

磁性模様塗装における立体感向上のための塗料 および塗装方法の開発

Development of Paint and Painting Method for Magnetically Formed Decorative Painting
with Enhanced Three Dimensionality

田 中 明 子*
Akiko TANAKA

佐 藤 育 恵*
Ikue SATO

要 旨

本開発は、二輪車の外装部品に適用する磁性模様塗装について、既存の同塗装よりも高い立体感を持った模様を発現させることを目標とした。まず、塗料に含有されるフレークの配向に求められる条件を解析し、次に、その配向を実現するための手法を検討した。その結果に基づき、塗装中のフレークの動きに対する制御性を高めた塗料配合と塗装方法を開発した。フレークの動きを容易にするためには、フレーク材料に高透磁率材料を用いた。またフレークが動いた後、速やかに止めるために高分子量樹脂を添加した。さらに、最適なシンナの設定により制御性を高めた。以上の手法を組合せ、量産ライン条件下で高い立体感を持った模様の発現を実現することに成功した。

ABSTRACT

This development was aimed at the creation of the method of magnetically formed decorative painting applied to the outer parts of motorcycles to realize a larger degree of three-dimensional appearance. First, the conditions required for the orientations of the metallic flakes contained in the paint were investigated. Following to that, the method to realize those orientations was examined. Based on the results, the paint and the painting method were developed to enhance the controllability of the flakes' movements while painting. To make the flakes movable more easily, a high magnetic permeability material was adopted as the flake material. In addition, to make the flakes promptly stop after required amount of movements, a high molecular weight resin was added. Moreover, application of the optimized setting of the thinner further enhanced the controllability of the flake movements. By combining these methods, the decorative patterns with the larger degree of three-dimensional appearance were successfully realized under the conditions of mass production lines.

1. 背景と目的

近年の二輪車市場は ASEAN 地域を中心に展開し、現在もその規模は拡大しつつある。この市場にさまざまな機種が各社から投入されている。Fig. 1 にその代表例を示す。また、この市場で販売される多くの機種は外観デザインの変化に伴って車体を覆っている樹脂カバーの占める面積が大きくなる傾向がある。機種の商品魅力を向上するために、樹脂カバーに対する加飾手法はこれまでも増して重要な技術要素の一つとなっている。

加飾手法は主に、部品表面に施される塗装と、さらにその上に貼り付けられる模様が描かれたグラフィックマークである (Fig. 2)。塗装には色調の鮮やかなもの、輝度の高い

ものなどさまざまな種類がある。また、グラフィックマークもさまざまな模様のものが存在するが、加飾手法としてはどちらの手法も長い歴史があり、ユーザにとっては見慣



Fig. 1 Examples of small motorcycle models

*二輪 R&D センター

れたものとなっている。

こうした背景から樹脂カバーへの加飾手法として、これまでにない新規性のある外観を提供することが求められている。一方、グラフィックマークは一般的なシールによる装飾と見かけ上の違いがなく簡易的手段によって施された装飾であるというイメージが伴う。そのため、こうした手法とは異なる、高級感がイメージされる外観が得られる手法の開発が望まれている。そこで我々は、樹脂カバー装飾に磁性模様塗装を適用して外観の魅力向上を図ることを検討した^{(1),(2)}。

磁性模様塗装とは、透磁率を有する小さな金属薄片（フレイク）を多数添加した塗料を使用し、塗装対象部品の裏側に磁石などの磁力線を発生させるものを装着して塗装をおこなうものである。磁性模様塗装そのものは従来から存在する塗装手法の一つである。しかしながら、塗装時に樹脂カバーにマグネットシートを締結させておく必要があるなど、大量生産に適用するにはさまざまな課題があった。そのため、二輪車用部品の塗装手法として採用されることはなかったが、我々は締結手法を大量生産に適用できるように工夫し、2008年にタイで量産をおこなった（Fig. 3）。

磁性模様塗装は、人がエアブラシなどで描いたような模様を発現させることができる。また、実際の塗膜は、凹凸のない平面に施され、その厚みもごくわずかしかないうちにもかかわらず、発現した模様は、観察者に奥行きを感じさせる特徴がある。

2008年の量産時には、塗装時に装着させる磁気発生材料として柔軟な磁石シートを用いることで、この塗装手法の量産工程への適用を実現した。この塗装の適用により、

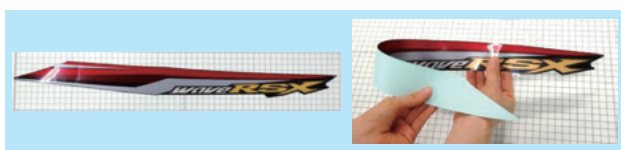


Fig. 2 Example of graphic mark

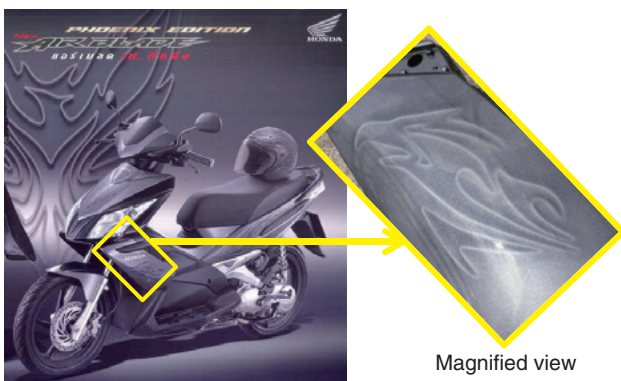


Fig. 3 Mass production model (2008, Thailand)

立体的な模様の発現という新規性や高級イメージの創出に成功した。

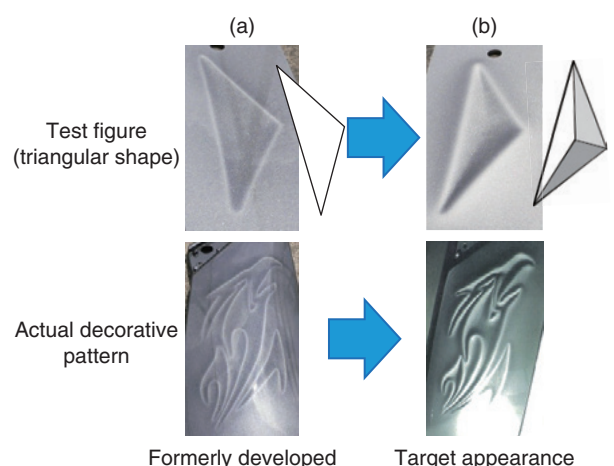
この成功を踏まえ、車両走行時にも目立つことを考慮し、さらに立体感がある塗装にしてほしいという現地からの要望があった。そこで今回は、塗料および塗装手法を改良し、従来よりも高い立体感をもつ磁性模様塗装を実現することを開発の目的とした。

2. 目標要件の設定

2.1. 立体感の定義

磁性模様塗料による塗装面には、実際には立体が存在しないのに立体に見えるという一種の錯視によって奥行きを感じさせる効果が生まれている。本開発では、この「立体に見える錯視効果」を「立体感 (Plasticity)」と呼ぶこととした。この効果が高いものを実現すれば、目立つようにすることができると考えた。

我々が本開発で目指した立体感は、模様を形成している図形の外周が囲んでいる領域全体にわたって錯視を生ずる性質を備えたものである。Fig. 4の(a)は既存量産品同等の模様外観を示している。(b)は目標とする模様外観を示している。三角形の磁石シートを使用した場合の外観で表すと、(a)は三角形の縁の部分のみが立体的に見える、三角形の内側はほぼ平面的に見える。一方、(b)は三角形の内側部分が立体的な三角錐のように見える。(b)のような模様を立体感が高い模様と定義することとした。立体的な三角錐のように見えるのは、磁力線の影響を受ける三角形の内側の領域の明度が見る角度によって変化し、その作用によって奥行きを感じるからである。(a)と(b)を比較する



- (a): It is representing insufficient perception of depth as the area of high luminosity is limited only around the area just adjacent the perimeter.
- (b): It is representing the perception of depth with gradual changes of the brightness ranging over the area within the perimeters of the triangle.

Fig. 4 Plasticity defined as development target

と、三角形の模様内の、明度変化の生ずる面積の割合が大きいほど観察者は奥行きを感じていると考えられる。

2.2. 立体的に見えるメカニズム解析

2.2.1. 現象の仮説

従来からある塗装技術を用いて、さまざまな条件で作成した塗膜の解析をおこない、視覚的に立体に見える塗膜を形成する構造的な仕組みを明確にすることを試みた。一般的にフレークを用いた塗装の場合、ベースコート部分にフレークを含有させる場合が主であり、プライマ塗装後にこのベースコートの塗装をおこなう。さらにベースコートの塗装後に、透明のトップコートを塗装して表面に光沢を出す手法が用いられる。Fig. 5 のように磁性模様塗装も同様にプライマ、ベースコート、トップコートの3層の塗装構成である。

磁性模様塗装では、部品裏に装着された磁石シートから発せられている磁力線に沿って、フレークがある一定の角度を持って並んでいる。これによって立体的な模様が生じると考えられる。さらに、模様部分を観察者の見る角度を変えて視認すると、角度を持って分布するフレークの光の反射の強さが変わる。それに伴って模様内の各部分の明度が変化するため、模様全体が立体的に見えると推定した (Fig. 6)。この推定を裏付けるために、以下の二つの実験による検証をおこなった。

2.2.2. 光強度の変化の測定

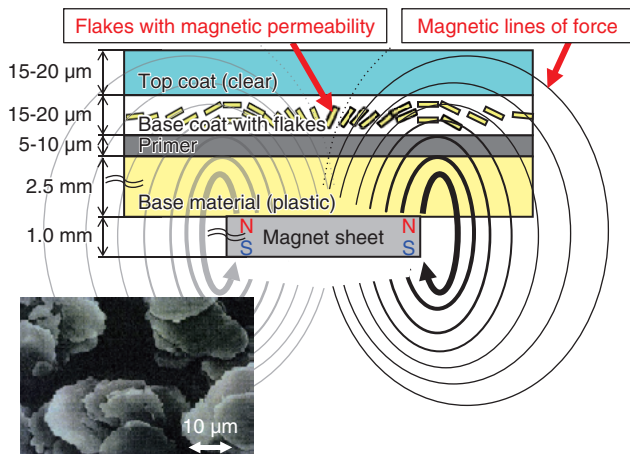
まず、視認角度の変化に伴う光の反射量の分布の変化を確認した。測定には、検知角度を変えて光度を測定することのできる変角光度計を用いた。なお、本稿の中で

用いている光の強さ、光度、明度についての取り扱い、Appendix 1 に示す。底辺 100 mm、底角 30° の二等辺三角形の磁石シートを使用し、磁性模様塗料を塗装した後に発現した模様を測定対象とした (Fig. 7)。以降、この形状を測定の基本形状とする。

測定方法を Fig. 8 に示す。前述した形状の磁石シートを、厚さ 3 mm の ABS 樹脂製の板の裏側に貼り付け、塗装を施して得られる塗膜表面の光の強さを測定した。Fig. 8 の斜線部に示す $\phi 10$ mm の円形部分から反射される光の分布を測定した。この部分は、模様の明るさの変化が大きく現れる場所である。この測定にあたり、三角形の外周部分は常に光強度が高く、明るさの変化が少ないため、今回の目的には不適切と判断し、この部分は測定対象部位から外すこととした。また、比較として一般的なメタリック塗装も測定を実施した。

光源は測定用定盤面に対し垂直上方に設定した。テストピースは Fig. 8 上部の絵のように、正反射光を避けるために、定盤との間に 5° の角度を持つように傾けて配置した。

この手法によって反射光の角度分布を測定した結果を Fig. 9 に示す。一般的なメタリック塗装面の場合、正反射に近い位置 (5°) では得られる光強度が高くなるが、受光角を変化させるにつれて光強度は急激に低下している。それに対して、磁性模様塗装の場合は、受光角度を変化させて



The magnetic lines of forces (magnetic fields) originate at the N-pole and reach the S-pole by traveling along circular lines. The magnetically permeable flakes are aligned along those lines.

Tesla is used as the unit for describing the density of magnetic field (the index for strength of a magnet), where one tesla is ten thousand gauss.

Fig. 5 Assumed principle of flake pattern generation in magnetically formed decorative painting

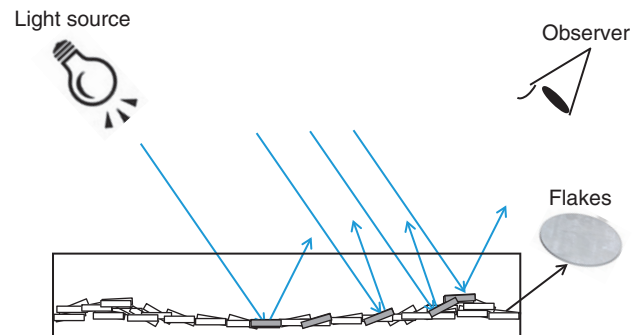
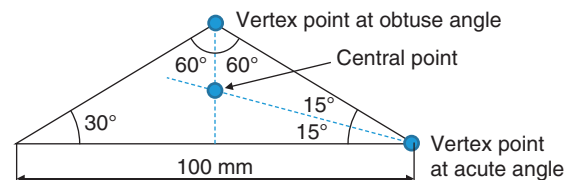


Fig. 6 Presumption of the reason why magnetically formed decorative painting appears three-dimensional



Measurement point	Intensity of magnetic field (mT)*
Central point	4.0 - 8.0
Vertex point at acute angle	9.0 - 15.0
Vertex point at obtuse angle	7.0 - 12.0

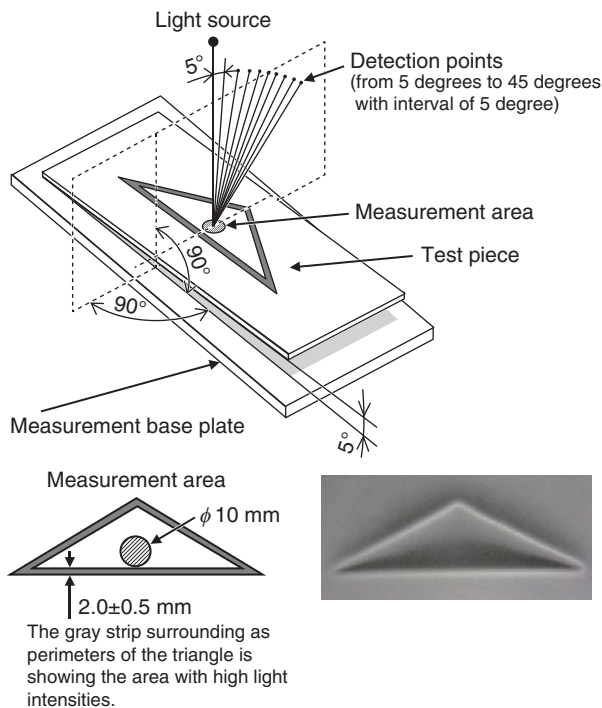
* Measurement equipment: Tesla Meter (TM-601, KANETEC Co., Ltd.)

Fig. 7 Standardized specifications of magnetic sheet for testing

も光強度が一気に低下することではなく、徐々に変化していることが確認できた。これより、磁性模様塗装には推測どおりフレークの角度に広い分布があるものと考えられる。模様を見る際の観察角度は測定時の受光角に相当する。したがって、実験で得られた結果より、実際に模様を目視した場合の、光反射の変化の様子は、この光強度分布に相当することが確認できた。

2.2.3. 磁場に対するフレークの傾きと明るさ

次に、フレークの傾きと明るさの関係を調査した。検証に用いるテストピースは Fig. 10 のような磁場発生装置を用いて作成した。作成手順を以下に示す。一定方向の磁場



Measurement with variable-angular photometer and measured area (GP200, Murakami Color Research Laboratory)

Fig. 8 Methodological configuration of measurement using variable-angular photometer

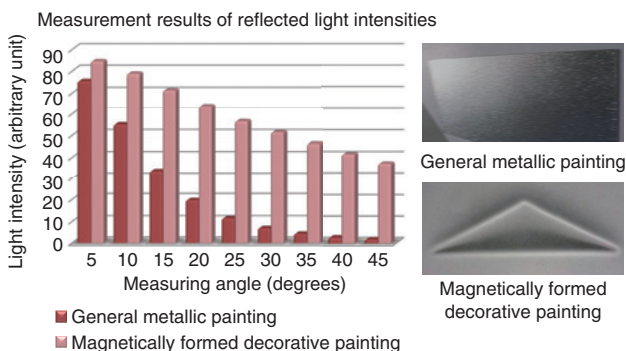


Fig. 9 Measurement results of angular distributions of reflected light intensities detected by variable-angular photometer

を印加できるように構成された装置を準備した。そこに大きさ 10×40 mm の樹脂板を配置できるように空間を設けた。磁性フレーク入り塗料を樹脂板に塗装し、乾燥前にこの空間に配置する。

磁力線の方法は、この空間内ではどの位置においても一定になる。そのため、フレークが磁力に沿って傾くのであれば、この場所にあるフレークはほぼすべて同じ方向に傾くものと推測できる (Fig. 10 右図)。磁力線の方法を一定とし、樹脂板を置く角度を、磁力線の方法に対し、 0° (平行)、 30° 、 45° 、 60° 、 90° (垂直) の 5 種類の傾きになるように設置し、磁力線角度に対する塗膜の明度変化を調べるテストピースを作成した。

これらのテストピースの明度を測定した結果、Fig. 11 に示すように、磁力線に平行に配置した場合 (0°) に、最も高い明度を示した。反対に、垂直方向に配置した場合 (90°) は、塗膜面に対してフレークがほぼすべて立った状態で下地 (プライマ:黒) が隠蔽できない状況となり最も低い明度を示した。このように平行に配置した場合と垂直に配置した場合では、テストピースの外観明るさに大きな差が発生することがわかった。また、その中間の角度では、明るさが配置磁場角度に伴って変化し、グラデーション状の明度

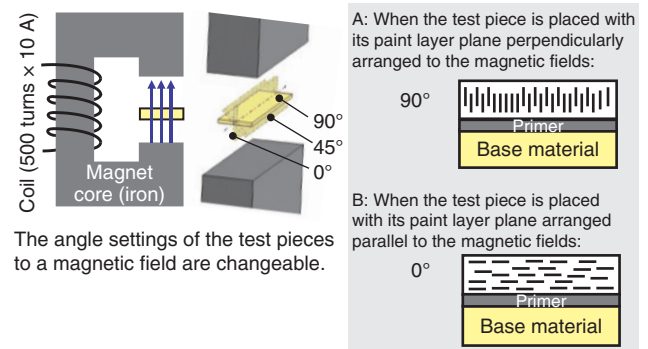


Fig. 10 Apparatus to examine directional relationship between magnetic lines of force and flakes

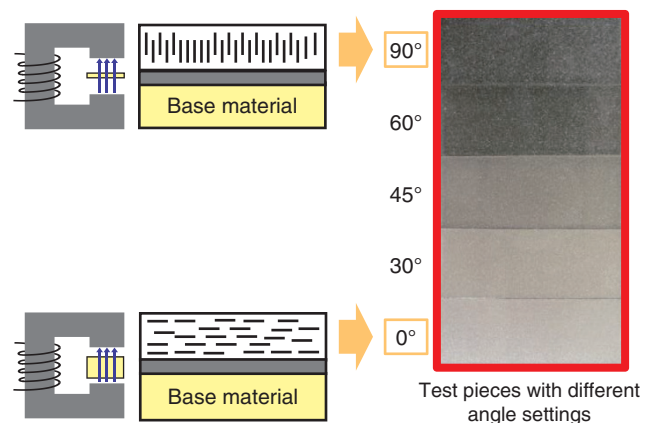


Fig. 11 Light intensity differences among test pieces when varying angle settings to magnetic field

変化を示している。得られたグラデーション状の明度変化は、磁性模様塗装を施したときに模様部分に現れる明度変化と同様のものであった。これらの結果より、模様部分に発生する明度変化は、磁力線の向きの変化に伴ってフレークが傾いて配向することにより生じると考えられる。

さらに、実際にこれらのテストピースの塗膜断面を光学顕微鏡で観察すると、Fig. 12のように、フレークが印加磁場に対して同じ方向にそれぞれ角度を持って存在していることが確認できた。よって、模様部に見られるグラデーションは、フレークの変角変化によって発現していることが確認できた。

2.2.4. 立体的に見えるメカニズム

これら二つの実験の測定結果より、塗膜内のフレークが磁力線に沿って角度を変えながら並び、見る角度によって光反射の強さが変わることが確認された。このことが、磁性模様塗料によって形成された模様が立体的に見える理由である。

2.3. 目標立体感の設定

本章では、目的とする立体感を数値化し目標を明確にする。前述した、立体感に影響をあたえるフレークの並びと明度の関係を考慮し、サンプルを作成した。そのサンプルを分析し指標を作成した。目標とする立体感のレベルは、エクステリアデザイナーの目視判断によって決定した。

2.3.1. 目標立体感設定用外観サンプル作成

2.2.2. 項で述べたように、磁性模様塗装の場合は、一般メタリック塗装と比較して受光角度を変化させても光強度が急激に低下することではなく、徐々に変化していることが特徴である。模様によって表現される立体感は、模様内において、視認角度変化に伴い明度変化を起こす部分の面積が広いほど強くなる。この明度変化部分を広い面積とするためには、塗料が被塗装物に付着したときに、フレークが磁力線に沿って動く範囲が、広い範囲にわたる必要がある。そのためには、広い範囲でフレークが動きやすい条件を満足するような塗装することが求められる。このことを

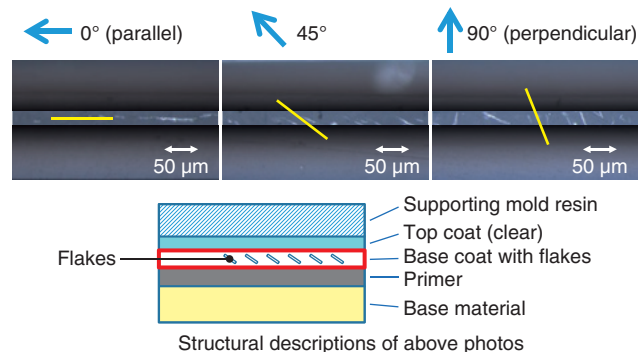


Fig. 12 Cross sectional views of painted layers of test pieces

考慮し、サンプルを作成する必要がある。

上記条件を実現する方法の一つとして、フレークが動く時間を長くする手法がある。これを実現するために揮発速度の遅いシンナを用いた。揮発速度が段階的に異なるシンナを作成して5種類のテストピースを作成した作成方法と詳細条件を Appendix 2 に示す。なお、このテストピース作成に用いられたシンナの揮発条件は、目標立体感の外観確認ができるテストピース作成のためだけの条件であって、通常の量産塗装工程を考慮していない。すなわち、乾燥するまでの時間を度外視し、求める立体感が十分に発現することを優先してサンプルを作成しテストをおこなった。

2.3.2. 立体感の数値化と目標数値の設定

前述したように立体感はそれぞれの測定角度の明るさが影響している。よって、2.3.1. 項で作成したそれぞれのテストピースに対して、検知角度ごとの光強度変化を調べることとした。測定手法は、2.2.2. 項と同じであり、測定場所も 2.2.2. 項と同様に外周より一定距離離れた場所に設定し、検知角度を変化させたときの光強度変化を計測した。

ここで、それぞれのテストピースに対する測定値の絶対値は、作成条件によって変動することがあるため、直接は比較できない。立体感の評価に重要なのは、視認上の明るさの絶対値ではなく、その変化率であるため、相対的に比較することが有効な手法である。そこで、本評価においては Fig. 13 のように、測定開始点 (測定角度 5° の点) の値が同じになるように、適宜各グラフの縦軸方向に平行移動してある。このようにして、測定角度 5° における値を基準として、各テスト条件における光強度 (L) の変化を相対的に比較できるようなグラフとしている。

ここでの目的は、模様を形成する三角形の内部部分の明暗変化について、テストピースごとにどのように異なるかを調べることである。強い立体感を提供する条件は 2.2.2. 項で述べた、Fig. 9 で示された、「光強度変化がどれ

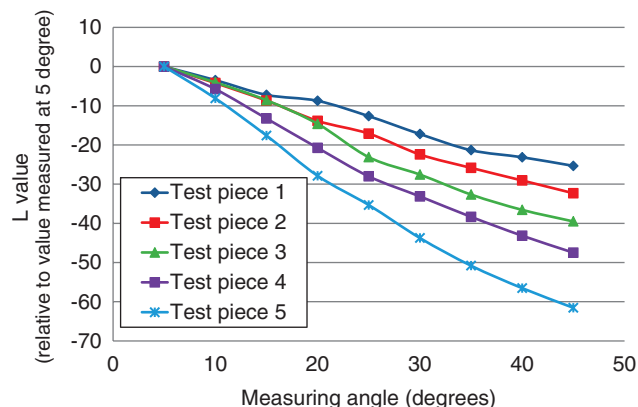


Fig. 13 Comparison of five test pieces with different plasticity levels evaluated by intensity distributions in the areas inside the triangular shape

Table 1 Coefficients of inclination calculated by linear approximation for individual test pieces

	Inclination of approximation line
Test piece 1	-0.46
Test piece 2	-0.82
Test piece 3	-1.06
Test piece 4	-1.22
Test piece 5	-1.60

Table 2 Plasticity classification defined by coefficients of inclination calculated by linear approximation

Plasticity level	Inclination of approximation line (/degree)
4	-0.49- 0.00
3	-0.99- -0.50
2	-1.49- -1.00
1	-1.50 or lower

くらいゆるやかに生じているか」の度合いに置き換えることができる。本計測で得られた実測値のプロット点より線形近似式を計算した。それらの傾きによって光強度の変化の度合いが示される。作成した5種類のテストピースの近似直線の傾き値を Table 1 に示す。

その近似直線の傾き値を 0.5 刻みに分類し、4 段階のレンジを設定した (Table 2)。この4段階のレンジを立体感レベルとし、数値の大きいほうが立体感が高い、とした。5種類のテストピースに対してエクステリアデザイナーの目視による立体感の確認をおこない、良好と判定した結果を4段階のレンジに照らし合わせた。その結果、本研究で開発の目標指標とする良好な立体感とは、この立体感スケールのレベル3以上であるという結論となり、これを目標要件とした。

3. 目標を達成する材料仕様の選択

3.1. 目標を達成するフレーク並びの推定

前章で設定した目標立体感レベル3以上を達成するために、具体的にどのような方法でフレークを並べれば良いか検討をおこなった。

まずは、フレークの角度と塗膜明度が立体感にどのように関係するかを考察する。Fig. 14 の上段の写真で示すように、左上に示す立体感の低い三角形 (a) と、右上の立体感の高い三角形 (b) を見比べると、前述したように (a) は三角形内部が平面的に見えるのに対し、(b) は三角錐のような奥行きのある立体形状に見える。つまり、見かけ上は Fig. 14 の2段目の図のようにフレークが並んでいるように感じるこの見かけ上の立体形状に対する断面を仮想断面と呼ぶこととする。2.2.2. 項で示した光強度の結果と、2.2.3. 項で示したフレークの傾きと明度の結果から、塗膜の断面形状を推測する。塗膜は実際には約 20 μm 程度と薄いものである

ため、Fig. 14 の3段目の図に示す断面形状にフレークが角度を持って並んでいると推測できる。これらフレークは、それぞれの場所における仮想断面における各フレークのみかけの角度と同じ角度で傾き、塗膜層内に分布しているものと考えられる。このように角度を変えて分布しているフレークから反射される光の強さ、つまり塗膜上の位置による明度の違いによって立体感が感じられると考えられる。また、絵画と異なり、見る角度を変えるとそれに伴って明るさが変わるため、より実際の立体物に近い外観が発現する。次に、これらを印加された磁力線に対するフレーク並びの差で対比したものを Fig. 14 最下段に示す。これらに示したように、立体感の高いものは、フレークが全体的に磁力線に沿って並んでおり、立体感の低いものは、部分的にしかフレークが磁力線に沿って並んでいないと推測できる。詳細は後述するが、これはフレークが十分に動くことができなかったためと考えられる。

磁性模様塗装において高い立体感を実現するためには、模様の内側のより広い範囲に存在するフレークが、磁力線に沿って十分に角度を変えることができる塗料、および塗装方法が必要である。

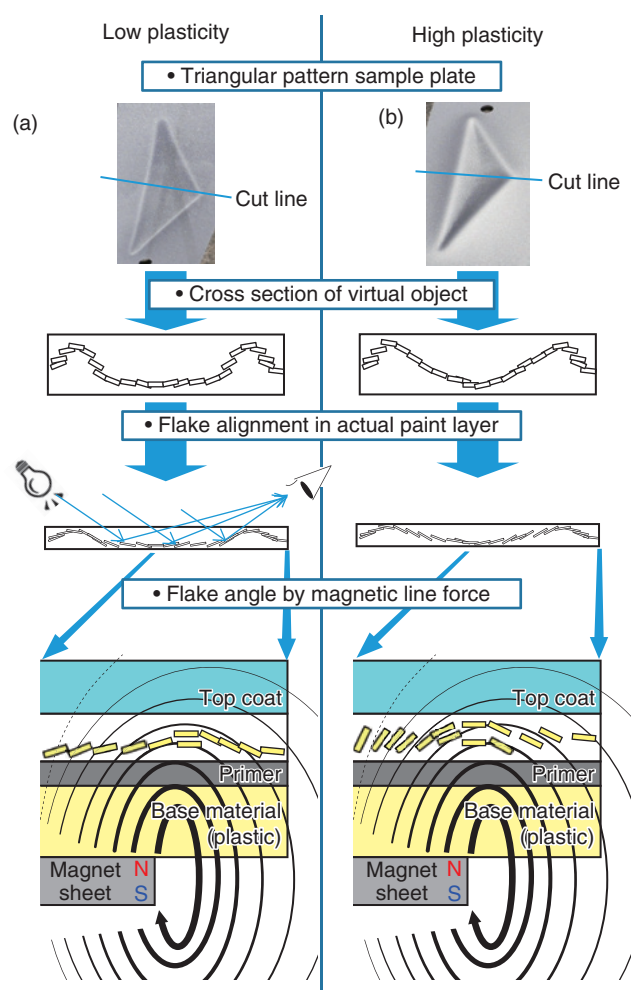


Fig. 14 Relationship of plasticity with flake angle and light intensities

3.2. フレークを動きやすくする手法案とその課題

3.2.1. 手法の検討

前項で述べたように、塗膜内のフレークが磁力線の方
向に沿って動きやすくするような塗装条件を整えれば、フ
レークの配向が理想的な状態となり、強い立体感を持つ模
様が形成される。フレークの配向変化を助ける、つまり、
フレークの動きやすさを促進するためには、以下の三つの
手法が考えられる。

手法1:揮発速度の遅いシンナを使い、フレークの可動
時間を長くする(目標立体感レベル設定用テスト
ピースの作成時と同様の手法)。

手法2:磁力の強い磁石シートを使い、フレークを動かす
力を強くする。

手法3:透磁率の高いフレークを使いフレークの磁力に対
する感度を上げる。

上記それぞれの手法について、詳細と選択に関わる懸案
について述べる。

手法1:揮発速度の遅いシンナを使う

シンナ揮発速度が遅い場合に、模様部の立体感は良好と
なる。しかし、模様のない部分においてもフレークの配向
に対して時間が十分にあたえられてしまう。そのため、部
品表面のなんらかの不均一な要因に対し、フレークの配向
ムラが発生しやすくなり、外観上の問題となる。また、こ
の場合、実際の量産工程においては、生産タクトの制約か
ら、ベースコートが十分に乾燥する前に、次工程(トップ
コート塗装)に進むことが発生する。その際には、トップ
コートにベースコートの塗料樹脂が混ざるために必要な光
沢が得られない現象が発生する。さらに、動く時間が長く
なるため模様中央部のフレークが立ちツヤヒケ(艶退け)を
引起し、外観上の課題となる。ツヤヒケについては後に詳
細に述べる。

手法2:磁力の強い磁石シートを使う

磁石シートは、さまざまな用途で使用されている。一般
的に事務用品などに用いられる磁石シートは、同一平面内
でS極N極が交互に着磁されている。しかし本塗装に用
いられる磁石シートは、片側全面がS極、反対側がN極の
特殊な方法で着磁が施されているものを使用する。この着
磁形式の磁石シートの磁力をさらに強めるためには、着磁
手法を工夫しなければならず、コストが大幅にあがっ
てしまう。また、着磁方法を変更せず、シートの厚みを増
す方法で磁力を強めることができる。しかし、二輪車に使
われる樹脂カバーにおいては、複雑な凹凸を有する場合が
多い。そのため、シートの厚みが増すことで、樹脂カバー
などの裏面に装着するときに、密着させにくくなってしま
う。こうしたコスト、生産上制約から、磁石シートについ
ては、従来から使用されている厚さ1mmのシートを、使
用する必要がある。また、磁力を強めることで模様中央部
分においてフレークが立ってしまうことによりツヤヒケが

Table 3 Applicable options of measures to create good plasticity

#	Measures	Issues on production process	Issues on product quality
1	Slow volatilization thinner	Excessively long tact time	Gloss loss at central area
2	Strong magnetic sheet	Unacceptably costly or too thick to fit on parts	Gloss loss at central area
3	High permeability flakes	None	Gloss loss at central area

発生し、外観品質を満たさない。

手法3:透磁率の高いフレークを使う

この手法の採用には、生産上、量産工程上の課題はない
が、手法1,2と同様に外観品質上、ツヤヒケが発生する
という課題がある。透磁率の高いフレークを用いると、フ
レークは磁力線に対して感度が高くなり影響を受けやす
くなる。そのため、フレーク同士がくっつき合い、連鎖状
態となりやすい。主に模様部中央部分においては、塗膜表
面に向かってフレークが立ち、さらにフレークが連鎖状態
となることで突起を形成し、ツヤヒケが発生する。なお、
2008年の量産時にもこの手法を検討したが、良好な立体
感と外観品質を両立する条件を見出すことができず採用を
見送った。

Table 3はそれぞれの手法の内容と課題をまとめたもの
である。今回の開発においては、手法1や2のように量産
工程やコストに問題がある手法は選択が非常に難しかった。
そのため適用できるのは手法3の高透磁率フレークの
使用となる。この手法を採用し、課題であるツヤヒケを防
止する方法を開発し、目標を達成することを目指した。

3.2.2. 高透磁率フレーク材料の選定

塗料に使用することのできる金属フレークには、アルミ
ニウム材料、ニッケル材料、鉄系材料、2008年の量産に
使用したフレークであるステンレス材料がある。これらの
磁力に対する感度を表す透磁率を測定した(Appendix 3参
照)。その結果をFig. 15に示す。透磁率は鉄系材料が一番
高く、ニッケル、ステンレスの順番となる。アルミニウム
材料は非磁性の材料である。

さらに、塗膜の調色自由度を考えると、フレークの色
調は明るく無彩色に近いことが望ましい。そこで、フレー
クの色調の測定をおこなった。色調の測定は、国際照明委
員会(CIE)で定められているL*a*b*表色系によっておこ
なった⁽³⁾。Fig. 16に示すように、L*は数値が大きいほど
明るく、a*, b*の絶対値が小さいほど無彩色に近い。つま
り、選定にあたってはL*値が高く、a*, b*の絶対値が小さ
いことが求められる。測定結果をFig. 15に示す。色調に
関する優位性はアルミニウム材料、鉄系材料、ステンレス材
料、ニッケル材料の順となった。これら透磁率と色調の測
定結果より、我々は鉄系材料のフレークを選択することに
した。

3.2.3. ツヤヒケとそれを防止するための考え方

前述のとおり、理想のフレーク並びは、塗装乾燥前にフレークが磁力線に沿って十分に角度を変えられることができれば実現できる。しかし、この方法を実施すると、副次的な作用として、模様中央部にツヤヒケが発生してしまう。ツヤヒケとは、塗膜表面の平滑性が失われ、著しく光沢が低下する現象である。

Fig. 17 に具体的にツヤヒケ現象を表した画像を示す。磁性模様塗料で塗装した板に光をあて、縞模様の柄を反射した画像であり、(a)はツヤヒケをしている塗装板、(b)はツヤヒケをしていない塗装板である。(a)は(b)に対し縞模

Flakes type	Magnetic permeability values (μ)	Color tones		
		L*	a*	b*
Aluminum (general metallic)	1.000	81.80	-0.40	1.00
Nickel	1.780	69.14	0.53	4.44
Stainless steel (conventional flakes)	1.213	50.37	0.16	2.22
Ferrous-material	2.263	53.12	-0.08	-0.50

■ Sample preparation:

The flakes are ultrasonically cleaned in acetone bath. After that, they are dried and bottled in a container 6 mm. In diameter and 2.5 mm in height. The measurement is conducted to the container.

■ Magnetic permeability measurement

(1) Instrument:

- (1) Vibrating Sample Magnetometer
- (2) BHV-50
- (3) Riken Denshi Co., Ltd.

(2) Measurement condition:

Applied magnetic field: 10000 oersteds

■ Color measurement

(1) Instrument:

- (1) Name (generic): Spectrophotometer
- (2) Model: CM - 700 d
- (3) Make: KONIKA MINOLTA

(2) Measurement condition

- (1) Light source: D65 10
- (2) Detection mode: SCI

The color tones are measured using the base coat layer of paint resin with only flakes but without color pigments.

Fig. 15 Flakes with magnetic permeability and their color tones

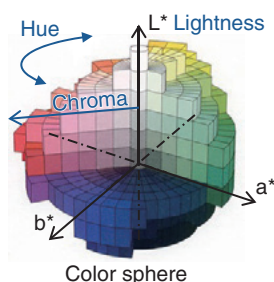


Fig. 16 L* a* b* color sphere

様が不鮮明である。このようにツヤヒケという現象は、塗装面の光沢が著しく低下している現象であり、外観品質上許容できず回避する手段を考える必要がある。

模様中央部にこのようなツヤヒケが発生する理由を以下に示す。本塗装に用いる磁石シートは片側全面がN極、反対面がS極である。Fig. 18のように磁力線はシート面全体から放射状に発せられている。シート中央部は磁力線がシートに対して垂直方向に発せられているため、付近のフレークが磁力線に沿って動くと、塗装面に垂直に近い角度となる。Fig. 18を作成したシミュレーション手法はAppendix 4に示す。

そのため、フレークが立ち、さらにこれらのフレークが互にくっつき合って連鎖を形成し、塗膜表面に突起状に飛び出すことにより、塗膜表面の平滑性が失われ、ツヤヒケが生じることになる (Fig. 19)。したがって、模様中央部については、フレークの配向角度が垂直に近い値となることを防止し、理想フレーク並びに求められる、ゆるやかな

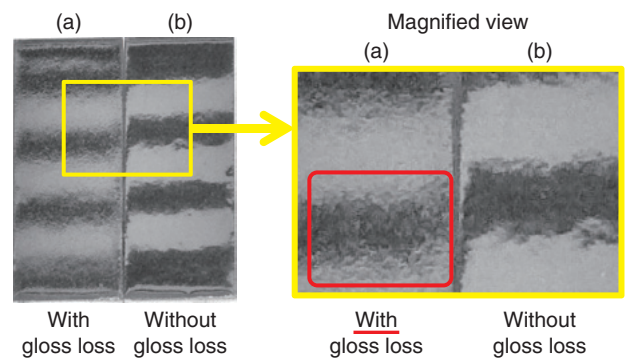


Fig. 17 Appearance of "gloss loss"

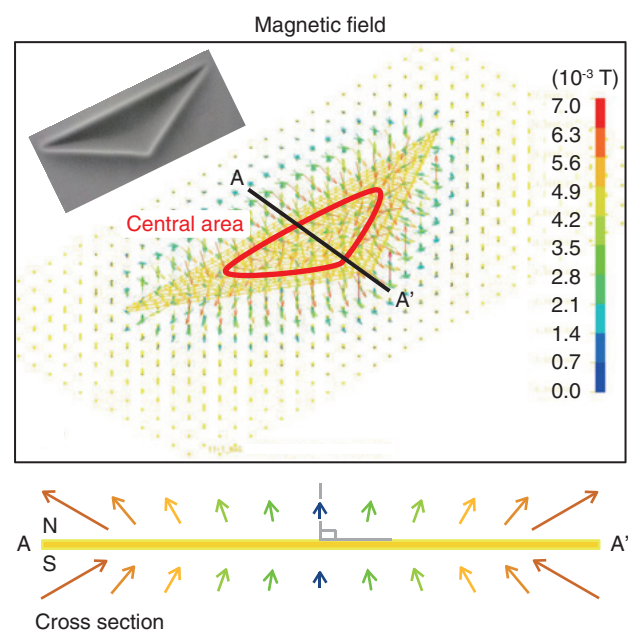


Fig. 18 Directions and strengths of magnetic fields from magnetic sheet

傾きの範囲内にとどませる対策が必要である。

3.2.4. 課題を解決するための手段の検討

フレークは、ツヤヒケを避けることができる角度範囲に傾きが制限されるべきであり、一方で、良好な立体感を得るために十分に動く必要がある。その範囲の確認をおこなうために、2.2.3. 項で作成した一定磁場を印加し角度を変えて作成した塗装サンプルの表面を観察し、ツヤヒケの有無を確認した。

Fig. 20 の上段は、それぞれの角度の塗装サンプルを、Fig. 17 と同様の方法で撮影した写真である。この写真から、塗膜に対し 90° で作成したサンプルには著しいツヤヒケが発生していることが確認できる。さらに 60° のサンプルにもわずかにツヤヒケが確認できるが、 45° のサンプルにはツヤヒケはまったく見られない。したがって、フレークの傾きを 45° 以内に収めることができれば、塗膜表面からフレークが飛び出さず、ツヤヒケを防止できることが確認できた。

次に、磁力線に沿って配向するフレークの配向角度を塗装面に対し、 45° 以内に配向させる手法を検討する。このようなフレーク配向を実現させる塗料配合と塗装手法を決めるにあたり、ツヤヒケが発生する部分の磁力の強さに注目した。Fig. 21 の下段のグラフは磁力の強さを測定した結果である。上段の絵のように放射線状に発せられてい

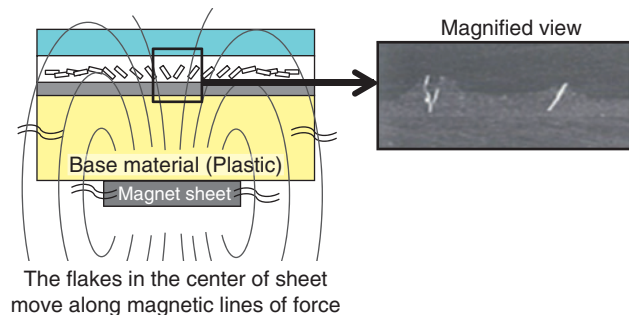


Fig. 19 Flake directions in area with gloss loss

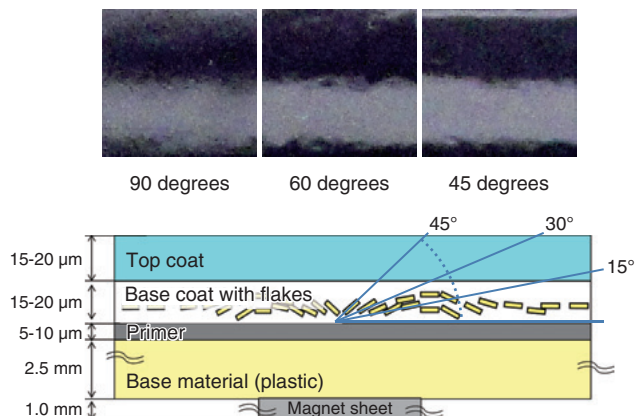


Fig. 20 Maximum flake angle to avoid gloss loss

る磁力線の位置ごとの磁力の強さを調査するために、マグネットシートの A から A' に向かって測定をおこなった。グラフに示した磁力の強さは、模様端部と比較して模様中央部が弱いことを示している。このことから、模様中央部のフレークが、完全に磁力線に沿って動くには、端部よりも時間がかかると考えられる。ツヤヒケは模様の中央部、つまり磁石の中央部で発生する。しかし、中央部は磁力が弱いため、この部分のフレークが磁力に沿って 90° に近い角度まで動くには時間がかかると推定される。我々はこの時間的遅れを利用して、フレークの動きを制御することにした。

Fig. 22 に測定のポイントとフレークの最終到達角度を示す。磁性模様塗装のフレークの角度分布が異なる代表的な部分として、A, B, C の 3 箇所を抽出した。それらの特徴を以下に示す。Fig. 22 の右上の写真に示すように、A は模様の端部、C は中央部、B は A と C 中間部分である。右下の断面模式図のように磁力線は放射状に発せられている。そのため、磁力線の角度は、模様周辺部から中央部に向かうにしたがって次第に大きくなっている。これ

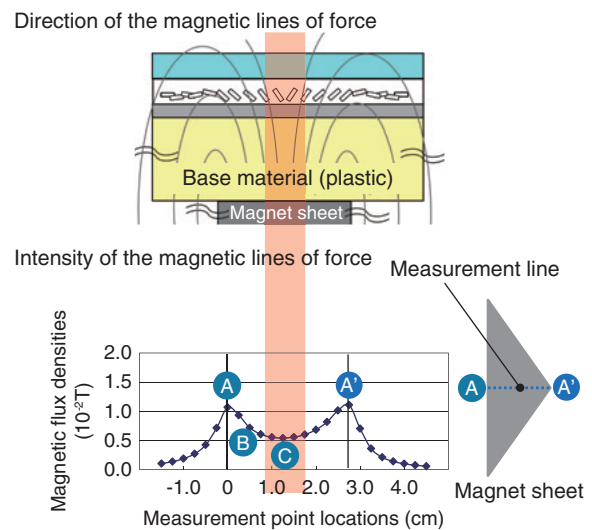


Fig. 21 Intensity of magnetic lines of force

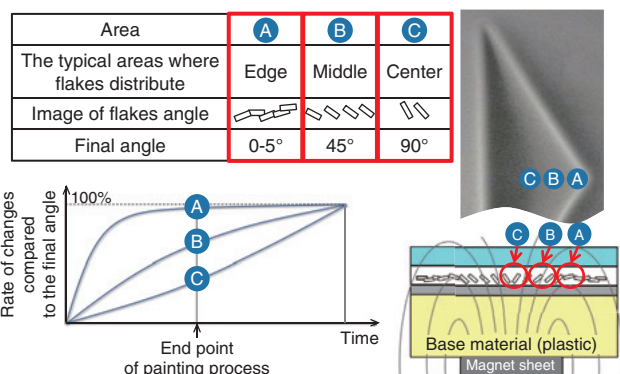


Fig. 22 Measurement points and final angles of flakes

により、完全にフレークが磁力線に沿った場合には、A 部は $0^{\circ} - 5^{\circ}$ 、B 部が 45° 、C 部が 90° の傾きになる。このように、各部位のフレークが完全に磁力線に沿った状態の角度を、それぞれの部位の最終到達角度と呼ぶこととする (Fig. 22 内の表)。

ツヤヒケが発生するのは、模様中央部である C 部である。C 部のフレークが十分に動くとツヤヒケが発生するため、動く角度に制限が必要であることは前述した。一方でそれ以外、特に立体感に寄与の大きい B 部のフレークは、高い立体感を得るためには、完全に磁力線に沿うまで動くことが求められる。3.2.4. 項で検証したとおり、中央部の磁力は端部よりも弱く、フレークが動くのに時間がかかるため、中央部 C 部のフレークが動く時間を制限しながら、端部 A や中間部 B のフレークを十分に動かすための手法を考察する。

塗装後の経過時間とフレーク角度の関係を Fig. 22 の左下のグラフに示す。グラフの横軸は塗料が表面に塗着した後の時間、縦軸はフレークの最終到達角度に達している割合を示している。したがって、最終到達角度に 100% 達しているというのは、それぞれ A, B, C 部の最終到達角度に (例えば B 部は 45°)、その箇所のフレークが全部沿うことを意味する。

Fig. 22 のグラフの中央部分の縦線は磁性模様塗装の工程の終了時間である。この時点で、端部にあたる A 部は、ほぼ最終到達角度 ($0^{\circ} - 5^{\circ}$) に至っているが、B 部、C 部は最終到達角度に達していない状態で塗装工程が終了している。すなわち、立体感が低い状態を示している。立体感に寄与する中間部の B 部を最終到達角度 (45°) になるように時間を長くした場合、同時に C 部も最終到達角度 (90°) に達してしまい、ツヤヒケが生じることになる。このグラフの塗料配合は、2008 年の量産品の位置づけと言い換えることが可能であり、実際は、ツヤヒケのない塗装外観を優先した結果、高い立体感を実現できなかった。目的の立体感を得るためには、塗装工程終了時間に B 部のフレークを最終到達角度に動かし、かつ、中央部の C 部は最終到達角度に到達する前 (45° 以下) に止める必要がある。つまり、Fig. 23 の (a) のグラフに対して、(b) のグラフのようにフ

Table 4 Purposes and measures of viscosity adjustment

Required effects on flake	Viscosity requirements	Method
Move fast	The initial viscosity should be low.	Increasing the dilution ratio of the paint
Stop immediately	The viscosity should quickly reach to the level where the flakes stop moving.	Adding the high-molecular-weight resin*

* High-molecular-weight resin (RC resin):
Material used for rheology control that stops movements of flakes in paints

レークを動かす必要がある。そのために、フレークを速く動かし、早く止める塗料設計を検討することとした。

速く動かすことについては、前述の高透磁率フレークを適用することが対応手法の一つであるが、フレークの動きは塗膜の粘度による影響が大きい。そのため、我々は速く動かし、早く止めるための手法として塗料の粘度制御を検討することにした。フレークの動きは、塗膜の粘性によって制御される。すなわち、フレークが動けるのは、塗膜の粘度が一定粘度以下の場合に限られる。ベースコートがウェット (wet) 状態にある間のフレークが、磁力によって動く様子を観察し、磁力線の影響下で配向ができる、できないの境目となる塗膜内粘度を見極めた。この値を、「Border-X 粘度」と定義した。塗装時、スプレーガンによって吹きつけられた塗料が、塗装対象表面に塗着した瞬間には、Border-X 粘度より低い粘度となるように設定し、その後、すぐに Border-X 粘度に達する、または、超えるように塗料粘度変化を設計すれば良いと考えた。この急激な粘度上昇を実現するために、我々は分子量 10 万以上の高分子量樹脂 (Rheology Control resin: RC 樹脂剤) を用いた。RC 樹脂剤を用いる場合、添加により吹きつけ前の塗料粘度そのものが上昇するため、塗装後の平滑性を確保できない。そこで塗料のシンナによる希釈率を上げた。このことは、吹きつけ時の塗料粘度を下げることとなり、結果的にフレークを速く動かす効果ももたらす (Table 4)。

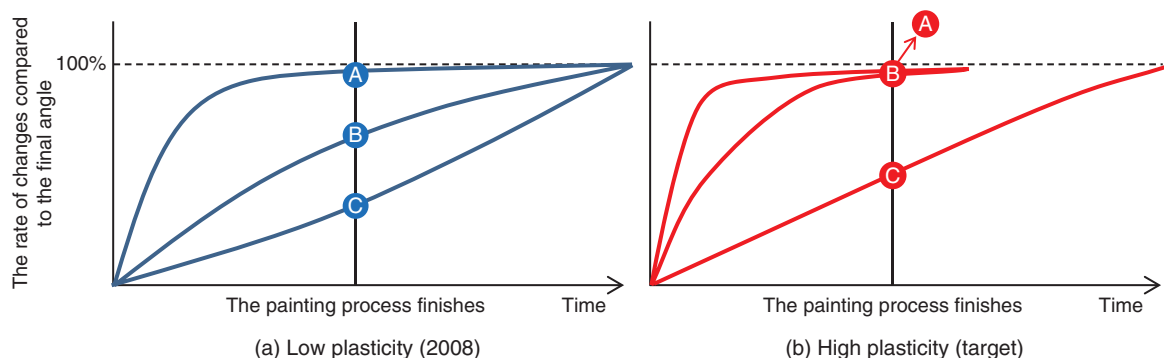
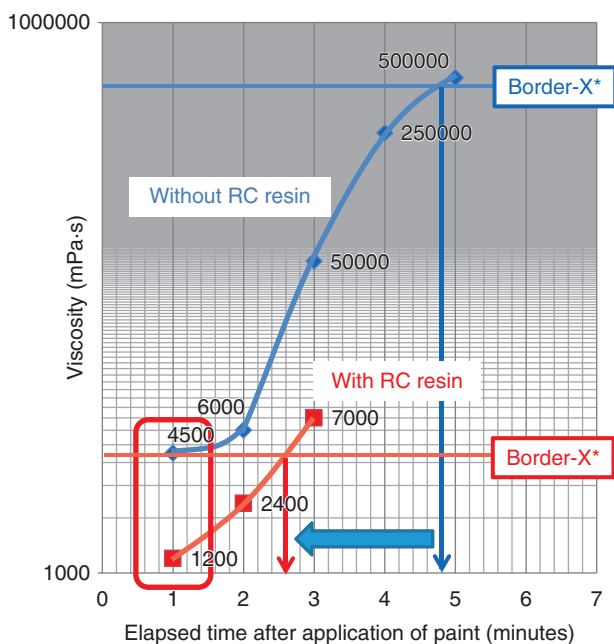


Fig. 23 Flake movements of fast move and immediate stop

Fig. 24 のグラフは塗料の粘度変化を高分子量樹脂 (RC 樹脂剤) の添加有無で比較したものである。横軸は経過時間、縦軸は粘度を対数スケールで表示している。高分子量樹脂の添加無し (グラフ青線)、すなわち 2008 年の量産塗料の位置づけに対して、グラフ赤線は今回の開発塗料であり、高分子量樹脂の添加によりフレークが動けなくなる粘度である Border-X の数値が大幅に下がることが確認できる。さらに、希釈率を上げたことにより初期粘度も今回開発塗料のほうが低くなった。それらの結果から、フレークは速く動くが、塗装後にフレークが停止するまで時間は短くなっていることがわかる。これにより、ねらいとした粘度変化特性を持つ塗料配合を設計することができた。なお、粘度測定の方法については Appendix 5 に示す。

我々は、この塗料樹脂配合をベースに、高分子量樹脂およびシンナの配合比を変更させた塗料で塗装をおこない、外観、塗膜性能および作業性を比較することにした。そして、その結果から量産仕様を決定することとした。



* Border X: The viscosity at which flake movements stop

Fig. 24 Viscosity increases of paint with and without RC resin

4. 結果

4.1. 塗料配合条件

フレークを早く止めることに寄与する高分子量樹脂について、検討仕様として添加量の異なる 4 種類の塗料を作成した。高分子量樹脂の配合割合は、20、30、40、50% とした。また比較として高分子量樹脂を添加していない仕様も

作成した。この無添加の仕様は 2008 年量産品の位置づけに近い。ただし、本評価においては他の検討仕様と比較するために、他と同様、高透磁率フレークを使用した。これらの塗料を用いて、基本形状である三角形の磁石を裏面に配置し塗装した。その後、基本塗膜性能と外観評価、作業性を比較し最終仕様を決定した。ここで言う作業性とは、量産工程の中で必要な膜厚が得られるかどうかを指す。シンナの揮発速度は、量産を想定しているベトナム工場の塗装ブースの設定温度湿度を考慮し決定した。また、希釈後の不揮発性物質率 (NV%) についても、これら検討仕様の配合から決定した。例えば、希釈率を上げると NV% は下がることとなる。高分子量樹脂 (RC 樹脂剤) 0% は High, 20% は Middle, それ以外については、Low と規定した。

4.2. 結果詳細

テスト結果を Fig. 25 に示す。写真は検討仕様 0 から 4 に対するそれぞれの外観を示している。高分子量樹脂の添加量と立体感外観には相関があり、高分子量樹脂の添加量が多いものは立体感が高く良好である。2.3.2. 項の手法にもとづいて立体感レベルを確認した結果、高分子量樹脂を添加している検討仕様 1 から 4 はすべて立体感 3 以上となった。ツヤヒケはすべての検討仕様において、模様部も模様以外の部分においても発生しなかった。

また、塗膜として求められる密着性などの一般的な性能について確認した結果、すべての検討仕様において、塗装性能を満たし問題のない結果が得られた。なお、それぞれの詳細試験方法は Appendix 6 に示す。

最後に、塗装作業性については、高分子量樹脂が多いほど悪くなり量産塗装工程内で必要な膜厚を得ることが難しくなった。我々は検討仕様 2 の高分子量樹脂の添加量約 30% までは許容範囲と判断した (Fig. 25 の表、最下段)。これらの結果より、量産仕様の決定については、外観と実際の量産塗装ラインでの作業性に基づき、最終的に判断することとした。

4.3. 量産仕様の決定

外観および塗装作業性を考慮した上で、量産仕様を決定する判断のプロセスを下記に示す。3.2.4. 項で述べたように、高分子量樹脂を添加すると粘度が増加するため、塗装面の平滑性を保つために、シンナの希釈率を上げて塗料粘度を低くする必要がある。シンナの希釈割合が高くなると、最終的に塗膜形成する不揮発性物質の割合 (NV%) が低下し、一回の吹きつけ工程では、目標とする隠蔽膜厚 (15-17 μm) を実現できなくなる。

また、量産工程条件下では、1 回の吹きつけ作業に対する、塗料の吐出量には上限がある。通常量産工程における塗り重ね回数は 2-3 回以内に設定される。よって、塗装工程上は、この回数以内で必要な隠蔽膜厚を形成することが

求められる。

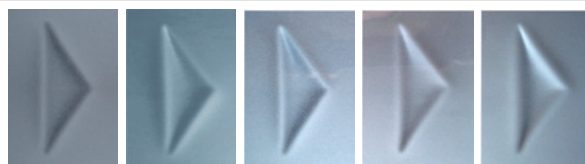
今回、生産工場として想定したベトナム工場のラインにおける工程条件では、重ね塗りの設定は3回であり、この回数にて、必要な膜厚の確保ができる希釈量（膜成分量 NV 約 15－20%）の設定が必要であった。高分子量樹脂は、その量を増やすほど立体感実現への寄与が大きい。しかし、上に述べた量産工程の制約から生ずるシンナ希釈量設定上の制限を勘案し、要求膜成分量に見合うように高分子量樹脂の添加量を設定した。

このようにして、量産用に設計された塗料では、ベース樹脂に対する比率で 20－25% の割合で高分子量樹脂を添

加することとした。Fig. 25 において総合評価基準に達した検討仕様 1 を量産仕様として選定した。

上記に示した各条件設定を反映しつつ、今回開発された塗料を用いて、ベトナム工場のラインで試験的な塗装を実施した結果、良好な立体感が得られ、また、作業性にも問題がないことが確認された。この試験塗装の工程にて、先に説明した立体感測定の基準形状として設定した三角形の磁石シートを用いてこの塗装を実施し、光強度の角度変化を計測したところ、目標として定めた立体感であるレベル 3 を達成していることが確認された。開発した塗料は、ベトナムで量産適用されている (Fig. 26)。

Specification No.			0	1	2	3	4
Addition of RC resin			None	Applied	Applied	Applied	Applied
Paint specifications	Contained ratio of RC resin*1		0.0%	20.0%	32.0%	40.0%	50.0%
	Contained flake ratio (PHR)*1		15 PHR	15 PHR	15 PHR	15 PHR	15 PHR
	Non-volatizing material ratio after diluted by thinner (NV%)*2		HIGH	MIDDLE	LOW	LOW	LOW
Results Appearance	Plasticity level (Inclination of approximation line)		2 (-1.22)	3 (-0.73)	3 (-0.71)	4 (-0.38)	4 (-0.28)
	Initial gloss value*3	The area of design pattern	95	95	96	94	94
		The area without pattern	95	97	98	97	96
Results Performance	Initial adhesion performance*4		Good	Good	Good	Good	Good
	Water resistance*4		Good	Good	Good	Good	Good
	Durability against accelerated weather stress*5	Non-discoloring*6	Good	Good	Good	Good	Good
		Gloss*7	Good	Good	Good	Good	Good
		Adhesion performance*4	Good	Good	Good	Good	Good
		Disorders of paint layers*8	None	None	None	None	None
Results Paintability	Thickness of paint layers*7,*9		Good	Good	Fair	Poor	Very poor



*1 Ratio to the base resin

*2 The thinner is added until the viscosity reaches 13 second at 26 degrees in Celsius using Iwata-cup.

*3 Measurement is carried out using gloss meter and the detecting angle is set at 60 degrees.
(Equipment: Gloss meter, Micro tri gloss, BYK Additives & Instruments)

*4 "Good" denotes that none of the tiles are peeled off.

*5 Results are evaluated for the areas both with and without design patterns and the evaluation results shown in the table are the total performances.

*6 Color difference ΔE is measured using Spectrophotometer.
"Good" denotes $\Delta E = 2$ or less.
(Equipment: Spectrophotometer, CR-300, MINOLTA)

*7 "Good" denotes satisfying the requirement,
"Fair" denotes barely satisfying the requirement and
"Poor" denotes unsatisfying the requirement.

*8 Disorders include checkings, cracks and blister. Those are visually observed.

*9 Whether or not the total thickness of sprayed base coat paint reaches the required thickness for hiding the primer layer under the paint process in actual manufacturing.

Fig. 25 Test results



Fig. 26 Final product with plastic coverings painted by magnetically formed decorative painting

5. 結論

二輪車用外装プラスチック部品の外観魅力向上のために、磁性模様塗料を使用し、従来技術と比較して、その模様外観が示す立体感をより高めるための塗料と塗装手法の開発をおこなった。この開発における、課題設定、解決のための解析プロセスを通じて、以下の知見を得た。

- (1) 立体感に寄与する、光強度変化の度合いを数値化し、目標とする立体感レベルの数値化ができた。
- (2) 立体に見えるメカニズムを解析し、目標とする立体感を具体的に実現させるための、塗膜内のフレークの配向状態を明らかにした。

具体的な塗料、塗装手法の開発においては、以下に示す手法の有効性を確認した。

1. 塗料

- (1) フレークには、高い透磁率(透磁率:2.2)、高い明度(L^* 値 50 以上)、無彩色に近い鉄系材料を用いる。
- (2) 高分子量樹脂(RC 樹脂剤、分子量 10 万以上)を用いて、塗料塗着後の粘性を短い時間の間に十分に上昇させ、フレークの動きを短い経過時間内に止める粘度特性を持つ塗料とする。

2. 塗装手法

- (1) 実現したい粘度変化(フレークを速く動かし、早く止める)を設定し、それを既存の塗装工程の制約条件に合わせて高分子量樹脂の添加量(20-25% 程度まで)を設定した。
- (2) シンナの希釈率を調整することで、NV%を15-20%程度に設定した。

上記手法を組み合わせることで、目標としていた、より高い立体感を有する磁性模様塗装を実現することができた。

この技術の開発により、より魅力的な車両外観デザインを持つ二輪車を、お客様に提供することができるようになった。

謝辞

本開発において、多大なるご協力をいただいた Thai Kansai Paint Co., Ltd. 小寺暉典様、関西ペイント株式会社 勝田英明様に感謝すると共に心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 特許番号, 第 2857276 号 (1999)
- (2) 特許番号, 第 2868948 号 (1999)
- (3) <http://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/part1/07.html>

Appendix 1

光の強さの単位について

光の特性を表す数量の単位にはさまざまなものがあり、それがどのような定義に基づくものかによってそれぞれ異なる。本研究における光学計測の測定対象は塗装表面であり、したがって、それ自身は光を発してはいない。しかし、塗装面からの光の強さを論ずる場合に、最も適した光学計測の SI 系単位の一つは、一定の外部光を照射した状態における、塗装面から見かけ上発せられる光に対して測定された光度(luminous intensity)であると考えられる。

ここで、実際面においては、本測定に用いられた光学計測機器のいくつかは SI 単位系の単位を採用していない。しかし、標準化にのっとっていない単位であっても、その計測目的に合致している場合には、計測的な有効性は失われない。また、こうした単位を SI 単位系の単位に換算するためには、多くの場合、複雑な補正が必要である。実際の場面においては、この補正の実施は大変困難であり、かつ、仮にそれらを実施して補正値を得たとしても、本研究で得ようとしている技術的内容に対して、何ら付加的な価値を得ることができない。

本研究においては、おこなわれた計測のほとんどは、立体感の度合いを知ることを目的に実施されている。したがって、光の強度の絶対値そのものは、検討対象とはなっていない。測定のねらいは、あくまで、光の強さの変化の量(比率)であり、それを、測定の場所や測定角度を変えながら計測している。

こうした計測目的の背景を踏まえ、本研究においては、「光度」、「明度」にて得られた測定結果については、そのままその表現、単位を用いている。また、例えば変角光度計のように、計測結果が他の単位で得られている場合には、「光強度」とのみ表記し、値は相対値のみで示し、標準単位系への換算はおこなっていない。このように、論文中の表記においては、明確に「光度」または「明度」で測定、もしくはは定義されている場合には「光度」、「明度」を用い、一般に

光の強さについて言及する場合には「光の強度(強さ)」という表現を用いている。

先に述べたように、本論文における場合には、相対的な値(比率)のみが検討の対象となるため、光度、明度、光強度のいずれの表現、測定値を用いても、実質上の意味はまったく同じである。

Appendix 2

テストピースの作成方法

- (1) 事前に、下記に示す3種類のシンナを準備する。
 - (a) 沸点が、およそ 100°C から 130°C の溶剤を中心とした組成のシンナ
 - (b) 沸点が、およそ 140°C から 180°C の溶剤を中心とした組成のシンナ
 - (c) 沸点が、180°C を越える溶剤で作成されたシンナ
- (2) (1)で作成した3種類のシンナを用いて、揮発度が異なる5段階のシンナを調合する。
- (3) (2)で作成した5種類の調合済みシンナを、塗料主剤、硬化剤と共に規定の割合で調合する。
- (4) このように作成した5種類の塗料を、それぞれ、背面に規定の磁石シートを貼り付けたABS樹脂板に塗装する。

Appendix 3

透磁率

透磁率とは、印加された磁場によって物質に誘引される、磁化の度合いを示すパラメータである。また、透磁率は、物質がそれ自身の中に、磁場を形成する作用の強さの度合いを示す。

本研究の対象においては、フレーク材料の透磁率が高いほど、フレークが磁場の方向に沿うように動きやすい、とすることができる。通常、透磁率はその物質に固有の数値として定義される。しかし、この研究において金属材料を使う場合には、フレーク形状に加工されたものを用いる。この加工に伴って、透磁率が元々の金属固有の数値とは異なるものに変化する場合がある。こうした理由により、Fig. 15 には、フレーク形状に加工された後の透磁率の値を示した。

Appendix 4

シミュレーションの方法

磁力線の強さと方向を、解析ソフト(ELF MAGIC ver. 3.40, Elf Co., Ltd.)を用いてシミュレートした。解析にあたり、磁石シートの持つ磁束密度(228.0 mT)および、磁石シートの形状と寸法を条件としてあてている。シミュ

Table 5 Comparison of measurement value and simulation result

A-A' (mm)	Actual measurement (10 ⁻³ T)	Simulation (10 ⁻³ T)	Measurement value divided by simulation result
0.0	1.55	1.66	93.37%
2.5	3.89	3.99	97.49%
5.0	5.09	4.84	105.17%
7.5	5.25	4.91	106.92%
10.0	5.16	4.83	106.83%
12.5	5.13	4.81	106.65%
15.0	5.22	4.88	106.97%
17.5	5.41	5.03	107.55%
20.0	5.65	5.20	108.65%
22.5	5.67	5.17	109.67%
25.0	4.92	4.41	111.56%
27.5	2.65	2.34	113.25%
30.0	0.00	-0.01	0.00%

Simulation software : ELF MAGIC ver.3.40, ELF Co., Ltd.

Measurement equipment: Magnetic flux density meter (Tesla Meter, TM-601, KANETEC Co., Ltd.)

- Measurement points and conditions

- (1) The positions located on the A-A' line at Fig. 21 and the height is 5.0 millimeters.
- (2) The magnetic flux densities in vertical direction were measured.
- (3) On the side of North Pole of the magnet sheet polarity.

レーションの結果と、実測値の比較表を Table 5 に、また、それをグラフにしたものを Fig. 27 に示す。これらの結果から、シミュレーションの結果は、実際の様子を示していることが検証された。

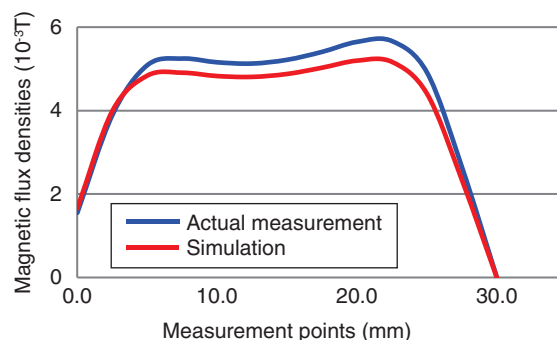


Fig. 27 Comparison of measurement value and simulation result

Appendix 5

粘度測定の方法

ステップ1：不揮発性物質比率と粘度の参照用相関グラフの作成

- (1) 塗料主剤、硬化剤、シンナを規定の割合で調合する。
- (2) 上記調合塗料を大皿状の容器に入れ、常温で塗料をか

き混ぜながら溶剤を蒸発させる。

- (3) 目視で粘度上昇が確認された後、数回この塗料からサンプルを採取する。
- (4) 採取した塗料の不揮発性物質比率と粘度の測定をおこなう。
- (5) 上記測定結果に基づき、不揮発性物質比率とそれに対応する粘度の関係を示すグラフを作成する。
- (6) こうして作成した参照用グラフを用いながら、実際の粘度測定をおこなう。すなわち、不揮発性物質比率で得られたデータを粘度に換算して用いる。計測の具体的手法については下記に示す。

・計測機器と計測条件

(a) 粘度

- 粘度計:LVDV-1+, Brookfield Engineering Laboratories
- 回転子/回転速度:#4/60 rpm
- 温度:26℃

(b) 不揮発性物質比率

- 試料 2 g をブリキ皿に取る。
- 上記試料を 110℃ にて 3 時間加熱する。
- 加熱後の重量を測定し、計算により不揮発性物質の比率を求める。

ステップ2:不揮発性物質比率の計測と粘度への換算

- (1) あらかじめ一定のサイズに断裁されたアルミ箔を、数枚、被塗装部品表面に貼り付け、規定に沿って調合された塗料をスプレーする。
- (2) スプレーの直後から、1 分、2 分、3 分経過した段階で、これらのアルミ箔を順次剥がし、素早く畳む。
- (3) 畳んだままの状態、重量を測定する。
- (4) その後、アルミ箔を開き、その状態のまま規定の時間乾燥し、再度重量を測定する。

片が 100 枚となるように作成する。

その後、接着テープ(商標名:セロテープ)を試験片表面に押し当て、その後引き剥がし、100 枚中、塗膜表面に残る枚の数を数えて記録する。試験は、20℃ の温度中でおこなう。

(2) 耐水性

それぞれのサンプルプレートを 40℃ の水に浸漬し、10 日間置く。その後プレートを取り出し、乾燥させる。さらにその後、前述の方法で密着性の試験をおこない、評価をおこなう。

(3) 耐候性

それぞれのサンプルプレートを、水と熱の負荷を印加した状態のサンシャインウェザ装置を用いて、光を 85 時間照射し、その後 40℃ の水に 48 時間浸漬する。さらにその後、前述の密着性試験をおこない、塗膜の密着を確認する。

これを 1 サイクルとし、10 サイクルまで試験をおこない、評価をおこなう。

Appendix 6

評価試験の詳細

1. 立体感

磁性模様の立体感度合いは、違う条件で塗装されたサンプルプレートの外観を測定することによって確認した。変角光度計を用いてこれらを測定し、この結果を、以前我々が定義した立体感指標を用いて、比較した。

2. 密着性、耐水性、耐候性

作成したそれぞれのサンプルプレートについて、下記に示す条件で初期密着性、耐水性、耐候性試験をおこなう。

(1) 初期密着性:

模様を有する部位、ない部位、それぞれの部位の表面に、カッターを用いて刃が素地まで達するように、1 mm 幅で並行に 11 本溝状に傷を付け、さらにこれに垂直に交差するように同様に 11 本溝を付け、1 mm×1 mm 四方の矩形

■著 者■



田中 明子



佐藤 育恵