

温度に応じて太陽光の透過光量を自律制御できる液晶複合材料を開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以下「産総研」という）は、神戸市立工業高等専門学校（以下「神戸高専」という）、大阪有機化学工業 株式会社（以下「大阪有機」という）と共同で、液晶と高分子の複合材料を開発した。これは、二枚のガラス基板の間に混合原料を満たし硬化させて作製することができ、構造が単純で作製が容易であるため、調光ガラスなどに応用可能である。この複合材料は、温度変化によって透明度が切り換わり（低温で透明、高温で白濁）、同時に光の前方散乱強度が変化する性質を有する。これにより、近赤外領域を含む光の全透過量を可逆的に 20%以上変えることができる。

今回、液晶の光学的な性質が転移温度で変わることに着目して、液晶と高分子からなる熱応答型の複合材料を開発した。これを用いた調光ガラスは、生活温度付近で、透明と白濁状態が切り換わり、光を入射してきた方向と反対側に散乱させる光（後方散乱）の強さが変わるため、前方への光の透過量(全透過率)を変えることができる。この調光ガラスを窓に使えば、煩雑な配線などが不要で、日常の温度変化に応じて太陽光を調光でき、製造・施工・運用の面で有利である。また、開発した複合材料は薄い固相なので、ガラスの代わりにプラスチックフィルムで挟み、後貼りの調光フィルムとしての展開も見込まれる。本開発は、住宅や移動体などの暖冷房負荷を抑える省エネ部材として期待される。



今回開発した熱応答型調光ガラスの概要図

左が低温時(約 25°C)透明、右が高温時(約 50°C)白濁の状態。30~40°C付近で透明と白濁が切り換わる。白濁時、試料後方 50 mm のカラーチャートが隠れ、照明で生じた試料の影が右下に現れている。

研究の内容

高分子ネットワーク液晶（PNLC）と呼ばれる液晶と高分子からなる複合材料を、二枚のガラス基板ではさんだ構造の調光ガラスを開発した。この調光ガラスは、液晶、モノマー

(高分子の原料)、重合開始剤の混合原料を二枚のガラス基板の間隙に満たし、紫外光を照射して重合させて作製される。今回開発した PNLC は、高分子の網目の中に液晶が満たされている構造(図 1)で、生活温度付近で、温度によって透明と白濁が切り換わり (図 2)、同時に全透過率が大きく変化する。図 1 に示すように、低温では、液晶分子が配向し、液晶相と高分子相の屈折率が一致するので、PNLC は光学的に均一となり透明になる。一方、高温になると、液晶分子の配向が乱れて屈折率が変化し、光学的に不均一になるため、光散乱が生じて白濁する。この時、光の散乱方向を入射側に向けることができれば、その分だけ全透過率を下げられる。

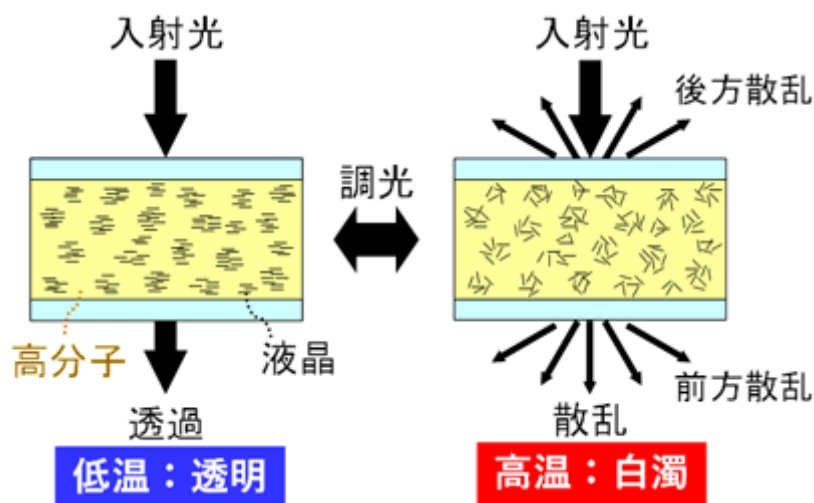


図 1 PNLC の調光原理

温度変化により、低温では透明状態、高温では白濁状態に切り換わる。

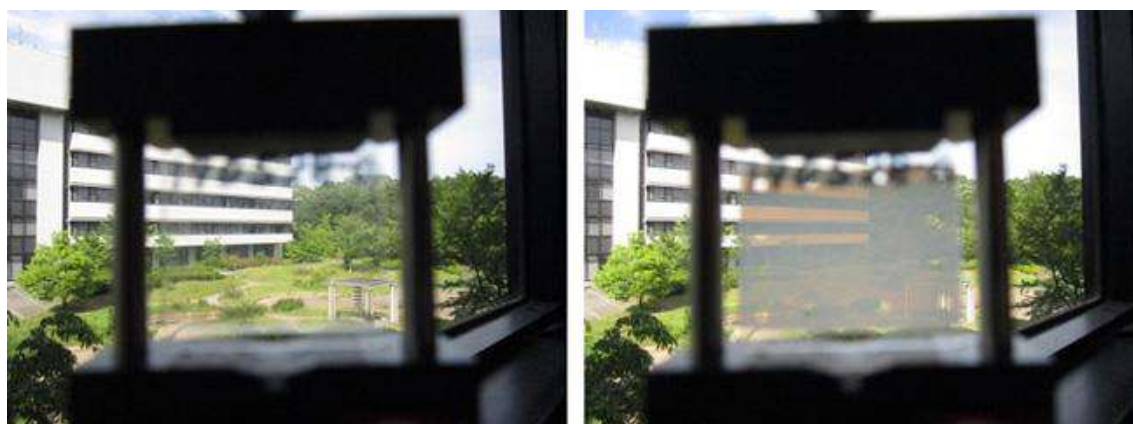


図 2 PNLC を調光させた際の窗外景色の様子

低温での透明状態(左)と、高温での白濁状態(右)。

今回、光重合で形成される PNLC の微細な構造を詳しく調べて、白濁状態では後方散乱が

生じて、透明と白濁の切り換えによって、全透過率が大きく変化する PNLC の構造を見出した。図 3 に今回開発した PNLC の性能を示す。全透過率は、図 3(a)中に示すように、試料前方に散乱した全ての光を検出した際の透過率で、今回開発した PNLC は 20% 以上の変化幅を示した。この変化幅は、既に実用化されている液系の調光ガラスと比べても引けを取らない。全透過率は、窓を想定した場合、窓への太陽光の全照射量に対する室内入射量の相対値に相当し、透明時と白濁時での全透過率の差が省エネの指標となる。また、透明状態での直進透過率は、従来の熱応答型の液晶複合材料並みの 70% を上回る値を達成した(図 3(b)と 3(c))。直進透過率は、図 3(b)中に示すように、入射光と同じ直進方向(ここでは拡がり角 10 度の範囲)の光強度をもとに算出した透過率で、透明さ(白濁の少なさ)の指標となる。本 PNLC の直進透過率は、太陽光を受けた際の窓ガラスの昇温速度に十分追従して変化できる。例えば、今回のガラス基板で挟んだ材料の温度を 30°C から 50°C に上げると、直進透過率は 30 秒以内に 80% 以上から 10% 以下に下がる。

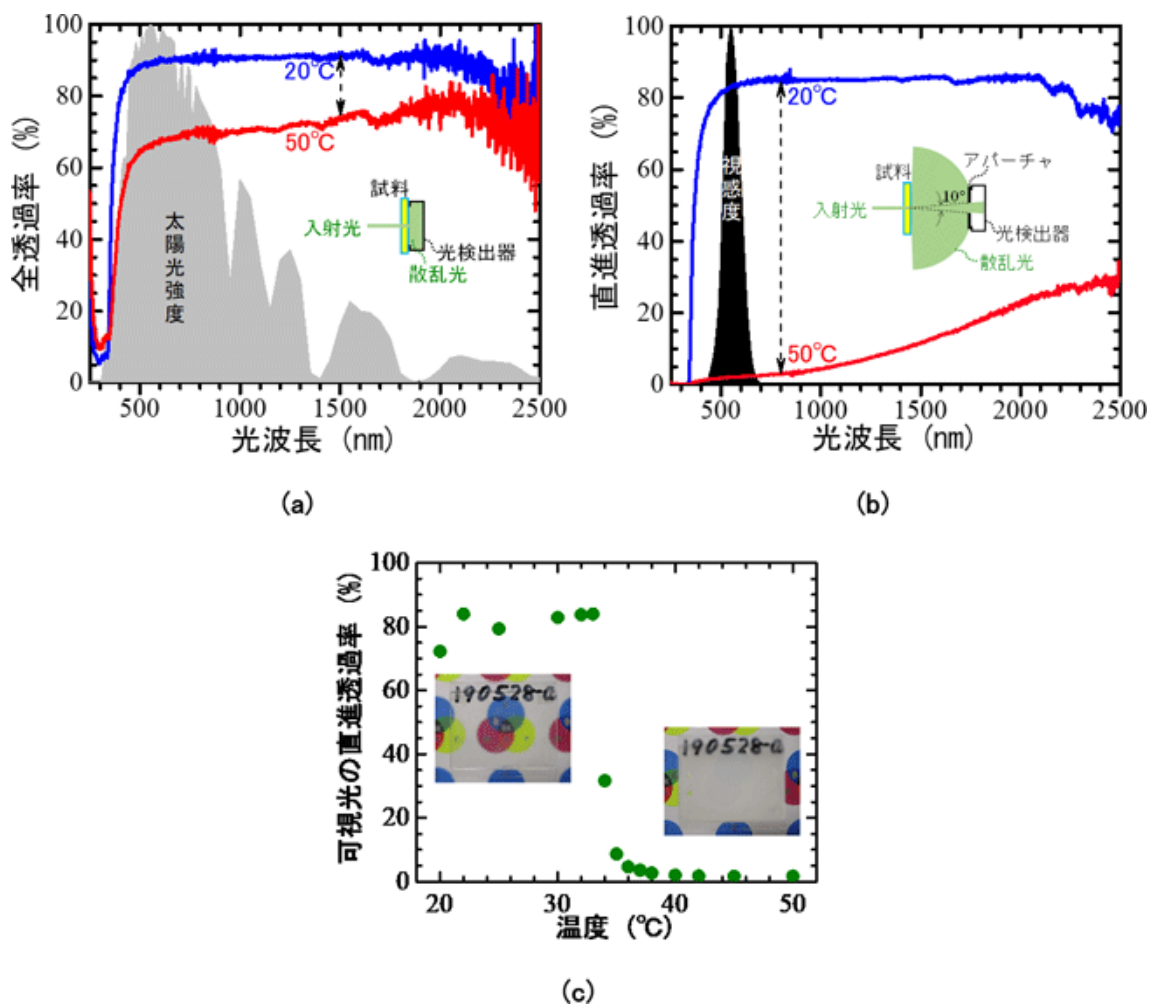


図 3 作製した PNLC の低温(透明状態)と高温(白濁状態)での分光透過率の例

(a) 全透過率、(b) 直進透過率のスペクトル、(c) 可視光の直進透過率の温度依存性。(a)中

の灰色の塗りつぶしは太陽光強度の波長特性。(b)中の黒色の塗りつぶしは、視感度（人間の目の光の感じやすさ）の波長特性。(a)と(b)中に、それぞれの透過率の測定光学系の模式図を示す。(c)中の写真は、約 25℃と 50℃での試料外観。

従来の液晶を用いた調光ガラスは、白濁現象を利用したプライバシーガラスとしての用途が主だったが、今回開発した全透過光量も制御可能な熱応答型の PNLC は、暖冷房負荷低減に有効な生活温度(今回の試料では 35℃)付近で調光が可能であるため、ガラスへ組み込めば省エネ窓ガラスとして期待できる。また、作製工程や動作原理が単純であるため、製造・施工・運用の面でも有利である。さらに、固相の薄膜として扱うことができるため、既築の建物などに後貼り施工できるプラスチックフィルム基板への展開も可能であり、調光フィルムへの応用など、一層の普及が期待される。

日文新聞发布全文

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190930/pr20190930.html

文：JST 客观日本编辑部翻译整理