

特 集

パッシブ・ソーラー素子の現状と将来

液晶を用いた調光ガラス

北 村 博*

1. はじめに

ガラスは古代オリエントから独特の輝きを持ちながら劣化の小さい素材として珍重されてきた。これはガラスの特徴である光の透過性があることと化学的に安定なことによる。そうした光学特性に変化を加えた各種のガラスが開発され、例えば熱線反射ガラス、熱線吸収ガラス、色ガラス、合わせガラス等のかたちでその機能性を高めてきた。

従来は使用目的に応じて、それに見合った光学特性のガラスが選定されてきたが、使用者が必要なときに任意にその特性をコントロールできる調光ガラスが出現すれば、機能的価値がより高まるものと期待してきた。

調光ガラスを使うことによって望まれる機能は

- 1) 光エネルギーの調節機能
 - 2) 人間に心地良い採光機能
 - 3) プライバシーを守る透視性の変更
- などがあり、建築、自動車、調度品、その他の分野への適応が考えられる。

こうした調光ガラスとしてはエレクトロクロミック (EC)、サーモクロミック (TC)、液晶 (LC) を適用することで開発が進められているが、日本板硝子㈱は液晶を用いた調光ガラスを開発し、商品名を瞬間調光ガラス・UMU（ウム）と名付けた。ここではその原理、特徴、特性、使用例について紹介する。

2. 液晶の特性

1) 従来の技術

液晶は液体にも固体（結晶）にも分類することができない特異な中間状態の振舞をする物質

をいう。液晶の性質は棒状の高分子構造の配向に由来し、この光学的異方性（複屈折性）をもつ液晶の配向は、電界によってコントロールすることができ、これを利用することによって光を「分散する」あるいは「透過する」という機能を持っている。

従来から液晶ディスプレイ等で製品化された技術にTN (Twisted Nematic) 型と呼ばれるものがある。その構造は図1に示すが、無電界のもとでは液晶の棒状な分子が90°ねじられて配向するように透明電極表面が処理されているため、互いに直角となるように位置した偏光板を光は通過でき、「透明体」として確認される。一方電界がかけられたときには液晶分子は電界方向に平行に配列するので、光は直進するため偏光板を通過することができず、「不透明」となる。この方式では使用電圧や消費電力が小さいという利点がある反面、液晶層の厚みが均一となる必要があるため、小形画面には適している一方で、大形サイズのものを製作することが困難であるといわれている。

2) カプセル化液晶

ネマチック液晶をポリママトリックスに分散

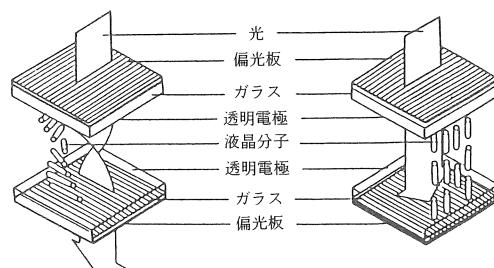


図1 TN型液晶原理図

* 日本板硝子(株) 硝子建材開発部主席技師補

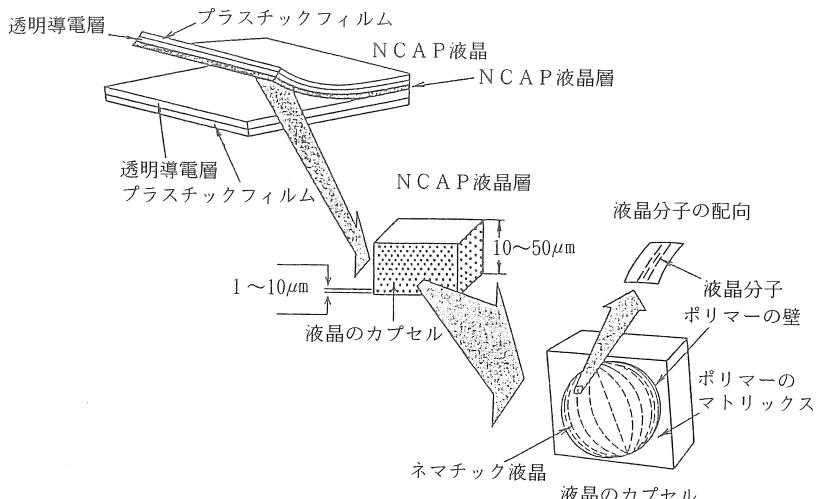


図2 NCAPフィルムの構造

させてマイクロカプセル化するNCAP (Nematic Curvilinear Aligned Phase) は1981年にJames Fargasonによって考案された。マイクロカプセルの球径は数 μm 程度であり、その径寸法、液晶物性、カプセルを形づくるポリマの性状等にNCAPの光学特性は依存している。図2の構造をもつマイクロカプセル化された液晶層を透明電極がコーティングされた2枚のプラスチックフィルムで挟んだものがTALIQ社(米国カリフォルニア州)によって開発され、TN型では難しいとされてきた大面積化が可能となった。

動作原理としては、ネマチック液晶の屈折率とカプセルを形成しているポリママトリックス材料の屈折率の整合を利用している。すなわち液晶層に電界がかかっていない状態では、液晶の棒状分子はカプセル界面に配向するよう調整されているため、液晶とカプセルの屈折率が整合されずに入射光はカプセル界面で複屈折する。屈折した光は周囲の他のカプセルで連鎖的にさまざまな方向に散乱して広がる。このときNCAPフィルムは不透明(乳白色)となる。一方電界がかかっている場合は液晶の棒状分子は電界の方向に配向するため、液晶とカプセルの屈折率が整合していれば、複屈折は起こらず、入射光はカプセル内を直進するので、NCAPフィルムは透明となる。

NCAPフィルムの特徴としては次の項目が

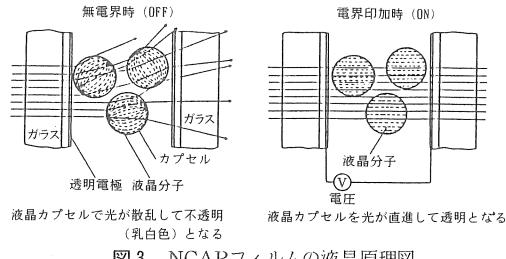


図3 NCAPフィルムの液晶原理図

挙げられる。

- ① 大面積化することが比較的容易で、現在 $2438 \times 914\text{mm}$ の寸法のものまで実現され、商品化されている。
 - ② 偏光板を必要としないため、光の透過率が高い。
 - ③ 視野角度が高い。
 - ④ 電気的負荷としては容量性であるが、実効電力は数ワット/ m^2 と小さく、ランニングコストも低い。
- こうした液晶技術としては今までにない画期的なものであるが、一方では開発課題として
- ① 駆動電圧に数10Vと比較的高い電圧を必要とする。
 - ② ディスプレイ装置として高機能化が未開発である。
 - ③ カラー機能が実用化に致っていない。
 - ④ エネルギーコントロール機能が小さい。
- が残されている。

3. 瞬間調光ガラスの構造

高機能化ガラスは広く使用されるようになつたが、その機能は大部分が固定的であつて、ユーザーの好みに応じて動的に変化できるものは実用的製品化されるには至っていない。

こうした中で、TALIQ社のNCAPフィルムを採用して合わせガラスとすることにより、透明と不透明の相互の状態を瞬時に切り替えられ、大面積も可能な瞬間調光ガラス・UMU(ウム)が普及し始めている。

調光ガラスの構造は、NCAPフィルムの両面を中間膜(接着材)を介して2枚のガラスで接着した合わせガラスである。NCAPフィルム自身が比較的紫外線に対する耐久性があるが、中間膜には紫外線をカットする素材が用いられているため、太陽光に対しても調光ガラスはきわめて安定した特性をもっている。

さらに調光ガラスが外装に使用されてもその機能を維持できるように、NCAPフィルムのエッジには液晶を封止するためのシールテープ(フィルムエッジシール)が圧接着されている。

これによって中間膜等から液晶層に有害な物質が流入するのを防止すると同時に、液晶がNCAPフィルム外に流出することを防止している。またガラスエッジにおいては、外部からの水分の浸入を防止するため塩ビ製のフレーム(ガラスエッジプロテクター)を廻らせ、ガラスとプロテクターの隙間は耐水性のシール材(ガラスエッジシール)が充填されている。こうした保護構造を施すことにより、液晶を使用した精密な電気器具でありながら、ガラスとしての要求される環境のもとで長期的な耐久性をもっている。

4. 調光ガラスの耐久性

調光ガラスが建築に適用できることを確かめる手段として、環境の要因である気象、熱、寒冷、湿度及び温度サイクルについて耐候試験を実施した。一方電気製品として機能を持ったガラスであることから、通電耐久性についてエージング及びスイッチングでの耐久性を確めた。

また落球とショットバック試験によりJISで

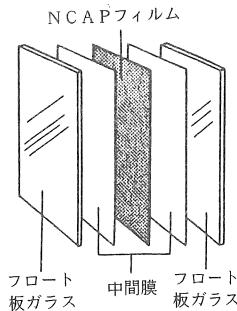


図4 構造図I

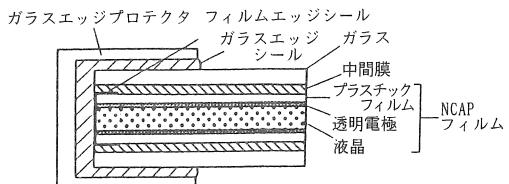


図5 構造図II

の合わせガラスに相当する安全性を有することも実証した。耐久試験については表1にまとめた。

5. 調光ガラスの特性

調光ガラスの機能は通電状態で透明となり、非通電状態で不透明となる。散乱光が減少して平行光が増加すると調光ガラスは透明となり、

表1 調光ガラス耐久試験

項目	条件	時間
耐候性	サンシャインウェザーメータ OFF状態で保存	3000時間
耐熱性	温度: 70°C OFF状態で保存	1000時間
耐湿性	温度: 55°C 湿度: 95% OFF状態で保存	4800時間
耐寒性	温度: -40°C OFF状態で保存	120時間
温度サイクル	-20°C 2時間保存→昇温2時間 →70°C 2時間保存→降温2時間 →-20°Cのサイクル OFF状態で保存	300サイクル
通電耐久性(スイッチング)	0.5秒ON, 0.5秒OFFのサイクル 電圧: 80V, 温度: 室温	100万サイクル
通電耐久性(エージング)	ON状態で保存 電圧: 80V, 温度: 室温	3000時間
耐衝撃性	銅球(直径63.5mm, 1040g)を 120cmの高さから自由落下 (JIS 3205 落球) ショットバック(45kg)を30, 75, 120cmの高さから振子式に 落下 (JIS 3205 ショットバック)	

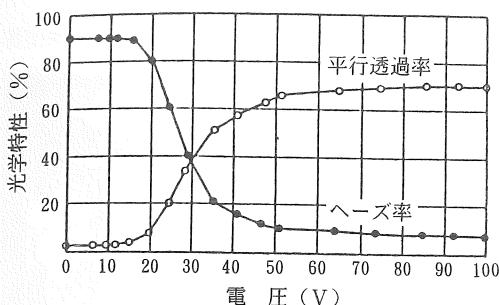


図6 電圧と光学特性

反対に散乱光が増加して平行光が減少すれば調光ガラスは不透明となる。その光学特性を表現する特性値としてヘース率は曇り度率とも呼ばれ光の散乱の程度をしめす値である。

散乱光透過率 : T_d

平行光透過率 : T_p とすると

全光透過率 : T_t は

$$T_t = T_d + T_p \text{ となり}$$

ヘース率 : H は

$$H = T_d / T_t \times 100 \text{ (%)}$$

と定義することができる。

調光ガラスに加える電圧とヘース率および平行透過率の関係を図6でみると、電圧が増加するにしたがって平行透過率は増加し、ヘース率が低下していくのが認められ、目視によれば不透明から透明な状態に変化する。こうして電圧を調整することで希望する透明状態を選択することが可能となる。

可視光での全光透過率は透明状態にてほぼ80%弱であるが、不透明にした時の減少変化率は数%であり、暗幕としての効果はほとんど無いが、直接光を散乱させることにより間接光的なものに変えることができる。

一方太陽エネルギー透過率も透明状態にてほぼ80%弱であるが、不透明にした時の減少変化率は6%程度であってエネルギー kontrol機能は小さい。

このように調光ガラスは可視光の平行透過率の変化による透明・不透明が変化させられるものの、光のしゃ光性が小さいことが今後の残された課題である。

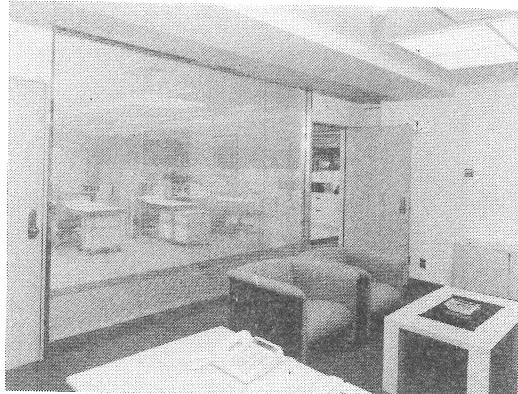


図7(a) 透明状態でのオフィスの間仕切り

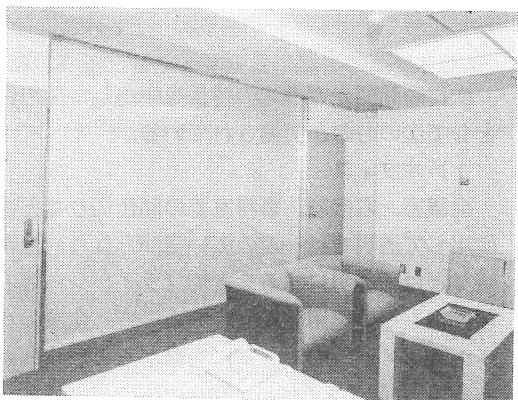


図7(b) 不透明状態でのオフィスの間仕切り

6. 調光ガラスの利用法

近年アメニティという言葉に代表されるように住宅、ビル、自動車などにおいて、質的な向上を求めた快適空間の創造が課題となっているが、環境の構成要因としては光は水や空気とともに以前にも増して重要視されるようになってきた。

ガラスはその光学的特性を利用して各種の高機能製品を生み出してきたが、特性そのものは材料であるガラス成分や表面にコーティングされた薄膜材料の特性によって決定される固定的なものであった。ところが瞬間調光ガラスは透明と不透明といった二つのモードを瞬時に切り替えられる動的機能を持った始めてのガラスであるので、実用的な利用法の他に人目を引く表現が可能であるため興味を引くアイキャッチ効果としても期待されている。

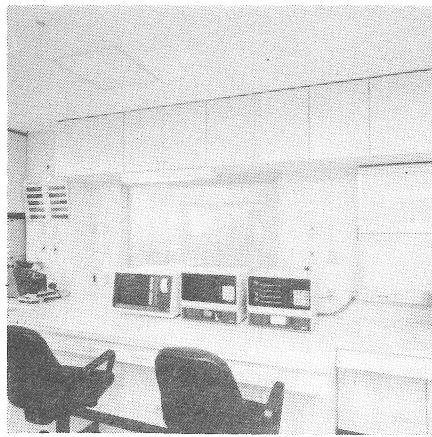


図 8 集中治療室の間仕切り（透明状態）

次に瞬間調光ガラスの特長を生かした使用例として次のものが実施されている。

1) オフィス

会議室、応接室、事務室等の間仕切りなどに使用して透明では一連の広い空間となり、来客時などは不透明にすることでプライバシー等の保護にもなる実用的機能がある一方、企業のハイテクイメージのアップにも繋がるという利点もある。（図7）

2) 病院

ナースセンターと集中治療室の間仕切り、新生児室の窓のように、人に対する配慮と敏捷な動作が必要とされている所では、実用としての有効さだけでなく病院の高度医療技術と調光ガラスのイメージが合致している。（図8）

3) コマーシャルスペース

ショーウィンドー、店舗のパーテーション、ディスコの床などに置設することで集客装置として有効である。

4) ディスプレイ

調光ガラスを不透明にした時の液晶層を通過する光が散乱する現象を利用することによって調光ガラスを透過形スクリーンとして使用することができる。スクリーンを介して鑑賞者の反対側よりプロジェクタから投影することで、液晶層に映像を結像させることが可能である。

プロジェクタより放射された光をスクリーン上に投影し、その反射散乱光を映像として見るのが一般的なスクリーンの使用法であり、スク

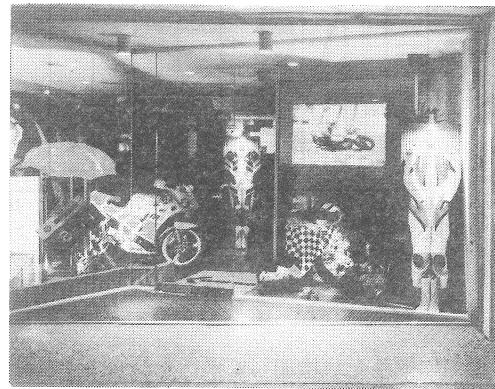


図 9(a) 閉店中の店舗での不透明状態でのスクリーンとしての活用例

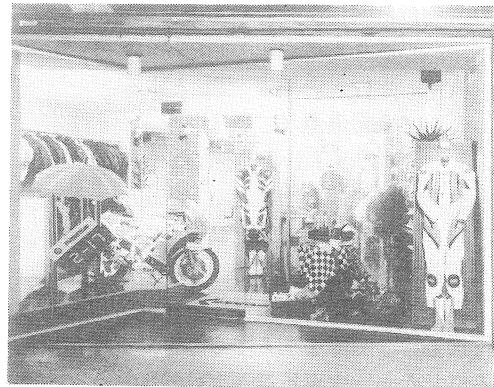


図 9(b) 開店中の店舗での透明状態の調光ガラス

リーン面に対してプロジェクタと鑑賞者が同一方向となる。ところが調光ガラスを用いた透過型スクリーンでは鑑賞者が屋外や通路側等にいて、反射型スクリーンではプロジェクタの設置が困難な場合においても室内等から投影することができる。そこで特に広告媒体とするには効果的な方法といえる。一方透明な状態に切り替えれば、スクリーンとして使用しないときでも視界を防げることがないため、圧迫感のない空間を維持することができる。（図9）

7. 調光ガラスの将来

瞬間調光ガラスはダイナミックな機能を持った調光ガラスとしては世界に先駆けて実用化された製品であるが、前述したようにその耐候性はガラスとしての使用条件に充分であり、かつ

演出効果も大きい反面に、視野のコントロール性のみに依存しているというのが現状である。

将来は次のような

- 1) 明暗及びエネルギーコントロール効果
- 2) 不透明時のカラー化
- 3) プロジェクタによらない場合での自律的なディスプレイ化

といった機能が加えられると調光ガラスの展望及び用途も更に大きく開けてくると考えられる。

参考文献

- (1) 新しい液晶ディスプレイの原理と応用 電子応用技術 1987年12月
- (2) 液晶ビデオプロジェクタ技術 1990年 ト

リケップス刊

- (3) Switchable Glass, GLASS DIGEST, July, 15, 1987

|||||筆者紹介|||||

北村 博 氏



日本板硝子(株)硝子建材開発部 主席技師補
1949年横浜市生まれ。法政大学工学部計測制御専攻卒。電磁誘導加熱器、ピッチ系炭素繊維等の開発を経て、調光ガラスの開発に従事。

お詫びと訂正

本誌前号(Vol. 17, No.2)27~30頁に掲載の“21世紀への提言”エネルギー、環境問題に向けて今、何をすべきか（藤井石根・著）の

文章に多数の誤りがありました。読者並びに著者に深くお詫び申しあげると共に、以下のとおり訂正させていただきます。
【編集部】

誤	正
27頁左段、上から5行 まだそれ程古い語では……	まだそれ程古い話では……
〃 右段、上から15~16行 ……侵攻によって、世界のコ オルギー情勢は……	……侵攻によって、世界のエ ネルギー情勢は……
〃 下から4行 数捨年前の語になるが、……	数拾年前の話になるが、……
〃 下から1行 あと数捨年位は利用……	あと数拾年位は利用……
28頁左段 上から14行 集い合うことも予想……	奪い合うことも予想……
29頁左段 上から3行 …人達にも一称にその弊害が…	…人達にも一様にその弊害が…
〃 下から15~16行 b)再生可能なエネルギーの積極的な活用くら いしかまず考えられまい。そのためには	b)再生可能なエネルギーの積極的な活用 (編集部 注: 行変え) くらいしかまず考えられまい。そのためには、
〃 右段 上から5行目 ……我が国の場合、1兆数百億円もの巨費が	…我が国の場合、1兆数千億円もの巨費が