

---

やさしいニューガラス講座  
第3回 “ガラスの調光機能(1)”

日本板硝子(株) 硝子建材開発部 主席技師  
御園生 雅 郎

“Optical Switching Glasses”

Masao Misonou

Associate Chief Engineer Flat Glass Products &  
Technical Development Department  
Nippon Sheet Glass Co., Ltd.

Abstract

Several technologies for realizing optical switching glass are reviewed.

These technologies meet a variety of requirements for comfortable residential or working lives and for global concerns about much less energy consumption to create such comfortable circumstances. These requirements can be classified as those about visible light control and about solar heat control. Technologies are reviewed corresponding to such classified requirements.

At first, electrochromic device is explained as one of typical optical switching technologies.

1. 調光ガラスに求められる機能

言うまでもなくガラスは透光性を有する材料の中でも、安価でかつ耐候性に優れた材料であるが、今日の様な新材料開発の中でもこの地位が損なわれることなく現在に至っている。とは言うものの今日における市場の多種多様なニーズに逐一応えるには、板ガラスは余りにも古色蒼然とした材料と言わざるを得ない。このニーズの背景としては、人間の生活レベルの向上につれて①欲求が高度化・多様化しているということ以外に、②快適な環境を創り出すためのエネルギー消費が地球規模で無視できなくなっていると言う深刻な事態がある。そこでこうした

市場の要求に応えるべく様々な新機能ガラスが研究開発され、世に普及しつつあるところである。本稿では建築用板ガラスを中心に、光の透過性能を制御する新機能ガラスについて展望したい。

(1) 調光ガラスの機能ニーズ

光の透過性能を制御するに当たってのニーズをまず分類してみると、①可視光線を制御したいというニーズと②近赤外を制御したいというニーズに分けられる。可視光線を制御するニーズは更に次の2つがあろう。

- a. 視界を制御したい(すなわち、可視光直進透過率を制御)
- b. 明暗を制御したい(すなわち、可視光全透過率を制御)

b. は暗色のブラインドあるいは厚地のカーテンの開閉による制御機能をガラス自体に持たせる考え方であるが、これ以外に昼間の部屋全体の明暗を窓辺から奥側まで均一に（あるいは集中）するという要求機能もあろう。

一方、近赤外線制御のニーズは、例えば（明るさは変えたくないが）窓ガラスを透過し室内へ侵入する太陽熱量を、夏季は遮断し冬季には多く取り込みたいという様なケースである。図1は米国での一例であるが、通常の窓ガラスのほかに後述するエレクトロクロミック窓ガラスを含んだ種々の窓を使用した場合の毎月のエネルギー消費量を比較したものである。この例によれば通常の窓ガラス（HT）に比べエレクトロクロミック窓ガラス（AC）では、冬季を除いた季節で太陽熱を遮断できる機能の結果、省エネルギーを実現していることがわかった。これはあくまでも一例であり、建物、気候、住まい方に差がある日本にそのまま適用することは問題があるが、省エネルギーの可能性を示した好データである。

次に制御の方法について考えてみると、①例えば南面と北面の様に場所に応じて変わってればよく個々の材料の性能としては一定値で良いのか、②後述する様に温度、光量などのある要因によって自動的に変化すれば良いのか、③全く人為的に可変とさせたいのか、という3つに大別できよう。

## (2) 調光ガラス機能の目標

ここではエレクトロクロミック材料を代表として、調光窓ガラスが振る舞うべき望ましい機能を、表示デバイスとの対比において紹介する。表1に比較した結果、表示デバイスとの大きな違いは

- ① 広い使用温度領域で長期耐久性が要求されること
- ② 大面積（に均一）であること
- ③ 面積当たりでは安価に製造できること
- ④ その代わりに、応答速度は遅くとも良いという4点に代表される。

特に①～③が材料・プロセスに厳しい条件をつける結果となり、現在でもなかなかすべてのニーズに応じた商品が完成しない原因となっている。

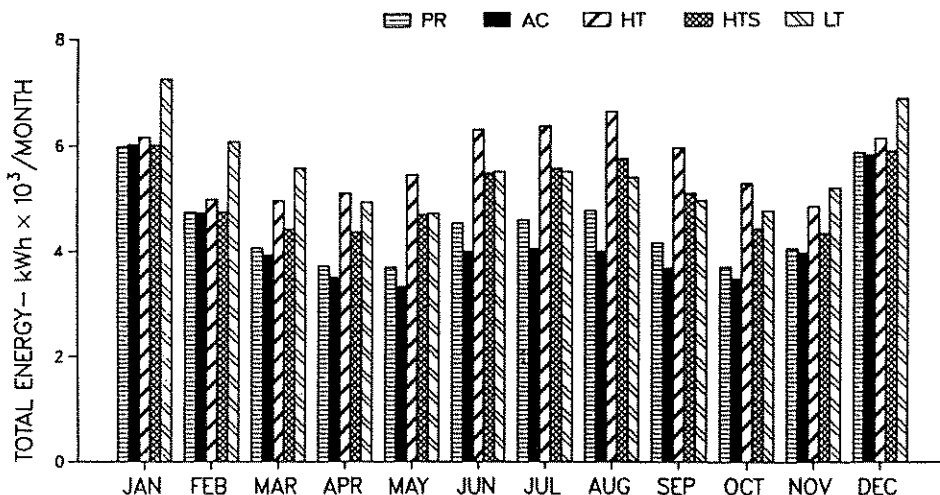


Figure 1 Monthly total energy consumption for all end uses for five glazing options in the building module in Lake Charles, Louisiana.<sup>1)</sup>

PR=Photochromic glass, AC=Electrochromic glass, HT=High Transmission glazing, HTS=High Transmission Glazing with Shade, LT=Low Transmission Glazing

Table1 Performance Requirements of Electrochromic Displays and Window Devices.<sup>2)</sup>  
 chromic Displays and Window Devices.<sup>2)</sup>

Operation Parameter	Display	Window
Light Transmission	Unimportant or undesirable for most applications	T > 75% (bleached); T < 5% (colored) for 350 < λ < 2000nm
Rate/Cycle	< 0.1 sec	< ~ 300 sec, for thermal control (faster for glare control)
Area	< 10cm <sup>2</sup> for most applications	> 103 cm <sup>2</sup> /unit
Operational and Shelf Life	> 5 years	> 20 years
Thermal Stability Range	10 to 55 °C	-20 to 100 °C
Maximum Energy Consumption/ Cycle	< 1 Whr/ m <sup>2</sup>	< 1 Whr/ m <sup>2</sup>
Typical Operating Current	> 0.1 A/cm <sup>2</sup>	> 0.1 A/cm <sup>2</sup>
Typical Operating Power (at 2V)	> 0.2 W/cm <sup>2</sup>	> 0.2 mW/cm <sup>2</sup>
Photochemical Stability	Not critical	φ lec < 10 <sup>-5</sup> , photochromism undesirable
Reflectivity	Not critical	Desirable in colored state, to prevent thermal shock and energy transfer
Fabrication Technology Cost	High vacuum, lithography, < \$0.05/cm <sup>2</sup> for high volume commercial application	Large area, high uniformity deposition method, < \$0.001/cm <sup>2</sup>

## 2. 調光ガラス技術

### (1) はじめに

では、上のようなニーズにガラス材料はどう応えているか、現状研究レベルまで含めた技術はまず大まかに表2の様に整理ができれば。表の中の静的制御の材料に関しては、各

方面での解説にゆずることとし、次節以降では自動制御・人為制御が可能な調光材料に限って簡単な説明を試みたい。

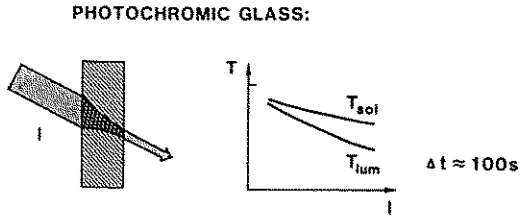
さて、表2にも示した様々な対応技術に關したものを図2に示す。図中には各デバイスの代表的な構造の断面図、ならびにどんなパ

Table2 Various optical control glasses and materials, corresponding to each requirement.

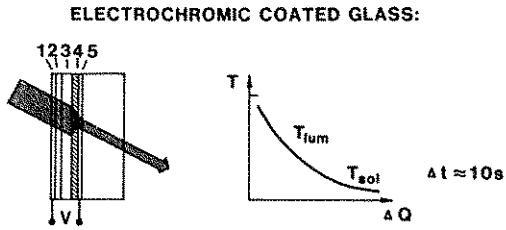
		可視光線		近赤外線
		視界	明暗	
静的制御		型板ガラス すりガラス	熱線吸収ガラス 熱線反射ガラス	高可視熱線反射ガラス
自動 制御	角度	視野選択ガラス	視野選択ガラス	
	光量		フォトクロミックガラス	
	温度		サーモクロミックガラス 感熱性高分子ゲル	
人為制御		瞬間調光ガラス	瞬間調光ガラス エレクトロクロミック 微粒子分散型調光ガラス	

I. 採光量と日射透過率など可視光から近赤外線までの「透過率が可変なタイプ」

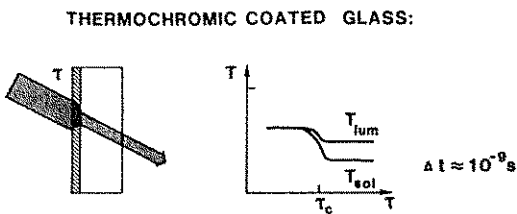
- (1) フォトクロミック  
(光が当たると変化)



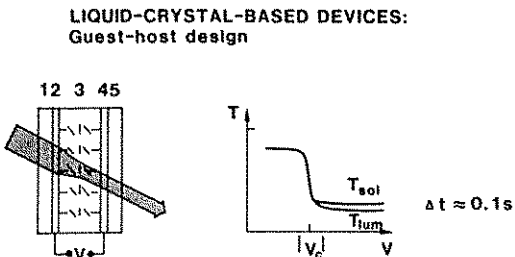
- (2) エレクトロクロミック  
(電流によって変化)



- (3) サーモクロミック  
(温度の上下で変化)



- (4) ゲストホスト液晶  
(電圧によって可変)



II. 可視光線の拡散率や「透視性が可変なタイプ」

- ・カプセル化液晶  
(電圧によって可変)

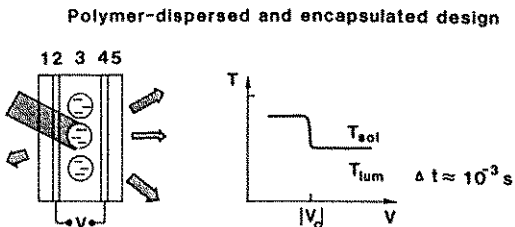


Figure 2 Various Optical switching devices and their performances. <sup>1)</sup>

$T_{sol}$  ; Solar Transmittance  $T_{lum}$  ; Luminous Transmittance

Table 3 Various Electrochromic Materials and their color changes due to redox reactions.

電極反応様式	材 料	色変化 (還元体 ⇌ 酸化体)
(a) 液相反応	アントラキノン スチリル系化合物 ピリジニウム系化合物 (ピオロゲン)	赤 ⇌ 無色 無色 ⇌ 赤, 青, 黄 紫, 緑, 赤 ⇌ 無色
(b) 薄膜被覆電極	ポリピオロゲン フェナンスロリン鉄錯体 プルシアンブルー錯体 テトラチアフルバレン ビピリジニウムルテニウム錯体 電解重合膜系 { ポリ (チエニレン) { ポリ (ピロール) { ポリ (アニリン)	紫 ⇌ 無色 赤 ⇌ 無色 無色 ⇌ 青 黄 ⇌ 緑 ⇌ 紫 七色  赤 ⇌ 青 黄 ⇌ 茶 黄 ⇌ 緑
(c) 固相内反応	a-WO <sub>3</sub> 膜 IrO <sub>2</sub> 膜 ジフタロシアン系膜	青 ⇌ 無色 無色 ⇌ 灰黒 青 ⇌ 橙赤

し、その構成および変化特性の観点から整理ラメータによって透過率がどう変化するかという相関グラフ模式図が示してある。グラフ中  $T_{sol}$  太陽光透過率、 $T_{lum}$  は可視光透過率が示している。またグラフ横の  $\Delta t$  はおよそその応答速度 (変化に要する時間) が示されている。

更に表3には各々のデバイスの駆動原理・代表的使用材料・現在の開発状況を一覽にした。

外的条件によって自動的に変化するデバイスには、光量で変化するフォトリソミックと温度で変化するサーモクロミックの2つがある。どちらも光量ないしは温度が増加すると吸収係数が大きくなり、透過光を遮断する。

人為的に変化させるデバイスであれば、何らかのセンサーと組み合わせ自動変化させ得るので、この人為的変化が可能な材料のほうが調光機能の究極の姿と言えようが、後述するように種々の問題があり、特に近赤外線まで制御するデバイスは技術的完成および市場への普及が遅れている。

## (2) エレクトロクロミックガラス

図3にエレクトロクロミックガラスの代表的な構成断面図を示す。2枚の透明電極付き

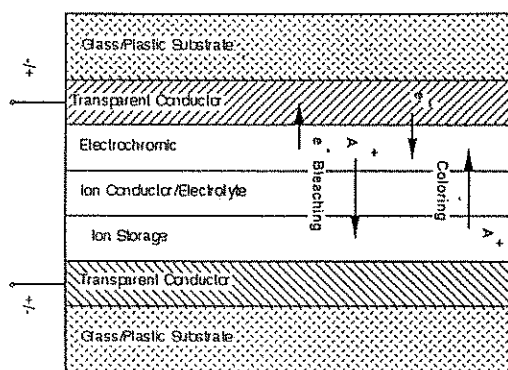


Figure 3 Generalized schematic cross-section of a laminated electrochromic device.

ガラスの間に、機能性材料として、①電気化学的な酸化還元反応によって光吸収性が変化する材料(エレクトロクロミック; EC材料)、②イオンにのみ伝導性をもった電解質材料、③対極の3層がある。表3に主なEC材料を示したが、この中で最もよく研究されたEC材料は非晶質酸化タンゲステン ( $a-WO_3$ ) および有機材料であるピオロゲンである。図3の構成デバイスに  $WO_3$  側電極側が負になるように 1.5V 程度の電圧を印加すると、(1)式で示す反応により  $WO_3$  に陽イオンと電子

が注入され、還元されてタングステンブロンズを生じ青色を呈する。

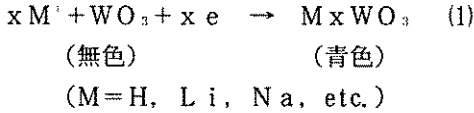


図4に着色・消色に伴う透過スペクトルの代表例を示した。a-WO<sub>3</sub>材料を用いた調光ガラスは、可視部に加えて近赤外線に対しても透過率の変化が得られるのが特徴的である。従って、省エネルギーの観点からも後述する種々の方式に比較して理想的な材料に近い。電解質材料は、イオン伝導性が高いことが基本であるが、プロセスの点から固体電解質が望ましいとされてきた。しかし全固体型ではそれ相応の問題のあることが明らかとなり、現在ではポリマー系電解質を2枚のガラスの中に封止する方式が有力視されつつある。大面積化の問題点として応答速度の問題も抱えている。これは1×1mの様な窓のサイズのデバイスでは、既存の透明電極では導電性が不十分であることに起因する。このように実用化には解決すべき課題が少なからずあるが、前述の近赤外線までも制御できること、またメモリー効果（一旦着色すれば印加電圧なしでも状態が保持できること）もあること、中間調も可能であることなど色々な優位

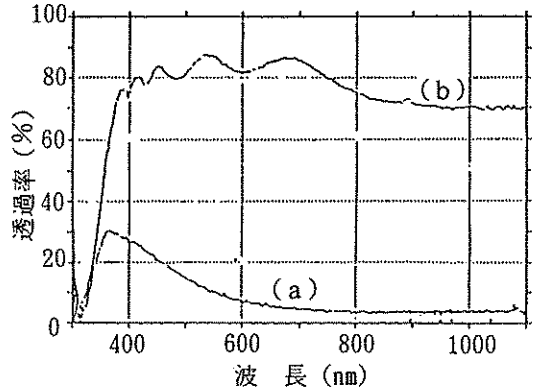


Figure 4 Typical transmittance spectra for (a) colored and (b) bleached state of a-WO<sub>3</sub> electrochromic device.

点も持っているので、将来が楽しみな材料である。

#### 参考文献

- (1) Large-Area Chromogenic Materials and Devices for Transmittance Control. (ed. by C. M. Lampert and C. G. Granqvist, 1988 SPIE Press, Hamburg)
- (2) R. D. Rough, US DOE Report No. CONT-830980, (1983) p. 225-230.
- (3) 兵藤 光技術コンタクト Vol. 32 No. 5 (1994) p. 265-272.