

自律応答型省エネ調光ガラスの開発

アフィニティー株式会社

渡辺 晴男

Intelligent Windows using a Hydrogel Layer for Energy Efficiency

Haruo Watanabe

Affinity Co., Ltd.

1. はじめに

筆者は、大手精密機械メーカーの研究所で、勃興期からフルカラーまでの長期間にわたり、液晶素子の研究開発に参加してきました。この経験が、本開発に大いに役立ちました。この液晶素子は、約30年前に米国のRCA社から動的散乱方式の液晶素子が発表され、同時に壁掛けテレビと電子カーテンの提案がなされた。筆者も参加したフルカラー液晶ディスプレイの開発は、約10年前にツイストネマチック方式で開発に成功し、ポケット型のカラー液晶TVとして商品化され当面の課題の解決をみた。

しかし、太陽の直射光線を十分に遮断して快適性と省エネ効果をもつ調光ガラスは、国際エネルギー機構(IEA)のプロジェクト(Task18: Advanced Glazing Materials for Solar Applications)にも取り上げられ世界的に研究開発が成されてきましたが、建築・車両等の窓ガラスの使用に耐えうるものはいまだなく、この20年来の課題とされてきた。

調光ガラスには、電気制御型と自律応答型の2類型に分類できる。電気制御型は、エレクト

ロクロミック方式、液晶分散方式等があり電気化学反応、電界等を用いて人工的に可逆変化させる。自律応答型は、自然の環境変化を感受して自然のエネルギーにより可逆的に動的変化して快適性と省エネ効果をもつ環境共生型である。エレクトロクロミック方式は、大面積化が困難、着色する等の問題があり、液晶分散方式は、電界効果型であり有望視されたが日射遮蔽性が弱い、透明状態での光散乱の残存等の問題がある。また、電気制御型は、どうしても構造が複雑になり大面積パネルを経済的に生産し難く、かつ施工時の配線も必要となる。

本開発の自律応答型省エネ調光ガラスは、上記の問題点を解決すると共に無毒性、耐久性も満たした。その結果を写真1,2に示す。写真



写真1 The panel was changed and partially shielded by solar energy. The size was A4.

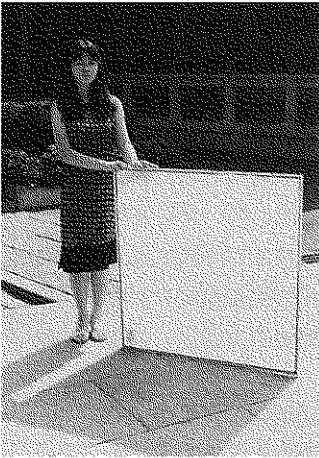


写真2 The panel changed to the paper-white state with enough shadow by solar energy. The size was a square meter.

1は、温度分布に応じて階調変化をもって白濁遮光したパネルであり、写真2は、均一に白濁遮光した1m角サイズの大面積パネルである。

2. 研究開発の動機と展開

筆者は、未解決の課題であった建築・車両の窓ガラスの使用に耐えうる光学素子の開発に挑戦するために、スピン・オフして1990年に研究開発型の小さなベンチャー企業を自己資金で設立して現在に至っております。

この時から、自然環境と太陽エネルギーの利用を漠然と考えておりまして、電子制御による人工的な方法を用いることなく、人に快適で楽しい窓設計を可能にする新しいガラスを研究開発の課題におき、仕事をスタートさせました。このとき、既にインテリジェント材料の考え方をしておりました。しかし、初めての会社設立であり、技術開発以前にやる事、理解すべき事が多々あり、何から何まで全てが新しい経験でした。しかし、種々の社会制度は、一度経験すれば一応理解できました。大切な事は、価値ある新しい事実を見出しかつその周辺技術までを

理解することにあります。この新規性を基点として、興味をもって頂いた会社と契約書を交わして、生み出した情報を有償で提供することで研究開発を継続してきました。

自律応答型の調光ガラスは、太陽光線の光作用または熱作用を用いることになります。光作用によるホトクロミック変化は、既にも有機・無機材料ともに膨大な研究がなされてきており、また筆者の専門でもなく、分子構造からして耐久性を満たし難いといえ、かつ可逆変化の作用機構が光・熱の競争反応になっている点も問題であった。筆者は、デバイスの研究開発に入る場合は、スタート時点から検討項目に耐久性のキーワードを入れるべきであると考えてきました。それは、多くの面白い仕事は、この耐久性を克服できずに消えているからです。

もう一方の熱作用を用いる方法は、通常は扱い難く付加価値の低いエネルギーとしてデバイス設計者から見なされ敬遠されてきました。しかし、窓を考えてみると、太陽光照射による無償のエネルギー供給と夏・冬の季節間の大きな気温差に着眼でき、太陽光線の熱エネルギーの利用が容易に想起できます。ただし、筆者が、この有用性に確たる認識をしたのは本素子の基礎実験とその観察を通してでありました。

筆者は、“Affinity”の社名からも理解して頂けるように分子間相互作用に基本的に興味をおいてきており、ここから何か有用な“新しい組成系”を見つけたいの一念で、感心のあった水溶液、ハイドロゲル、ライオトロピック液晶等の液体に注目しました。これらは、今まであまりデバイス設計に検討されてない水溶性分子、水性系組成物であり、さらに疎水結合に関与する水分子の場があります。その結果、ゾル-ゲル相転移の均一可逆変化を見出して、世界で初めて実用に耐えうる自律応答型の調光ガラスの開発に至りました。また、筆者は、実験中の組成系に新規性がありそうだと直感してから基本の完成までは、基礎的な書籍、友人・知人との議論等を介して多くの知識を積極的に導入

してきましたが、本課題に近い文献・書籍を探索して読むことは、あえてしませんでした。

その後、本素子の新規性を確認するために調査してみると、ハイドロゲルの応用による調光ガラスの提案は、1974年に米国のベンチャー企業により初めて示されていたが、それ以後も安定的に均一可逆変化しうる調光ガラスの開発に成功した報告はなく、ハイドロゲルの利用は困難と考えられて散発的な研究レベルで経緯してきました。これは、多くの研究者が、表示素子の影響から電気制御型の調光ガラスを本命と考えてきたためと思えます。また、自然・環境共生の概念が、工学者・技術者に今日ほどに理解されていなかったためと思われます。なお、その他の熱作用方式に、ポリマーブレンド、酸化バナジウム薄膜等もあるが、省エネ効果は弱く、耐久性・毒性等に難があり基礎研究レベルの報告であります。

3. パネルの構造と特徴

パネル構造は、図1に示したように、ガラス基板にハイドロゲルをスペーサーを介して積層・封止した単純積層体である。封止は、水の蒸発防止層と基板の接着固定層からなる多層構造を採用した。スペーサーは、大面積パネルの厚み制御に必要であった。なお、透明導電膜、発

熱ペースト、タングステン細線、ペルチェ素子等の熱素子を付加することで、電気制御型の調光ガラスにすることも容易にできる。

特徴は、つぎに示すように、実用化にあたり要求される項目を十分に満たすことができた。

1. 安定的に均一可逆変化する。
2. 遮光特性が急峻に大きく変化する。
3. 遮光の開始温度を自由設計できる。
4. 無色透明で着色・光散乱の残存が全くない。
5. 大面積化が容易である。
6. 十分な耐久性がある。
7. 無毒性である。
8. 低コスト、易施工性である。

このように、無色透明でギラ付き・着色をもつことなく光散乱で白濁遮光する調光ガラスは、白雲、霧が自然に生成・消滅するような現象を示し“生きた”ガラスといえる。自然な太陽光スペクトルをそのまま柔らかい散乱光状態で室内に取り込み、快適な照明効果を省エネで提供できる。このように、四季を通して自然に調光して、自然な開放感をもつ空間を省エネルギーで提供できる。

ただし、白濁散乱による遮光は、透視性の確保ができなくなるのでその点を検討した。自然に白濁遮光するとは、カーテン、障子等が快適性のために自動的に作動したのと同じである。

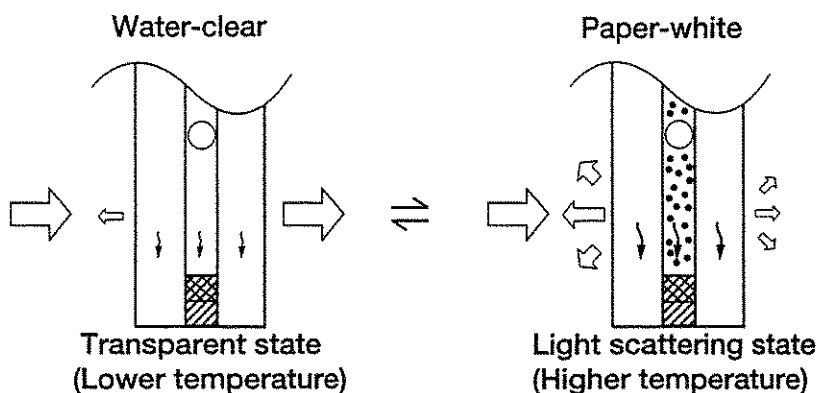


図1 shows the structure and two states with homogeneous reversibility.

例えば、自宅において、室内の人は、室外の景色（情報）を日常的に記憶・理解しており、不快感を引き起こす心配はないといえる。実際、曇りガラスを考えれば容易に分かる。また、南面の窓のように、透視性を常にえたい場合は、通常のガラスと上下分割、市松模様等のように分割使用すると庇効果等の機能性とデザイン性を兼ね備えた窓の設計が可能となった。さらに、一枚のガラス内に上記した機能をもたすこともできた。

また、光を遮蔽するには、吸収か反射である。太陽光線は、300 nm から 2500 nm までの波長域をもち、その約 50% 強が可視光線域にある。よって、可視光線をも制御しない限り、快適性と省エネ効果を達成できない。光吸収は、光を熱にエネルギー変換するだけで省エネ効果には反射より不利であり、また着色をもたらす開放感の欠如にもなる。光反射には、正反射と散乱がある。正反射は、ミラー反射となりギラ付き等の問題がある。これらのことから、波長選択性をもたない白濁光散乱は、平行光線である日射を室外に散乱反射して省エネ効果を生み、室内に透過した光線は障子で理解できるように人に優しい拡散光として快適な室内空間をもたらす、昼光の照明利用になる。筆者は、自然光のスペクトルが保存されて室内に入るこ

とで、呈色による無意識のストレスを無くし、より豊かな開放感がえられると考えている。

4. ハイドロゲルの相転移モデル

ハイドロゲルは、主に水、疎水基をもつ水溶性高分子、両親媒性分子、塩化ナトリウム等からなる。このハイドロゲルの相転移の概念図を図 2 に示した。低温では、水溶性高分子と両親媒性分子は、分子レベルで溶解して等方性水溶液となり無色透明状態（WATER-CLEAR）を示した。高温では疎水基近傍に形成された構造水の構造変化をともなって、水溶性高分子と両親媒性分子の疎水基が疎水結合した。その結果、分子内および分子間に弱い架橋構造を形成し、ゾル状態からゲル状態に相転移した。このゲルネットワーク内に、分子凝集域と自由水域の両域が粗密をもって微視的に混在し、その屈折率の差により光散乱が発生した。また、巨視的には、主に両親媒性分子の効果により、沈殿・凝集むら等を誘起することなく安定的に均一な白濁遮光状態（PAPER-WHITE）を示した。なお、塩化ナトリウムは、構造水の破壊を促進する作用をもち相転移温度の調整に有用であった。

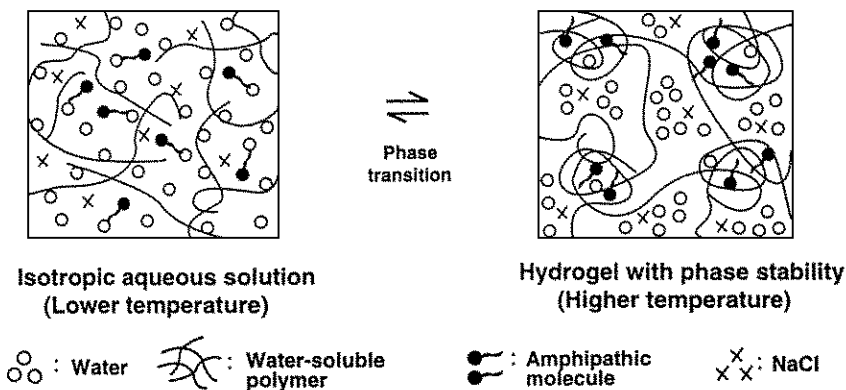


図 2 shows the concept model of phase transition from solution to hydrogel.

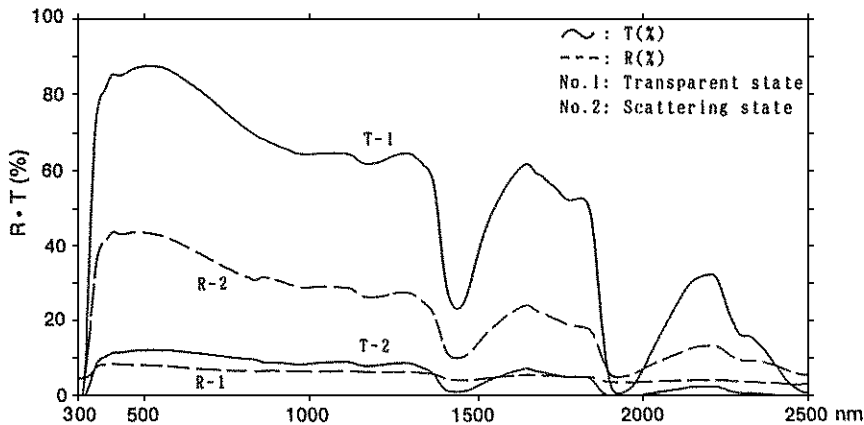


図3 shows transparence and reflection spectra on AIW with P-Gel-P (3.0-5.3 mm).

5. 光学特性と耐久性

光学特性は、ゲル層 0.5 mm、ガラス基板 3 mm からなるパネルを図 3 に示した。それぞれの曲線は、日立 U4000 型で積分球を設けて測定し、無色透明状態(1)と白濁散乱状態(2)の透過スペクトル(T)と反射スペクトル(R)である。このハイドロゲルは、28℃から白濁開始して32℃で十分に白濁状態を示した。この波形変化から分かるように、直達日射の全波長域に対し約80%遮光できる優れた省エネ効果を確認できた。また、白濁状態から透明状態にもどる波形は、ほぼ同様な波形を維持して回復した。この白濁の開始温度は、組成を変えることで室温から60℃程度の広範囲にわたり任意に調整できた。このことは、使用地域、使用箇所を特に限定されることがないことを意味する。

耐久性は、耐紫外線と耐熱性のテストをした。耐紫外線は、サンシャイン・ウエザーメーターの30倍から50倍の紫外・可視光線を照射できるメタルウエザーと2年間の屋上暴露の結果、紫外線にも非常に強いことが分かった。しかし、長期間安定的に使用するためには、紫外線のB波をカットすることがより良く理論的にも理解できる。その方法は、基板の

厚み、UVカット基板、UVカット膜付き基板等の従来技術の工夫で満たすことができた。特に、酸化チタン塗布膜は、UVカット機能と光洗浄機能をもつので室外側基板の外面に設けるとよく、特に天窗・アトリウム等に非常に有効である。耐熱性は、60℃/10,000時間、80℃/1,000時間、-20℃~80℃のサイクルテスト/200回の結果、特に問題なかった。よって、実使用に耐えうると考えている。また、同様に封止構造をもつ複層ガラスと同程度の耐久性をえたと考えている。なお、複層ガラスと組み合わせた複合複層ガラス、窓の外側に取り付ける日射調整ブラインド等に利用することも有用である。

6. おわりに

この基礎研究の成果を初めて公表したのは、政府主催である94年度の21世紀型省エネルギー機器・システム(省エネバングード21)への応募でした。その結果、大手企業と対等に評価していただき資源エネルギー庁長官賞を受賞し、試作品を科学技術館で展示公開した結果、社会的な関心が非常に大きいことを実感しました。この時、商品化レベルまで“開発しきる意欲”が生まれたことを今でも覚えておりま

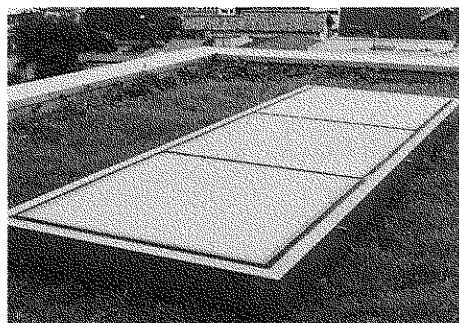


写真3 The panel was set up at the roof of the Nakano-ku city-plaza building.

す。その後、新聞、TV、雑誌、国際学会（日本、USA、EU）、学会誌、シンポジウム、政府主催国際展示会、政府系国際情報誌等を通じて広く紹介されて、また、大学、国立研究所、大手企業、建築設計事務所等の研究者、設計者、市場開発者とお会いして、多くの方々から多面的な情報を教えていただき、この仕事の意味を

より深く理解できるようになりました。特に、通産省・工学技術院・名古屋工業技術研究所の種村栄所長にはお世話になりました。

受賞の展示会で、中野区役所の職員の方が目にとめ、設計中の環境共生型の区民プラザビルに使用したいとお話を頂き、大手ガラスメーカーと共同して完成させた窓が写真3であります。その後、最適パネル設計とその製法を自力で進めた結果、量産への生産技術の確率に重要な製造装置の開発にも成功して初期の目的を達成しました。現在、この成果をもとに、来年初春に完成する都心部の邸宅に施工する調査ガラスの製造を当社単独で進めております。

現在、市販に向けて、海外を含めて多方面の方々とは協力して準備を進めております。新しい概念をもつ空間設計にお役に立ち、多くの方々に楽しんでいただけるように、今後も努力していく次第であります。