


産総研は、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した。室内へ入る太陽光の量を電力なしで調整できる省エネ窓ガラスにできる。動作する温度は30～50℃の生活温度で、透明と白濁に切り替わる。窓に貼り付ければ、室内の冷暖房の負荷低減に貢献する省エネ効果が期待される。

機 関 名	 国立研究開発法人産業技術総合研究所 構造材料研究部門光熱制御材料グループ		
主力事業	外部の環境変化や刺激に応答して機能を可変できる素材の研究・開発		
所在地	〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1		
T E L	029-862-6301	U R L	https://unit.aist.go.jp/smri/ja/group/lhconmat.html
資 本 金	—	従業員数	—

【本技術の概要】

省エネ化が進む中、建物の暖冷房負荷の低減に注目が集まっている。とくに、暖冷房負荷の低減には窓から入る太陽光の透過量制御が有効であることが知られている。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。この対策技術の一つとして調光ガラスがある。

調光ガラスは、外部から電気などの刺激で太陽光透過を制御するガラスのことで、今後広く社会で用いられることが期待されている。電気で切り換える調光ガラスは、ユーザーの好みに自由に調光でき、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、このタイプは電気配線が必要であり、内部構造が複雑であることから設置条件やコスト面で課題がある。一方、電気を使わず、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なことから構成が簡単で、容易に設置することができるという有利な面がある。

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）構造材料研究部門光熱制御材料グループ等は、電力フリーで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した。

【本技術の基本原理】

産総研では、電気、ガス、温度などの外部の環境変化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が進められてきた。単に温度によって白濁化させ不透明状態とするのは、入射光を透過側に散乱(前方散乱)させることにより実現できるが、全透過率を下げることはできなかった。そのため、プライバシーを保護するガラスとしては使えるが、省エネ用途には適さなかった。この課題に対し、産総研、神戸市立工業高等専門学校、大阪有機化学工業(株)（本社：大阪市中央区安土町1-7-20）は、白濁時に全透過率を下げるため光を入射方向とは反対の方向に散乱(後方散乱)させ、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成功し、これらの課題を解決した。

図1には、左が低温時(約25℃)透明、右が高温時(約50℃)白濁の状態を示し、30～40℃付近で透明と白濁が切り換わることがわかる。白濁時、試料後方50mm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ことが分かる。



図 1. 今回開発した熱応答型調光ガラス

<基本原理>

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した高分子ネットワーク液晶（PNLC）と呼ばれる複合材料を二枚のガラス基板で挟んだ構造の調光ガラス板を開発。この PNLC は、高分子の網目の中に液晶が満たされている構造(図2)で、温度によって透明と白濁による不透明化が切り換わり、同時に全透過率が大きく変化する。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となり、光散乱が生じて白濁する。今回開発した PNLC の微細構造では、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を見出した。

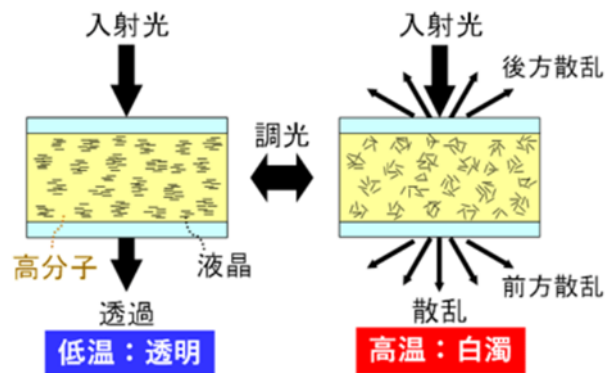


図 2. PNLC の調光原理

<PNLC の特性：透過率の低減>

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遜色がなかった。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、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)の指標となるものである。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追従して変化した。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%以下に低下した。

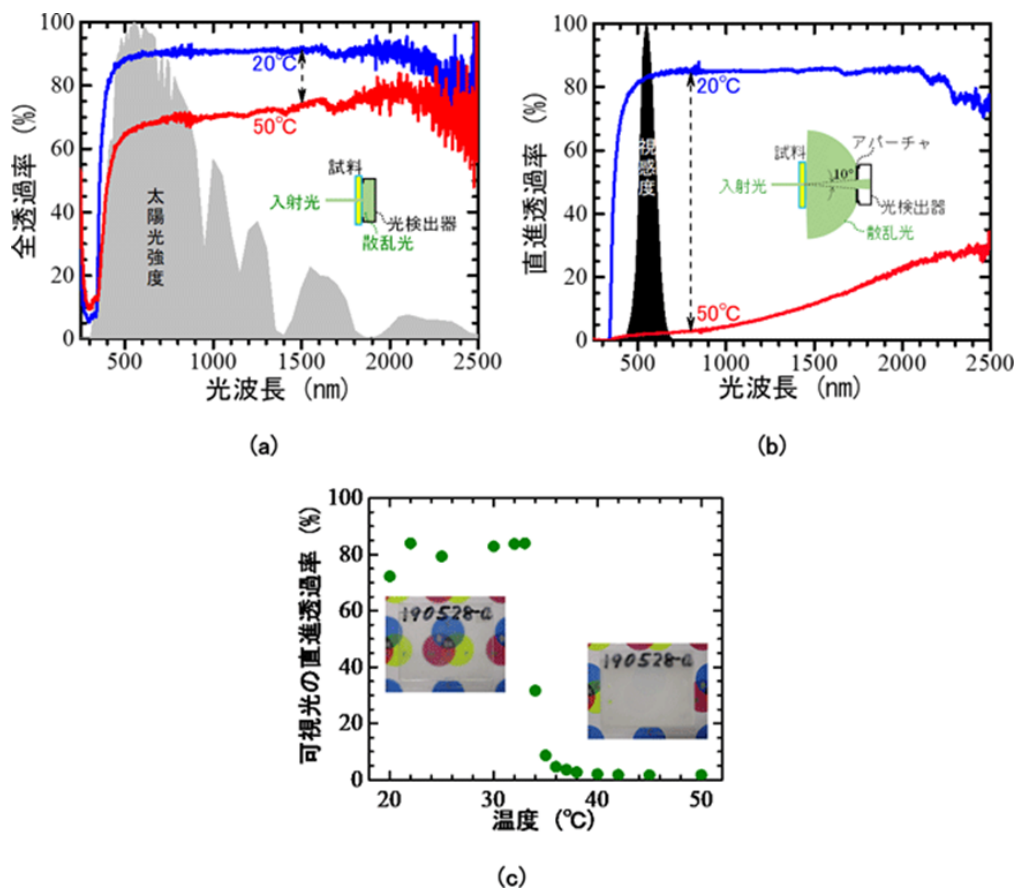


図3. 作製したPNLCの低温(透明状態)と高温(白濁状態)での分光透過率変化

<PNLCの特性：白濁化と透過率>

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、四つの形態で伝播する。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(Td)、拡散透過率(Ts)、直進反射率(Rd)、拡散反射率(Rs)と呼ばれる。全透過率(Ttotal)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。

【本技術の特徴】

- ① 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。
- ② 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した。
- ③ 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すると期待される。

【本技術の応用事例・想定用途】

① 具体的な事例

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。

② 取得技術・特許

- ・省エネ窓、温度視覚化などの関わる技術。他に熱光学挙動を原理とする応用分野。
- ・特開 2018-19345：液晶組成物、温度応答性調光素子およびその製法方法（共願）
- ・特許 6066057：液晶と高分子の配向相分離構造とその製造方法。
- ・Normal- and Reverse-Mode Thermo-responsive Controllability in Optical Attenuation of Polymer Network Liquid Crystals, ACS Appl. Mater. Interfaces, 11 (2019) 19404

③ 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。実用化への課題として、大面積化、フィルム化、省エネ効果の定量化、耐久性の向上があげられる。

専門家による目利きコメント

従来の調光ガラスに比べ、液晶とモノマーの混合原料から簡単な作製工程で製作できる。また、紫外光を照射するだけで、透明度が80%~数%、全線透過率が70%~90%である熱応答型の暖冷房負荷低減に有効な結果を得ることができた。さらに、後付けも可能な省エネ窓ガラスとしても本技術の応用が期待できる。

お問い合わせ

国立研究開発法人 産業技術総合研究所（産総研）
構造材料研究部門 光熱制御材料グループ