

# 高分子分散型液晶素子の調光窓への応用

日本板硝子ウムプロダクツ(株)技術部

矢野 祐一

## Polymer-Dispersed Liquid Crystals for Light Controlled Windows

Yuichi Yano

R & D Dept., NSG UMU Products Co., Ltd.

### 1. 調光窓

建築や自動車などの居住空間において、光を介した外部との接点、あるいは内部間での接点として窓が存在する。この窓の部材として、透明なガラス板やプラスチック板が用いられているのは、多くの人の知るところである。

生活様式が多様化するにつれ、窓に要求される機能は年々高まりつつある。そのような要求に対し、既に色や明るさの異なる様々なガラスが開発され、実用に供している。しかしながら、それらのガラスは外部環境の一部に対しての機能を維持することは可能であるが、その変化に応じて居住空間を常に快適に保つことはできない。

そのようなより高度な要求を満たす、光学性能を可逆的に制御しうる技術を用いた調光窓の実現が望まれている。その部材を供給する立場にある我々にとって、調光ガラスは夢のガラスとして、長年にわたり研究開発が行われてきた。

このような調光ガラスに求められる機能としては、

- (1) エネルギー制御（吸収や反射度合いの

変化による）

- (2) 採光制御（透過や反射の角度変化による）

- (3) 透視性制御（散乱度変化による）

が要求され、次のような材料や素子がある。

### 2. 調光材料

古くから知られている調光可能な材料として、クロミック材料が挙げられる。クロミックとは何らかの外部刺激に対して光を吸収する性能が変化することを指すもので、高いエネルギー制御効果が期待できる。

その外部刺激によって、光（特に紫外線）により変化するフォトクロミック、熱により変化するサーモクロミック、電気により変化するエレクトロクロミックに分けられる。特に人為的に制御しやすいエレクトロクロミックはもっとも盛んに研究開発されている。

しかしながら、電流駆動であるために大面積化により応答速度が非常に遅くなること、また、その性能変化が電気化学反応のため非常に高い可逆性がないと実用に供する耐久性が得られない、という欠点を有している。

以上のような欠点を原理的に回避できると考えられる電圧駆動型の素子は、調光窓への応用が有望であると考えられる。

その代表例として、ディスプレイ分野でCRTに代わるデバイスとして成功した液晶素子がある。液晶の光学および電氣的異方性を利用した捻れネマティック方式の液晶素子(TN-LCD)は、既にフラットパネルディスプレイとして現在不動の地位にあることは言うまでもない。TN-LCDは、2枚の透明電極付き基板間に液晶を配向して挟み込み、それをさらに2枚の偏光板で挟んだ構造を有しており、電氣的に液晶を駆動することにより、偏向光の透過率を変えることができる。

しかしながら、リタデーションによる精密な液晶層厚みおよび配向の制御が必要であるため、1 m角を越えるような大面積化は困難である。

これに対し、透明媒体中に液晶をカプセル化した高分子分散型液晶素子(PDLC: Polymer dispersed Liquid CrystalあるいはNCAP: Nematic Curvilinear Aligned Phase)は、原理的に精密な厚みや配光の制御が不要なことから大面積な調光窓に最も有望な材料として、実用化に踏み出した。

### 3. 高分子分散型液晶の構造・動作原理

高分子分散型液晶は、ネマティック液晶の小滴が透明なポリマー・フィルム中に分散した構造をしており、その断面は図1に示すように

なる。

一般に、ネマティック液晶は電気光学異方性を持つ棒状分子として表され、近傍に存在する界面(TN-LCDでは配向膜)に沿って配向する性質を持つ。液晶がカプセル化された状態では、外部から電界が印加されない場合、図1(a)に示すように、液晶はカプセルの内壁に沿って配向する。入射光は、ポリマーと液晶の屈折率差および液晶の複屈折性によって、カプセル表面や内部で屈折する。その結果、光は直進できず散乱し、曇りガラス状になる。

図1(b)に示すように、電極間に電界が印加されると、誘電異方性が正の液晶ではその長軸方向を電界方向と平行に並ぼうとするため、液晶は電極に対して垂直に配向する。ここで、常光屈折率がポリマーの屈折率に等しい液晶であれば、液晶とポリマーの屈折率差はなくなり、光学的に界面のない状態となり、入射光は散乱せず直進する。その結果、透明となる。

このように、高分子分散型液晶素子は、電圧により散乱状態と透明状態を制御することができる。

### 4. 作製方法

高分子分散型液晶を作製する方法として、大きく次の2つに分けることができる。

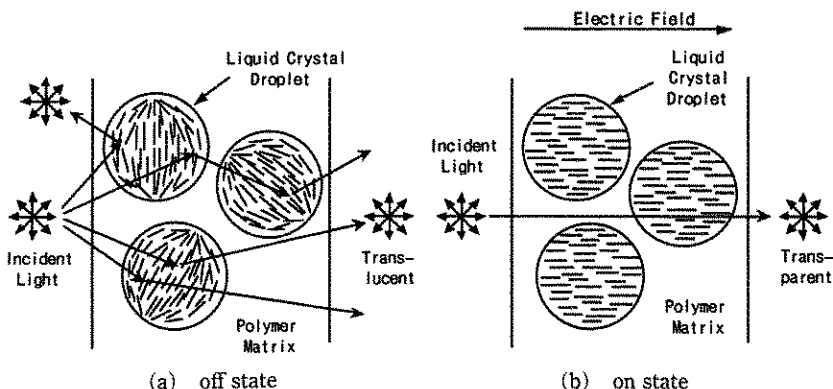


Fig. 1 Structure of PDLC

- (1) エマルジョン方式：液晶とポリマーを含むエマルジョンを作製し、それを基板上に塗布・乾燥することによって、水分を除去したフィルムを得る。
- (2) 相分離方式：液晶をモノマーやオリゴマーに溶解し、2枚の基板間に注入後、紫外線や熱で硬化する。あるいは液晶とポリマーを溶媒に溶かし、それを基板上に塗布・乾燥することによって、溶媒を除去したフィルムを得る。

我々は、大面積化に有利な前者を採用し、透明電極付きポリエステル基板を用い、約1m幅の高分子分散型液晶フィルムを連続的に生産している。

## 5. 調光窓への応用

高分子分散型液晶は1981年にJ. L. Fergusonにより発明された。そのライセンスを取得した米国タリック社と日本板硝子(株)との共同開発により、現在の調光ガラス「UMU」(高分子分散型液晶を2枚のガラス板で挟み込んだ構造)がある。そして今は、その開発・製造・販売をする会社として日本板硝子ウムプロダクツがある。UMUは商品名であり、散乱状態と透明状態を切り替えることにより、それを通して向こうが見えたり(=有:U)、見えなかったり(=無:MU)することからつけられた。

調光窓への要求、そしてUMUとして商品化された高分子分散型液晶の原理や作製方法は既に述べたとおりであるが、その開発過程において、以下に示すような多くの問題を克服することによって現在のUMUがある。

(1) 調光性能：UMUは印加電圧により散乱状態と透明状態を変えることができる。それは、平行透過率 $T_p$ が印加電圧により大きく変化する(図2参照)ことから理解できる。しかしながら、散乱した透過光を全て捕らえると(全透過率 $T_t$ )、図2に示すように、印加電圧に対してほとんど変化しない。このことは、調

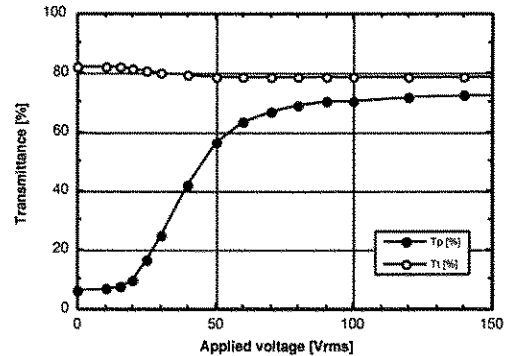


Fig. 2 Dependence of applied voltages on transmittance

光ガラスに求められる機能のうち、透視性や採光を制御できるものの、エネルギー制御機能がないことを意味する。

改良を重ねた結果、カプセルの表面積やそこでの屈折率差を大きくすることで全透過率を約30%変化できることがわかった。電圧を印可していない状態で、散乱光が入射光側に反射することによって全透過率が低くなったためである。このように、調光ガラスに求められる3つの主機能を、十分ではないがある程度満足したUMUが開発できた。しかし、ユーザーの視点では、ガラス窓は透明なのが常識であり、それが必要なときだけ曇るのがUMUと受け入れられるのである。原理的に基板に垂直な方向に透明でも、液晶の複屈折性により角度を変えると液晶とポリマーの屈折率差が増大し散乱度合いが大きくなる。面積が大きいほど、人はより広い角度からUMUを見ることになり、透明状態でのわずかな散乱が非常に気になることになる。全透過率変化を大きくするためには液晶の複屈折性を大きくしなければならず、透明時に残る散乱度合いは大きくならざるを得ない。

このような相反する性能を最適化することが不可能とわかり、PDLCの特性を生かした透視性の制御に優れた調光体を開発することとなった。そのために、視野角特性も含めた透明時

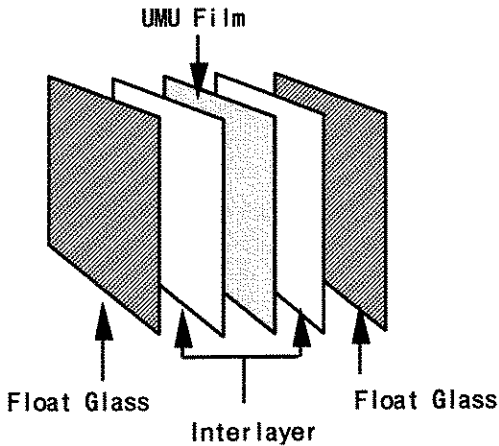


Fig. 3 Structure of UMU glass

の透明度を良くするには、液晶の複屈折性を小さくしなければならない。しかし、その場合は散乱度合いも小さくなり、遮蔽性が低下する。これは、カプセル径、カプセル径分布、そしてセルギャップの最適化により克服された。このようにして、透視性の制御に優れたUMUが

完成した。

(2) 素子構造：上述の調光性能が得られたのは、UMUフィルムであり、大面積化は可能である。しかしながら、建築や自動車に応用するには、自己支持性があり、厳しい環境下での高い耐久性能が必要である。そこで、図3に示すように、UMUフィルムを熱可塑性樹脂（中間膜と呼ぶ）を介して2枚のガラス板で挟み込む構造を考案した。このことによって、1mを越える大面積でも平板状態で自己支持が可能で、従来よりある合わせガラス以上の機械的強度を有する窓部材が得られた。さらに、耐久性においては、中間膜による紫外線の遮断、周辺封止による液体や気体の進入阻止、そして熱的安定性の向上により、約10年間の屋外使用に耐えうる調光ガラスが完成した。

以上のようにして、視野制御機能と窓部材に用いるための耐久性に優れた大面積の開口を提供する調光ガラスUMUが得られた。