

## 瞬間調光ガラス「ウム」の技術と用途

日本板硝子ウムプロダクツ株式会社 技術開発部

森谷 朋博

### Technologies and applications for switchable light control glass “UMU”

Tomohiro Moriya

Technical Development Division, NSG UMU PRODUCTS CO., LTD.

#### 1. 概要

瞬間調光ガラス「ウム」の基本技術は、液晶素子のひとつである PDLC（高分子分散型液晶）に分類される。その最大の特徴は、透過光の拡散率を電氣的に制御できることである。その技術を利用し、20 年以上前に建築、車両用分野でも利用可能な大面積の製品が実用化され、現在の調光ガラス分野においては最も普及している製品となっている。本稿ではその基本技術（調光原理、構造）ならびに当社製品（特性、用途）について紹介する。

##### 1) 基本構造

瞬間調光ガラス「ウム」の製品構造を図 1 に示す。最終製品であるウム（図 1：右）はウムフィルム（図 1：左）を一般的方法で合わせガ

ラスにしたものである。ウムフィルムは 2 枚の透明導電膜付き PET フィルムと、液晶とポリマーで構成される中間層で構成されるが、図に示す様に、液晶は直径数ミクロン程度の大きさにカプセル化されポリマー中に分散させている。

##### 2) 基本技術

前述の通りこの技術は PDLC（高分子分散型液晶）と呼ばれる液晶素子に分類されるが、その基本技術は 1981 年に J.L.Ferguson によって発明されたものである。現在この技術は調光ガラス分野以外では利用されていないものの、その当時は LCD の大面積化においてセルギャップ制御が重要な課題でありそれを解決する手段として画期的な技術であった。

その後、現在の調光ガラスが製品化されるに至るまでの大まかな経緯を下記に示す。

1981 年 J.L.Ferguson がカプセル化液晶技術を発明。その技術を基に、米国 Taliq 社が調光フィルムを開発。

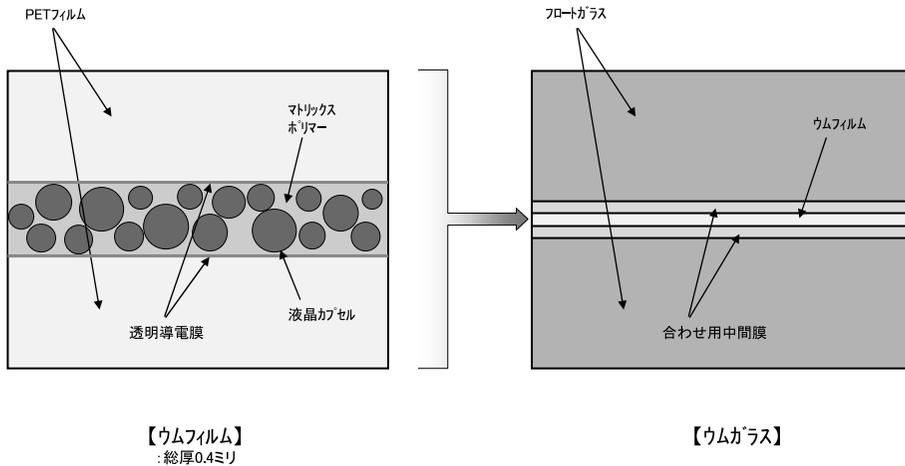


図1 製品構造

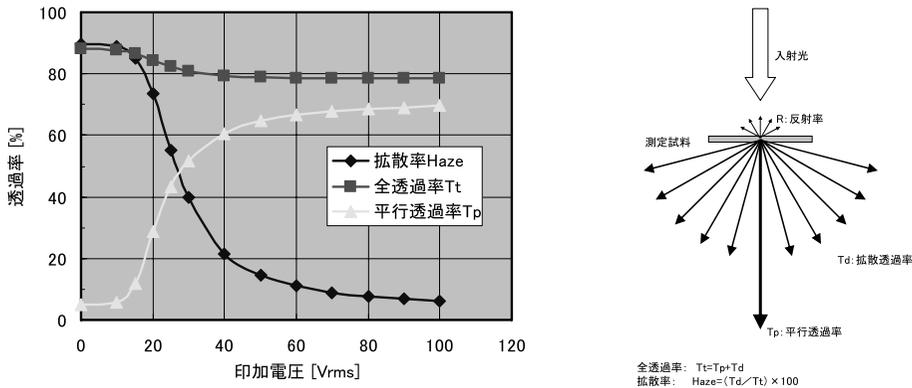


図2 電圧依存性

- 1986年 日本板硝子 (NSG) 社が Taliq 社と契約, 調光ガラス「ウム」の開発・販売を開始。
- 1992年 Taliq 社の事業撤退を機に NSG 社で権利を譲り受け, 独自で調光フィルムの開発・製造を開始。
- 1996年 事業を分社化し, 日本板硝子ウムプロダクツ社を設立。

3) 特徴

最大の特徴としては, 透過光の拡散率を電気的に制御出来る事, すなわち透視/不透視を電気 ON/OFF で簡単に切り替えられるところにある。

図2に示す様に, 印加する電圧の大きさに応じて拡散率 (Haze) は変化し, 電圧を加えない状態では拡散率は90%程度であるため不透視状態であるが, 電圧を大きくしていくと拡散率は徐々に減少し100V印加時には拡散率は10%以下まで減少し透視状態となる。

ただし電圧によって透過光の拡散率は変化するが, 透過率自体 (全透過率) はほとんど変化しないため透過光の明るさは変わらない。

この他の主な特徴として下記の項目が挙げられる。

- ・ 応答速度: 高速。不透視→透視が約 1/1000 秒, 透視→不透視が約 1/100 秒。

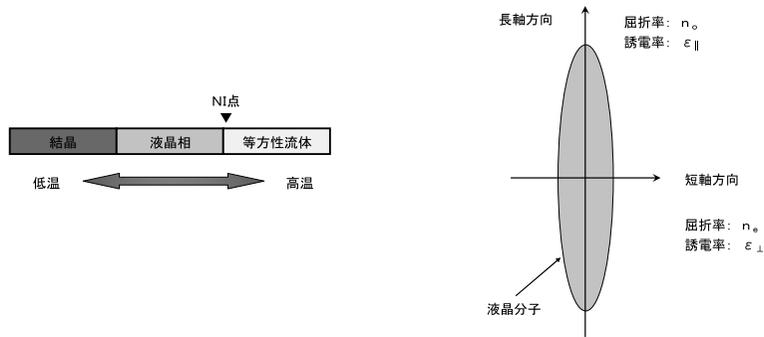


図3 液晶の性質

- ・消費電力：1 m<sup>2</sup>あたり約 3.5 W と小さい。
- ・耐久性：耐用年数 10 年以上。外装窓などの厳しい環境でも使用可能。
- ・大寸法：最大寸法 2,750×1,800 mm（フィルム 2 枚投入時）。
- ・スクリーン用途：プロジェクター用スクリーンとしても使用可能（スクリーンタイプ）。

## 2. PDLC 技術

### 1) 液晶の性質

PDLC の原理を説明する前に、その基本材料となる液晶材料の性質について触れる。通常の物質では結晶状態から温度を上げていくと液体状態（等方性流体）に変化するが、液晶にはその間に光学的異方性を示す液体状態（液晶相）が存在する。光学的異方性とは屈折率や誘電率が分子の軸の方向（長軸、短軸）により異なる性質で、屈折率、誘電率の異方性をそれぞれ  $\Delta n$ 、 $\Delta \epsilon$  とすると以下の式で表される。

$$\Delta n = n_e - n_o$$

$$\Delta \epsilon = \epsilon_{||} - \epsilon_{\perp}$$

$n_o$ ：屈折率（長軸方向）

$n_e$ ：屈折率（短軸方向）

$\epsilon_{||}$ ：誘電率（長軸方向）

$\epsilon_{\perp}$ ：誘電率（短軸方向）

### 2) 調光原理

PDLC はこの様な液晶の性質を利用し、液晶

と等方性媒体（以下、マトリクスポリマー）との間に無数の 3 次元的曲面を持つ界面（以下、カプセル）を形成したことを特徴とする技術である。電圧を印加した状態、印加しない状態における液晶分子の振り舞いおよび入射光の進路の概念図を図 4 に示す。

電圧を印可した状態（ON 時）ではその電圧に応じて電極間に電界が生じるが、前述した液晶の誘電率異方性により、 $\Delta \epsilon$  が正の場合、液晶分子は長軸方向が電界方向に平行となる様に配向する（図 4：右）。その際、液晶の長軸方向の屈折率がマトリクスポリマーの屈折率に等しくなる様に、すなわち以下の式

$$n_o = n_p$$

$n_o$ ：液晶の長軸方向の屈折率（常光線屈折率）

$n_p$ ：マトリクスポリマーの屈折率

が成り立つ様にあらかじめ設計しておけば、液晶とマトリクスポリマーの屈折率が整合するため入射した光は反射・屈折されることなく直進し、透視状態となる。

一方、電圧を印可しない状態では（OFF 時）液晶分子同士は自身の内部エネルギーを最小にする様に整列するが、カプセル表面付近の液晶分子はマトリクスポリマーからの規制を受け、カプセルの壁面に添って配向する（図 4：左）。その際、巨視的に見れば液晶分子はそれぞれあらゆる方向を向いている事と等しく、その場

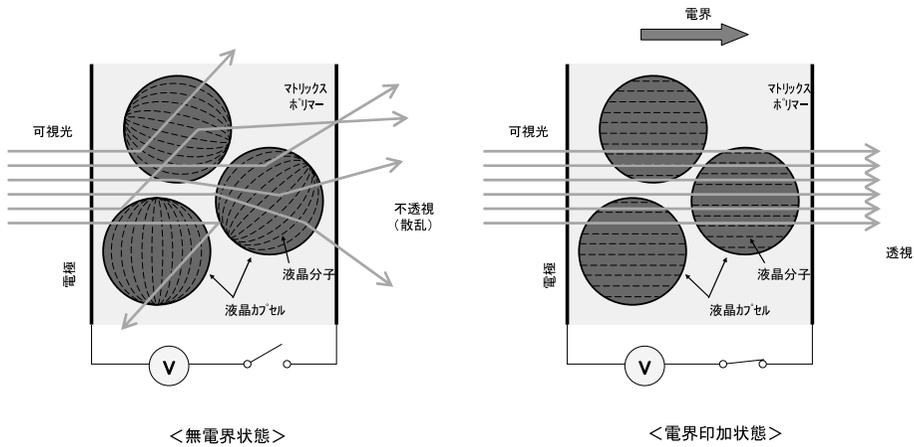


図4 調光原理

表1 特性を決める主なパラメーター

		小	↔	大
液晶 Δn	遮蔽性(OFF)	低下		向上
	透明性(ON)	向上		低下 (視野角が狭くなる)
液晶カプセル径	遮蔽性(OFF)	向上 (カプセル表面積増による)		低下
	透明性(ON)	低下 (同上の理由)		向上
液晶含有率	遮蔽性(OFF)	低下		向上
	透明性(ON)	向上		低下
セルギャップ	遮蔽性(OFF)	低下		向上
	透明性(ON)	向上		低下
	駆動電圧	低電圧駆動		高電圧駆動

合、液晶の屈折率は長軸・短軸方向の平均値となり以下の式で表される。

$$n_{LC} = (2n_o + n_e) / 3$$

$n_{LC}$  : 液晶の平均屈折率

$n_o$  : 液晶の長軸方向の屈折率 (常光線屈折率)

$n_e$  : 液晶の短軸方向の屈折率 (非常光線屈折率)

したがって、 $n_o = n_p$  の場合、

$$n_{LC} \neq n_p$$

が成り立ち液晶とマトリクスポリマーの屈折率

は整合せず、入射した光はカプセルの表面および内部で反射、屈折を繰り返し、不透視状態となる。

### 3) 素子設計

製品として実用化するためには、ON時の透視性およびOFF時の遮蔽性(不透視性)について、素子として最適化する必要がある。製品特性を決定付ける主なパラメーターの一部を表1に示すが、OFF時の遮蔽性とON時の透視性に関しては基本的にトレードオフの関係にある事が分かる。

表2 製品特性 (フィルム)

特性		単位	モード	標準タイプ	スクリーンタイプ
電気特性	抵抗	[ $\Omega$ cm <sup>2</sup> ]	ON/OFF	3.0E+07	2.0E+07
	消費電力	[W/m <sup>2</sup> ]	ON	2.5	3.5
光学特性	ヘイズ率	[%]	OFF	86	93
			ON	6	12
	平行光線透過率	[%]	OFF	5	1
			ON	74	74
	全光線透過率	[%]	OFF	86	84
			ON	78	78
電気光学特性	飽和電圧	[Vrms]		45	78
	応答速度	[msec.]	OFF→ON	0.34	0.78
			ON→OFF	15	6

ON : AC100V-50Hz

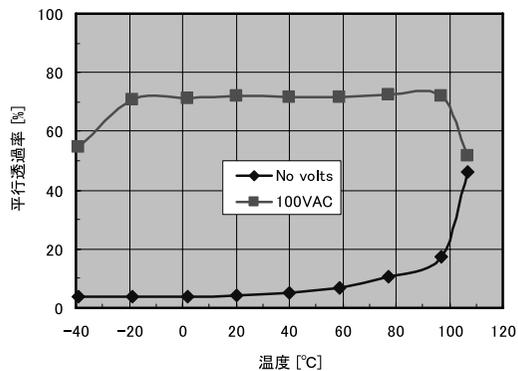


図5 温度特性

### 3. 製品特性

#### 1) 電気・光学特性

前項で述べたパラメーターに関して当社で最適化を行い製品化したものの電気光学特性を表2に示す。透視性を重視した標準タイプと、遮蔽性およびスクリーン性能を重視したスクリーンタイプの2種類の製品を用意している。

#### 2) 温度特性

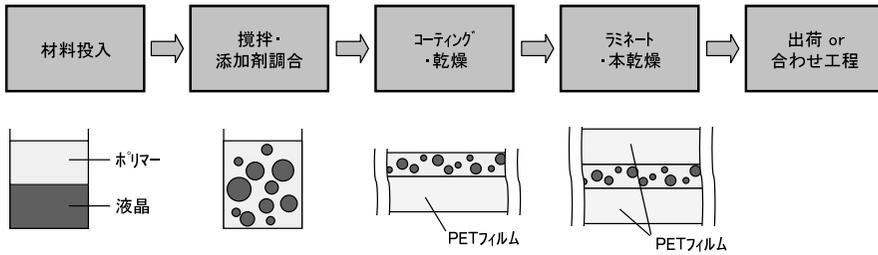
調光ガラスを建築外装や車輛の窓などに利用する場合は、広い温度範囲で安定した性能を発揮することも重要な要素となる。図5は当社

製品における温度特性を示したものだが、高NI点 (NI点：Nematic-Isotropic 転移温度, NI点以上では異方性消失) の液晶材料を採用する事で比較的高温まで性能を安定させる事ができる。

### 4. 製造工程

調光ガラスの製造工程を図6に示す。液晶とポリマーを高速攪拌し液晶カプセルがポリマー中に分散させた状態にした調合液を透明電極付きPETフィルムにコーティングし、もう1枚のPETフィルムでラミネートする事でUMフィルムが製造される。その後フィルムを必要な

【フィルム工程】



【ガラス工程】

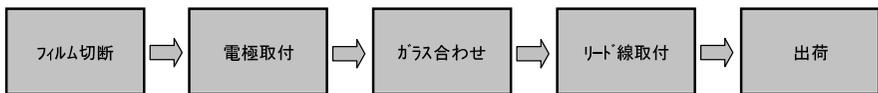


図6 製造工程

サイズに裁断し電極を取り付け、合わせガラス加工し最終製品となる。

5. 用途

最後に調光ガラスの施工例を2つ紹介する。

製品用途の中で最も多いのは会議室や応接室のパーティションであり、全需要の7割以上を占める。図7の写真は会議室に用いられた施工

例であるが、会議中はガラスを不透明にしプライバシーを保ち、それ以外の時間は透明にする事で閉塞感を無くし空間の広さを演出している。

図8は自動車のルーフ窓に用いられた例である。日差しが強い日には不透明にする事で外光を和らげ眩しさを低減する事が出来る。



【OFF】



【ON】

図7 施工例1 (会議室パーティション)



図8 施工例2 (自動車ルーフ窓：メルセデス・ベンツ)