

車体用高品位ホワイパール塗装の開発

Development of New Pearl White Color for Body Coating

小 嶋 啓 介*

Keisuke KOJIMA

池 原 慎 一**

Shinichi IKEHARA

要 旨

自動車の魅力の主要な要素であるスタイリングの中でカラーの果たす役割は大きい。とりわけホワイパールカラーはプレミアム性を付与するカラーとして重要視されている。このような理由から国内市場での適用率は高く成熟カラーとなっており、より一層の商品性向上が望まれているため、高品位ホワイパール塗装技術の開発に着手した。まず、顧客視点の嗜好調査をおこない質感の定量軸を抽出し開発目標を設定した。その上で耐イエローイング高隠蔽ホワイト中塗り塗料の開発でホワイトカラーベース工程を廃止し、マイカベースの高微粒化2ステージ塗装を可能としマイカを高度に配向せしめ、従来の大量生産ラインでは達成できなかった高度なパール感を備えたホワイパールカラーを発現させた。

ABSTRACT

Color plays an important role in styling, which is a major element in the appeal of a vehicle. Pearl white is particularly important as a color imparting a “premium” quality to a vehicle. Because of this, the rate of use of the color in the domestic market is high, and it has reached market maturity. In order to increase the commercial appeal of the color, the project discussed here focused on the development of a new high-quality pearl white coating. First, a survey of customer preferences was conducted, enabling quantitative axes for the evaluation of feelings in relation to color to be established. Development targets were set on this basis. The development of a white primer surfacer with high yellowing resistance and color hiding ability enabled the process of application of a white color base coat to be discontinued. As a result, a higher level of atomization could be achieved and the mica base coat could be applied in two stages, producing a higher level of orientation of the mica. This has enabled the realization of a pearl white color with a strong pearl feeling previously unattainable on a conventional mass production line.

1. まえがき

自動車の魅力の一つとしてスタイリング要素がある。2002年のJDパワー社の自動車の魅力調査APEALデータの解析結果においても、近年の顧客はスタイリング要素を自動車の魅力の筆頭に挙げていることが示されている(Table 1)。スタイリングといえばボデー造形をイメージするが、塗装の見映えも重要なスタイリング要素で116カテゴリー中上位7位に位置している。カラーは塗装の見映えの主要要素である。カラーの流行はその時代の社会、経済情勢等で左右されるが、近年の自動車ボデーカラー構成動向を見るとシルバーの順位がトップでありホワイトがそれに次いでいる。国内市場においてホワイトは80年代にスー

パーホワイトの大流行があり、90年代に入り陰が見えたものの現在まで堅調に推移している定番カラーである。特に近年ではホワイトはほとんどがホワイパールに置き換わっている。さらに北米市場においてはホワイパールは高級車専用カラーとしてプレミアムブランド力強化のための重要なカラーとなっている。

以上の背景より、国内市場においては成熟カラーから脱却した価値のある、また北米市場においてはよりプレミアム性の高いホワイパールが望まれているが、塗装工程や製造コストの制約から実現が難しいのが現状である。

本稿では、大量生産ラインに適合しかつ高い質感を備えた高品位ホワイパール塗装技術について説明する。

* 四輪開発センター

** 本田技研工業(株)

Table 1 Correlation coefficient of “Fun to Drive” score and score of each question

Ranking	Questionnaire		Correlation coefficient
1	Style	Overall rating	0.931
2	Style	Side profile appearance	0.928
3	Style	Uniqueness of your vehicles overall styling	0.925
4	Style	Front end style	0.923
5	Style	Exterior styling	0.918
6	Style	Appearance of exterior molding and trim	0.911
7	Style	Appearance of exterior paint	0.897
8	Handling	Feel of steering wheel	0.896
9	Style	Ext/int color coordination	0.891
10	Style	Appearance wheels/rims	0.890
11	Style	Rear end style	0.887
12	Handling	Steering effort	0.854
13	Other	Heater keeps interior warm	0.844
14	Interior	Styling of the seats	0.838
15	Handling	Brakes smooth in panic stop	0.835
16	Interior	Overall rating	0.834
17	Interior	Interior styling	0.834
18	Interior	Interior smell	0.834
19	Handling	Brakes slow vehicle quick and safe	0.831
20	Handling	Hold driver when cornering	0.830
21	Other	Rate how quickly the heater gets warm	0.830
22	Style	Open/close side door	0.829
23	Handling	Overall braking	0.825
24	Interior	Interior color coordination	0.821
25	Other	Front defroster performance	0.817
26	Handling	Stability on winding roads	0.815
27	Interior	IP design	0.815
28	Handling	Overall rating	0.813
29	Power plant	Perf in 2-wheel drive	0.811
30	Interior	Understand gauges/instr	0.811
31	Interior	Look/feel of ip materials	0.804
32	Power plant	Smoothness during hard accel	0.801

Table 2 Adjective pair and result of factor analysis

Adjective pair				Factor loading			
				1st factor	2nd factor	3rd factor	4th factor
7 ← Score → 1				Pearl feeling	Novel feeling	Male-female feeling	?
Feminine	女性的な	Masculine	男性的な	0.0166	0.1941	0.9071	0.2989
Natural pearl	天然パールのようだ	Artificial pearl	人工パールのようだ	0.7373	-0.1129	0.6604	0.0792
Silky	シルキーな	Glare	ギラギラしている	0.8101	-0.2202	0.4122	-0.0201
Delicate	落ち着いた	Glitter	派手な	0.5361	-0.8026	0.1970	-0.1456
Three dimensional	3次元的な	Non three dimensional	3次元的でない	0.7742	0.2242	-0.0330	-0.3200
Bright	明るい	Dark	暗い	-0.2307	0.6338	0.1509	0.5502
Luxury	ラグジュアリー	Sporty	スポーティ	0.3789	-0.1100	0.8620	-0.1712
Color travel	色が変化する	Non-color travel	色が変化しない	0.5971	0.7856	-0.0562	-0.0688
Gentility	上品な	Vulgarity	下品な	0.8179	-0.4007	0.2891	0.0430
Valuable	高価に見える	Cheap	安っぽく見える	0.9187	0.0676	0.2503	-0.0728
Novel	目新しい	Commonplace	ありきたりな	0.0901	0.9349	-0.0739	-0.0009
Fine particles	粒子が詰め込まれた	Rough particles	粒子が詰め込まれていない	0.9002	0.1620	0.2311	-0.0910
Gorgeous	ゴージャスな	Simple	シンプルな	0.1892	0.8785	0.3065	-0.0602
Warm	暖かい感じ	Cool	冷たい感じ	0.3223	-0.0780	0.9099	-0.1068
Contemporary	先進的な	Classic	クラシックな	-0.3141	0.7466	-0.3526	0.4018
Like	好みのカラーだ	Dislike	嫌いなカラーだ	-	-	-	-
Contribution ratio(%)				37.62	25.92	25.48	3.56
Accumulative contribution ratio(%)				37.62	63.54	89.02	92.58

2. ホワイトパールの質感の評価軸と目標値

成熟市場で顧客への訴求力を高めるためには、顧客の嗜好把握が欠かせない。そこで顧客がホワイトパールカラーに対しどのような質感を感じとるのかを知るために因子分析をおこなった。サンプルパネルとしては12種の異なるホワイトパール色カラーが塗装されたスポーツカーシェイプ

モデルを用いた。

因子分析に先立ち Table 2 に示すカラーデザイン分野で用いられる意味言語を15対整理した。これら対極をなす意味言語対および嗜好性を7段階にランク付けし調査をおこなった。対象はカラー知識のない20代から50代の日本のHonda 従業員(男性38名、女性23名)とした。

得られた因子分析結果を Table 2 に示す。第3因子まで

の累積寄与率が89%であり、第4因子以降は各々寄与率が3.6%以下のため考慮から外した。第1因子は因子負荷量の大きい意味言語からパール感を表す軸、第2因子は目新しさ感を表す軸、第3因子は男性－女性感を表す軸と判断した。一方、これら三つの因子スコアと併行して調査した嗜好性スコアとの相関性を Fig. 1 に示す。パール感因子スコアは相関係数 0.8325 と強いが、目新しさ感因子スコアおよび男性－女性感因子スコアはそれぞれ 0.0700, 0.1442 と相関が認められなかった。以上より顧客はホワイトパールカラーに対しこれら三つの質感を感じとるものの、嗜好性の評価にはパール感因子しか使われないため、ホワイトパールカラーの魅力向上の方向性はパール感向上にあると判断した。

パール感の評価軸はパール感を表す第1因子に対し因子負荷量の大きい意味言語から、3次元的に見えるイメージ(以下立体感という)およびマイカ粒子が高密度に敷き詰められた質感(以下、緻密感という)を抽出し、さらに独自のデザインテイストとして先進感をイメージする輝度感を加えた三つの軸とした。三つの軸の定量指標としては、立体感はフリップフロップ度(FF 値)、緻密感は HB 値、輝度感は IV 値をもちいた。FF 値はハイライト部とシェード部の明暗のコントラストの度合いを示す指標で、値が高い程車体の曲面形状がより立体的に見える。HB値は光輝粒粒子のギラギラ度を示す指標で、緻密に充填されている程よりシル

キーに見えるので値は低くなる。IV 値はハイライト部の輝度を示す指標で値が高い程輝いて見える。

そこで開発目標値はこれら三つのパール感評価軸上において、現行ホワイトパールカラーに対し格段に優位性のある水準へ設定した(Fig. 2)。

3. 高品位ホワイトパール塗装

3.1. マイカの配向状態とパール感

車体用ホワイトパール塗装は一部を除き Fig. 3 に示す塗膜構成が主流である。パール感はマイカベース塗膜に含有されるマイカの配向状態に伴う光の反射、透過、干渉度合いで変化すると考えられる。そこでマイカの配向状態とパール感の関係を把握するため、配向状態が異なる2種の塗膜を作製し評価した(Fig. 4)。マイカが塗膜表面に対して平行に配向した部分は白色、そうでない部分は灰色で表されるので、白色比率の高いサンプルBのほうがマイカの配向率が高く、FF 値、HB 値、IV 値も良好な数値を示した。

すなわちマイカの配向率向上はパール感向上と方向が一致する。

3.2. ホワイトパール塗装の現状と課題

現状の塗装プロセスや塗料材料においては前述の目標値を達成させることはかなり困難といえる。その要因は大き

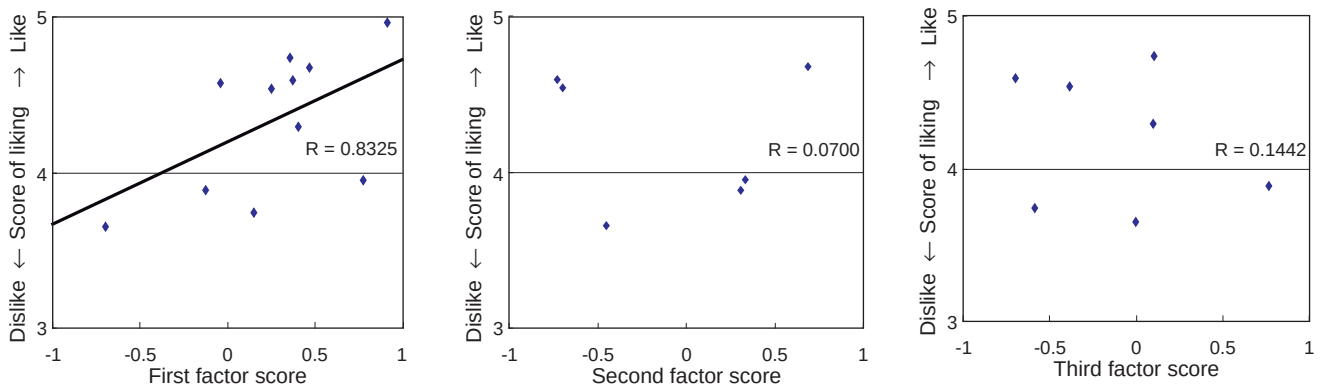


Fig. 1 Correlation between score of liking and each factor score

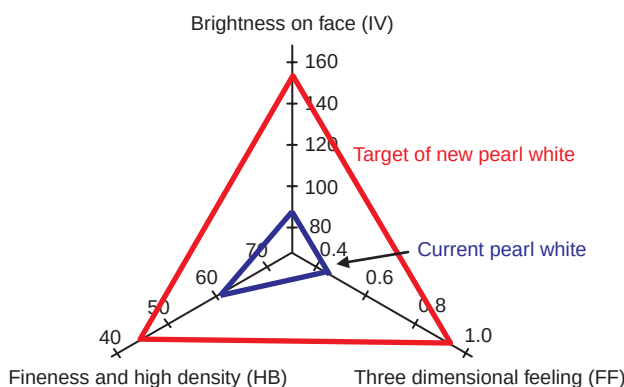


Fig. 2 Target of new pearl white

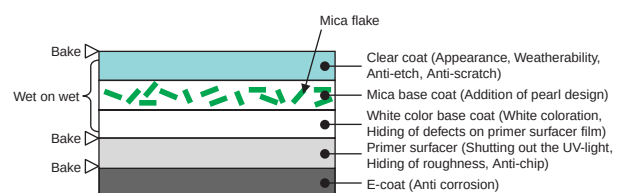


Fig. 3 Current film system of pearl white color for body coating

く二つ考えられる。第1の要因はマイカベースの1ステージ塗装にある。現状のプロセスはFig. 3に示すように電着、中塗り塗料を塗り重ねそれぞれ加熱硬化させた後、まずホワイトカラーベースを塗布し、未硬化の状態でマイカベースを塗り重ねるいわゆるウェットオンウェット塗装をおこなっているため、同一の塗料を二つのステージで塗り重ねているその他のカラーと異なりパール感を決めるマイカベース塗装ステージが一つしかない。そのため、マイカベース塗料の吐出量を多くせざるを得ず微粒化が低下しマイカの配向に限界が生じる。

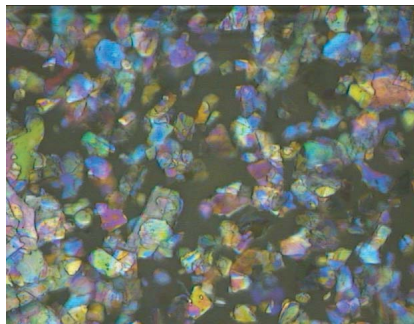
第2の要因はホワイトカラーベースとマイカベースのウェットオンウェット塗装にある。Fig. 5に示すようにホ

イトカラーベースを硬化させた後にマイカベースを塗装した場合とウェットオンウェット塗装した場合で、前者のほうが良好なパール感を示したことから、ウェットオンウェット塗装ではFig. 6に示す両層間の対流が生じ(以下混層という)マイカの配向が乱れる上、ホワイトカラーベース層へマイカが潜り込み有効マイカ量が減ることがマイカの配向率向上を妨げるメカニズムと考えられる。

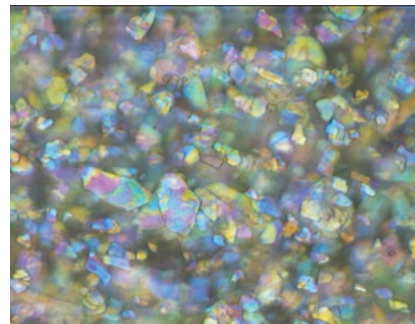
3.3. マイカの高配向技術

前述の二つの要因を排除することがパール感向上の Key となる。

第1要因であるマイカベースの1ステージ塗装に対して



Sample (A) applied by spray (Low-oriented mica)
IV:90, FF:0.45, HB 65



Sample (B) applied by barcoater (High-oriented mica)
IV:137, FF:0.76, HB 54

Fig. 4 Micrograph of different level of mica orientation

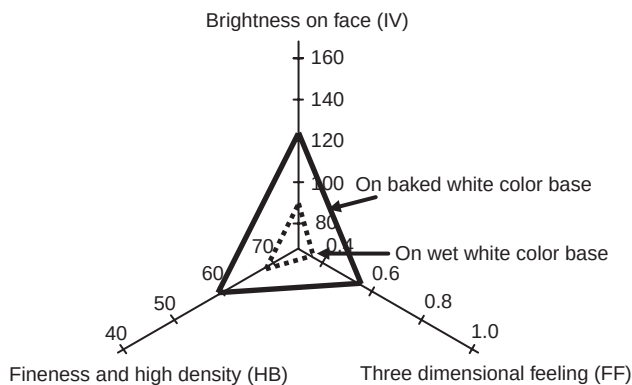


Fig. 5 Pearl feeling difference between on baked white color base and on wet white color base

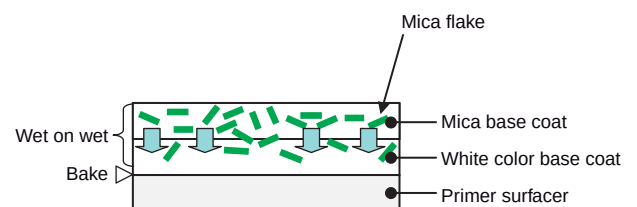


Fig. 6 Mechanism of disorder of mica orientation by convection of white color base coat and mica base coat

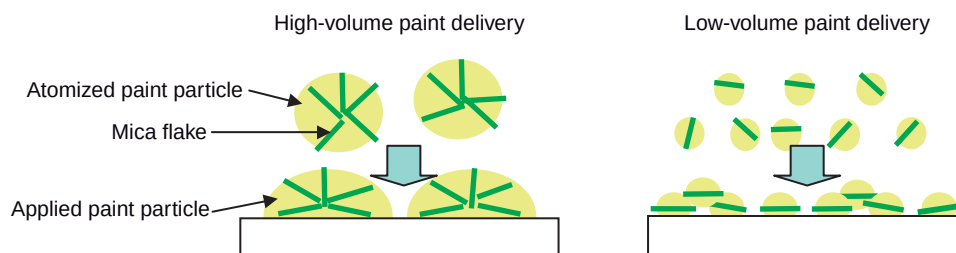


Fig. 7 Mechanism of enhancing mica orientation by low size atomization

は、マイカベースを2ステージ塗装にすればよい。塗装ステージを倍化させればステージ当たりの吐出量を半減することができ、微粒化が向上し、Fig. 7に示すメカニズムでマイカの配向が向上する。

その目的で従来の第1ステージのホワイトカラーベース工程を廃止し、そこへマイカベース工程を配置することでマイカベース塗装の2ステージ化を検討した。

第2要因であるホワイトカラーベースとマイカベースのウェットオンウェット塗装に対しては、上記同様中塗り塗膜へホワイトカラーベース機能を集約できればウェットオンウェット塗装は排除できる。中塗り塗膜は硬化膜であるためマイカベースと混層することはない。

上記の手法により、現行の塗装設備、スペースを増やすことなくパール感目標値を達成することができた(Fig. 8)。

3.4. 技術課題とその対応

これらの手法を適用する際の主要な問題は中塗り塗膜へのホワイトカラーベース機能の集約化部分に集中する。ここにはいくつかの問題が発生するがそれらは中塗り塗膜上に発生する欠陥の問題である。マイカは透明なフレークであるため、中塗り塗膜の欠陥が透けやすい。欠陥が透ければ不良となり良品を顧客へ提供できなくなる。

一つ目の欠陥は中塗り塗膜のイエローイングである。イエローイングは加熱硬化時の樹脂酸化により副生される過酸化発色団がイエローであることより発生するが^{(1)・(3)}、その度合いは加熱温度と時間に依存する。製造ラインにおいては加熱温度と時間は車体の部位、車体の休憩時間帯における加熱乾燥炉内滞留、上塗りの補修塗装の有無などで大きく変動する。現状の中塗り塗膜はこれらの変動因子が高温長時間側へはたらく場合イエローイングが発生しているが、ホワイトカラーベースを塗り重ねるので最終的に欠陥は隠蔽される。しかしホワイトカラーベース工程を廃止するとこの隠蔽ができない。

二つ目の欠陥は電着カラーの透けである。Fig. 2の中塗り塗膜下にある電着塗膜はダークグレー調のカラーを呈しておりホワイト中塗りのみでは透けやすい。現状はホワイ

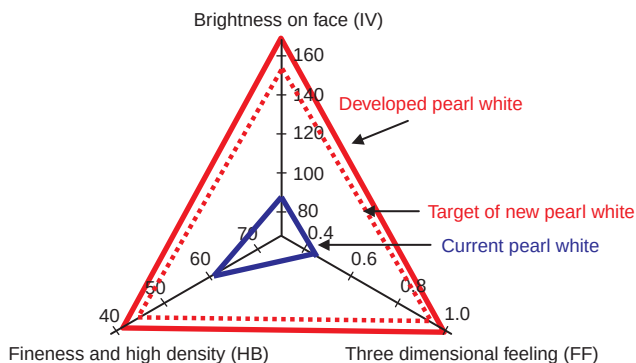


Fig. 8 Pearl feeling potential of new pearl white technology

ト中塗りおよびホワイトカラーベース塗膜で透けを防止しているがホワイトカラーベース工程を廃止すると透けてしまう。

よって技術課題をホワイト中塗り塗料の耐イエローイング性向上、および色隠蔽性向上と定め中塗り塗料の改良検討をおこなった。

耐イエローイング性目標値は製造ラインで想定される最大の熱履歴と標準熱履歴を受けた塗膜との比較で目視上差が判別できないイエロー値(色彩表記法の Δb^* 値)0.5以内にあることとした。耐イエローイング性の向上は発生メカニズムから判断し、樹脂酸化を防止する酸化防止剤や酸化した樹脂に生成される過酸化物の分解剤の配合種と量の検討によりおこなった。

耐イエローイング性目標値と塗料硬化性から検討し特殊酸化防止剤、過酸化物分解剤の1.0 Parts per Hundred Resin (以下 PHR という)配合を塗料設計値とした(Fig. 9)。

色隠蔽性目標値は現状の最低塗装膜厚 $30\mu\text{m}$ から通常の欠陥修正研ぎで削られる $3\mu\text{m}$ を引いた $27\mu\text{m}$ で透けがないこととした。透けがないことの定義は白黒隠蔽膜厚部と $27\mu\text{m}$ 部との比較で目視上差が判別できない色差(色彩表記法の ΔE^* 値)0.3 以内にあることとした。

色隠蔽性の向上はアルミフレークの配合^{(4)・(5)}、およびホワイト着色顔料である酸化チタンの増量によりおこなった。アルミフレークの配合は量に応じて隠蔽力を増していく効果的な手法であるが物質色がグレーを呈しているため

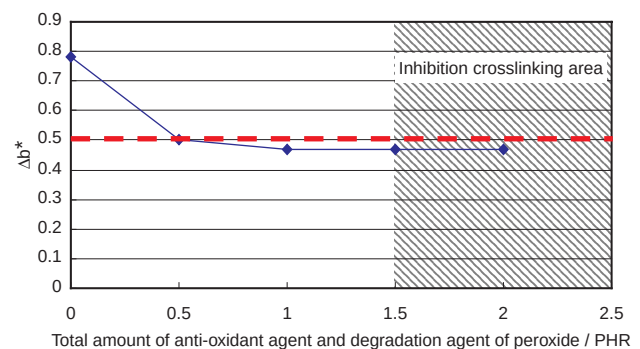


Fig. 9 Effect of addition of additive for anti-yellowing

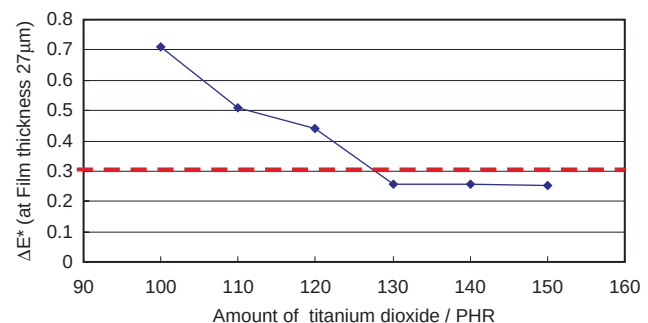


Fig. 10 Effect of addition of titanium dioxide for color hiding

ねらいの白さ(色彩表記法の L^* 値)92 を維持するには配合に限界がある。その限界量として酸化チタン重量比でアルミフレーク 3 重量%配合を塗料設計値とした。酸化チタン量は色隠蔽力が飽和する 130PHR 配合を塗料設計値とした(Fig. 10)。これらの手法により色隠蔽膜厚を 26 μm とでき目標値を満足した。

4. まとめ

上記に述べた高品位ホワイトパール塗装技術により、従来大量生産ラインでは達成できなかった高度なパール感を備えたホワイトパールカラーを発現することができた。その内容を以下にまとめる。

- (1) ホワイトパールカラーに対して顧客が感じとる質感を抽出した(パール感, 真新しさ感, 男性-女性感)。さらに顧客の嗜好性と相関の強い唯一の軸であるパール感軸上で開発目標値を設定した。
- (2) パール感向上のためにはマイカの配向率向上が必要であることの知見を得た。
微粒化を向上させマイカの配向性を高めるため、ホワイトカラーベース機能の中塗り塗膜へ集約化することでホワイトカラーベース工程を廃止し、マイカベース塗装を 2 ステージ化した。
- (3) 新たに発生した中塗り塗膜上の欠陥の問題は、中塗り塗料の耐イエローイング性、および色隠蔽性向上で解決した。

5. おわりに

1980年代の国内のホワイトパールは高級車専用カラーであった。その理由は製造コストが高く高級車にしか設定できなかったためである。当時は前述した中塗りのイエローイングや透けが改善できず、中塗りを 2 度塗り重ねていた。同一の中塗り塗装ラインで塗装回数を増やすことは生産性を圧迫し効率を低下させるので、専用の塗装ラインを設置し対応していた。その後、1990年代になるとその商品力の高さから大衆車への適用のニーズが高まり、その対応として現在の中塗りが 1 度で済む塗装法が開発されたことで急速に普及し現在の成熟期を迎えるようになった。そのかわり、より強いパール感のホワイトパールを創出できなくなり、各社似通った質感となったため、特殊なコーティングを施したマイカなど光輝材の変更で独自性をだす取り組みがなされるに至っている。こうした背景の中、本稿で説明した技術は現状の量産性を維持しつつ強いパール感を発現できる基盤技術であるので今後のさらなるホワイトパールカラーの進化に貢献できることを期待したい。本技術は 2008 年モデルの ACURA RL より適用を開始し、以降適用機種が拡大されていく予定である。

参考文献

- (1) 大勝靖一：第 18 回高分子の劣化と安定化基礎と応用講座, 高分子学会講演要旨集, 東京, 1998-7-2/3, 高分子学会, p.1-5(1998)
- (2) 角岡正弘：第 18 回高分子の劣化と安定化基礎と応用講座, 高分子学会講演要旨集, 東京, 1998-7-2/3, 高分子学会, p.6-13(1998)
- (3) 佐々木万治：第 18 回高分子の劣化と安定化基礎と応用講座, 高分子学会講演要旨集, 東京, 1998-7-2/3, 高分子学会, p.55-58(1998)
- (4) 特許 第 2609513 号
- (5) 特許 第 3755844 号

■ 著 者 ■



小 嶋 啓 介



池 原 慎 一