

〔研究ノート〕

## ガラス建築 意匠と機能の知識

佐野武仁・内田敦子

### Glass in Architecture —Design and Knowledge of Function—

Takehito SANO and Atsuko UCHIDA

There are various theories about the origin of glass. One is that glass beads were made during the time of the Old Kingdom in Egypt (27th–22nd century BC). Another suggests that glass was first manufactured around 18th–17th century BC. The truth is uncertain.

Without a doubt, however, glass has been a notable feature of a great deal of architecture, most notably the Crystal Palace which was built on the grounds of the first World Exposition, held in Hyde Park, London, in 1851. It was an enormous building made from an iron frame work and glass.

The theme of this paper is the continuing evolution of glass architecture. It discusses design, and plans which make full use of state-of-the-art technology to achieve energy conservation.

Here, the term “glass architecture” refers to buildings whose outer walls and roofs are mainly or entirely made of glass.

The distinguishing features of glass architecture can be described as follows:

- (1) In glass architecture, the aim is to bring more light into the building, and thereby create building with a healthy environment and outstanding occupant comfort, which prevents people from getting sick. This can be achieved by skillfully using natural conditions such as light and heat.
- (2) Transparent architecture allows people to see the sunny sky on clear days, and the cloudy sky when it is overcast. Sunshades are indispensable fixtures which enable adjustment of light and heat.
- (3) Glass architecture is the starting point for greenhouses, and the standard practice is to investigate greenhouses first when looking at design and functions such as ventilation or the heat/light environment.
- (4) If intelligent design and function are built in, then it is possible to construct glass architecture with outstanding occupant comfort, and low overhead thanks to energy conservation.
- (5) Since there are too many types of glass, and this makes things difficult to understand, a classification is used which combines the glass manufacturing process and sunshades.

*Key words:* glass architecture (ガラス建築), design and function (意匠と機能), Crystal Palace (クリスタルパレス), transparent glass (透明ガラス), energy conservation (省エネルギー)

#### はじめに

本稿では、「進化するガラス建築」をテーマとして、意匠と最先端の技術を駆使した機能と省エネルギー性のある計画について取り上げる。

ここでは、「建物外壁、屋根などがおおむねガラスでできた建物」を「ガラス建築」とするが、「建物の部分」が

ガラスでできた建物も「ガラスを多用した建物」として取り上げる。

また、ガラス建築の特徴として次のことが言える。

- ①「建物にもっと光を」、ガラス建築は光や熱など自然条件を巧みに利用し、病気にかかりにくく、居住快適性に優れた「健康的な環境」が構築できる建物としたい。
- ②晴天の日には晴天の様子が、曇天の日には曇天が判る無

色透明な「透明建築」が良い。光や熱の調整ができる日射遮へいも欠かせない装置である。

- ③温室がガラス建築の原点であり、意匠と換気や熱光環境としての機能について、まず温室を研究することが肝要である。
- ④インテリジェントな意匠と機能を構築すれば、省エネルギーで経常費の少ない居住快適性に優れたガラス建築が構築できる。
- ⑤ガラスの種類は沢山ありすぎて判りにくいので、ガラスの製造工程と日射遮へいを組み合わせた分類とする。

本稿では主に、進化するガラス建築の意匠と機能のデザインについて、建築としての意匠や機能としての建築環境・設備のデザインについて論説する。

## 1. 進化するガラス建築

### 1.1 ファサードからインテリア・エクステリアへ

ガラスは紀元前 2000 年ころの古代オリエント時代に寶石や貴重品としてガラス玉、ガラス棒など「手作り法によるガラス器の制作」が始まったと言われている。以降「板ガラスの手作り法」が開発されステンドグラスや小型の板ガラスなど建築用材として窓ガラスなどの使用が始まった。これに引続き、1959 年イギリスのビルキントン社によって、研磨なしで高品質の板ガラスが量産できる「フロート法」の開発に成功した。

この方法は、高熱に加熱したスズ (Sn) のフロートバス (連続溶解槽) の上部表面に、溶解炉で溶かしたガラス素材を流すと、高温で溶解したガラス素材は、比重量の大きいフロートバスの上部に浮き、ガラス素材の温度とこの表面を流れる流速によって所定のガラス厚になったものをコーティングチャンバー (徐冷室) で徐々に冷却すると、フロートガラス (板ガラス) ができ上がる。フロート法によるガラスの厚さは 4 mm から 25 mm、巾は最大 3 m 程度、長さはかなり長いものもできるが、搬送コストがかかるので用途と経済性を加味して出荷することになる。板ガラスの基本形はフロートガラスであるが、使用用途によってこれを加工すると、強化ガラス、合わせガラス、Low-E ガラス (Low-Emissivity Glass 低放射ガラス) やシルクスクリーンを施したガラスなどとして製品化されている。

このようにして「板ガラスの連続製法」が可能になり、ガラスのコストも安定化してきた。また明るい室内を求めて、ユーザーや設計者が好んでガラスを利用することになったので、急速に建築や乗り物の窓などとして使用が始まり今日を迎えている。

建築の外装材として本格的に利用され始めたのは、1980 年代以降、建物の外壁であるファサードとしての使用が始

まるが、今日までまだ 30 年にも満たない。

しかし、このようにして使われ始めたガラスは、意匠的に美しい建物が多く、清掃とメンテナンスが行き届いていれば、ときを経てもその美しさは変わらない。特に自然光の利用やガラスを通して外部景観を見るとき、自然に近い明るさや気象状況などを的確に捉えることができるので、建築にとって「透明ガラス」にまさるものはない。

意匠と機能がガラス建築の「かたち・いのち」であり、透明建築が「ガラス建築」を代表しているといっても過言ではない。

一方、外壁以外の内装やディスプレイなどに目を向けると、内壁やエレベータシャフトの囲い、床や天井材などの内装材、手摺りの腰ガラス、噴水の流水板や外部通路の半透明な屋根材としてのシェードなど、建物内外のあらゆる部材として使用され始めている。ガラスは素材としての腐食はなく、室内の日常の清掃や壁の汚れによる更新などを考えるとき、ガラスの LCC (ライフサイクルコスト 一生涯にかかる費用) は、外壁ガラスと同時に採用すると使用材料としてのスケールメリットがあること、他の内装材と比較しても透明性や遮音の面で優れている面も多く、経済的なメリットもあるので、益々利用が増えるものと想定する。

また、ここで取り扱うガラス建築とは、「建物外壁がおおむねガラスでできた建物」とするが、インテリジェントな意匠と機能を構築すれば、省エネルギーで経常費の少ない居住快適性に優れた建物ができると思われる。また、温室はガラス建築の原点であると思われるので、意匠と機能の要素技術について温室を研究することがガラス建築の技術の更新に繋がると考えられる。

## 2. ガラス建築のかたち

ガラス建築の基本は植物の栽培を主とした植物園や農業用に用いられている温室にある。健康的な植物を育成させる主な栽培条件は、輝く太陽と地上での適度な温湿度と適度な換気、適度な水や栽培する植物に適した肥料の供給などがある。

一方、地球上の気象条件は地域によって異なり、例えばケッペンの気候区分では、熱帯、乾燥帯、湿帯、冷帯、寒帯、山地および高山に分類されている。作物を自然の気象条件のもとで栽培することを露地栽培という。露地栽培は、ガラス室やビニールハウスなどの被覆条件下で栽培する施設栽培に対して、日照、降雨、風、霜などの自然の影響を直接受ける栽培方法である。野菜の種類によっては露地栽培を嫌うものもあるが、5~11 月までの無霜期間はどんな野菜も露地栽培ができる。しかし、植物の種類によって気象条件などが合わない場合は、ガラス室やビニールハウス

など、室内環境を快適な状態に調節して植物の栽培を行う。

居住快適性の高い住宅もまたしかりである。窓が大きく、明るく、冬期には日当たりの良い住宅が好まれる。しかし、自然は気まぐれ、開口面積に対して日差しが強く日当たりや明るさが多い日もあれば少ない日もあるので、熱としての日射や明るさとしての照度を調整する装置が必要になる。それゆえ、建築基準法で規定されている居室の床面積に対する窓などの必要開口面積は、幼稚園・小中高等学校ではその割合が1/5以上、病院または診療所の病室、寄宿舎の寝室・下宿の宿泊室の割合は1/7以上で、住宅の居室、事務室などの居室もこの値を用いている。

この数値は外部の明るさである外光が、空気中の水蒸気や塵埃などの分子に当たり乱反射して、開口部から室内に入射する天空光のみの明るさで、外部水平面照度が5千ルクス程度を基準とし、直射光は含まれていない。すなわち、外部の水平面天空照度を5千ルーメン/m<sup>2</sup> (5千ルクス) としたとき、この天空光が窓などの開口を通して光束発散度 (ルーメン/m<sup>2</sup>) として室内に入射する。その一部は室内の壁や天井、床に吸収されるが、これらの面で反射されたものが机上などに到達して机上照度や床面照度になる。壁・天井・床など室内の内装材が反射率の少ない灰色系・暗色で仕上げられているときは机上照度も低く、白色系に近い明色系のときは、机上照度も大きく、内装材の反射率によって、2倍以上の明るさを確保することができることもある。それゆえ、窓などの開口面積を大きく取ると、晴天日には外部から室内に侵入する光束発散度が大きくなるので、室内または室外にブラインドを設けるなど、何らかの方法で日射遮へいができる機能を持たせることが必要となる。

晴天日と曇天日の窓から入る光束発散度を比較すると、晴天日は空気中の水蒸気・埃などが少なく天空光が乱反射する量が少ないので、室内の奥側の壁面は暗く感じる。反対に室内奥側から窓側を見たときは、アルミサッシュなど室内側から見える面は暗く、外部の建物や空との面の輝き・明るさの比 (輝度対比) が大きく、この値が1:3以上になると、視環境として不快になることが多いので、照明器具など人工照明を用いて調整することが必要になる。これに反して曇天時は、天空照度が増えるので、室内照度として最も明るい場所と最も暗い場所の比・均斉度が高くなる。窓側と比較して奥の壁側もかなり明るくなり、晴天時と比較して曇天時は室内の奥まで明るくなるので、採光による快適性は増す。また、暑さ寒さを表す熱環境についても同様のことが言える。

## 2.1 大規模、中小規模のガラス建築

ガラス建築として、これまで古河総合公園飲食施設 (茨城県古河市)、鬼石多目的ホール (群馬県藤岡市鬼石) などの環境・設備設計を担当した。建築の設計は何れも妹島和世さんで、鬼石多目的ホール、金沢 21 世紀美術館はコンペで最優秀になった作品である。

## 2.2 中小規模のガラス建築

古河総合公園飲食施設は、30 m×10 m 程度の上屋を持つ建物で、この端に 10 m×10 m×4 mh の四方がガラスの建物で、室内床面の全てが窓面からの奥行きが 5 m 以下のペリメータゾーンであるので、外部の気象条件の影響を受ける。

また、図 1, 2 に示した鬼石多目的ホールの延べ床面積は、2500 m<sup>2</sup> 程度の中規模の建物で、展示スペースとしての利用ができるエントランスホール、集会・ダンス・その他に利用できる多目的ホール、子供の遊び場を兼ねたホワイエや体育館、管理事務室などによって構成され、建物の外壁は 4 mh の合わせガラスを用い、防犯・防災にも優れたガラス建築となっている。当初の計画では、熱負荷の少ない Low-E ガラスを計画したが予算の手当が付かず、施工段階で中国製の合わせガラスを輸入し使用することになった。体育館は自然換気のみで空調設備はないが、その他の施設は石油焚きヒートポンプパッケージを用いた空調設備が完備し、夏は冷房、冬は暖房を行っている。

石油焚きヒートポンプ方式としたのは、建物および空調設備の使用が不定時であり、電気方式に比べて、基本料金は不要で、運転費が安くなることが判ったゆえである。

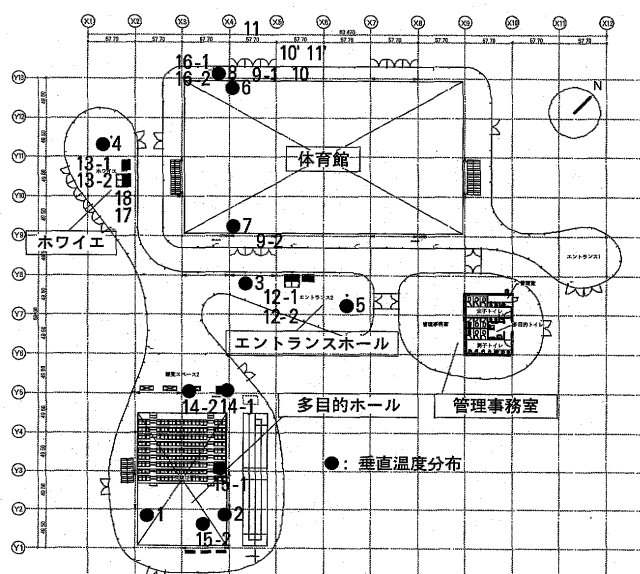
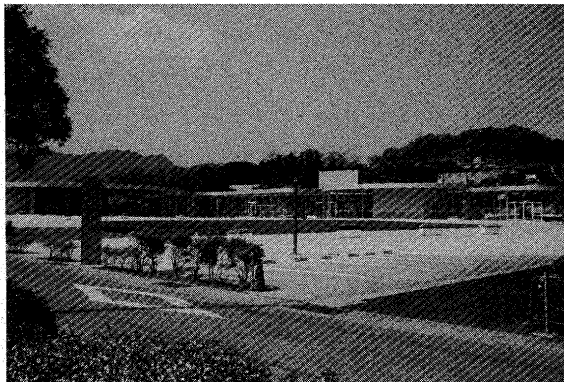
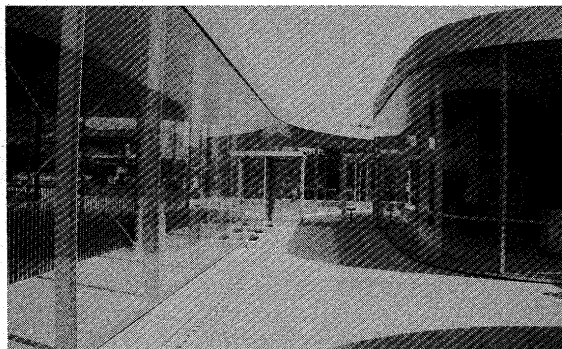


図 1 鬼石 1 階配置平面図

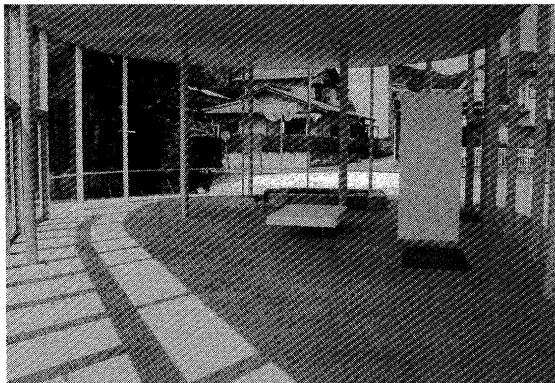
多目的ホールの建物の形は、ペリメータゾーン+インテリアゾーンタイプである。ペリメータゾーンとは窓から奥行き5m程度で、気象などによる外乱の影響を受ける部分を示し、夏期は冷房、冬期は暖房、その他のシーズンは室内で授受する熱負荷のないゾーンを言う。また、インテリアゾーンの熱負荷は、外乱の影響がないので、年間を通じて冷房負荷である。ただし、このように規模の小さい建物では、インテリアとペリメータゾーンを明確に分けることができないし、平屋建ての場合は、屋根部分もペリメータゾーンに含まれるので、全体を含めて夏は冷房、冬は暖房



a) 鬼石多目的ホール全景



b) 体育館(左)と管理事務室(右)



・子供の遊び場としても使用  
c) ホワイエと空調タワー

図2 鬼石多目的ホール(藤岡市鬼石)

としてまとめて熱負荷の処理を行う。

竣工後、図1に示す実測点について5月の連休、7月末から8月上旬、2006年12月末から2007年1月の3回に分けて実測した。

- ①5月の連休は、太陽高度も低く、外気温が低い割には、室内は温室のようにぼかぼか暖かく快適であった。
- ②夏期は日射が室内に入ると多少室温が上がるが、管理事務室などで白膜のカーテンを用いた場所は、室温が27°C程度でも湿度が50%前後で、乾燥していて快適であった。
- ③冬期で日射のある時間帯は、ぼかぼかと暖かく気持ちがいいが、日没後の夜間はカーテンを閉めるなど、冷放射に対する対策が必要である。

全体をまとめると、温室と同様の室内環境が確保でき、光も燦々と輝き快適であることが判った。

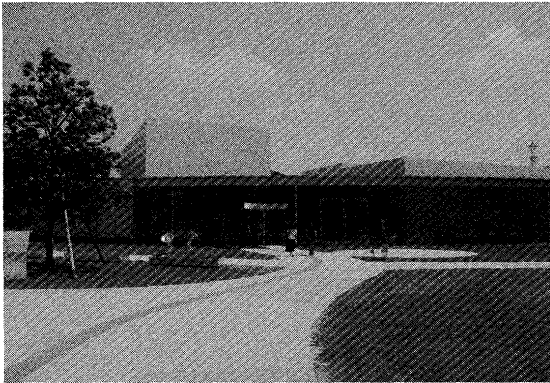
居住性に優れた快適なガラス建築とは、温室と同様、採光・換気の調整、太陽光の日射遮へいと調整が旨くいくような建築計画・環境設備計画に配慮すれば、快適な居住環境が確立できると確信した。

### 2.3 光と熱と大規模なガラス建築

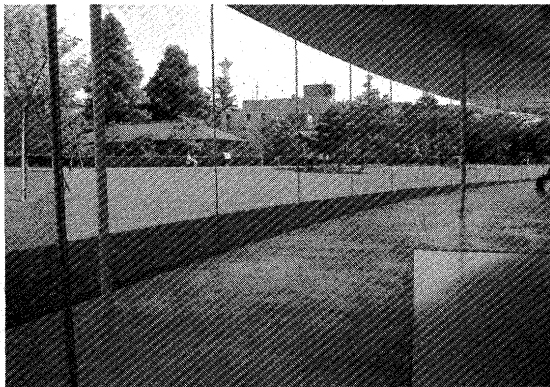
大規模オフィスビルは別として、金沢21世紀美術館(図3)を大規模の例として取りあげる。

ガラス建築は、光や熱に対して非常に敏感である。省エネルギーで快適なガラス建築を造るためには、太陽からくる熱と光、ガラスを通して入ってくる熱の性質や光の性質について理解し、建物と熱や光の相互関係が判れば、快適なガラス建築が構築できると考える。

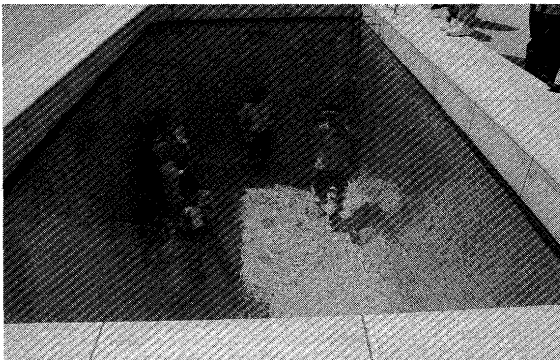
図3に金沢21世紀美術館の室内外の写真、地下空間が見えるガラスの床を持つ水深10cmのプールを示した。図は省略するが、建物は直径が約110m程度の円形をした美術館で、内部の一部も吹き抜けているので、内部にも外壁に相当する壁がある。床面積のうち、外壁から5mをペリメータゾーンとしてもほとんどの部分がインテリアゾーンに属し、年間を通じて冷房を必要とする部分が多い。この建物は平屋建てである部分が多いので、屋根部分の一部がペリメータと考えても、50%以上はインテリアゾーンである。ペリメータに対するインテリアゾーンの比が増えると、全般照明や展示照明、人体・人体の呼吸に必要な新鮮空気への負荷が増え、全体の負荷に対してペリメータである外周部分の熱負荷の比率は少なく、システムの考え方によっては、Low-Eガラスなどの2重ガラスを用いる例は少なく、建設コストの面からも、盗難などを想定した防犯と防災面に配慮した合わせガラスを用いる例が増えている。ただし、オフィスビルなど階数の多い超高層ビル



a) 建物外観



b) 建物内部から外部を見る



(遊び空間: 水深 10 cm のガラスを通して地下 1 階を見る)

c) 光庭 1

図 3 金沢 21 世紀美術館

などでは、複層ガラスである Low-E ガラスなどを用いる例が多い。高断熱複層ガラスは、この低放射膜を複層ガラスの中空層室内側の面に位置させることにより高断熱を發揮し、単板ガラスの約 3 倍（熱貫流抵抗の比較）の断熱性能が得られる。

省エネ基準の厳しい欧州諸国では生産ベースで複層ガラスが 50% 以上を占め、わが国においても寒冷地である北海道などで用いられるようになってきた。断熱性能を高める方法として、これ以外にアルゴンガス、クリプトンガス

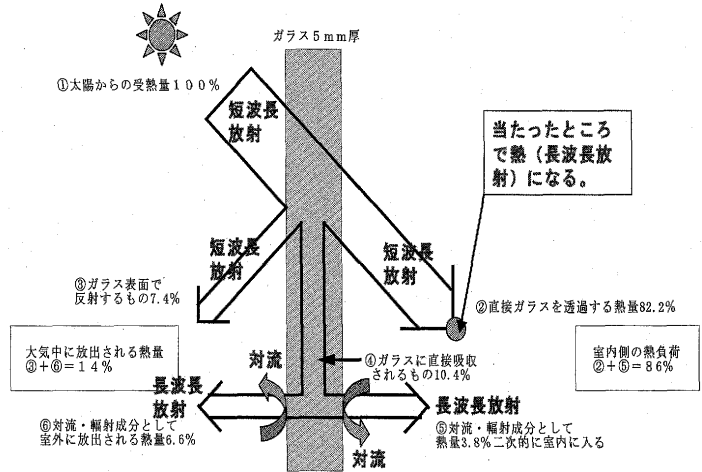


図 4 ガラスを透過する熱量 (5 mm 厚透明板ガラス)

などを用いる方法や、フィルムをガラスの表面に蒸着し、熱負荷を減らす方法などが採用されている。

### 3. ガラス建築と省エネルギー

#### 3.1 太陽からの光と熱 (太陽放射)

太陽放射の短波長、長波長については、日本建築学会から出版した「ガラスの建築学」<sup>1)</sup> をご覧頂きたい。ここでは、建築分野ではあまり出てこない一般常識などを主体として解説する。

##### 3.1.1 熱や光は短波長・長波長、空気や水は断熱材

建築分野では、空気は断熱材とよく言われている。地球が受ける太陽の熱や光は、短波長で空気中を通過しながら、その分光分布の一部は徐々に空気中の水蒸気などに吸収され減水しながら地表面や建物表面、人体などに到達する。

図 4 にガラスを透過する光や熱の短波長・長波長について解説する。

不透明材料が、その表面で太陽放射 (電磁波) を受けると一部はガラス表面で反射し、残りはその表面で波長が伸び長波長となる。この長波長となったものが熱である。

水やガラスなどの透明材料では、太陽放射のほとんどは通過し、水面やガラス表面では熱にならないが、透過後に当たった不透明材料の部分、例えば、水泳プールなどでは、プール本体の側壁や床など不透明材料の部分で長波長になり熱となる。ガラスの外皮を持つ屋内プールでは、この熱によってプールの水温は上昇し、夏期では 30°C を超える状態になるプールもあり問題となっている。

また、室内の空気系に対して、室内で長波長になった熱は、空気中の水蒸気、CO<sub>2</sub>などに阻まれ外部への流出がしにくくなり室内にたまる。それゆえ、冬期の外気温が低い東北、北海道においても晴天日の日中は、ある程度の室温

の確保が可能であることが明らかになっている。

この項では、短波長とは太陽放射の分光分布で、太陽からくる光や熱を言い、太陽が放出する電磁波のことで、その波長は $2\mu$ （マイクロメートル）程度の波長の短い光や熱を言い、ガラスや水中などを短波長のまま素通りするので、太陽が当たっても温度上昇はしない。一方長波長とは、短波長の電磁波が不透明なものに当たったとき、短波長の光や熱は波長が伸びて長波長となり、この長波長となったものを熱と言う。例えば、夏などで太陽の光や熱が当たった水泳プールの水は、水温上昇があるが、これは短波長で水中を素通りした電磁波がプールの底や側壁に当たって波長が伸び長波長、すなわち熱となる。この熱がプールの底からプール水を暖めるので、建物の屋根がガラスでできた室内プールの夏期の水温は $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 程度になることがある。

### 3.2 省エネルギーなガラス建築

ガラスには透明・半透明・不透明なものがある。建物を構成する部位は、屋根・壁・床・天井などがある。太陽放射とこれらの部位を考えエネルギー消費量の少ない建物を造るよう心がけたい。太陽が水平線から上昇し、正午には南中し太陽高度が最も高くなる。午後になると、太陽高度は徐々に下降し、水平線上から消え夜を迎える。省エネルギーには太陽位置が関係するので、日の出から日没までの太陽の位置と建物外皮としてのスキンウォール（外壁）等の省エネルギー策のあり方について検討すればよいと言え、夏期の対策が望まれる。

- 1) 東の外壁 日の出以降午前10時頃までを対象としてブリーズソレイユが必要となる。
- 2) 屋根 午前10時頃から午後2時前後に屋根が受ける日射量は最大となり、熱負荷もこの時間帯に最大になる。屋根まで半透明ガラスを用いた建物もあるが、熱負荷が大きすぎ省エネルギーにはならない。省エネルギー化を図るためには、ガラスなどは避け、厚さ100mm程度の断熱材を用いた断熱構造が望ましい。
- 3) 西の外壁 午後日没前の日射を対象にブリーズソレイユを設ける。
- 4) 意匠か・省エネルギーか ガラス建築が竣工し、日常の営業が開始すると、施設全体の維持管理が始まる。1年程度が経過するころ年間経常費や水熱光費を安くする方法はないかと聞かれることがあった。単板ガラスでできた建物は、コンクリート製で熱容量のある建物と比較して、エネルギーの消費量が多い場合がある。反面意匠的に考えてみると、ガラスの建物は、室内は明るく、冬などのシーズンで太陽が出ているときは明るく暖かいと言うメリットもある。設計時には常時省エネルギーに配慮

しているが、特に建物の奥行きが10m以内で、熱や光に対して外乱の影響を受けやすく、コスト的に単板ガラスしか使えない建物などでは、意匠を優先すると年間の経常費が上がるのが予想されるので、施主や関係者に対して事前に説明し、了解を得ておくことが望まれる。

また、 $2000\text{ m}^2$ 以上の建物で省エネルギー法に抵触する建物では、省エネルギー計算を行い、PAL（年間熱負荷係数）、CEC（空調エネルギー消費係数）の値が基準値以内に入っているかの検討が要求されている。この計算は性能基準を基本とした計算方法で下式を用いて計算する。

$$\text{PAL} = (\text{ペリメータゾーンおよび最上階での年間熱取得} \cdot \text{熱損失の絶対値の合計値}) / (\text{ペリメータと最上階の合計床面積})$$

$$\text{CEC} = (\text{空調エネルギー消費係数} \{ \text{Mcal/年} \}) / (\text{年間仮想空調負荷} \{ \text{Mcal/年} \})$$

計算結果として、事務所建築でのPAL値は $80\text{ Mcal/}(\text{m}^2\text{年})$ 以下、 $\text{CEC} \leq 1.6$ である。また、店舗では $\text{CEC} \leq 1.8$ となることが規定されている。

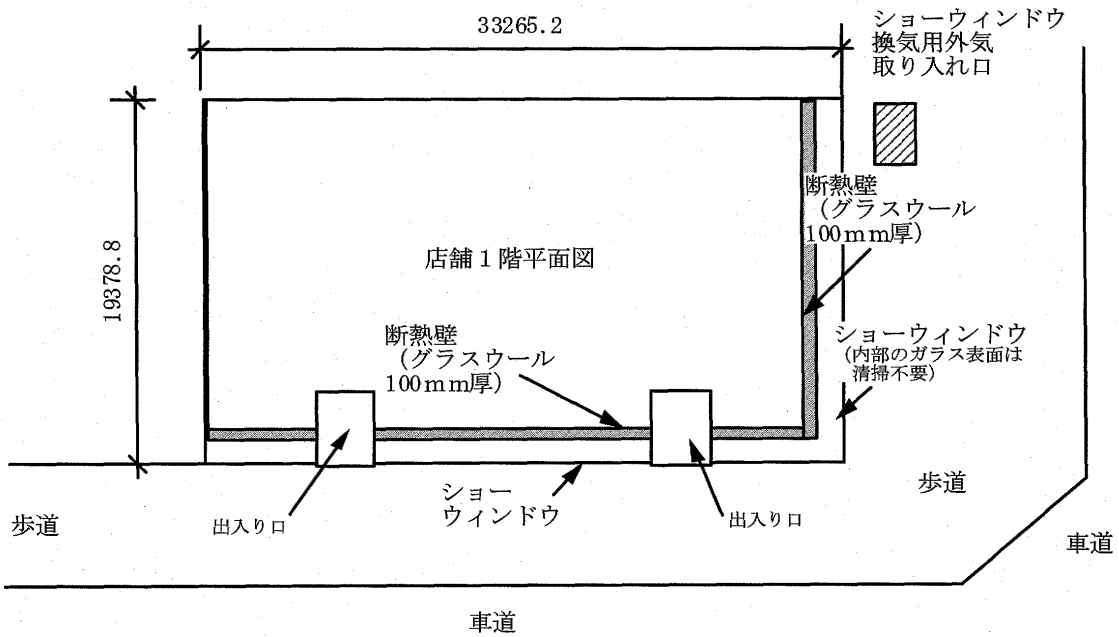
1980年に施工されたが、非常に複雑で一般の設計者が容易に計算できない。そこで $5000\text{ m}^2$ 以下の建物を対象に、2002年に仕様基準としての簡易計算法である「ポイント法」が施行された。この法律は対象建物の省エネルギー性を評価するもので下記の①から⑥項目について簡易的に計算する。

- ① 壁・窓等を通しての熱損失の防止/PALの計算基準値と判断方法
- ② 空調設備の省エネルギー（エネルギーの効率的利用）： $\text{CEC}/\text{AC}$ 、空調運転時間、内部発熱量、外気取り入れ量、設定温湿度が決定因子
- ③ 機械換気設備の省エネルギー： $\text{CEC}/\text{V}$
- ④ 照明設備の省エネルギー： $\text{CEC}/\text{L}$
- ⑤ 給湯設備の省エネルギー： $\text{CEC}/\text{HW}$
- ⑥ 昇降機の省エネルギー： $\text{CEC}/\text{EV}$

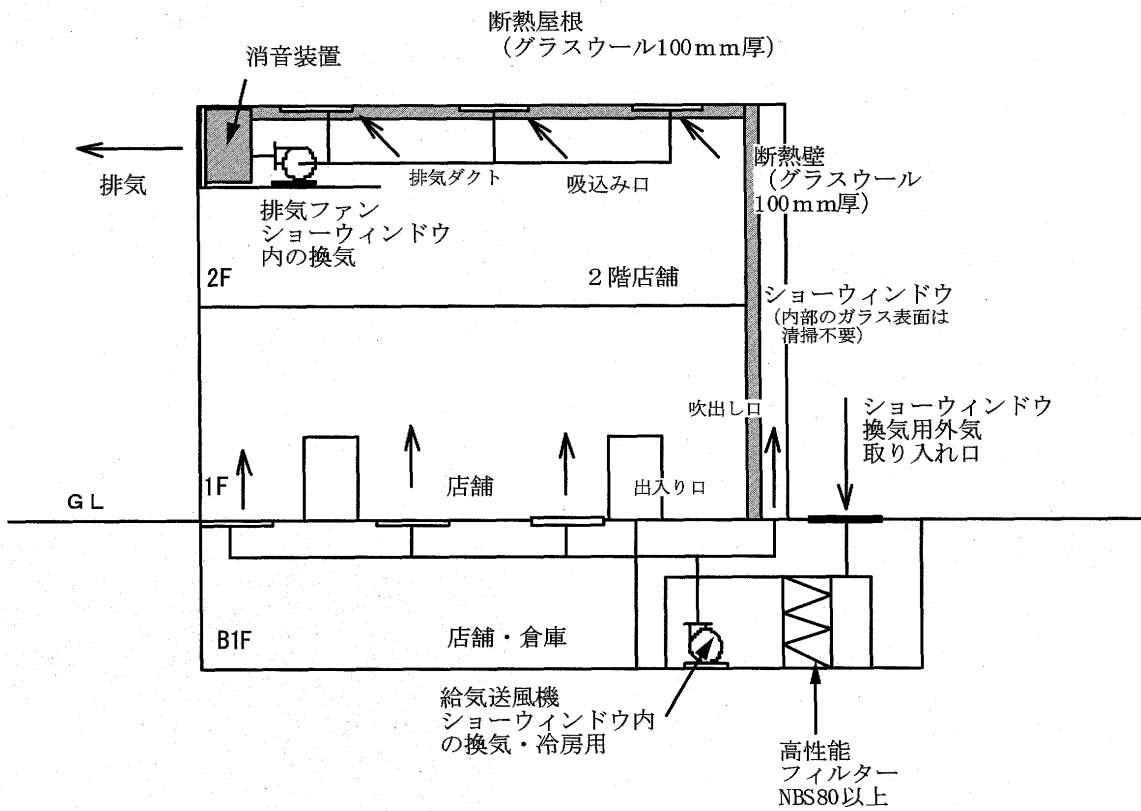
計算結果として、 $\text{ポイント} = \sum (\text{項目別の評価点}) + \text{補正点}$   $> 100$ 点になれば、当該の大項目について省エネルギー基準に適合するものと判断できるとしている。

### 3.3 ガラス建築の断熱構造

超高層オフィスビルなど大規模なガラス建築は、基準階床面積に対するインテリア部分とペリメータ部分の面積を比較すると、インテリア部分の面積比が大きい。それゆえ、ペリメータ部分の窓面積が大きくなっても、ペリメータレ



a) 2階建ての1階平面図および断熱壁



b) 1, 2階断面図および断熱壁・断熱屋根

図5 ガラス建築の断熱構造 (佐野武仁計画)



システム、エアフローウィンドウシステムなどを採用すると全体に対する熱負荷の比はさほど大きくならない。それゆえ、本項では、ペリメータ部分の面積比が大きくて気象条件など外乱の影響を受けやすい、巾に対して奥行きが小さい建物、言い換えると光や熱などの影響を受けやすい建物について解説する。

ガラス建築は採光に優れ、北国では、冬期の採熱にも優れ中間期・夏期は非常に快適な環境を作り出せる建物で快適性にも富んでいる。しかし、東北・東京以南の温暖地域では、梅雨が明けた7月末から8月10日頃まで、および1月末から3月初旬・奈良二月堂のお水取りが終わる頃までは寒暖の差によって年間の最高気温、および最低気温が出るので、この時期の熱負荷の処理を間違いなく行えば、省エネルギーで年間の水光熱費や経常費の少ない建物が実現できると考え、名古屋にある高級ブランド品を取り扱う店舗でこの方式を採用した。

この建物の規模は、図5に示す1階が330<sup>m</sup>2程度の建物で、歩道が南側（下側）と東側（右側）に面している。歩道に面した建物の南側と東側のガラス窓は白色のシルクスクリーンでデザインされた奥行き900mm程度、ガラスの高さが9m程度のショーウィンドウである。シルクスクリーンは、30mm角程度の市松模様で、内側背景の壁にも同様の模様があり、視線を変えることによって幾何学模様が浮き出してくる。光や熱がこの空間に入り、換気をししないとショーウィンドウ内の温度は50℃以上の高温になることが予想された。そこで、この熱を排熱するため、屋外の床面から外気を取り入れ、NBS 80程度の高性能フィルターを設け、外気を浄化したのち前面・側面のショーウィンドウ内に吹き込み、排気は2階上部の吸込み口から吸込み、消音装置を介して屋外に排気した。

また、ショーウィンドウの奥に設けた壁は、室内への熱負荷を軽減するため、グラスウール100mm厚で断熱したので、各階店舗の熱負荷は、全般照明と展示照明と人体によるインテリア負荷のみとなり、ショーウィンドウの負荷はかからないので、冷房負荷はかなり小さくなり省エネルギー化が実現できた建物となっている。

断熱壁の室内側は絵画の展示室などであり、夏期の外乱の負荷を抑さえ、インテリアの負荷だけを処理すればよいことになり、冷房負荷はかなり軽減される。外壁がガラスの場合は、直ぐ内側に断熱壁を設け、ガラスと断熱壁の空間を換気によって夏の熱負荷を処理することが優れた方法であると考えている。

また、2006年に竣工した横須賀美術館は、屋根が乳白色のガラス、壁は透明ガラスで仕上げられているが、この外壁ガラスの内側に図6に示した鉄板でできた壁内にグラ

スウールを充填し、同様の方法で100mm厚の断熱壁を採用し省エネルギー化を図っている。

### 3.4 環境・設備をインテグレートしたガラス建築

最近では、外装とガラス、内装とガラス、外部空間とガラス、また、エアフローウィンドウなど室内外の多岐に亘りガラスを使用している。ガラスは劣化などのない性質を持ち、磨けば新品同様になり、また、建物の一生涯にかかる表を計算したLCCによる評価でも在来の素材やメンテナンス、年間経常費などの面で優れているので、多用されはじめた。

## 4. ガラスの汚れと清掃

### 4.1 清掃の要らない密閉ガラス空間

外壁に占める窓面積の比（窓面積比）が増えると、透明ガラスを使用した建物では、ガラス窓の透明度を維持するため、許容汚れ度にも関係するが、月に1度、または2ヶ月に1度程度の清掃が必要となり、清掃に要する費用がかさむ。

しかし、図5に示すショーウィンドウの例では、外壁ガラスの内側に内壁があり、このショーウィンドウのチャンバーとなる空間は、外部から入ってくる熱を排除するため、外部から温度の低い外気を取り入れ、換気装置に取り付けられているNBS 80以上の高性能フィルターで除塵し、加圧方式でこのチャンバーに供給する。チャンバー内は埃のない空間となるので、清掃の要らない空間ができ、清掃にかかる費用はほとんど発生しない。結果としてガラスを清掃する労務費の面で、大幅な労力削減に期待できる。

### 4.2 ガラス建築と空気清浄

上記図5で示したショーウィンドウなどは、窓ガラスの面積が大きいので、清掃に費用がかかる場合がある。そこで、なるべく清掃費を軽減するためNBS 80以上の高性能

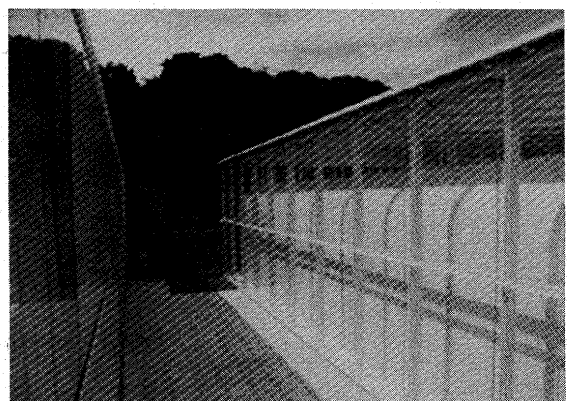


図6 ガラスの外壁と室内側の鉄板製断熱壁



フィルターを使用しているの、ショーウィンドウ室内側のガラス表面はメンテナンスフリーで清掃はほとんど不要である。また、これに近い方式を島根県「出雲大社神祐殿」の展示スペースにも採用した。竣工後 20 数年を経過した段階で、現地に行く機会があり、内壁の汚れ具合を見る機会を得たが、今日でも内壁には汚れがないことを確認できた。結果として、普通のオフィスビルなどでも NBS 80 程度の高性能フィルターを採用すれば壁の汚れは少なく、内装の更新も不要になるので、多少フィルター費がかかるが、LCC（建物のライフサイクルコスト）として壁のメンテナンス費や更新費が安くなると確信した。

#### 4.3 海辺に近いガラス建築

海辺に近い建物は、風雨や風の強い日は、海岸で巻き上げられた海水が風によって飛散し、ガラスの建物の外表面に付着する。風雨にさらされているときは余り感じないが、天候が回復し、晴天になるとガラスに付着した潮風の水分は乾燥し塩分が白くガラスに付着した状態になる。よく風の吹く地域では、ガラスに塩分が付着すると汚れた感じが意匠的に良くないので、市水道で清掃している例があり、月に 2・3 回程度洗浄することになり、水道代と清掃人件費のかさむ施設もある。

ガラスの種類を光や熱が透過する程度によって分けると、透明ガラス、半透明ガラス、不透明ガラスに分けることができる。

内陸部の例であるが、風雨にさらされた電車のホームの外側の車道側のフェンスの一部として、すりガラスを用いているのを見たことがある。清掃をしている様子もなく、風雨にさらされても汚れは余り見えず、美しいガラスの状態を保っているように見える。海岸線や風雨の強い地域では、透明・半透明・不透明ガラスのうち、汚れの見えないガラスの選択も、1つのデザインではないかと思っている。

#### 5. まとめ

国の内外を問わず、「居住環境の中にもっと光を」という思想は万国共通のものであると考える。

晴天日の太陽放射はガラスを通して瞬時に室内に入り快適性に影響を与える。また、冬の寒い夜間の冷放射も室内の居住者にとっては、深々と寒さを感じさせる。一方コンクリートで出来た建物は、同じ条件下においても、コンクリートそのものに熱容量があるので、室内の居住快適性は緩和される。このように、「ガラスと建築と省エネルギー」について考えるに当たって、光や熱などの太陽放射、長波長と短波長、空気は断熱材であるなど、基礎事項に対する理解ができれば、あとは応用力をもって省エネルギーな建

物を計画することであり、読者の応用力に期待するところ大であると判断する。

#### 〈参考文献〉

- 1) 佐野武仁ほか:「ガラスの建築学」 光と熱と快適環境の知識, pp 110-119, 日本建築学会編著, 学芸出版, 2004. 1
- 2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%B4%E6%99%B6%E5%AE%AE> (2008. 6. 11)
- 3) 池内清治: ガラスの昨日・今日・明日, 建築と社会, 日本建築協会, pp 15-19, 2007. 11
- 4) 改訂「建築物の省エネルギー基準と解説, 仕様基準 (ポイント法)」, 財団法人 建築環境・省エネルギー機構, 改訂 1 版, 平成 15 年 10 月
- 5) 佐野武仁, 内田敦子ほか: ガラス建築の意匠と設備/技術, 日本建築学会環境工学委員会建築設備小委員会ガラス建築シンポジウム, 日本建築学会, p 40, 2001
- 6) 佐野武仁, 山口温, 内田敦子ほか: 鬼石多目的ホールの熱環境・光環境実測報告書, 昭和女子大学佐野研究室, 2006. 10
- 7) 佐野武仁, 山口温, 内田敦子ほか: 単板ガラスを用いたガラス建築の熱環境光環境特性と快適性評価 (その 1 からその 3), 学苑 No 781 (昭和女子大学紀要), 2005. 11
- 8) 佐野武仁, 山口温, 内田敦子ほか: ガラス建築の熱環境特性・光環境特性と快適性評価に関する研究, 学苑 No 789 (昭和女子大学紀要), 2006. 7
- 9) 佐野武仁, 山口温, 内田敦子ほか: 単板ガラスを用いたガラス建築の熱環境光環境特性と快適性評価 (その 1 から 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp 567-572, 41275-41277, 2006. 9
- 10) 佐野武仁, 山口温, 内田敦子ほか: ガラス建築の熱環境特性・光環境特性と快適性評価, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 (長野) 1129-1136, E-29, E-30, 2006. 9

(さの たけひと 生活環境学科)  
(うちだ あつこ 生活環境学科)