

# 地球温暖化の防止とニューガラス

平成3年度ニューガラス産業対策調査研究（波及動向・環境材料）報告書の概要

通商産業省生活産業局窯業建材課

通商産業省は、さきに平成3年度ニューガラス産業対策調査研究（地球温暖化防止対策）を社団法人ニューガラスフォーラムに委託した。

以下に、同調査の概要を、報告の内容を追いながら紹介する。

## 1 はじめに

本報告書は、ニューガラスが我が国産業構造の高度化に及ぼす波及効果についての調査の一環として、地球環境問題とニューガラスという観点から「地球温暖化の防止」をテーマとして取り上げ、ニューガラスがどのように貢献できるかを調査した。

最近、材料分野の研究者により、エコマテリアルという概念が提案されている。これはエコロジーとマテリアルの合成語で、日本語では環境材料であり、「材料の生からその死に至るまでの存在そのものが人間の生活に及ぼす影響に着目し、地球環境、人間生活に害を及ぼさずに生活の快適さを充実させ、未来の夢を実現する観点に立つもの」とされている。このような視点では、ニューガラスは環境材料として有力な材料の一つであり、人類共通の問題である温暖化防止への提言は必ずや問題解決の糸口を与えるものと確信している。

## 2 調査の内容

### 2.1 調査実施項目

- (1) 温暖化防止の解決策としてのニューガラスへの期待と可能性の調査
- (2) 対応するニューガラスの種類と求められる機能の調査
- (3) 対応するニューガラスのレベルと研究開発の現状探索
- (4) 当該ガラスの開発への課題等の検討
- (5) ニューガラスを使った具体的なシステムでの問題解決の概念設計

### 2.2 調査組織と協力機関

社団法人ニューガラスフォーラム内に11名の産・学の有識者からなる委員会（委員長：一ノ瀬昇 早稲田大学教授）を設置して検討するとともに、ガラス、エレクトロニクス分野の企業及び研究機関の協力を得て、上記2.1の項目について面談等により意見を求めた。

### 2.3 調査範囲

温暖化防止に関連して、太陽エネルギー変換材料および制御の手段としてのニューガラスの技術開発の現状と問題を調査すると共に、省エネルギーを考慮した民生機器の現状と将来についてその開発と利用状況を紹介した。

- (1) 太陽エネルギー変換材料に関しては、太陽の有効利用（熱回収・光発電）、太陽光の波長変換について調査。
- (2) 太陽エネルギーの制御は、建築物、自動車等の居住空間への光エネルギーの制御手段として、調光ガラス、光ファイバ採光システム等を、また熱エネルギーの制御について、冷・暖房負荷の軽減に熱線吸収ガラス、熱線反射ガラス、複層ガラス、Low-Eガラスを取り上げた。
- (3) 省エネルギーによる地球温暖化防止への貢献には、省エネルギー化に利用される民生機器として、最もガラスの利用に関係の深いディスプレイに限定した。特にブラウン管に取って代る可能性の高い

液晶ディスプレイに要求されるニューガラスに焦点を絞った。

### 3 太陽エネルギー変換材料としてのニューガラス

CO<sub>2</sub> 排出量の抑制による地球温暖化防止対策の有力なものとして、クリーンな太陽エネルギーの有効利用が挙げられる。サンシャイン計画では、西暦 2000 年に商用電力料金並みを目指した太陽電池モジュール(目標:100 円~200 円/Wp)の開発に取り組んでいる。技術的には「いかにロスなく太陽エネルギーを集めるか」、「集めたエネルギーをいかに効率よく別のエネルギーに転換するか」が基本課題であり、前者の課題では透明性・耐久性でガラスに優るものはない。一方後者の課題に対しては、エネルギー変換材料とガラス材料との相互作用も重要な課題といわれている。

#### 3.1 熱回収による太陽エネルギーの有効利用

太陽エネルギーを熱として利用する太陽熱コレクターには、①平板式、②真空管式、③集光式があり、構造的にシンプルな平板式ソーラーコレクターは安価にできるが、放熱が大きく、利用範囲が給湯に限られている。集光式は 300℃ 以上の高温が得られるが、構造やシステムが複雑なため、使用例が少ない。真空管式はこれらの欠点をカバーしており、冷房用にも使えるが、コストの点でまだ化石燃料には及ばない。平板式ソーラーコレクターには普通板ガラス、反射防止板ガラス、低鉄分板ガラスが、また真空管式コレクターには管ガラスが使用されている。

#### 3.2 光発電による太陽エネルギーの有効利用

太陽電池を用いて太陽の光から直接電気を取り出す太陽光発電はクリーンなエネルギー源として期待され、実用化が進められている。

電力用太陽電池に用いられるガラスは、結晶系太陽電池においては強化白板ガラスが、アモルファス太陽電池においては透明電極をつけた強化青板ガラスが用いられる。実用化に際しては、ガラス製屋根瓦と太陽電池を一体化した太陽電池和瓦やスレート式太陽電池瓦が開発されている。

人工衛星の太陽電池を放射線損傷から守るため、放射線・紫外線遮断機能を持つ極薄板ガラスが太陽電池のカバーガラスとして用いられている。

#### 3.3 蛍光を利用した太陽光の波長変換

蛍光体を利用した集光器は高い集光比を持つという利点があるが、太陽電池と組合せて集光型太陽電池システムとした場合、光電変換効率はまだ 3~5%と低い。

蛍光板用ガラス材料として、有機色素ドーパガラスがあるが、有機色素が高温に耐えられないことから、ゾルーゲル法により作成する。無機系のものでは、希土類イオン含有ガラスや半導体ドーパガラスがある。

#### 3.4 太陽光のアップコンバージョン

アップコンバージョンは希土類イオンを含む結晶やガラスを或る波長の光で励起したとき、それより短波長の発光が観測される現象である。

太陽光の長波長の光を短波長の光に変換することが出来れば、Si 太陽電池の励起に寄与しない赤外光を可視光に変換して励起効率を上げることが可能となる。

近年、フッ化物ガラス関係の研究が活発になっている。

### 4 太陽エネルギーの制御

#### 4.1 調光ガラス

調光ガラスは、太陽エネルギーの透過量をコントロールして冷房負荷を軽減する。技術的には液晶、エレクトロクロミック、フォトクロミック、サーモクロミック等の各方式があるが、大型調光ガラスの実用化にはまだ解決すべき課題が多い。

#### 4.2 建築物等、居住空間への光エネルギーの導入

太陽光の当たらない部屋、地下室等の照明に光ファイバ採光システムが用いられる。このシステムは集光部で集めた太陽光を高密度に濃縮して光ファイバケーブルにより任意の場所に伝送できる。光ファイバにはコアが石英ガラス、クラッドがプラスチックよりなる PCS 光ファイバが最適とされている。

地球温暖化防止に直接貢献できる用途としては、国家プロジェクトのバイオテクノロジーを利用した CO<sub>2</sub> 固定技術にも光ファイバ採光システムが用いられる。

#### 4.3 建築物、自動車等居住空間の冷房負荷の軽減

建物や自動車の冷房に使用されるエネルギーは増加の一途をたどり、CO<sub>2</sub> 発生に無視出来ぬ影響力を持っている。これらの冷房負荷を軽減するために熱線吸収ガラスや熱線反射ガラスが使用されている。

#### 4.4 建築物等居住空間の暖房負荷の軽減

建物の暖房には、使用エネルギーの約 30%が使われている。この暖房負荷の軽減のため、断熱性に優れた複層ガラスや室内の遠赤外線を反射する Low-E ガラスが使われている。

### 5. 民生機器の省エネルギー

民生部門のエネルギー消費量は全エネルギー需要の約 24%を占めており、今後も増加傾向にある。省エネルギー対策としては家電製品の省エネルギー化と住宅の断熱化の推進が挙げられる。

液晶ディスプレイは CRT に取って代る可能性を持つ省エネルギー型ディスプレイとして期待され、種々の製品化が進められている。なかでもアクティブマトリックス TFT 方式は鮮明な動画表示ができ、壁掛ハイビジョンテレビの夢を実現してくれるものとして期待される。液晶ディスプレイにおける基板ガラスの役割は大きく、高品位の表面と優れた熱的・化学的安定性がもてられている。

### 6. 地球温暖化防止に対する太陽エネルギーの利用と制御

地球温暖化防止には、CO<sub>2</sub> 排出の排熱と削減があり、太陽エネルギーの利用はこの両者の理想的な解決策である。

太陽の「光」は人間の生活環境に対して、光量の全てが有益であるが、「熱」は全てが有益とは限らない。「光」と「熱」を分離し、制御することが肝要である。

現在の人工環境を容器としてみると、光の利用を目的とする窓と熱の遮断を目的とする壁があるが、窓は熱の遮断機能には問題がある。

住まいの原型である横穴式住居に太陽光を光ファイバ採光システム等により集光・伝送することで、「光」と「熱」を分離し、制御することが可能となる。

太陽エネルギーを高度に利用する近未来地下住居として、「ソーラー・コンドミニウム」を、また自立分散型太陽エネルギー変換器として、「ソーラープランツ」を提案する。図 1, 2, 3, 4 はこれらの概念図である。

### 7. 地球温暖化防止とニューガラス産業への提言（まとめ）

#### 7.1 ニューガラスの地球温暖化防止対策への貢献について

今回の調査は、ニューガラスが環境材料としていかに温暖化防止に貢献できるか、太陽エネルギー変換材料の有効利用と省エネルギーの観点からその技術開発動向を調査し、コンセプトにまとめた。

#### 7.2 調査内容

- (1) 温暖化防止の解決策としてのニューガラスへの期待と可能性の調査
- (2) 対応するニューガラスの種類と求められる機能の調査
- (3) 対応するニューガラスのレベルと研究開発の現状探索
- (4) 当該ガラスの開発への課題等の検討

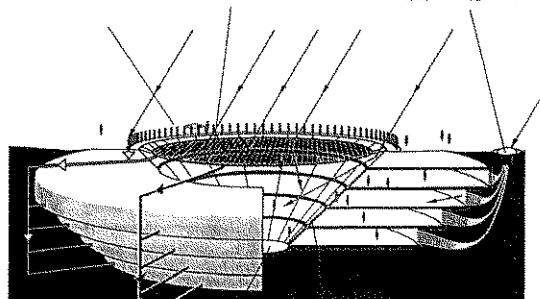
コンポジット・ガラス・ルーフ  
 多層のガラスルーバーよりなり、ルーバーのコンピュータ制御により、太陽光の集中、拡散、変向を行う。日照高度に応じてそれぞれのルーバーが角度を変え、日照の方角を追尾して円形のルーフ全体が回転する。それぞれのルーバーは以下の物の複合体である。

蛍光集光ガラス(LSC)  
 ガラス端に集熱器、太陽電池  
 プリズム

真空管式太陽熱コレクター

透過型太陽電池

導光素子(光ファイバー)



調光ガラス

アトリウムに接する居住区内壁のガラスは以下の仕様になっていて、外周エリアへの光の拡散と室内の明るさの制御を各部屋ごとに行う。可動式ルーバー設置 2 重ガラス ECまたはPCガラス

アトリウム

アトリウム内の光は屋根のルーバーによって各部屋に均等に拡散制御される。必要に応じてアトリウム内に集熱器を設置し、ルーバーのプリズム角を調整してレンズ効果を与え、照射することにより、熱エネルギーを採取する事も可能。底層は中緑地となっており、植物に対する日照条件もコンポジットガラス・ルーフにより調整される。

図1 ソーラー・コンドミニウム

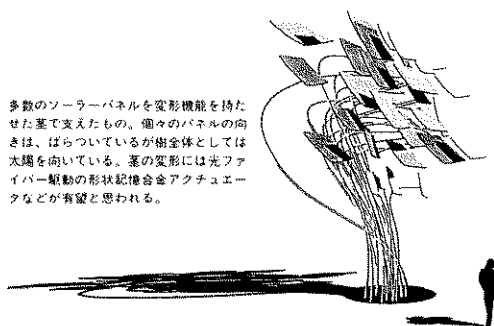
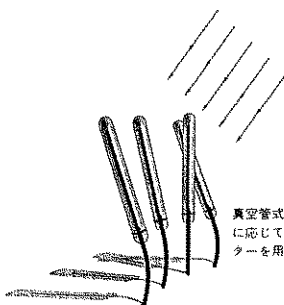


図2 太陽樹



真空管式の太陽熱コレクターの足元に気温や日照に応じて傾きを変え集熱する葉材変形型のアクチュエーターを用いたもの

図3 集熱草

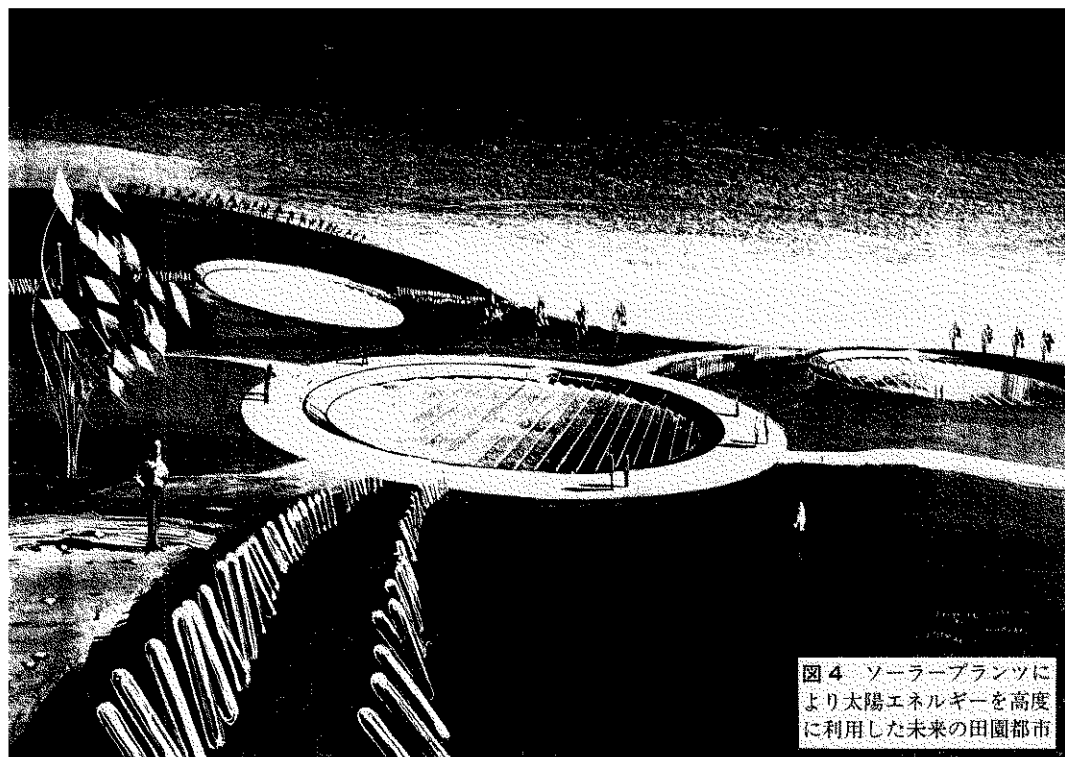


図4 ソーラープランツにより太陽エネルギーを高度に利用した未来の田園都市

(5) ニューガラスを使った具体的なシステムでの問題解決の概念設計

7.3 調査結果

太陽エネルギー変換材料として、表1に示す14品目について調査した。ガラス・ニューガラスの機能について、表2にまとめた。

また、ガラス・ニューガラスの材料として、表3に示す品目を調査した。

さらに、研究開発の状況について調査し、その結果を表4に示した。

表1 ガラス・ニューガラスが貢献できる製品・デバイス

| 太陽エネルギー材料 | 目 的                                   | 用 途  | ニューガラスが利用される方式・製品                                                |
|-----------|---------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------|
| 変換材料      | エネルギーの有効利用                            | 熱 回収 | 太陽熱コレクター（平板式，真空管式，集光式）                                           |
|           |                                       | 光発電  | 太陽電池，太陽電池瓦，宇宙用太陽電池カバーガラス                                         |
|           |                                       | 波長変換 | 蛍光集光ガラス（短波長→長波長）<br>アップコンバージョンニューガラス（長波長→短波長）                    |
| 抑制・制御材料   | 負荷エネルギーの抑制<br>建築物・自動車等居住<br>空間への負荷の抑制 | 制御   | 調光ガラス（ECD，PCD，TCD，LCD，DPS）                                       |
|           |                                       | 低・軽減 | 導光用光ファイバー採光システム，建築用窓（熱線吸収・<br>反射ガラス）複層ガラス，Low-Eガラス，アエロゲルガ<br>ラス。 |
|           |                                       | 効率化  | 省エネルギー用ディスプレイ機器を中心とした民生用機<br>器（C-CRT直視型ディスプレイ機器，液晶ディスプレイ）        |

表2 利用されるガラス・ニューガラスの機能

| 目 的         | 用 途        | 求められる機能                    | ニューガラスが利用される機能特性                     |
|-------------|------------|----------------------------|--------------------------------------|
| エネルギーの有効利用  | 熱 回収       | 光学的機能<br>熱的・機械的機能          | 透光性，選択透過，蛍光性，<br>断熱性。                |
|             | 光発電        | 光学的機能<br>電氣的機能<br>熱的・機械的機能 | 透光性，選択透過，蛍光性，非線形，<br>電導性，基板，<br>高強度。 |
| エネルギーの抑制・制御 | 冷・暖房負荷の低減  | 光学的機能<br>電氣的機能<br>熱的・機械的機能 | 透光性，選択透過，<br>電気光学効果，<br>断熱性，高強度。     |
|             | 照明負荷の軽減    | 光学的機能                      | 透光性，選択透過。                            |
| エネルギーの効率化   | 表示装置の効率化   | 光学的機能<br>電氣的機能             | 透光性，選択透過，<br>電動性，基板，電気光学効果。          |
|             | 燃費向上による軽量化 | 熱的・機械的機能                   | 断熱性，高強度。                             |

表3 利用されるガラス・ニューガラスの材料

| 太陽エネルギー材料          | 用 途 | 特 性                              | ニューガラスが利用される材料                                                                                 |
|--------------------|-----|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 変換材料               | 熱回収 | 光透過率<br>選択透過<br>蛍光<br>断熱性        | ミラー、レンズ、低鉄分ガラス。<br>反射防止ガラス。<br>蛍光集光ガラス。<br>真空管ガラス。                                             |
|                    | 光発電 | 光透過率<br>選択透過<br>蛍光<br>電導性<br>高強度 | フレネルレンズ、低鉄分ガラス。<br>反射防止ガラス、紫外線反射ガラス。<br>蛍光集光ガラス、アップコンバージョンガラス。<br>透明電極ガラス、極薄板カバーガラス。<br>太陽電池瓦。 |
| エネルギー負荷の抑制・制御材料    | 低減  | 光透過率<br>選択透過<br>電気光学効果<br>断熱性    | 熱線吸収ガラス。<br>熱反射ガラス、Low-Eガラス、近赤外線吸収ガラス。<br>調光ガラス (ECD, PCD, TCD, LCD, DPS)。<br>複層ガラス、アエロゲルガラス。  |
| 居住環境エネルギー          | 効率化 | 光透過率<br>選択透過                     | 導光用ファイバー、集光レンズ・ミラー。<br>ルーバーガラス、プリズムガラス                                                         |
| 産業機器エネルギー          | 効率化 | 選択透過<br>電導性<br>電気光学効果            | 屈折率分布ガラス、反射防止ガラス。<br>透明電極ガラス、無アルカリガラス、超平坦ガラス。<br>液晶方式調光ガラス。                                    |
| 産業機器エネルギー<br>(自動車) | 軽量化 | 光透過率<br><br>電導性<br>高強度           | 信号用光ファイバー、<br>ヘッドアップディスプレイ用ガラス (HUD)。<br>アンテナガラス。<br>樹脂合せガラス、3次元曲げガラス、<br>オキシナイトライドガラス。        |

表4 対応するガラス・ニューガラスの研究開発の状況

| 開発の方向                                                                           | 開発の段階                     | ニューガラスが利用される材料と関連する開発の方向                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. エネルギーの取得量増加<br>2. 太陽輻射エネルギーの抑制<br>3. 導光率の向上<br>4. 軽量化<br>5. コントラストの向上 (省電源化) | 実用化<br><br>開発中<br><br>研究中 | 反射防止ガラス (1, 5), 低鉄分ガラス (1),<br>熱線吸収・反射ガラス (2),<br>近赤外線吸収ガラス (2), 調光ガラス (2), 光ファイバー (3, 4), 集光用ミラー・レンズ (3), HUD用ガラス (4), アンテナガラス (4), 樹脂合せガラス (4), 均一光散乱体 (CO <sub>2</sub> 固定, 1),<br>透明電極ガラス (1), オキシナイトライドガラス (4),             |
| 6. エネルギー密度の向上<br>7. 熱貫流抑制<br>8. 太陽高度変化利用<br>9. 空力抵抗の減少<br>10. 光取出し量増加 (省電源化)    | 実用化<br><br>開発中<br><br>研究中 | 平面 (局面) 鏡 (6), 真空管ガラス (6), 3次元曲げガラス (9),<br>フレネルレンズ (6), レーザーガラス (核融合, 6), 複層ガラス (ガス入り, 7), アエロゲルガラス (7), ルーバーガラス (8), プリズムガラス (8), ホログラフィックガラス (8), 屈折率分布ガラス (10), 液晶方式調光ガラス (PJ方式LCD, 10),<br>蛍光集光ガラス (7), アップコンバージョンガラス (7), |
| 11. 軽量・高強度・寿命<br>12. 赤外線輻射抑制<br>13. 液晶ディスプレイ化 (省電力)                             | 実用化<br><br>開発中<br><br>研究中 | 太陽電池瓦 (11), Low-Eガラス (12), 透明電極ガラス (13),<br>紫外線反射ガラス (宇宙用, 11), 極薄板カバーガラス (宇宙用, 11), 無アルカリガラス (13), 超平坦ガラス (TFT・STN-LC用, 13),<br>—                                                                                              |

#### 7.4 地球温暖化防止への提言

地球温暖化防止のためには、CO<sub>2</sub>の削減のため太陽エネルギーを利用・制御することが望ましい。太陽は「光」と「熱」を同時にもたらすが、これらを分けて制御するために、住まいの原形の横穴式住居の合理性に着目し、「住む・働く」場としての構築物を地中に設置し、「光」の導入にニューガラスを利用することを提言する。

以上のコンセプトから、具体的な概念設計として、ソーラー・コンドミニウム（多層円形地下住居）およびソーラープランツの設計を行った。