

運転視界に対応する樹脂ウィンドウ用1コートハードコートの開発

Development of 1-coat Hard Coat for Plastic Glazing Adaptable for Driving Visibility

佐々木 彩乃^{*1} 三岡 哲也^{*1} 宗像 秀典^{*1} 佐藤 咲也子^{*1}
 Ayano Sasaki Tetsuya Mitsuoka Hidenori Munekata Sayako Sato

*1 PGプロジェクト

要 旨

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、自動車業界では軽量な樹脂ウィンドウの需要が高まっている。私たちは低コストなUV(紫外線)硬化型ハードコートで層分離技術を確認し、国際規格UN-R43に定められる自動車の運転視界に必要な性能(耐傷付き性、耐候性など)を1コート塗装で満たす、世界初(当社調べ)の樹脂ウィンドウ用ハードコートを開発した。このハードコートを塗工した樹脂ウィンドウはLEXUS ROV Conceptのフロントウィンドウに採用されている。

キーワード:自動車、樹脂ウィンドウ、ハードコート、UV硬化、層分離、高硬度、耐候性

Abstract

Demand for plastic glazing, which have the advantage of lightweight, is increasing in the automotive industry to achieve carbon neutrality society. We have established a layer separation technology for UV (ultraviolet) curing type hard coat that reduces coating cost and have developed the world's first (according to our research) hard coat for plastic glazing that meets the performance requirements for driving visibility such as scratch resistance and weather resistance as prescribed by the international standard UN-R43, using a 1-coat application. The plastic glazing coated with this hard coat was adopted in the windshield of LEXUS ROV Concept.

Keywords: Automotive, Plastic Glazing, Hard coat, UV curing, Layer separation, High hardness, Weather resistance

1 はじめに

1) 樹脂ウィンドウの特長

カーボンニュートラル社会の実現に向けて車体軽量化の重要性が高まる中、ポリカーボネート製樹脂ウィンドウが注目されている。ポリカーボネートはガラスの約2分の1の比重で割れにくく成形しやすい特性を持つため、軽量化はもちろんのこと、自動車の安全性やデザイン性にも貢献する材料である。さらに、リサイクルによるサーキュラーエコノミーの可能性があることも自動車用ガラスにはない新たな価値だと考えられている。一方、ポリカーボネートは傷付きやすく紫外線で劣化し黄変するため、耐傷付き性・耐候性を向上させるためのハードコートを表面に塗工して使用される(図1)。

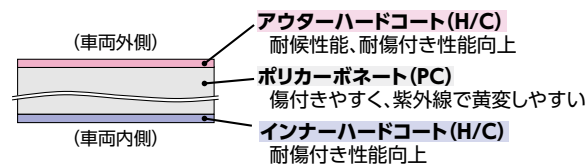


図1 樹脂ウィンドウの構成
Fig.1 Composition plastic glazing

2) 車両法規

自動車の窓ガラスには国際認証法規が定められている。欧州や日本を中心に適用されるUN-R43では、樹脂ウィンドウの適用部位に応じてLクラスとMクラスに分類されている。この分類の中で大きく異なる要求性能は、テーバー摩耗試験によるヘイズH(曇度)の変化量で評価される耐傷付き性である。運転視界にかからないMクラスでは500回転実施後に $\Delta H \leq 10\%$ が要求されるのに対し、フロントウィンドウなど運転視界にかかわるLクラスでは1000回転実施後に $\Delta H \leq 2\%$ とより高い耐傷付き性が要求される(図2)。

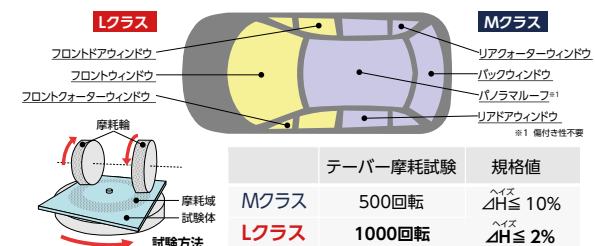


図2 UN-R43におけるM/Lクラス適用部位と要求される耐傷付き性能
Fig.2 Application area and scratch resistance requisite by UN-R43

2 開発内容

1) 当社の開発実績

当社は、国内で唯一自動車向け樹脂ウィンドウの量産実績をもち、大型製品サイズ(約1,400×2,300mm)の生産工程を保有する。これまでに当社で開発され採用実績のある樹脂ウィンドウ用ハードコートは以下の3種類に大別される(図3)。

ハードコート	Lクラス	Mクラス	
	熱硬化2コート+CVD	熱硬化2コート	UV硬化1コート
	CVD ガラス成分層 アクリル成分層 PC	ガラス成分層 アクリル成分層 PC	アクリル成分 ガラス成分 PC
採用実績	86GRMN <車両> バックウィンドウ <製品> クォーターウィンドウ	プリウスα パノラマルーフ	e-Palette サイドウィンドウ

図3 ハードコートの種類と採用実績[1]
Fig.3 a type of hard coat and the results of mass production

熱硬化2コート+CVD(化学蒸着)や熱硬化2コートは、CVD工程によるコストの増大や、数時間を要する二度の熱硬化工程の長さやエネルギー消費量の大きさが懸念となり市場での拡大が難しかった。それに対しUV硬化1コートは、瞬時に硬化可能なUV硬化によりコーティング工程がシンプルになり、コストやエネルギーを大幅に削減できる(図4、5)。

UV硬化1コートはアクリル成分中にガラス成分を分散充填させることでMクラス要求を満たす耐傷付き性をもち、非運転視界部用のハードコートとして使用できる。

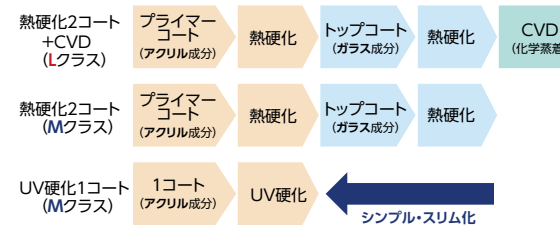


図4 コーティング工程
Fig.4 Coating process

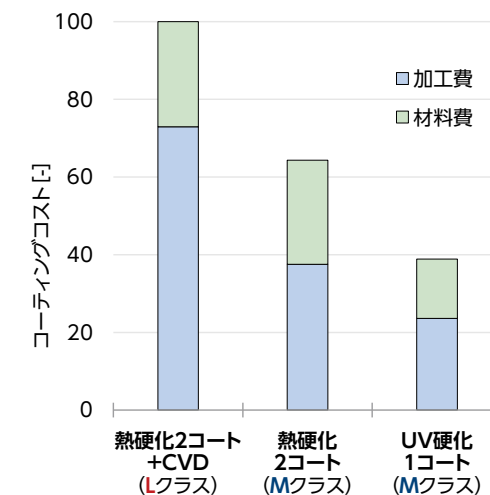


図5 コーティングコストの内訳
Fig.5 Coating cost breakdown

2) 開発コンセプト

樹脂ウィンドウの適用部位の拡大のために、私たちはLクラス要求の耐傷付き性をもつUV硬化1コートハードコートの開発を目指した。

開発実績のあるハードコートは表面ガラス化指標^{※2}が高い構成であるほどテーバー摩耗試験における耐傷付き性が向上する(図6)。これより、最表面にガラス成分が多くなる1コートハードコートとして、塗布後に2層に分かれるような層分離の構成を考えた。

※2 フーリエ変換赤外分光法(FT-IR)やX線光電子分光法(XPS)の測定値より独自で算出した数値

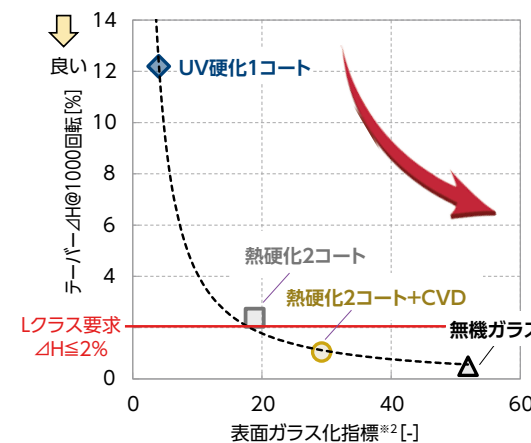


図6 テーバー摩耗試験における耐傷付き性と表面ガラス化指標の相関
Fig.6 Relation between scratch resistance in Taber abrasion test and the surface glass degree

図7に示すように、ガラス成分とアクリル成分が分散したコート剤を塗布後、溶剤が揮発する過程でガラス成分が表面に偏析し、アクリル成分と層分離することを狙った。さらに、UV硬化で汎用的なラジカル重合に加えてゾルゲル反応も進行させることで、ガラス成分層の架橋密度を向上させ、より高い耐摩耗性を発現できると考えた。

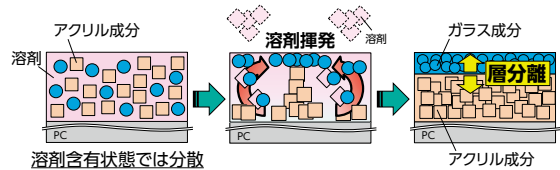


図7 層分離する1コートハードコートの概念
Fig.7 The concept of 1-coat hard coat with 2 layers structure

今回開発したハードコートでは、層分離・高硬度化・高耐候性化の3要素の技術が必要であり、これらを次に説明する。

3) 層分離技術

まず第一に、樹脂ウィンドウ用ハードコートで使用される溶剤は、主成分であるアクリル成分とガラス成分を溶解させることと、ポリカーボネート基材を溶解させないことを両立する範囲(図8のA)である必要がある。例えば、図8のBで示す領域の溶剤を使用するとハードコートへポリカーボネートが溶け出し白化するため、視認性が必要な自動車用窓では使用できない。

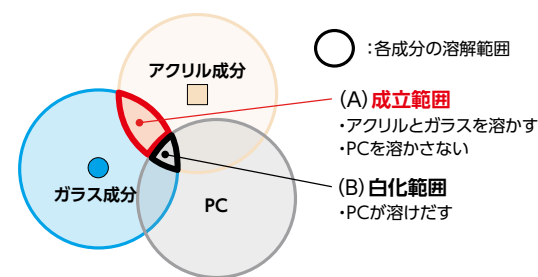


図8 樹脂ウィンドウ用ハードコートで使える溶剤範囲
Fig.8 The validity range of solvent for hard coat applied to plastic glazing

層分離を実現させるには、上記の溶剤条件に加えて分離を促進させるような溶剤選定が必要となる。分散状態のコート剤を塗布後に分離させることから、層分離には溶剤の揮発性が重要だと考えた。図9に(a)揮発性の高い溶剤および(b)揮発性の低い溶剤を使用して作製した硬化膜断面の走査電子顕微鏡(SEM)によるSi元素マッピング結果を

示す。これは着色部にSi元素すなわちガラス成分が多く存在していることを表す。この結果より、揮発性の高い溶剤を使用すると分離前にコート剤の流動性が低下し膜中にガラス成分が凝集するが、揮発性の低い溶剤を使用すると塗布後の流動性が上がり表面にガラス成分が偏析しやすくなり層分離することが分かった。

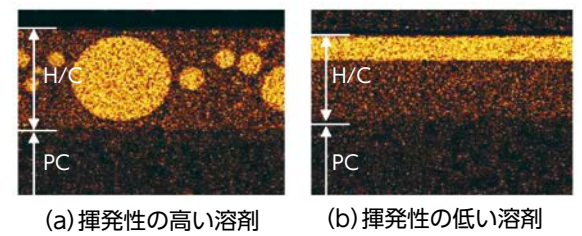


図9 硬化膜の構造(Si元素マッピング)
Fig.9 Structure of cured film (Si element mapping)

溶剤の他にも、アクリル成分およびガラス成分の分子構造や塗布後の揮発工程条件によっても層分離の有無や程度が変化する。組成や作製条件を最適化することで、安定して層分離を形成するハードコートを開発した。

4) 高硬度化

ハードコートは、液状の成分が反応し三次元架橋体となることで硬化する。反応を開始させる活性種(ラジカル、塩基、酸など)が光によって発生する場合をUV硬化と言う。UV硬化型ハードコートはラジカルによるラジカル重合が一般的だが、本ハードコートでは表面ガラス化指標を向上させるために塩基によるゾルゲル反応も併用することを考え、塩基とラジカルとを発生することを特徴とする光塩基発生剤に着目した。

本ハードコートの主成分には、ラジカル重合性基をもつアクリル成分とラジカル重合性基とゾルゲル反応性基をもつガラス成分とを使用している。これらに塩基とラジカルとを発生する光塩基発生剤を用いることで、ラジカル反応とゾルゲル反応が同時に進行することを可能とした(図10)。ラジカル開始剤のみを用いた硬化膜と光塩基発生剤を併用した硬化膜を比較すると、テーバー摩耗試験でもゾルゲル反応の併用による優位性が確認できた(図11)。

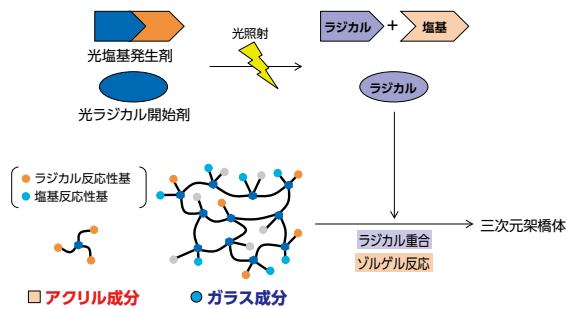


図10 本ハードコートのUV硬化系
Fig.10 UV-curing system of this hard coat

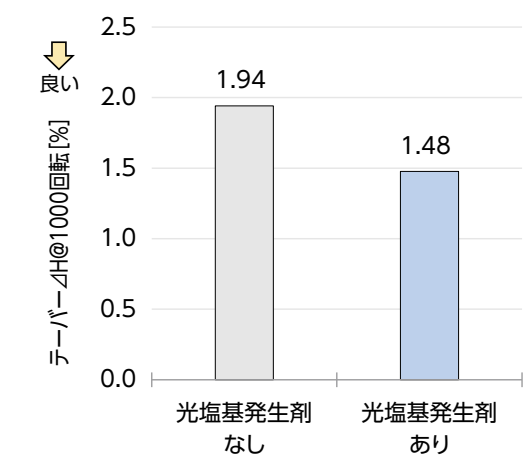


図11 テーバー摩耗試験結果
Fig.11 Result of Taber abrasion test

5) 高耐候性化

主に屋外で使用される自動車に対しては、耐候性も必要となる。耐候劣化で発生する不具合モードには、主に剥離とクラックがある。剥離はハードコートとポリカーボネート基材の密着性が低下することで発生し、クラックは残存架橋基が後硬化することで発生すると考えられる。

そこで、モビリティの高い低分子量のアクリル成分を添加することで、ポリカーボネート基材へ浸透させることと残存架橋基を減らすことを狙った。これにより促進耐候試験での剥離サイクルを106%、クラック発生サイクルを78%向上させることに成功した(図12)。

この時の不具合発生サイクルはフロントウィンドウ搭載角度における屋外曝露試験で10年相当であり、自動車用窓に求められる耐候性をもつと考えている。

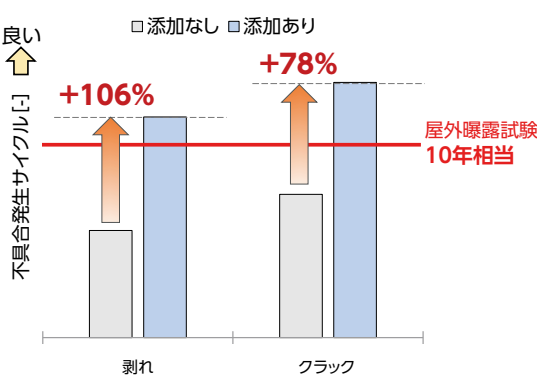


図12 促進耐候性試験結果
Fig.12 Result of accelerated weathering test

3 まとめと今後の展望

層分離技術の確立により、UN-R43に定められるLクラス要求を1コートで満たす、世界初(当社調べ)の樹脂ウィンドウ用ハードコートを開発した。本ハードコートはエネルギー消費量の小さいUV硬化1コートのため、Lクラスの要求性能を満たす従来の樹脂ウィンドウ(熱硬化2コート+CVD)よりもコーティング工程におけるCO₂排出量が約85%低減する(図13)。

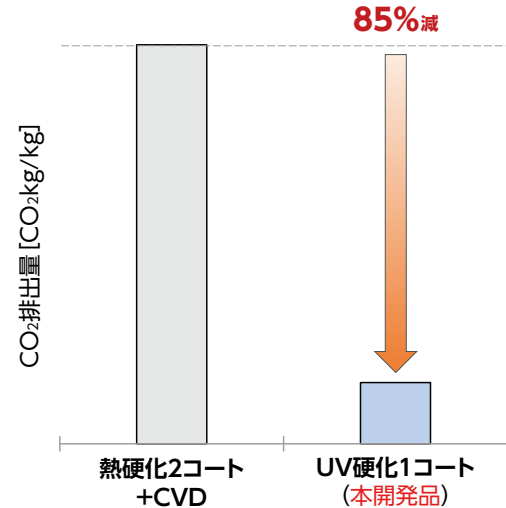


図13 コーティング工程におけるCO₂排出量
Fig.13 CO₂ emissions in coating process

そして、このハードコートが塗工された当社のポリカーボネート製樹脂ウィンドウは、トヨタ自動車(株)が発表した四輪バギーのLEXUS ROV Conceptのフロントウィンドウに採用された(写真1)。この自動車は、水素エンジンの搭載に加え、さまざまな会社の新素材や技術を取り入れたパーツを使用し、将来のクルマづくりに活かすとしている。現在富士スピードウェイなどの専用オフ

ロードコースにて行われている実証実験を通じて、実使用に向けた改良を重ね、乗用車のフロントウィンドウやフォークリフトなどの視界領域窓への展開を目指していく。



写真1 四輪バギー LEXUS ROV Concept[2]
Photo1 All-terrain vehicle LEXUS ROV Concept

■参考文献

- [1] トヨタ自動車(株) ホームページ
- [2] LEXUS ホームページ

■著者紹介■



佐々木 彩乃



三岡 哲也



宗像 秀典



佐藤 咲也子

開発の経緯と開発者の思い

PGプロジェクトは1990年代から樹脂ウィンドウの開発に取り組み、10年ほど前から本開発にも着手していました。このハードコートは組成や条件などの変化に伴い状態が変わる非常に繊細な材料で、進んでは戻ってを繰り返しながら根気強く開発を進めてきました。ラボスケールでの開発を経て、今回大判製品として形にできたことは私たちにとって大きな自信となりました。現在PGプロジェクトでは、ハードコートの性能向上だけでなく、リサイクルスキームの構築や新たな機能付与の検討も進めています。ガラスとは異なる新たな価値を提案し、樹脂ウィンドウのさらなる拡大を目指しながら、これからもチーム一丸となって前向きに開発を進めていきます。