

やさしいニューガラス講座

第4回 ガラスの調光機能（2）

日本板硝子㈱硝子建材開発部 主席技師
御園生 雅郎

"Optical Switching Glasses" (2)

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

Abstract

Several technologies for realizing optical switching glass are reviewed.

Liquid crystal is one of the promising materials. Recently, nematic liquid crystal droplets encapsulated in polymer matrix are used for the large switchable windows. Devices used materials showing photochromism, thermochromism and angular selective function are also important. Both organic or inorganic materials showing such behaviors are widely developed.

前稿、ガラスの調光機能(1)⁽¹⁾では、調光ガラスに求められる機能を眺めた後、具体的な調光ガラス技術の中でも、人為的制御が可能で、かつ太陽熱の透過制御も可能であり、最もその技術の完成が期待されていると思われるエレクトロクロミックガラスを紹介した。本稿では人為的制御が可能な調光技術として液晶材料を用いた調光技術、固体微粒子の配向を用いた調光技術の2種類の技術、およびフォトクロミックガラス、サーモクロミックガラスの技術、更に視野角選択ガラスについて紹介したい。

1. 調光ガラス技術

(1) 液晶材料を用いた調光技術

液晶材料は薄型ディスプレー技術分野の中で

今日最も急成長を遂げている利用材料であることは言うまでもない。液晶ディスプレーは液晶の配向により透過光の偏光面を電界により制御できるという原理を利用しておらず、他のディスプレー方式と異なり材料自体が発光している訳ではない。言い換えると調光機能そのものを利用しているのであるからこの技術を大面積に拡大し、調光窓として利用することは容易に考えつく。今日なぜこれがそのまま窓としての発展にまで至っていないのかと言えば、

- ①液晶層の厚みが薄く、大面積にわたって均一に保持・制御できない。
 - ②2枚の偏光板との組み合わせが必須であり、「透明」時の透過率が不十分である。
 - ③偏光板の屋外光に対する耐候性の解決が難しい。
- などの理由による。

〒105 東京都港区海岸2-1-7

Tel 03-5443-9540

ところが近年上記のような問題点を解決した新たな方式が提案され、商品化された。⁽²⁾ それは液晶を球状カプセルとして有機材料のマトリックスの中に分散させた、いわゆるN C A P (Nematic Curvilinear Aligned Phase) あるいはP D L C (Polymer-Dispersed Liquid Crystal)などと呼ばれる調光ガラスである。図1にこの方式の原理を模式的に示す。液晶層に電界が印加されていない状態では、光は液晶分子のランダムな配向によって多重反射され外部からは乳白状に見える。一方外部からカプセル液晶に電界が印加されると液晶分子の配向が電界方向に整列し光は直進して透明に見える。この方式によって液晶層の厚みに対する制限は厳密でなくともよく、かつ偏光板が不要となるため、大面積化が初めて容易となった。しかし、残念なことにこの構成によって、光を散乱させ

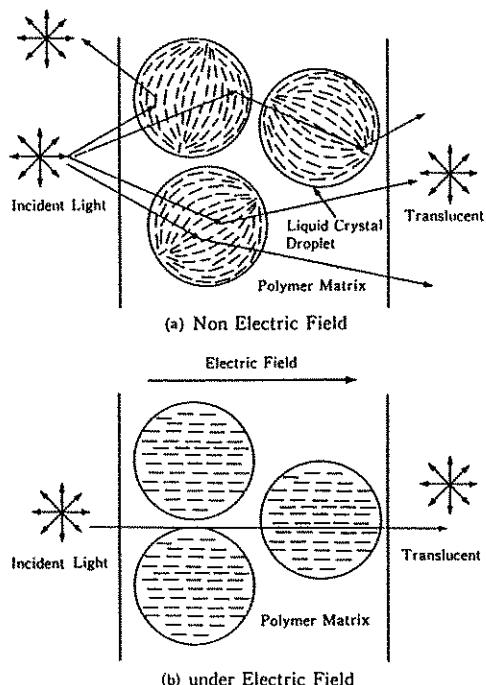


Fig. 1 Schematic crosssectional view of nematic liquid crystal droplets encapsulated in polymer matrix.
(a)Non-electric field and (b)under electric field. ⁽²⁾

る機能が主となり透過光量、言い換えれば全透過率（明暗）の制御、並びにエネルギー透過制御は非常に難しいものとなった。図2に平行透過光の印加電圧依存性、図3に全透過率の変化の様子を図示している。

(2) 固体微粒子を用いた調光技術

上記液晶においては、明暗またはエネルギーの透過制御について限界のあることがわかった。液晶の代わりに異方性(例えば平板状や針状)をもつ微粒子材料を2枚のガラスの間に充たし

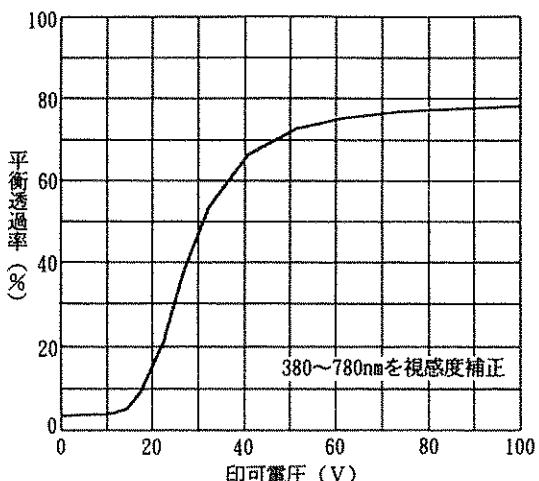


Fig. 2 Parallel visible transmittance of nematic liquid crystal droplets encapsulated in polymer matrix as a function of applied voltage. ⁽²⁾

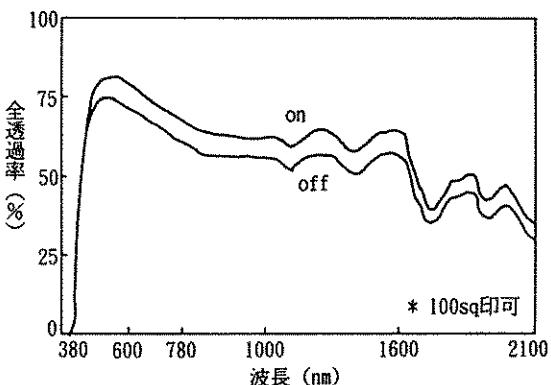


Fig. 3 Total transmittance spectra of nematic liquid crystal droplets encapsulated in polymer matrix. "on" and "off" denotes with and without applied voltage, respectively. ⁽²⁾

た流動層の中に分散させると、やはり外部からの電圧印加により異方性微粒子の配向性を制御することができ、調光が可能となる。この方法では遮光性能をもつ材料を選べば、光量ならびにエネルギーの透過制御もできる⁽⁴⁾。具体的な材料には、ヘラパタイト、キニン、酸窒化チタンなどが用いられる。

(3) フォトクロミックガラス

光エネルギーによって状態が変わり、透過率が変化する性質を示すものがフォトクロミック材料であり、遮光眼鏡すでに実用化されている。無機材料ではガラスの中に銀ハライドを添加し、光量と共にそのコロイドが成長・分散を繰り返す原理(図4を参照)を利用したもの有名である。⁽⁵⁾また有機材料では、スピロオキサジンが代表的である。図5にスピロオキサジン

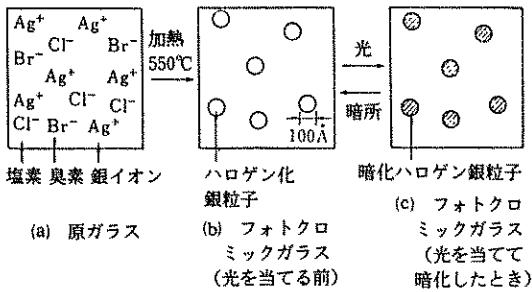


Fig. 4 Schematic diagram explaining creation of Ag halide clusters in glass and their photochromism.⁽⁵⁾

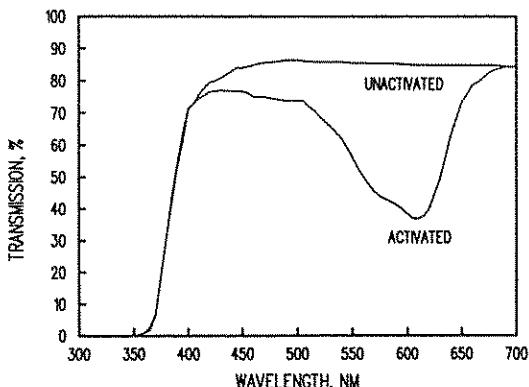


Fig. 5 The transmittance spectra of spiro-oxazine 1 in poly-(vinyl butyral) before and after UV activation. Cited from p. 116 in reference⁽³⁾.

ジンを用いたプラスチック板の透過率変化を示した。

フォトクロミック材料の問題点としては、①可視光領域に比べ近赤外線領域の透過率の変化幅が小さい材料が多い、②着色速度は速いが消色速度が遅いものが多い、③寿命に問題がある、などの技術的な課題の他に、④日射ムラによって自然にできる着色ムラが外観上好まれるのかという商品としての問題も挙げられている。

(4) サーモクロミックガラス

温度によって状態が変わり、透過率を制御できる材料がサーモクロミック材料である。無機材料では金属酸化物材料の室温付近の相転移を利用したものがある。⁽⁶⁾図6に電気伝導度の温度依存性を示したが、転移温度を超えて伝導度が良くなると、材料は金属的な挙動となり、光を吸収する。この吸収は自由電子のプラズマ振

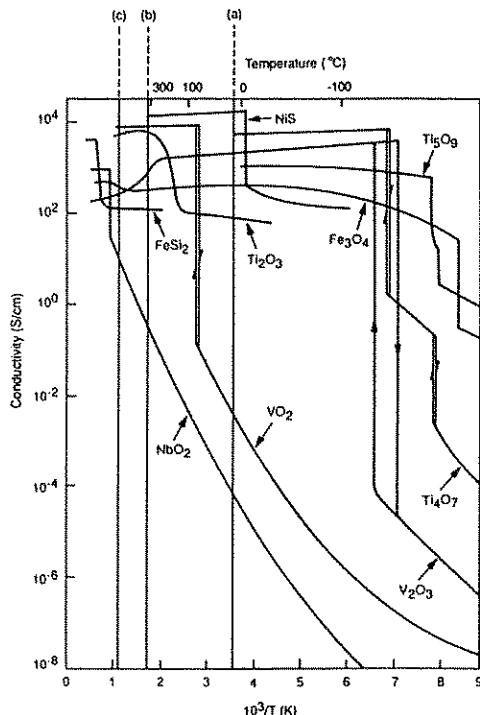


Fig. 6 Electrical Conductivity as a function of reciprocal temperature for several transition metal compounds. Cited from p. 149 in reference⁽³⁾.

動に起因するもので、長波長側の変化幅が大きい。このため近赤外領域の透過率変化幅に比べて、可視光領域での変化幅が小さいのが特徴である。この中でも酸化バナジウム(VO_2)をベースに種々添加物により転移温度を調整したものについて研究が進んでいる。図7に、一例として1000Åの膜厚の VO_2 薄膜の透過率スペクトルの変化を示す。

最近になって、「感熱性高分子」と呼ばれる有機材料で相分離を利用した材料が提案されて

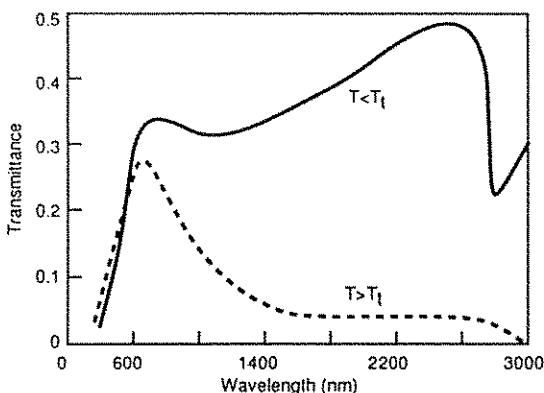


Fig. 7 Spectral transmittance of VO_2 film with thickness of 1000 Å on glass. Solid and broken line denotes spectrum at the temperature above and below transition-temperature, respectively. Cited from p.152 in reference ⁽³⁾.

いる。⁽⁷⁾ 図8に特性の例を図示する。一般的には、ほとんどの2種類の液相材料の組み合わせでは温度が上がれば分離状態より混合状態のほうが自由エネルギーは低くなるが、ある幾つかの有機材料の組合せでは、低温で混合状態にあったものが温度の上昇に伴って相分離を起こす。分離した状態では微小なクラスターが相手方の相の中に分散しており、光を散乱させる。層の厚みを確保すれば、近赤外領域まで制御できる。ただし遮光(遮熱)状態では原理的に不透視となってしまう点が、エレクトロクロミック材料と異なるところである。代表的な材料系として、ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)の水溶液系、ニトロセルロースのアセトン溶媒系などがあり、どちらもよく研究されている。サーモクロミック材料でもフォトクロミック材料と同様、日射ムラによってできる自然の着色ムラが外観上好まれるのかという商品としての問題は存在するが、一方サーモクロミック材料では、透明ヒーターとの組み合わせによって透過率を人為的に制御することも可能である。

(5) 視野角度選択ガラス

視野角度選択機能とは、視線とガラスの角度によって視界や明暗を制御できる機能のこと

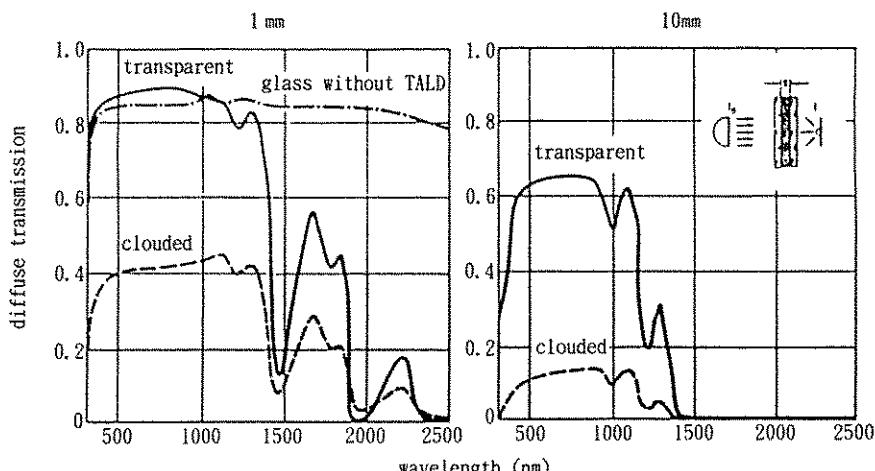


Fig. 8 Transmittance spectra of a thermochromic gel in transparent (solid line) and clouded(broken line) state for layers of thermochromic gel of 1mm(left) and 10mm(right). Cited from p.126 in reference ⁽³⁾.

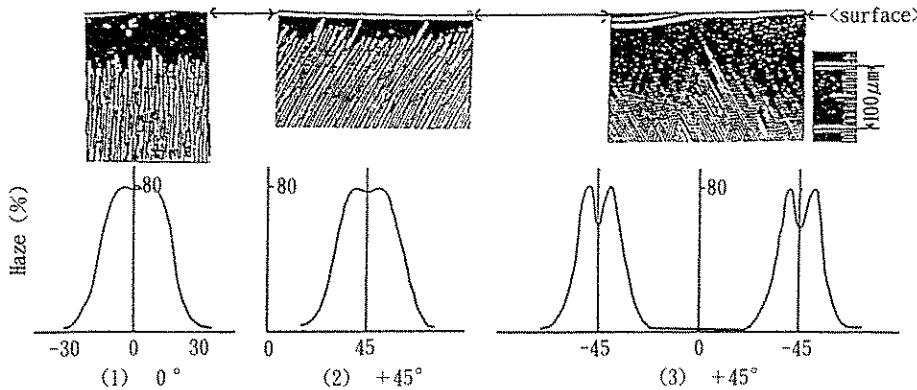


Fig. 9 Micrographs of organic angular selective films showing several behaviors and corresponding haze ratio as a function of incident light angle. Cited from p. 62 in reference ⁽¹⁾.

あり、ブラインドの羽根がガラス内部に取り込まれたものを考えれば分かりやすい。図9に視野角度選択ガラスの特性の一例を示す。この材料では異なる屈折率を持つ2種類の有機材料が、ガラス面に対しある角度で層状に形成されており、層に平行な光はそのまま透過するが、それ以外は散乱されてしまう原理を用いている。⁽⁸⁾ディスプレー分野では類似の構成で明暗制御型の材料が提案されている。また幾つかの異なる無機材料を基板に対して斜め方向から蒸着・積層し同様の機能を得ようとする試みもある。⁽⁹⁾

2. 終わりに

建築用ガラスの用途を中心に、人為的あるいは自動的に制御可能なガラス技術について紹介してきたが、これ以外にも光を調節する色々な機能について検討が加えられている。例えば光の入射角度と出射角度が変えられる、広い意味での回折機能なども省エネルギーに寄与できる。これは上方から入ってくる太陽光を、天井へ回折させ屋内のまぶしさをやわらげると共に、均一な間接照明光源として利用する。更に太陽高度によってこの機能が可変になれば申し分ない。

また、波長領域によって特性が変化する選択吸収・選択反射機能も、幅広く市場で用いられているが、ここでは省略させて頂いた。

- (1) 御園生, NEW GLASS Vol. 10 No. 1(1995) p. 34-39.
- (2) 衣笠, 粉体と工業 Vol. 22 No. 8 (1990) p. 29-39.
- (3) Large-Area Chromogenic Materials and Devices for Transmittance Control. (ed. by C. M. Lampert and C. G. Granqvist, 1988 SPIE Press, Hamburg)
- (4) 河原・齊藤, 応用物理 Vol. 62 No. 4 (1993) p. 343-351.
- (5) 作花済夫著「ニューガラス」日刊工業新聞社(1987).
- (6) 種村・金 NEW GLASS Vol. 10 No. 1 (1995) p. 24-33.
- (7) 入江正浩編「機能性高分子ゲルの製造と応用」シ-エム- (1987) p. 87-101.
- (8) 平成5年度ニイガタ産業対策調査研究報告書「ニイガラスマテリアル」(1994).
- (9) G. B. Smith et. al, Solar Energy Mat. and Solar Cells Vol. 25 (1992) p. 149-167.