

《 解 説 》

除湿用合成ゼオライトを利用した複層ガラス

山本信義

旭硝子株式会社 板ガラスカンパニー 日本・アジア本部 品質保証室

複層ガラスの使用で、大きな二酸化炭素排出量削減効果、高い断熱効果、結露軽減など住環境を快適にする効果が得られる。日本での複層ガラスの普及は、世界各国に比べ、かなり遅れていたが、1999年に告示された「次世代省エネルギー基準」を守るため、複層ガラスの普及が進むものと考えられる。複層ガラスは、2枚の板ガラスを一定間隔に保ち、周囲を密閉してスペーサー内部に吸湿剤を充填し、常に中空層を乾燥した状態に保つことで、内部の結露を抑えている。内部結露しないことが、複層ガラスの外観品質として、最も重要な要求品質である。世界各国の複層ガラスの規格が、それぞれ、複層ガラスの寿命に関連する、加速耐久試験方法及び判定方法を定めている。欧州規格案では、乾燥剤の吸湿能力が複層ガラス寿命の一つの尺度として定義付けられつつある。従来複層ガラスが普及してきた地域では複層ガラスの長寿命化への品質要求が高まる事が予想され、今後複層ガラスが普及する地域では高温多湿の過酷な環境下での使用が増える事が予想されるので、今後は複層ガラス用乾燥剤としての合成ゼオライトの果たす役割が今まで以上に重要となってくる。

1. はじめに

除湿用乾燥剤として合成ゼオライトを利用している複層ガラスについて、その役割、普及状況、構造、耐久性能などを紹介する。

2. 地球環境・生活環境と複層ガラスの果たす役割

2.1 複層ガラス化による二酸化炭素排出量削減

現在、地球温暖化防止のために省エネルギーによる二酸化炭素排出量の削減が急務となっている。

エネルギー消費の現状を部門別にみると、製造業部門等においてはこれまでも相当な省エネルギー努力が図られており、その余地は少なくなっている。

一方、住宅・ビル等で消費される民生用エネルギーの伸びが目立っている。そこで、可能な限りエネルギー効率の高い断熱住宅・ビルを建てるのが有効な解決策となる。そのためには、屋根や壁に優れた断熱材を使うことはもちろん、窓やドアなどの開口部にも断熱化を施すことがポイントとなる。

板硝子協会の行った研究調査結果によると、「複層ガラス」の使用で大きな二酸化炭素排出量削減効果が上がることが確認されている。

この調査は、「旧省エネルギー基準」、「新省エネルギー基準」、「次世代省エネルギー基準」の3基準に基づき、モデル住宅で熱負荷のシミュレーション計算を行い、それぞれの断熱化に伴う二酸化炭素の削減量を算出したものである。

まず、日本全国の住宅の開口部を「複層ガラス」以上の断熱仕様にした場合、約200万t/年の二酸化炭素排出量削減が可能となることが確認された。

次に、「次世代省エネルギー基準」を導入した場合は、「旧省エネルギー基準」と比較して約50%、「新エネルギー基準」との比較では約30%の二酸化炭素排出量を削減することができる。すなわち、住宅の断熱材の厚みを増すとともに、開口部をすべて複層ガラス化（次世代省エネルギー基準レベル）すると、現状（ほぼ旧基準レベル）に比べて二酸化炭素を約400万t/年削減することが判明した。

2.2 複層ガラス化による住環境改善

2.2.1 高い断熱効果

冬は冷え込み、夏は蒸し暑い日本の暮らし。四季

を通じて心地良く過ごすには、冬は住まいから逃げる熱を少なく、逆に夏は外から入ってくる熱を少なくし、住まい全体の断熱性を高める事が大切である。

断熱化のポイントとなるのは、住まいの熱の出入りのうち最も大きな割合を占める開口部（窓）。普通の1枚のガラス窓から逃げ出す熱は住まい全体の約48%、入ってくる熱は約71%にも達するからである。

複層ガラスを窓に使えば、普通の1枚ガラスの約2倍という高い断熱効果が得られる。

例えば冬、複層ガラスの窓なら寒さを入れず、暖房した部屋の暖かさを逃がさないため、少ないエネルギーで効率良く暖房することができる。普通の1枚ガラスに比べ、節約できるエネルギーを灯油に換算すると、東京でひと冬約14缶（1缶18リットルで、計252リットル）にもなる。

2.2.2 結露軽減効果

窓が白く曇ってしまう「結露」は、部屋の暖かい空気がガラス面で冷やされて起きる現象である。視界を妨げるだけでなく、放っておくとカーテンや畳などを汚し、カビやダニが発生してアレルギーの原因になり、建物が腐食して住宅の寿命を縮める原因ともなりかねない。

複層ガラスは、この不快な「結露」軽減にも効果的である。

2.2.3 コールドドラフト現象防止効果

十分暖房しているのに、頭のほうは暑く、足元は寒いということがある。これは「コールドドラフト」といって、窓面で冷やされて重くなった空気が下降して床面にたまり、逆に暖まった軽い空気は上の方に移動する現象である。普通の1枚ガラスでは外の空気が窓ガラスを通して室内に伝わり、窓辺や足元が冷え冷えとしてしまうが、断熱効果の高い複層ガラスを使うと足元の温度は確実に2~3度アップする。特に足元の冷えやすい人は快適に冬を過ごすことができる。

3. 世界各国の断熱基準と複層ガラスの普及状況

3.1 欧米では「複層ガラス」が常識

欧米各国の断熱化の動きは早く、ドイツでは1976年に「エネルギー保全法」が制定され、これに基づいて1977年に「熱保護規制」が施行され、新築の窓についてはすべて複層ガラスが義務付けられている。

アメリカでも各州で多少の差はあるが、北部のワシントン州やミネソタ州から南部のフロリダ州まで、厳しい省エネルギー基準を定めている。ちなみに、東京都とほぼ同じ緯度にあるカリフォルニア州の基準は最も厳しいものになっている。

また、お隣の韓国でも、第一次石油危機直後の1975年に建築物の熱損失防止を柱に建築法を改正し、断熱基準を強化している。

このような状況の中で、複層ガラスの普及は急速に進んでおり、人口1人あたりの複層ガラス使用量はドイツが日本の約10倍、アメリカ約9倍、イギリス約8倍、お隣の韓国も約6倍となっている。

日本は、世界各国の普及状況に比べ、かなり遅れているのが現状である。

3.2 遅れていた日本の断熱基準

欧米主要各国の断熱基準は、図1のとおりである。日本では1980年に「旧省エネルギー基準」、1992年に「新エネルギー基準」が告示されたが、日本の断熱基準は世界の動きからかなり遅れていた。1999年に告示された「次世代省エネルギー基準」においてほぼ世界の水準に達した。

3.3 日本も建物が性能で評価される時代に

諸外国に比べて遅れをとっていた日本であるが、1998年6月に建築基準法が改正公布され、これを受けて、「次世代省エネルギー基準」が告示され、2000年4月に「住宅品質確保促進法」が施行された。これらの制度や基準を守るため、日本での複層ガラスの普及が進むものと考えられる。これらの制度や基準を守ることで、快適な生活と同時に環境負荷軽減にも大きく貢献するものと考えられている。

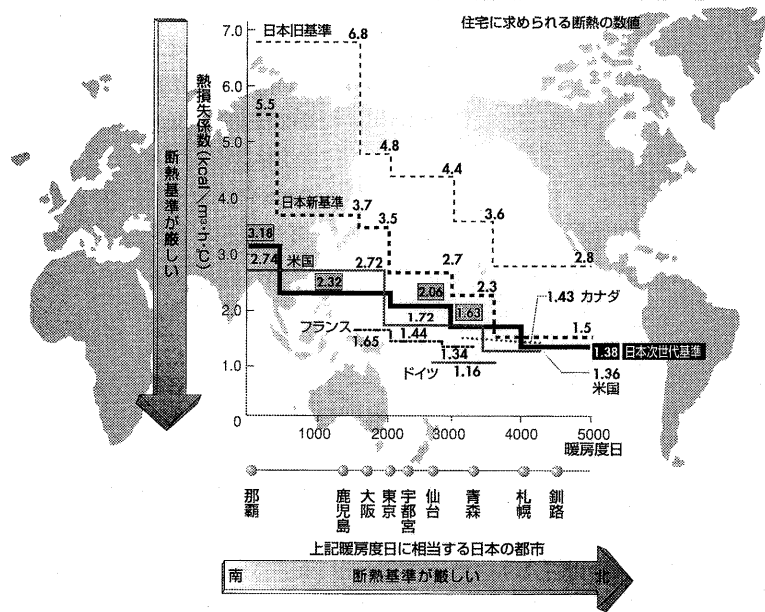
今後、日本の建物は、自動車の諸元のようにさまざまな性能基準で評価される時代に入ることになる。開口部における複層ガラスの役割はますます大きくなっていく。

4. 複層ガラスの種類

4.1 「複層ガラス」とは？

弊社は、他社に先駆け、既に1952年から【ペヤグラス】の名称で「複層ガラス」を製造してきた。

複層ガラスは、2枚の板ガラスを一定間隔に保ち、周囲を密閉してスペーサー内部に吸湿剤を充填し、



※暖房度日：{(暖房している部屋の室内温度) - (1日の気温平均値)} × 出現日数を年間を通して積算したもの。暖房の燃料費の指標となる。

図1 世界各国の断熱基準比較

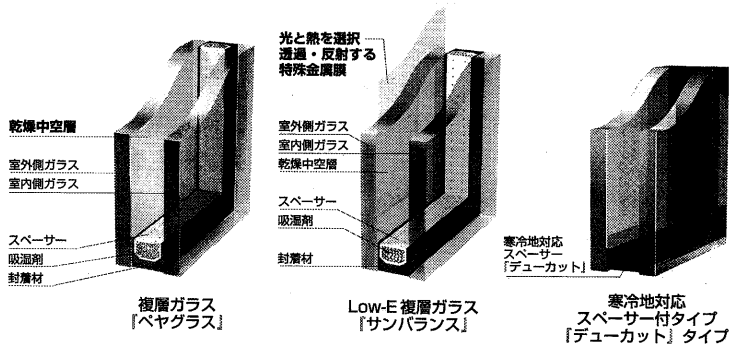


図2 複層ガラスのしくみ

常に中空層を乾燥した状態に保っている (図2参照)。この中空層がダウンウエアや魔法瓶と同じ原理で熱の移動を防ぎ、断熱効果を発揮する。また中空層を常に乾燥した状態に保つことで、内部の結露を抑えている。

4.2 シングルシールタイプ

弊社が『ペヤガラス』の製造を始めた当時は、シングルシールタイプと呼ばれる複層ガラスを製造してきた。このタイプは複層ガラスとしての耐久性が

低く、製造後、比較的早期に内部結露を起こすため、弊社では建築用途向けには現在では出荷していない。

4.3 デュアルシールタイプ

現在、一般に製造されている、シール剤の機能を二つの機能、透湿抵抗性能と接着強度性能とに分離した、デュアルシールタイプと呼ばれる複層ガラスは、次のような部材から構成される (図3参照)。弊社では1980年より、このタイプの『ペヤガラス』の製造を開始した。

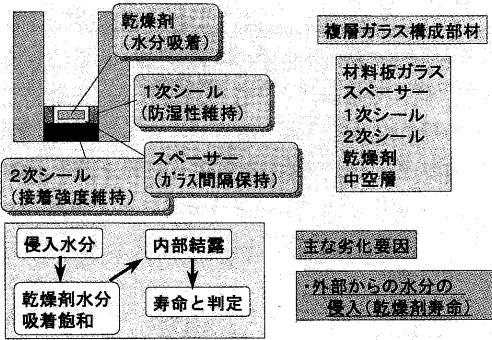


図3 複層ガラスの構成と主な劣化要因

材料板ガラス：主な機能は透視性確保にある。4.4項でも述べるが、断熱性能・遮熱性能を高めるため、表面にLow-Eと呼ばれる低放射率材料をコーティングしたタイプもある。

スペーサー：機能は、2枚の材料板ガラスの間隔保持にある。材質として、コストの観点から、一般にアルミニウム合金が用いられる。

1次シール：機能は、外から水分が複層ガラスの中空層内へ侵入することを妨げる事にある。ブチルゴムを主成分とする材料が一般に用いられる。

2次シール：機能は2枚の材料板ガラス同士を接着し、その接着強度を維持することにある。ポリサルファイド系シーリング剤、シリコーン樹脂系シーリング剤等が用いられる。

乾燥剤：機能は、外から複層ガラスの中空層内へ侵入する水分を吸収することにある。材料として、合成ゼオライト、シリカゲル等が用いられる。

中空層：機能は、熱を伝え難くすることである。材質として、一般には空気を用いられるが、断熱性能を高めるため、空気よりも熱を伝えにくい特殊なガスをういた品種がある。特殊なガスとして、アルゴン、クリプトン等が用いられる。

4.4 Low-E 複層ガラス

2枚の板ガラスの間に乾燥した空気を密閉し、さらに片面に特殊金属膜をコーティングした「Low-Eガラス」を材料板ガラスに用いた「Low-E複層ガラス」(弊社の製品では【サンバランス】【サンレーヌ】)は、夏の強烈な太陽エネルギーを反射し、さらに室内の温度を外部に伝達しにくくし、冷房効果を高める。また、冬は室内の暖房熱を逃がさないで、

冬暖かく夏涼しい快適な室内環境を実現する。

「Low-E複層ガラス」【サンバランス】【サンレーヌ】は普通の1枚ガラスに比べて約3.5倍、標準「ペヤガラス」に比べても約1.7倍、断熱性に優れており、結露の発生を軽減し、住宅の耐久性も向上させるという特長を持っている。

【サンバランス】は普通の1枚ガラスに比べて約2.2倍、普通の「ペヤガラス」に比べても約2倍遮熱性に優れている。

4.5 ウォームエッジタイプ

乾燥空気層をつくるために必要不可欠な部材“スペーサー”は熱を伝えやすい金属(アルミニウム)でできており、特に寒さの厳しい環境下では、ガラス周辺部に結露を引き起こす原因となっていた。スペーサーとして金属よりも熱を伝えにくい樹脂などを用い、ガラス周辺部からの熱の逃げを低減させている、ウォームエッジタイプと呼ばれる仕様がある。

弊社では、高性能樹脂に乾燥剤を練り込んだスペーサーを使用した複層ガラス【デューカットI】タイプ、塩ビ系樹脂スペーサーを使用した複層ガラス【デューカットII】タイプをそれぞれ1998年より製造している。【デューカット】のスペーサーの熱伝導率はアルミニウムの約1,000分の1であり、【ペヤガラス】の断熱性をさらに高め、ガラス周辺部における結露の発生を抑えることができる。

5. 複層ガラスの露点性能

複層ガラスの中空層内に外から侵入した水分が飽和状態に達すると、ガラス表面で凝縮し、内部結露と呼ばれる現象が起きる。このような状態になると、窓ガラスの重要な機能である、透視性が損なわれる。このため、内部結露しないことが、複層ガラスの外観品質として、最も重要な要求品質である。日本の複層ガラスの規格JIS R 3209¹⁾では、複層ガラスの封入空気露点(複層ガラスの内面に目視で認められる結露又は結霜を生じる最高温度)は、 -35°C 以上であってはならない、とし、冬場の日本国内で想定される最低気温まで低下しても複層ガラスが内部結露を起こすことがまず無いように、規定している。なお、長期にわたって使用された結果、乾燥剤が吸着した水分が飽和状態となり、内部結露した複層ガラスは、その寿命が訪れたと判断される。(図3参照)

6. 複層ガラスの耐久性能

6.1 世界各国の複層ガラス規格における加速耐久試験方法及び判定方法

世界各国の複層ガラスの規格として、日本には JIS R 3209, 米国には ASTM E 774²⁾, 欧州には規格案 prEN1279³⁾があり、それぞれ、複層ガラスの寿命に関連する、加速耐久試験方法及び判定方法を定めている。

6.2 日本規格 JIS R 3209

JIS R 3209 の封止の加速耐久性試験は、耐湿耐光試験及び冷熱繰返し試験から成る。

耐湿耐光試験は、試料を 55 ± 3 °C, 相対湿度 95 % 以上の雰囲気において、近紫外線蛍光ランプによってガラスと封止材の接着面を照射する。

冷熱繰返し試験は、試料を -20 ± 3 °C に 1 時間保持した後、 50 ± 3 °C に 1 時間保持する。これを 6 時間の 1 サイクルとして繰り返す。

JIS R 3209 の封止の加速耐久性による区分で、最も耐久性能の高い III 類の試験は、耐湿耐光試験 7 日間実施、冷熱繰返し試験 12 サイクル実施、耐湿耐光試験 7 日間実施、冷熱繰返し試験 12 サイクル実施、耐湿耐光試験 28 日間実施、冷熱繰返し試験 48 サイクル実施、の後、露点を測定する。

耐久性能の合否判定方法は、露点が -30 °C 以上のものがあってはならないことである。

6.3 米国規格 ASTM E 774

耐久性試験は、高湿試験と気候サイクル試験からなる。

高湿試験は、一定温度 60 ± 3 °C, かつ相対湿度 95 ± 5 % の条件である。

気候サイクル試験は、温度サイクル、UV 照射期間、高湿期間から成る。温度は 57.2 °C から -28.9 °C のサイクルとし、上限および下限温度で 1 時間一定温度とする。この試験時間にわたり、温度が 20 °C 超になる全時間、UV 照射を行う。高湿期間は、最高温度に達する 15 分前に開始し、最高温度保持時間の終了時点で終わる。高湿条件は、温水フォグ/ミスト噴霧により、全時間 75 分にわたり 95 % RH とする。なお 1 サイクル 6 時間である。

ASTM E 774 で最も耐久性能の高い Class CBA の耐久性試験は、高湿試験 14 日間、気候サイクル試験

35 日間、高湿試験 14 日間、気候サイクル試験 14 日間、高湿試験 14 日間、気候サイクル試験 14 日間、の順に行われる。

耐久性能の合否判定方法は、露点が -34.4 °C を超えるものがあってはならないことである。

6.4 欧州規格案 prEN1279

prEN1279 Part 2 の気候試験 (高温高湿試験) の手順は、二つのステップからなる。最初のステップでは、 -18 °C から 53 °C の範囲で温度勾配 14 °C/時間で変化する 12 時間の試験を 56 サイクル行う。 53 °C のとき、相対湿度は 95 % 以上に保たれる。次のステップでは 58 °C の一定温度、相対湿度 95 % 以上を 7 週間保持する。

気候試験を始める前に、供試体の吸湿剤の初期水分 T_i を測定する。供試体数が複数あるので、供試体それぞれの T_i の平均である平均初期水分を $T_{i,av}$ とする。気候試験後、供試体の吸湿剤の最終水分 T_f を測定する。また標準吸湿容量 T_c を確定する。吸湿剤がゼオライト 3A の場合、一般的に認められている値、 $T_c = 0.18$ を用いてよいとされている。 T_c を実測する場合、複数の供試体について実測した T_c の平均である平均標準吸湿容量を $T_{c,av}$ とする。気候試験を行った五つの指定供試体のそれぞれについて、次の式により透湿係数 I を小数または % で計算する。

$$I = (T_f - T_{i,av}) / (T_{c,av} - T_{i,av})$$

または

$$I = 100 \cdot (T_f - T_{i,av}) / (T_{c,av} - T_{i,av}) \quad (\%)$$

次の式により、平均透湿係数 I_{av} を計算する。

$$I_{av} = \sum_{n=1}^5 I_n / 5$$

耐久性能の合否判定方法は、

(1) 供試体の平均透湿係数 I_{av} が、100 分率もしくは小数のいずれかで表すかに応じ、20 % または 0.20 を超えてはならない。

(2) 最大透湿係数を示す供試体でもその透湿係数 I は 25 % または 0.25 を超えてはならない。

である。

露点性能ではなく、吸湿剤の吸湿能力に着目した透湿係数で合否判定するやり方は、他国の規格にはない特徴である。

7. 複層ガラス用合成ゼオライト

弊社の複層ガラス一般品及び【デューカットII】では、スペーサーへの充填のし易さ、複層ガラス製造後、スペーサー中空層側通気孔より飛び出さない大きさであること、等の観点から、造粒タイプの合成ゼオライトを選択し、使用している。但し、寸法が大きくなると、断面積の小さいスペーサーへの充填効率が低下する為、大きすぎても好ましくない。適度な大きさの造粒タイプを選択している。

【デューカットI】では、樹脂質スペーサー原料をブチルゴム、カーボンブラック等の材料と混練するため、吸湿剤として、合成ゼオライトのパウダータイプを使用している。

8. 今後の展望

6.4項で述べたように、複層ガラスの欧州規格案では、乾燥剤の吸湿能力が複層ガラスの耐久性すなわち複層ガラス寿命の一つの尺度として定義付けられつつある。また、従来、主に寒冷地で普及してきた複層ガラスであるが、夏場の冷房負荷低減効果があり、特にLow-E複層ガラスにその効果が高いこと

から、今後は高温多湿な地域への普及が見込まれる。従来複層ガラスが普及してきた地域では複層ガラスの長寿命化への品質要求が高まることが予想され、今後複層ガラスが普及する地域では高温多湿の過酷な環境下での使用が増える事が予想されるので、今後は複層ガラス用乾燥剤としての合成ゼオライトの果たす役割が今まで以上に重要となってくる。

9. 終わりに

吸湿用合成ゼオライトを利用した複層ガラスを紹介した。

複層ガラスの寿命を現状以上に延ばすため、既存の合成ゼオライトよりも吸湿能力の高い、ゼオライト新商品の開発を期待している。

文 献

- 1) JIS R 3209, 日本工業規格, 複層ガラス (1998).
- 2) ASTM E 774-97, Standard Specification for the Classification of the Durability of Sealed Insulating Glass Units.
- 3) prEN 1279, Glass in Building - Insulating Glass Units.

Insulating Glass Units using Synthesized Zeolite desiccant

Nobuyoshi Yamamoto

Quality Assurance Office, Japan/Asia Pacific General Div., Flat Glass Company, Asahi Glass Co., Ltd.

Using insulating glass units is effective to decrease CO₂ in the air and brings comfortable housing environment such as high heat insulation and reduction of window dew. Japan has lagged far behind other nations in the diffusion of insulating glass units. To keep "The next generation saving energy standard" notified in 1999, the diffusion of insulating glass units in Japan is expected. One unit of insulating glass has two pieces of sheet glass separated from fixed air space, and its edge is sealed up. Filling the spacer with desiccant and always keeping dry the airspace stop the inside dew in insulating glass unit. It is the most important required quality in the visible quality of insulating glass units to stop the inside dew. Various standard of insulating glass unit in the world respectively define the accelerated endurance test method and judgment method referring to the insulating glass units' life. In draft of European standard, moisture adsorption capacity of desiccant will be defined as one of the rule of the insulating glass units' life. It is forecasted that quality requirement which extend the life of insulating glass units will be raised in the region where insulating glass units have become widespread so far. And it is forecasted that using the insulating glass units under the severe environment - high temperature and high humidity will increase in the region where insulating glass units will become widespread in the future. The part which synthesized zeolite desiccant used in insulating glass units will execute will be important in the future.

Keywords: insulating glass unit, desiccant, accelerated endurance test, heat insulation, saving energy