

# ビルの 窓ガラス

～ウェルビーイングと  
脱炭素に関して～



一般社団法人  
板硝子協会

FGMAJ

## ビルの窓ガラスが語るもの ————— ウェルビーイングと脱炭素をつなぐ建築のインターフェイス

窓ガラスは、単なる外皮部材ではない。  
光と熱、内と外、人と都市をつなぐ存在として、  
建築の価値を静かに、しかし決定的に形づくってきた。

ガラスと鉄は、近代建築の成立を象徴する二大素材である。1851年のロンドン万国博覧会において、ジョセフ・パクストンが設計したクリスタル・パレスは、工業化されたガラスと鉄骨によって内部に光を満たし、建築が社会に向かって開かれる可能性を明確に示した。その後、ガラスは高層建築やオフィスビルの外皮として不可欠な存在となり、都市の表情を形づくってきた。窓ガラスは、眺望や採光を通じて外部環境と心理的につながる装置である。一方、日射取得や熱損失といった課題も併せ持ち、快適性とエネルギー消費の両義性を内包してきた素材でもある。

近年、Low-E複層ガラスやダブルスキンファサードに代表される高性能窓の普及により、こうした課題に対する技術的な解は着実に積み重ねられてきた。窓の断熱性や日射遮蔽性能は定量的に評価可能となった。しかし、今日の建築において問われているのは、性能をどこまで高めたかという点ではない。その性能が、実際に人の健康や快適性にどう寄与し、さらには脱炭素社会の実現にどのようにつながっているかである。

人間は人生の大半を建物内で過ごす。窓ガラスは、昼光や眺望を通じて生理的・心理的な影響を及ぼし、集中力や気分、さらには生活リズムにまで関与する。ウェルビーイングという概念が建築分野で重視されるようになった背景には、建築をエネルギー消費の器としてではなく、状態や行動と結びついた環境として捉え直そうとする視点の転換がある。脱炭素の視点からは、窓ガラスの役割はさらに拡張される。運用時の省エネルギー効果に加え、製造から更新、廃棄に至るまでを含めたライフサイクルカーボンの最適化が求められる時代に入った。

窓ガラスは、単なる「透明な境界」ではない。ウェルビーイングを支え、都市と建築を媒介し、脱炭素という社会的要請に応答する知的なインターフェイスである。本冊子が、窓ガラスを単なる性能部材としてではなく、建築をどのように使いこなし、社会にどのような価値をもたらすのかを考えるための手がかりとなれば幸いである。



早稲田大学理工学術院建築学科 教授  
田辺 新一（たなべしんいち）

### PROFILE

福岡県生まれ。専門は建築環境学。1982年早稲田大学理工学部建築学科卒業。同大学大学院修了、工学博士。デンマーク工科大学、カリフォルニア大学バークレー校、お茶の水女子大学など経て、1999年早稲田大学建築学科助教授。2001年から同大学教授。第57代日本建築学会会長、国土交通省社会資本整備審議会委員、2025年紫綬褒章受章

# ビルの窓ガラス

～ウェルビーイングと脱炭素に関して～



<b>1</b>	これからのビルの窓ガラス.....	3
1-1	ビルの窓ガラスに求められる役割.....	3
1-2	これからの建築の設計事例.....	3
<b>2</b>	ビルの窓ガラスとウェルビーイング.....	7
2-1	窓ガラスの役割と機能.....	7
2-2	窓ガラスとウェルビーイング.....	10
	CASBEEにおける眺望の基準／日本建築学会環境規準 光環境規準 EN17037 建物内の昼光／LEED認証／WELL認証	
2-3	窓ガラスの心理的・生理的な快適性に関する研究.....	14
	サーカディアンリズムに関する研究／バイオフィリアに関する研究 温熱環境について／高性能窓への改修による室温変化	
<b>3</b>	窓の熱性能.....	20
3-1	Low-E複層ガラスの特徴.....	20
3-2	窓の熱性能値について.....	22
3-3	PAL*について.....	23
3-4	ダブルスキン等.....	24
<b>4</b>	ビルの省エネルギー.....	28
4-1	2050年カーボンニュートラルに向けた建築物の省エネ対策.....	28
4-2	ビルの省エネルギー基準・ZEB基準.....	29
4-3	既存の窓の改修方法.....	31
4-4	既存建築物のZEB化事例.....	33
<b>5</b>	ビルの脱炭素.....	36
5-1	ビルのホールライフカーボン.....	36
5-2	ビルのファサードとホールライフカーボン.....	38
5-3	窓ガラスのエンボディドカーボン.....	39
5-4	窓ガラスと建築物のオペレーショナルカーボン.....	40
5-5	窓ガラスと建築物のホールライフカーボン.....	43
	<b>資料：先進的なガラスの紹介.....</b>	<b>45</b>

真空ガラス・真空複層ガラス／建材一体型太陽電池(BIPV)／調光ガラス



## 1-1

## ビルの窓ガラスに求められる役割

脱炭素社会の実現に向けて我が国は「2050年ネットゼロ宣言、2030年温室効果ガス46%削減(2013年度比)」を国連へ提出しており、建築分野でもCO<sub>2</sub>排出量削減とその排出量の提示が求められています。このような中、(一社)板硝子協会では、高性能なガラスの「建築物への使用時のCO<sub>2</sub>削減効果」(オペレーショナルカーボン)および「板ガラス製造時におけるカーボンフットプリント」(エンボディドカーボン)の研究活動を実施し公開してきました。これまでは、省エネ性評価とともにオペレーショナルカーボン削減効果が注目されてきましたが、これからは原料、製造、輸送、廃棄までも含むエンボディドカーボンを加えたホールライフカーボンの視点による削減活動が重要になってきます。脱炭素社会に向けて、製造技術や、物流・回収を含めたリサイクル技術の開発推進と実運用も望まれています。

また、建築物の省エネルギー対策として窓ガラスの高断熱化は必須のことであり、Low-E複層ガラス等の高断熱ガラスの普及は、ZEH(Net Zero Energy House)、ZEB(Net Zero Energy Building)を含めた様々な省エネ性の高い建築物に貢献しています。この省エネ性の効果を測る指標として熱貫流率U値と日射熱取得率η値があり、年間暖冷房負荷シミュレーションによるエネルギー削減効果やCFD(Computational Fluid Dynamics、数値流体力学)による室内温度分布も定量的に表現できるようになっています。一方、昨今は利用する人間にフォーカスして建物を設計・施工するものも多くなってきています。温熱的に快適な空間や、昼光による生理的な影響、窓から外を眺望することによる心理的な影響を考慮したような建物であり、身体的・精神的・社会的に健康であるというウェルビーイングや、バイオフィリア(次節2-3で紹介)に配慮した空間設計が注目されてきています。これらの空間では透明部材である窓ガラスの役割がとて重要であり、熱貫流率や日射熱取得率などの熱特性だけでなく、窓ガラスが人間の生理的・心理的側面に与える影響を考慮した価値評価が重要になります。今後は、それらの価値の実現に向けた窓ガラスの研究開発と実用化が期待されます。

## 1-2

## これからの建築の設計事例

これからの建築では、窓ガラスに省エネルギー性と快適性を同時に実現する役割が求められます。その方向性を示す設計事例として、3つの先導的な物件を紹介します。いずれも環境負荷低減と利用者への配慮を両立する考え方のもとに計画されており、これからのビルの窓ガラスの在り方を総合的に捉えることができる事例です。

キトー山梨本社

日本ガイシ 瑞穂 新E1棟

清水建設北陸支店

## キトー山梨本社



所在地／山梨県中巨摩郡昭和町築地新居2000  
 設計／竹中工務店 施工／竹中工務店 竣工／2023年  
 主な用途／事務所 延床面積／3,572㎡ 鉄骨造、地上2階  
 [ZEB]、CAEBEE/Sランク  
 国土交通省 令和3年度 第1回 サステナブル建築物等先導事業(省CO<sub>2</sub>先導型)採択プロジェクト

## ここがポイント！ 設計者コメント

グローバルに展開するマテリアルハンドリング機器メーカーの新社屋である。

厳しくも豊かな甲府盆地の自然環境において、微気候を制御するプリミティブな農業構築物である甲州式葡萄棚を参照し、快適性と環境性能の両立を図った。

葡萄棚を構成する大屋根にはフィーレンデル架構を採用し、最大22mスパンの無柱空間を実現した。空調には豊富な井戸水を利用し、冷温水管が建物内を循環しているが、この架構の間を配管スペースとして有効利用している。

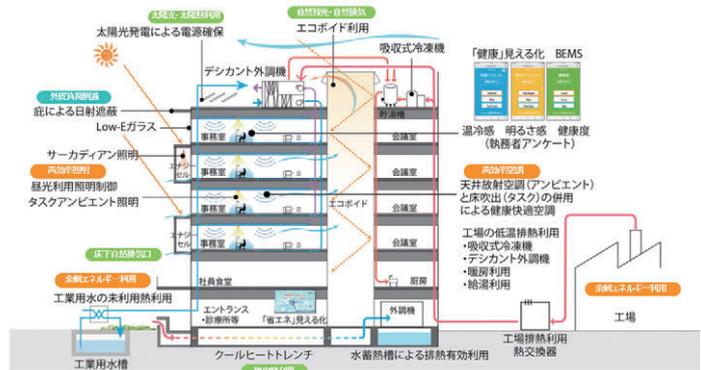
また、屋根全体を透過性の高いエキスパンドメタルで覆い、その網目を直射日光を遮る向きに配置することで、底としての日射遮蔽効果を高めている。底下の開口部には冬季の暖房負荷を考慮し、日射取得タイプのLow-E複層ガラスを採用した。アルミカーテンウォールの各所には自然換気窓を設けることで、環境性能の向上に寄与している。

ZEBを達成しながら開放的な開口部を実現し、南に富士山を望み、北側では構内広場との繋がりを得た快適な執務空間をつくることに成功した。

株式会社竹中工務店  
 東京本店 設計部 設計第4部門 設計2グループ長  
 中橋哲史

写真：沖裕之／ブルーアワーズ 撮影

## 日本ガイシ 瑞穂 新E1棟



所在地／愛知県名古屋市瑞穂区須田町2-56  
 設計／株式会社 日建設計 施工／鹿島建設株式会社 竣工／2020年10月  
 建物用途／事務所、食堂、診療所ほか 延床面積／11,961.16m<sup>2</sup> 鉄骨造、地上6階(高さ31m)  
 ZEB Ready, CASBEE / Sランク  
 2023年度省エネ大賞 省エネ事例部門 資源エネルギー庁長官賞(業務分野)  
 国土交通省 平成29年度第2回 サステナブル建築物等先導事業(省CO<sub>2</sub>先導型)採択プロジェクト

### ここがポイント！ 設計者コメント

日本ガイシ本社工場敷地内に建つ工場排熱を活用した環境配慮型オフィスビルである。主要な外装ガラスはLow-E複層ガラスを採用。南面はコンクリート水平庇による日射遮蔽、東西面は壁主体のデザインにスリットガラス窓を配置して日射負荷の低減を図った。外観を特徴づける、南面の水平庇とアルミ折板を張り出した外装は、屋内バルコニー型ワークスペースとしての利用を想定して黒板やミニキッチンを設けるとともに、外部バルコニーはソロワークやコーヒブレイクしながらチームミーティングができる仕掛けを設けた。屋内外を繋ぐバルコニー型ワークスペースは、新しい働き方を創出すると共に、環境型オフィスのファサードとしての独自性を体現している。

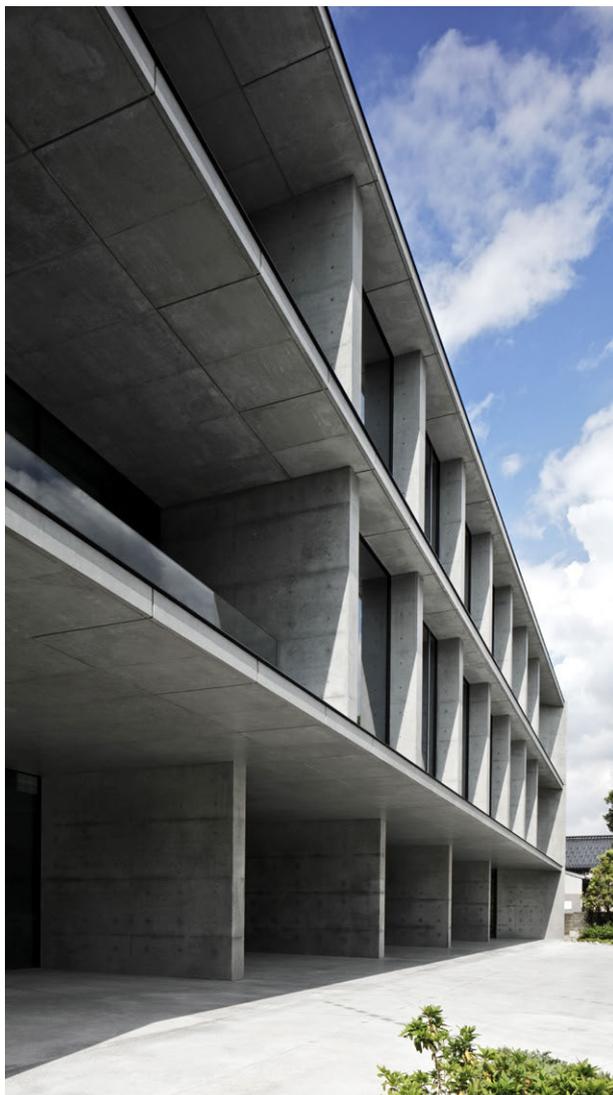
建物の中央に位置する2か所の耐火ガラス製の昇降路をエコボイドとして利用し、エコボイド頂部のトップライトから自然排気・自然採光を行い、照明・空調負荷を削減している。南面のバルコニー窓の足元に設けた自然給気口からトップライトの自然排気窓に至る空気の流れ道をつくり、さらに、トップライトに生じる熱溜まりを利用したヒートチムニー効果により、自然換気を促進している。

新しいワークスペース創出の試みとして、2か所のエコボイドに挟まれたオフィスの中央部分に上下階を繋ぐ吹抜け階段と、吹抜け階段と一体利用できるオープンミーティングエリアを設置。社員のコミュニケーションが自然発生し、さらに活性化することを目指している。

写真：株式会社エスエス 名古屋支店 撮影

株式会社日建設計  
 設計グループ アソシエイトアーキテクト  
 宮本順平

## 清水建設北陸支店



所在地／石川県金沢市  
 設計／清水建設株式会社 施工／清水建設株式会社 竣工／2021年  
 建物用途／事務所 延床面積／4,224 m<sup>2</sup> RC造、一部S造、地下1階、地上3階  
 [ZEB]、CASBEE/Sランク、WELL プラチナ、LEED-CS GOLD  
 国土交通省 令和元年度サステナブル建築物等先導事業(省CO<sub>2</sub>先導型)採択プロジェクト

## ここがポイント！ 設計者コメント

石川県金沢市における清水建設北陸支店の社屋建て替えである。計画地周辺には藩政時代の面影を感じる美しい街並みがあり、当支店はこの地で100年のあいだ地域と共に歩んできた。計画にあたっては、これまでに刻まれた時間を大切にしながら、周辺環境とのつながり・空間としての魅力・国内最高クラスの環境性能を並立させることをテーマとした。

2・3階のオフィスはRCの壁柱と鋼管柱、フラットスラブで構成されたワンルームであるが、外周部の壁柱で囲われた小さなスペースは熱負荷のバッファゾーンとして機能し、ユーザーは季節や天候、その日のタスクや気分によって居場所を選択することができる。

外観には構造体である壁柱をそのまま現しとすることで、日射負荷を低減するとともに深い陰影のある表情が伝統的街並みと呼応することを意図した。特に南ファサードは、大判のLow-E複層ガラスを用いた大開口であるが、二重床内に設けたクライマー式ブラインドと庇の効果を組み合わせる計画とした。これにより、季節や天候に合わせて室内の開放感を保ちながらユーザー自らが室内環境をコントロールすることができる。

清水建設株式会社  
 設計本部  
 岡崎真也

写真：北嶋俊治(外観) 高橋菜生(内観) 撮影



## 2-1

## 窓ガラスの役割と機能

「窓」は、建物内部と外部環境を繋ぐ大切な部位であり、様々な役割と機能によって快適な空間を作る重要な建築要素のひとつです。「窓」に求められる代表的な役割は、外の景色を眺める“眺望”、自然光を取り入れる“採光”、建物内部を新鮮な空気に入れ替える“換気”です。これらの役割は人間が建物内部で生活するうえでなくてはならないものですが、太陽が沈んでしまう夜や、気温が低くなる冬、強い日射がある夏など、様々に変化する自然環境の中で、これらの役割を果たすために様々な工夫や改善がなされてきました。その中でも透明部材である「窓ガラス」を、「窓」に組み合わせることで「窓」の役割と機能は拡張してきました。例えば、外の冷気や風を遮りつつ“採光”や“眺望”することができるのは、透明部材である「窓ガラス」が使われているからです。そして、「窓」と「窓ガラス」の役割・機能は“眺望”、“採光”、“換気”に加え、“断熱”、“遮熱”、“遮音”、“通風”など多岐にわたるようになりました。一方、これらの役割は相反する場合もあり、明るさを確保するために採光を求められると同時に、眩しさの軽減や、日射を遮りたい場合もあります。冬は日射を多く取り入れて室内を暖かくしたい場合もあります。更にデザインやプライバシー性が重視される場合もあり、生理的・心理的な面からも「窓」と「窓ガラス」の役割はますます重要になっています。



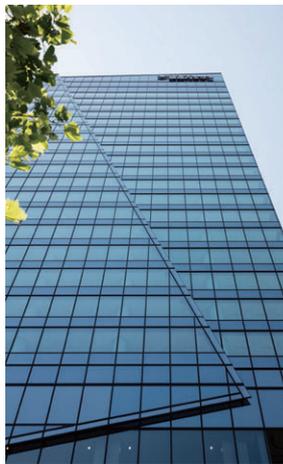
図2-1 窓と窓ガラス



AGC横浜テクニカルセンター 提供：AGC

## ガラスファサード

「窓」および「窓ガラス」の役割と機能は、建物内部の人々が快適に生活できる環境を確保することを目的として発展してきたものであり、先人の知恵や産業技術の進歩により高機能化が進んできました。また、多くの利用者が訪れる商業施設や事務所、ホテル等の建物は大都市では数十階規模の高層ビルになっており、これらのビルにも多くの窓ガラスが使われています。このビルの顔は“ファサード”と呼ばれ、建物正面の外装の大部分をガラスが占める場合、“ガラスファサード”と呼ばれています。この“ガラスファサード”は、昼と夕方の太陽光の違いによって色合いが変わり、曇天や雨天などの天気の違いによっても表情は変わります。また、周囲の景観と調和することでも表情は変わり、夜になると屋内のライトアップにより内部の存在感が強調されるようなビルもあります。昨今は、街並みの景観計画において色彩基準が設定される場合もあり、ガラスに対しては、「周辺と調和した色彩を用いるとともに、過度の反射を避け、景観に違和感なく溶け込む外観とする。」と規定されているものもあります<sup>1)</sup>。このように、ビルに使われるガラスは建築デザインの表現の一つである“ファサード”にとって、なくてはならない材料であり、街並みの景観を形成するうえでも重要な役割を担っています。



住友不動産御成門タワー  
提供：日本板硝子



関電不動産八重洲ビル  
提供：AGC



下野市新庁舎  
提供：セントラル硝子プロダクツ



OIT梅田センター  
提供：日本板硝子

### 補 足

ガラスファサードを実現する代表的な手法として、ガラスカーテンウォールが広く採用されています。カーテンウォールは、JASS14「カーテンウォール工事」において「工場生産された部材で構成される建物の非耐力外壁」と定義されており、構造上は開口部である「窓」ではなく、「壁」に分類される外装部材です。しかし、主要部材として透明なガラスを用いているため、採光や眺望の確保、日射の取得や遮蔽といった性能を通じて、広い意味では窓と同様の環境調整機能も担っています。このようにガラスカーテンウォールは、外壁としての構法的な性格を持ちながら、広い意味では「窓」としての機能と役割を持っています。

## コラム1 日本とヨーロッパの窓ガラスの歴史

窓ガラスの歴史をみると、日本において窓にガラスが広く使われるようになったのは19世紀後半の明治頃からであり関東大震災の後に広く普及してきました（江戸時代には長崎の出島のオランダ商館では使われていました）。それまでは紙障子が広く使われており、長方形の形をした格子状の木製の棧に和紙を貼ったものでした。この紙障子は平安時代の後期の9世紀頃から使われ始めたとされています。また、日本の古くからの家屋は柱と柱の間が広く、その間の“開口”という意味で“間戸(まど)”と表現されることもあります。一方、ヨーロッパでは、キリスト教を分かり易く伝えるために、聖書の内容を示したステンドグラスが教会の窓などに12世紀頃から使われ始めました。その後、15世紀になると、王侯貴族などの富裕層の家に円形のガラスが窓(ロンデル窓)として使われ始めました。ヨーロッパの建物の多くは石造りだったため、石の壁に穴を開けた(穿<sup>うが</sup>った)ものが窓であり、英語のWindowの語源はWind(風)+ow(目)とされ、風の目または風の穴という意味合いでした。ガラスが普及するまでは、動物の皮や木、布などが使われており、17世紀頃から現代の板ガラスが一般の建物の窓にも使われ始めました。



日本家屋の窓



ステンドグラスの窓



欧州の窓  
(撮影: 斉藤栄亮 ベルギー・モンス)

## コラム2 フロート板ガラスの発明

現在の窓ガラスの多くはフロート法と呼ばれる製法で製造された板ガラスです。このフロート法は、1952年にイギリスの Pilkington Brothers 社が発明したもので、1959年に世界で初めてフロート法により板ガラスの製造を開始しました。それまでは、溶けたガラスを垂直に引き上げる垂直引上げ法と呼ばれる方法で製造されており、連続生産は最大でも数カ月程度、平滑性も悪く欠点も多くありました。フロート法の発明と商業生産が可能になったことにより、生産性と平滑性に優れた板ガラスが工業製品として世の中に普及したことで、多くの建築物が“窓ガラス”を普通に使うことができるようになりました。日本では、1965年に日本板硝子、1966年に旭硝子(現 AGC)、1969年にセントラル硝子が製造を開始しています。

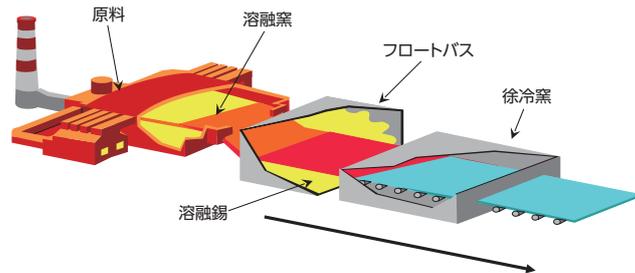


図2-2 フロート板ガラス製造ラインイメージ図

資料提供：日本板硝子

## 2-2

## 窓ガラスとウェルビーイング

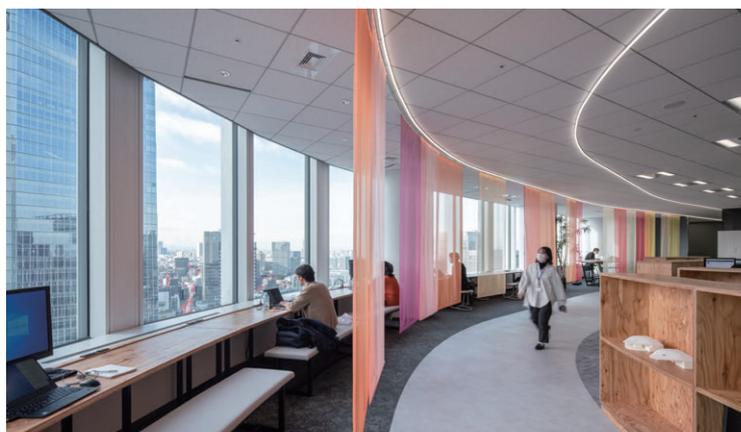
ウェルビーイングは昨今、世界中で注目されており、様々な研究が行われています。身体的な健康だけではなく、精神的、社会的にも良好な状態であることが、「ウェルビーイング」とされており、いろいろな場面で聞くことが多くなっています。その定義に関しては、世界保健機関(WHO)憲章の前文において、Health is a state of complete physical, mental and social **well-being** and not merely the absence of disease or infirmity.(邦訳:健康とは、病気ではないとか、弱っていないということではなく、肉体的にも、精神的にも、そして社会的にも、すべてが満たされた状態。)とされており、ウェルビーイングの定義として広く使われています。また、SDGsにおいても、目標3では「すべての人に健康と福祉を(Good Health and **Well-Being**)」とされており、年齢を問わずだれもが健康で幸せな生活を送れるようにすること、と掲げられています。



ウェルビーイング



- 環境基本計画(環境省、2024年5月)では、その目的は「環境保全と、それを通じた現在及び将来の国民一人一人の『ウェルビーイング/高い生活の質』と最上位に明記されています。
- 建築物とウェルビーイングに関しては、CASBEE(建築環境総合性能評価システム)の一つとして「CASBEE-ウェルネスオフィス」<sup>2)</sup>が2021年に初版が公開されており、建築物の健康性、快適性、知的生産性等を評価するものとして、国土交通省土地・建設産業局が公表した「健康性、快適性等に関する不動産に係る認証制度のあり方についてのとりまとめ」(2018年3月公表)に準拠した評価・格付システムとされています。
- 先進的窓リノベ2026事業(令和7年度補正予算)の目的には、「2050年ネット・ゼロの実現や2030年度の温室効果ガス削減目標の達成に向けて、断熱性能の高い窓の導入を支援し、住宅の脱炭素化とウェルビーイング/高い生活の質の実現に貢献するとともに、先進的な断熱窓の導入加速により、価格低減による産業競争力強化・経済成長と温室効果ガスの排出削減を共に実現する。」とウェルビーイングに貢献することが明記されています。



提供：日本設計

地球温暖化対策としてカーボンニュートラルは世界的な喫緊の課題であり、建築物の省エネルギー性向上は急務である一方、現代の人は、人生の8割もの時間を建物内で過ごすと言われており、「短期的な幸福のみならず、生きがいや人生の意義などの将来にわたる持続的な幸福を含む概念」のウェルビーイングと建物は密接な関係にあります。窓ガラスは外と内を繋ぐ建物にとってなくてはならない重要な部材であり、眺望や採光はウェルビーイングにとっても重要な要素です。そこで、窓ガラスとウェルビーイングに関係する眺望と採光に関する評価指標と、建物の認証制度である、CASBEE、LEED、WELLについて概要をご紹介します。



提供：日本設計

## CASBEEにおける眺望の基準

「CASBEE」(建築環境総合性能評価システム)<sup>2)</sup>は、建築物の環境性能で評価し格付けする手法であり、省エネルギーや環境負荷の少ない資機材の使用といった環境配慮はもとより、室内の快適性や景観への配慮なども含めた建物の品質を総合的に評価するシステムです。2001年4月に国土交通省住宅局の支援のもと産官学共同プロジェクトとして、建築物の総合的環境評価研究委員会が設立され、以降継続的に開発とメンテナンスを行っているものです。このCASBEEは、評価する対象によって、種別があり、CASBEE-建築(新築)、CASBEE-戸建、CASBEE-不動産、CASBEE-ウェルネスオフィス、CASBEE-街区の5つの種別があります。これらの内、CASBEE-ウェルネスオフィス、CASBEE-不動産、CASBEE-建築(新築)では、省エネルギーだけでなく快適な室内環境のために考慮すべき事項として眺望・視環境の評価基準を決めています。例えば、CASBEE-ウェルネスオフィスでは、オフィスの天井高と窓の有無について下表のような評価基準を挙げています。

表2-1 CASBEE-ウェルネスオフィス 5.1オフィスからの眺望

レベル1	レベル3を満たさない。
レベル2	(該当するレベルなし)
レベル3	事務室の天井高2.5m以上であり、かつ、すべてのワーカー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。
レベル4	事務室の天井高2.7m以上であり、かつ、すべてのワーカー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。
レベル5	事務室の天井高2.9m以上であり、かつ、すべてのワーカー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。

### 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である。「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う。

## 日本建築学会環境基準 光環境規準

日本建築学会の環境基準に光環境に関する規準AIJES-0002-2025「屋内光環境規準・同解説」<sup>3)</sup>があります。この規準は「室内における適切な光環境の形成や普及を目的として、エネルギー有効利用の観点を含みながら、光環境設計のための要件を示し、可能なものについては推奨値または目標値を定めることにより、日本建築学会環境規準として示すものである。」とされています。最小限のエネルギーで適切な光環境を計画し創出することが求められる中で、部屋を利用する生活者の光環境コンテキスト(光環境の評価に影響する心理的な状態も含めた状況・場面)を最初に検討・把握し、検討すべき光環境設計の項目を設定するとされており、眺望性・視覚的プライバシー、開放感、グレア、健康性、明るさ、など空間の光環境に関する規準が記載されています。例えば、窓・開口部を含む空間形状に関しては、「空間内の光環境コンテキストにあわせた作業場の配置を決定し、その作業場に適した光環境を実現するための窓・開口部の方位、位置、形状、大きさを検討する。」とあり、また、室内に供給される光束に関しては、「室内に供給される光束は、昼光照明による光束と人工照明による光束の和になる。窓・開口部の大きさ、配置および窓材料の透過率を勘案して得られる昼光照明による光束を確認したうえで、人工照明の選定および制御設定を行う必要がある。」とされています。窓・開口部は、室内光環境にとってとても重要な要素であり、窓ガラスの特性が大きく関与しています。

## EN17037-2018 Daylight in buildings 建物内の昼光

欧州規格EN17037<sup>4)5)</sup>は建築物内の昼光に関する規格であり、1)採光/Daylighting provision、2)眺望/View out、3)太陽光暴露/Sunlight、4)防眩(まぶしさ防止)/Glareの4つのカテゴリーで低、中、高の3段階のレベルが設けられています。どのカテゴリーも建物内で過ごす人のウェルビーイングに関係するものであり、例として、眺望/Viewに関する推奨規準を下表に示します。

表2-2 眺望に関する最低限の推奨基準 EN17037

眺望レベル	評価項目		
	水平視野角	外の眺望物までの距離	利用エリアの75%以上から眺望できるレイヤー数
低	14度以上	6m以上	1つ 風景
中	28度以上	20m以上	2つ 風景+空 又は 地面
高	54度以上	50m以上	3つ 風景+空+地面



東京の街並み

## LEED認証 Leadership in Energy and Environmental Design

LEED認証<sup>6)</sup>は、建築や都市環境の環境性能を評価するシステムであり、米国グリーンビルディング協会(USGBC)が開発し1998年から認証制度が運用開始されています。日本でもLEEDを取得する建物が増えてきており、2025年8月時点で約330件の建物でLEED認証を受けています。このLEEDにも、「眺望」と「採光」に関する評価項目があります。「眺望」に関しては、利用者が、外の自然環境と繋がることを目的として「質の高い眺望」という項目があり、定常的に使用するフロア区域面積の75%で眺望窓を通じて直接、外を眺望できることが評価の条件となっています。その窓は、外が鮮明に見えることとされ、更に、繊維やフリット、模様などが入ったようなガラス、または、色彩のバランスを壊すような色がついたガラスによって邪魔されないことが規定されています。「採光」に関しては、建物内に昼光を導入することより、利用者が屋外と接続し、サーカディアンリズムの増進、及び電気照明の使用量削減を目的とした「昼光利用」という項目があります(サーカディアンリズムについては次節2-3で紹介)。評価指標として、昼光自立率sDA(Spatial Daylight Autonomy)と年間日射曝露量ASE(Annual Sunlight Exposure)があります。sDAは、sDA<sub>300/50%</sub>(300lx以上となる時間割合が年間で50%以上となる空間の割合)が、55%、75%、95%となることを年間シミュレーションにより計算し加点される仕組みであり、ASEは、ASE<sub>1000,250</sub>(1000lx以上となる時間が年間で250時間以上となる空間の割合)が10%未満となることを年間シミュレーションにより計算し加点される仕組みとなっています。

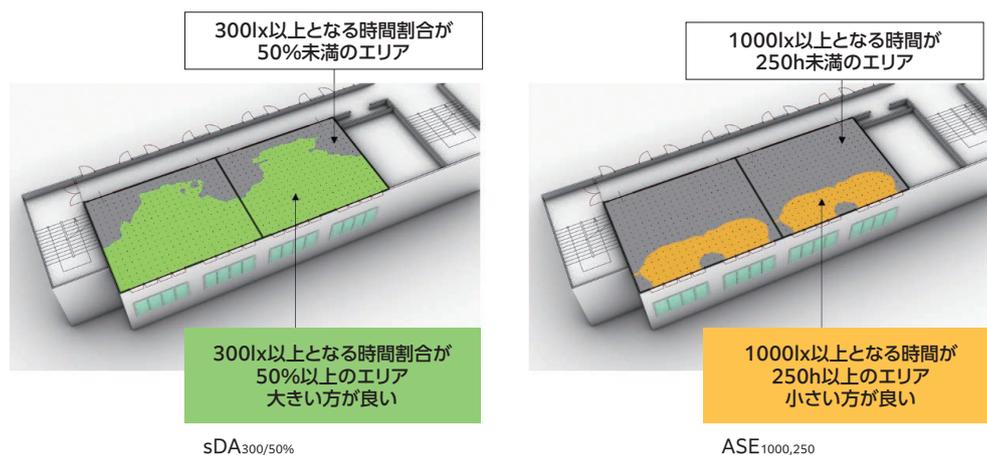


図2-3 昼光自立率sDAと年間日射曝露量ASEの例

## WELL認証 WELL Building Standard

WELL認証<sup>7)</sup>は、建物を利用する人のウェルビーイングにフォーカスしたものであり、2014年に米国の国際WELLビルディング協会(IWBI)が開発し運用しています。日本でも認証される建物が増えてきており、2024年2月時点で約150件の建物でWELL認証を受けています。LEEDとの違いは、LEEDは建物や環境全般を評価・認証するシステムであり、WELLは建物内の人にフォーカスした評価・認証システムです。このWELL認証(v2)には、「空気」「光」「温熱快適性」「こころ」など10のカテゴリーの評価項目があり、光に関しては「L01光曝露と教育」という項目において、昼光自立率sDA<sub>300/50%</sub>が70%以上で、且つ30%以上の空間は透明な窓から6m以内にあることや、窓ガラスの可視光線透過率が40%以上であることとされています。また、「L05強化された昼光へのアクセス」という項目では、作業エリアのうち、70%以上が透明な窓、またはアトリウムから7.5m以内であり、且つ窓ガラスの可視光線透過率が40%以上であることで加点される仕組みです。更に、「L03 サーカディアン照明デザイン」という項目では、サーカディアンリズムの調整のための適切な光曝露量の要件として、EML(Equivalent Melanopic Lux 等価メラノピック照度、ピーク感度は約480nm)を指標とした評価項目があります。

## 参考文献

- 1) 品川区景観計画 色彩の基準の解説
- 2) CASBEEウェルネスオフィス、CASBEE不動産、CASBEE建築(新築)
- 3) 日本建築学会環境基準AIJES-0002-2025「屋内光環境規準・同解説」
- 4) EN 17037-2018 Daylight in buildings, Annex A, A.3 Minimum recommendations for view.
- 5) Marta et al, Computational and experimental evaluation of view out according to European Standard EN17037, Building and Environment, 2021.
- 6) LEED v4 建物設計と建設 BD+C(2015年7月1日)
- 7) WELL v2™パイロット版(2018年5月31日)

## 2-3

## 窓ガラスの心理的・生理的な快適性に関する研究

本章では、ウェルビーイングにも関係する、サーカディアンリズムとバイオフィリアの最新の研究事例と、建物の断熱改修による温熱環境改善の実例をご紹介します。

## サーカディアンリズムに関する研究

近年の生理学的研究の進展により、光は視覚的な効果だけではなく、概日リズム(circadian rhythm)や睡眠・覚醒、認知機能、気分などに「非視覚的」な影響を与えることが明らかになってきました。概日リズムとは、約24時間周期で変動する体温、ホルモン分泌、睡眠・覚醒リズムなど、生体内の時間的な調整機構を指し、「体内時計」の働きを示すものです。しかし、現代社会では夜間の人工光の使用や日中の屋内中心の活動により、自然な明暗サイクルから乖離した光環境で過ごすことが多くなっています。その結果、概日リズムが乱れ、睡眠障害や精神疾患、身体疾患のリスクの増加が指摘されています。こうした背景から、健康的な生活を支えるうえで、建築空間における光環境の設計がこれまで以上に重視されるようになってきました。

この概日リズムに対する光の影響を担っているのが、網膜内に存在する内因性光感受性網膜神経節細胞(ipRGC: intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells)と呼ばれる細胞で、2002年に発見されました。それまでに知られていた錐体細胞や桿体細胞などの視細胞とは異なり、ipRGCは視覚にはほとんど関与しない一方で、メラノプシンというタンパク質によって光を感知し、メラトニン(睡眠に関与するホルモン)の分泌抑制や、概日リズムの位相調整といった生理応答を担っています。下図に比視感度曲線、メラノプシンの分光感度曲線、および昼光(標準光源D65)の

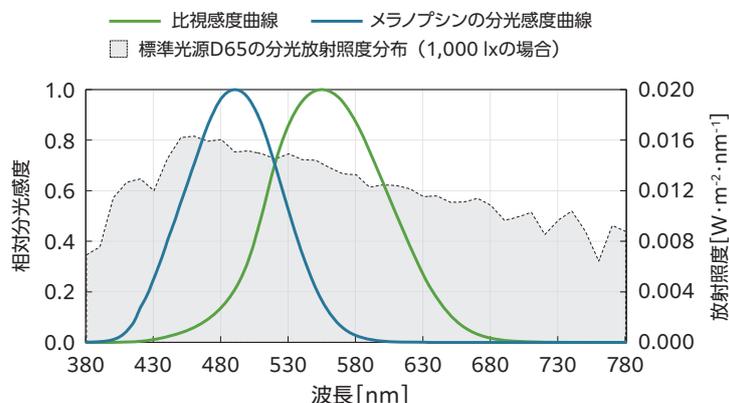


図2-4 比視感度曲線とメラノプシンの分光感度曲線および昼光(CIE標準光源D65)の分光放射照度分布  
(図中のメラノプシンの分光感度には成人の水晶体の分光透過率が考慮されている)

分光放射照度分布を示します。明るさの感知に関わる比視感度は、波長555nm付近の緑色の光に最も高い感度を示す一方、メラノプシンはおよそ490nm付近の青色の光に対して感度が高くなっています。昼光は人工照明と比べて光エネルギーが大きく、さらにメラノプシンが感受しやすい波長成分を豊富に含むため、メラノプシンをより強く刺激します。したがって、日中に窓から昼光を取り入れることは、概日リズムの調整に寄与すると考えられています。

これらの背景の元で、従来の照度(ルクス)では捉えきれなかった光の生理的な影響を定量的に評価するため、CIE(国際照明委員会)は2018年に「CIE S 026:2018」<sup>1)</sup>を制定しました。これはメラノプシンを含むヒトの光受容体それぞれの感度特性に基づいて、光の影響を評価する新たな枠組みです。この中で導入された「メラノピック等価昼光照度(melanopic equivalent daylight illuminance: melanopic EDI)」は、ある光環境が、基準となる昼光(CIE標準光源D65)と比べてどれだけipRGCを刺激するかを相対的に示す指標です。屋内でのmelanopic EDIの推奨値は専門家グループによって取りまとめられており、例えば日中は250 lx以上、就寝前の夜間は10 lx以下、睡眠中は1 lx以下が望ましいとされています<sup>2)</sup>。建築設計の実務では、WELL認証などにおいてEML(Equivalent Melanopic Lux)と呼ばれる簡易指標が用いられており、室内の光環境における非視覚的効果を設計に反映させる実用的な手段として広く利用されてきています。

さらに、近年では、メラノピック照度を建築の三次元モデル内で解析するソフトウェア(ALFA: Adaptive Lighting for Alertness, Solemma LLC)も開発されています。従来の光環境解析では、赤、青、緑の3色の光の伝播を解析する場合がありますが、ALFAでは380~780 nmの波長域で5 nmごと(81色)の分光放射照度の計算が可能です。これにより、サーカディアンリズムを考慮した昼光導入計画や照明デザインに活用することが意図されています。このように研究分野では、メラノプシン刺激に着目した評価指標を用いた設計支援ツールや手法の開発が進められており、今後は建築実務への本格的な展開が見込まれています。

(早稲田大学 理工学術院総合研究所 次席研究員 菅野颯馬)

#### 参考文献

- 1) CIE, CIE S 026/E:2018: System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light (2018)
- 2) Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, et al. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. PLOS Biology 20(3) (2022)

## バイオフィリアに関する研究

現代の高密度な都市空間では、自然との接点が希薄になっています。そのような状況において、窓ガラス越しに取り込まれる昼光や緑への眺望が人間の心理に与える影響に注目が集まっています。ここには「バイオフィリア(Biophilia)」という、人間が本能的に自然とのつながりを求める性質が関係していると考えられています。このような人間の性質を考慮し、建築空間への昼光導入や、屋内植物の配置、自然素材の内装などを積極的に用いる設計手法は「バイオフィリックデザイン」と呼ばれ、在室者のウェルビーイングの向上に寄与するものとして近年注目を集めています。また、LEEDやWELL認証などにおいても関連する項目が設けられたことも後押しし、その有効性のさらなる実証や、具体的な設計手法の体系化を目的とした学術研究や実践的な導入事例が急速に増加しています。

バイオフィリックデザインの中でも比較的導入しやすく一般的な手法として、屋内緑化が挙げられます。植物の設置が在室者の心理や認知機能の改善に有効なことが明らかになっている一方で、オフィスなどでの大規模な緑化は、メンテナンスのコストなどが生じる場合もあります。一方で、緑への眺望を窓越しに導入する方法は、屋内緑化と比べ、室内に灌水設備が不要となることや、大きな樹木の利用により緑視率を大きくしやすいなどの利点が考えられます。また、緑による日射遮蔽により、豊かな眺望を得ながら空調負荷の低減効果も期待できます。東京の都心部の超高層ビルにおいても、樹木を用いた大規模な屋上緑化をスキップフロア状に行い、室内から窓越しに緑への眺望を確保した事例が存在します<sup>1)</sup>。

窓越しの眺望の違いが在室者の印象評価や認知機能に及ぼす影響を検討した研究<sup>2)</sup>では、街路樹の緑が見える条件、空や建物が見える条件、閉鎖されたブラインドに正対した条件が比較されました。緑への眺望がある場合には、空間の印象評価が向上するほか、通常であれば眩しさとして不快に感じられる窓の輝度に対しても、緑の存在による視覚的満足感が、過剰な光に対する不満を緩和する可能性が示されました。また、短期記憶を要するタスクにおいて成績が向上するなど、認知機能の改善効果も確認されています。さらに、海外で実施された他の研究<sup>3)</sup>においても、窓から外の景色が見える空間では、やや暑い環境における温熱快適性の改善や、ポジティブ感情の増加とネガティブ感情の減少、集中力の向上といった効果が確認されています。これらの結果は、窓越しの緑を含む自然の近景が、バイオフィリアに基づく心理・生理的効果をもたらしていることを示唆しています。

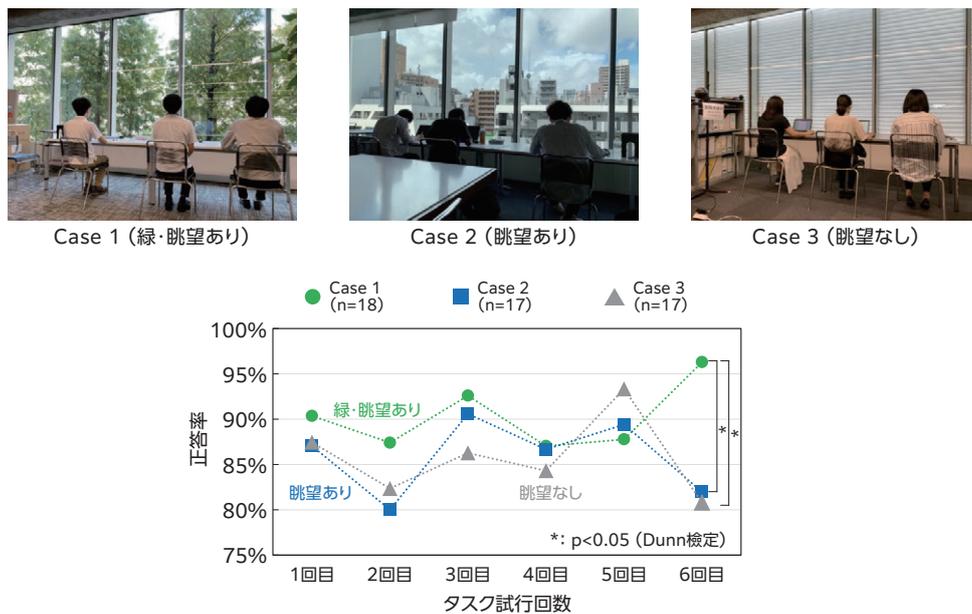


図2-5 窓からの眺望の条件と短期記憶タスクの成績<sup>2)</sup>

このように、窓ガラスは都市環境においても、屋外の緑や昼光などのバイオフィリックな要素を在室者に届けるインターフェイスとして、心理的効果の観点から再評価されています。日射遮蔽や断熱などの窓の基本的な性能に配慮したうえで、その先に緑を見せるような外構の計画や、室内の座席配置の工夫と併せて設計することで、バイオフィリアの効果を最大限得ることが可能になります。快適性や省エネルギー性能に加え、在室者のウェルビーイング向上を見据えた窓の計画が、今後より一層求められると考えられます。

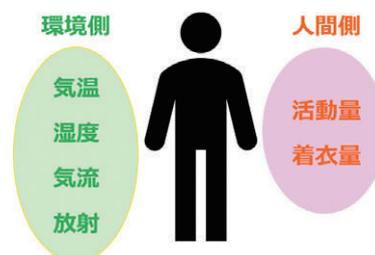
(早稲田大学 理工学術院総合研究所 次席研究員 菅野颯馬)

#### 参考文献

- 1) 新建築 2020年3月号、“ミュージアムタワー京橋/アーティゾン美術館” 新建築社、pp. 72-83 (2020)
- 2) 伊藤 浩士、菅野 颯馬、劉 建楠、宮坂 裕美子、篠原 奈緒子、山田 翔吾、新田 竜、大庭 檀、高橋 秀介、田崎 未空、田辺 新一、都市型オフィスにおける窓面を通じたバイオフィリアによる心理・生理的効果、日本建築学会環境系論文集、87巻、794号、pp. 241-251 (2022)
- 3) Won Hee Ko, Stefano Schiavon, Hui Zhang, Lindsay T. Graham, Gail Brager, Iris Mauss, Yu-Wen Lin, The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance, Building and Environment, Vol. 175 (2020)
- 4) Stephen R. Kellert, Judith Heerwagen, Martin Mador, Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life, Wiley, 2008

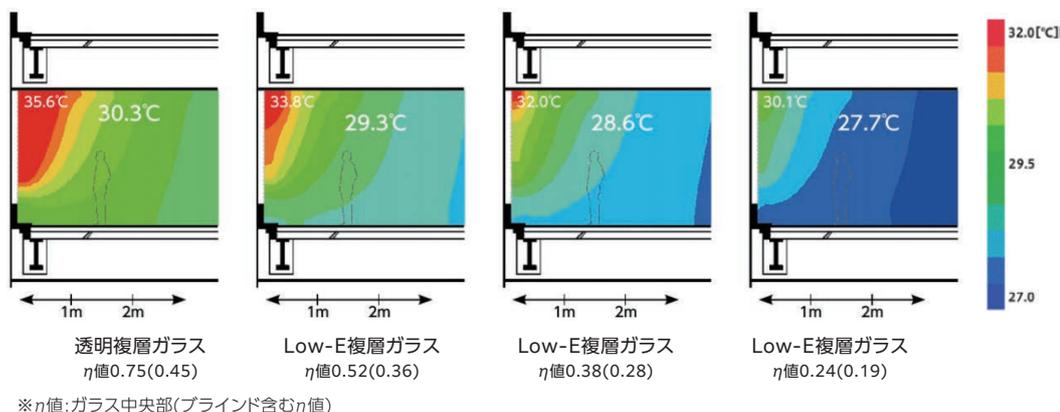
## 温熱環境について

室内の温熱環境を形成している要素は、環境側の要素として室内空気温度の他に、湿度、気流、放射があり、人間側の要素として着衣量、活動量があります。人体の熱的快適性に関する温熱感覚はこれら6要素の総合効果で支配されます。これらの要素のうち、普段は空気温度のみで暑さ寒さを表現することが多いのですが、人体と周囲環境との間で行われる熱の授受は、空気温度ばかりではなく湿度、気流、周壁からの放射熱に影響されますし、その影響度合いは着衣量や活動量によって変わります。



### ●室内温度分布シミュレーション計算事例

透明複層ガラスと各種Low-E複層ガラスについて、ブラインド有の条件で夏期ピーク時の室内窓近傍の温熱環境のシミュレーションを行いました。下図をみると、ブラインドがあっても体感温度分布に差が生じており、日射熱取得率が低いLow-E複層ガラスは相対的に暑熱感が低減されていることがわかります。



#### 室内の温熱環境シミュレーション条件(計算ソフト:AGCオリジナル)

東京 夏期14時 南西面 外気温度:34.3℃ ガラス面到達日射量 522.1[W/m<sup>2</sup>]  
 開口部サイズ 2,200mm(W)×1,950mm(H) 全ケースブラインド有り 窓近傍1.5mにおける在室者の体感温度  
 全ケースガラス構成 Low-E6+A12+FL6(図中の温度は開口部上部付近と人体頭上の体感温度を示す)  
 ※本検討結果は一般的なオフィスを対象としたAGCのシミュレーションによるものです

図2-6 室内の温度分布シミュレーション結果

## 高性能窓への改修による室温変化

ビルにおける高性能窓への改修を促進するためには、実態としての改修効果を定量的に示し、その効果を理解してもらうことが重要です。しかし、窓改修前後の室内環境やエネルギー消費量を同条件で適切に比較することは意外と容易ではなく、活用できる情報は限られています。そこで、窓ガラスを単板ガラスからLow-E複層ガラスに段階的に改修することになった事務庁舎ビル(Aビル、茨城県つくば市、9階建て、延べ面積約15,000m<sup>2</sup>)にて、改修工事期間中に温湿度計を設置して、窓改修前後で室内温度にどのような変化があるかを分析しました。

### 1.窓改修工事の概要

Aビルの代表階平面図を図2-7に示します。Aビルでは、2023年11月から翌年3月にかけて上層階から順に窓の改修工事(カバー工法)が行われました。工事は土日に行われ、各フロアを北側と南側に区分して2週間で1フロアの改修が完了するスケジュール(土日で北側を改修し、翌週の土日で南側を改修)で行われました。

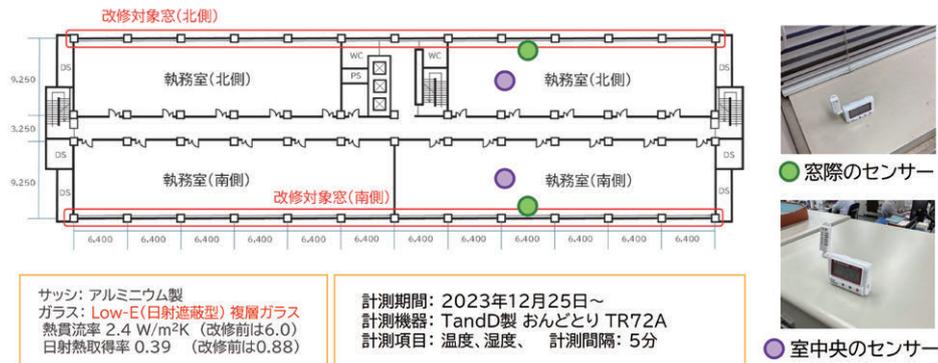


図2-7 Aビルの平面図と計測センサーの設置位置

## 2. 測定の概要と結果

改修工事实施中の2023年12月25日(月)から室温の測定を開始しました。各フロアの北側及び南側にそれぞれ1室ずつ測定対象室を設定し、各室について、窓際(ファンコイルユニットの筐体の上。窓からの距離は20cm程度)と室中央(キャビネットや机の上)におんどとりを配置して、室内温湿度の計測を行いました(図2-7)。

### (1) フロアの改修前後の室内温度の変化(4階)

Aビルの4階について、①改修前、②北側のみ改修後、③南北とも改修後の測定データを比較した結果を図2-8に示します。それぞれある1日の測定結果ですが、休日明けではなく、外気温の挙動が似ている日のデータを抽出しています。

- 改修前(①)の夜間は室中央と窓際の温度に5℃程度の差があります。一方で、北側と南側には大きな温度差はなく、夜間の非空調時間帯は似たような温度となっています。
- 北側のみ改修(②)すると、夜間における北側・窓際の温度が上がり、南側・窓際の温度と差が生じています。北側の方が2℃程度高く、これは高性能窓への改修による室温上昇効果と捉えることができます。
- 南側も改修がされると(③)、再び北側・窓際と南側・窓際の温度差が小さくなります。改修前(①)と比べて夜間の室温が上昇していることが分かります。

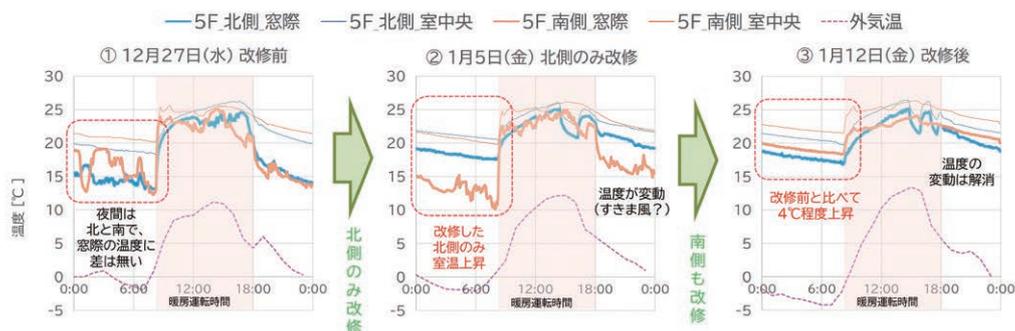


図2-8 Aビル4階の測定結果

### (2) 北側・窓際における改修前後の室内温度の変化

北側・窓際のデータのみを抽出して一日の変動を描いた結果を図2-9に示します。図2-9の上側は1月17日(水)のデータであり、4～8階は改修済みですが3階のみ窓改修は終わっていません。図2-9の下側は1月31日(水)のデータであり、3階の窓改修が完了した後の測定結果です。

- 1月17日(図2-9上)の夜間の温度を見ると、窓改修が未完了の3階のみ室温が低いことが分かります。また、3階以外は空調起動後30分程度で20℃に達していますが、3階は2時間以上経たないと20℃に達しないことが分かります。

- 1月31日(図2-9下)のグラフより、窓改修した3階の室温が全体的に上昇して、改修済他のフロアと同程度になっていることがわかります。室温が20℃に達するために要する時間も30分程度となり、他のフロアとほぼ同程度となっています。

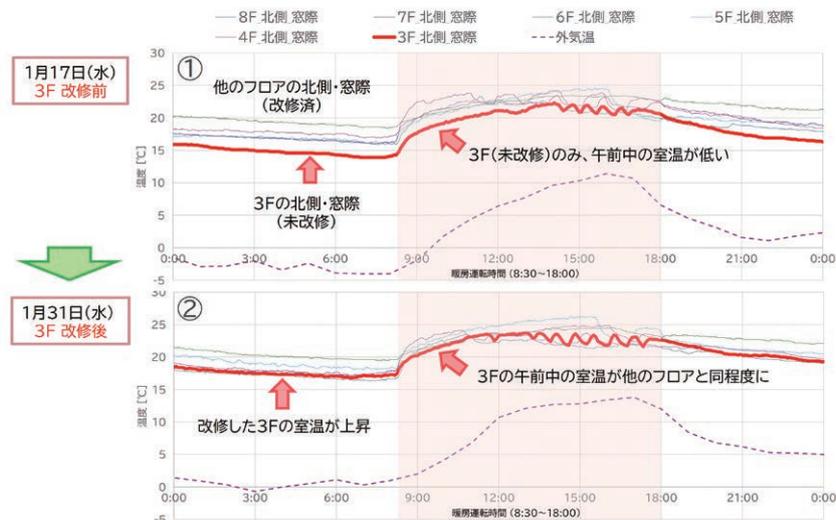


図2-9 Aビル北側・窓際の測定結果

他の階の分析結果も含めると、窓改修を行った室については夜間における窓際空間の室内温度が2~5℃程度向上し、これにより特に午前中の室内温熱環境が改善されていることがわかりました。

### 3. 居住者へのアンケート調査

窓改修後に執務者にアンケートをしたところ、夜間に冷えなくなった、窓の開閉が容易になった、景色がよく見えるようになった、静かになった等、好意的な感想が多数得られました(図2-10)。一方で、アルミサッシであるためサッシ部で結露が発生するなどの意見も得られました。

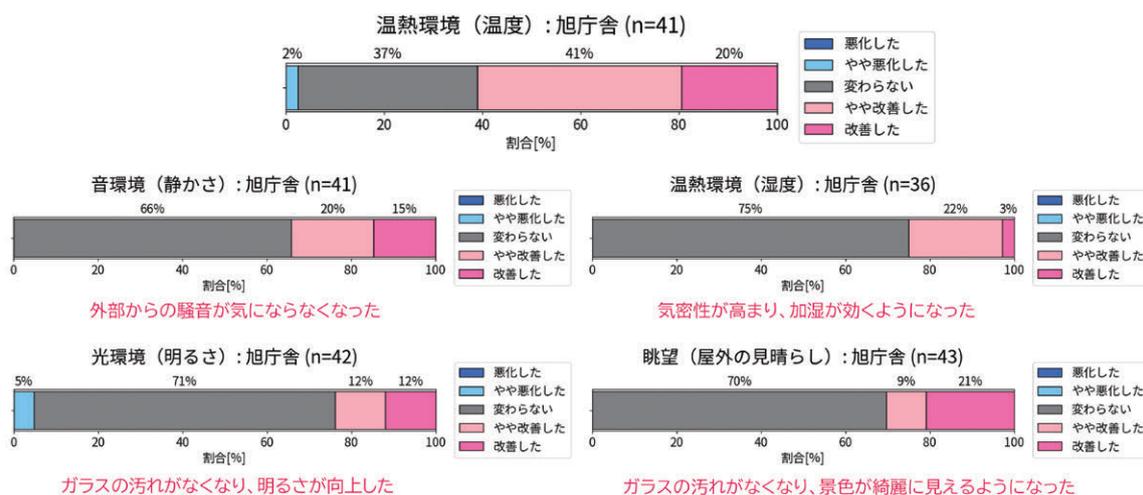


図2-10 温熱環境等に関するアンケート調査の結果(窓改修後)

(国土交通省 国土技術政策総合研究所 住宅研究部 住宅ストック高度化研究室長 宮田征門)

## 3

## 窓の熱性能



建物の省エネ性能やカーボンニュートラルへの対応には、高い断熱性を備えた窓が不可欠です。さらに、自然光や開放的な眺望を損なわないために、現代のビルではLow-E複層ガラスの採用が必須となっています。

## 3-1 Low-E複層ガラスの特徴

## ●Low-E複層ガラスの構造、断熱・遮熱の仕組み

複層ガラスは2枚のガラスを、スペーサーを介して貼りあわせた構造になっています。スペーサーの内部には乾燥剤が封入されているので、2枚のガラス間は乾燥空気で満たされます。この中空層が熱の伝達量を抑え、断熱性能が高まります。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ます。この特殊金属膜が放射による熱伝達を抑え、より優れた断熱性を得ることができます。さらに、特殊金属膜の種類によって、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。

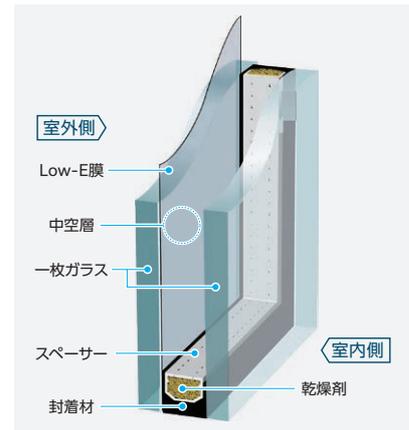


図3-1 Low-E複層ガラスの構造

## ●光学特性(可視光透過性と日射遮蔽性)

透明複層ガラス、高性能熱線反射複層ガラス、Low-E複層ガラスの分光透過率の比較を右図に示します。透明複層ガラスでは高い可視光透過率を得られますが、近赤外域の透過率も高く、日射遮蔽性が劣ります。一方、高性能熱線反射複層ガラスは、近赤外域の透過率が低く、日射遮蔽性を有しますが、同時に可視光透過率も低くなります。Low-E複層ガラスは可視光透過率が高く、なおかつ近赤外線透過率が高いものと低いもの2種類のタイプがあり、採光性と日射取得性/日射遮蔽性を兼ね備えていることが分かります。

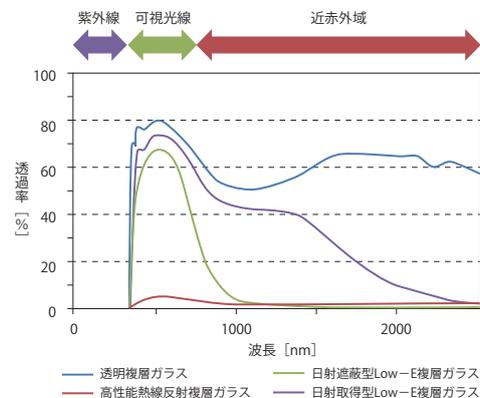


図3-2 各種複層ガラスの分光透過率

## ●断熱性、遮熱性、採光性

透明単板ガラス、透明複層ガラス、高性能熱線反射複層ガラス、Low-E複層ガラスの光学・熱特性の比較を下表に示します。透明複層ガラスは熱貫流率と日射熱取得率が高く、熱の流出・流入量が大きくなります。高性能熱線反射複層ガラスは熱の流出・流入は比較的抑えられますが、可視光透過率が低くなります。Low-E複層ガラスは、熱貫流率が小さく、可視光透過率が高く、断熱性と採光性を兼ね備えて、さらには日射熱取得率は日射取得型は高く、日射遮蔽型は低く、建物用途やニーズに応じて使い分けすることができます。

表3-1 Low-E複層ガラスの光学・熱特性の比較

構成	熱貫流率[W/m <sup>2</sup> 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	0.38	70
日射取得型Low-E複層ガラス	1.8	0.52	74

\*1 室内外気温差が1°Cであるとき、高温側から低温側へ1m<sup>2</sup>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。

●Low-E複層ガラスの施工事例



東京スクエアガーデン(東京都・中央区)  
CASBEE Sランク  
提供：セントラル硝子プロダクツ



パシフィックセンチュリープレイス丸の内(東京都・千代田区)  
提供：セントラル硝子プロダクツ



オプテージビル(大阪市・中央区)  
CASBEE大阪みらいSランク  
提供：AGC



住友不動産東京三田ガーデンタワー(東京都・港区)  
ZEB Ready  
提供：日本板硝子

## 3-2

## 窓の熱性能値について

窓の断熱性能を表すときには、ガラスだけでなく、フレームも熱の伝わり方に影響します。そのため、窓全体の性能を示す『Uw値』という指標を使います。Uw値は、ガラス部分の性能、フレームの性能を合わせて計算します。

JIS A 2102-1「窓及びドアの熱性能－熱貫流率の計算－第1部：一般」を適用すると窓の熱貫流率Uw値は以下の計算式で計算されます。

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (1)$$

U<sub>g</sub> : ガラスの熱貫流率[W/(m<sup>2</sup>・K)]

U<sub>f</sub> : フレームの熱貫流率[W/(m<sup>2</sup>・K)]

Ψ<sub>g</sub> : ガラス、スペーサ及びフレームの熱影響の組み合わせによる線熱貫流率[W/(m・K)]

A<sub>g</sub> : ガラス面積[m<sup>2</sup>]

A<sub>f</sub> : フレーム面積伝熱開口寸法の基準線とガラスの見付け周長線に囲まれた室内側投影フレーム面積[m<sup>2</sup>]

l<sub>g</sub> : ガラスの総見付け周囲長[m]

表3-2 フレーム種類によるガラス・フレーム面積及びガラス周長

		木製建具又は 樹脂製建具	木と金属の複合 材料製建具又は 樹脂と金属の複 合材料製建具	金属製建具	
ガラス(グレージング)面積(m <sup>2</sup> )		1.531	1.853	1.883	
建具(フレーム)面積 (m <sup>2</sup> )	内側サッシ	上	0.119	0.064	0.071
		下	0.121	0.069	0.081
		縦	0.117	0.079	0.052
	召し合わせ		0.080	0.040	0.030
	外側サッシ	上	0.119	0.064	0.071
		下	0.121	0.069	0.081
縦		0.117	0.079	0.052	
建具(グレージング)周長 (m)	内側サッシ	上	0.690	0.770	0.780
		下	0.690	0.770	0.780
		縦	1.130	1.210	1.220
		召し合わせ	1.130	1.210	1.220
	外側サッシ	上	0.690	0.770	0.780
		下	0.690	0.770	0.780
		縦	1.130	1.210	1.220
		召し合わせ	1.130	1.210	1.220

表3-3 フレーム種類によるフレーム熱貫流率及び線熱貫流率

		木製建具又は 樹脂製建具	木と金属の複合材料 製建具又は樹脂と金 属の複合材料製建具	金属製建具
建具(フレーム)の熱 貫流率(W/m <sup>2</sup> ・K)	三層以上の複層ガラスの場合	2.021	3.336	7.349
	二層複層ガラス、単板ガラスの場合	2.379	4.367	
グレージング、スペーサ及びフレームの熱影響の組み合わ せによる線熱貫流率(W/m・K)		0.070	0.080	0.035

注：単層グレージングの場合、ゼロ（スペーサ等の影響が無い）とする。

建築物省エネ法では、上式(1)窓の熱貫流率Uwの計算式に、表3-2よりフレーム種類によるガラス・フレーム面積及びガラス周長を入力、同じく表3-3よりフレーム熱貫流率及び線熱貫流率を入力し、Uwを算出する簡易的方法が認められています。

また、窓の日射熱取得性は、建築研究所の技術情報に次の簡易算定式が記述されています。フレーム(枠)を含めた窓全体の日射熱取得率『η<sub>w</sub>値』は次の計算式で算出することができます。

枠が木製建具又は樹脂製建具の場合  $\eta_w = \eta_g \times 0.72$

枠が木と金属の複合材料製建具、樹脂と金属の複合材料製建具、金属製建具又はその他の場合  $\eta_w = \eta_g \times 0.8$

ここで、η<sub>g</sub>はガラスの日射熱取得率です。

出典：建築研究所 平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報(住宅) 2.エネルギー消費性能の算定方法 2.1算定方法 第三章 暖冷房負荷と外皮性能 第三節 熱貫流率及び線熱貫流率 付録B 窓又はドアの熱貫流率 および第四節 日射熱取得率 付録C 大部分が透明材料で構成される開口部(窓等)の垂直面日射熱取得率

3-3

PAL\*について

PAL\* (パルスター)は、非住宅建築物の「外皮性能」を評価するための指標で、建物の屋内周囲空間(ペリメータゾーン)における床面積当たりの年間熱負荷(冷暖房のために必要とする熱の総量)を表します。つまり、外壁・窓など外皮の断熱・日射遮蔽性能がどの程度、年間の空調負荷に影響するかを数値化したものです。よって、PAL\*は、ペリメータゾーン(屋内周囲空間)の年間熱負荷をペリメータゾーンの床面積で除した値とします。

$$PAL* = \frac{\text{ペリメータゾーンの年間熱負荷(MJ/年)}}{\text{ペリメータゾーンの床面積(m}^2\text{)}}$$

ただし、床面積算出方法は、外周長×5mとし、かつ、屋根とピロティ面積はそのまま参入します。

ペリメータゾーンとは、建物外皮(外気に接する外壁・窓など)の影響を強く受け、空調負荷が大きくなりやすい建物外周部分の室を指します。省エネ評価では、このゾーンにおける熱負荷を把握することが重要です。また、非住宅の省エネルギー評価では、外皮性能指標と一次エネルギー消費量の評価を組み合わせるため、外周部の熱的挙動を適切に捉えることが、空調一次エネルギー消費量の削減(省エネ化)につながります。



- 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

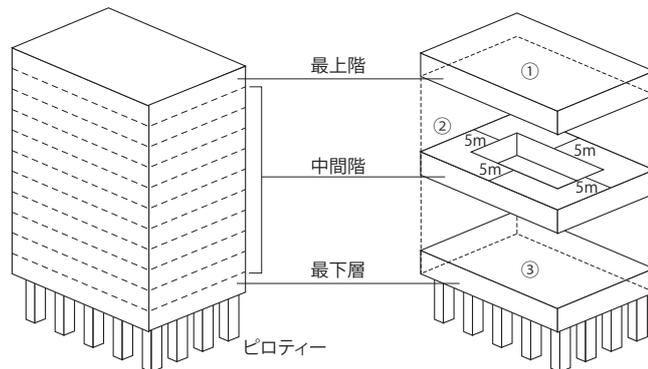


図3-3 ペリメータゾーンイメージ

表3-4 PAL\*の基準値

	用途	地域区分								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
(1)	事務所等	480	480	480	470	470	470	450	570	
(2)	ホテル等	客室部	650	650	650	500	500	500	510	670
		宴会場部	990	990	990	1260	1260	1260	1470	2220
(3)	病院等	病室部	900	900	900	830	830	830	800	980
		非病室部	460	460	460	450	450	450	440	650
(4)	百貨店等	640	640	640	720	720	720	810	1290	
(5)	学校等	420	420	420	470	470	470	500	630	
(6)	飲食店等	710	710	710	820	820	820	900	1430	
(7)	集会所等	図書館等	590	590	590	580	580	580	550	650
		体育館等	790	790	790	910	910	910	910	1000
		映画館等	1490	1490	1490	1510	1510	1510	1510	2090

表3-5 地域区分

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

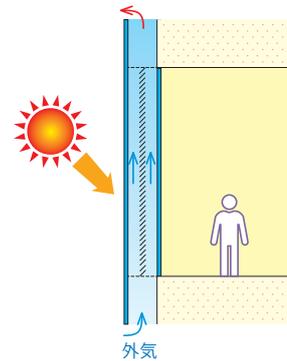
## 3-4

## ダブルスキン等

省エネ性や快適性を向上させる目的で、特殊な開口部構造とした窓システムがあります。ダブルスキンファサード(DSF: Double Skin Facade)、エアフローウィンドウ(AFW: Air Flow Window)、プッシュプルウィンドウ(PPW: Push Pull Window)と呼ばれるものがあり、窓ガラスを二重構造にして中空層内部を自然通気、もしくは機械設備を用いて通気する機構を備えた窓システムです。この窓システムが吸収した日射熱を中空層内部で上昇気流に乗せて排熱することで遮熱効果があり、ガラスの二重化により断熱効果もあり、建物の省エネ効果とともにペリメータゾーンの温熱環境の改善につながります。中空層にはブラインドやスクリーンといった日射遮蔽部材を設置することで、さらに効率的に排熱(夏期)および集熱(冬期)することができます。以下に3つの窓システムの概要を示します。

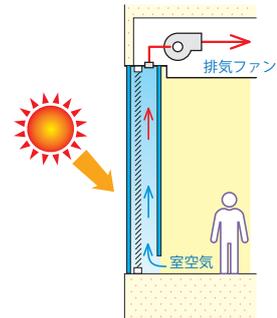
## ① ダブルスキンファサード(DSF)

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。下記2タイプと異なり、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て極力集熱するなどの運用が必要です。



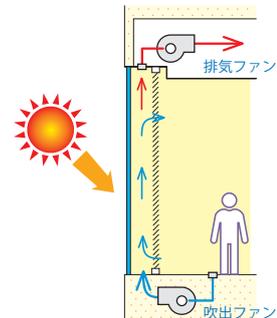
## ② エアフローウィンドウ(AFW)

エアフローウィンドウは、機械換気方式を備えた通気機構を有します。右図にエアフローウィンドウの断面模式図の一例を示します。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。また二重窓を用いて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 プッシュプルウィンドウ(PPW)

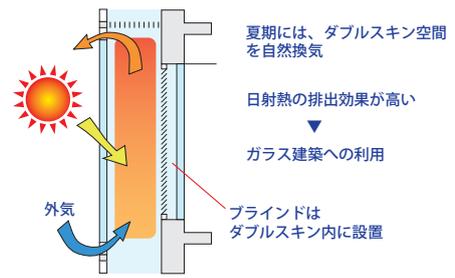
プッシュプルウィンドウは、エアフローウィンドウと同様に機械換気方式を備えた通気機構を有します。右図にプッシュプルウィンドウの断面模式図の一例を示します。下層に設置した吹出ファン、上層に設置した排気ファンなど機械設備を用いて、下層から上層に向かって強制的に上昇気流を作ることにより、効率良く窓ガラス付近の温度環境を改善できると考えられています。しかし、ブラインドで吸収した熱が室内側に放熱したり、ブラインド隙間から熱が室内側に逃げることもあり、窓の通気量を増してもガラスの熱性能はほとんど変化せず、大きな改善効果は期待できません。プッシュプルウィンドウは二重窓ではなく一重窓を採用できることからコスト面で優位ですが、採用するには省エネ効果を十分に精査する必要があります。



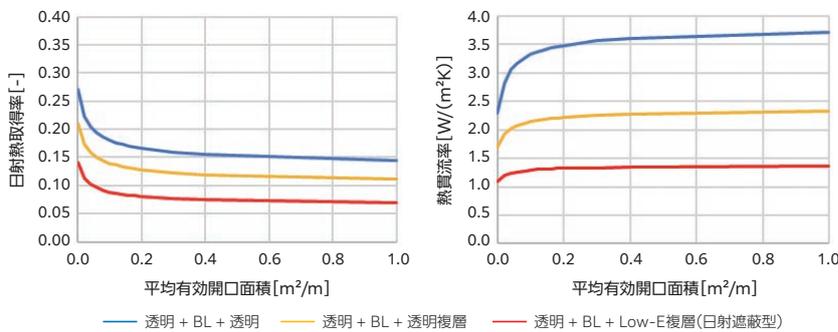
上記3つの窓システムのうち、代表としてダブルスキンファサードの熱特性について説明します。

上下部開口の窓幅1mあたりの平均有効開口面積[m<sup>2</sup>/m]を変化させた場合のDSFの熱性能を図3-4に示します。DSFの吹き抜けは1層とし、通気層に白色ブラインド(BL)がある場合を考えます。この場合、BLで吸収した日射熱により、

通気層内の空気温度が上昇し自然換気が促進されるため、有効開口面積が大きくなると一般の窓ガラスと比べて日射熱取得率を大幅に低減できることが分かります。また、断熱性能については有効開口面積が大きくなると外気を通気層に取り入れやすくなるため熱貫流率は増大してしまいます。そこで、DSFでは冬期の夜間など断熱性能が求められる時間帯には有効開口面積をゼロとして(通期取り入れの開口部を閉じて)熱貫流率を維持する必要があります。また、通気層には外気が侵入するので、室内側ガラスが単板ガラスになることは室内の温熱環境への悪影響や省エネ性能の面からお勧めできません。また、DSFの場合でも室内側にLow-E複層ガラスを使用すると、有効開口面積によらず単板ガラスや透明複層ガラスの場合よりも熱貫流率を小さくすることができます。



※有効開口面積  
DSF上下の換気口の有効開口面積、熱特性計算の際は、窓幅1m当たりの有効開口面積 $m^2$ として表す。



#### 計算条件

日射熱取得率：  
 $\eta_s$ 算出時の環境条件  
日射量 $500[W/m^2]$ 、  
外気温 $30[^\circ C]$ 、室温 $25[^\circ C]$

熱貫流率：  
 $U_w$ 算出時の環境条件  
日射量 $0[W/m^2]$ 、  
外気温 $0[^\circ C]$ 、室温 $20[^\circ C]$

図3-4 DSFの有効開口面積による熱特性の変化(左図:日射熱取得率、右図:熱貫流率)

### コラム3 窓ガラスの特殊構法

窓ガラスの施工方法としては、板ガラスの四周を金属フレームに嵌め込み、シーล材やガスケットで支持する構法が基本ですが、透明性を重視したものとしては、ガラスリブ構法に始まり、現在では金物の小型化・高性能化により、点支持や部分支持を組み合わせたフレームレス構法が広く実用化されています。これらの構法は、特に商業施設や公共建築の低層部を中心に、多様な意匠表現を可能にしています。強風、地震、衝突等の外力に対して十分な安全性を確保するガラス構法および施工技術の開発が、今日のガラス建築の発展を支えてきたと言えます。



**DPG構法**  
(Dot Pointed Glazing)  
強化ガラスに穴加工を施し、ガラス穴部分をボルト金物で点支持する構法



**ガラスを部分的に支持する構法①**  
ガラスのコーナーやエッジを小型金物により部分的に支持する構法



**ガラスを部分的に支持する構法②**  
ガラスのエッジを部分フレームにより支持する構法

資料提供：日本板硝子

●ダブルスキンファサード(DSF)の施工事例



新潟市民芸術文化会館(新潟市・中央区)  
提供：セントラル硝子プロダクツ



東葛テクノプラザ(千葉県・柏市)  
提供：日本板硝子



せんだいメディアテーク(仙台市・青葉区)  
提供：(左)伊東豊雄建築設計事務所(右)宮城県観光課



## コラム 4 窓の性能等級

窓（ガラスとフレームの組み合わせ）の断熱性・日射熱取得性はJIS A 4706「サッシ」に示される等級で区分・表示されることがあります。また、窓には熱性能以外にも考慮すべき性能項目があり、それらについても等級や判定基準が示されています。

性能項目	等級との対応値	
<b>断熱性</b> 標準的な試験体寸法での熱貫流率(標準化熱貫流率)が等級との対応値以下であること	等級	熱貫流率 $W/(m^2 \cdot K)$
	H-1	4.7
	H-2	4.1
	H-3	3.5
	H-4	2.9
	H-5	2.3
	H-6	1.9
	H-7	1.5
<b>日射熱取得率</b> 日射熱取得率が等級との対応値以下であること	等級	日射熱取得率
	N-1	1.00
	N-2	0.50
<b>対風圧性</b> 加圧に対して破損等を生じないこと、たわみが一定以下であること等	等級	最高出力 Pa
	S-1	800
	S-2	1,200
	S-3	1,600
	S-4	2,000
	S-5	2,400
	S-6	2,800
<b>気密性</b> 通気量が等級線以下であること	等級	気密等級線
	A-1	A-1 等級線
	A-2	A-2 等級線
	A-3	A-3 等級線
<b>遮音性</b> 音響透過損失と遮音等級線との比較結果が所定の基準を満足すること	等級	遮音等級線
	T-1	T-1 等級線
	T-2	T-2 等級線
	T-3	T-3 等級線

※JIS A 4706「サッシ」では、この他の性能項目に、開閉力、開閉繰り返し、戸先かまち強さ、がある。



## 4-1

## 2050年カーボンニュートラルに向けた建築物の省エネ対策

2050年カーボンニュートラル、2030年度温室効果ガス46%削減(2013年度比)の実現に向け、2025年2月に第7次エネルギー基本計画等では、国内のエネルギー消費の約3割を占める建築物分野での省エネ対策の方向性として、次の方針が示されました。

「政府としては、2050年にストック平均でのZEH(Net Zero Energy House)・ZEB(Net Zero Energy Building)基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指し、これに至る2030年度以降に新築される住宅・建築物はZEH・ZEB基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指すとの目標を掲げており、建築物省エネ法などの規制と支援措置を一体的に活用しながら、省エネルギー性能の向上及び再生可能エネルギーの導入拡大を進めていく。

規制・制度の在り方については、こうした目標と整合するよう、住宅・建築物における省エネルギー基準の段階的な水準の引上げを遅くとも2030年度までに実施する。エネルギー収支が正味ゼロとなることを目指す「ZEH」についても、今後は更なるゼロ・エネルギー化を進める観点から、省エネルギー性能の大幅な引上げを実施するとともに、自家消費型太陽光発電の促進を行うよう、その定義を見直す。」

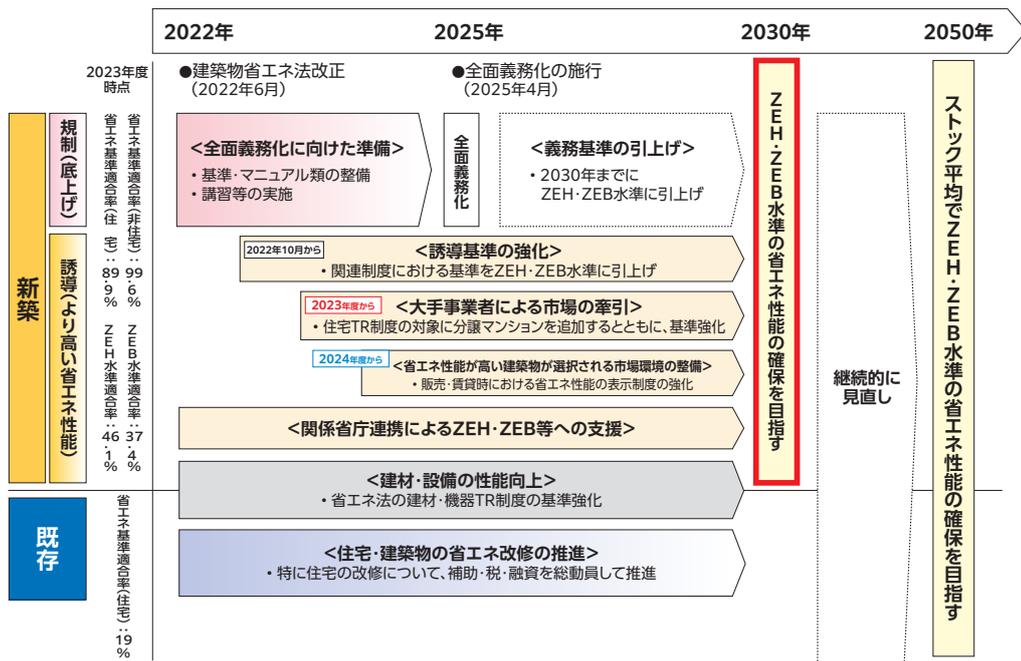


図4-1 住宅・建築物分野の今後の省エネ性能確保のスケジュール

※ZEH基準の水準は、強化外皮基準及び再生可能エネルギーを除いた一次エネルギー消費量を現行の省エネルギー基準値から20%削減すること、ZEB基準の水準とは、再生可能エネルギーを除いた一次エネルギー消費量を現行の省エネルギー基準値から用途に応じて30%または40%削減、小規模建築物については、再生可能エネルギーを除いた一次エネルギー消費量を現行の省エネルギー基準値から20%削減することを指す

出典：国土交通省 社会資本整備審議会建築分科会第30回建築環境部会・第49回建築分科会 資料2-3より引用一部変更  
([https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05\\_sg\\_000302.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05_sg_000302.html))、2026.01閲覧

2025年4月には、全ての新築住宅・新築非住宅建築物において省エネルギー基準への適合が義務化され、次の目標である2030年の新築建築物の平均でのZEH、ZEB水準の確保に向け、今後一層の省エネ性能の向上を図ることが期待されています。

4-2

ビルの省エネルギー基準・ZEB基準

建築物のエネルギー効率化に関する基準は、地球温暖化対策や持続可能な社会の実現において重要な役割を果たしています。本章では、省エネルギー基準、ZEB基準といった非住宅建築物のエネルギー性能に関する指標とその目的について解説します。各基準は、エネルギー効率向上のための具体的な達成目標を提示し、それぞれの基準が達成すべき具体的な水準を定めています。本節では、各基準の概要や算出方法、そしてそれがもたらす意義について詳細に見ていきます。

省エネルギー基準

ビル(非住宅建築物)の省エネルギー基準への適合はBEI(Building Energy Index)値により判定されます。BEIとは、実際に建てる建築物の設計一次エネルギー消費量を、地域や建物用途、室使用条件などにより定められている基準一次エネルギー消費量で除した値で、建築物の用途や規模に応じてBEI値の基準が定められています。BEIの算出は、建築研究所のWEBプログラム(非住宅建築物に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム)や、住宅・建築SDGs推進センターによるThe BEST Program等により行います。

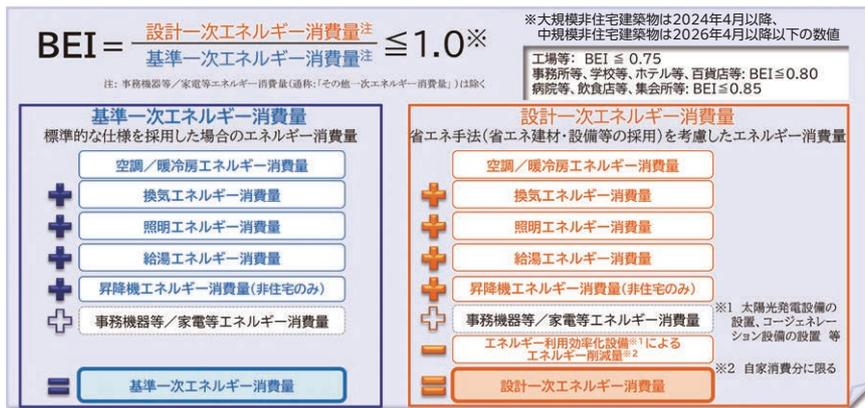


図4-2 一次エネルギー消費性能BEI値

出典: 国土交通省 【建築物省エネ法】省エネ基準適合義務制度の解説 第二版

2017年度			2021年度			2024年度			2025年度			2026年度			遅くとも2030年度		
用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値		用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値		用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値		用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値		用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値		用途・規模	一次エネ(BEI)の基準値	
大規模(2,000㎡以上) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		中大規模(300㎡以上) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		大規模(2,000㎡以上) 工場	0.75 <sup>※2</sup>		大規模(2,000㎡以上) 工場	0.75 <sup>※2</sup>		中大規模(300㎡以上) 工場	0.75 <sup>※2</sup>		中大規模(300㎡以上) 工場	0.60 <sup>※3</sup>	
						事務所 学校	0.80 <sup>※2</sup>		事務所 学校	0.80 <sup>※2</sup>		事務所 学校	0.80 <sup>※2</sup>		事務所 学校	0.60 <sup>※3</sup>	
						ホテル 百貨店	0.85 <sup>※2</sup>		ホテル 百貨店	0.85 <sup>※2</sup>		ホテル 百貨店	0.85 <sup>※2</sup>		ホテル 百貨店	0.70 <sup>※3</sup>	
						病院 集会所 飲食店	0.85 <sup>※2</sup>		病院 集会所 飲食店	0.85 <sup>※2</sup>		病院 集会所 飲食店	0.85 <sup>※2</sup>		病院 集会所 飲食店	0.70 <sup>※3</sup>	
小中規模(2,000㎡未満) 非住宅	-		小規模(300㎡未満) 非住宅	-		中規模(300㎡以上, 2,000㎡未満) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		中規模(300㎡以上, 2,000㎡未満) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		小規模(300㎡未満) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		小規模(300㎡未満) 非住宅	0.80 <sup>※3</sup>	
						小規模(300㎡未満) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		小規模(300㎡未満) 非住宅	1.00 <sup>※2</sup>		住宅	1.00 <sup>※2</sup>		住宅	0.80 <sup>※3</sup>	
住宅	-		住宅	-		住宅	1.00 <sup>※2</sup>		住宅	1.00 <sup>※2</sup>		住宅	1.00 <sup>※2</sup>		住宅	0.80 <sup>※3</sup>	

図4-3 建築物省エネ法の適合義務基準値の推移

※1「-」は届出義務/努力義務  
 ※2 太陽光発電設備及びコージェネレーション設備のうち自家消費分を含む  
 ※3 コージェネレーション設備のうち自家消費分を含む  
 ※4 増改築については、改正法の全面施行以降(2025年4月~)、増改築部分の面積の規模に応じて該当する規模の水準を適用。

出典: 国土交通省 社会資本整備審議会建築分科会第30回建築環境部会・第49回建築分科会 資料2-3  
 (https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05\_sg\_000302.html), 2026.01閲覧

## ●ビルの外皮基準

ビル(非住宅建築物)の省エネルギー基準では、住宅の省エネルギー基準とは異なり、一次エネルギー消費量の基準(BEI)への適合だけが求められています。一方で、性能向上計画認定(省エネ性能の優れた建築物の省エネ計画を認定する制度。容積率の特例が適用される)を受けるために要求される「誘導基準」では、省エネルギー基準よりも高い水準の一次エネルギー消費量基準への適合\*に加え、外皮性能の基準であるBPI(Building PAL\* Index)の基準への適合(BPI $\leq$ 1.0)が求められます。BPIとは、実際に建てる建築物のPAL\*を、地域や建物用途、室使用条件などにより定められている基準PAL\*(p.23参照)で除した値です。PAL\*(Perimeter Annual Load)とはペリメータゾーン(室外環境の影響を受けやすく空調負荷が大きい建物外周部分)の年間熱負荷係数のことです。

BPIは省エネルギー基準では義務化されていませんが、5-4で紹介するように、窓の熱性能を向上させることなどによりPAL\*が小さくなれば、空調一次エネルギー消費量の削減に寄与することが可能です。

※再生可能エネルギーを除き、

省エネ基準▲30%(ホテル等、病院等、百貨店等、飲食店等、集会所等)

省エネ基準▲40%(事務所等、学校等、工場等)

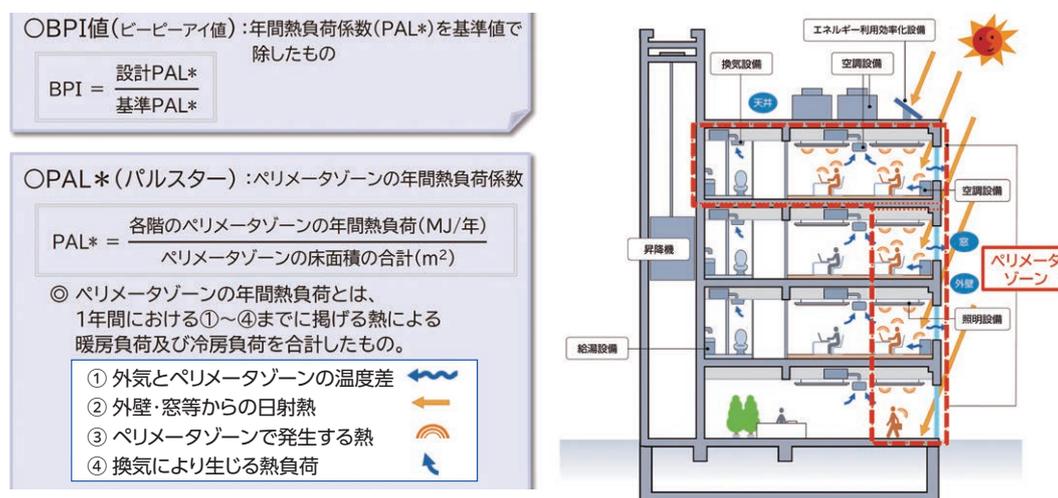


図4-4 PAL\*とBPI

出典：国土交通省：省エネルギー基準・誘導基準・トップランナー基準 概要資料

(<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001390008.pdf>)、2026.03閲覧

## ZEB基準

ZEB(Net Zero Energy Building)とは、先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建築物です。ZEBの種類は図4-5のように定義されています。2030年までに実施予定の省エネ基準の水準引き上げは、ZEB Orientedの水準に一致します。

2025年2月に閣議決定された地球温暖化対策推進法に基づく政府実行計画においては、日本の政府の建物・施設について「2030年度までに新築建築物の平均でZEB ready相当となることを目指し、2030年度以降には更に高い省エネ性能を目指す。また、既存建築物について省エネ対策を徹底する」とされています。

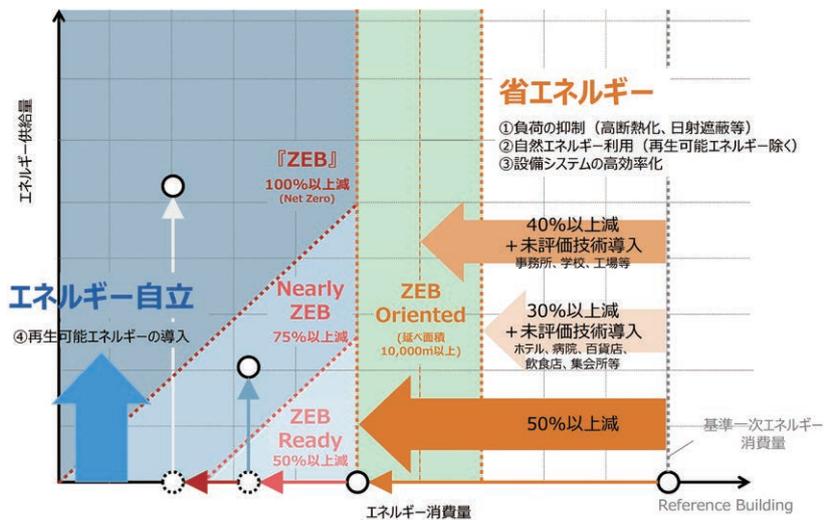


図4-5 ZEBの分類と定量的定義

出典：経済産業省資源エネルギー庁「平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」(平成31年3月)  
 (https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\_and\_new/saving/enterprise/support/pdf/1903\_followup\_summary.pdf)、  
 2026.03閲覧

### 4-3 既存の窓の改修方法

非住宅建築物の窓の改修方法としては、次の3種類が考えられます。

「ガラスの交換」「内窓の設置」「開口部の交換」

#### 1. ガラスの交換

「ガラス交換」は既存の窓のサッシはそのままにガラスだけを交換する方法で、既存サッシにアタッチメント付き複層ガラスに交換する方法(図4-6)、単板ガラスと同程度の薄さで断熱性能を高めた真空ガラスに交換する方法(図4-7)、さらに既存ガラスをそのまま残し、Low-Eガラスを後付けする方法(図4-8)があります。いずれも工事が簡便にすむというメリットがあります。アタッチメント付き複層ガラスは中空層の厚みが限られてしまうため、大幅な断熱性向上は望めませんが、真空ガラスは2枚のガラスの間を真空層にして断熱性能を高めているので、アタッチメント付き複層ガラスよりも断熱性能や結露防止性能が優れています。また後付けLow-Eガラスについては既存ガラスをそのままの状態でもLow-Eガラスを貼り付けることで断熱・遮熱性能向上を実現します。なお、ガラス交換では、サッシは取り替えずに既存サッシをそのまま使用するため、サッシ面の結露は軽減されません。

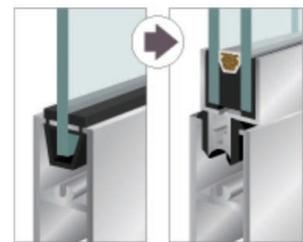


図4-6 ガラス交換の例 (アタッチメント付き複層ガラス)



図4-7 ガラス交換の例(真空ガラス)  
 資料提供：日本板硝子

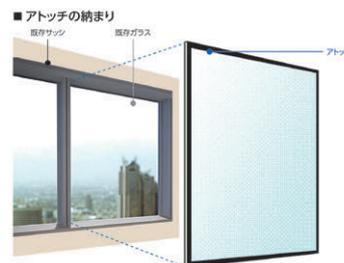


図4-8 ガラス交換の例(後付けLow-E)  
 資料提供：AGC

## 2. 内窓の設置

「内窓の設置」は既存の窓を残したまま室内側にもう一つの窓を取り付けて二重窓にする方法です(図4-9)。開閉の際に2アクションが必要というデメリットもありますが、既存の外窓と内窓の間に空気層が生まれることにより断熱性能に加え遮音性能も向上するメリットがあります。さらに、他の改修方法に比べて最も簡単に施工できるため、手軽に断熱の効果を得られる方法です。断熱性能を示す値の熱貫流率は、例えば、単板ガラスのアルミ窓では $6.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ですが、(外窓)単板ガラスのアルミ窓+(内窓)複層ガラスの樹脂内窓の組合せでは $2.3\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ となります。既存の単板ガラスのアルミ窓の室内側に複層ガラスの樹脂内窓を追加することで熱貫流率がおよそ65%小さくなり( $6.5\rightarrow 2.3$ )、内窓と中間空気層の断熱効果が大きいことが分かります。

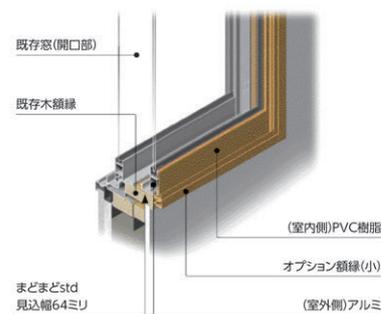


図4-9 内窓設置の例

資料提供：AGC

## 3. 開口部の交換

「開口部の交換」はおもに「カバー工法」と「はつり工法」に分けられます。カバー工法は既存の開口部の枠を躯体に残したまま新しい枠をかぶせる(カバーする)ことで、窓を取り替える方法(図4-10)であり、はつり工法は既存の開口部の枠を撤去し新たに開口部を取り付ける方法です。カバー工法ははつり工法に比べて足場を組んで外壁や床を壊すなどの大掛かりな工事を必要とせず、短期間で工事が完了します。

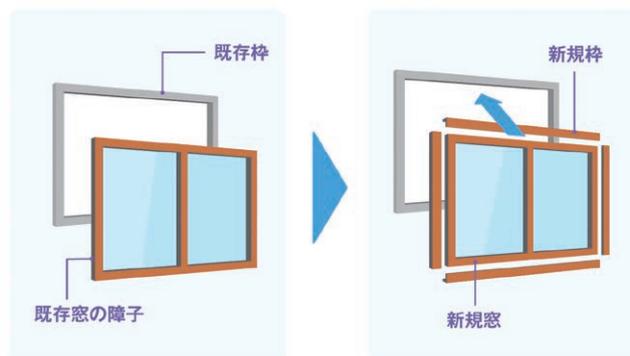


図4-10 カバー工法の例

出典：環境省 先進的窓リノベ2026事業【公式】対象工事の詳細  
(<https://window-renovation2025.env.go.jp/construction/outside-window-co.html>)、2026.03閲覧

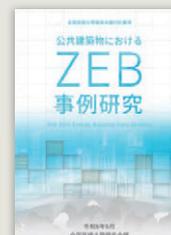
### コラム5 公共建築物におけるZEB事例

官庁営繕事業においては、政府事項計画(令和3年10月閣議決定)に基づき、新築事業については原則ZEB Oriented相当以上とし、2030年度までに新築建築物の平均でZEB Ready相当となることを目指しています。国土交通省のwebサイトでは、「公共建築物におけるZEB事例研究」が公開されており、ZEBを達成した先行事例における取組内容及びその分析結果は建築物のZEB化にとって有益な情報です。例えば、分析内容を見ると、

- ・外皮性能が向上(PAL\*が減少)すると、空調設計一次エネルギー消費性能も向上(エネルギー消費量原単位が減少)する傾向がみられること。
  - ・個別事例として取り上げられた物件の内9割でLow-E複層ガラスが採用されていること。
- などがわかります。

※いずれも令和6年6月版「公共建築物におけるZEB事例研究」2.整理・分析事項による

出典：国土交通省 官庁営繕 ZEB化の推進  
([https://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild\\_tk8\\_000005.html](https://www.mlit.go.jp/gobuild/gobuild_tk8_000005.html))、2026.03閲覧



## 4-4

## 既存建築物のZEB化事例

既存建築物のZEB化の事例を窓ガラスに焦点をあてて紹介します。板硝子協会のwebサイトでは、本項に記載の物件を含め、Low-E複層ガラス(エコガラス)の事例を多数紹介しています。

([https://www.ecoglass.jp/s\\_case/index.html](https://www.ecoglass.jp/s_case/index.html))



## ガラス交換による改修事例(真空ガラス) 久留米市環境部庁舎



提供：久留米市

所在地／福岡県久留米市荘島町375番地  
 主な用途／事務所等 延床面積／2,089 m<sup>2</sup> RC造、地上3階  
 改修後のZEBランク：[ZEB] 2021年改修

## 改修概要

久留米市の環境部庁舎は既存公共建築物による『ZEB』化改修を達成した最初の事例です。

建物は45度ほど振れつつ東西に長く、執務室では南北の壁面に窓が続きます。開口部の改修は南全面と東西面数カ所ので、既存のアルミサッシを残してガラス面のみ単板から真空ガラスに取り替えるガラス交換の断熱改修が行われました。

空調設備は劣化したガス式から高効率の電気式エアコンに変え、同時に全熱交換器を導入してダウンサイジング。無断熱だった床に硬質ウレタンフォームの断熱材を吹き付け、一部を除いて蛍光灯だった照明はすべてLEDに交換し人感センサーと自動調光システムも組み込みました。空きスペースだった屋上には太陽光発電パネルと蓄電池を設置。工事は“居たまま改修”で、約半年をかけて2021年1月に完了し、その日から室内環境は大きく変わりました。ピロティの冷気が直接足元に伝わり、床に段ボールを敷いても「シモヤケになるほど」冷えていた床は改善され、天井との温度差が10℃から6℃に減少。通称『プチプチ』=エアークャップを張ってしのいでいた窓辺の寒さも軽減しました。夏は夏で、かつてはムンムンと熱気がこもり、風除室がなく開け閉めが多い入口近くの席はとくにつらかったようですが、取材に訪れた7月下旬ではその熱気は感じられず、執務スペースは静かで快適な環境です。

詳しくは：[http://www.ecoglass.jp/s\\_case/building/detail/building202208.html](http://www.ecoglass.jp/s_case/building/detail/building202208.html)

## カバー工法による改修事例(Low-E複層ガラス) 株式会社奥村組 技術研究所管理棟



©SATOSHI KANEKO

所在地／茨城県つくば市大砂387  
 主な用途／事務所等 延床面積／1,330 m<sup>2</sup> RC造、地上4階  
 改修後のZEBランク：Nearly ZEB 2020年改修

### 改修概要

1986年に竣工された日本初の実用免震ビルである当建物は、設備の高機能化と汎用的な省エネ技術の組み合わせで Nearly ZEBを達成しました。

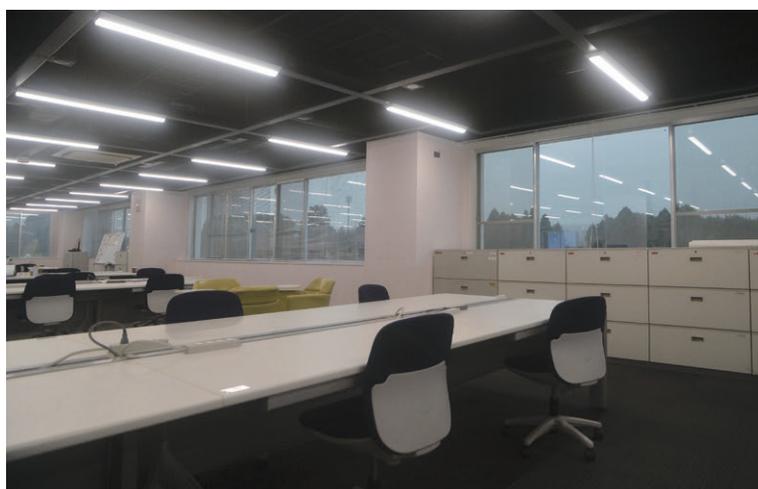
管理棟には、バルコニーのある南側と反対側の北面とに大きな開口が連なります。ここを改修対象とし、既存の窓枠の上に新しい枠を取り付けて、壁躯体を壊さず窓を取り替える“カバー工法”で工事が行われました

FIX窓と片引き窓を組み合わせた窓自体のスタイルはほぼ変わらずに、エコガラスに入れ替えて高い断熱性能を与えています。建築設計部設備課課長の坂崎隆さんは「空調負荷の削減には外皮性能の役割が大きい」と話します。従来の非住宅建築物のエコ改修では、空調機器と照明機器は最新のものに取り替えても窓には手をつけず、そんな例が多く見られます。コスト面に加え、エアコンや明かりと比べて窓の更新は変化が見えづらく、後まわしにされやすい部分もあるかもしれません。体感だけでなく数値データやシミュレーション結果にも目を向けていくことが、これからの空調エネルギー削減には有効でしょう。そんな中で目に見える大きな変更が、3階で採用された『自動制御自然換気窓』です。

FIX窓の上部につけられた横すべり出し窓が、室内外の温湿度状態に合わせて自動で開閉し換気します。窓部分の温湿度センサーと、屋上に設置された風速計や雨量計の計測するデータに基づき「人が快適と感じる空気環境に近づくよう」コンピューターが判断して窓の開け閉めを行う仕組みです。高い技術をベースとしたパッシブな空調が、緑濃い窓辺で行われていました。

詳しくは：[https://www.ecoglass.jp/s\\_case/building/detail/building202106.html](https://www.ecoglass.jp/s_case/building/detail/building202106.html)

## 後付けLow-Eガラス、ガラス交換による改修事例 リコー環境事業開発センター 未来棟・食堂棟



© 小田切 淳

所在地／静岡県御殿場市駒門1-10  
 主な用途／事務所等 延床面積／6,294 m<sup>2</sup> RC造、地上5階  
 改修後のZEBランク：ZEB Ready 2022年改修

## 改修概要

リコー環境事業開発センターは広大な富士山麓、駒門工業団地の一角に建っています。1985年に竣工した白亜の建物は、その後一時の休止期間を経て2016年に再始動、2022年にZEB化改修を終え“環境事業の一大拠点”として生まれ変わりました。

環境事業開発センターを構成する複数の建物のうち、ZEB化改修の対象となったのは『未来棟』と『食堂棟』です。

未来棟のライブラリーコーナーや展示室では、窓の高断熱化のため、既存窓に室内側からLow-Eガラスが取付けられました。空調機器も一部高効率のものに更新し、省エネと同時に訪れる人の快適性にも配慮されています。同様の外皮改修は、食堂棟でも行われています。Low-Eガラスを付加することで高断熱化し、広々としたガラス張り空間を損なうことなく働き方改革にも直結する“楽しく心地よくご飯が食べられる食事処”が実現しました。

未来棟のオフィスや社内向け会議室スペースでは、既存サッシを生かしてガラスだけを真空ガラスに入れ替えるガラス交換の断熱改修が行われました。後付けLow-E複層化と同様にガラス交換も、足場が不要で室内側から施工でき、工期を短縮できる手法です。フリーアドレスが定着した職場環境であったことも相まって、“居たまま改修”は円滑に実施されました。

このプロジェクトは、廃墟同然の建物を再生し、エコガラスの使用によってZEB Readyを達成するという、持続可能な建物改修のモデルケースとなっています。

詳しくは：[https://www.ecoglass.jp/s\\_case/building/detail/building202302.html](https://www.ecoglass.jp/s_case/building/detail/building202302.html)

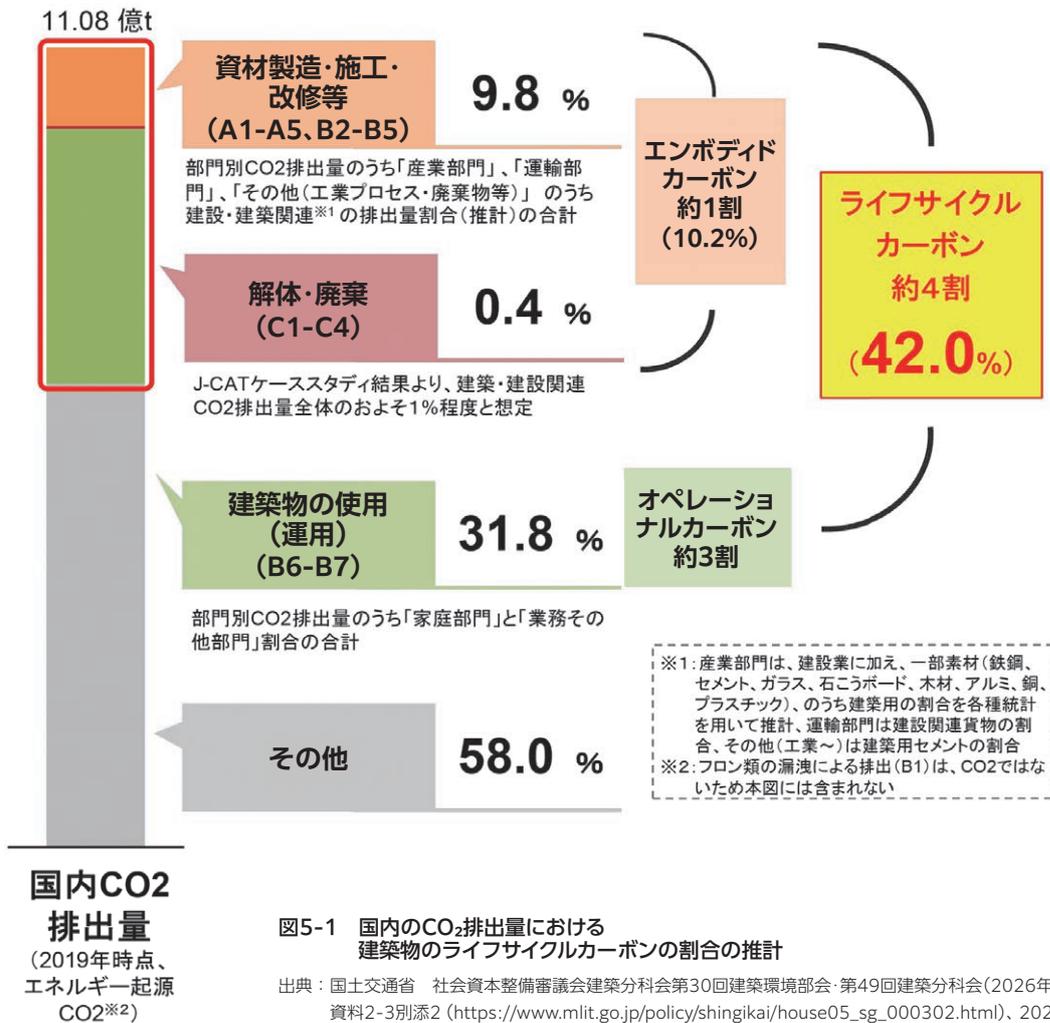


## 5-1

## ビルのホールライフカーボン

国内のCO<sub>2</sub>排出量のうち、建築物のホールライフカーボンに関連するものの割合は少なくとも約4割と推計されています。ホールライフカーボンとは建築物のライフサイクル全体におけるCO<sub>2</sub>を含む環境負荷(温室効果ガス)を指し、ライフサイクルカーボン(LCCO<sub>2</sub>)とも呼ばれます。ホールライフカーボンは、資材調達から解体・廃棄までのCO<sub>2</sub>排出量(エンボディドカーボン)と建築物の使用段階のCO<sub>2</sub>排出量(オペレーショナルカーボン)の合計で評価されます。

オペレーショナルカーボンについては省エネルギー基準適合への全面義務化が行われ、今後も2030年にZEH・ZEB水準への基準引き上げなどにより削減が見込まれています。更なるCO<sub>2</sub>排出削減のためには、エンボディドカーボンの削減に取り組む必要があります。



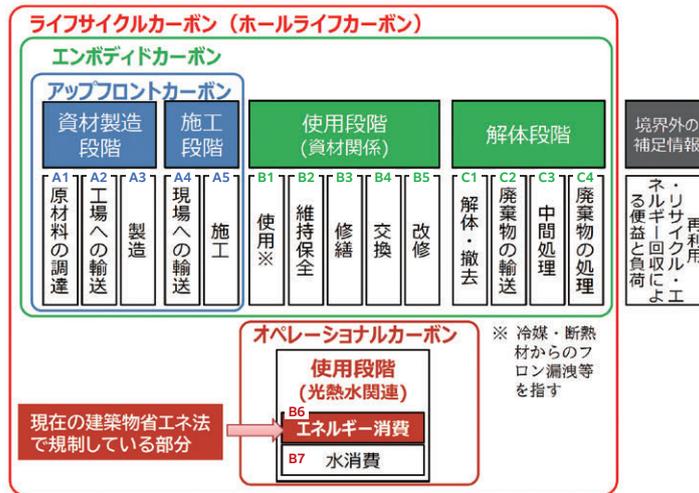


図5-2 ホールライフカーボンの枠組み

出典：国土交通省 社会資本整備審議会建築分科会第30回建築環境部会・第49回建築分科会(2026年1月20日開催) 参考資料5より引用  
 (https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05\_sg\_000302.html)、2026.03閲覧

2025年6月、国土交通省は「建築物のライフサイクルカーボンの算定・評価等を促進する制度に関する検討会」を発足し、2028年度を目途に建築物LCAの実施を促す制度の開始に向けた検討を開始しました。

制度導入にあたっては、国民や事業者が共通して利用できる算定ルールと評価方法を整備し、設計段階から削減を促すことが重視されています。また、ホールライフカーボン評価を推進するための措置や、評価結果の表示ルール、第三者認証制度の検討も進められており、投資家や利用者に環境性能を適切にアピールできる仕組みの構築が課題となっています。

さらに、ホールライフカーボン評価には、建材・設備のCO<sub>2</sub>等排出量原単位(単位使用量あたりのCO<sub>2</sub>排出量)の整備が不可欠です。今後は、評価に大きな影響を与える主要建材(鉄鋼、コンクリート、木材)について2027年度までに原単位を整備し、アルミサッシやガラスなども順次対応することが求められています。原単位データは、第三者レビューを経た建材・設備メーカーの個社製品データや業界代表データの整備を促進しつつ、これらより安全側の値となる国のデフォルト値を準備する方針です。加えて、原単位データベースの集約・公開を進め、低炭素製品やGX製品の採用を促すため、カタログ表示やグリーン調達の実施も検討されています。

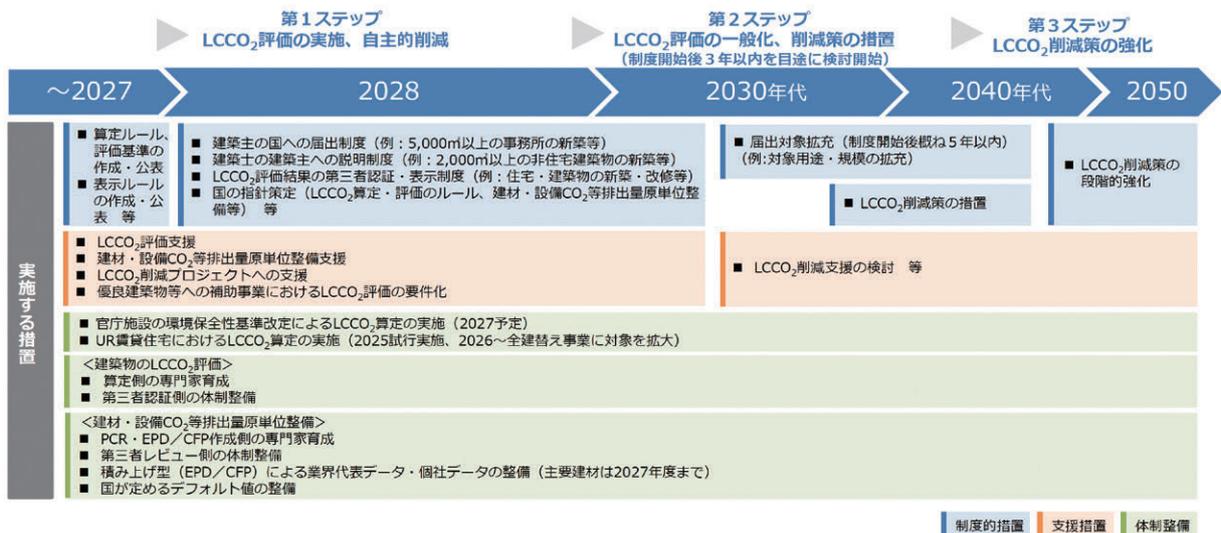


図5-3 建築物のライフサイクルカーボン(LCCO2)の削減に向けたロードマップ

出典：国土交通省 社会資本整備審議会建築分科会第30回建築環境部会・第49回建築分科会 資料2-1別添2  
 (https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05\_sg\_000302.html)、2026.01閲覧

## 5-2

## ビルのファサードとホールライフカーボン

ビルのファサード設計においてホールライフカーボンを最適化するためには、エンボディドカーボンとオペレーショナルカーボンの両方を、設計初期段階から総合的に考慮することが重要です。

エンボディドカーボンとオペレーショナルカーボンはしばしばトレードオフの関係にあります。一般に、断熱性能を高めることでオペレーショナルカーボンは削減できますが、その分、材料や製造工程が複雑になり、エンボディドカーボンが増加する傾向があります。例えば、単板ガラスとLow-E複層ガラスを比較すると、Low-E複層ガラスは単板ガラスに比べてガラスが2枚で加工にも手間がかかるためエンボディドカーボンが大きくなる一方で、熱性能の向上によりオペレーショナルカーボンは小さくなります。あるいは、ガラスの耐久性を高める場合にも、同様のトレードオフが生じることがあります。耐用年数を延ばすことで交換頻度を減らせますが、構造や材料の追加により初期のエンボディドカーボンが増加する可能性があるのです。

したがって、建物の使用年数によっても判断は変わります。長寿命の建物であれば、運用時の省エネ効果が長期間にわたり蓄積されるため、初期のエンボディドカーボン増加を上回るメリットが期待できます。一方、短期間で建て替えが想定される場合は、エンボディドカーボンの影響が相対的に大きくなるため、選定方針が異なる可能性があります。

ガラス選定においては、性能・耐久性・建物の使用年数・ライフサイクル全体のカーボン負荷を総合的に評価し、最適なバランスを見極めることが求められます。

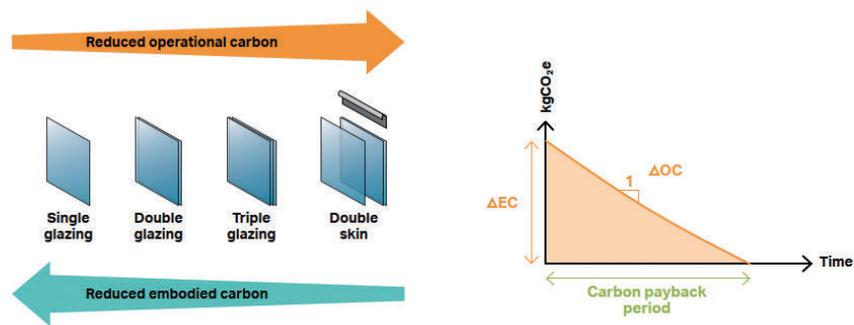


図5-4 ガラスの高性能化によるエンボディドカーボンの削減・オペレーショナルカーボンの増加とCO<sub>2</sub>投資回収期間の概念図

出典：World Business Council for Sustainable Development(WBCSD): Net-zero buildings Halving construction emissions today, 2023.01

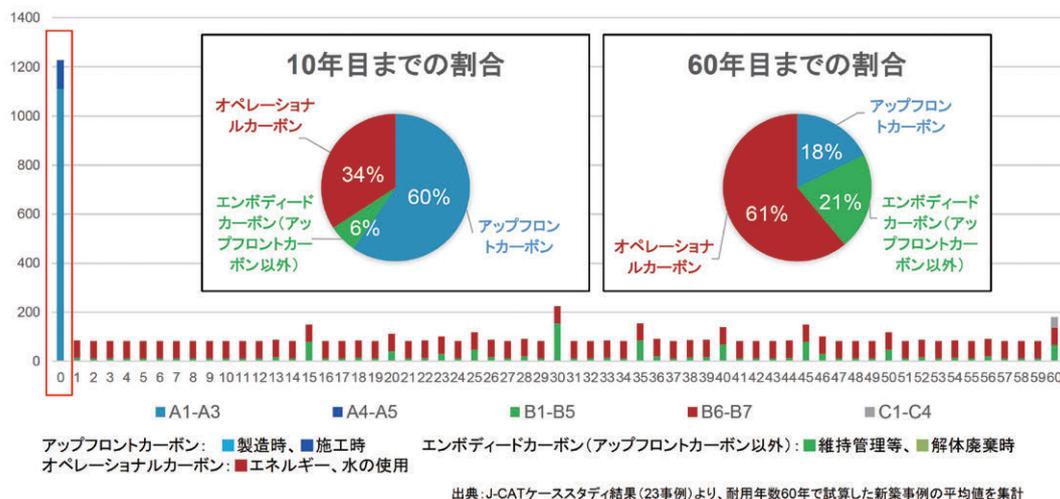


図5-5 竣工年～60年目までの年別CO<sub>2</sub>排出量の試算結果

出典：国土交通省 社会資本整備審議会建築分科会第30回建築環境部会・第49回建築分科会 資料2-3  
([https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05\\_sg\\_000302.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/house05_sg_000302.html))、2026.01閲覧

## 5-3

## 窓ガラスのエンボディドカーボン

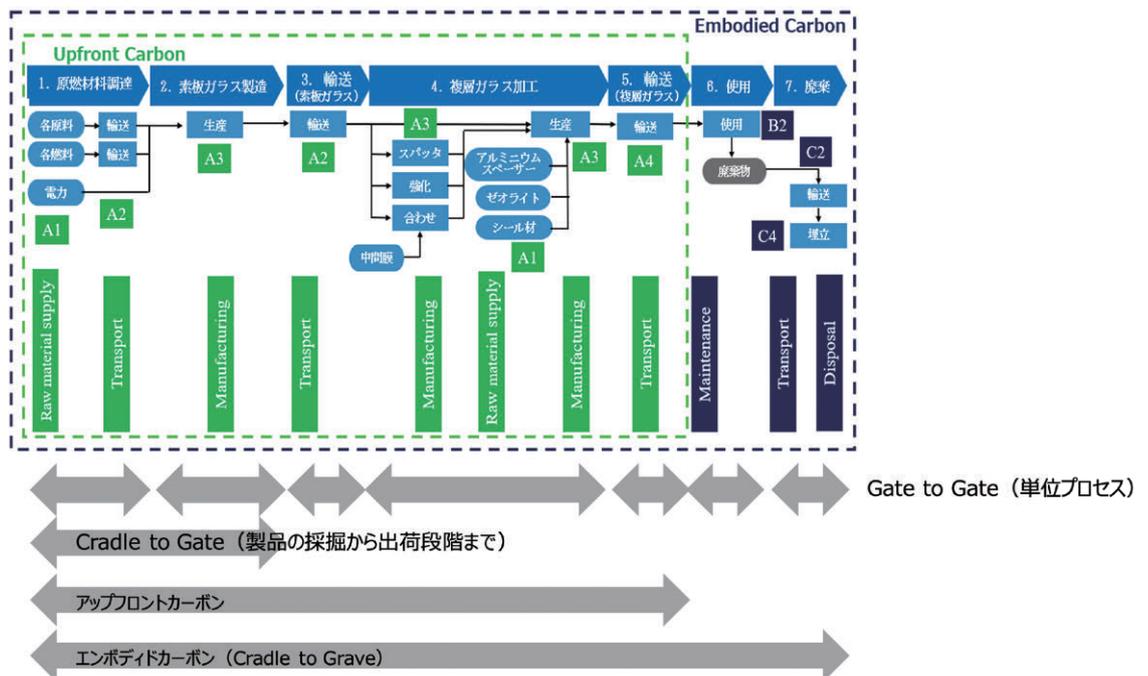
(一社)板硝子協会では、2014年にフロート板ガラス、複層ガラス、エコガラスの3種のライフサイクルでの温室効果ガス(GHG)排出量を算出し、フロートガラスとエコガラスを住宅に30年間使用した場合のGHG削減量を「エコガラスのLCA報告書」<sup>1)</sup>(以下、報告書)で公表しました。2023年3月に経産省および環境省より、「カーボンフットプリントガイドライン」<sup>2)</sup>が提示されたことを受けて、2014年に公表した報告書を社会情勢および最新情報を基に、様々な仕様のガラス毎のエンボディドカーボンが算定できるよう再検討を行いました<sup>3)</sup>。本節ではその内容を紹介합니다。

## ●算定方法と算定範囲

算定はISO 14067:2018「Greenhouse gases -- Carbon footprint of products -- Requirements and guidelines for quantification」を参照し、ライフサイクルを以下の7段階に分けた上で、各段階、プロセス毎のカーボンフットプリント(CFP)を算定することで作成されました(表5-1、図5-6)。CFPとは、製品やサービスの原材料調達から廃棄、リサイクルに至るライフサイクル全体を通して排出されるGHG排出量をCO<sub>2</sub>排出量に換算したものです。

表5-1 本算定におけるライフサイクルの7段階

ライフサイクル段階	主な内容
1.原料調達	珪砂やソーダ灰などの採掘・輸送
2.板ガラス製造	溶融・成形工程
3.板ガラス輸送	製造工場から加工工場へ
4.複層ガラス加工	スパッタ成膜, 強化処理, 合わせ処理など
5.複層ガラス製品の輸送	施工現場まで
6.使用段階	メンテナンス
7.廃棄段階	解体後の輸送・処理

図5-6 ライフサイクルフローとエンボディドカーボン各要素の関係<sup>3)</sup>

※A1等の記号は図5-2のホールライフカーボンの枠組みの段階との対応を示している。

※本検討のガラス製品においてはエンボディドカーボン各プロセスのうち、

A5、B1、B3、B4、B5、C1、C3に該当する活動はないと考えられることから算定から除外している。

各プロセスでの温室効果ガス(GHG)排出量は、活動量×排出係数の基本式により計算されています。

基本となる排出係数は、国立研究開発法人産業技術総合研究所が提供する「IDEAデータベース」や環境省の公表値を使用しています。一方、活動量データは板硝子協会加盟3社から提供された実測値(1次データ)をもとに、加重平均をとって算定しています(業界代表のCFP)。さらに、取得が難しいデータについては、国内で一般的に流通しているガラスサイズや標準的な製品構成を仮定し、合理的なシナリオを設定しています。

最終的に、あるガラス構成のガラス1m<sup>2</sup>あたりのCFPIは、ガラスの厚さ、各種加工(複層、合わせ、強化、薄膜)、製品重量に応じたプロセス毎のCFPを積み上げることにより算出することができます。計算範囲の種類として、採掘段階から廃棄段階のライフサイクル全体を指すCradle to Grave(ゆりかごから墓場まで)とは別に、製品の採掘から出荷段階までを指すCradle to Gate(ゆりかごから門まで)と呼ばれる範囲があり、対象範囲に応じて、各プロセスのCFPを積み上げて算出を行います。

なお、以上の算定方法及び算定値は独立した第三者によるチェックを受けています。

#### 参考文献

- 1) 板硝子協会: エコガラスのLCA報告書、2014.11
- 2) 経済産業省、環境省: カーボンフットプリント ガイドライン、2023.3
- 3) 津田他: 建築物におけるガラスの品種毎のエンボイドカーボンの算定 その1~3、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学、2025.08

## 5-4

### 窓ガラスと建築物のオペレーショナルカーボン

#### ● 検討モデルの設定条件と計算方法

建物用途毎にモデル建物を設定し、様々な熱性能の窓(以下、「検討対象窓」という)を想定して年間エネルギー消費量を算出することにより、オペレーショナルカーボンの削減効果を定量的に評価しました<sup>1)</sup>。対象とする建物用途は、事務所とし、各建物用途のモデル建物は、建築物省エネ法・省エネルギー基準(非住宅建築物)の評価方法の1つである「モデル建物法」で想定されているモデル建物を使用しました。モデル建物の形状等の概要を以下に示します。

表5-2 モデル建物形状概要

モデル	各階階高 合計 [m]	外周 [m]	非空調コ ア部外周 長さ [m]	非空調コ ア部方位	東西方向 外壁最長 長さ [m]	南北方向 外壁最長 長さ [m]	計算対象 延床面積 [m <sup>2</sup> ]	階数
事務所	25	110	20.0	東	30	25	4,500	6
総合病院	13	158	20.3	東	52	27	4,868	3
学校	12.6	300	57.5	北	60	25	4,985	3

表5-3 外壁面積、窓面積、開口率

モデル	外皮面積 [m <sup>2</sup> ]	窓面積 [m <sup>2</sup> ]	開口率 [-]
事務所	2,750	687.5	0.25
総合病院	2,054	411.0	0.25
学校	3,234	808.2	0.25

#### ● 窓の断熱性能と年間暖冷房負荷の計算例

窓の熱貫流率と年間暖冷房負荷の関係について、地域別(2、4、6地域の3種類)に分析した結果を図5-7に示します。新築・改修の別、窓の日射区分別にプロットを色分けしており、得られた知見は以下の通りです。

- 同建物用途、同地域で比較すると、窓の熱貫流率が小さくなるほど年間暖冷房負荷も小さくなる傾向があり、寒冷地になる程、その傾向が強くなり、温暖地になるほど、その傾向は薄れています。
- 新築と改修を比較すると、2、4、6地域においては、新築よりも改修の方が、年間暖冷房負荷が大きくなる傾向がありますが、温暖地になる程、その差は縮まる傾向にあります。

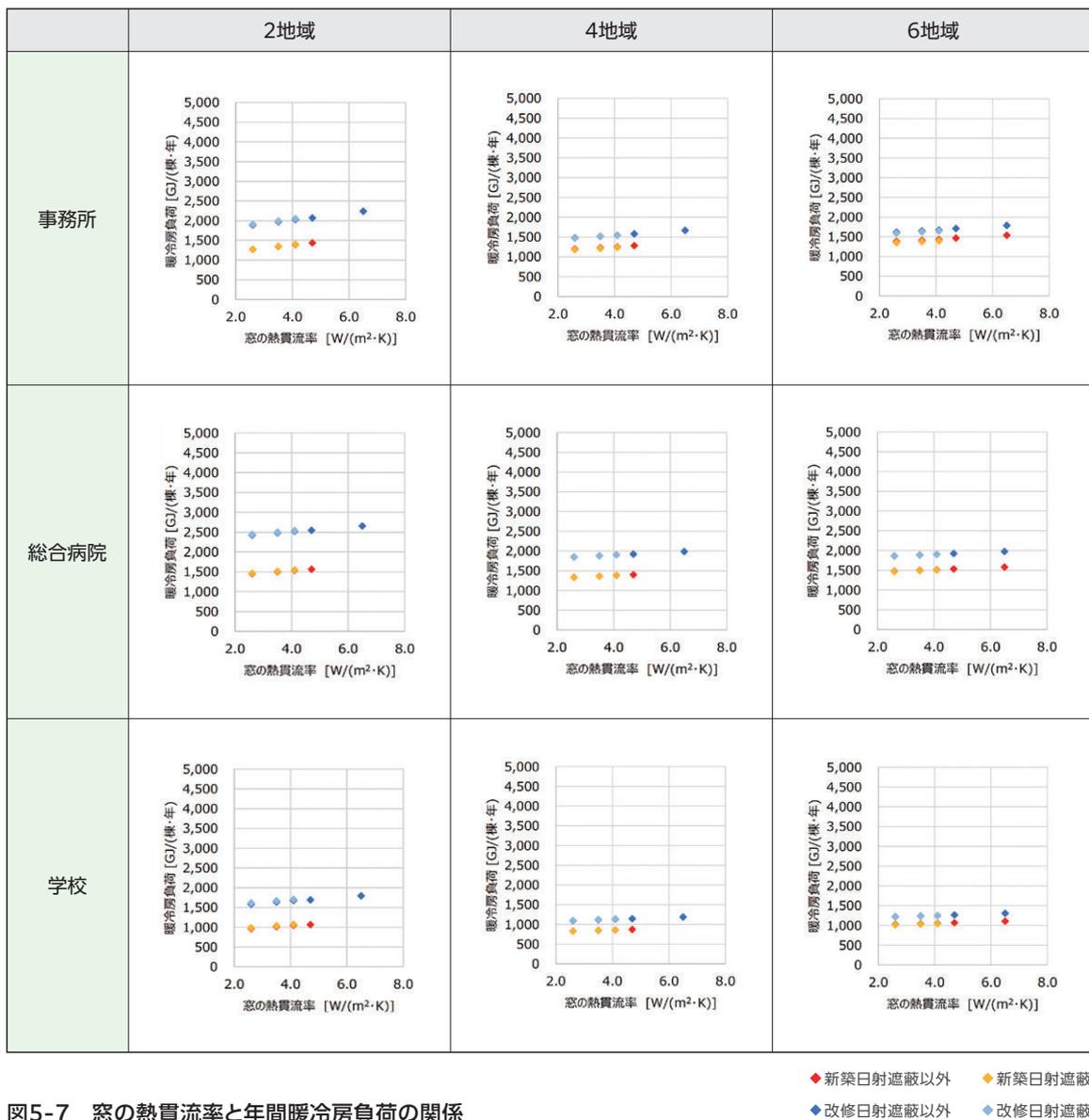


図5-7 窓の熱貫流率と年間暖冷房負荷の関係

### ●窓の断熱性能と単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出増減量の計算例

建築物省エネ法・省エネルギー基準(非住宅建築物)の評価プログラムであるWEBプログラム(標準入力法)を使用して空調設備のエネルギー消費量を算出し、この結果を基にCO<sub>2</sub>排出量を算出しました。

窓の断熱性能(熱貫流率)と単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出増減量の関係について、建物用途別、地域別に分析した結果を図5-8に示します。図5-8においては、新築・改修の別、窓の日射区分別にプロットを色分けしています。この結果から得られた知見を以下にまとめます。

- 2、4、6地域では、窓の熱貫流率が小さくなるほど単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出削減量は大きくなる傾向があることが分かりました。
- 窓の日射区分(「日射遮蔽」か「日射遮蔽以外」)別に比較すると、2地域においては、「日射遮蔽以外」の方が「日射遮蔽」よりも単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出削減量が若干大きくなる傾向が見られました。一方、6地域では「日射遮蔽」の方が「日射遮蔽以外」よりも単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出削減量は若干大きくなる傾向が見られました。
- 新築と改修を比較すると、2、4地域においては新築の基準窓を「Uw=4.7 W/(m<sup>2</sup>·K)、ηw=0.63 アルミサッシ+透明複層ガラス」、改修の基準窓を「Uw=6.5 W/(m<sup>2</sup>·K)、ηw=0.70 アルミサッシ+単板ガラス」と分けて設定

しているため、改修の方が新築よりも単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出削減量は大きくなりました。一方、6地域においては新築と改修で基準窓が「Uw=6.5 W/(m<sup>2</sup>・K)、ηw=0.70 アルミサッシ単板ガラス仕様」と同じであると想定しているため、単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出増減量は同程度となりました。

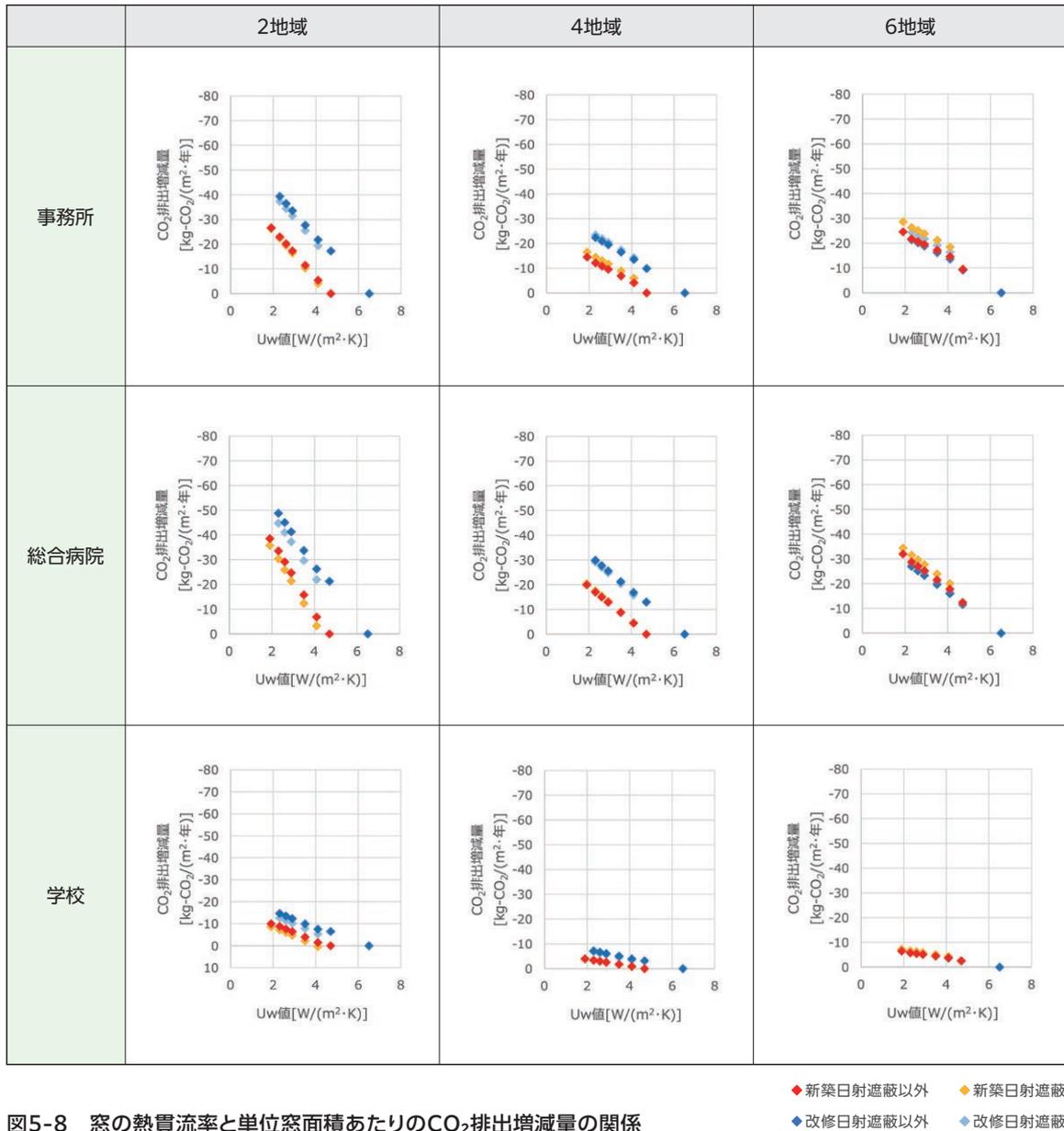


図5-8 窓の熱貫流率と単位窓面積あたりのCO<sub>2</sub>排出増減量の関係

#### 参考文献

- 1) 平島他：窓ガラスの熱性能が非住宅建築物のオペレーショナルカーボンに与える影響の分析、日本建築学会技術報告集 第31巻 第77号、pp.363-368、2025.02

## 5-5 窓ガラスと建築物のホールライフカーボン

6地域の新築事務所ビルを対象としたエンボディドカーボン(EC)とオペレーショナルカーボン(OC)削減効果の計算結果を示します。透明単板ガラスとLow-E複層ガラスを比較すると、Low-E複層ガラスの方がエンボディドカーボンは大きいですが、単板ガラスと比較して暖冷房に係るオペレーショナルカーボンを削減できるため、使用期間が長くなるほど、エンボディドカーボンとオペレーショナルカーボンの合計(ホールライフカーボン)はLow-E複層の方が小さくなるのがわかります。こうしたライフサイクルに渡る評価を建築物の計画初期段階から行うことにより、脱炭素に資するガラスの選定が可能になります。

板硝子協会では、webサイト上でエンボディドカーボン及びオペレーショナルカーボンのシミュレーションツールを公開しており、各種ガラス構成におけるエンボディドカーボン(板硝子協会加盟3社の業界代表CFP)、及び標準建物モデルにおけるオペレーショナルカーボンの削減効果を算出することができます(図5-10)。

## 事務所ビル1棟あたりの窓ガラス部分のホールライフカーボン(EC+OC削減効果)の算出方法

EC+OC削減効果

=EC原単位(kg-CO<sub>2</sub>/ガラスm<sup>2</sup>)×ビル1棟窓面積+OC削減量原単位(kg-CO<sub>2</sub>/窓m<sup>2</sup>)×ビル1棟窓面積×年数

※モデルは、5-4に記載の事務所ビル。窓面積:687.5m<sup>2</sup>/棟

表5-4 透明単板ガラスとLow-E複層ガラスのエンボディドカーボンとオペレーショナルカーボン削減効果

	透明単板	Low-E 複層
窓仕様	透明単板 8 ミリ + アルミフレーム	Low-E 複層 (8 ミリ-中空層 12 ミリ-8 ミリ) + アルミフレーム
窓の熱貫流率 Uw W/(m <sup>2</sup> ·K)	6.5	2.9
窓の日射熱取得率 ηw	0.70	0.32
エンボディドカーボン (EC) kg-CO <sub>2</sub> /ガラス m <sup>2</sup>	40.2	87.0
オペレーショナルカーボン (OC) 削減効果 kg-CO <sub>2</sub> /窓 m <sup>2</sup>	0	23.7

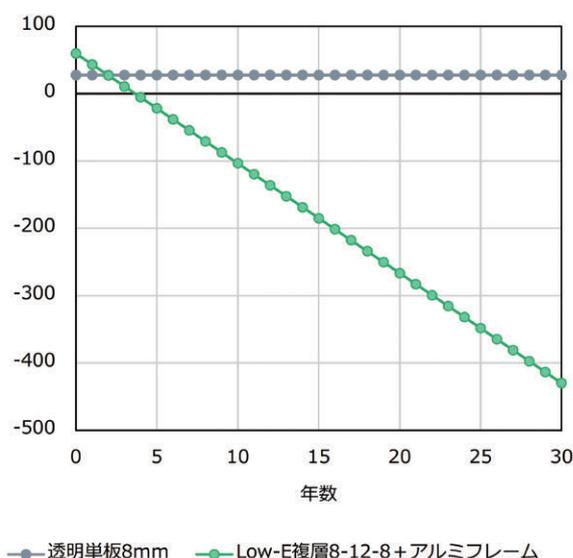


図5-9 6地域 事務所ビル(新築) ガラスのエンボディドカーボン+オペレーショナルカーボン削減効果

## エコガラスのホールライフカーボンシミュレーション

### エンボディドカーボンシミュレーション



### エコガラスのオペレーショナルカーボンシミュレーション



#### エンボディドカーボンシミュレーション 計算結果

エンボディドカーボン(Cradle to Grave) : 68.2kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>

アップフロントカーボン : 65.0kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>

Cradle to Gate : 55.5kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>



ガラス構成	複層ガラス	Low-Eガラス6ミリ +乾燥空気12mm +フロート板ガラス6ミリ(加工なし)
計算結果 CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> )	エンボディドカーボン(Cradle to Grave)	68.2
	アップフロントカーボン	65.0
	Cradle to Gate	55.5

#### エコガラスのオペレーショナルカーボンシミュレーション (非住宅) オフィスビル 結果

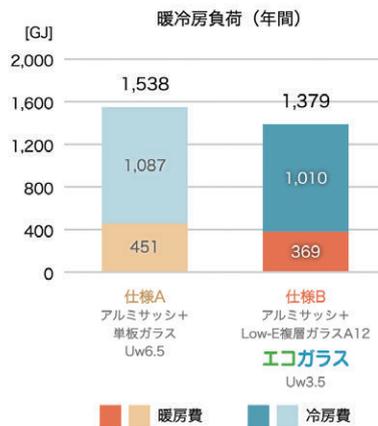


図5-10 エコガラスのエンボディドカーボンシミュレーション、オペレーショナルカーボンシミュレーション  
<https://www.ecoglass.jp/>



## 真空ガラス・真空複層ガラス

真空ガラスは、2枚のガラス板に挟まれた空間を真空状態に減圧し「真空層」を形成することで、複層ガラスの中空層よりも対流・伝導による熱移動が抑えられ、断熱性能を高めた製品です。また、真空層の幅は0.1~0.2ミリ程度と大変小さく、その総厚さは単板ガラスと同等のため、既存窓のフレームを活用しながら、単板ガラスから真空ガラスへガラス交換することで窓の断熱性能を向上させることができます。

真空層には、大気圧によりガラスが押されて接触することのないように、「ピラー」と呼ばれる真空層の間隔保持のための材料が一定間隔で配置されています。ピラーは伝導による熱移動を生じるため、ピラー間隔を大きくし数を少なくすることにより断熱性能が高くなります(表6-1⑥)。また、真空ガラスとLow-Eガラスを組み合わせることで複層化することにより断熱性能の向上を図った「真空複層ガラス」もあります(表6-1⑦)。

表6-1 真空ガラスの種類と断熱性能

	ガラスの種類	熱貫流率 W/(m <sup>2</sup> ·K)
①	透明単板ガラス 6ミリ	6.0
②	透明二層複層ガラス 透明6ミリ-空気層12ミリ-透明6ミリ	2.9
③	Low-E二層複層ガラス Low-E6ミリ-空気層12ミリ-透明6ミリ	1.6
④	真空ガラス (ピラー間隔20ミリ) 6.2ミリ 日射取得型	1.3
⑤	真空ガラス (ピラー間隔20ミリ) 6.2ミリ 日射遮蔽型	1.0
⑥	真空ガラス (ピラー間隔28ミリ) 6.2ミリ 日射遮蔽型	0.65
⑦	真空複層ガラス Low-E6ミリ-空気層12ミリ-真空ガラス6.2(ピラー間隔20ミリ・日射取得型)	0.87

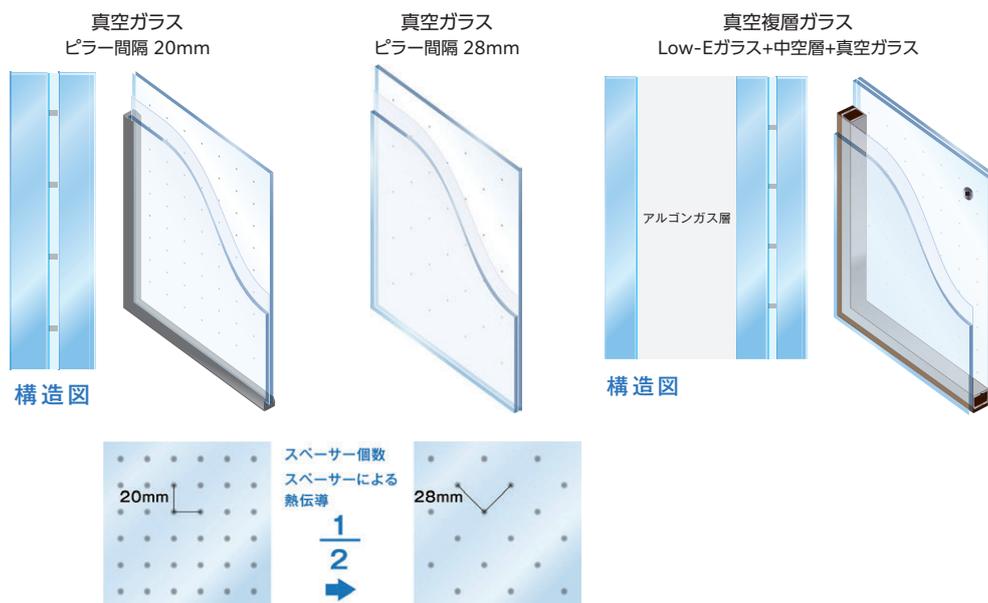


図6-1 真空ガラス、真空複層ガラスの構造

資料提供：日本板硝子「真空ガラス スペーシア 製品カタログ」

## 建材一体型太陽電池(BIPV)

高性能なガラスの例として創エネをする建材一体型太陽電池(BIPV(Building Integrated Photovoltaics))を紹介します。BIPVは原則として合わせガラスの構造となっており、建築向けガラスとしての性能(光透過性、耐風圧・耐衝撃性、耐久性、遮熱性、断熱性、意匠性、遮音性、止水・気密性など)をそのまま引き継いだ太陽電池で、壁面や天窗、キャノピーや窓部などにそのまま使用することができます。



BIPVの構造

BIPV使用例①  
提供：AGCBIPV使用例②  
ガラス建材一体型ペロブスカイト太陽電池  
出典：パナソニック ホールディングス

個々の建築設計要件に合わせるため、サイズ、ガラス厚さ、形状、ガラス品種、太陽電池セルの配列、色などが全てカスタマイズ可能です。BIPVに用いられる太陽電池は、数十年単位での使用を前提とされるため、現在は信頼性の高いシリコン系(単結晶、多結晶、アモルファス等)が主流です。次世代タイプとして、日射透過率の調整が可能で発電効率の良い有機系(有機薄膜、色素増感、ペロブスカイト等)に期待が寄せられていますが、建材として要求される高い耐久性をクリアできるかが課題となっています。

## 調光ガラス

Activeに視線や日射を制御する調光ガラスの技術にはいくつかの方式があります。ECW(Electrochromic Window)、LCW(Liquid Crystal Window)、SPD(Suspended Particle Device)の3つがよく知られており、それらは実際に商品化されています。

ECWとは、酸化タングステン等の材料で電気化学的な酸化還元反応によって物質の可視光透過率が変化するEC現象を利用した調光ガラスであり、建築用途だけでなく自動車や航空機の窓ガラスにも採用されています。LCWは、液晶粒子に電圧を印加することで透明／不透明に切り替わる機能を利用したガラスであり、数ミリ秒という高速で切り替わる特徴があり「瞬間調光ガラス」とも呼ばれ、建物の内装パーティション等に採用されています。SPDは、配光粒子を分散させた数十マイクロメートルの液滴を配置し、電圧を印加することで透明／着色状態を切り替える技術であり、LCWとは異なり光を吸収する機能があります。

表6-2 調光ガラスの種類と特徴

	ECW	LCW	SPD
特徴	透明から青色に変化 材料に電圧を印加することで材料自身が着色する。 日射透過率も変化するため着色時は遮熱性もある。	透明から乳白色に変化 液晶の配光が変わることで光を拡散させている。 応答時間が短い(数ミリ秒)	透明から濃青色へ変化 微細粒子が光を吸収・散乱する。 光を吸収するため着色時は遮熱性もある。

## 謝 辞

本冊子は、2014年に刊行した「ビルと複層ガラス」を基礎として、その後の建築環境を取り巻く社会的要請や技術的進展を踏まえ、内容を全面的に見直し再構成したものである。改訂にあたり、早稲田大学理工学術院建築学科 教授 田辺新一先生、ならびに国土交通省 国土技術政策総合研究所 住宅ストック高度化研究室長 宮田征門先生より、多大なるご指導とご助言を賜った。

田辺先生からは、ウェルビーイングと脱炭素という今日的視点を軸に、窓ガラスを建築のインターフェイスとして捉える重要性についてご示唆をいただき、巻頭言のご執筆を通じて本冊子の方向性を明確にお示しいただいた。また宮田先生からは、最新の省エネルギー基準の動向や評価手法に関する専門的知見をご教示いただき、ファサードと熱負荷の関係、さらには高性能窓システムとLow-E複層ガラスの性能評価に関する理解を一層深めることができた。

建築物のファサードは都市景観を形づくる「顔」であると同時に、建物のエネルギー性能を大きく左右する重要な要素である。本冊子では、窓ガラスの断熱性・日射遮蔽性のみならず、ウェルビーイングやホールライフカーボンの視点も踏まえ、より高い水準での省エネルギー設計に資するよう、具体的な設計事例を交えながら分かりやすく整理した。

本冊子が、ビルの省エネルギー設計および快適で持続可能な建築環境の実現に向けた一助となることを願うとともに、田辺先生、宮田先生の多大なるご支援とご協力に対し、ここに心より厚く御礼申し上げます。また、本冊子の作成にあたり貴重なご助言を賜った東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 清家剛先生にも、ここに深く感謝の意を表する。さらに、本冊子の執筆・編集にあたりご協力を賜った関係各位の皆様に対しても、厚く御礼申し上げます。

2026年3月  
一般社団法人板硝子協会  
建築委員会 技術部会 建築環境分科会一同

# ビルの窓ガラス

～ウェルビーイングと脱炭素に関して～

2026年3月発行

発行 一般社団法人板硝子協会

## 「ビルと複層ガラス」改訂委員会

### 委員名簿

(順不同、敬称略)

座長	田辺 新一	早稲田大学理工学術院建築学科 教授
委員	宮田 征門	国土交通省 国土技術政策総合研究所 住宅研究部 住宅ストック高度化研究室長
	齊藤 栄亮	一般社団法人板硝子協会 建築委員会 技術部会 建築環境分科会
	西川 祥子	一般社団法人板硝子協会 建築委員会 技術部会 建築環境分科会
	湯村 信二	一般社団法人板硝子協会 建築委員会 技術部会 建築環境分科会
事務局	深川 祐一	一般社団法人板硝子協会 専務理事
	谷原 敏博	一般社団法人板硝子協会 (～2024年5月)
	榎本 貴伸	一般社団法人板硝子協会 (2024年6月～)

### 執筆協力

(順不同、敬称略)

中橋 哲史	株式会社竹中工務店 東京本店 設計部 設計第4部門 設計2グループ長
宮本 順平	株式会社日建設計 設計グループ アンシエイトアーキテクト
岡崎 真也	清水建設株式会社 設計本部
菅野 颯馬	早稲田大学 理工学術院総合研究所 次席研究員
一般社団法人板硝子協会	サステナビリティ特別委員会 ホールライフカーボン部会



窓ガラスで守る地球の未来  
<https://www.ecoglass.jp/>

このパンフレットに関するお問い合わせは下記までお願いいたします。



一般社団法人  
**板硝子協会**

FGMAJ

〒108-0074 東京都港区高輪1丁目3番13号 NBF高輪ビル4階 TEL.03-6450-3926 FAX.03-6450-3928

「エコガラス」のご購入、商品詳細につきましては、下記の一般社団法人 板硝子協会会員各社へお問い合わせください。

**AGC** AGC株式会社

お問い合わせ窓口  
<https://www.asahiglassplaza.net>

**NSG** 日本板硝子

お問い合わせ窓口  
<https://glass-wonderland.jp>

**セントラル硝子プロダクツ**

お問い合わせ窓口  
<https://www0.cg-glass.jp>