特集 不動産の環境対策と身近な取り組みの効果【論説】

建物開口部の窓ガラス構法と断熱・遮熱効果

The installing, thermal insulation and solar shading effect of the building window

Shigetoshi HIRASHIMA : Technical group for Building Environment, Flat Glass Manufacturers Association of Japan
AGC Glass co.ltd Japan/Asia Pacific Japan
division Manager

平島 重敏*

1. はじめに

我が国は化石燃料に乏しく、エネルギーの安定的確保は常に大きな課題であり続けています。特に東日本大震災以降、エネルギーの安定的供給構造の確立とともに徹底した省エネルギー社会の実現、再生可能エネルギーの導入加速化等が強く求められています。このような状況において、我が国の業務・家庭部門として分類される建築物で消費されるエネルギー量は他部門と比べ過去からの増加傾向が顕著であり、建築物省エネ法の基準整備が進められています。建築物省エネ法においては、2000m²以上の建物では建物全体の1次エネルギー消費量の評価が義務付けられ、その誘導基準においては、1次エネルギー消費量以外に外皮熱性能の評価も行われる予定です。

ここでは建築物外皮の中でも他の部材よりも断熱性能が低く多くのエネルギー流入のある窓ガラスを紹介し、窓種類別の省エネ性能比較結果を紹介します。また、より高性能な窓システムについても紹介します。さらに、窓に関する評価が、建築物の環境価値として取り上げられている評価制度を紹介します。

2. 窓ガラスの種類

建物に用いられるガラスは、主に、単板ガラス、合わせガラス、複層ガラスです。

単板ガラスは古くから使われており、透明ガラス、熱線吸収ガラス、熱線反射ガラスなどがあります。種類によってガラスを透過、反射する可視光、日射性能が異なりますが、断熱性能は低いと言えます。

合わせガラスは2枚のガラスの間に特殊なフィルムを挟み、破損時に優れた飛散防止効果を発揮するもので主に安全・安心を確保する防災・防犯用途で用いられています。上記の様々な単板ガラスを用いた合わせガラスがありますが、ガラス単

●Low-E複層ガラスの構造

表 代表的なガラスの熱光学性能値

構成	熱貫流率[W/m ² K]*1	日射熱取得率[-]*2	可視光透過率[%]
透明単板ガラス	5.8	0.85	88
透明複層ガラス	2.9	0.74	79
高性能熱線反射複層ガラス	2.3	0.17	8
日射遮蔽型Low-E複層ガラス	1.6	0.42	67
日射取得型Low-E複層ガラス	1.9	0.64	73

*1 室内外気温差が1℃であるとき、高温側から低温側へ1m²あたり流出する熱量。計算方法はJIS R3107による。

*2 受照日射量に対する、ガラスを通して室内に流入する熱量の割合。計算方法はJIS R3106による。

(板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用)

体の熱伝導率は高めであり、単板同様、断熱性能は低いと言えます。

複層ガラスは2枚のガラスをスペーサーを介して貼り合わせた構造になっており、中空層が乾燥空気または断熱性ガスで満たされています。この中空層が熱の伝達量を抑え、断熱性能が高まります。

複層ガラスの中でも、近年、多くの建物で使用されているのがLow-E複層ガラスです。Low-E複層ガラスは中空層側のガラス面に特殊金属膜がコーティングされているのが特徴です。この特殊金属膜が放射による熱伝達を抑え、より優れた断熱性能を得ることができます。さらに、特殊金属膜の種類やガラス層構成によって、日射熱を遮るもの（日射遮蔽型）と日射熱を取り込むもの（日射取得型）があります。なお、Low-EとはLow-Emissivityの略であり低放射率を意味しています。

3. PAL*について

平成25年に建築物の省エネルギー基準は改正され、建物全体の一次エネルギー評価が導入されました。非住宅の建物外皮の評価については、建物外皮から5m以内の屋内エリア（以下、ペリメータゾーンと称する）の単位面積当たりの年間負荷としてPAL*（パルスター）による評価が導入されています。ここでペリメータゾーンの床面積は外周長×5mとし、且つ、屋根とピロティ面積はそのまま算入します。

PAL*は平成25年省エネ基準から非住宅の省エネ評価として用いられていましたが、平成28年4月施行予定の建築物省エネ法誘導基準の中でも継続して用いられる予定です。

・PAL*の定義

$$PAL^* = \frac{\text{ペリメータゾーンの年間熱負荷}}{\text{ペリメータゾーンの床面積}}$$

- ① 屋根及び外壁に基づくペリメータゾーン
- ② 外壁に基づくペリメータゾーン
- ③ 外気に接する床及び外壁に基づくペリメータゾーン

※右図 ペリメータゾーンイメージ
一般社団法人 日本サステナブル建築協会 平成25年建築物の改正省エネルギー基準・低炭素建築物の認定制度の講習資料より抜粋

・PAL*の基準値と地域区分

	用途		地域区分							
			1	2	3	4	5	6	7	8
(1)	事務所等		430	430	430	450	450	450	450	590
(2)	ホテル等	客室部	560	560	560	450	450	450	500	690
		宴会場部	960	960	960	1250	1250	1250	1450	2220
(3)	病院等	客室部	790	790	790	770	770	770	790	980
		非病室部	420	420	420	430	430	430	440	670
(4)	物品販売業を営む店舗等		610	610	610	710	710	710	820	1300
(5)	学校等		390	390	390	450	450	450	500	690
(6)	飲食店等		680	680	680	810	810	810	910	1440
(7)	集会所等	図書館等	540	540	540	550	550	550	550	670
		体育館等	770	770	770	900	900	900	900	1100
		映画館等	1470	1470	1470	1500	1500	1500	1500	2100
(8)	工場等		—	—	—	—	—	—	—	—

※ ここではH25省エネ基準のPAL*基準値を示しています。H25基準は平成28年4月に改正される予定です。

地域区分	都道府県名
1, 2	北海道
3	青森県、岩手県、秋田県
4	宮城県、山形県、福島県、栃木県、新潟県、長野県
5, 6	茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、富山県、石川県、福井県、山梨県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県
7	宮崎県、鹿児島県
8	沖縄県

(板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用)

4. 事務所ビル基準階事務室 PAL* (東京) 検討結果

下記、標準建物における基準階事務室のPAL*値をガラス別に評価しました。

PAL*値が小さいほど、省エネルギーであるこ

とを意味します。Low-E複層ガラスは透明単板ガラス、透明複層ガラス、さらには熱線反射ガラスを用いた複層ガラスよりも省エネ効果が高く、透明単板ガラスとの比較で9-12%程度熱負荷削減効果があることが判ります。次に、より高性能な窓システムを紹介します。

●事務所(10,000m²)

用途	事務所(本社社屋)
階数	地下1階、地上9階、塔屋1階
地域区分	6地域(東京)、2地域(札幌)
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
敷地面積	5,000m ²
建築面積	1,500m ²
延べ面積	10,000m ²
各階の主要室	9階 食堂、厨房 2階～8階 事務室 1階 事務室、エントランスホール 地下階 機械室、中央監視室

●東立面図

●基準階平面図

●南立面図

(板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用)

ガラス品種	熱貫流率[W/m ² K]		日射熱取得率[-]		東京 事務所モデル 基準階 事務室	
	ガラスのみ	明色 ブラインド	ガラスのみ	明色 ブラインド	PAL* [MJ/m ² ・年]	透明単板8mmを 基準にした比率
透明 8mm	5.78	4.12	0.81	0.41	500.5	100.0%
高性能熱線反射(可視光透過30%)	5.34	3.87	0.38	0.25	489.2	97.7%
透明+透明 8mm(空気層12mm)	2.80	2.36	0.69	0.44	467.6	93.4%
高性能熱線反射(可視光透過30%)+透明 8mm(空気層12mm)	2.63	2.24	0.28	0.21	450.8	90.1%
Low-E(日射遮蔽型)+透明 8mm(空気層12mm)	1.68	1.51	0.40	0.30	442.7	88.5%
Low-E(日射取得型)+透明 8mm(空気層12mm)	1.76	1.57	0.54	0.39	449.7	89.9%
透明+Low-E(日射取得型) 8mm(空気層12mm)	1.76	1.57	0.59	0.43	453.2	90.5%

(板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用)

5. 高性能窓システムの分類

高性能窓システムとは、開口部（内部スキン）の外側にもう一層のスキン（外部スキン）を設ける、または開口部（外部スキン）の内側にもう一層のスキン（内部スキン）を設け、スキンの間の中空層内部を自然もしくは機械設備を用いて通気する機構を備えた窓の総称です。夏期の日射熱を中空層内部で上昇気流に乗せて排熱し、一方冬期は断熱効果により建物のペリメータ環境を改善でき、省エネ効果があります。ここでは、高性能窓システムを換気方式によって以下の3タイプに分類します。

①プッシュプルウィンドウ（PPW）

プッシュプルウィンドウは、機械換気方式を備えた通気機構を有します。右図にプッシュプルウィンドウの断面模式図の一例を示します。下層に設置した

吹出ファン、上層に設置した排気ファンなど機械設備を用いて、下層から上層に向かって強制的に上昇気流を作ることにより、効率良く窓ガラス付近の温度環境を改善できると考えられています。

しかし、ブラインドで吸収した熱が室内側に放熱したり、ブラインド隙間から熱が室内側に逃げることもあり、大きな改善効果は期待できません。コスト面で優位ですが、採用する際には省エネ効果を十分に精査する必要があります。

②エアフローウィンドウ（AFW）

エアフローウィンドウは、プッシュプルウィンドウと同様に機械換気方式を備えた通気機構を有します。右図にエアフローウィンドウの断面模式図の一例を示します。

プッシュプルウィンドウと同様、上層に排気ファンを用いますが、下層には吹出ファンを設置しません。代わりに、下層ではスリットから室内空気を取り込み、下層から

上層へ向かって強制的に上昇気流を作ることにより排熱します。通気層にブラインドを併用すると、通気によりブラインドの吸収した熱を効率よく排熱でき、ガラスの熱性能を大きく改善できるため、最も熱性能に優れている理想的な高性能窓システムです。

③ダブルスキンファサード（DSF）

ダブルスキンファサードは、機械換気設備を使用せず、自然換気方式を備えた通気機構を有します。右図にダブルスキンファサードの断面模式図の一例を示します。室外側下層に設け

たスリットから外気を導入し、煙突効果による上昇気流を利用して排熱します。

設備に頼らず窓ガラス付近の温度環境を改善できることが最大の特徴です。通気風量が増えると熱貫流率が大きくなるため、夜間や冬場など断熱性を求める時には通気口を閉じるなどの運用が必要です。

（板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用）

6. 高性能窓システムの省エネ性能

○エアフローウィンドウ（AFW）を使用した事務所ビルの基準階事務室PAL*の計算例

※PAL*はビル全体で定義されるが、ここでは基準階事務室のペリメータ単位面積当たりの熱負荷を基準階事務室PAL*値と称することとした。

下表に代表構成（通常窓（明色ブラインド有り）、AFW（明色ブラインド内蔵））における、熱貫流率、日射熱取得率と、窓構成毎の標準建物事務所ビル基準階事務室PAL*値を示します。

下表をみるとAFWは通常窓のLow-E複層ガラス（日射遮蔽型）よりも、さらに基準階PAL*値を下げる事ができることがわかります。

これはAFWでは、日中は内蔵された明色ブラインドが吸収した熱をエアフローにより排熱することで、日射熱取得率を下げ、冬の夜間など室内エアを窓近傍に流すことで、断熱性能を上げているからです。AFWの中でも最も省エネ性能に優れているのは、Low-E複層ガラスを用いたものであることもわかります。（板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用）

○ダブルスキンファサード（DSF）を使用した事務所ビルの熱負荷計算例

ここでは、窓面積の大きな事務所ビル基準階室について、通常窓のファサードに対するDSFの熱負荷低減効果を試算しました。DSFは、Low-E複層ガラス内付けブラインドの通常窓のファサードに対して、透明単板ガラスのアウトースキンを付加しブラインドの位置をダブルスキン内蔵に変えたケースを想定しています。ダブルスキンの自然換気は夏期・中間期には常に行い、冬期はダブルスキン内が過剰に高温になったときのみ行います。比較のために非換気のケースも加えました。

右図に東京における年間負荷を示します。

Low-E複層ガラスの通常窓に対してDSFは年間負荷を25%低減でき、そのうち自然換気による効果は10%程度であるという結果が得られました。（板硝子協会「ビルと複層ガラス」引用：宇都宮大学郡教授にご検討頂きました）

図 東京のペリメータゾーン年間負荷

	ガラス品種	熱貫流率 [W/mK]	日射熱取得率 [-]	東京 事務所モデル	札幌 事務所モデル
				PAL*[MJ/m ² 年]	PAL*[MJ/m ² 年]
通常窓 (明色ブラインド有り)	透明単板	4.12	0.41	500.5	523.5
	高性能熱反単板	3.87	0.25	489.2	525.3
	透明複層	2.36	0.44	467.6	439.7
	Low-E複層	1.51	0.30	442.7	408.1
AFW (明色ブラインド内蔵)	AFW 透明-透明	1.04	0.19	422.0	392.1
	AFW 高性能熱反-透明	1.03	0.12	426.4	394.9
	AFW 透明複層-透明	0.62	0.18	418.6	374.4
	AFW Low-E-透明	0.42	0.12	410.9	367.8

※通常窓のガラス板厚はすべて8ミリ、高性能熱反は可視光透過率30%、AFWのガラス板厚はすべて6ミリ、高性能熱反は可視光透過率40%、複層ガラスは空気層12ミリ、Low-E複層ガラスは日射遮蔽型。

7. 窓の環境評価例－不動産に関わる環境評価

不動産に係る環境価値評価基準としては、日本では建築物総合環境性能評価としてCASBEEが開発されています。一方、海外でも、LEED(米国)やBREEAM(英国)等の環境性能評価が実用化されており、不動産投資の判断基準として投資家に活用されています。

CASBEEの一つに「CASBEE不動産」があります。CASBEE不動産は不動産評価の参考データが取得できる仕組みになっていて、開口部に関与するところは省エネルギーだけでなく屋内環境にも評価項目があります。以下、屋内環境の中から昼光利用と眺望に関して紹介します。各項目はレベル評価されています。

例 オフィスにおける自然採光の基準

レベル 1	[開口率]<10%
レベル 2	(該当するレベルなし)
レベル 3	10%≤[開口率]<15%
レベル 4	15%≤[開口率]<20%
レベル 5	20%≤[開口率]

□解説(抜粋)

開口率は、開口による自然光の導入の可能性の目安を開口面積／床面積(%)により簡単に評価する。値が大きいくほど評価が高い。ただし、開口面積が大きくなると、直達光やまぶしさの問題が生じやすくなるので、適切な制御が必要になる。それらを含めた開口部計画を構築することが求められる。

表 不動産に係る環境価値評価基準

評価基準名称	国	評価対象	概要
CASBEE	日本	・事業段階毎(企画、新築、既存、改修) ・対象種別毎(建築系、住宅系、まちづくり系) ・その他(不動産、ヒートアイランド、自治体)	CASBEE(Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency: 建築環境総合性能評価システム)は、国土交通省主導のもと、(財)建築環境・省エネルギー機構(BEC)内の委員会で開発された、省エネルギー性はもとより、室内の快適性や景観への配慮なども評価項目とした、建物の品質を総合的に評価するシステム。 建築物のライフサイクル(企画、新築、既存、改修)に対応した評価ツールや、建物用途(戸建住宅、集合住宅、事務所、学校)の評価ツール、不動産、都市・街づくりの評価ツールなどがある。
LEED	アメリカ	・対象種別毎(新築、既存、商業用不動産内装、学校、小売用、ヘルスケア、住宅) ・その他(近隣開発)	・1996年に建築の各分野の代表で構成されるU.S. Green Building Councilによって開発された。グリーンビル設計・構造・運用に関する評価基準の提供を目的としている。 ・評価項目は景観維持、エネルギー効率、資源保護、環境の質、水資源保護、設計の6分野に分類される。
BREEAM	イギリス	・対象種別毎(オーダーメイド基準、裁判所、サステナブル住宅、既存住宅、保健・衛生、工業施設、インターナショナル、刑務所、オフィス、小売店舗、教育、地域施設)	・英国建築研究所BRE (Building Research Establishment) と、エネルギー・環境コンサルタントのECD (Energy and Environment) によって1990年に開発された。 ・「法律より厳しい基準を掲げることにより所有者、居住者、設計者、運営者の環境配慮の自覚を高め、最良の設計・運営・維持・管理を奨励し、それらの建物を区別し認識させること」を目的としている。 ・既存・新築のどちらにも適用でき、管理、健康と快適、エネルギー、交通、水資源、材料、敷地利用、地域生態系、汚染の最大9分野で評価される。 ・世界で最初の環境価値評価指標であり、英国外でも広く利用されている。
HQE	フランス	—	・HQE Associationが提供しており、1996年から利用されている不動産の環境価値評価基準。 ・当初は認証制度はなかったが、2004年から認証制度が開始された。 ・「環境に配慮した建築」、「環境に配慮したマネジメント」、「快適性」、「健康」の4つの視点から不動産を評価。

例 店舗における眺望の基準

(店舗については、眺望以外に、屋内外の状況の視認性や防犯性能の目的から開口部が設けられる。そのような視点からの評価が行われています。)

レベル1	レベル2を満たさない。
レベル2	天井高3.0m以上となっており、かつ来場者が十分な屋外の情報を得られるように窓が設置されている。

※コンビニエンス・ストアの天井高の基準は2.5m以上(オフィスのレベル3相当)とする。

□解説(抜粋)

建築の利用者にとって広く感じる空間、景観が楽しめる空間は心理性・快適性の観点から評価されるべきと思われる。「十分な屋外の情報を得られる窓」とは、ガラス面に十分な透明度があり、窓の外に視界を遮るものがなく、屋外の情報が見通せる状況になっている窓のことをいいます。

このように、窓には断熱性、遮熱性以外に「透明な外皮」としての機能が備わっており、そのことが建築物の環境評価項目に取り上げられています。

8. まとめ

近年、建築物の窓の中でも透明性が高く、断熱性能も高いLow-E複層ガラスが使用されるケースが増えています。

平成25年に建築物の省エネルギー基準は改正され、建物全体の一次エネルギー評価が導入されました。非住宅の建物外皮の評価についてはPAL* (パルスター) による評価が導入されています。このPAL*は平成28年4月施行予定の建築物省エネ法の誘導基準の中でも用いられる予定であり、標準建物における基準階事務室のPAL*値をガラス別に評価したところ、Low-E複層ガラスは透明単板や透明複層ガラスよりも省エネ効果が高く、またLow-E複層ガラスを用いたエアフローウィンドウ(AFW)やダブルスキnfァサード(DSF)のような高性能窓システムでは、さらに省エネ効果が高いことが判りました。

もちろん省エネという切り口だけなら、高性能な窓だけで省エネ施策は十分なのかという疑問があげられます。一次エネルギーの評価では、高性能な設備機器の設置が省エネ対策としては有効です。しかしながら、窓には省エネ以外にも「透明な外皮」として機能があり、CASBEE不動産では開口率の大きい建物、眺望がよい店舗の評価ポイントを高く設定しています。つまり、窓は建物になくてはならないアイテムであり、建築物に窓を多用しても省エネルギー性能を維持できるようにLow-E複層ガラスやLow-E複層ガラスを用いた高性能の窓システムが使用されることが不動産価値を高めるものと考えています。

参考文献

- ・板硝子協会 建築委員会 建築環境WG 「ビルと複層ガラス」 2014年9月
- ・板硝子協会 建築委員会 建築環境WG 「窓の生理的・心理的效果とその魅力」 2015年8月
- ・国土交通省 土地政策の中の中長期ビジョン資料「環境等新たな価値の不動産への取込み」

以上