

建築環境・省エネルギー情報「I B E C」No.144 Vol 25-3(16・9・1発行) 抜刷り

3.

ドイツのガラスと建築

田中 辰明 お茶の水女子大学 教授

1. はじめに

ガラス建築を省エネルギーの観点から述べる必要から、ドイツの省エネルギー法について解説する。

エネルギー危機の下、ドイツでは1976年7月に省エネルギー法 (EnEG : Enertgieeinsparungsgesetz) が議会で可決され、これは今日でも有効である。この法律は以下の条令からなる。

- ・断熱条令 (Wärmeschutzverordnung : WSVÖ)
- ・暖房装置条令 (Heizanlagenverordnung)
- ・暖房費用計算条令 (Verordnung über Heizkostenverabrechnung)
- ・小型燃焼装置に関する条令 (Verordnung über Kleinf Feuerungsanlagen)
- ・燃焼装置に関する条令 (Verordnung über Feuerungsanlagen)

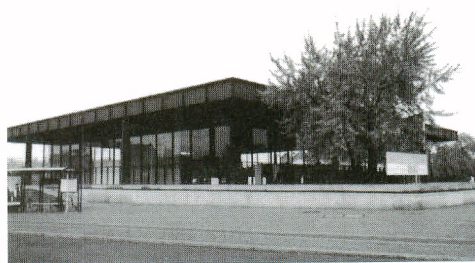
このうち断熱条令は、既にあったドイツ工業規格 DIN 4108の「断熱 (1952年7月に出版)」を基礎としていた。すなわち外壁の総面積 (A) と、建物容積 (V) の比に対し、平均の外皮熱貫流率を定めるという方法が中心であった。省エネルギー法は1982年に改正され、A/V比に対する平均熱貫流率が強化され、建物の断熱厚さが厚くなるようになった。1994年に更に改正強化され、年間の暖房負荷を制限するようになった。最近では地球環境問題に対する配慮、地球温暖化防止を目的に二酸化炭素排出を制限する必要から2001年11月16日に省エネルギーの断熱と省エネルギーの建築設備条令 (Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden) (Energiesparverordnung - EnEV) が議会で可決され2002年2月に発効した。

ここで1994年の断熱条令 (WSVO) では建物外皮の熱貫流率が $0.40 \sim 0.50 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であったものが2002年2月の省エネルギー条令 (EnEV) では $0.35 \sim 0.45 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ に改正強化されている。屋根だけをとれば1994年の断熱条令 (WSVO) では熱貫流率が $0.30 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 以下であったものが2002年2月の省エネルギー条令 (EnEV) では傾斜屋根で $0.30 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ に、陸屋根で $0.25 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ に改正強化された。このような条令によりドイツ建築の省エネルギー改修は盛んである。

2. ドイツにおけるガラス建築と省エネルギー

従来ドイツの建築はレンガ造などどちらかと言うと窓面積が少なく壁厚の厚いマッシブなものが多かった。わが国の伝統的な建築は夏の蒸し暑さに耐えられるような、どちらかと言うと開放的な風通しの多いものが多かった。最近では両国ともガラス建築が多く建設され、日本建築、ドイツ建築といった特徴が消えてしまっている。ドイツでガラス建築が最初に作られたのはミースファンデルローエ (Ludwig Mies van der Rohe) が設計し、1965年から1968年にかけてベルリン市のTiergarten, Potsdamerstrasseに建設された『新国民博物館』と呼ばれる“Neue Nationalgalerie”であろう (写真1)。

写真1 新国民博物館 “Neue Nationalgalerie”



当時は大規模のガラス建築はドイツに存在せず、ガラスも断熱性がないところから、冬季暖房時のコールドドラフトが問題になり、ベルリン工科大学ヘルマン・リーチェル研究所の研究課題となった。当時の研究所長Horst Esdorn教授の指導の下、Bernd Kriegel氏が研究を担当し、様々な条件の下にコールドドラフトの量を計算する式を求めた。また、これを軽減するにはガラス窓の直下だけでなくガラスやサッシュ、梁に沿って細長い放熱器を設置すべきであることを提案し、その後飛行場建築など大きなガラス建築ではこれが実用されている。

ドイツは平野が多く、土地を有効に使用できることから高層建築を好まない傾向にあった。最初に来た高層建築というとベルリンのヨーロッパセンター“Europa Center”であろう。この建物は1963年から1965年にかけてHelmut HentrichとHubert Petschniggの設計により建てられ、東西ベルリンに分裂した西ベルリンの繁栄の象徴ともなった（写真2）。

写真2 ヨーロッパセンター“Europa Center”ベルリン



その後、シカゴで多くの高層建築を設計し成功したドイツ人建築家Helmut Jahnがフランクフルトの見本市会場に見本市タワー“Messe Turm”を設計し、金融の町フランクフルトにドイツ銀行初め銀行の本店ビルとして高層のガラス建築は多数建設されるようになった。ガラス建築を採用するに当たり、実測や設計に当り多くの研究が行われかつ研究発表まで行われた物件はStuttgartの総合建設業チュブリン社（Ed. Zublin社）の本社ビルである（所在地：Albstadtweg 3, 70567 Stuttgart）。同社は自らのビルをガラス建築とし、多くのガラス建築を施工した。

ちなみに東西ドイツが併合し、新しい国会議事堂と

してベルリンのかつての帝国議会が改修され使用されることになった。この建物の再建計画は英国の建築家Sir Norman Fosterにより行われている。そして、この施工を受け持ったのがEd. Züblin社である。この建物は大きなガラスのドームを設けたことで有名である。

さて、Ed. Züblin社本社ビルは同社の副社長で技術部長であったProfessor Dr. Volker Hahnの指揮の下に実施された。建築家はGottfried Bohmである。Volker Hahn氏は既に同社を引退しているが、この建物にかけた情熱は相当のもので、筆者が2001年に同社を訪問した際も出かけてきてくださり、説明を頂いた。

建物の規模は幅49.90m、奥行き93.60mで、地上7階、地下2階建てである。この建物の断面図、平面図を図1と図2に示す。また、この建物の外観を写真3、内部のアトリウムを写真4に示す。

写真3 チュブリン社本社ビル、シュツットガルト



写真4 チュブリン社本社ビル、シュツットガルト



当然、夏期の温室化、冬期は冷えるのではないかという心配はあった。これらの心配に対し、大きなガラスの開口を設け夏の熱を逃がすとか、アトリウムに日射遮蔽装置を設けるなどの案も出されたが、意匠上面白くないとの理由で拒否され、対策が検討された。

1983年3月に工事を開始し、1984年6月にガラスを貼り終わっている。ドイツでは初めての経験であるので、様々なシミュレーションを行うと同時に当時規模は小さいが、同様のコンセプトで建設されたフランクフルトの国際見本市会場に存在するやや大きめの会議室“Galleria”を使用して測定も行っている。

Hahn氏は米国初め多くのガラス建築を視察し、またGalleriaでの実測結果からStuttgartでも、このような建築は可能であると判断し、実行に移したとのことであった。シミュレーションでは夏期に温室効果により室内が暑くなると予想されたが、Galleriaでの実測においてそのようなことはなく、これは建物躯体の蓄熱効果を軽視したことによるものと判定したとのことである。

事実、竣工後2月でも日射がある日はホールで食事が可能であり、5月中旬～9月中旬までホールでオペラ、週末のコンサート、職員の誕生日祝い等の催し物を行い、そこに長時間滞在することが可能であった。ホール内の温熱環境は冬も夏も外部よりも快適であった。夏期に日射が強い日には上昇気流が生じ部分的に、特に上層の階で温度上昇が認められた。この場合で換気回数は12回と推定されている。冬期はホール内の温度は常に外気温度より高く、温度差は10℃であった。アトリウムとなっているホール内は植栽が行われ、ニセアカシア (Robinie) が植えられた。また、この地の名物であるワイン用の葡萄も植えられた。共に上手く生育し、ホールで休憩する人に安らぎを与え、また葡萄は食用に供されたとのことである。この建物にお

図1 チュブリン社本社ビルの断面図

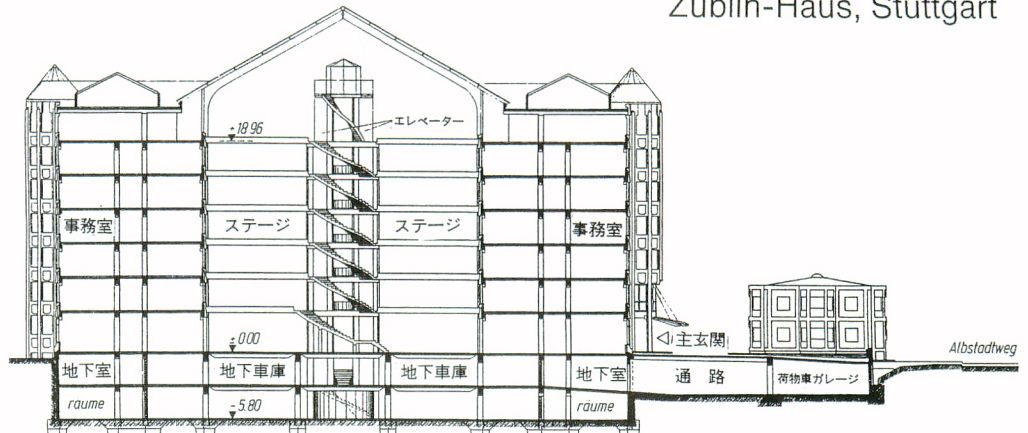
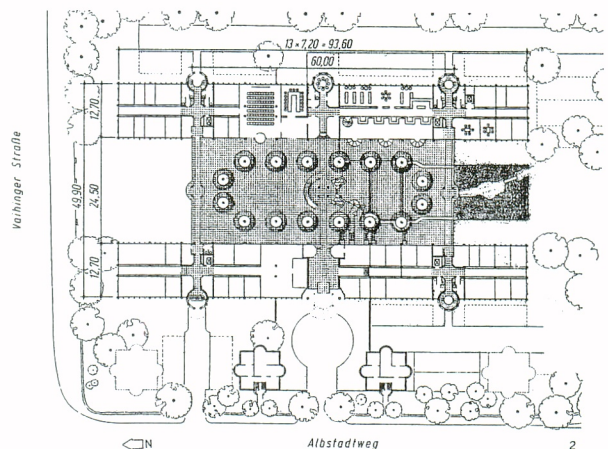


図2 チュブリン社本社ビルの平面図



いても予想以上に夏期に快適に過ごせたのは建物躯体の蓄熱効果の大きさであると実測の結果判断された。

その後同社は多くのホテル、事務所建築にアトリウム建築、ガラス建築を提案し、施工実績を伸ばしている。ベルリンが首都となり、戦前ヒットラーが独裁政治を行った旧帝国議会在改修され新しいドイツ連邦共和国の議事堂(写真5)として使用されることになった。かつてのイメージが悪いので、ドイツも周辺国に配慮し、この改修はドイツ人建築家ではなく、イギリスの建築家 Sir Norman Foster に委ねられた。Fosterはかつての密室政治のイメージを払拭すべく、権威主義の象徴であった塔屋を撤去し、ここに大きなガラスのドームを作り、中を人が歩けるようにし、民主政治の象徴とした。ドームの中央には鏡を配置し、ガラスドームのどこから太陽が入っても議事堂内を明るく出来るような配慮がなされている。但し、夏の西日は厳しいので、西側には日射の日除けが設けられて

写真5 新しいドイツ連邦共和国国会
議事堂（旧帝国議会）ベルリン



写真6 議事堂の屋上ドーム西側に設けら
れた日射遮蔽装置

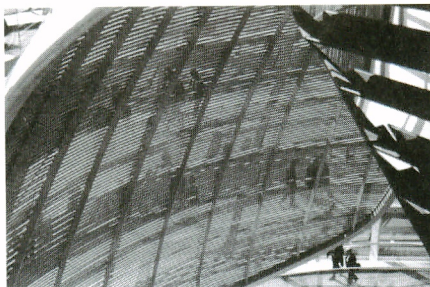
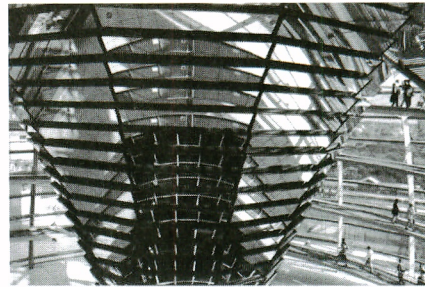


写真7 議事堂屋上ドームの集光装置



いる（写真6、7）。ドイツは戦後周辺国との和解に努め、復旧なった議会の礎には「ドイツ人は他国の敵にはならない」と刻まれている。

現在ベルリンは新しい首都再構築の中建築ラッシュであり、多くのガラス建築が建設されている。ドイツ人建築家で米国に渡りシカゴのシアーズタワーを初め多くの超高層建築を設計したHelmut Jahnはドイツでも多くのガラス建築を設計している。ベルリン市クアヒルステンダム“Kurfürstendamm”に大規模な事務所建築克蘭ツラーエック“Kranzlereck”を設計している（写真8）。

戦前ベルリンの最も栄えた道路はウンターデンリンデン“Unter den Linden”であった。しかしUnter den Lindenは戦後旧東ベルリンに入り、西ベルリンではKurfürstendammという都心から緑の森Grüne waldへ向う道が最も賑わった。

かつてベルリンの国王が緑の森へ狩猟に出かける際に通った馬車道であったと言われる。ここに大きな、かつ格式のあるKranzlerという喫茶店がある。多く

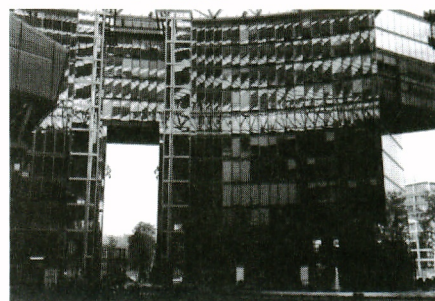
写真8 ベルリンの繁華街クアヒルス
テンダムに建つ克蘭ツラーエック



写真9 ルドビッヒ エアハルト ハウス
ベルリン



写真10 ソニーセンター、ベルリンの
ポツダム広場



のドイツ映画に使用された店でもある。この角にできたガラスの事務所建築が“Kranzlereck”である。

またロンドンの建築家Nicholas GrimshawはFasanenstr.83に株式交換所（Borse）“Ludwig Erhard Haus”を設計している。アデナウアー首相の時代には蔵相を務め、1963-1966年の間首相となりドイツの奇跡の経済復興を成し遂げたLudwig Erhardの名前を冠した建物である（写真9）。

戦前ベルリンで最も賑わったPotsdamer Platzは東京で言う銀座4丁目であった。しかし、ここが丁度東西ベルリンを分ける“ベルリンの壁”が建つ処となり、復興から取り残され、野原として放置されていた。ここにあったPtdamer Platzの駅舎も残骸が残り、戦争の悲惨さを象徴していた。東西ドイツ併合後この場所は首都再構築の顔となった。

そのPotsdamer Platz再構築の一つの大きな顔であるSony CenterはHelmut Jahnの作品であり、連日多くの観光客がここを訪問する。やはりガラスを多用した建築である（写真10）。

このビルは大きな天蓋を設けアトリウム形式で広場の採光を行っている（写真11）。同じくPotsdamer Platzに建つ103m26階の事務所建築もガラス建築とし

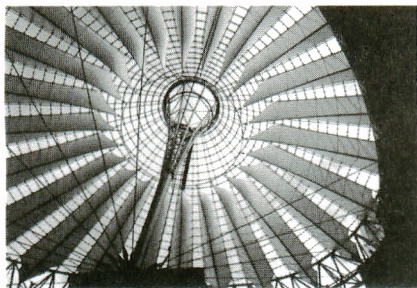
写真11 ソニーセンターの屋根
(アトリウム部分)写真12 ポツダム広場に建つDBビル
(ドイツ鉄道) ベルリン

写真13 ポツダム広場に建つジューメンスビル、ベルリン



て有名である。これはドイツ鉄道のビルとして使用されている。手前に再興なったポツダム広場駅の駅舎も写っている(写真12)。同じくパリの建築家 Renzo Piano の設計による18階建ての事務所建築もガラス建築として有名である(写真13)。第二次大戦まではベルリンで一番重要であり、東西ドイツ、南北ドイツへの長距離列車が出たポツダム広場駅“Potsdamer Platz駅”は規模も小さくはなかったが、近郊電車と地下鉄の駅として再建された。これもガラス建築である(写真14)。

ベルリンには中央駅は無かったが、現在かつての Lehrter Stadtbahnhof という駅が中央駅 (Hauptbahnhof) として工事が行われている(写真15)。

3. ガラス建築と省エネルギー

3.1 窓と換気

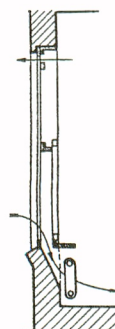
「ガラス窓は太陽集熱器か熱が逃げていく穴か？」という議論もある。うまく設置すれば冬季に太陽集熱器の役割を果たすし、そうでなければ熱が逃げていく穴になってしまう。また窓は外気を導入する換気口の役割も果たす。だからといって開放することで室温が冬季に下がりすぎてもいけないし、泥棒が侵入してきても困る。そこでドイツの伝統的な窓では自然換気の風量を適当に制御できる窓の工夫がなされてきた。その主なものをここに紹介する。

図3はO.Schmidt氏によって開発されたところか

写真14 再建されたポツダム広場駅(右下)

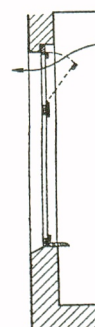


写真15 新しいベルリン中央駅になった旧レールター駅の天蓋

図3 OS窓
(O.Schmidtによる)

らOS窓とも呼ばれている。外気が室温よりも低い場合は窓の下側から外気が入り上部から室内空気の排気が行われる。この場合、窓の下部に放熱器を設置し導入外気を加熱してもコールドドラフトを十分に避けることは出来ない。従って冬季は短時間の換気に適し、長時間窓を開放することは行われない。夏季は風圧や建物外壁の方位により換気量は異なる。この窓が設置された反対側の窓にも開口があれば換気は効果的に行われる。

図4は引き倒し窓 (Fenster mit Kippenflügeln) を示す。このような上部に設置された開口は

図4 引き倒し窓による換気
(Kippenfenster)

ここから室内空気が排気されるので、他に開口部が無ければ、換気の動力は建物の気密性による。気密性が悪ければ排気駆動力は大きくなる。このような排気口はドイツの古い建物では便所や浴室に見られる。

図5は最近適用例の多いダブルスキンの例である。高層のガラス建築に用いられることが多い。ガラスを2重に用い、外側ガラスの内側に日射遮蔽装置を用いる。室内側の窓ガラスは開閉が可能で室内空気を排気し、ダブルスキン内の空気と共に排気される。外部の強い風が直接建物に入らないので事務室内の書類が自然換気により吹き飛ばす恐れも無い。この方式の様々な変形が実用化されている。

図6にダブルスキンで給排気が行える例を示す。窓ガラスによる省エネルギー手法は各種のものが発表され、実用化されている。

図8に外気温度が低い場合に換気を行わずに暖房を行う例を示す。また図9に日射遮蔽装置を用い、熱交換器

図5 ダブルスキン構造

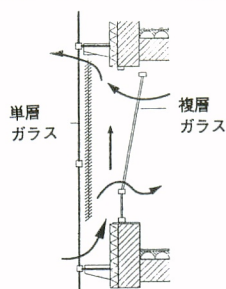


図6 各階で給排気が行われるダブルスキン構造

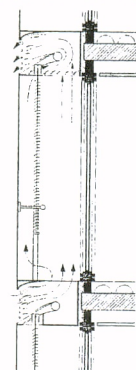
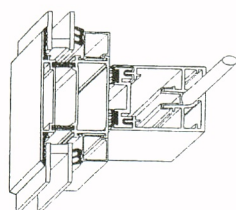


図7 暖冷房配管（銅管）を設けたアルミ製窓枠



により排熱改修を行い暖房と換気を行う例を示す。図10に日射遮蔽装置があり、換気を行う例を示す。図11に日射遮蔽装置があり換気を行わずパッシブの暖房を行う例を示す。図12に日射遮蔽装置があり換気と冷房を行う例を示す。

3.2 窓周りの工夫

ドイツの窓枠はかつては木製のものが多かった。木製は気密性も高く評判は良かったが、ペンキの塗り替えなど保守管理の点から敬遠されることもあり、最近ではアルミ製も使用されている。アルミを用いるとどうしても枠部分で熱を伝え、条件が悪いと結露を起こす場合もある。最近ではガラス窓も断熱ガラスが使用され、かつてほどコールドドラフトの問題は起こらないが、それでも皆無ではない。そこで、快適性の考慮も含めてアルミ製窓枠に配管を施し冬季は温水を夏季は冷水を流すということも行われている。多く配管として直径12mmの銅管が用いられている。水温は制御され平均温度で冬季は80℃～50℃、冷房期間は5℃～10℃の冷水が循環される。これによる放熱量、除去熱量もメーカーにより値が示されている。図7に縦2.5m、幅1.2mのアルミ窓枠に設けられた窓枠暖房配管の例を示す。これはドイツのファッサード製造大手、ガルトナー社が始めたので、ガルトナーファッサードとも呼ばれている。

3.3 夏季の冷房負荷の増大と外ブラインドによる日射遮蔽

ガラス建築は日射により場合によっては熱負荷を増大させることがある。このために熱負荷の増大を防止する様々な手法が提案され実施されている。

図8 外気温度が低い場合に換気を行わず暖房を行う

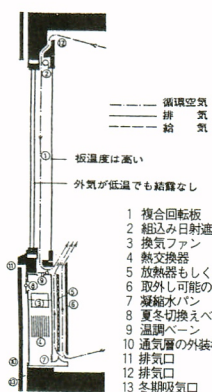


図9 日射遮蔽装置があり熱交換器により熱回収を行い暖房と換気を行う例

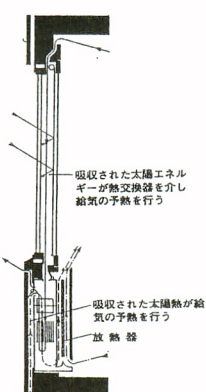


図10 日射遮蔽装置があり換気を行う例

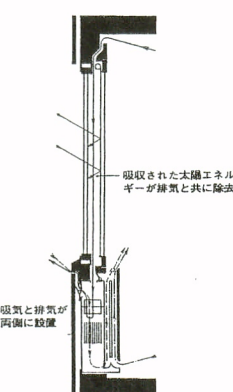


図11 日射遮蔽装置があり換気を行わずパッシブ暖房を行う例

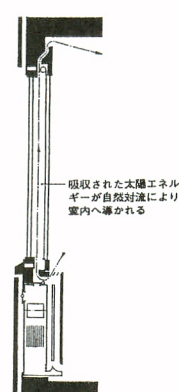


図12 日射遮蔽装置があり換気と冷房を行う例

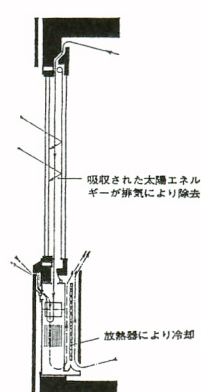


写真16 外断熱工事を施工するミュンヘンのビル

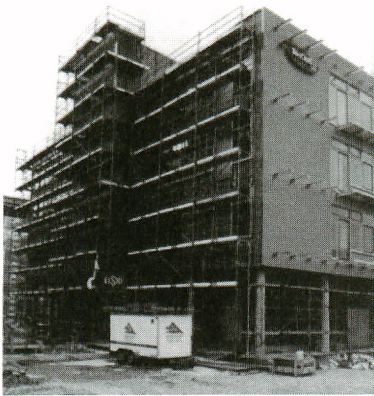


写真17 外断熱工事とともに外側ブラインドを設けて日射遮蔽を行うビル

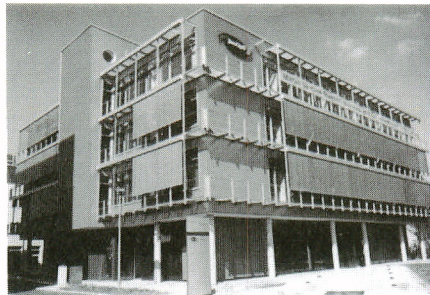


写真18 透明断熱材

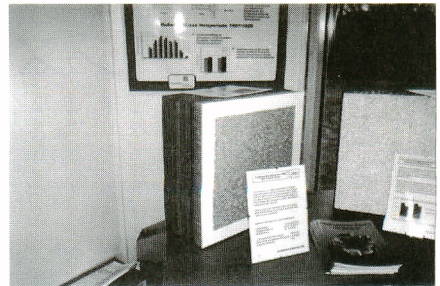


写真19 透明断熱材の性能試験（フラウンホーファー研究所）

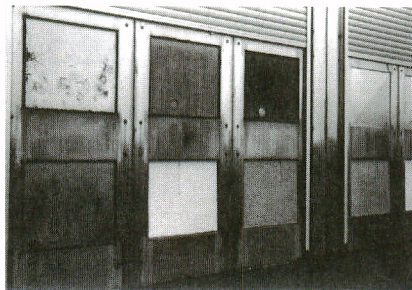


写真20 ガラス温度により日射透過率が変化するガラス（フラウンホーファー研究所）

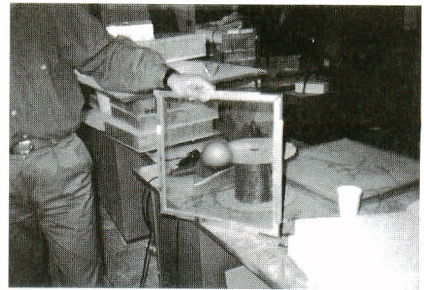


写真16にミュンヘンのフランクフルターリングに建設された事務所ビルの工事中の例を示す。この建物は全面的に外断熱が施工されている。ミュンヘンは内陸性の気候で冬は十分に寒いが夏は暑いと

いう土地である。最近の事務所建築は内部発熱も大きい上に窓からの日射が入ると夏季の冷房負荷が大きくなる。それを防止するために外ブラインドを設けたものである（写真17）。

3.4 透明断熱材

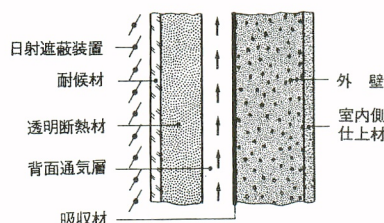
パッシブ建築の研究とともに透明断熱材というものも利用されるようになってきた。

透明のガラス繊維や透明の合成樹脂材料（アクリルなど）で作られる断熱材で、これを建物の躯体の外側に貼り付けるものである。比較的高緯度にあるドイツでは秋から冬季にかけ日射は低い高度で建物に入ってくる。建物の外壁躯体に透明断熱材が貼ってあれば、断熱材が透明であるので、日射を透過し外壁を直接暖める。外壁は受けた太陽熱を蓄熱し、時間遅れを伴って室内を暖めるというものである。暖められた外壁は外側に断熱材があるので、熱を外気側に放出することは無いという

仕掛けである（写真18、19）。

またこの原理図を図13に示す。

図13 透明断熱材設置の原理図



3.5 ガラス温度により日射透過率が変化するガラス

冬季に外気温度が低ければ外壁のガラス温度は低くなる。このような季節にはガラスが透明で日射を室内に取り込みたい。また外気温度が高いときはガラス温度も高くなり、できれば日射が室内に入ることは歓迎されない。ガラス温度によりガラスが透明になったり不透明になればこのような調節はできる。このような試みも行われ、実験も行われている。その様子を写真20に示す。

4. おわりに

ガラスと建築についてドイツの場合を記述した。ほんの一端を紹介したに過ぎないが、些かとも参考となれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) Recknagel, Sprenger, Schramek "Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik Oldenbourgverlag 03/04
- 2) Züblin 100 Jahre Bautechnik 1898-1998
- 3) Bauten seit 1900 in Berlin Kiepert Verlag
- 4) 日本建築学界編「ガラスの建築学」学芸出版社
- 5) Schoch "Neue Energieeinsparverordnung" Bauwerk
- 6) Volker Hahn "Das Züblinhaus in Stuttgart" Seminar "Architektur und Ausführung von Glashallen" 7.5.92
- 7) Rolf Rave, Hans Joachim Knofel "Bauten seit 1900 in Berlin" verlag Kiepert Berlin

4. 日本のガラスと建築 (1)

オアシス 21

堀 毅 (株)大林組 名古屋支店建築設計部 設備設計グループ長

1. はじめに

栄公園地区 (広場ゾーン) : 愛称オアシス21は、名古屋都心部の整備事業の一環として、平成9年の事業提案競技を経て、平成11年に着工、平成14年10月にオープンした。

この施設は、憩い・賑わい・ふれあいの調和や、地上と地下におけるスムーズな人の流れの確保を目指し、魅力あふれる吹抜広場、店舗、公共交通の結節点としてのバスターミナルを配した「立体型公園」として、愛知芸術文化センターと、NHK名古屋放送センタービルのある文化施設ゾーンとともに、名古屋都心部の新しいシンボルゾーンを創出することを目的として建設されたダイナミックな複合施設である (写真1)。

2. 施設の概要

1) 建築概要

名 称	栄公園地区 (広場ゾーン)		
	愛称 : オアシス21		
所 在 地	名古屋市東区東桜一丁目		
用 途	公園・バスターミナル・店舗・変電所		
敷地面積	20,390.67㎡		
建築面積	10,090.47㎡	延床面積	25,185.71㎡
構造規模	S造・RC造、地下2階・地上1階		
事業主体	名古屋市		
建設主体	(財)名古屋都市整備公社・栄公園振興(株)		
設 計	(株)大林組東京本社一級建築士事務所		
施 工	(株)大林組名古屋支店		

写真1 オアシス21の全景

