

「日射透過を温度で調整する窓ガラスの開発」

産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 光熱制御材料グループ

垣内田洋

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

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 —室内への太陽光侵入量を電力無しで調整できる省エネ窓ガラスなどへ応用— ポイント

- 温度変化による相転移を利用して透明と白濁を切り換えられる液晶複合材料を開発
- 新規の液晶複合構造の開発により、前方への透過光量の制御に成功
- 建物や移動体の窓に貼り付けることで、暖冷房負荷低減に貢献

概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という) [構造材料研究部門](#)【研究部門長 吉澤 友一】光熱制御材料グループ 山田 保誠 研究グループ長、垣内田 洋 主任研究員は、神戸市立工業高等専門学校【校長 山崎 聡一】(以下「神戸高専」という)、大阪有機化学工業株式会社【代表取締役 社長 上林 泰二】(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隙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

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。

開発の社会的背景

近年、省エネが求められる中、住宅やオフィスビルといった建物の暖冷房負荷の低減にも注目が集まっている。とくに、温暖地での暖冷房負荷の低減には窓から入る太陽光透過量の制御が有効であり、夏は太陽光を遮り、冬は積極的に取り入れることが理想的である。調光ガラスは、外部からの刺激で太陽光透過を制御するガラスで、今後広く社会で用いられることが期待される建築部材である。その方式は、さまざまであり、例えば、電気で切り換える調光ガラスは、ユーザーの好みで自由に調光でき、建物だけでなく航空機や自動車などに普及し始めている。しかし、配線が必要であり内部構造が複雑であるため、設置条件やコスト面で課題がある。一方、温度変化で切り換わる調光ガラスは、透明電極や配線が不要であるため、構成が複雑にならず単独で設置することができ、電力などを必要としないという有利な面がある。

研究の経緯

産総研は、多様なニーズに応えるため、電気、ガス、温度に応じて光学特性が変わるさまざまな調光ガラスの開発を進めてきた([2011年2月15日](#)、[2014年5月12日](#)、[2017年12月5日産総研プレス発表](#))。その中で、ディスプレイ分野で中心的役割を果たしてきた液晶に着目し、調光ガラスへの応用を目指している。液晶を用いた調光ガラスは、電気で制御するタイプが既に上市され、フィルム化もされている。また、温度によって自発的に透明と白濁が切り換わる、熱応答型の液晶複合材料も報告されている。しかしながら、透明と白濁の切り換え特性を活用して、光の全透過率を制御するという試みは、これまで成功していなかった。単に白濁状態のみを実現するには、入射光を透過側に散乱(前方散乱)させるだけでよく、そのような材料は比較的容易に作製できる。しかし、これだけでは全透過率は下がらないので、プライバシーガラスとしては使えるが、省エネ用途には適さない。省エネ用途では、白濁時に全透過率を下げる必要があるが、それには光を入射方向とは反対の方向に散乱(後方散乱)させる、内部構造を有する材料を作らなければならない。しかし、温度によって後方散乱が変化する熱応答型の液晶複合材料の開発は格段に難しかった。

今回、産総研、神戸高専、大阪有機化学は、次世代型の省エネ窓ガラスへの応用を目指し、温度変化によって入射光の全透過率が大きく変わる、液晶と高分子の複合材料の開発に取り組んだ。

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。

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℃から50℃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。

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。

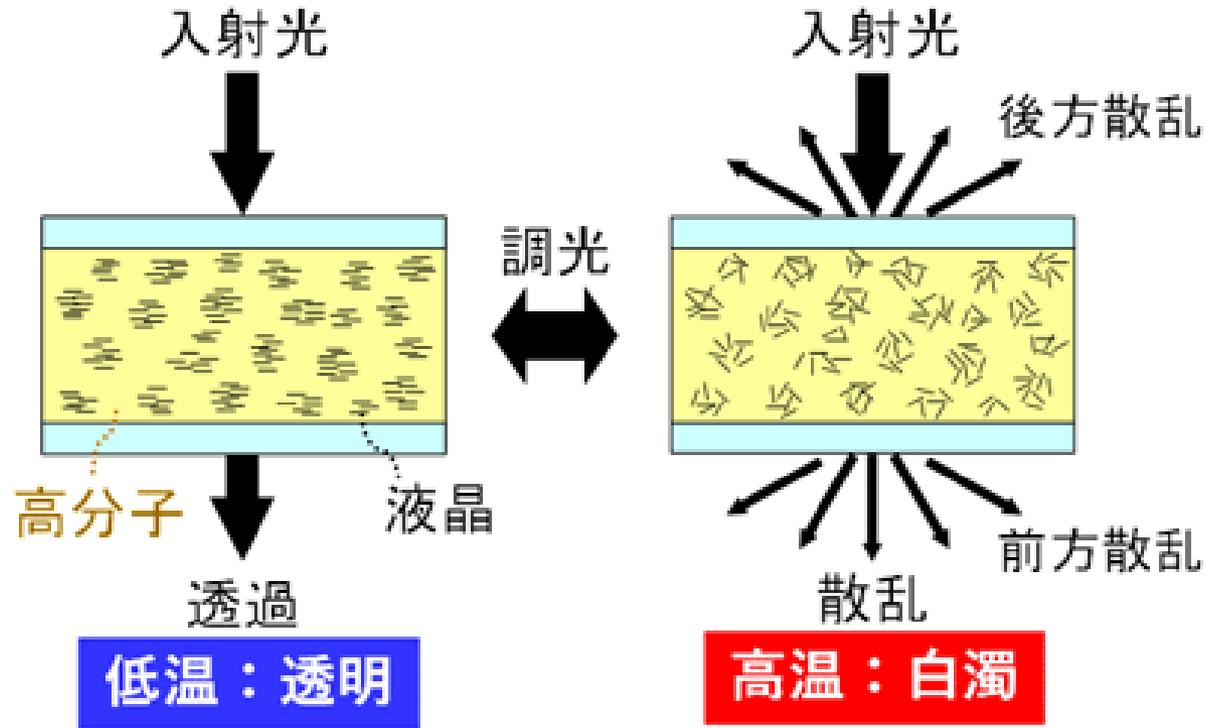


図1 PNLCの調光原理

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。

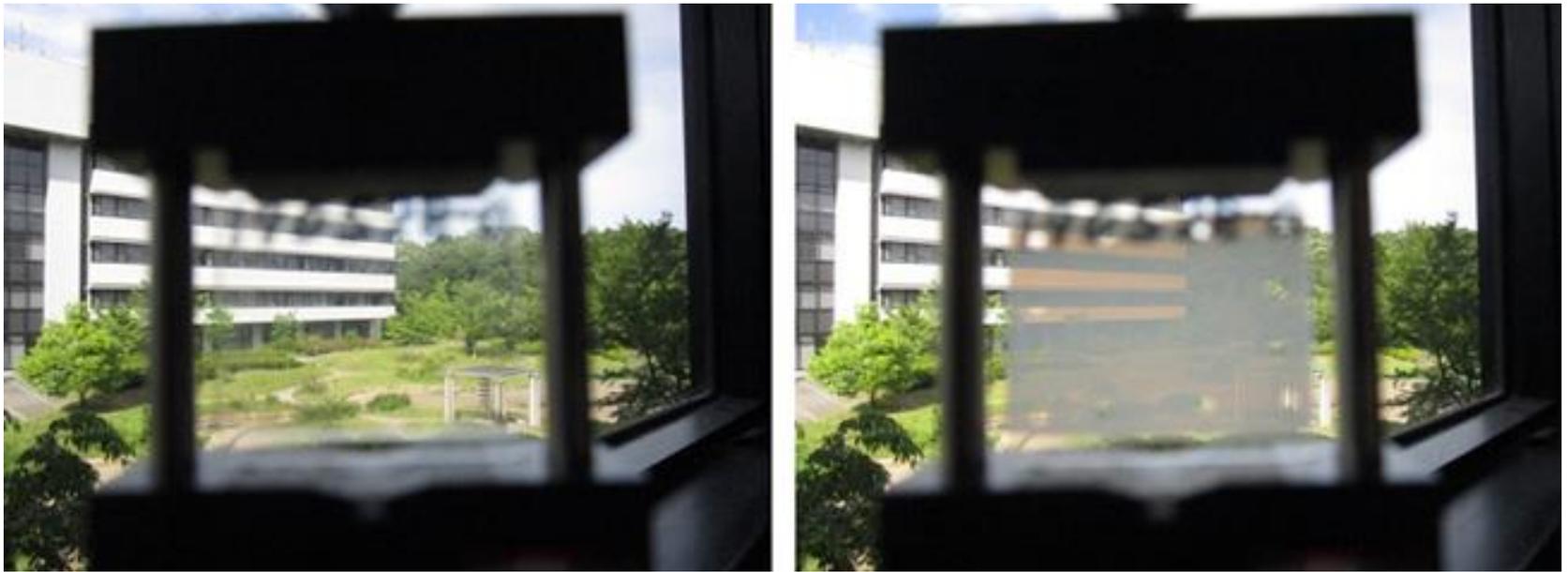


図2 PNLCを調光させた際の窓外景色の様子
低温での透明状態(左)と、高温での白濁状態(右)。



https://youtu.be/-5JJ_Qe3yg8

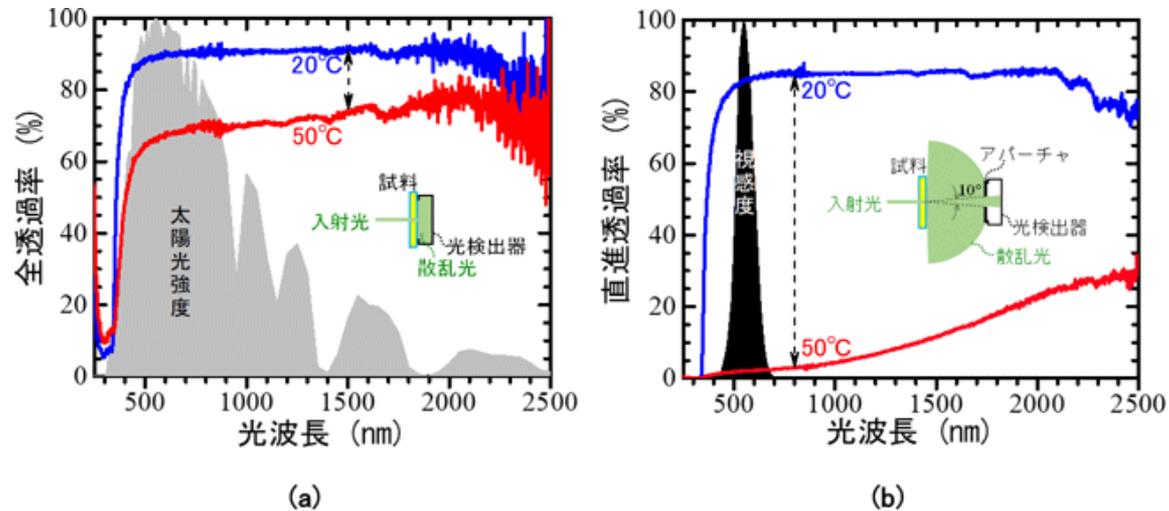


図3 作製したPNLCの低温(透明状態)と高温(白濁状態)での分光透過率の例

(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°Cと50°Cでの試料外観。

今後の予定

実用化に向けて、全透過率の変化幅の拡大と耐久性の向上に取り組む。また、今回実現したガラス基板を用いた調光ガラスは、新築建物などの窓ガラス施工が想定されるが、今後は、窓ガラスへの後貼り施工ができるプラスチックフィルム基板を用いた調光フィルムの作製技術開発に取り組む

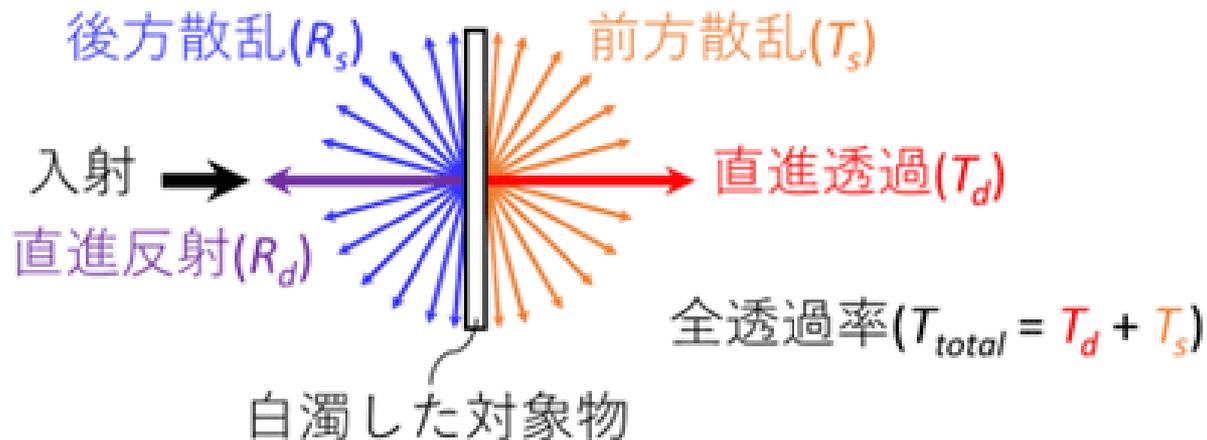
用語の説明

◆調光ガラス(フィルム)

電気や光、熱などの外部刺激によって光の透過量や反射量を制御できる層を有するガラス(プラスチックフィルム)。[[参照元へ戻る](#)]

◆前方散乱、後方散乱、全透過率、直進透過率

光を吸収しない対象物が散乱を生じ白濁している場合、対象物に入射した光は、四つの形態で伝播していく。まず、対象物をそのまま通過する直進透過光と前方に散乱して通過する前方散乱光、そして、反射して後方に戻る直進反射光と後方に散乱する後方散乱光である。これら四つの伝播光の強度の比率は、入射光強度に対する光強度として表され、それぞれ直進透過率(T_d)、拡散透過率(T_s)、直進反射率(R_d)、拡散反射率(R_s)と呼ばれる。全透過率(T_{total})は、直進透過率と拡散透過率の和となる。なお、拡散反射率は白濁度(ヘイズ)と呼ばれ、透明度の低さの指標となる。全透過率については、省エネ窓ガラスを想定する場合、太陽光強度が分布する(図3(a)の灰色のスペクトルで表現)波長域で考える必要がある。直進透過率は、本研究では、図3(b)中に示すように、拡がり角10度の範囲の光強度を検出した際の透過率とした。[[参照元へ戻る](#)]



◆生活温度

慣用的に認められた用語でないが、ここでは、日常生活で経験しうる温度として定義。気温だけでなく、窓や外皮などの表面温度も含める。[\[参照元へ戻る\]](#)

◆高分子ネットワーク液晶 (PNLC)

液晶と高分子の二相からなる微細構造を持つ複合材料。電気制御型の研究開発が多くなされ、窓だけでなく、表示機器や情報処理素子への応用が見込まれている。[\[参照元へ戻る\]](#)