

調光ガラスWONDERLITE®
特殊コーティングを組み合わせた自動車用大型調光ガラスが、
自動車の快適性向上と省エネに貢献

**Development of the large size Smart window, “WONDERLITE™” :
 contributing comfort and efficiency with combining AGC’ s special
 coating technology for automotive glazing**

正木裕二*・猪熊久夫**・宮坂誠一**・青木時彦**・濱野直***

Yuji Masaki, Hisao Inokuma, Seiichi Miyasaka, Tokihiko Aoki and Tadashi Hamano

AGC旭硝子の調光ガラスWONDERLITE®が、新型欧州高級車のルーフガラスにオプション装備に採用された。本製品は、幅1.2m、縦1.3mと、調光ガラスとして世界最大サイズの面積があり、圧倒的な解放感を提供することができると同時に、調光機能によりプライバシー性も十分である。さらに、太陽光を制御する特殊コーティング技術の採用により車内の快適性が大きく向上している。

調光ガラスとは、透明状態と着色状態を任意にコントロールすることが出来るガラスである。自動車用ガラスとして搭載するためには、コントラスト・応答性・曲面追従性・耐久性等多くの要求事項を満たす必要がある。今回我々は、多くの調光技術の中からSPD (Suspended Particle Device) を選定し、さらに当社が保有する様々な技術と組み合わせて、自動車用ガラスとしての合せガラス構造を徹底的に改良していくことで、自動車ガラスとしての特性、さらには自動車メーカーの要求を満足するに至り、WONDERLITE®として量産化した。

WONDERLITEはお客様に驚き・嬉しさを与える商品として、他車種への展開のみならず、鉄道用ガラスとしても紹介が開始されている。今後様々な分野において、安全で快適なMobilityを支える製品として採用拡大が期待される。

Light control glazing “WONDERLITE™” developed by AGC has been adopted as a glass roof option of new European luxury car. The dimensions of this product are 1.2m in width x 1.3m in length, that is three times larger light controlling area compared to conventional smart glazing and it is the largest light controlling automotive roof in the world. It provides both explosive exhilaration and complete privacy by its light control function, and enhances cabin comfort thanks to the special sun light transmission control coating.

The light control glazing offers an arbitrarily-switching function between transparent and opaque state. To apply it for an automotive, several features such as contrast, switching speed, applicability to curved surface and durability are required. Among existing technologies, AGC has selected SPD (Suspended Particle Device) as the most promising technology. Furthermore, combining with AGC’ s various technologies, such as coating technology, the configuration has thoroughly improved to meet not only the requirements for general automotive use but also an automotive manufacturer’ s specification.

As a product that can bring a sense of wonder and impressive experience to passengers, AGC has started introducing WONDERLITE to not only automotive application but also train glazing. It will be a promising product to achieve a safe and comfortable mobility society.

*AGC Automotive Europe S.A.

**ガラスカンパニー 技術本部 日本・アジア技術開発部

***ガラスカンパニー 技術本部 グローバルオートモーティブ技術グループ

1. 緒言

自動車は、現代社会の移動手段に必要な不可欠な製品として、今後も発展し続けていくことが見込まれ、世界の自動車市場は、2020年には1億台を超えるとの各種予測もある。

こうした状況下で、自動車産業には各国法規や各地の事情に合わせて、環境技術・安全技術・通信技術・快適技術・低コスト化の実現が求められており、自動車メーカーと部品メーカーが一体となって、様々な技術革新や高機能化が取り組まれている。

代表的な自動車用部品であるガラスは、光を透過する透明性と太陽光線・雨風に対する高い耐久性を持つ開口部材として、人々の安全・安心な生活を支えている素材である。さらに快適な生活・空間領域を提供する製品としての期待も大きく、特に自動車用として、ガラスを通して透過する不要な光・音・熱の低減、軽量化、安全性・快適性の向上、情報化対応など様々な機能が求められている。

本稿では、自動車の快適性向上と省エネに貢献する調光ガラスWONDERLITE[®]について、いくつかの例を交えて紹介する。初めに自動車用ガラスと各種高機能ガラスに関して説明し、続いて自動車用調光ガラスについて解説する。

2. 自動車用ガラス

自動車用ガラスは、例えば運転席前面のフロントガラスを英語でWindshieldと呼ぶように、自動車産業黎明期から運転時の風防・安全視界を確保する重要な役割を果たしており、目的と使用部位に応じて、合せガラスと強化ガラスが使用されている。

合せガラスとは、2枚のガラスの間に中間膜を挟み、圧着したものである。中間膜には、ポリ・ビニル・ブチラール (PVB) が用いられ、衝突時のガラスの飛散や路面の石などがガラスを貫通することを防いでいる。このタイプは、主にフロントガラスで用いられている。

これに対しサイド・リア・ルーフなどのガラスには、強化ガラスが主に使われている。強化ガラスは1枚のガラスから成り、ガラスを700℃近くまで加熱して急冷することにより、ガラス表面に圧縮応力を発生させ、ガラスの強度を高めて割れにくくしたものである。また、万が一割れた場合でも、破片が小さな粒状になり、乗員に刺さり難いという特徴を有する安全ガラスである。

加えて通常の合せガラス・強化ガラスに光・熱・音を制御する機能を付加することで、視界確保・快適性を高めた高機能ガラスが数多く商品化されている。例えば安全性を向上させる高機能ガラスとして、撥水ガラスが商品化されている。雨天時にガラスに付着する水滴を半球状にはじき、その水滴が走行中の風で容易に後方に飛ぶことで、ドアガラス越しのドアミラーや側面の視認性を向上させるガラスである。

乗員の快適性を向上させるため、肌に有害な紫外線を約99%カットし、同時にじりじり感を感じさせる赤外線透過も低減するガラスも実現されている⁽¹⁾⁽²⁾。合せガラスの場合には、ガラスと中間膜の双方に紫外線吸収剤および赤外線吸収剤を練りこんだ製品が実用化されている。一方、強化ガラスでは、紫外線を約90%カットするガラスを使用し、その車内面側に、高耐摩耗性を有する紫外線吸収剤と赤外線吸収剤を含むコーティングを施したガラスが開発されており、AGC旭硝子が世界初『UV ベールPremium Cool on[®]』として2012年から発売を開始している。この商品はお客様に大変高い評価を得ており、日本国内では29車種(2015年2月現在; AGC旭硝子調べ)に採用されている。

合せガラスの中間膜を改良し、遮音性を高めたガラスも開発されている。前述の通り省エネ・環境対策として、ガラスも軽量化が求められているが、ガラスの厚みが薄くなる際のデメリットである遮音性の低下を改良する製品として、フロントガラスへの採用が広がっている。

最後に本稿で紹介する可視光線透過率を制御するガラスである調光ガラスがある。AGCが開発した、自動車用調光ガラスWONDERLITE[®]は、透明と着色状態を自在に切り替えることができる調光機能により、透明時には開放感が得られ、着色時にはプライバシー性を確保し、かつ特殊コーティングなどにより太陽光の熱・紫外線を常に防ぐことができるものである。

3. 自動車用調光ガラス

調光ガラスとは、透明状態と着色状態を任意にコントロールできるガラスである。調光機能を発現する材料を、合せガラス内に封入したものであり、当該活性材料に対する電気的な切り替え機能を備えている。一般的に調光ガラスを自動車用ガラスに展開する場合には、以下に示すような要求事項や制約が存在する。

○コントラスト比とプライバシー性

透明/着色状態の透過率の差が大きく、かつプライバシー性の観点から着色状態では可視光線透過率が低いことが好まれる。また快適性の観点から、着色状態において日差しを遮ることを目的として、黒色や青色と言った暗い色調が好まれることが多い。

○応答性

透明/着色状態の切り替えが素早く行われることが望ましい。また0℃以下の低温域から数十℃の高温域にわたるまで同じような速度で動作することが要求されている。

○曲面追従性

例えば、単曲曲げ(ドアガラスの上下方向の曲げ形状)のみならず、複曲曲げ(ドアガラスの上下方向

と前後方向の双方向の曲げ形状)にも対応できる必要がある。必要とされる曲率は数千R程度である。

○耐久性

屋外で太陽光や風雨に直接曝されるため、高い耐熱性、長期耐久性を持つ必要がある。

調光ガラスの技術方式にはいくつか種類があり、以前から自動車用ガラスへの適用が検討されてきた。中でもECW (Electro Chromic Window)、LCW (Liquid Crystal Window)、SPD (Suspended Particle Device) の3つが比較的良く知られた技術である。ただし前述の通り自動車ガラスへの適応には様々なハードルがあり、未だ幅広く搭載されている製品であるとは言い難い。しかし、今回AGC旭硝子が発売を開始したWONDERLITE[®]では、それらの様々なハードルが解決されている。まず、各技術の概要と代表的な特性、そして自動車ガラスへの応用の観点から見た優劣について述べる。

ECWは、酸化タングステン等の化学物質に透明導電膜を通して電荷を付加し、酸化還元反応による当該物質の光物性の可逆的变化を利用するものである。2つの透明導電膜間にElectro Chromic (EC) 材料と電解質層、イオンストレージ層を備え、EC材料がイオンの享受を行うことで調光される。調光に用いるイオン種としては、水素イオン (H⁺) に加えて、Liイオン (Li⁺) やナトリウムイオン (Na⁺) 等が挙げられる。以下に反応式を示す。

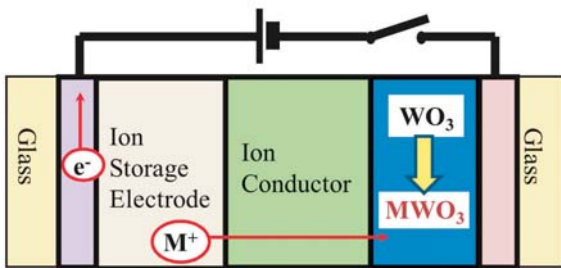
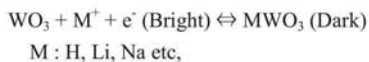


Fig.1 Function of ECW (Bright→Dark)

ECWは印加電圧が比較的低く、可視光線透過率コントラスト比も高いが、応答速度が遅いことが欠点として挙げられる。またECWは『液体』の電解質を2枚のリジッドなガラス基板の間に挟み込む構造が一般的であり、複雑曲面形状への追従性が課題とされている。2005年にFerrari社より発表されたスポーツカー“SUPERAMERICA”のルーフガラスに搭載された事例があるが、この時には電解質を『固体型』とすることで曲面形状への対応が図られた⁽³⁾⁽⁴⁾。

LCW (又はPDLC: Polymer Dispersed Liquid Crystal) は、2枚の透明電極膜の間に、光学異性を示す液晶粒子を分散させたマトリックスポリマーを備え、電圧を印加することで透明/不透明状態を切り

替えることができる。電圧が印加されていない状態では液晶粒子が入射した光を散乱させることにより、乳白色の外観を呈す。一方電圧が印加された状態では、電界方向に平行となるように液晶粒子が整列し、透明に近い状態となる。

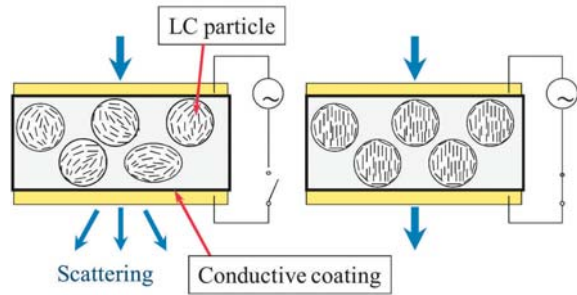


Fig.2 Function of LCW

LCWは数ミリ秒という高速応答性を持つ。一般的に2枚の導電膜付きPET (Polyethylene Terephthalate) フィルムで構成されるため、ガラス基板を用いるECWと比較して曲面対応も容易である。また数十Vという比較的低電圧での駆動も可能であることも特徴として挙げられる。一方、不透明状態では乳白色の光の散乱状態となるため、プライバシー性はあっても、日差しを遮るシェード性という点では十分ではなく、さらに高温で液晶分子が分解することが自動車用窓ガラスへの採用の障害となっている。2002年にDaimler社が発表した高級セダン“Maybach”に、本技術を用いた調光ガラスが内装パーテーションとして搭載された事例がある⁽⁵⁾。

最後にSPDは、LCWと同様に、2枚の透明導電膜がコーティングされたPETフィルムの中に、配向粒子を分散させた数十マイクロメートルの液滴を配置し、電圧を印加することで透明/着色状態を切り替える技術であり、米国: Research Frontier Incorporate Inc.が保有する技術である。SPDは、”光の透過/散乱のみをコントロールするLCWとは異なり、光の吸収状態をコントロールするため、シェード性に優れている。

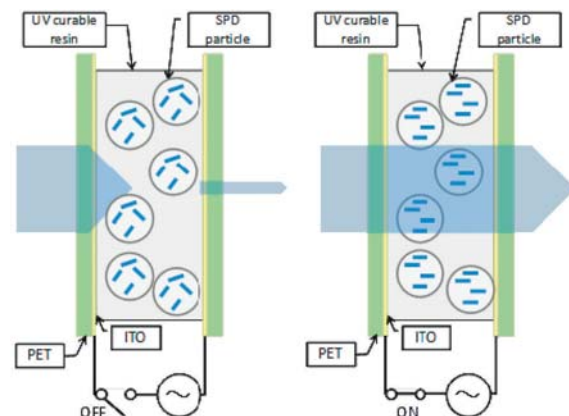


Fig.3 Function of SPD

具体的に電圧OFF状態では、ランダムに配列した

微細粒子に光が吸収・散乱されることで遮られて濃青色を呈し、プライバシー性と日差しを遮るシェード性の双方に優れた状態となる。電圧ON状態では、微細粒子が同じ向きに配向して光が透過する。ON⇔OFFの応答速度も常温で数秒以内と速い。

2枚のPETフィルムに紫外線で硬化させたポリマーが挟まれた構造は、他技術に比べて比較的取り扱いが容易であるが、耐久性を確保するためにはガラス構造側に様々な工夫が要求される。また100V以上の交流電源を必要とする点は、一般的に直流12Vバッテリーしか搭載していない車両側にDC-ACインバーターの搭載が必要となるが、一方で家庭用や鉄道車両用途まで用途を広げた場合には展開が容易であると言える。

自動車用ガラスを想定した場合に、各種技術の特徴を比較したのがTable 1である。一般的な調光ガラスの自動車用ガラスの搭載要件を調光素子単体で完全に満たす調光技術は存在しないが、我々は、現状ではSPDが最も望ましい特性を保有していると判断し、当社が保有する様々な技術と組み合わせて、自動車用ガラスとしての合せガラス構造を徹底的に改良していくことで課題解決に取り組み、今回WONDERLITE®として量産の開始を実現した。

今後もそれぞれの技術が持つ課題は解決され、更なる技術深化が続くとともに、調光ガラス市場も拡大するもの⁽⁶⁾と思われる。

Table 1 Comparison table of smart window

Item	ECW	LCW	SPD
動作原理	酸化還元反応による電荷の移動	分極分子の配向	微粒子の分極配向
電源仕様	1~3 VDC	数十~100VAC	100VAC 以上
透過率範囲	0.5~80(%)	0.5~70(%)	1~50(%)
可視光線透過率 コントラスト比 Bright:Dark	10 以上	10 程度 (透明/着色時の Haze 比)	10 以上
色調	透明⇔青色	透明⇔乳白色	透明⇔濃青色
応答速度	数分以上	10(mS)	1~20(S)
複曲面形状 対応	×~△	△	△~○
主な 上市実績	ビル・住宅用 窓ガラス	室内パーテー ション等	ビル、住宅、 自動車

4. WONDERLITE®の構造及び性能

2014年7月よりDaimler社Mercedes Benz S-Class Coupeサンルーフ向け、2015年2月からは同じくDaimler社Mercedes-Maybach S-Class サンルーフ向けSPD調光ガラスWONDERLITE®の生産を開始した。



Fig.4 Interior of Mercedes-Maybach S-Class

注)Daimler社での調光ガラスの商品名は、MAGIC SKY CONTROL

S-Class Coupeのルーフサイズに合わせた調光ガラスは、幅約1.2m、縦約1.3mと世界最大サイズであり、開口部面積も世界最大のものである。また、本ガラスを商品化及びDaimler社の要求を満足するにあたり様々な新技術の開発も同時になされた。主な技術を次に列挙する。

- 高性能赤外線 (IR) カットコーティングの自動車用ガラスへの適用
- IRカットコーティングガラスの成形技術
- SPDフィルム封入技術
- シミュレーション技術
- 400nm紫外線カット中間膜

これらの新技術開発の成果により、耐久性に優れ、かつサンルーフとして必要な強度を持つ自動車用調光ガラスの開発に成功した。Fig.5にS-Class CoupeのWONDERLITE®ルーフガラスの構成図を示す。

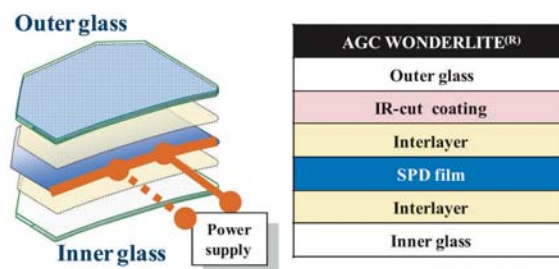


Fig.5 Structure of WONDERLITE®

Table 2にWONDERLITE®の性能を示す。最外面のガラスに高性能IRカットコーティングを施すことにより高い遮熱性能を達成することが可能となった。本コーティング膜はSPDフィルムの劣化を防ぐだけでなく、夏場の車内温度の上昇にも効果があることがDaimler社により確認されており、乗員に、より快適な車内空間を提供できる。また、エアコン負荷低減や燃費向上などの省エネにも大きく貢献できる。電圧ON時には、約35%の可視光透過率を有し、十分な解

放感が提供可能であり、かつ電圧OFF時には可視光線透過率は1%以下となり十分なプライバシー性を有する。



Fig.6 WONDERLITE® (Inside)

SPDフィルムの性質上、応答速度に温度依存性があり、低温になるに従ってその速度が遅くなるという懸念もあるが、-20℃から80℃という広い環境温度下で実用上問題なく機能する。

5. まとめ

こうして量産が開始された自動車用調光ガラス WONDERLITE®は、多くのお客様に驚き・嬉しさを与える商品として、さらに他車種への採用拡大が期待されている。

また、自動車用ガラスだけではなく、鉄道用ガラスにも紹介を開始し、薄くて強い化学強化ガラスと組み合わせて、JR九州の路線を試験走行している鉄道・運輸機構のフリーゲージトレイン（軌間可変電車）新試験車両に搭載され、評価が開始されている。

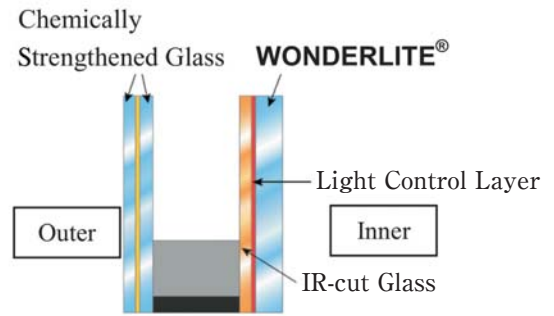


Fig.7 WONDERLITE® for Train application

今後も、AGC旭硝子は、我々の持つ素材・技術の多様性を活かして、安全で快適なMobilityを支える高付加価値製品の開発・提供を推進していきたいと考えている。

—参考文献—

- (1) 眞崎宏明, 小平広和, 旭硝子研究報告, 61, p.3-9, (2011)
- (2) 猪熊久夫, 濱野直, 旭硝子研究報告, 63, p.23-27, (2013)
- (3) 岡本宏考, NEW GLASS Serial 79, Vol.20, No.4 (2005) “自動車用EC調光ガラスの紹介&適用”p.31
- (4) 日経産業新聞, 2005年12月5日号, p.23
- (5) 森谷朋博, NEW GLASS Serial 91, Vol.23, No.4 (2008) “瞬間調光ガラス「ウム」の技術と用途” p.20-21
- (6) NanoMarkets, LC, “Smart Windows Markets 2012” (Mar. 2012), p.90-102

Table 2 Performance of WONDERLITE®

Requirements	AGC Specifications	
Operating Temperature	-20°C to 80°C	
Power Consumption	1.2 - 1.4 W/m ² (@100V/50Hz)	
Voltage and Frequency	AC 110V / 100Hz	
Transmittance (Clear-mode)	TL > 30%	
Transmittance (Dark-mode)	TL ≤ 1% (@120v - RT)	
Switching Speed	Clear (TL>28%) => Dark (TL<4%)	Dark (TL<4% => Clear (TL>28%)
-20°C	< 1000 s	< 100 s
20°C	< 10 s	< 5 s
80°C	< 5 s	< 2 s
Energy Transmittance (ISO 9050)	Dark (OFF) < 5%	Clear (ON) < 25%
Energy Reflectance (ISO 9050)	> 45 %	
Haze (ISO 14782)	Dark < 50%	Clear < 6%
Tts	Dark = 17%	Clear = 28%