

建築環境・省エネルギー情報「IBEC」No.133 Vol 23-4(14・11・1発行) 抜刷り

2. 既存建物の現状と省エネルギー技術／(1) 建築的手法 3)

省エネルギー改修—ドイツの例

田中 辰明 お茶の水女子大学 教授

はじめに

ドイツ人は一般に不要なものは買わない（衝動買はしない）。物の購入にはきわめて慎重で、考えて考えて結果において買わない事が多い。来日するドイツ人の買い物の付き合いをすると迷惑をする事が多い。さらにお歳暮、お中元、結婚式、葬式などにおける贈答の習慣がない、人の家を訪問する際の贈答品は無くなるもの（花、ワイン、シャンパン、チョコレートなど）を選定する。勿論ごく親しい間柄で結婚式に招待された場合は必要とするものを予め聞いておいて、それを贈ることはある。安物は買わずに、長持ちするものを買う習慣がある。（親から子供へ伝える）高ければよい（銀座で買えばよい）という習慣もなく、価格に相応して価値のあるもの（preisgünstig）を求めるという考えが徹底している。そして何よりも住宅を大切にし、その確保や維持に力を入れる。このような事からドイツに建築の省エネルギー改修について学ぶべき点が多い。

1. ドイツの省エネルギー法

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 : Energieeinsparungsgesetz) 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 : WSVO)
- ・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 Kleinfreuerungsanlagen)
- ・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 DIN4108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年の断熱条例 (WSVO) では建物外皮の熱貫流率が $0.40\sim0.50\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であったものが2002年2月の省エネルギー条例 (EnEV) では $0.35\sim0.45\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ に改正強化されている。屋根だけをとれば1994年の断熱条例 (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例 (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。ドイツの省エネルギー法の変遷については筆者が文献3にて解説している。

2. 断熱による省エネルギー改修

従来ドイツの建築は断熱がしっかり施されていた。これが度重なる断熱条令の改正強化で断熱材の厚さが増している。断熱は一般に外断熱で行われる。プレハブ住宅の場合は外壁全体が断熱材で構成されているといつて過言ではない。外断熱を筆者は通気層のある外断熱と通気層の無い外断熱に分けて評価してきた。ドイツでは通気層のある外断熱を Hintenlüftung Wärmedämmssystem : 背面通気断熱システム)、通気層の無い外断熱を複合断熱システム (Wärmedämmverbundsystem : WDVS) と呼び法律用語にもなっている。コンクリート建築の外断熱工法には 1. 断熱材が建物躯体の外側にあるので、建物が服を着たようになり外気温度や日射の変動から保護される。したがって建物躯体にひび割れが入りにくい。2. コンクリートの熱容量が室内側に入るので、暖房が切れても急激に室温が変化しない。同様に夏季は冷房が切れても急激に室温が上昇することは無い。すなわち快適性に富む。3. 室内から屋外にスムーズに水蒸気が抜け、壁体の内部に結露を起こすことがない。従って壁内結露を起こすことなくカビが生えない。カビを餌として集まつくるダニの被害からも解放される。4. 既存の建物に断熱改修を行いやすい。極端な場合は室内側をコンクリート打ち放しのまま仕上げることが可能になるので壁紙の接着剤や塗料から出る揮発性化学物質 (VOC) からも解放されるなどの長所がある^{6), 8)}。

筆者自身自ら設計した外断熱の住宅に20年以上住みその良さは十分に理解している。わが国でも外断熱工法を試みる気運も高まりつつあるが、価格的な問題や設計経験がない、施工経験がないといった問題から必ずしも普及が順調とはいえない。筆者はこの間何度か外断熱工法発祥の国ドイツに出張し、この工法について数々の工事現場や施工会社、Stuttgart 大学、Berlin 工科大学、Fraunhofer 研究所で調査を行った。この結果を報告し、わが国においても健全な外断熱工法が発展することに寄与できる事を期

待するものである。Fraunhofer 研究所はドイツの全国各地にあるが、断熱については建築物理学研究所で研究が行われている。外断熱に関する研究も盛んで、各種建築材料の透湿に関する試験も非常に地味な研究ではあるが、熱心に行われている。当然耐候性試験も大規模に行われている。外断熱工法の研究はここの所長の Karl Gertis 教授が主導している。同教授はこの研究を行う Stuttgart の研究所と München の郊外 Holzkirchen の研究所の所長を兼務され、また Stuttgart 大学の教授も兼務するという多忙さである。耐候性試験では表面仕上げの色を変化させ、表面のひび割れ防止に入るグラスファイバーメッシュの材料を変え、その継ぎ目の幅を変え、仕上げ材の塗り厚さを変えて試験を行っていた。同教授によるとひび割れなどの事故が起るのはグラスファイバーの継ぎ目の幅は 10cm は必要であるが、この幅が十分でなかった場合、仕上げ材の厚さが厚すぎひび割れ防止を入れたはずのグラスファイバーメッシュがモルタル層の深い部分に入り、表面にひび割れが入った例、森の近くの建物で、仕上げ材を啄木鳥がつついてしまつた例、などを紹介して下さった。また西側外壁に黒色塗装をした例では、日射を受け表面温度が上昇し、これが日没とともに外気温度が下がり表面が急激に収縮し、ひび割れを生じた事もあったそうである。従って表面塗装は、特に西側外壁の場合、できれば日射吸収の少ない色が望ましいとの事であった。写真 1 に外断熱工法の耐候性試験を説明する Gertis 教授、写真 2 にその拡大写真を示す。ドイツにおいて外断熱工事が順調に行われているのもこのような地味な研究が根気よく続けられている背景があっての事である。

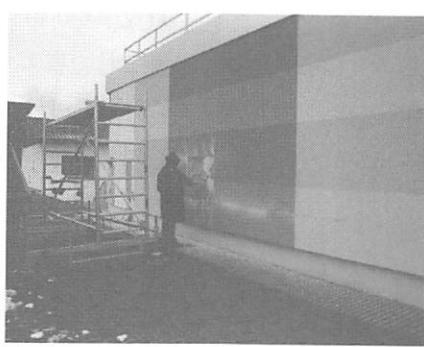


写真1 外断熱の耐候性試験実験の説明をする Gertis教授 (HolzkirchenのFraunhofer 研究所)

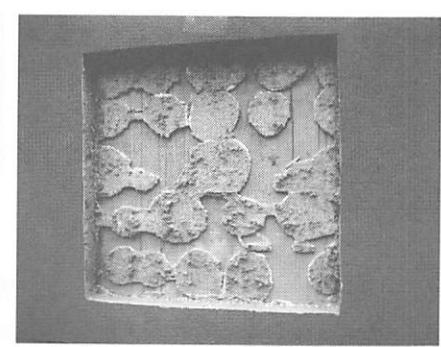


写真2 耐候性試験の拡大写真 (Fraunhofer 研究所)

3. 工事の実際

外断熱工法には通気層のある外断熱と通気層のない外断熱がある。通気層のある外断熱は一般的に大型の建物に採用される。通気層のない外断熱は小型建築物に採用される場合が多くなったが最近では大型建築物に採用される場合も出てきた。(後述のベルリン市IBMなど) 通気層がある場合も無い場合も室内で発生した水蒸気が建物外皮を通して屋外にスムーズに水蒸気を抜くようにできている。断熱材として最近は高密度ロックウール(わが国ではロックウール板とも呼ばれる)、もしくは発泡スチレンがよく使用されている。この工法を筆者は通気層の無い外断熱と呼んできたが、ドイツではWärmedämmverbundsystem(省略してWDVS: あえて日本語に訳すと“複合断熱システム”)と呼ばれる。WDVSは協会を持ち、本部はBaden Badenにあり、Fachverband Wärmedämmverbundsystem EVと呼ばれ、会長はDr. Wolfgang Setzler氏である。この協会が設計と工事に関する指針(Technische Richtlinien für die Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen)を出し、施工各社はこれを基に各社の設計・施工マニュアルを作成している。ドイツは連邦共和国で16の州からなる。建築法規もそれぞれの州により異なり、外断熱の扱いも異なる。

筆者は度重なるドイツ出張で外断熱工事の調査を行った。特に平成13年10月から11月にかけて外断熱工事現場を視察し、再度平成14年3月から4月にかけて調査

を行った。さらに平成14年8月に再度渡独し、調査を行った。この平成14年の調査では平成13年に工事中であった現場の竣工後の状態を調査した。

写真3～写真5にStuttgart市内Jurastr.の事務所建築における外断熱工事を示す。ここでは地下部分は水分を避ける為押出発泡スチレンが、地面に近い部分はビーズ発泡スチレンが、水分の影響が無い部分はロックウールが使用されている(写真3)。写真6に見るよう地下部分は押出発泡スチレンが使用されているが、この上は水を流せるように合成樹脂製の有孔シートで押出発泡スチレンが保護されていた。断熱材は接着モルタルにより建物軸体に取り付けられ、断熱材の上を5mm程度の接着モルタルで仕上げるようにしている。このモルタル層が薄いのでひび割れ防止にグラスファイバーのメッシュを入れている。隅角部は損傷を受けやすいことから特に保護を行う。ここでは合成樹脂製の隅角部保護材が使用されていた。これはモルタル層のひび割れ防止に使用するグラスファイバーのメッシュと一体化されたものである。窓枠付近は特にひずみによりひび割れが入りやすいので、グラスファイバーメッシュが多めに入れられている(写真7)。写真5は平成14年3月に撮影した竣工後の写真である。写真8にこの事務所建築中庭側にあるバルコニーの取り付けの様子を示す。バルコニーは建物との間に隙間が設けられ熱的に縁を切ってある。ここでは18cm厚さの断熱材が設けられているが、これだけ厚い断熱材を設けると、伝導で失われる熱の内で熱橋により失われる熱の割合が大きくなる。そこで熱橋で失われる熱を減少



写真4 Stuttgart Jurastr.の事務所建築における外断熱工事(平成13年10月撮影)

写真5 Stuttgart Jurastr.の事務所建築における外断熱工事竣工(平成14年3月撮影)

写真3 Stuttgart Jurastr.の事務所建築における外断熱『地下部分は押出発泡スチレン、地面に接する部分はビーズ発泡スチレン、上部はロックウール板が断熱材として使用されている。断熱厚さは180mm』

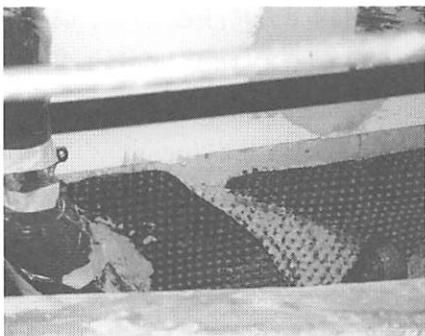


写真6 Stuttgart Jurastr.の事務所建築における外断熱工事（地下部分：押出発泡スチレンと合成樹脂製の有孔シート）



写真7 Stuttgart Jurastr.事務所建築における外断熱工事における窓周りの収まり（隅部分はグラスファイバーメッシュによる特別の補強が行われる）

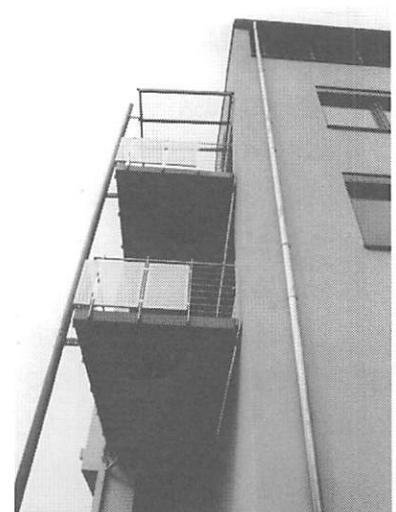


写真8 Stuttgart Jurastr.の事務所建築における外断熱工事におけるベランダの取り付け（建物軸体と熱的に縁を切ってある）

させようとしてこのようにバルコニーの取り付けに隙間を設けたのである。

写真9～12に同じくStuttgartのVaihingerstr.にあるかなり老朽化したレストラン兼事務所建築を断熱改修した例を示す。工事中のものは平成13年10月に撮影したものである。ビーズ発泡スチレンにより断熱改

修されたが、円形の窓部分は職人の手により、ビーズ発泡スチレンが切り取られた（写真10）。土壁は一部、中に入れられたい草が飛び出すほどに老朽化していた（写真11）。しかしこの建物も竣工後（平成14年3月撮影）は写真12に示すように新築同様になってよみがえっていた。外断熱の工事仕様書には「改修の際は下地を



写真10 Stuttgart Vaihingerstr.の老朽化したレストラン兼事務所建築の外断熱改修（円形部分は職人が現場で発泡スチレンを加工）（平成13年10月撮影）



写真11 Stuttgart Vaihingerstr.の老朽化したレストラン兼事務所建築の外断熱改修（外壁はい草が見えるまでに老朽化している）（平成13年10月撮影）

写真9 Stuttgart Vaihingerstr.の老朽化したレストラン兼事務所建築の外断熱改修（平成13年10月撮影）



写真12 Stuttgart Vaihingerstr.の老朽化したレストラン兼事務所建築の外断熱改修竣工（平成14年3月撮影）



写真13 Stuttgart Wallgrabenの塗装業者ビルの外断熱改修工事（平成13年10月撮影）



写真14 Stuttgart Wallgrabenの塗装業者ビルの外断熱改修工事竣工（平成14年3月）

モルタルで表面が平滑になるように均して断熱材を貼り付ける事」となっているが、工事の実際を見るところのように必ずしも平滑な均しなどは行われていない。写真13～14にStuttgartのWallgrabenにある塗装業者が自社ビルを断熱改修した例を示す。ドイツも我が国同様に建設不況で総合建設業の倒産が増えている。従来総合建設業の下請け工事を行っていた塗装業者も、総合建設業から独立して仕事が行えるように外断熱工事に参入しているものが多く、この会社もその一例である。工事中のものは平成13年10月撮影、竣工後のは平成14年3月に撮影したものである。写真15～18にベルリン市Heiligenndammerstr.における老朽化した共同住宅の断熱改修の様子を紹介する。工事はJahnke社により行われ、外断熱の材料としてはロックウール板とビーズ発泡スチレンが使用されていた。工事中の写真は平成13年10月に撮影、竣工後の写真は平成14年3月に撮影したものである。写真18に見るようStuttgartのJurastr.の事務所建築同様にベラン

ダが建物と熱的に縁を切つてあるのが特徴である。ミュンヘンの市街地再開発で、事務所建築が外断熱改修された。この建物はSiegstrasseにあり、ロックウール板による改修である。写真19は平成14年3月に撮影した改修工事中のもの、写真20は平成14年8月に撮影した竣工後のものである。ベルリン市のErnst Reuter platzに建つIBMの建物は1961年に建築家Rolf Gutb rod, Bernhard Binder の設計により建てられた9階建ての事務所建築であるが、建物外皮の断熱性能不足によりロックウールにより断熱された。通気層のある外断熱である。写真21～22は平成13年10月に撮影した工事中のもの、写真23は平成14年3月に撮影した竣工後のものである。旧東ドイツや東ベルリンは老朽化した建物、現在の法規に合致しない断熱性の建物が多かった。しかし旧東ベルリンはベルリン市の中心部でもある事から多くの改修工事が行われ、断熱改修工事も非常に多い。東西ベルリンが分かれていたときに西ベルリンから東ドイツ側に検問を受けて入る際のチェック



写真15 Berlin市 Heiligenndammerstr.の集合住宅の外断熱改修工事 (平成13年10月撮影)

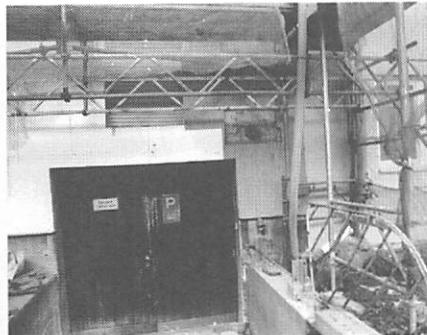


写真16 Berlin市 Heiligenndammerstr.の集合住宅の外断熱改修工事 (断熱材として発泡スチレンとロックウールが混用されている)



写真17 Berlin市 Heiligenndammerstr.の集合住宅の外断熱改修工事の竣工 (平成14年3月撮影)

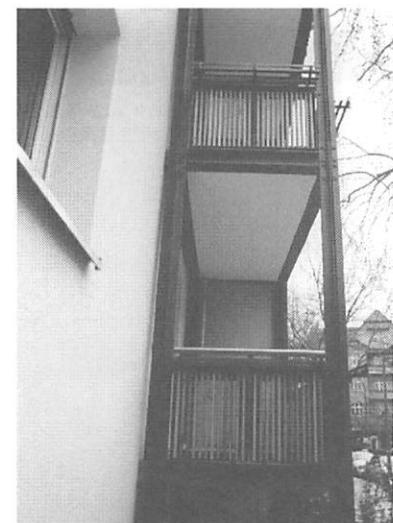


写真19 Münchenの市街地再開発における外断熱工事 (Siegstr.) (平成14年3月撮影)



写真20 Münchenの市街地再開発における外断熱工事 (Siegstr.) の竣工 (平成14年8月撮影)



写真21 Berlin市Ernst ReuterplatzにおけるIBM事務所建築の外断熱改修（平成13年10月撮影）



写真22 Berlin市Ernst ReuterplatzにおけるIBM事務所建築の外断熱改修（平成13年10月撮影）ロックウールがジベルで取り付けられている。



写真23 Berlin市Ernst ReuterplatzにおけるIBM事務所建築の外断熱改修の竣工（平成14年3月撮影）

クポイントとして地下鉄駅、高架電車の駅であるFriedrichstrasseがあった。東西ベルリンが分断されていた時代は非常に緊張感のある場所であったが現在は新しいベルリンの中心の一つとして蘇っている。ここでも多くの事務所建築が改修されているが、外断熱改修の例を写真24～25に示す。ミュンヘンの住宅地

Leharstr.ではやはりBraas社の断熱レンガを使用して改修し、その上を発泡スチレンで外断熱を施工するという工事が行われていた。住宅で低層ではあるが、ジベルを使用して発泡スチレンを収めていた。写真26～27は平成14年3月の工事中の写真、写真28は平成14年8月撮影の竣工後のものである。



写真24 旧東ベルリンのFriedrichstr.の事務所建築における外断熱改修

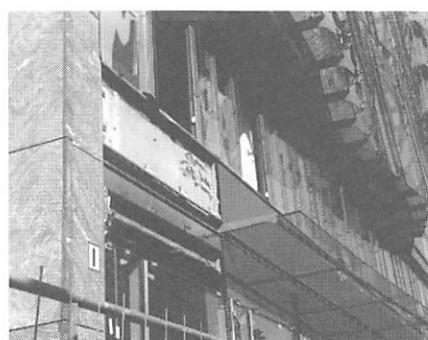


写真25 旧東ベルリンのFriedrichstr.の事務所建築における外断熱改修（ロックウール板の使用）



写真26 MünchenにLeharstr.にある住宅の外断熱改修（平成14年3月撮影）

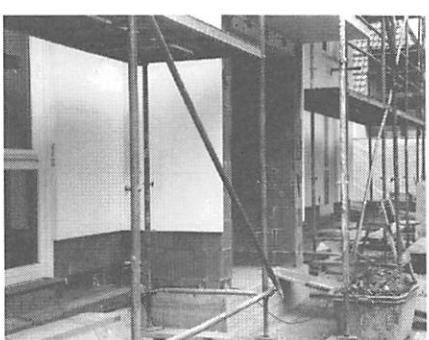


写真27 MünchenのLeharstr.にある住宅の外断熱改修（平成14年3月撮影）



写真28 MünchenにLeharstr.にある住宅の外断熱改修の竣工（平成14年8月撮影）

従来通気層の無い外断熱工事は中小規模建築に施されると考えられていたが、ドイツではかなりの大規模建築にも施されている。StuttgartのDegerloch Albstr. に建設中の事務所建築群はビーズ発泡スチレンで外断熱が施されていた（写真29）。同じくベルリン市郊外では鉄筋コンクリートの大団地で外断熱改修されていた。写真30に平成14年10月に撮影した工事中のものを示すが、Stuttgartの事務所建築は全て発泡スチレンで施工されているのに対し、ベルリンの住宅団地の例では一部にロックウール板が使用されている。これは州により建築法規が異なる事によるもので、スチレンは自己消火性の難燃材が使用されているが、外部から火が迫った場合に溶ける恐れがある。これを防止する為にロックウール板を入れているのである。

4. 夏季の断熱

近代建築の特徴として大きなガラス窓が使用される例が多い。ガラス窓を透過した日射熱取得による冷房

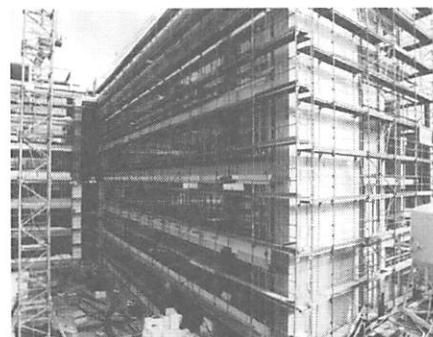


写真29 Stuttgart Degerloch Albstr. の事務所建築における外断熱改修



写真30 ベルリン市郊外の集合住宅外断熱改修



写真31 MünchenのFrankfurterring事務所建築の外断熱工事 (平成14年3月撮影)



写真33 MünchenのFrankfurterringの事務所建築の外断熱工事竣工 (平成14年8月撮影)



写真32 MünchenのFrankfurterring事務所建築の外断熱工事 (平成14年3月撮影)

負荷の増大も問題である。前記の省エネルギー条例(EnEV)では夏季の断熱(Sommerliche Wärmeschutz)として日射遮蔽を取り上げている。ドイツではもともとブラインドはガラス窓の外側に設けていたが、現在もそのような方式が多い。ビルも高層化してくると、単なるブラインドでは強風の際に危険な事もあるとして、金属製で建物と一体化して外ルーバーを設けている建物も多い。同じくミュンヘン市のFrankfurterringでは事務所建築の断熱改修が行われていた。平成14年3月に撮影した工事中の写真を写真31～32に、平成14年8月に撮影した竣工後の写真を写真33に示す。これは金属パネルで外装をする通気層のあるシステムである。180mmのロックウールが使用され、事務所である事から室内発熱もある。現在ドイツでは夏の遮熱に力を入れた例である。

5. 天井面状放射冷暖房

床吹き出し空調はドイツで開発され、世界に広まった。床吹き出し空調との組み合わせで天井の面状放射冷暖房が新しい冷暖房方式として流行している。これはポリプロピレンの細管を天井表面に埋め込むもので、ポリプロピレンはボールペンの芯程度の太さで、極めて細い。冷水温度も18°C程度ときわめて高く、暖房時の温水温度も25°C程度と極めて低いのが特徴で、居住者はどこで暖房されているのか、またどこで冷房されているのか分からぬ程度の温度である。対流成分が少なく、放射成分の多い快適な冷暖房方式として多く利用されている。省エネルギー回収の目的でこの面状冷暖房が使用される場合も多い。筆者がベルリン市Steglitzの事務所建築で調査した施工例を写真34～36に示す。予め工場で寸法を合わせて製造されたヘッダー付きのポリプロピレンのマットが接着モルタルの中に埋め込まれる。ここで使用される接着モルタルは前節

で解説したWDVSの外断熱に使用される接着モルタルと同じものである。ドイツではこの程度の仕事であると同じ職人が左官工事から配管工事さらに塗装工事までやるといったように何から何まで行ってしまうので、待ち時間が少なくて済む。

6. 屋上緑化

これは筆者がIBEC誌2002年7月号で欧州の例を紹介したが、その補足として解説を行なう。屋根の断熱強化を目的として屋上緑化を行ったベルリン市の体育館の例を写真37に示す。体育館の写真で見るよう屋上に散水を行う配管が見える。屋上緑化はこの散水量が馬鹿にならない。これに対し屋上緑化や自然環境保護に熱心な高等学校の物理学教師Manfred Bojaschewsky氏は自邸の屋上を様々な方法で緑化している。この一部は散水の必要が無い植物を植栽するもので、サボテンの一種の多肉植物でドイツでは“Mauerpfeffer”（直訳は壁の胡椒、大辞典「小学館」ではヨーロッパマンネングサ）とも呼ばれ散水をしなくても育つ。可憐な花を咲かせる。



写真34 ポリプロピレン配管を天井に接着モルタルを使用して埋め込む (Berlin市Steglitzの事務所建築)



写真35 ポリプロピレン配管を天井に接着モルタルを使用して埋め込む (Berlin市Steglitzの事務所建築)



写真36 ポリプロピレン配管を天井に埋め込み天井放射冷暖房を行う改修工事 (Berlin市Steglitzの事務所建築)廊下側にヘッダーがある。



写真37 ベルリン郊外の体育館の屋根を植栽することにより断熱改修を行った例



写真38 BerlinのBojaschewsky邸屋上の保守が簡単なMauerpfeffer



写真39 Mauerpfefferはヨーロッパマンネングサとも呼ばれ散水をしなくても育つ。可憐な花を咲かせる。

ロッパマンネングサとある)"と呼ばれる草を植えていた。写真38にMauerpfefferを植えた屋上、さらにこれは可憐な花を咲かせるのであるが、これを示す写真を写真39に示す。

終わりに

ここには調査したドイツの外断熱による改修工事のほんの一部を紹介した。1997年気候変動枠組み条約締結国会議(COP3)の京都会議では、先進国全体で、2008~2012年までに温室効果ガスを1990年レベルに対して平均5.2%削減するという具体的目標を含む『京都議定書』を採択している。しかし現状では産業部門のエネルギー消費は横ばいであるのに対し民生用、運輸用は増大の一途をたどっている。省エネルギーは我々の子孫が地球に生き残っていくために必須のものであるが、ライフスタイルの変化、より快適な生活を求めて民生用エネルギー消費は増大している。断熱は分かりやすい省エネルギーの方法であり、かつ効果も大きい

い。わが国においても正しい外断熱工法が普及する事を期待する。

〈参考文献〉

1. Rainer Dirk, "Energieeinsparverordnung 2002 Schritt für Schritt", Werner Verlag
2. 田中辰明「世界の省エネルギー基準」(1)ドイツ IBEC No. 96 1996年9月号
3. 田中辰明「ドイツの省エネルギー・環境教育」IBEC No. 114 1999年9月号
4. 田中辰明「欧洲の屋上緑化」IBEC 2002年7月号 建築環境省エネルギー機構
5. 田中辰明「ドイツに学ぶ外断熱工法のありかた」建築仕上技術 2002年7月号、工文社
6. Wolfgang Setzler "Wärmedämmung Bedarf wecken! WDVS Systeme" Julius Hoffmann Verlag
7. DIN 13499 Wärmedämmstoffe für Gebäude Aussen seitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
8. Walter F. Cammerer "Wärme- und Kälteschutz im Bauwesen und in der Industrie
9. Auflage, Springer