

## 断熱・遮熱ガラス

旭硝子株式会社 板ガラスカンパニー 日本・アジア本部 製品技術部 企画グループ

松本 猛

### Thermal insulation glass and Solar control glass

**Takeshi Matsumoto**

*Flat glass Japan/Asia, ASAHI GLASS CO., LTD*

#### 1. まえがき

地球温暖化対策として、CO<sub>2</sub>ガスの削減が全世界で緊急の課題となっている。日本においても、京都議定書の削減目標（1990年比で6%の削減）の達成が、危ぶまれている。その理由は、1990年に比較して現在の総排出量が17.9%の増加となっているからである。この中で、増加の割合が多いのは、「オフィスなど業務その他部門」と「家庭部門」であり、それぞれ37.9%と31.6%となっている。<sup>\*1</sup>

オフィスや家庭では、快適性等を追求するためにエネルギーの消費が増えているものと思われる。オフィス、家庭でのエネルギー消費の中で、冷暖房などの空調エネルギーの割合は大きく（木造戸建住宅で31%）、その削減は大きな課題である。そのためには、オフィス、家庭の

冷暖房エネルギー負荷の中で、大きな割合を占める窓などの開口部からの負荷を低減することが必要となる。窓からの冷暖房負荷低減のためには、窓の中で大きな面積を占める、ガラスの断熱性向上が期待されている。

#### 2. 窓ガラスと省エネルギー

##### 2-1. 窓ガラスの断熱性と遮熱性

オフィスビル、住宅（戸建、集合）での空調負荷の大きな割合を占める開口部からの負荷の主要部分は、ガラスからの負荷である。窓ガラスからの負荷で大きな割合を占めるのは、冬季は室内と室外の温度差（室内温度>室外温度）によって室内から出て行く貫流熱（暖房負荷）であり、夏季は窓ガラスを透過し室内に入ってくる日射熱（冷房負荷）である。冬季の貫流熱の割合を示す指標は熱貫流率（U値）といい、この指標が示す性能を断熱性という。U値は、室内と室外の温度差が1Kのときに、断面積1㎡の面を通過するエネルギー量を示す。単位は、[W/㎡・K]である。断熱性がよい（高

〒100-8405 千代田区有楽町 1-12-1  
TEL 03-3218-7753  
FAX 03-3218-7001  
E-mail: takeshi-matsumoto@agc.co.jp

表1 代表的な板ガラス製品の断熱性能, 遮熱性能

板ガラスの種類	断熱性能	遮熱性能
	U 値[W/m <sup>2</sup> ・K]	g 値
単板ガラス (8 ミリ)	5. 8	0. 8 2
熱線吸収ガラス (ユーロブロンズ、6 ミリ)	5. 8	0. 6 2
高遮蔽性能熱線反射ガラス (サンルックス SS20、6 ミリ)	5 0	0. 3 5
複層ガラス (透明、6 ミリ+6 ミリ空気層+6 ミリ)	3. 3	0. 7 4
高遮熱断熱 Low-E 複層ガラス (サンバランス_クールグリーン、⑥ミリ+6 ミリ空気層+6 ミリ)	2. 5	0. 3 5
高遮熱断熱 Low-E 複層ガラス (サンバランス_クールグリーン、⑥ミリ+1 2 ミリ空気層+6 ミリ)	1. 6	0. 3 4
熱線反射複層ガラス (サンカットΣ、ユーログレーペヤ、⑥ミリ+6 ミリ空気層+6 ミリ)	3. 3	0. 4 3
高断熱 Low-E 複層ガラス (サンバランスシルバー、6 ミリ+6 ミリ空気層+⑥ミリ)	2. 5	0. 5 6
高断熱 Low-E 複層ガラス (サンバランスシルバー、6 ミリ+1 2 ミリ空気層+⑥ミリ)	1. 8	0. 5 5

注) ガラス種類の○印は、金属膜をコートしたガラスを示す。

い) ほど、U 値は小さくなる。夏季の日射熱の透過の割合を示す指標は日射熱取得率 (g 値) といい、この指標が示す性能を遮熱性という。g 値は、ガラスに入射する太陽光エネルギーを 1.0 としたときの、ガラスを透過したエネルギーと一度ガラスに吸収されて、室内側に再放射されたエネルギーの和を示す。代表的な板ガラス製品の断熱性能、遮熱性能を表 1 に示す。

## 2-2. 窓ガラスと空調負荷

建物を空調 (冷房, 暖房, 換気, 調湿など) するのは、主に室内で居住する人の周りの環境を快適に保つためである。空調によって室内を快適な状況に保つために、取り除かなければならないものを、建物の空調負荷という。室内での発熱 (人体, 照明, 調理, パソコンなど)、換気により奪われる (もたらされる) 熱量、そして開口部 (窓, ドアなど)、外壁, 屋根, 床などから、流入 (流出) する熱量が空調負荷の代表的なものである。そこで、建物の空調負荷を低減することが出来れば、同じ環境 (快適性)

を維持するための空調エネルギーを低減することができ、建物の省エネルギーを実現することが可能となる。

## 3. 断熱ガラス

### 3-1. 複層ガラス

建築物に開口部 (窓など) は不可欠であるが、一寸オーバーに言うと数十年前 (第 1 次オイルショック前) までは、日本ではごく一部の地域 (北海道など) を除いて省エネルギーについて配慮した開口部は見られなかった。

複層ガラスは、現在最も一般的な断熱ガラスである。旭硝子は、断熱性を向上した複層ガラスを 1954 年に生産開始した。複層ガラスは、図 1 に示すように 2 枚のガラスを一定間隔を保持して、中空層に乾燥空気を封入し、周辺から湿気が入らないようにシールしたものである。主に住宅に使用されていた。しかし、なかなか普及することはなかった。

複層ガラスは、中空層に閉じ込められた空気の断熱性により、断熱性を発揮することが出来ている。複層ガラスの中空層の厚さは、一般的

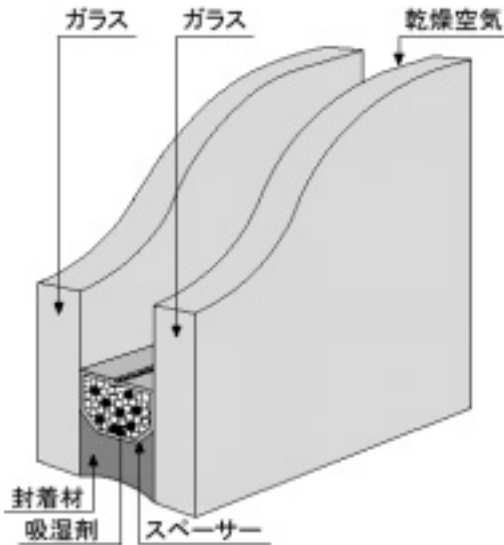


図1 複層ガラスの構造

には6 mm から15 mm 程度である。中空層が薄いと、断熱性は低くなり、中空層が厚くなると断熱性は高くなる。しかし、中空層が厚すぎると断熱性がかえって下がることもある。理由は、中空層の空気が2枚のガラスの温度差によって対流を起し、熱を伝え易くなってしまいうからである。

### 3-2. Low-E 複層ガラス

複層ガラスの中空層内での熱の移動を考えると、12 mm 空気層の場合、伝導による伝熱が

約35%で、放射による伝熱が約65%となっている。これから、複層ガラスの断熱性を向上するためには、まず放射による伝熱を抑えることが重要であることがわかる。放射による伝熱を抑えるために開発されたのが、ガラスの表面に特殊金属膜をコートした低放射ガラス（以下Low-Eガラスと呼ぶ）である。Low-Eガラスは、金属コート面の放射率が低く、図2に示すように短波長側の可視光を透過し、常温付近の物体が放射する長波長の電磁波を反射する性質を持っている。放射率 $\varepsilon=0.1$ 程度のLow-Eガラスを用いた複層ガラスであれば、U値は1.7 [W/m<sup>2</sup>・K]となり、ガラスを3枚使った3層の複層ガラス（Low-E無し、空気層各12 mmのU値は1.9 [W/m<sup>2</sup>・K]）以上の断熱性を得ることが出来る。

また、空気よりも断熱性の高いガス（例えば、ArやKr）を中空層内に封入することにより更に高い断熱性を得ることが可能になる。すでに欧米では広く使われており、最近の北海道では、Arガス入りのLow-E複層ガラスが、標準となってきている。

代表的なLow-Eコーティング膜を表2に示す。現在使われているLow-E膜には、真空を利用したスパッタリング法によるAg系と板ガラス生産時の高温を利用したCVD（Chemical vapor deposition）法によるSnO<sub>2</sub>系の2種類

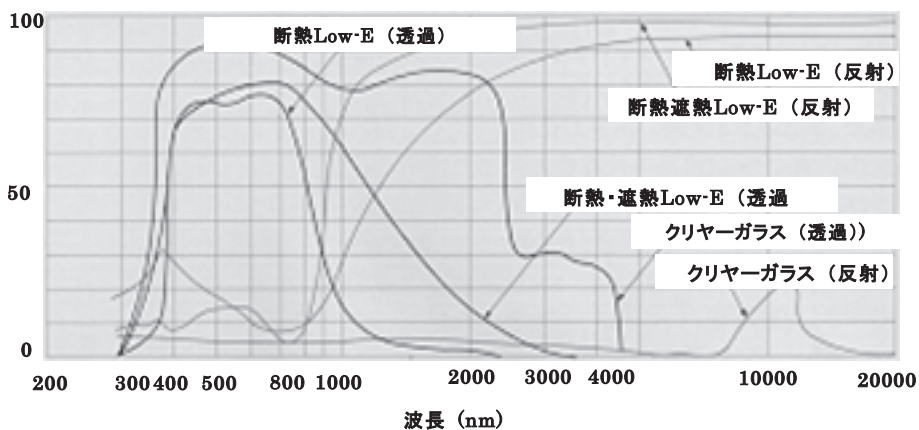


図2 Low-Eガラスの分光透過特性

表2 代表的な Low-E ガラスの膜構成, コーティング法, 放射率

膜構成	コーティング法	放射率
ZnO/Ag/ZnO/ガラス	スパッタリング	~0.1
SnO <sub>2</sub> /Ag/SnO <sub>2</sub> /ガラス	スパッタリング	~0.1
SiN <sub>x</sub> /Ag/SiN <sub>x</sub> /ガラス	スパッタリング	~0.1
SiN <sub>x</sub> /Ag/TiO <sub>2</sub> /ガラス	スパッタリング	~0.1
TiO <sub>2</sub> /ZnO/Ag/ZnO/ガラス	スパッタリング	~0.1
SiN <sub>x</sub> /ZnO/Ag/ZnO/ガラス	スパッタリング	~0.1
SiN <sub>x</sub> /ZnO/Ag/ZnO/Ag/ZnO/ガラス	スパッタリング	~0.05
ZnSn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /Ag/ZnSn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /Ag/ZnSn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /ガラス	スパッタリング	~0.05
SnO <sub>2</sub> :F/SiO <sub>x</sub> C <sub>y</sub> /ガラス	CVD	~0.2
SnO <sub>2</sub> :F/SiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> /ガラス	CVD	~0.2

がある。また、Ag系には、Ag1層とAg2層がある。断熱性に影響する放射率は、SnO<sub>2</sub>系、Ag1層系、Ag2層系の順で小さくなる。

Ag2層系のLow-EガラスでArガス入り中空層厚12mmのガス入りLow-E複層ガラスのU値は1.4[W/m<sup>2</sup>・K]となる。また、Low-Eガラスを2枚使い、Ar入り12mm中空層が2つある3層複層ガラスのU値は、1.0[W/m<sup>2</sup>・K]となる。

### 3-3. 真空ガラス

断熱ガスとは違う手法で断熱性の向上を目指したのが真空ガラスである。真空ガラスは、中空層を真空状態とし、伝導、対流による伝熱を抑えたもので、3mmガラス2枚で、片側にLow-Eガラスを用いた場合でU値は、1.1~1.3[W/m<sup>2</sup>・K]程度である。真空層の厚さは約0.2mmと薄い。<sup>\*2</sup>

## 4. 遮熱ガラス

### 4-1. 熱線吸収ガラス

遮熱性を向上した初期のガラスは、ガラス中に微量の金属イオンを含むことにより日射を吸収する熱線吸収ガラスである。Fe.Co.Seなどを加えることによって、ブルー、グリーン、ブロンズなどの熱線吸収ガラス(着色ガラス)を製造した。主に事務所ビルに採用された。

### 4-2. 熱線反射ガラス

熱線吸収ガラスでは、遮熱性を上げるために日射の吸収率を高くすると、可視光の透過も減少してしまうので、遮熱性を高くすることに限界があった。そこで、日射の反射率を高くすることにより遮熱性を向上した熱線反射ガラスが登場した。熱線反射ガラスの代表的な膜構成を表3に示す。熱線反射ガラスは冷房負荷を低減するだけでなく、そのデザイン性を評価されてミラーガラスとして大型事務所ビルに広く使われた。

### 4-3. 遮熱Low-E複層ガラス

熱線反射ガラスは、一時非常に多く使われたが、最近では使われる機会が減少傾向にある。そのデザイン性に設計者が飽きてきたともあると思われるが、透明感のあるビルデザインが好まれてきたということも大きいと思われる。この透明感のあるデザインを造っているのが、遮熱Low-E複層ガラスである。

3-2.でLow-E膜には大きく分けて、3種類あると説明したが、この3種類のLow-E膜の日射熱の透過性は、SnO<sub>2</sub>系、Ag<sub>1</sub>層系、Ag<sub>2</sub>層系の順で低くなっている。このために、主にAg<sub>2</sub>層系のLow-E膜を使った複層ガラスが遮熱複層ガラスとしてビル建築に多く使われるようになって来た。遮熱Low-E複層ガラスの構

表3 熱線反射ガラスの膜構成，コーティング法，g 値

膜構成	コーティング法	g 値
TiN <sub>x</sub> /SUS/ガラス	スパッタリング*	0.23
TiN <sub>x</sub> /SUS/ガラス	スパッタリング*	0.35
TiN <sub>x</sub> /ガラス	スパッタリング*	0.41
TiO <sub>2</sub> /TiN <sub>x</sub> /TiO <sub>2</sub> /ガラス	スパッタリング*	0.39
TiO <sub>2</sub> /TiN <sub>x</sub> /TiO <sub>2</sub> /ガラス	スパッタリング*	0.46
TiO <sub>2</sub> /ガラス	オンライン(CVD、スプレー)、スパッタリング*	0.68
SnO <sub>2</sub> :Sb/SiO <sub>x</sub> C <sub>y</sub> /ガラス	オンライン CVD	0.61

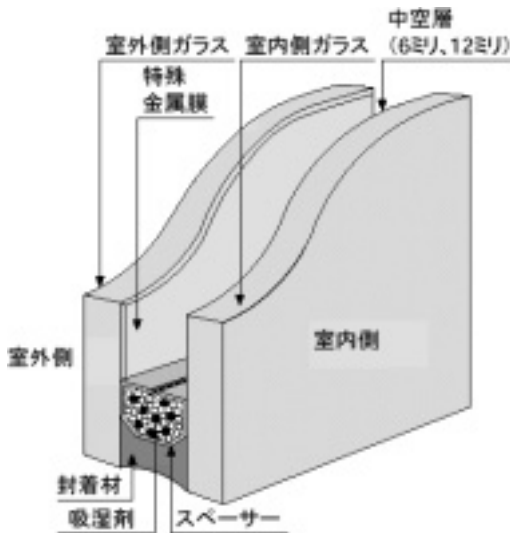


図3 遮熱 Low-E 複層ガラスの構成

成を図3に示す。遮熱タイプでは、Low-E膜（特殊金属膜）は、室外側ガラスの中空層側にコートされている。このような配置にすることにより、Low-E膜が吸収した日射熱を、室外側に排出される割合を多くすることが出来る（図4）。3-2. で述べた断熱タイプのLow-E複層ガラスでは、Low-E膜（特殊金属膜）は室内側ガラスの中空層側に配置され、吸収した日射熱を室内側に流入する比率を多くすることが出来ている。

遮熱 Low-E 複層ガラスには、反射色、透過色、日射熱取得率などのバリエーションが多く、かつ透明性と遮熱性能の両立が可能であるので、主に事務所ビルで省エネルギーとデザイ

ニングの両立を求めて、今後広く使われるようになることが期待されている。

## 5. まとめ

21世紀は、ますます建築、特に住宅（戸建、集合）と事務所ビルの快適性と省エネルギーが追及される時代になることが予想されている。快適性と省エネルギーを追求する方法としては色々な方法が考えられる。今回は触れなかったが、ビル建築などにおいては、ダブルスキン、エアフローなど開口部の断熱性、遮熱性を向上する方法が色々提案され、使われてきている。また、住宅、ビルでは可視光が透過する太陽電池を組み込んだ窓も提案されている。しかし、広範に普及することによって、日本全体での使用エネルギーを低減していくためには、使用する材料が安定的に入手でき、コストがこなれていて使いやすく、デザイン的にバリエーションが豊富であることなどが必要になる。そのときには、Low-E断熱・遮熱複層ガラスが最も適した開口部材料であると思われる。

しかし、化石エネルギーの枯渇、エネルギー価格の増大などを考慮すると、建築分野において省エネルギーを求める流れは、今後ますます進んでいくと思われる。この時代の要請にこたえるべく、Low-E断熱・遮熱複層ガラスの性能、デザイン性などの向上に向けて、研究開発がさらに進むことを期待している。

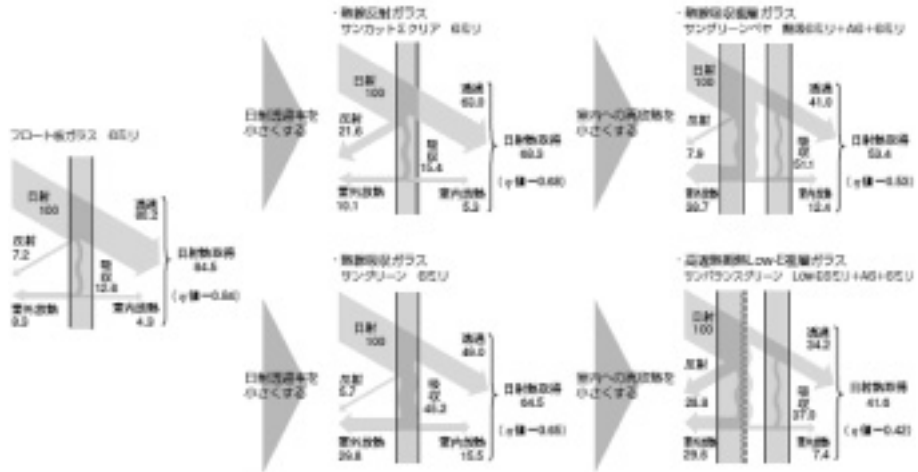


図4 窓ガラスにおける遮熱の仕組み

参考文献

- [1] 安藤 英一, 無機マテリアル, 11, 499-505 (2004)
- [2] 旭硝子板ガラス建材総合カタログ, AGC グラスプロダクツ株式会社
- [3] 旭硝子のガラスプラザ (<http://www.asahiglass-plaza.net/>)

注1: 全国地球温暖化防止活動推進センター (<http://www.jccca.org/>)

注2: 真空ガラスのホームページ (<http://shinku-glass.jp/>)