

乗る人の安全を守るガラス

セントラル硝子株式会社 硝子技術部

樋口 和雄

Automotive glass concerned safety of passengers

Kazuo Higuchi

Glass Technical Department, Central Glass CO., LTD.

1. はじめに

自動車用ガラスに要求される機能の第一は安全性であり、主として「乗る人の安全を守ることである」。乗る人の安全性には「事故防止の予防となる運転視界の確保」と「事故発生時の安全の確保」がある。ここでは、主としてこの二つの観点に立って自動車用ガラスを紹介する。

2. 自動車用ガラスの安全性要求事項と一般的な製法

まず、自動車用ガラスは世界各国で法規に満足することが義務づけられており、その中で安全性に関する規定がある。規格として、日本では JIS R 3211、欧州では ECE-R43、米国では ANSI Z 26.1 がある。これらの中に、安全性を有するガラス（通常、安全ガラスと呼ばれている）として、主なものに合わせガラスと強化ガラスとがある。

合わせガラスは、主として、前面ガラス（以後ウインドシールドと記す）に使われ、2枚の

フロント板ガラスを PVB（ポリ・ビニル・ブチラール）製中間膜で接着したもので、次の特徴を持つ。

- a) 破損時の破片が比較的大きいこと
- b) 破片の大部分が中間膜で接着された状態で破片の飛散がないこと
- c) 中間膜の強度により加撃物が貫通しないこと

これらの a), b), c) の特徴より、次の安全性が確保される。

- a) ウインドシールドが破損しても、ドライバーの視界が確保でき、事故時などのウインドシールド破損時に運転操作を続行し得る。(写真1)
- b) 乗員が破損したガラスの破片でけがをすることを防ぐ。
- c) 乗員がウインドシールドやドアガラスから車外に放出されることを防ぐ。また、車外からの衝撃物の車内侵入を防ぐ。(写真2)

強化ガラスは、ウインドシールド以外に使われており、650℃程度に加熱されたガラスを空気で急冷して製造され、次の特徴を持つ。

- a) 強化ガラスの表面（ガラスの板厚方向の両面部分）には圧縮応力が存在し、通常のガラスに比べ3~5倍の曲げ強度及び衝



写真1 合わせガラス破損時の視界
(破損時も視界良好)



写真3 強化ガラスの破砕

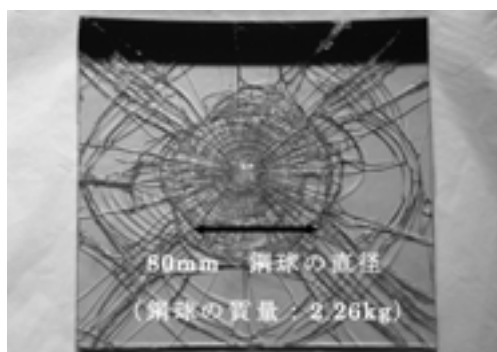


写真2 合わせガラスの耐貫通試験
(合格：鋼球貫通せず—鋼球取外し後)

撃強度を持ち、ある程度の外力が加わっても破損しにくい。

- b) 強化ガラスの内部（ガラスの板厚方向の中心部分）には、引張応力が存在し、ガラスが破損したとき、破片が小さくなり、かつ鋭利な部分がなくなる。これより、破片による乗員のけがが著しく減少する。
(写真3)

このような自動車用安全ガラスとしての合わせガラス、強化ガラスの基本的性状は主に「事故発生時の安全性」を高めるものである。なお、「割れにくい」性状も付与されている。規格としては、合わせガラスの耐衝撃性、耐貫通性、強化ガラスの破砕試験、耐衝撃性などであ

る。また、合わせガラス、強化ガラスは自動車用として、窓ガラスを通しての基本的な「視認性を確保する」ために、可視光線透過率、色の識別、透視歪、二重像などが規格に規定されている。可視光線透過率は、日本ではウインドシールド、フロントドアガラスでは70%以上と規定されている。色については窓ガラスを通して赤、青、黄等の色が識別できることが必要である。自動車用窓ガラスは、三次元の曲げ形状であるが、設計曲げ形状、自動車への取付角度などの設計仕様、及び、ガラス成形精度に起因する透視歪や二重像の許容限度も視界に悪影響を与えることのないように規定されている。

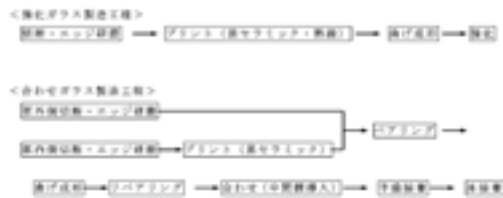
さて、それでは、以上述べた合わせガラスや強化ガラスが工業上どのように製造されるかについて簡単に紹介する。

自動車用窓ガラスは、自動車の車種、部位によりすべてサイズ、曲げ形状が異なるため、まず、一品一葉に、曲がった後に所定の形状となる形に平板の状態に切断される。この切断は超硬ホイールカッターにて切りスジを入れた後に、物理的または熱的に折り割る工程でなされる。なお、切断されたガラスの周辺エッジはその後の研磨工程で糸面取りされる。このように、切断、糸面取りされた後に、周辺部の黒色セラミックスやバックウインドウ防曇用熱線などがスクリーン印刷される。以上の前処理工程

(切断・エッジ研磨・印刷)が終わった後に、いよいよ成形工程となる。

強化ガラスは一般に成形強化炉において加熱成形し、その直後に風冷強化して製品となる。

合わせガラスについては、一般に2枚のガラスを同時に成形し、その後に2枚のガラスの間にPVB中間膜を挿入し、予備接着、本接着の工程を経て製品となる。予備接着は2枚のガラスと中間膜の間の空気を抜き、本接着はオートクレーブにて加圧、加温処理でなされる。



3. 安全性をより高めるための各種機能について

以上自動車用ガラスのベーシックな安全性要件について述べたが、この章では事故を未然に防ぐ予防安全に大きく寄与しうる機能を付与した自動車用ガラスを紹介する。

3.1 降雨時の視認性向上

降雨時の視認性向上として、撥水・滑水ウインドウと親水ドアミラーを紹介する。

1) 撥水・滑水ウインドウ

これまでに実用化されている自動車用撥水ガラスでは、撥水剤成分にフッ素系撥水剤(主に、直鎖フルオロアルキルトリメトキシシラン)が用いられている。最近では、雨天時の水滴滑落性をさらに改善しようと「高滑水性」をキーワードとした開発が活発化している。

写真4に、雨天時の実車走行試験の様子を示す。ウインドウの左半部は高滑水性ガラス、右半部は標準撥水ガラス(フッ素系撥水剤)である。このように、高滑水性ガラスでは、ウインドウ表面に残存する水滴がより小さく、数も少ないことが分かる。すなわち、雨天時の前方



写真4 雨天時の実車走行実験の様子

視界がよりクリアに確保され、ドライビングの安全性が向上している。

高い水滴滑落性を示す材料としては、古くからポリジメチルシリコーンが知られており、市販撥水剤にも多く使われている。しかし、ポリジメチルシリコーン自体はガラス基板との反応性がなく、物理吸着によってガラス表面に付着しているに過ぎず、実用上の耐久寿命は1~2ヵ月と非常に短い。そこで、水滴滑落性と耐久性を両立させるための試みとして、ゾルゲル法によりシリカマトリックス中にポリジメチルシリコーン成分を固定化した滑水性ハイブリッド膜をガラス表面に形成した。この方法では、多くのシリコーン成分をより強固にガラス表面に固定化できるため、高い耐久性が期待できる。この場合、ポリジメチルシリコーンの両末端基をX基に変性したシリコーン組成物を用いることが重要であり、シリカゾルと変性シリコーン組成物から優れた水滴滑落性をもつ高滑水性ハイブリッド膜が得られる。変性のタイプには、シリカゾル中のシラノール基(Si-OH)と反応性が高いものが望ましく、OH基やアルコキシ基などが有効である。図1に示すように、両末端基を3個のアルコキシ基に変性したものでは、ハイブリッド膜の耐久性が大幅に改善することが分かった。すなわち、ポリジメチルシリコーンの両末端をより反応性の高い状

態に変性する（反応性基の数を増やす）ことにより、シリコン成分はシリカとより結合しやすくなり、マトリックスに強固に固定化されるものと考えられる。

注：転落角…一定量の小さな水滴を滴下したガラスを水平な状態から徐々に起こしていく時に、水滴が移動しはじめる角度。転落角が小さいほど高滑水性を示すことになる。

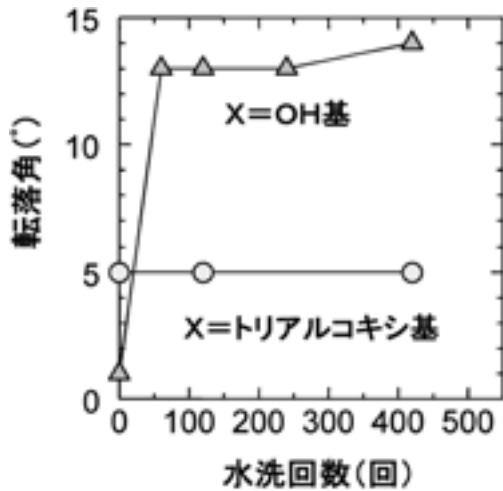


図1 水洗試験での転落角の変化
(転落角の定義は注に示す)

2) 親水ドアミラー

親水ドアミラーは、雨天時の側方、後方の視界確保のために開発されたもので、前述の撥水・滑水ドアガラスとセットで使用されることがより有効である。写真5(b)にその性能を示す。従来のドアミラーは写真5(a)のように、雨天時にミラー表面は水滴だらけで後方の様子をはっきりと確認できないが、新しい親水ドアミラーは、雨天走行時でも非常に優れた視認性を確保できる。

新しいドアミラーの基材は、クロムの反射層を裏側に持つガラスで、その上に、ベース層と親水層（光触媒層）が設けてある（図2）。

ベース層はシリカで、ガラスをミラー形状に曲げ加工する際に、ガラス中のナトリウムの拡散から親水層の光触媒機能を守るために設けてある。親水層はチタニアとシリカの混合であ

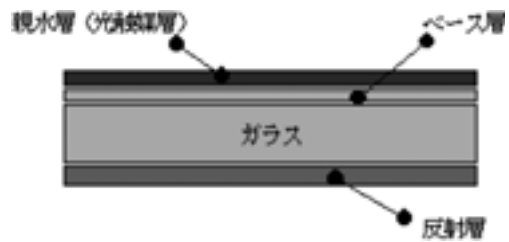


図2 ガラスの上にベース層と親水層（光触媒層）を設けたドアミラーの構造



(a) 従来タイプのドアミラー



(b) 光触媒をコーティングしたタイプ

写真5 雨の日のドアミラー

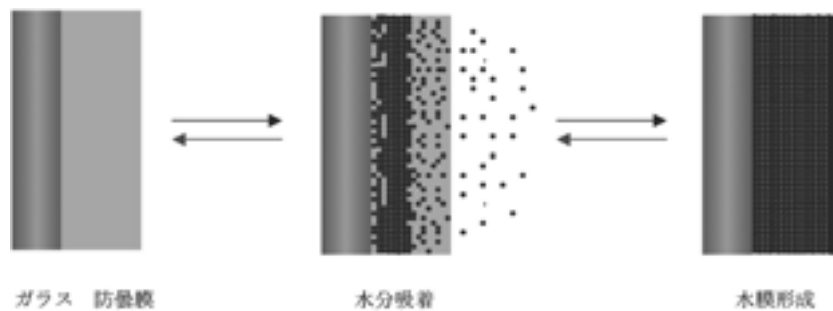


図3 吸水能と親水能をもつ機能膜の防曇メカニズム

り、親水層のシリカはシリカゾルとコロイダルシリカの2種類からなっている。

ベース層、親水層ともゾルゲル法によって形成されているが、各原料は膜にする際に温度や湿度など環境の影響を受けやすいため、狙った性能や透明性を得るためには環境の制御及び塗布条件の厳密な管理が必要である。

親水ドアミラーに要求される重要な点は、

- ① 光（太陽光）が当たらない時でも長時間親水性を維持すること
- ② 一般的に過酷な環境下で使用される自動車としての長期間の耐久性を確保することの2点である。特に、膜の機械的強度や化学的耐久性は通常ガラス並みの性能が必要である。

新しい親水機能を持ったドアミラーは1998年頃から実用化されて脚光を浴びた。それ以降、自動車メーカーでは、セーフティドライブの重要なアイテムとして採用車種を増大させている。

3.2 防曇性能付与による視認性向上

次に、防曇性能付与に付いて述べる。従来から防曇仕様として、ウインドシールド合わせ面に直径10~20 μm 程度の金属線を埋め込み通電する「ワイヤー防曇」、バックウインドウ車内面に銀ペーストをスクリーン印刷した後成形工程で焼成した導電線に通電する「熱線プリント防曇」などがあるが、ここでは、通電発熱させずに防曇性能が得られる新技術を紹介する。

<防曇ウインドウ：親水・吸水型新技術>

水分を多量に含んだ空気が冷たいガラスに触れるとガラス表面で非常に小さな水滴が無数に結露し、これが光を乱反射するために曇りが発生する。この現象は、浴室周りの鏡や雨天時の自動車ウインドウでしばしば見られ、クリアな視界確保を妨げることになる。このため、鏡製品や自動車ウインドウでは、ヒーター線によってガラス表面の温度を露点以上に上昇させて結露を防止する方法が用いられることがある。また、自動車ウインドウでは、エアコンを作動させて車室内の湿度を低下させるなどの対応をすることになる。

最近では、ガラス表面に防曇性をもつ機能膜を形成した防曇ガラスが開発され、既に、浴室周りの洗面化粧台用の鏡製品に実用化されている。これらの製品では、ポリエチレンオキサイドやポリオールとイソシアネートを共重合させたウレタン系有機膜（吸水能）と反応性界面活性剤（親水能）からなる防曇膜が用いられている。図3に示すように、親水能と吸水能を併せ持った膜は、加湿環境下に曝された場合、初期段階では水分を吸水し結露を防止して曇りを抑え、さらに多量の水分が膜表面を覆う場合には、親水能によって表面に均一な厚みの水膜が形成され防曇性が維持される。さらに、周囲の湿度変化によって水分の吸着と脱着が可逆的に起こるため、長期にわたって防曇性を維持することが可能である。



写真6 自動車ウインドウでの防曇性能

写真6に、自動車ウインドウの内面にこの防曇膜を処理したときの防曇性能を示す。左半部は通常ガラス、右半部は防曇ガラスである。このように、通常ガラスでは完全に曇って前方視界が確保できないような環境でも、防曇ガラスではクリアな視界が確保されドライバーの安全性を高めることができる。自動車ウインドウに実用化するには、膜強度、耐久性および成膜技術など、解決すべき課題が残されており、近い将来の実用化を目指して開発を進めている。

3.3 低反射ウインドシールドによる視認性向上

自動車のウインドシールドの取付角度は通常30°程度で、ダッシュボードなど車内の像がウインドシールドで反射されてドライバーの目に入ってくる光のウインドシールドへの入射角は60°程度かそれを超えてくる。可視光線の透過率と反射率の入射角依存性を図4に示すが、垂直入射では約8%である反射率は、入射角60°では15%程度まで増加する。最近の車では外観のデザイン性から取付角度がさらに小さな車が増加しており、その結果ダッシュボードや計器類が映りこみ、ドライバーの視認性を損なう問題が大きくクローズアップされてきた。また、反射が増大するとともに透過が減少するために、この視認性の低下の問題は更に深刻になる。このような問題を解決するために、ウインドシールドの反射を低減させる低反射ウインドシールドが用いられる。

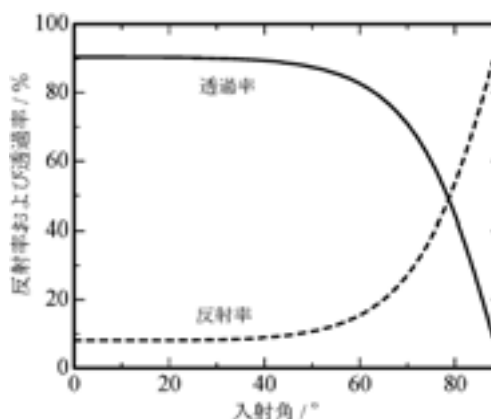


図4 反射率の入射角依存性

低反射ウインドシールドでは、車内面のガラスの表面に屈折率の異なる光学薄膜を積層し、薄膜による光の多重干渉を利用してガラス表面の反射を抑える。光の高透過タイプではSiO₂やTiO₂などの透明な酸化化物膜を用いた2層系および3層系が開発されている。

ウインドシールドを取り付けた角度で最大の反射低減効果が得られるように、膜の屈折率と膜厚を選ぶ。例えば、ガラス表面から屈折率が1.79で膜厚が95 nmのSiO₂-TiO₂混合膜を形成し、その上に屈折率が1.45で膜厚が120 nmのSiO₂膜を積層すれば、光の入射角60°において光の反射を大幅に抑えられる。低反射コートを施したウインドシールドの分光反射特性を未処理のものと比較して図5に示すが、反射を約5%軽減できる。この光の高透過タイプでは、可視光領域の短波長側と長波長側の反射率が若干高く紫色の反射色調を呈すが、ドライバーの視線方向の光の透過を増すことができる利点がある。

一方、低反射コートの一部に吸収膜を用いることで、2~3層という少ない層数でも無色に近い色調とすることができる。これは例えば、吸収膜に10 nm程度のTiO_xN_y膜を用い、その上にSiO₂膜を積層することを基本構成とする。未処理のガラスと比べて反射を約2/3に

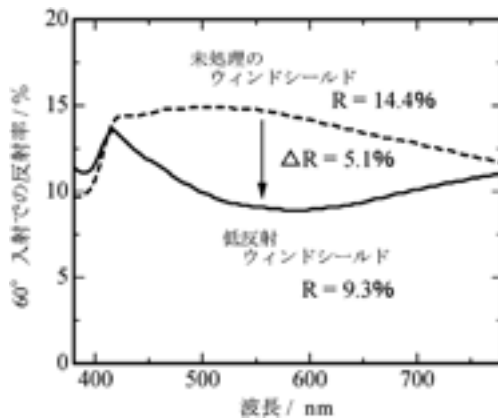


図5 低反射ウインドシールド反射率改善

抑えることができ、かつ可視光域全般（波長380～780 nm）にわたってフラットに近い特性を持ち、色味を感じさせない低反射ウインドシールドとなる。

これらの低反射コートは耐久性能面などの問題から、現状ではウインドシールドの車内面のみ形成される。車外面にも適用できる低反射コートが実現できれば低反射効果の倍増が期待でき、これらの開発が望まれる。

3.4 ヘッドアップディスプレイ (HUD)

次に、視認性の向上とは切り口が異なるが、安全運転に大きく寄与するウインドシールドへの表示システムとしてHUDについて紹介する。HUDは、運転視界内へ前景と重ねた表示が可能であり、その概略を図6に示す。ドライバーは、コンバイナーと呼ばれるーフミラーで反射された情報を、運転視界前方に虚像として認識する。HUDの特徴は、情報を得る際の視線移動量や焦点調整量が少ないことであり、メリットは、運転中に必要な情報を短時間で正確に得られることである。注意すべき点は、表示によりドライバーの運転負荷が増加しないようにすることであり、今後ますます増加する高齢者ドライバーへの配慮として、表示像の色や大きさなどの工夫や、「必要な情報を」「必要な時に」「必要な場所に」表示するなどのシステ

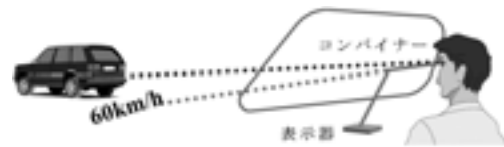


図6 HUDシステム

ム上の工夫も重要である。

実商業生産車初のHUDは、1988年に搭載され、車速が表示された。最近では、夜間運転視界の補助システムとして、赤外線を利用して暗闇の状況を映像化するナイトビジョンで利用された。最新のナイトビジョンは、人の存在とその距離を認識してドライバーに警告することができる。

HUDが情報を運転視界内の前景と重ね有効に機能するには、コンバイナーとしてウインドシールドの一部を利用するのが良い。但し、この際二重像と呼ばれる表示品質上の問題（本来の表示像と少しズレて存在するゴースト像が見える状態）が知られている。二重像は、内部を透過し裏面で反射する像と、表面で反射する像とが別の方向からドライバーに届くことから生じる現象で、通常のガラスでは必ず生じる現象である。ここでは、二重像回避策として、3つの方法を紹介する。

- ① 増反射膜 HUD：コンバイナー表面に増反射膜をつけることで、表面反射を多くし、裏面反射分を少なくする（図7）。根本対策でないため、二重像は解消されない（写真7）。
- ② クサビ HUD：コンバイナーに厚み勾配をつけることで、裏面反射像を表面反射像に重ねる。厚みは、表示器に近い側から遠い側にかけて厚くなる（図8）。表面反射像と裏面反射像が重なるため、表示像は二重像とならない。
- ③ 位相差板 HUD：s偏向の光をプリュースター角と呼ばれる角度（約56°）でコンバイナーに入射し、一部を反射し、裏面に

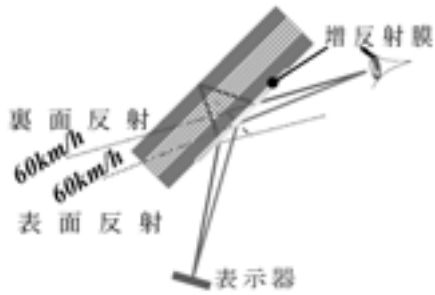


図7 HUDレイアウト (増反射膜 HUD)

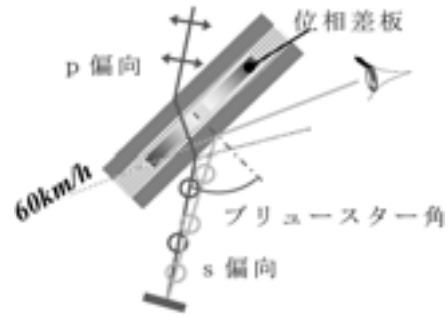


図9 HUDレイアウト (位相差板 HUD)

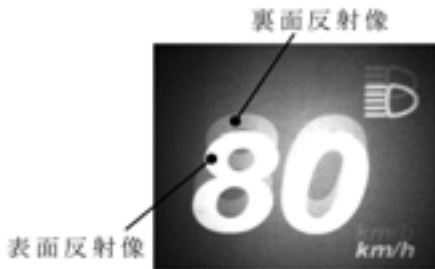


写真7 表示像 (増反射膜 HUD)

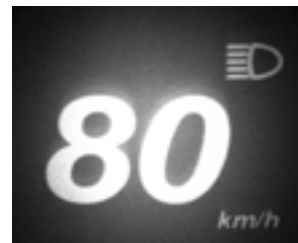


写真8 表示像 (位相差板 HUD)

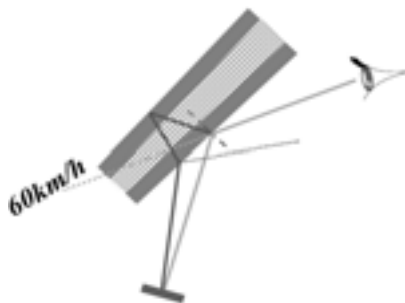


図8 HUDレイアウト (クサビ HUD)

届く光は位相差板でp偏向（プリユースター角では反射率がゼロ）に旋光すること

で裏面反射光を解消する（図9）。二重像は誤認の恐れがない程度までよく抑制されている（写真8）。

4. おわりに

自動車用ガラスに要求される第一の要件は、乗員の安全を守ることであり、その機能を有する商品及び技術を紹介した。今後とも Advanced Safety Vehicle の重要な構成要素として Active Safety に寄与する自動車用ガラスの新技术、新商品に期待したい。