

自動車ガラスカンパニーの技術展望

Technical Perspectives of AGC Automotive Glass Company

大庭 和哉

Kazuya Ohba

自動車ガラスカンパニー 日本・アジア本部 技術開発部長

General Manager of Japan/Asia Pacific Technology Development Div., AGC Automotive



1770年に初めてエンジンの力で地球上を走行した蒸気自動車が登場して以来、ガラスは1900年代初期の車から車の安全にかかわる部品の一つとして使用され始めた。その後自動車用ガラスは、車のエンジン・駆動系部品の技術開発が進みスピードが上がるにつれて、運転者が正面から受ける風を防ぎ、かつ透明性があり視界を遮らない“視界確保”だけでなく、事故発生時の“乗員・歩行者保護”として安全性を持たせることが求められ、これがその後の様々な技術発展にもつながった。

旭硝子は、1950年代より本格的に自動車用ガラスの生産を開始したが、2002年にはグローバル一体運営を目指すグループ・ビジョン“**Look Beyond**”を踏まえ、日ア（日本アジア）・米・欧の事業を統合し、日本国内の自動車メーカーのみならず世界中の自動車メーカーへも、OEM用（量産車用）としてグローバルNo. 1シェアの量的規模で自動車用安全ガラスを納入している。今後も我々は、様々なお客様からの要請及び社会環境の変化に対応すべく、開口部材メーカーとして、『デザイン』・『安全性』・『快適性』・『環境』をキーワードとして素材を限定することなく総合的な技術開発に取り組み、お客様に価値を提供し続けてゆきたいと考えている。

ここでは、大きく『合せガラス』と『強化ガラス』の2つに大別される自動車用安全ガラスの、『車のデザイン変化に応じた“ガラスの成形技術”』・『開口部材として必要とされる“自動車用ガラスの高機能化”』について、これまでの商品を振り返りながら自動車用ガラスの技術展望について説明する。

Since steam automobiles emerged in 1770 for the first time as engine-driven vehicles, glass started to be used as safety related automotive parts in early 1990s. Subsequently, as the speed of technical development of automotive engines and driving devices increased, automotive glasses were expected not only to have transparency to secure the view and protection of drivers against wind they face, but also to protect the drivers or pedestrians in case of accidents, which, as a result, lead to various technical developments.

Asahi Glass Co., Ltd. started to manufacturing automotive glass in full swing in the 1950s, and in 2002, based on the concept of “**Look Beyond**” which aims at achieving uniform global management, operations of Japan / Asia, the US, and Europe were unified providing automotive safety glasses under quantitative scale of No. 1 market share in the world not only to domestic car makers, but also to global car makers as the OEM glasses (glasses for mass production vehicles). From now on, our company as an automotive glass supplier will continue to provide high valued automotive glass in

order to meet the diversified requests from our customers and will respond to the changes in the social environment by dealing with technical development comprehensively without limiting to raw materials and by having keywords of “design”, “safety”, “amenity”, and “environment.”

Reflecting to the conventional products, technical perspective of automotive glasses will be explained about “glass molding technology to deal with the changes in automotive design” and “enhanced functionality of automotive glass required for aperture parts” of automotive safety glass mainly classified to “laminated glasses” and “reinforced glasses”.

1. はじめに

地球上をエンジンの力で走行したものは、蒸気船でもなければ、蒸気機関車でもなく、1770年にフランスのキューニョー（Nicolas Joseph Cugnot；1725-1804）が完成させた『ファルディエ』という蒸気自動車である。その車は、車の基本性能である『走る・曲がる・止まる』のうち、『走る』を前方に取り付けた蒸気機関と車輪につながる駆動系で実現していたが、『曲がる・止まる』に相当するステアリングシステム・ブレーキシステムが十分確立されておらず、世界初の交通事故を起こしたと伝えられている。

ガラスは、世界最初の車に搭載されることはなかったが、1900年代初期の車の黎明期から車の安全にかかわる部品のひとつとして使用され始めた。フロントガラスは、車が走り始めた当初は装着されておらず、運転手が風防めがねを使用したりして運転したと言われている。しかしガラスは、エンジン・駆動系部品の技術開発が進み車の性能が向上し、スピードが上がるにつれて、運転者が正面からまともに受ける風をさえぎり、かつ透明性があり視界を遮らない“安全部品”として使用されるようになった。このような歴史的な流れから、現在でも英語でフロントガラスのことをWindshield（風防）と呼んでいる。しかし単なる板ガラスでは、例えば事故が発生した場合、乗員・歩行者がガラスにぶつかった際に破損したガラスで傷つけられてしまうことが問題となった。そこで自動車用ガラスは、“視界確保”だけでなく事故発生時の“乗員・歩行者保護”の観点からもガラス自体に安全性を持たせることが求められ、これがその後の発展にもつながった⁽¹⁾。

旭硝子では、1950年代より本格的に自動車用ガラスの生産を開始したが、2002年にはグローバル一体運営を目指すグループ・ビジョン“**Look Beyond**”を踏まえ、日ア（日本アジア）・米・欧の事業を統合し、日本国内の自動車メーカーのみならず世界中の自動車メーカーへもOEM用（量産車用）としてはグローバルNO. 1シェアの量的規模で自動車用安全ガラスを納入している。

2. 自動車用安全ガラスとは

現在使われている自動車用安全ガラスは、合せガラスと強化ガラスの2種類に大別できる。そもそも強化ガラス・合せガラスという加工ガラスが実際に利用されたのは、第一次世界大戦からと言われている。その当時は、毒ガスマスクの眼鏡部分に合せガラスが用いられ、その技術が自動車用安全ガラスとしてアメリカで工業的に利用されるようになった。一方強化ガラスは欧州で積極的な技術開発が進められ、1930年代にはほぼ技術的に完成し、自動車用ガラスとして利用されるようになった。

合せガラスとは、2枚のガラスの間にポリビニルブチラール（Polyvinyl-butyril：以下PVB）製のプラスチック中間膜を挟み込んだ3層からなる安全ガラスであり、主にフロントガラスに用いられている（ドアガラス・リヤガラス・ルーフガラスに使用されている車もある）（Fig. 1）。強化ガラスは、単板ガラスからなり、ガラスを数百℃に熱した後に急速冷却してガラスの中心部分と表面部に温度差を発生させ、ガラスに残留する応力をコントロールしてガラス表面強度を高めたものであり、主にドアガラスやリヤガラスなどに用いられている。

初期の合せガラスの技術開発は、このプラスチック中間膜の開発でもあった。最初の合せガラス用中間膜には、セルロイドが使用されていたが、接着力が低く、光による黄変劣化が激しくとても車に搭載できる代物では無かった。しかし、1927年に硝酸セルロースが中間膜として使用されたフロントガラスが登場すると、米国の多くの自動車メーカーがこれを採用した。さらに米国では、早くも1938年にフロントガラスを合せガラス化することが法制化され、同じころ硝酸セルロースよりも耐光性が改善されたPVBを合せガラスの中間膜として採用するようになった。しかしPVBを使用しても、紫外線劣化による剥離・白濁による不具合は依然として解決されていなかった。これらはようやく1980年代になり、ベンゾトリアゾール・ベンゾフェノンなどの分子軌道間遷移による紫外線吸収機能を有する物質をPVBに添加し、中間膜自体の紫外線劣化を防ぐことで解決された。この結果、合せガラスの透明性が損なわれることも無くなり、かつ副次的な効果として合せガ

ラスを透過して車内に流入する紫外線も遮断することが出来るようになった。現在、UV-Bと呼ばれる350nmよりも短い波長の紫外線は、ほぼ100%カットされている。

こうして耐久性という課題も解決された合せガラスの新商品開発は、自動車用安全ガラスとして定められた基準、すなわち日本・米国・欧州などの安全基準となっている可視光線透過率・耐貫通性・耐衝撃性・耐熱性・耐候性・光学歪（二重像）などを満足する性能を確保することを必須条件とし、更には個別お客様から要求されるスペック・要件をクリアしながら進められている。



Fig. 1 自動車用合せガラス（破損時）

一方の強化ガラスは、ガラスを加熱炉において600℃以上に加熱し、直ちにガラス表面を急速冷却してガラス断面方向の中央部と表面部に温度差を発生させ、ガラス内部に残留する応力により、表面の破壊強度を通常ガラスの数倍に高めたものである。強化ガラスは、事故などの際に割れた場合でも細かい破片状に碎けて鋭い破片ができず、致命的な怪我を引き起こす可能性が低い安全ガラスとして使用されている（Fig. 2）。しかし強化ガラスが破損した場合、一瞬のうちに細かな亀裂が全面に発生して運転者の視界を奪う危険があるため、フロントガラスに使用することは適していない。欧州・日本・豪州な



Fig. 2 自動車用強化ガラス（破損時）

どでは、視界部分の破損時の破片を大きくしてガラス全体の強化を不均一にした部分強化ガラスがフロントガラスにも一時使用されていたが、日本でも1985年にフロントガラスの合せガラス化が法制化された。

自動車ガラスの技術開発は、車の技術革新の歩みと深い関係にあることは言うまでもない。次の章からは、自動車ガラスの技術開発を、

- ・ガラスの成形技術
- ・ガラスの高機能化

の2つの観点でこれまでの商品を振り返りながら今後の技術展望を述べることにする。なお、『ガラスの成形技術』では主に自動車ガラスの新成形技術開発を、『ガラスの高機能化』では主に自動車ガラスの新商品開発を説明する。

3. ガラスの成形技術

我々がイメージする車のデザインとは、どこで決まるのでしょうか。ボディーラインの一部であるガラスの形状も大きな要素を占めており、車のデザイン変化に応じたガラス成形技術の発展が強く求められてきた。

初期の自動車用ガラスは、平面形状しかなく、例えばフロントガラスのような曲面部に使用する場合にも、平板を中央部で2分割してつなぎ合せて対応していた。しかし第二次大戦後、自動車ガラスにも曲面形状が求められるようになり、第2章で述べた合せガラス・強化ガラスの成形技術開発も大きな発展をしてきた。

フロントガラスの成形技術に対して、最新の車のデザインに合致させるため次の要求が有ると考えている。それは、

- ・ガラスの縦・横方向への深曲げ形状
- ・ルーフガラスと一体化した形状
- ・Aピラー付近を深く曲げたパノラミック形状である。

第一の『ガラスの縦・横方向への深曲げ形状』は、従来からの3次元形状実現の延長であり、より深い曲がり・ダブリを持った合せガラスの実現が要求されているが、一方でフロントガラスが大きく曲がっていること自体が主要因となる透視歪の悪化、ワイパー払拭性の低下などと両立させることも重要である。そのために我々は、ガラス成形炉の加熱条件・冷却条件・治工具などを継続的に技術開発するとともに、合せガラスの成形に関するシミュレーション技術の確立にも取り組んでいる。

第二の『ルーフガラスと一体化した形状』とは、特にサンルーフの搭載率が高いヨーロッパの自動車メーカーを中心に採用検討が広がっており、フロントガラスからサンルーフにかけてガラスを連続化し、これまでにない乗員の開放感とスタイリングを実現したものである。ここでも、単にフロントガラスの縦方向のサイズを大きくするだけではなく、複

雑な曲面を実現するような成形技術の確立が必要である。

最後の『Aピラー付近を深く曲げたパノラミック形状』は、開放感・車のデザイン性の向上だけでなく、より安全な運転視界確保という要請でもある。具体的には、交差点などで曲がる際にAピラー（＝運転者斜め前方）部分が視界低下の一因となるため、この位置をできるだけ後方に下げて運転時の視界確保を図るということであり、そのためにはフロントガラスのサイド方向がより深く曲がっている形状を実現することが必要である。

一方強化ガラスが採用されるドアガラス・リアガラスでは、フロントガラスと異なり透視歪等の法的規制が無いこともあり、日本でも1970年代にはリアガラスに“大型深曲げ形状”・“シャープベンド”や“卵形状”といったユニークなガラスが採用され一躍ガラスが脚光を浴びることとなった。最近ではエアロダイナミクス実現のために車の前後を絞ったボディ形状に沿ったドアガラスの3次元形状対応、リアガラスの“超卵形状”・“S字カーブ形状”・“Jベンド形状”など車のルーフライン・トランク・バックライトなどと一体化したガラス形状が求められ、合せガラスの成形技術開発と同様に、従来の強化ガラス成形技術を超えた加熱条件・冷却条件・治工具などを総合的に技術開発するとともに、強化ガラスの成形に関するシミュレーション技術の確立にも取り組んでいる。

4. 開口部材としてのガラスの高機能化

我々は、開口部材として必要とされる自動車用ガラスの高機能商品の開発に取り組んでいる。そこで、その開発の方向性を、ガラスを透過する『光の制御』、『電波の制御』と『音の制御』について説明する。『光の制御』の光は、紫外線・可視光線・赤外線について説明する。

4.1 光の制御

ガラスを透過する紫外線は、乗員の日焼け・内装材劣化の主因となり、我々の調査結果でも一般ユーザーが最もガラスにあったらよいと考える機能の一つは紫外線カットであった。紫外線とは太陽光の中の400nmより波長が短い電磁波で、地上に到達する太陽光の中に5～6%程度含まれている。波長の短いほうから順にUV-C、UV-B、UV-Aと称され、UV-Cは所謂殺菌紫外線であるが大気圏外のオゾン層により通常は地表までは届かない。UV-Bは一部が地上に届き、これを浴びるとサンバーンと呼ばれる赤くなる日焼けを起こし、UV-Aは大部分が地表に到達し皮膚にサントーンと呼ばれる褐色の日焼けを起こす。前述の通り合せガラスは、PVB中間膜に紫外線吸収剤が含まれ、UV-Bまでの紫外線をほぼ100%カットする効果を有する。強化ガラスでも、

1994年に旭硝子が開発した酸化チタン系紫外線吸収剤を車内面にコーティングした紫外線カットガラスが、初めて運転席側ドアガラスに採用された。翌年には、ガラス原料にチタン・鉄イオン等を含み、ガラスそのものが紫外線吸収機能を有する紫外線カットガラスを旭硝子他社に先駆け開発し、多くの自動車に採用され好評を博した。これらの紫外線カットガラスは、酸化膜の価電子帯から伝導帯に励起されるバンド間遷移を原理として紫外線吸収効果を発現させている。我々にとって紫外線カット技術開発は、化粧品に代表されるように日々技術革新が進んでいる分野であり、引き続き重要な開発テーマである。

次に可視光線の制御であるが、可視光線を自在に制御したいという要望は、自動車メーカー・一般ユーザーを問わず非常に高くガラスメーカーにとって永遠のテーマとも言える。これは、調光ガラスによって実現可能であり、すでに自動車用ガラスとして2002年から欧州で一部の車に採用されているが、信頼性の面で十分であるとは言い難い。我々も、ガラスメーカーとしてこれまで積み重ねてきた調光ガラス技術を活かすべく、将来の上市に向けた基礎技術開発に取り組んでいる。

最後は、赤外線の制御である。JISでは、2100nmまでの波長の光を日射熱に関与する範囲と定義し、可視光波長から2100nmの波長の日射光（＝日射熱）がどれだけ透過しているかを示す指標として日射熱透過率（Te）を規定している。例えば高熱線吸収ガラスは、他のガラスと比較して日射熱が吸収される割合が高く、すなわちTe値が低く遮熱効果が高い。合せガラス用に赤外線を制御した商品の開発としては、銀膜と亜鉛などの酸化膜の多層膜をガラス上にコーティングしたフロントガラスが1980年代前半にアメリカで上市され、旭硝子でも日本・欧州の自動車メーカー向けに量産を開始した。この多層膜は、車内に流入する赤外線を効果的に反射する優れた機能を有するが、銀膜が金属膜であるが故に各種電磁波も遮蔽してしまい、ラジオやETCなどの各種通信機器との通信を阻害するため、現在では日本で採用している車はない。これらの阻害要因を克服した商品がクールベール（Coolverre®）である。これは、合せガラスの中間膜に特殊な紫外線吸収材料を含ませ、中赤外線より長い波長の赤外線を選択的に吸収させるものである。またこの開発に当たっては、商品開発のみならず人が感じる『ジリジリ感』の指標を独自に構築（SHF：Skin Healing Factor）し機能を解りやすく表現出来るようにもした。一方強化ガラス用としても、ガラス表面に耐磨耗性にも優れた赤外線の透過率を制御するコーティング商品も開発した。

4.2 電波の制御

次に電波の制御について取り上げる。

最近車の電子制御化が進んでいるが、それを電動

化・情報化・ネットワーク化と分類してみる。電動化とは、それまで機械式あるいは手動であったものが電動化されたもので、シャシ系の電子制御サスペンション、駆動系の電子制御エンジン・電子制御トランスミッションなど多岐の部品にわたっており、自動車用ガラスに関連するものとして最もわかりやすい事例としてパワーウィンドーが挙げられる。車の情報化では、旧来からのラジオ・テレビなどのメディアを受信するだけの機能が付随しているのではなく、VICSやETCなどの送受信システム・車間自動制御システムなど車から情報が発信されるシステムの実用化が進んでいる。車のネットワーク化では、前述の車体系・制御系・電波系に関する情報の車内における相互ネットワーク化が進んでおり、例えば電動化された部品の挙動が車外送受信システムを使用して外部と通信されるなどのシステムが構築されている。

これらの電子制御化のうち、特に自動車用ガラスの開発として重要なものは、車の情報化への対応である。歴史的には1970年代アメリカでAM・FMのラジオ放送を受信するためにガラス面上でのアンテナが採用されたのをきっかけに、日本でも1970年代後半からガラスアンテナの採用が始まり現在に至っている。現在ではラジオ・TV受信用アンテナ以外にも、カーナビ用のGPSアンテナ、VICS、電波ビーコン、ETCなどユーザーの目に見えない所に取り付けられたアンテナを含めると10個以上のアンテナが搭載されている車もある。これだけ多くのアンテナを必要とする車では、できるだけボディーから突起の無いアンテナを搭載したいという要求があり、電波が透過するガラス車内面上にアンテナを搭載することが期待されている。さらにガラスアンテナの受信性能に対しても、従来ラジオ・TVの1GHz以下の周波数帯（波長30cm以上）のアンテナを中心に技術開発が行われてきたが、1GHzを超える周波数帯を用いるニューメディア用ガラスアンテナも求められている。これらに対応するため、従来から有する電波暗室を使用したアンテナ性能評価技術とともに、双方向通信用アンテナ・衛星放送受信用アンテナ・ETCアンテナなどの新メディアに対応した自動車用ガラスの商品化に向けた開発を行っている。さらに我々は、高い性能を有するガラスアンテナ商品を短期間で提供するために、電磁界シミュレーション技術を導入し、ガラスアンテナの設計開発に適したシミュレーションシステムを独自に開発している（Fig. 3）。現在このシミュレーション・システムを用いて、アンテナの設計・開発も実施している。

4.3 音の制御

最後に音の制御について説明する。車の遮音性能は年々向上し、ボディーの吸音材料の改良によるエンジン音やタイヤノイズの低減が図られている。自動車用ガラスで遮音性能を向上させる商品として、

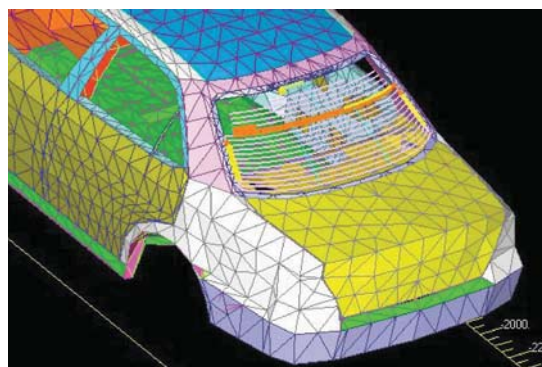


Fig. 3 アンテナシミュレーションモデルの一例

遮音ガラスが開発されている。これは、通常PVB膜に比べ特殊な遮音機能層を有した中間膜を使用することで、ガラスを透過する外部からの音のうち、特にガラスを伝播して車内に入るエンジン音や風切音の領域を効果的に遮断している。

5. 自動車用ガラスのその他の高機能

開口部材としてガラスを透過する『電磁波（光と電波）』や『音』を制御するガラスの高機能化以外にも、自動車用ガラスとして多くの付加機能を付与した旭硝子のガラスが採用されている。例えば、電気自動車ではデフトスター機能としてEHW（Electrical Heated Windshield）がフロントガラスに採用され視界の確保に貢献している。これはスパッタコート技術を駆使したもので、多層膜構成の設計・コート材料開発により実現できたものである。また、フッ素系シランカップリング剤を使用したウェットコート技術による撥水ガラスのウェルビュー（Wellview®）があるが、これは市販されている撥水処理剤より対磨耗性・耐候性を大幅に向上させたものでフロントガラスやドアガラスに採用され、雨天時の運転コンディション向上に寄与している。この商品は、2001年には日経新聞優秀製品賞を受賞している。更に、運転支援システムであるHUD（Head Up Display）においてはコンバイナーとしての機能をフロントガラス面上に持たせるなど、このように多くの高機能が自動車用ガラスに付加されている。

6. 最後 に

ガラスは前述のように1900年代初期より自動車用にも使われ始め100年以上経つ中で、自動車の進化と共に自動車用ガラスとしても高機能化等の進化をしてきた。一方では自動車メーカー各社が燃費改善手段の一つとして軽量化を進めており、従来の鋼板やガラスに代わり樹脂を採用する車も出てきた。旭硝子はこのような社会環境の変化に対応すべく、ガラスの軽量化の面では既に技術的にハードルが高いと言われた強化ガラスの薄板化（2.5mm強化）にも

成功し製造を行うと共に、1998年には自動車向け樹脂ガラスについても国内で量産を行う等開口部材メーカーとしての対応を行ってきた。今後も開口部材メーカーとして、『デザイン』・『安全性』・『快適性』・『環境』をキーワードとして素材を限定することなく総合的な技術開発に取り組み、お客様に価値

を提供し続けてゆきたいと考えている。

—参考文献—

- (1) 景山夙, “自動車「進化」の軌跡”, p. 18 (1999), (株) 山海堂, 東京