

■ 展望・解説 ■

# ニューガラスの将来展望

Future View of New Glass

速 水 諒 三\*

Ryozo Hayami



## 1. はじめに

ガラスは数千年の歴史を持ち、ビン、板ガラス、光学部品と展開してきた。しかしその歴史の古さにかかわらず、最近までは原料に天然のものを使用し、大気中でルツボ炉やタンク炉で溶融し、したがって酸化物系がほとんどで、加工も研削や研磨、急冷強化など、比較的簡単なものであった。用途は容器や窓のように、空間の仕切りが大部分で、光学の用途も屈折や反射のように単純なものであった。そして主用途たる容器も今では金属、プラスチック、紙に置き替えが進み、レンズにもプラスチックが多く登場してきた。

どんな材料も新しい相手が現われたとき、性能と価格とを勘案して選択が行われる。かつて一升徳利を駆逐したガラスビンが、今は他の材料に追われる立場になったのである。とは言うものの、酔のようにガラスビンでなければならぬものもあるし、雨風や太陽光に対する長期安定性において、現在のソーダ石灰ガラスに取って替わる窓材は見当らない。いわゆる材料の棲み分けである。だからもしもガラス材料が旧来の域を出なければ、残された部分を守るしかないであろう。そしてニューガラスはまさに新技術をもって旧来の限界を打ち破り、ガラスの未来に新世界を拓く先兵である。

## 2. ガラスの特徴とニューガラス

ガラスという言葉で、一般的には表1に挙げるような特性が思い浮かぶであろう。

これらによってガラスは、板、繊維、容器、電気電子部品、光学部品として大きく用途を伸ばしてきた。ところで素材としてのガラスの特徴は表1に加えるに、表2に挙げるようなものがある。これらの特徴は、ガラスが金属やセラミックスとは異って、アモルファス

表1 ガラスの一般特性

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| 透 明 性     | 無色透明で光を通す。                        |
| 耐 久 性     | 水や酸に強く、溶けたり腐ったりしない。               |
| 不 透 過 性   | 気体や液体を通さない。                       |
| 機 械 特 性   | 硬くてかなり強いが、もろくて割れ易い。               |
| 耐 熱 性     | 数百度まで変化しないが、急熱急冷に弱い。              |
| 電 気 絶 縁 性 | 電気を通さない。                          |
| 成 形 加 工 性 | 板、管、繊維など種々の形に成形でき、研磨や曲げなどの加工もできる。 |

表2 素材としてのガラスの特徴

1. 光学的均質性に優れる。
2. 固体の溶媒として優れ、種々の活性物質の固定が可能。
3. 化学組成の連続的変化が可能、物性の微調整が可能。
4. 分相、結晶化、イオン交換等の2次加工が可能。

であることに基づいている。これがガラスが他の素材とは異なる独自の分野を形成する大きな理由である。

従来のガラスは装置産業の色彩が強く、生産性の高い設備の開発によって発展してきた。しかしきまった組成のガラスを大量に生産するという方式では、需要の頭打ちや、一定の技術水準があれば比較的容易に実施できることから、我が国産業として明るい将来を望むことはできない。

一方、1960年代から70年代にかけて、感光性ガラス、ガラスレーザー、フォトリソミックガラス、カルコゲナイトガラスなどが研究開発され、工業製品として製造されるようになった。また1975年以後には、光ファイバー、フォトマスク、光ディスク用メモリーが工業製品として活躍を始めた。これらは表1に挙げた一般的特性では表わしきれない特徴的な性質を備えた高機能材料であって、表2に挙げた素材としての特徴に深

\* 工業技術院大阪工業技術試験所所長  
〒563 池田市緑ヶ丘1-8

く関わっている。そしてこれらをニューガラスと呼んでいる。

ニューガラスを分類すれば、

(1) フォトクロミックガラスのように、ガラスの一般的特性を備えながら、特定の機能を示すもの。

(2) 光ファイバーのように一般的特性の一部を極端に強調して機能を発揮させるもの。

(3) 超イオン伝導ガラスのように一般的特性の一部を機能特性に置き換えたもの。

(4) 不透明結晶化ガラスのように一般特性の一部を犠牲にして有用な機能特性を与えたもの、などとなる。

従来ガラスとの主な相違は、組成が酸化物系に限らず非酸化物系もあること、合成原料（四塩化ケイ素、金属アルコレート、カルコゲン化物、ハロゲン化物）が用いられること、ガラス化が特殊雰囲気熔融や超急冷法、ゾル・ゲル法、PVD法など多様な手段で行われること、加工に結晶化やイオン交換、精密研磨が用いられること、製品が電子部品、光情報処理部品、精密機械部品、生体用材料などであること、等である。

すなわちニューガラスは、最近の技術革新の流れの中でガラス素材が見直され、組成や工程上の技術革新によって諸特性が飛躍的に向上し、その結果として新しい用途分野が広がったものであると定義されよう。

### 3. ニューガラスの現状と課題

#### 3.1 光機能性ニューガラス

透明であることを始めとして光機能はニューガラスの諸特性の中でも最も重要なものである。主なものとして、光ファイバー、光集積回路用ガラス、受動回路部品、屈折率分布ガラス、無機フォトレジスト、選択吸収反射ガラスなどが挙げられる。光機能性ガラスの特徴は、高性能で多種少量のものが多く、ガラス素材の需要量の少ないものが多いことである。そのためガラス素材としての産業を形成するよりも、むしろこのガラスを利用した部品や製品として産業を形成すると考えられる。

光機能性ニューガラスの主なものとしては表3に示すように、光ファイバー、光集積回路用ガラス、受動回路部品、屈折率分布レンズ、選択吸収反射ガラスなどがある。

光ファイバー： 長距離通信は伝送損失を低く抑えるために高純度石英系材料が用いられ、製造方法としてCVDが用いられている。他方、中・短距離用にはソーダ石灰多成分系ファイバーが用いられ、製造は

表3 光機能性ニューガラスの種類と応用

| 特性    | ガラス  | 応用例と用途   |
|-------|--|--|
| 透過性   | 石英系, 多成分系, カルコゲン, ハロゲン化物, 重金属酸化物, 非線形効果ガラス | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 光通信用ファイバ</li> <li>○ 赤外レーザ光伝送用ファイバ</li> <li>○ 光増幅器</li> <li>○ 新光源</li> </ul>                 |
|       | 屈折率分布ガラス, 非球面プレスレンズ, 受動光回路部品               | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 光情報処理微小レンズ</li> <li>○ 光導波路</li> <li>○ 光応用計測部品</li> </ul>                                    |
| 光制御   | 磁気光学効果ガラス<br>音響光学効果ガラス                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 光IC</li> <li>○ 光スイッチ</li> <li>○ 光アイソレータ</li> <li>○ 光変調器</li> <li>○ 光応用センサ</li> </ul>        |
| 蛍光    | Nd レーザガラス<br>Er レーザガラス                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 核融合</li> <li>○ 加工用レーザ装置</li> <li>○ 医療用レーザ装置</li> </ul>                                      |
| 光相変   | 高強度化学強化ガラス<br>カルコゲナイドガラス                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 光メモリ用基板</li> <li>○ 書き換え型光メモリディスク</li> </ul>   |
| 光選択透過 | 金属酸化物・金属膜付きガラス                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 高コントラストフィルタ</li> <li>○ 建築, 車輛用窓ガラス</li> <li>○ ソーラセル用カバー</li> <li>○ 選択反射フィルタ, ミラー</li> </ul> |

二重つぼ法によっている。

通信用に石英系よりもさらに低損失のフッ化ガラスファイバーが研究されている。波長5 μm付近の赤外線まで透過し、数千kmにわたる無中継光通信が実現されることになる。炭酸ガスや一酸化炭素レーザの赤外光は、エネルギーは大きい波長が長いために、現在のファイバーでは伝送できない。そのため、カルコゲナイドガラスや重金属ハロゲン化物ガラスのような赤外光透過ファイバーが研究されている。

選択吸収反射ガラス： 太陽光の熱線を反射する高温熱線反射ガラスと室内の低温熱線反射ガラスが実用化されている。板ガラス表面に金属やその酸化物をコーティングして作られ、ビルや自動車の窓ガラスに用いられる。建築物・自動車等の省エネルギー化、高級化により普及が期待されている。

レーザガラス： ガラスの特徴として大型で均質のものが得られるので、核融合実験装置等の大型・大出力の発振装置にはガラスレーザが用いられている。

現在の研究の中心はネオジムレーザ、エルビウムレーザであるが、レーザ加工やレーザ医療への利用のためには、高繰り返し発振可能なレーザガラスの開発が必

要である。

### 3.2 電磁気機能性ニューガラス

ガラスは一般に電気絶縁体で、種々の基板への応用が図られている一方、組成によってはイオン伝導性、電子伝導性や磁氣的性質を持つものがある。表4にその種類と応用を示す。電気磁気機能性ニューガラスにはガラスの透明性、透光性と電気、磁気、音波特性等をうまく組み合わせた用途が多い。

表4 電磁気機能性ニューガラスの種類と応用

| ガラス                          | 応用                        |
|------------------------------|---------------------------|
| イオン伝導性ガラス                    | センサ、電池、キャパシタ、ディスプレイ       |
| 電子伝導性ガラス                     | メモリ、フォトレジスト、撮像管           |
| 平板ディスプレイ基板<br>太陽電池基板<br>IC基板 | 液晶、プラズマ、EL、ECの各ディスプレイ     |
| フェラーデー回転ガラス                  | 光アイソレータ、磁気センサ             |
| 磁気ディスク基板<br>光ディスク基板          |                           |
| 遅延線ガラス                       |                           |
| エレクトロクロミックガラス                | ECディスプレイ、調光ガラス、光スイッチ、メモリー |

導電性ガラス： ガラス自体が導電性を持つものとガラス表面に透明導電膜を形成したものに大別される。電子伝導性を示すカルコゲンガラスは前者であるが、半導体的な特性やその相転移、構造変化に特異な性質を持つので、電子写真感光膜あるいは蓄積型撮像管の光電面として用いられている。

イオン伝導性ガラスは銀イオンを含むガラスが代表的で、イオン伝導度は室温でも電解質水溶液に匹敵する。薄膜化が可能で、小型で長寿命の固体電池の電解質として期待されている。

透明導電膜付きガラス基板はガラス表面に酸化スズや酸化インジウムの膜を真空蒸着やスパッタリングで着けたもので、液晶ディスプレイ用セル、ELディスプレイ基板、太陽電池基板として広く用いられている。現在のブラウン管に替わる大型ディスプレイの実現のために、大面積・高平坦度の透明導電膜付きガラス基板は不可欠であり、その成形技術の開発が進められているが、なお革新的な成形技術の開発が必要である。

### 3.3 熱・機械機能性ニューガラス

熱に対しては安定なものと逆に軟化しやすいものがある。また機械的強度を上げるために、結晶化や他の材料との複合化が行われている。

結晶化ガラス： シリカーアルミナー酸化リチウム系ガラスを熱処理することによって、熱膨張係数がほとんどゼロの結晶化ガラスが得られる。これは天体望遠鏡の反射鏡、ICパターンの焼き付け装置の反射鏡などの精密光学部品や精密機構部品として用いられている。

耐熱性や強度を増すために、繊維や粒子を分散させた結晶化ガラスも研究されている。シリカーアルミナー酸化リチウム系ガラスに炭化ケイ素繊維を複合し、結晶化させたものは、1000°Cの高温まで、高い強度と破壊靱性を保つ。この温度をさらに上げる努力が払われている。

また結晶化によってジルコニア微結晶を分散析出させたものは、1000°Cの高温に耐え、しかも破壊靱性が一般のガラスの数倍高いと言われている。

オキシナイトライドガラス： 酸素の一部が窒素に置きかえられたガラスで、窒素含有量が数%の高弾性率・高強度のガラスが研究されている。

超高純度石英ガラス： 半導体シリコン単結晶の育成するつばや、拡散炉の部品に用いられ、四塩化ケイ素を原料とするCVD法によって作られる。熱・機械機能性ニューガラスの市場規模の中では、これの占める比率が高い。

表5に熱・機械機能性ニューガラスの種類と応用を示す。

### 3.4 化学・生体機能性ニューガラス

表5 熱・機械機能性ニューガラスの種類と応用

| 特性・機能   | ガラス                      | 応用例              |
|---------|--------------------------|------------------|
| 耐熱性     | 石英ガラス                    | ICフォトマスク基板       |
|         | アルミノケイ酸塩ガラス              | LSIフォトマスク基板      |
|         | ゼロ膨張ガラス                  | 超LSIフォトマスク基板     |
| 熱軟化性    | 精密鋳造ガラス                  | 精密レンズ            |
|         | 封着用ガラス                   | 回路素子の封着          |
|         | 厚膜回路ペースト<br>低温焼結基板       | ICの作製<br>ICの一貫焼結 |
| 高強度・高靱性 | オキシナイトライドガラス             | 強化用繊維            |
|         | 化学強化ガラス                  | 精密機械部品           |
|         | 繊維強化ガラス                  | 建築材料             |
|         | 繊維強化結晶化ガラス<br>ジルコニア分散ガラス | エンジン材料<br>強度部品   |
| 加工性     | マイカガラスセラミックス             | 精密機械部品           |

化学・生体機能性ニューガラスはエネルギー、ライフサイエンス、原子力、生体の広い分野にわたって重要な寄与をすることが期待されるものである。表6に種類および応用を示す。

表6 化学・生体機能性ニューガラスの種類と応用

| 特性・機能   | ガラス         | 応用                |
|---------|-------------|-------------------|
| 化学機能    | 多孔質ガラス      | 気体・液体の精製<br>酵素固定化 |
| ガラス固化機能 | 放射性廃棄物固化ガラス |                   |
| 生体機能    | 結晶化ガラス      | 歯冠、歯根材料<br>人工骨    |

多孔質ガラス： ホウケイ酸ガラスを熱処理してシリカとホウ酸ソーダの2相に分離させ、酸処理して可溶相をリーチアウトし、シリカの骨格だけを残したものである。細孔は連続しており、その直径は50~10,000Åの間で製造条件によってコントロールされる。これを利用して混合ガスの分離精製や液体・溶液の精製を行う膜として応用できる。また酵素を固定する担体や無機触媒の担体としても利用される。

多孔質ガラスは多孔質セラミックスに比べて細孔分布がはるかにシャープであり、ガス分離、逆浸透、限外ろ過、精密ろ過などに優れた性能を示す。価格の点で現在は有機高分子膜が一般に使用されているが、高温での使用、たとえば製鉄所副生ガスからのH<sub>2</sub>やCOの分離は多孔質ガラスでなければならない。

固定化酵素担体としては既に実用化している。細孔表面に存在する多数のOH基を種々の物質で化学修飾し、特別な分離機能を持たせて、臨床分野で一層高度な機能を発揮させることが期待される。

放射性廃棄物固化ガラス： 原子力発電の使用済み核燃料再処理時に発生する高レベル放射性廃棄物をガラス固化し、安全長期に隔離保存しようとするもので、ホウケイ酸ガラスとして溶融固化される。現在フランスで実施されており、将来日本でも長年続けてきた研究に基づいて、この方法が実施される予定である。

生体用ガラス： 人工歯用及び人工骨用に結晶化ガラスが実用化、または実用化に向けてテストが重ねられている。人工骨として従来使用されてきた金属、プラスチック、アルミナは、人体に有害なイオンやモノマーを溶出する可能性があり、また生体不活性のために骨と化学的に結合することは無い。これに対してリン酸カルシウム系結晶化ガラスは生体活性を示して人

体中で骨と化学結合し、また強度も高い。

#### 4. ニューガラスの将来展望

既存のガラス産業では板ガラスやびんガラスに見られるように、極く限られた種類のガラスを色々な形に成形・加工することにより製品の多様化が図られ、産業規模を拡大してきた。そして溶融と成形を中心とした量産技術に支えられて発展してきた。すなわち汎用性ガラス素材を中心として設備集約型の量産形態をとってきた。

これに対して、情報処理、新エネルギー、生命科学、宇宙・航空等、先端産業分野における高機能性材料を目指すニューガラスにおいては、用途に応じた特定の高機能が要求され、その用途も必然的に限定される。またガラス以外の新素材との競争も激しくなる。このようなニューガラスの特徴から、その産業は市場特性、商品特性及び産業形態等で従来のガラス産業とは異なったものとなるであろう。

##### 4.1 ニューガラス産業の特徴

第1には、上に述べたことからして多品種少量生産となる。たとえば遅延線ガラスはVTR画像再生装置やカメラの必要部品として普及したが、全生産量は年間400~500tで、びんガラスの1/5000に過ぎない。しかも10種類ものガラスが生産されている。

第2の特徴は寿命が短いことである。ニューガラスは技術的に革新期にあり、性能は日々向上すると思われる。市場ニーズも日々高度化する。また他の新素材との競争もある。かくしてライフサイクルは短く、陳腐化は早く、研究開発の手をゆるめることはできない。

第3の特徴は需要領域が広いことである。例えば高強度高靱性ガラスは構造材料の色彩が濃いものに対して、人工歯根や人工骨等は完成品としての消費材である。これまでのガラス産業が極く限られた需要家としか接触が無かったのに対して、ニューガラスはあらゆる業種と仕事上の接触が発生する。

第4の特徴は異業種融合である。ニューガラスにはガラス以外の分野の技術を基礎としたものも多く、それぞれの基盤技術に基づいた異分野間の技術融合化が進むと考えられる。つまりニューガラス産業に参入する企業は、既存のガラス産業分野に限定されない、オープンな産業構造をとると想定される。

第5の特徴は川下展開の必然性である。少量生産の特殊機能素材であるニューガラスは素材のまま出荷すれば売上高は小さく研究開発投資を回収することが

できない。だからできるだけ加工度を高くする川下展開の必然性がある。ニューガラスは素材としてよりもデバイスとして組み込まれ、さらにシステムまでアセンブルされて出荷されるであろう。

第6の特徴は、ニューガラスが「多品種少量短サイクル」型産業であることから、中小企業の参入の可能性が高いことである。

#### 4.2 市場規模の予測

ニューガラスはセラミックス、プラスチック、金属等との競合があり、市場規模の予測は困難なところもあるが、2000年には1.6兆から2.4兆と推定されている。現在、全ガラス産業の市場規模が1兆円である。

光学的機能： 光ファイバーは年率20%近い成長が期待され、2000年には7000~8500億円へ拡大すると見込まれ、ニューガラスの中でも群を抜いてトップの座にある。光メモリー用ガラスは書き換え型光ディスクの実用化が進む1990年以降に拡大し、2000年には1200~2400億円に達すると推定される。選択吸収反射ガラスは今後コンピューター用ディスプレイからテレビ受像機、ビルや住宅の高級化による窓ガラス用への需要の増加、自動車用ガラスとして高い伸びが予測され、2000年には610~1220億円が見込まれる。ICフォトマスクの伸びは半導体の伸びに比例すると考えられ、2000年には880~1700億円が予測されている。

屈折率分布ガラス、レーザガラス、光回路用ガラスはいずれも数百億円の規模が予測されている。

磁氣的機能： フェラデー回転ガラス、透磁性ガラスとも現状ではゼロであるが、2000年には50~80億円の規模が見込まれている。

電気・電子的機能： ハイブリッドIC基板が半導体と共に伸びが期待され、2000年には390~760億円の市場が予測される。また透明導電膜付ガラス基板は民生用及び産業用機器市場の伸びに支えられて2000年には1000億に伸びると予測されている。磁気記憶ディスク基板についても数百億の市場が期待されている。

熱的機能： 超高純度石英ガラスが需要を伸ばし、2000年には730~1410億の予測である。封着用ガラスは現状の50億円から5~10倍伸びると考えられている。

機械的機能： 高強度ガラスは2000年に1000億円以上を予測、精密加工用ガラスは数百億円を見込んでい

る。化学・生体適合機能： 2000年には触媒担体として100~200億円、人工骨・人工歯根として340~680億円を見込んでい

表7 ニューガラスの2000年市場予測 (億円)

| 機 能       | 低い予想   | 高い予想   | 比率%   |
|-----------|--------|--------|-------|
| 光 学 的     | 10,780 | 15,550 | 65.0  |
| 磁 氣 的     | 120    | 140    | 0.6   |
| 電 気・電 子 的 | 1,970  | 2,760  | 11.5  |
| 熱 的       | 1,160  | 2,130  | 8.9   |
| 機 械 的     | 1,550  | 1,950  | 8.2   |
| 化学・生体適合   | 920    | 1,380  | 5.8   |
| 合 計       | 16,500 | 23,910 | 100.0 |

表7に2000年市場予測を機能で分類したものを示した。

#### 5. おわりに

昭和60年7月、ニューガラスフォーラムが設立され、62年秋に法人化された。産学官挙げてのニューガラス開発体制がととのい、64年度には工業技術院のプロジェクトとして非線形材料の研究開発が始まろうとしている。今後の発展が期待される場所である。この稿は次の2つの報告書を参考としたものである。

- 1) ニューガラス産業基本問題懇談会報告書、昭62.3.26
- 2) ニューガラス調査報告書(第1報)昭61.8. New Glass Forum

