

■ 展望・解説 ■

パッシブソーラー利用のための ビル用新材料

New Building Materials for Passive Solar Application



種 村 栄*

Sakae Tanemura

1. 緒言

最近、地球環境問題やエネルギー資源の有効利用の観点から、自然循環エネルギー、特に太陽エネルギーが再び注目されている。

太陽エネルギーの利用形態から言えば、人間が地上で生活を開始して以来、アクティブ利用とパッシブ利用がある。前者は、太陽エネルギーを利用に適したエネルギー形態に変換して利用する（エネルギー変換利用）ことをいい、後者は、室内に入射する太陽エネルギーの量や方向を制御することにより、冷暖房や照明に費やすエネルギーを軽減しながら、最高の自然エネルギーである太陽エネルギー（光も含め）を効率的に利用する概念である。

アクティブ利用の種類には、太陽エネルギーを光として利用するか、熱変換後利用するかでまず2種類に分類され、前者には、光触媒による水の分解等の化学エネルギーへの変換（ソーラーケミストリー）、及び太陽電池による電気への変換があり、後者には熱・化学反応を利用した化学エネルギーへの変換、集光ボイラーを用いる熱発電による電気への変換、更に変換熱エネルギーをそのまま色々な温度レベルで利用する熱変換が含まれる。

アクティブシステムの代表例である、太陽冷暖房及び、給湯システムの研究開発では、システム中の主要なコンポーネント各々についていくつかの見べき成果が出ている¹⁾。しかし、現実にはこうしたアクティブ・ソーラーシステムの実用普及化となると、設備費及びその減価償却に要する年月の長短だとかいった経済性の要因から、太陽温水器か、せいぜい強制循環式の給湯システム程度に留まっている。現在、こうしたシステムによる太陽エネルギーは日本の全需要エネルギーの0.2-0.3%を賅っている。

これに対し、パッシブ利用の代表例としては、南向き建築、ひさしの利用、厚い土壁の土蔵、ブラインドといった古典的なものから、トロンボ壁、床蓄熱、ルーフ・ポンド、あるいは、付設温室等の利用によって、自然な形で太陽の光や熱を取り入れるとともに、取り入れた太陽熱を、建物の断熱性能を上げる等によって逃がさないようにするといった、いわば建築技術上の手法²⁾があげられる。

最近、“パッシブ・ソーラー素子”なる新しい概念が、特に日米欧で注目されつつある³⁾⁴⁾が、本素子はパッシブ利用を、最近の先端材料技術を活用して一層効率的に行うものである。窓や壁、床や屋根にこれを組み込んで太陽エネルギーの透過量をコントロールしたり、室内からの熱放出を促進したり、あるいは抑制することを行わせる。うまく制御できれば、冷房負荷の軽減や、太陽光を活用した暖房負荷の軽減や効率的な照明を実現できる。

こうした素子の利用により冷暖房負荷の軽減が達成できれば、太陽冷暖房システムにおける太陽集熱器面積や冷凍機を現在レベル以下に小さくでき、結果的にこうしたシステムを導入し易くしたり、太陽電池の導入や複合化をし易くしたり、アクティブ・ソーラーシステムの今以上の利用拡大を期待できる。

パッシブ素子利用のもう一つのエネルギー面での特徴は、ピーク電力の緩和が可能となることである。例えば、調光素子などを用いれば、夏場の昼間時の冷房負荷をかなりの割合まで低減でき、現在夏場にしばしば社会的問題となるピーク電力の増大を抑制できる。更に、商業ビルで最近取り入れられている高速換気空調システムのサイズを小さくできる等の効果も期待できる。

本素子の利用により、日本のエネルギー需要のある部分を賅うことができれば、将来的には“ソーラー都市”実現の可能性も高まる。本素子は、住宅やビルディングのエネルギーの自立（代替）の推進と快適住環境

*名古屋工業技術試験所 研究企画官
〒462 名古屋市北区平手町1-1

追求といった両面性を図るもので、単なる省エネルギー技術ではない点を強調しておきたい。

本文では、パッシブ・ソーラー素子と太陽冷暖房、さらには太陽電池などのアクティブ・ソーラーとの併用による、ビルディングや住宅のエネルギー自立（代替）の可能性を、楽観的な仮定から見積ると共に、代表的なパッシブ・ソーラー素子のいくつかについて紹介する。いずれにしても、本素子は最近の材料技術の進歩により可能性が出て来つつある段階であり（SF的な側面もある）、コスト分析まではいかない点は、最初からお断りしておかねばならない。

2. パッシブ素子を用いたパッシブ利用によるエネルギー供給見通

表1に掲げたパッシブ・ソーラー素子の積極的な利用によって、どの程度のエネルギーを賄うかを、現在ベースで少々大胆な仮定の下に次に見積ってみる。

図-1に示すように、民生用エネルギーは日本の総エネルギー需要の約25%を現在占めている。将来的にもこの割合は増加傾向にある。この内、家庭用と業務用の占める割合は、56%：44%程度と相半ばし、家庭用が占める割合が増加傾向にある。家庭用の内訳は、暖房、冷房、給湯、及び照明に各々、29%、2%、37%、及び32%であり（図-1参照）、今後は快適性の追求から冷房の需要が更に増加することが予想されている。業務用の内訳は、空調ファン動力、空調機、給湯、衛生給排水、照明、及びその他（昇降機、トランス、更に雑動力）に各々、15%、24%、7.3%、3.9%、30%、

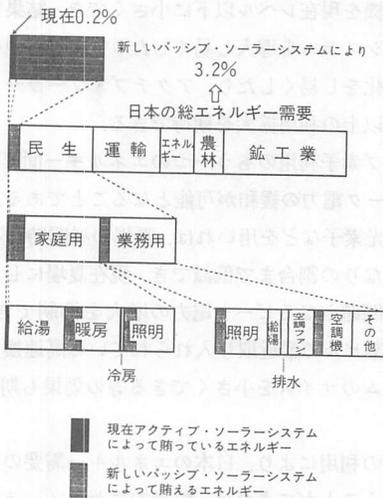


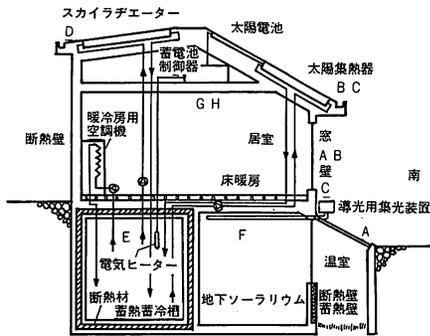
図-1 パッシブ・ソーラーシステムによって賄えるエネルギー

表1 各部材に使われるパッシブソーラー素子

| | |
|---------------|--|
| 1) 窓材料 | |
| (a) | クロモジェニック調光素子 エレクトロクロミックデバイス サーモクロミック フォトクロミック 分散型液晶タイプデバイス 分子分極配向型デバイス |
| (b) | 低放射率透明素子 熱線反射ガラス：(Fe, Co, Cr, Ti oxide coatings) (Au, Cr+SiO ₂ , Si metal coatings) Hard type Low-e Coatings：(High transmittance due to the reduction of surface reflectance by overcoating：MgF ₂ on ITO) (Lower emissive coating：ITOF/ITO) Soft type Low-e Coating：(Durable D/M/D Tandem) 紫外及び近赤外（赤外）線カットの狭い選択透過幅を有する低放射率材料：【窒化物膜、遷移金属酸化物膜、D/M/D、ホログラム、グリーンガラス（increasing of Fe ²⁺ ）】 |
| (c) | 透明断熱素子 プラスチックハニカムタイプ シリカエアロゲル：モノリシック、粒子 |
| (d) | Super Windows(高断熱複層ガラス)：【gas filling: Kr, SF ₆ , CO ₂ , Cl ₂ , CF ₄ , SO ₂ , low-e coating, evacuated silica-aerogel】 |
| (e) | 蛍光型波長変換集光素子 |
| 2) 外壁（屋根）材料 | |
| (a) | 選択放射素子：(大気窓の利用8,000-13,000nm:大気圏外の冷熱との放射伝熱) |
| (b) | 透明断熱素子 |
| (c) | 熱電素子：(熱電効果により加熱したり冷却したりする、或は屋内外の温度差を利用した発電) |
| 3) 内壁（天井）、床材料 | |
| (a) | 潜熱型壁蓄熱材：カプリン酸、水和塩などのカプセル化埋め込み |
| (b) | 熱電却素子 |
| (c) | 遠赤外放射材料 |
| 4) その他 | |
| (a) | 導光材料：グラスファイバー、透明プリズムライトガイド |
| (b) | パッシブ・アクティブハイブリッド利用素子 |

及び19%である（図-1参照）。空調機に関しては、冷房用の用途が極めて高く、今後もこの増加傾向が続くことが予想される。

個々の材料についてのエネルギー利得については後で述べるが、表1のパッシブ・ソーラー素子を図-2に示すように、ビル・住宅システムの部材（窓、床、或は壁）に用いることにより、ビル・住宅システムのエネルギー消費（冷房、暖房、照明）の大幅な低減（1/2～1/4程度まで）を、概ね期待できるとすれば、家庭用で約29%、業務用で約22%のエネルギー消費をパッシブ利用で代替できる（図-1参照）。従って、このパッシブ利用システムを国内50%に普及化すれば、全エネルギー需要の3.2%をパッシブ・ソーラーシステムによって賄うことも可能となる（図-1参照）。また、アクティブ・ソーラーによる給湯システムの併用を計れば、家庭用の約60%、業務用の約25%のエネルギーまでソーラー利用（アクティブ・パッシブ・複合利用システム）が可能となる。先の普及化と同程度とすれば、



エネルギー自立型住宅とも言い換えられる。記号は各々次の様なパッシブ素子を意味する。A：調光機能素子，B：低放射率素子や光熱ハイブリット素子，C：透明断熱材，D：選択放射素子，E：蓄熱方法（材料），F：導光素子，G：高性能断熱材，及び，H：蓄熱壁。

図-2 パッシブ/アクティブソーラー素子を用いた住宅システム。

全エネルギー需要の約6%までソーラーエネルギーで賄うことが可能となる。

更に、前節に述べた付加効果を考慮すれば、アクティブ・ソーラーによる冷暖房や太陽電池の経済性を十分考慮して併用できる可能性も大きく、これらを取り込めば、最終的には、全エネルギー需要の約10%までソーラーエネルギーで賄う夢が広がる。

3. パッシブ・ソーラー素子

表1に示したパッシブ・ソーラー素子の内、窓材の中から、現在実現の期待が高く、かつ我々の研究室で手掛けている三種の材料について、その機能、構造、材料等を紙数の関係から簡単に以下説明する。

一般に、ガラス材料は、熱伝導度が約 $1.2(W/mK)$ 程度であり、3mm厚の普通ガラスで総括熱移動係数は約 $5.6(W/m^2K)$ もあり、通常の窓ガラスは最も熱損失の大きい建築部位の一つである。窓ガラスからの熱損失は、一般住宅では全熱損失の30%といわれており、一方、床面積 $48 \times 48m^2$ で10階建て（地上高：35m）の商業ビルでは、窓面積率50%として、窓からの流入熱は、東京の気象条件で、全熱流入量の47.1%にも達する。従って、ここに紹介する調光素子や低放射率素子などを窓材として用いれば、暖房、冷房、照明の負荷を軽減できる。他の素子や詳細については種村の総合報告³⁾を参照願いたい。

3.1 エレクトロクロミック調光素子

外部からの物理刺激により可逆的に色（光の透過率）の変わる現象をクロミズムといい、この現象を引き起

こす材料をクロモジュニック材料と総称する。色変化を引き起こす原因が熱、光、電子照射、及び電圧印加（電流注入）に応じて、各々サーモクロミズム、フォトクロミズム、カソードクロミズム、及び、エレクトロクロミズム（EC）といい、いずれも調光素子となり得る。窓材への利用の場合、太陽光（熱）の室内への流入を任意にコントロールできることからエレクトロ・クロミズムが一番使い易く、カソードクロミズムは現実的で無い。

調光素子は、理想的には太陽光ばかりでなく、熱線と呼ばれる近赤外から赤外領域の光の出入りを自由に制御できるものが望ましい。

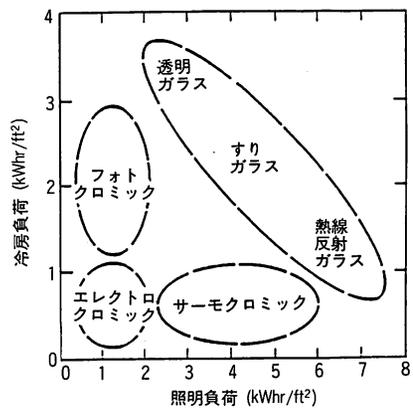


図-3 各種調光硝子、及び低放射率硝子の冷暖房負荷、及び照明負荷の期待値 (Selkowskiによる)。

図-3に Selkowski⁵⁾によるサーモクロミズム、フォトクロミズム、及び、エレクトロクロミズムを用いた窓材を商業ビルに適用する場合の冷房負荷や照明負荷の可能な値の範囲を他のガラス材料と比較示した。最近の宿谷等⁶⁾による東京の気象条件でのシミュレーションでは、1) 一般の透明ガラスにブラインドを組み合わせた場合の70%程度まで冷房負荷を軽減できること、2) ECデバイスの透過率をうまくコントロールすることにより、昼間の照明電力消費量をかなり軽減できること、3) 低放射率膜が室内側に向く配置ならば暖房負荷を、一般の透明ガラスにブラインドを組み合わせた場合の50%程度まで軽減できること等、が示された。いずれにしても、エレクトロクロミックデバイスはパッシブ素子として大きな効果を期待できる。

エレクトロクロミック素子の構造と機能を模式的に図-4に示した。EC材料と電解質材料を組み合わせたものを、透明電極材料でサンドウィッチにして透明ガラス上に積層膜とする構造を有する。各々の機能を担

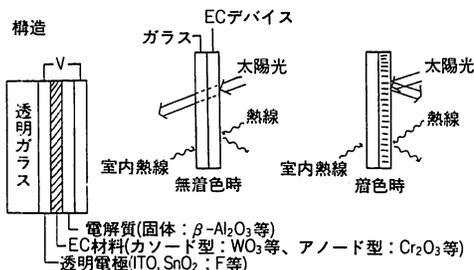


図-4 エレクトロクロミック素子の構造と機能の模式図

ういくつかの候補材料についても図中に例示した。

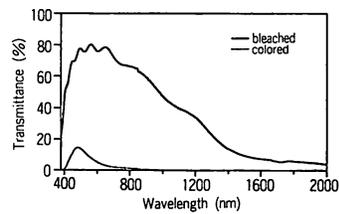
エレクトロクロミック材料は電圧印加によって、電子やイオン（プロトン）等の電荷注入あるいは電荷取り出しを行い透過率を変化させることにより調光を行う。このような無機系材料としては遷移金属酸化物がほとんどである。安定性に優れているが、色調がやや劣り、色種も少ない。アモルファス状態の方が、構造に隙間が多くイオンの移動が速やかに起こり易いため、すぐれた着・消色特性を示す。電気伝導がn型の WO_3 、 MoO_3 、 V_2O_5 、 TiO_2 、 Nb_2O_5 など酸素不足型では、電子関与のカソード反応（還元）で着色する。消色は逆にアノード反応（酸化）で行われる。

これに対し、電気伝導がp型の $IrOx$ 、 $Ir(OH)_x$ 、 Cr_2O_3 、 $NiOx$ などでは、ホールの関与するアノード反応で着色が生ずる。消色は逆に還元反応で行われる。

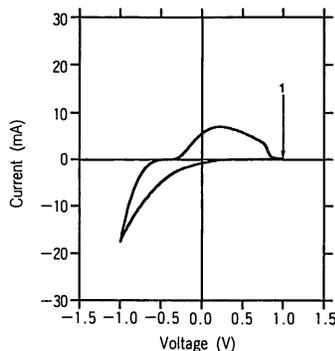
有機系EC材料は、染料と良く似た化学構造を持つものが多いため、色調が鮮やかで色種も多いが、やや安定性に欠ける。又、その着色、消色のメカニズムは、化合物の中のパイ電子の移動によるものとされているが、詳細は不明な点が多い。ここに述べた目的のためには、電解質を含めて無機系材料を使ったデバイスの方が扱い易い。

一例として、 WO_3 を用いたECデバイスの着色状態と消色状態の分光透過率及びボルタモグラフィーを図-5a)及びb)にそれぞれ示した。デバイスは 10×10 cmのサイズで、2Vの電圧で作動し、太陽光透過率は53%から4.2%の間で変化する。変化に要する時間は3.6クーロンの電荷で約6分程度である。

調光デバイスの場合に要求されるEC材料に対する課題は、①着色時と消色時の光透過、反射の変化が大きい（可視光域のみならず近赤外光域を含む）こと、②色変化、光透過度変化の可逆性が良い、③低い駆動電圧で大きな光透過、反射の変化が得られる、④副次的な反応を伴わず、繰り返される可逆反応に対して寿命が長い、といったことである。調光デバイスの



a



b

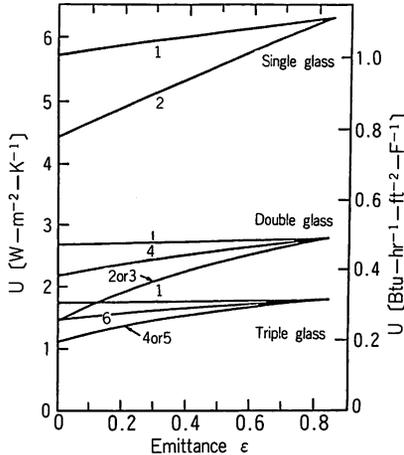
図-5 a) ECデバイスの着色状態と消色状態の分光透過率、b) ECデバイスのボルタモグラフィーの一例。

製品化にあたっては、① ECと低放射率性などの機能複合化、② 製品品質の均質化、③ 大面積化を含む量産技術の確立、④ 高寿命の保証、⑤ 色調の豊富さ及び、⑥ 生産コストの抑制などの問題の解決が重要である。

3.2 低放射率透明材料（素子）

赤外領域に対して低放射率（吸収が小さく、良く反射する）で可視光領域で透明である光学機能は選択透過性或はヒートミラーとも呼ばれる。こうした機能を生み出すためには、次のような2種類の膜を可視光領域で透明な材料に被覆する方法が知られている。即ち、赤外領域で反射率の高い金属の薄膜（膜厚が 100 \AA 以下では太陽光に対してある程度透明）を適当な複素位相膜を有する誘電体層で挟み反射防止膜と保護膜の両方を兼ねさせ可視での透過率を向上させる方法^{7)~9)}（DM多層干渉膜）及び可視域で透明となるのに十分なバンドギャップ（3 eV以上）を有する半導体に異種原子を多量に注入し自由キャリアのプラズマ振動によるカットオフを利用するDrude鏡の方法^{10)~12)}である。前者はソフトタイプとも言われ、真空蒸着等の物理法で被覆し、傷をつけない為のカバー等が要るといった制約や、複層ガラスの密封性の悪さにより劣化するなどの問題点もある。後者は、物理法やパイロリチッ

ク法等の化学法のいずれでも創製され、ハードタイプと呼ばれ、きずがつきにくく、かつ透明導電性を示すので、太陽電池や先に述べたECデバイスの透明電極としての用途も大きい。



図中の番号は放射率を変化させる皮膜の存在するガラス面を意味する。

図-6 一重、二重、及び三重ガラスの総括熱移動係数とガラス放射率との関連 (Lampert)。

図-6に、一重、二重、及び三重ガラスの総括熱移動係数が低放射率コーティングの放射率値によって変化する計算結果¹³⁾ (冬季、外気温: -18°C, 室内温度: 18°C, 風速: 6.7m/s) を示した。図中の番号は低放射率コーティングを施すガラス面を意味し、1は一番外側のガラス外面、2は一番外側のガラス内面等となる。最近の宿谷¹⁴⁾の東京の冬季の気象条件を基にした計算結果によると、商業ビル(6×6×2.7(h),m) 一部屋の暖房負荷が、二重窓のガラスの一面に本素子を用いることにより(図-5の2又は3に対応)、通常ガラスの40%に減少する。

現在、ハードタイプのもの(酸化錫主体)が商業化(その物性値は、太陽光透過率: 0.5-0.76, 放射率: 0.35-0.10, 遮蔽係数: 0.68-0.80) されているが、今後、太陽光透過率や可視光透過率を更に高めたり(90%程度まで)、放射率を0.1以下に更に小さくするなどが要求される。前者のためには、MgF₂を100nm程度の膜厚にITO膜(錫添加した酸化インジウム)上に被覆することや、後者のために、ITO膜上にF添加したITO膜を85nm程度の厚さ被覆する方法などが検討されている。

3.3 透明断熱材 (素子)

透明度が高く、かつ静止空気並みの断熱性(熱伝導率(κ_a)が0.024(w/mK)程度)を有する材料を総称して透明断熱材と呼ぶ。

透明断熱材は次の2つの考え方で実現できる。一つは、太陽光を良く透過する材料(透明体と言い替える)を用いて、ヌセルト数(Nu)がほぼ1に近くなるような閉空間構造を作ることであり、他の一つは、空孔率が高く熱伝導度が空気程度の透明体そのものを作ることである。ここでは、究極の性能を実現できる後者について触れておく。

シリカの微粒子からなる空孔率の高い多孔質のシリカエアロゲルが注目されている¹⁵⁾。本材料は、数十Å程度の径を有するシリカ粒子が表面のシラノール基の縮合あるいは水素結合により結合しており、その空孔の径は100Å程度と言われている。空孔の体積率は90%以上で、本来透明なシリカ粒子が不規則な格子状に空気層の中に分布していると見なせる。シリカアルコゲルを先ず作り、超臨界乾燥によってアルコールを飛ばしてしまうことにより作製できる。メチル系とエチル系で若干物性値は異なるものの、太陽光の波長はシリカ粒子の径に比べてほぼ十倍程度もあるため、シリカ粒子によるレーリー散乱は極めて弱く、太陽光はシリカエアロゲルをほぼ100%近く透過する。又、シリカエアロゲルの中での自然対流は、空気の対流胞が空孔の径よりかなり大きいのでほぼ無視できる。また、シリカ粒子の体積率は、高々20%以下であるので、1cm厚のシリカエアロゲルの赤外放射率(吸収率と言い替えて良い)は同等厚の乾燥空気(0.007以下)より若干大きい程度で、シリカエアロゲルからの放射モードによる熱通過率も極めて小さい。

一例として、当所で作製した9.5mm厚さの試料の分光透過率を図-7に示した。太陽光透過率は87%、熱伝導率は0.04(W/mK)以下の性能を有した¹⁶⁾。

本材料は、圧縮以外の応力に対して脆いこと、及び、

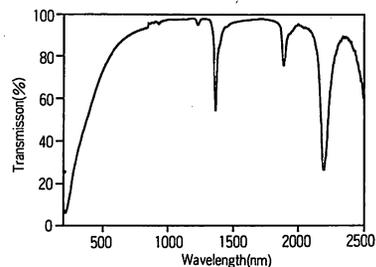
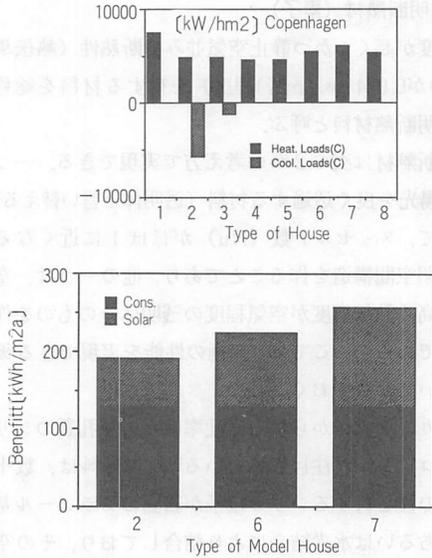


図-7 試作したシリカエアロゲルの分光透過率の一例



図中の番号は各々以下のモデルハウスを意味する：1. 窓は通常の透明並板ガラス，東西の壁を断熱材で被った．内部発熱は250Wとした．2：1と同じ断熱性能の透明断熱材で東西壁を被った．内部発熱は250Wとした．3：2と同じ．但し，換気による室内温度環境制御を行う．4：3と同じ．但し，ロールブラインドを窓に用い，夏場の太陽光入射を制御．5：4と同じ．但し，夏季に透明断熱材への太陽光を遮蔽．6：5と同じ．但し，透明断熱材の使用を東側21.6m²のみに制限．7：6よりも更に透明断熱材の使用を東側10.8m²に制限．及び8：南側窓の面積を3m²に縮小すると共に，透明断熱材の使用を南側13.2m²に拡大．

(a) 図中のモデル住宅番号に対応する．

図-8 (a) 透明断熱材を用いた場合と用いない場合のモデルハウス（8 X 6 X 2.7 (H)m規模で，南側に9m² k二重窓を2枚有する）による年間の冷暖房負荷の変化（コペンハーゲンの場合）(Platzaerによる)．(b) 三種のモデルハウスパッシブソーラー効果と断熱による省エネルギー効果 (Platzerによる)．

吸着性の強さから空気中の水分を吸着し，透明断熱性を劣化させること等の材料としての問題点もある．従って，使用に際して，ガラスやプラスチック透明体でサンドウィッチ構造にするなど，こうした問題点の対策を考慮しておかねばならない．

本材料は単なる建築物の窓材としての利用ではなく，厚い壁と組合せ，壁の蓄熱効果を利用して室内の暖房負荷を低減する利用法が本命である．この場合，建物の4つの側面全部に入射する太陽エネルギーを利用できること，更に，取り付けが簡単であることなどから，高緯度の寒冷地向きのパッシブ素子として魅力がある．図-8に本素子を蓄熱壁に取り付けたモデル・ルームの暖房負荷の軽減に関する最近のシミュレーション結

果¹⁷⁾を示した．夏季には，遮閉用のローラーさっし等を組合せれば冷房負荷が要ること，及び，本素子を蓄熱壁と組み合わせるような場合には室内の温度制御が重要であること等の結果が図-8の解析から得られる．

参考文献

- 1) 例えば，総合報告として，田中辰明：複合ソーラーハウス，太陽エネルギー，15巻，4号(1989)，17-22．
- 2) 太陽冷暖房・給湯システム研究開発成果，工業技術院編，日本産業技術振興協会，(1980)．
- 3) 例えば，種村：日本太陽エネルギー学会「89デライティング技術シンポジウム，太陽光の効用と採光装置」テキスト，調光材料を中心とする新しい窓材，(1989)／同，日本太陽エネルギー学会関西支部 第14回シンポジウム「建築に於ける太陽・自然光利用技術」資料集，pp 1 (1989)／種村，吉村；パッシブソーラー素子，サンシャイン・ジャーナル，11巻，1号(1990)，25-33．
- 4) Solar Heating Cooling Programs in IEA Countries (ed.by IPA) (1989), IEA SHC Program Executive Committee, Washington DC, p121.
- 5) S. Selkowski : Smart Windows, Glass Magazine, 1986年8月号, 86-91.
- 6) 宿谷，平田：private communication, 1991 3月／新エネルギー・産業技術開発機構委託「調光材等の研究開発(冷暖房等代替エネルギー量シミュレーション)」平成2年度報告書(1991), 新エネルギー・産業技術開発機構, 東京, (掲載予定)．
- 7) M. M. Koltu : Selective Optical Surfaces for Solar Energy Converter(1981), p183, Allerton Pres, New York.
- 8) M. M. Koltu et al : Geliotekhnika, Vol.10 No.3 (1974), 58(in Russian)．
- 9) J. C. C. Fan et al, Transparent Heat Mirror Film of TiO₂/Ag/TiO₂ for Solar Energy Collection and Radiation Insulation, Appl. Phys. Lett., Vol.25(1974), 693-695.
- 10) E. Kauer, Generating Light with Selective Thermal Radiators, Philips Tech. Rev., Vol.26(1965), 34-47
- 11) R. Groth et al, Thermal Insulation of Sodium Lamps, ibid, Vol. 26(1965), 105-111.
- 12) H. J. J. van Boort et al, Lowpressure Sodium Lamps with Indium Oxide Filter, Philips Tech. Rev., Vol.29 No. 1(1968), 17-18.
- 13) C. M. Lampert : Smart Windows, Low-E Coatings for Glazings and Light Guide Materials for Daylighting, 日本太陽エネルギー学会講演会(1989年9月12日)テキスト, p29.
- 14) 宿谷：新しい窓システムのエネルギー効果シミュレーション, 日本太陽エネルギー学会「快適居住空間の制御とソーラーハイブリッドエネルギーシステム」研究分科会(1990年2月23日), (口頭発表)．
- 15) S.S.Kistler: Coherent Expanded Aerogels and Jellies, Nature, Vol.127(1931), 740.
- 16) 田尻；透明断熱材としてのシリカエアロゲル，太陽エネルギー，17巻，No.3(1991)，(投稿中)．
- 17) W. Platzer : Interim Working Document of Case Study on Energy Benefit by Using of TIM in Subtask A of IEA Task X, (1989), Fraunhofer Inst., FRG, Freiburg.