッドクリスタルメタリックの開発では、実現したいカラーの価値を真に理解するため、デザイナーが表現したいカラーのイメージに近い赤いクリスタルガラスを用いて「透明感ある鮮やかな赤」から「深い赤」そして「漆黑」へと変化していく様子をエンジニアとともにイメージを共有することから始めた。その共有した価

値を実際の車の繊細な面の変化として表現できるカラーとして塗膜で忠実に表現するためには、色の設計図が必要となる。そこで、人が美しいと感じる赤を追求するため、人間が色や質感を感じる仕組みを基に数値化を行った。具体的には、Fig.9で示すように表現したい価値を特性に変換し、色の設計図となる光学特性へ落とし込んだ。

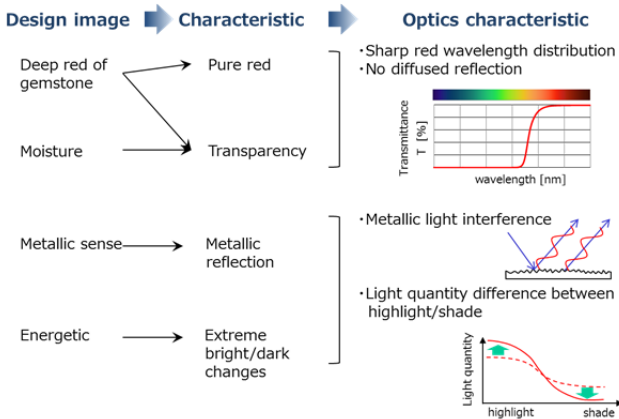


Fig. 9 Conversion to Optical Characteristics

4.3 塗膜設計

ねらいの光学特性を実現するため、塗膜内の光の経路に沿って各塗膜層の機能を設計した。まず、「シャープな赤の波長分布」を透過層に分担させた。透過層は、赤以外の波長の光を効果的に吸収させる機能に特化させる。そして、透過層の下層に「金属の反射特性」と「ハイライトとシェードの光量差」を分担させる。具体的にはマシーングレープレミアムメタリックの塗膜構造である反射層と吸収層の組み合わせで実現できると考えた。

実際に透過層、反射層、吸収層の3層構成で、既存原材料を組み合わせ試作品 (Fig.10) を作った結果、ねらいの光学特性への実現性と課題が明らかになった。

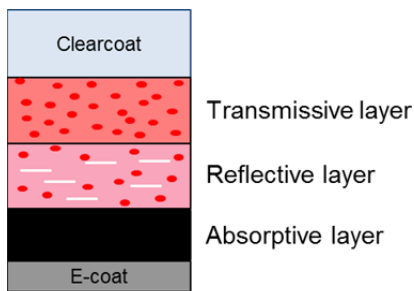


Fig. 10 Film Structure

1つ目の課題は、既存の高彩度赤顔料の組み合わせでは、目標である「透明感ある鮮やかな赤」を再現する波長特性が得られないことである。そのため、ねらいの波長特性を得るための新たな顔料の開発が必要である。

2つ目の課題は、試作品の3層構成を機能はそのままに

2層に集約することである。マツダの塗装工程で3層を塗装するには、上塗工程を2回通す必要があり、環境性能、経済性、生産台数が規制になる。

4.4 課題解決のための新規材料開発

2つの課題に対し、塗料原料に遡った技術開発により、解決していった。

(1)鮮やかな赤を実現する高彩度赤顔料

「透明感」と「濁りのない鮮やかな赤」を実現するため、人間が色を認識する目の仕組みを基に、人が「赤」を感じる理想の光のスペクトルを設計した。人間の網膜にある視細胞は外部からの「光の情報」を「電気信号」に変換する役割があり、その中の赤・緑・青の錐体細胞が、それぞれ特定の範囲の波長に反応することで色の識別をしている。このことから「透明感」と「鮮やかな赤」を感じるには、赤錐体が反応する範囲外の透過率を抑えることが必要と考え、ソウルレッドクリスタルメタリックで表現したい理想のスペクトルを定めた (Fig.11)。

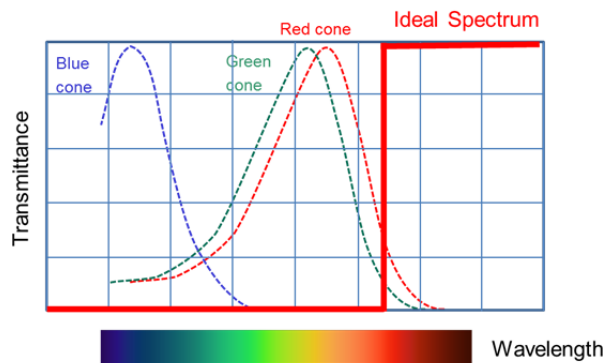


Fig. 11 Ideal Spectrum

一般的に光が顔料粒子にあたったとき、顔料の物質固有の光の吸収特性を示す。一方で、顔料表面では一部の光が乱反射する。この乱反射は入射光の波長をそのまま反射するため、太陽光において乱反射光は人の目には白く見える。そのため、顔料が持つ波長特性を十分に生かすことができない。

顔料粒子サイズが大きいとより乱反射が起こるため (Fig.12)、顔料粒子サイズを小さくして乱反射を抑えることで、シャープな波長特性を得ることができ、理想のスペクトルに近づけることができる (Fig.13)。



Fig. 12 Diffused Reflection Depend on Pigment Size

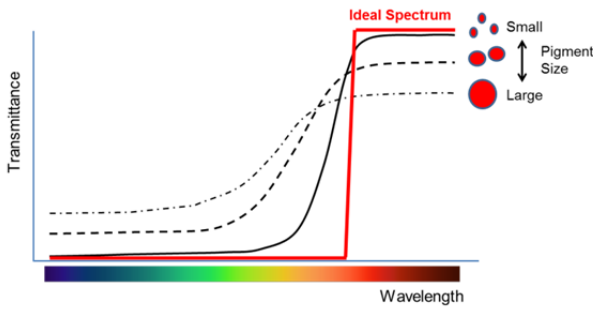


Fig. 13 Pigment Size Control

ソウルレッドクリスタルメタリックでは理想のスペクトルを実現するための顔料粒子サイズを定めた。しかし、一般的に入手可能な顔料と顔料分散方法の組み合わせでは、ねらいのサイズに到達できないことがわかった。そこで、顔料の結晶サイズから小さくしていくことに加えて、塗料中で顔料が凝集しない分散工法を開発した。分散工法においては、分散メディアのサイズ、分散時間、分散剤の種類を最適化していくことで、安定的な分散品質と生産量を確保した。

(2) 急激な明暗変化を実現する高輝度アルミフレーク

金属調反射の実現にはキラキラしたメタリック塗装固有の質感（以下、粒子感）ではなく、緻密で面で光るような特性と光が正反射するハイライト領域での強い反射が必要である。従来のアルミフレークは、表面の凸凹や外周面で光が拡散してしまい、正反射光の強度は弱まる一方で、正反射でない方向にも光が反射する。また、反射強度を高めようと大粒径のアルミフレークを選択するのが一般的であるが、視覚の分解能付近までサイズが大きくなると粒子感が強くなる。これは、目指す「凜」のイメージとは逆であり、小さくても平滑なアルミフレークで強い反射をさせることにより面で光る特性を出せないと考えた。そこで、表面が平滑で外周と面積比が最小になる円形を有し、人間の目が視覚分解できる限界サイズより小さくすることで理想の反射特性を得られるアルミフレークを開発した(Fig.14)。

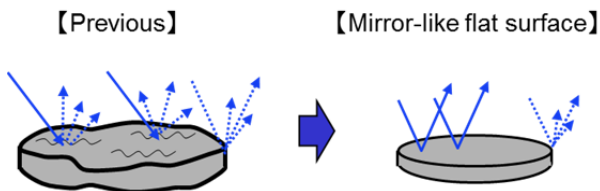


Fig. 14 New Aluminum Flake

このアルミフレークの開発にあたっては、実現したいカラーのイメージをアルミサプライヤー様と共有し、従来は製造効率やコストを優先して決めていた加工方法や

工程条件を、意匠を追求することを第一としてサプライヤー様と共同で製造技術開発を行った。

この新規高輝度アルミフレークにより、ハイライトでの輝くような明るさと粒子感のないまるで1枚の金属板のような緻密な塗膜となり、面で光る特性を得ることができた (Fig.15)。

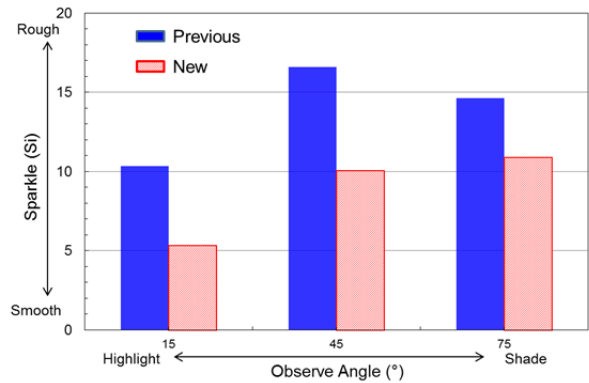


Fig. 15 Sparkle Level

(3) 急激な明暗変化を実現する光吸収フレーク

3層の機能を2層に集約する手法として、光を吸収する物質を用いて光の反射量をコントロールすることで、アルミフレークでの光の反射を阻害することなく吸収層の機能を反射層に組み込み、下の2層を1層にできないかと考えた。しかし、そのような機能を有する塗装材料は市場には存在せず、今回新規に塗料化できる光吸収フレークを開発を行った。この新規材料により、反射層と吸収層を集約でき、ハイライトからシェードにかけての急激な明度変化を実現した (Fig.16)。

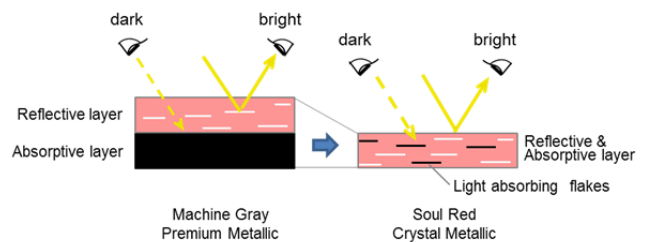


Fig. 16 Express Metallic Reflection in Single Layer

5. 魂動デザインの造り込み

5.1 下地の平滑性追求

塗膜の正反射光の強度を強くしていくには、個々のアルミで反射した光を一方向にそろえる必要がある。そのためには、塗膜内のアルミフレークを平行に並べることに加えて、塗膜そのものの平滑性が重要になる。

ソウルレッドクリスタルメタリックでは、塗膜中のアルミフレークを水平に並べるために、溶剤や水分の蒸発による体積収縮効果を通常カラーの1.5倍まで拡大した。

一方で、塗膜そのものの平滑性を上げるには、塗装下地を平滑にする方法と下地の凹凸を隠蔽できるまで厚く塗る方法がある。後者の場合、塗膜の下地に近い部分ではどうしてもアルミフレークが下地の形状に沿ってしまい反射角度への影響がでてしまう。また、厚く塗るためには多くの塗料が必要となり、環境面や経済性の面から相反する。そのため、今回は下地を平滑にする方法とした。

そこで、プレス工程でのパネルの平滑さを金型設計やプレス加工条件を適正化して向上させることに加え、電着塗膜を研ぎ加工によってさらに平滑化することにより、上塗前の下地の平滑性を約2倍に引き上げた。

### 5.2 一体感ある面の連続性の追求

ソウルレッドクリスタルメタリックは、光の反射角度のわずかな差で明度を大きく変化させている。そのため、フェンダーやドアといった外装パネル、バンパーやスポイラーといった樹脂部品同士の面を連続的につなげることが、カラーマッチングと造形の一体感の向上に必要である。従来は、キャラクターラインの連続性とパネル間の隙と段差寸法を指標にしてパネルの折り合いを調整してきた。今回は、部品ごとの面の精度アップに加えて、面の連続性を重視した指標と計測手法を開発することにより、一体感ある造形を実現した。

## 6. 開発結果

今回開発したソウルレッドクリスタルメタリックでは、赤の彩度の向上と陰影感を大幅に向上させることができた。特に、魂動デザインの繊細な面変化を陰影によって際立てるために、一般的な15度と110度を45度で割ったフリップフロップ値ではなく、5度と45度を使った新しい指標を導入した。正反射から45度にかけての面変化で明度の差を大きく出すことをねらったものである (Fig.17)。

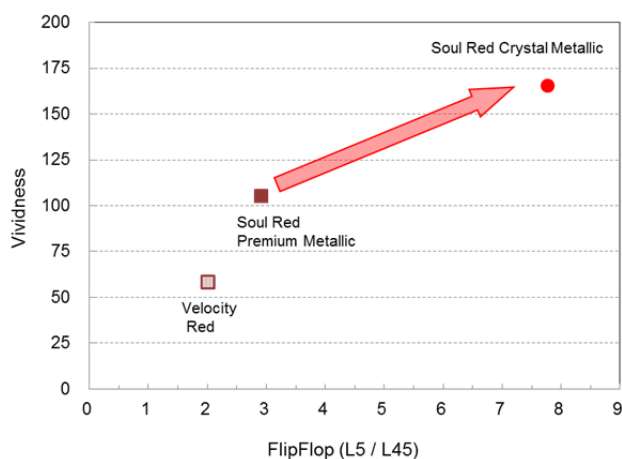


Fig. 17 Level of Soul Red Crystal Metallic

## 7. おわりに

デザイナーのイメージをそのまま量産化するために、開発の初期段階からサプライヤー様、社内関係部門が一体となった共創活動を行い、従来にない高い意匠性をもつカラーを高い環境性能を維持したままで開発し、市場へ導入できた。一方で、今回のカラー開発の中で明らかになった課題もある。これらを解決して技術レベルを引き上げながら、お客様に感動していただけるカラーを継続的に開発していきたい。

最後に、ソウルレッドクリスタルメタリックの開発にご協力いただいたサプライヤー様、関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 篠田雅史ほか：VOCとCO<sub>2</sub>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, p.77-82 (2016)

### ■ 著 者 ■



平野 文美



寺本 浩司



岡本 圭一



野中 隆治



山根 貴和