



# ドイツのエコ建築家 ヴォルフガング・レーナート博士の講演

## (その3) 新しい湿式外断熱工法

お茶の水女子大学名誉教授 田中 辰明

筆者が理事長を務める(一社)日本断熱住宅技術協会とNPO法人日本外断熱協会(堀内正純理事長)は、ドイツのエコ建築家であるヴォルフガング・レーナート博士(Dr. Wolfgang Lehnert)をお招きし、講演会を行った。第一回は2019年11月8日(金)北海道大学工学部A棟で行われ、これは北海道大学大学院工学研究院菊田弘輝研究室と共催で行われた。第2回は2019年11月13日(木)に横浜市鶴見区のナイス(株)本社ビルで行われた。内容は同じものであったので、纏めて報告を行う。両会場とも通訳は筆者が行った。ここでは、3番目の講演「新しい湿式外断熱工法」について報告する。



写真1 講演を行うドイツのエコ建築家ヴォルフガング・レーナート博士(Dr. Wolfgang Lehnert)

### 1. はじめに

1997年に京都ではじめて気候変動に関する議定書が採択されました。

これは京都議定書と呼ばれるもので、地球温暖化防止のために温室効果ガスの削減が目的でした。

それ以来、多くの国々で建築に対する考えを見直すようになりました。しかしそれも十分ではなく22年後の現在、温室効果ガスを代表する二酸化炭素濃度は増加しております。集中豪雨、それに伴う洪水、がけ崩れ、これらの災害は日本だけでなく欧州でも起きています。米国、南米、オーストラリアにおける森林火災、海面の上昇による被害など地球規模で異常気象の影響が拡大しております。

京都議定書のお陰で、20世紀末までにエネルギー効率のよい新たな工法が開発されました。しかしその普及が進んでいない国もあり、残念なことです。

これまでの間にドイツなどでは建築断熱を強化する法改正が度々行われ、一般的なエネルギー基準となりました。

それに加え、21世紀初頭には持続可能な建設、発展がさらに重要になりました。

この二つを一緒にしたエネルギー効率と持続可能な建設が、今日気候変動に対応できる建築工法の前条件になっています。

### 2. 壁(及び屋根)用断熱システム

エネルギー効率の高い施工をする上で、最も重要な建材が申すまでもなく断熱材です。

断熱材はその施工法により内断熱にも、中断熱にも、また外断熱にも使用できます。

ご覧の図(図1)は断熱研究所(FIW)<sup>1)</sup>が様々な壁の施工で使用される断熱方法を調査したものです。

ここからわかるのは、内断熱は既存の木組み工法の建物の壁によく使用されているということです。

建築部材間に行う中断熱が最も多いのは二層レンガ壁工法の場合と大壁造木造建築の場合です。

外断熱は単層レンガ壁またはコンクリート壁に最も多く施工されています。

ドイツでは全断熱工法のうち、55%が外断熱です。

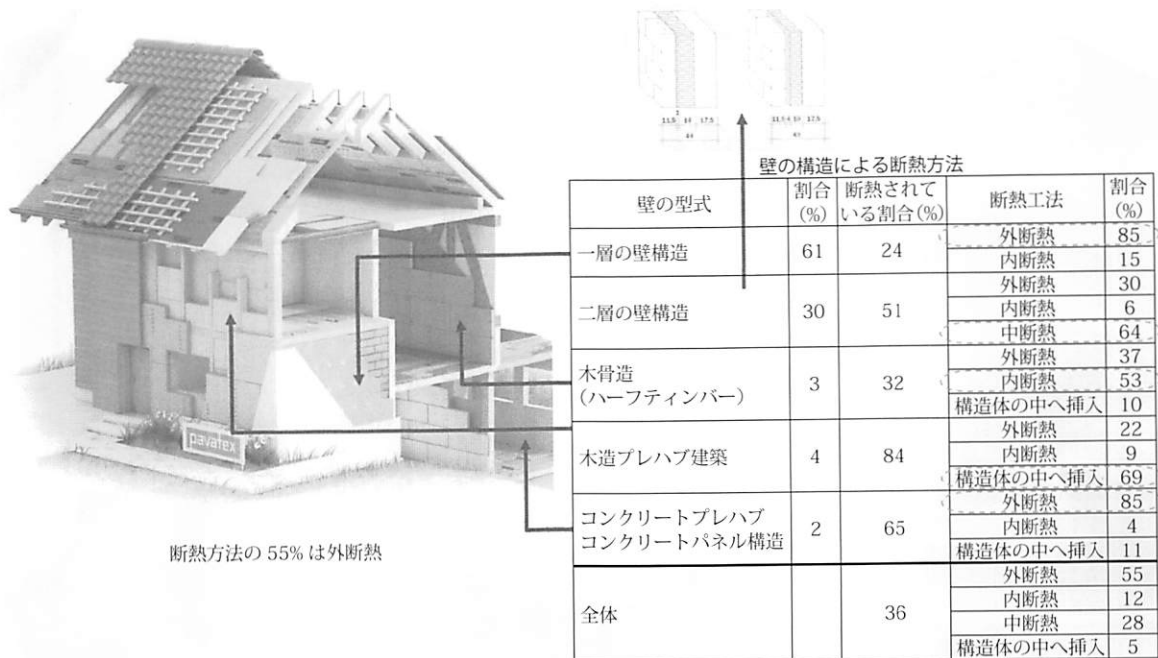


図1 壁の断熱システム

### 3. 石造、コンクリート造の場合の外断熱

今日ヨーロッパでは単層レンガ壁またはコンクリート壁の外壁には湿式外断熱システム(WDVS)<sup>2)</sup>で施工する場合があります。この工法では第1作業段階で、外壁に断熱板を取り付けます。

そのために建物躯体に断熱板を接着材もしくはゼベルやねじで固定します。

その後、接着モルタルを断熱材表面に塗ります。この層は薄いので、ひび割れ防止にグラスファイバーなどのメッシュを挿入します。

最後にブツ(漆喰)と呼ばれる装飾用の上塗りをし、ペンキで仕上げます。

コルクの板を使用した湿式外断熱システムは、ドイツではすでに1930年代に冷蔵倉庫の外断熱として施工されていました。

1950年代には硬質発泡板を使用した湿式外断熱システムが開発され、それが今日に至るまで最も多く使用されています。

1990年代には木毛繊維断熱板とミネラルウール断熱

板を使用した新しい湿式外断熱システムが登場しました。

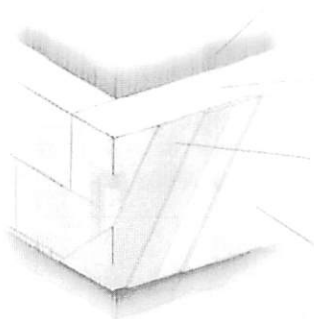
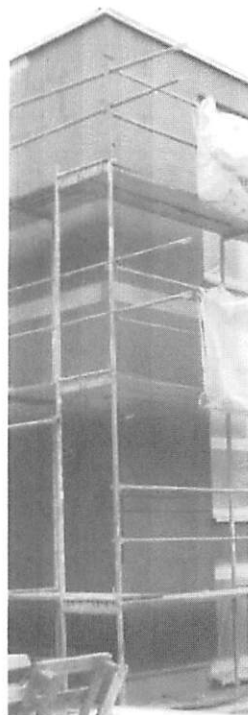
このように様々な種類の断熱材が登場し、外断熱市場に参入してきました。これらは建築物物理学的特性が異なります。それぞれの断熱材を使用した外断熱に対して、技術的基準ができました。

例えばビーズ発泡ポリスチレン(EPS)を使用した湿式外断熱システムの場合、その水蒸気拡散抵抗係数<sup>3)</sup>は $\mu = 20-100$ であり、それに対し木毛繊維断熱板を使用した湿式外断熱システムの水蒸気拡散抵抗係数は $\mu = 5-10$ なので、木毛繊維断熱板の方が透湿性が大きいのです。

湿式外断熱システムの透湿性に対するもう一つの影響要因は、ブツと呼ばれる壁塗り材の建築物物理的特性とブツの厚さです。

ここでブツは鉱物系及び合成樹脂やシリコン樹脂ベースの壁材等の種類があり、それらのうちから選択することができます(図2)。

EPS(ビーズ発泡ポリスチレン)



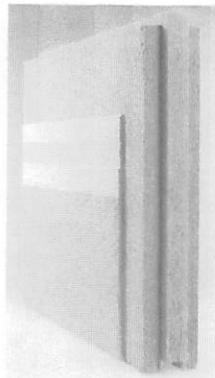
接着材/接着面  
後施工アンカー等  
・躯体取付けの目的  
・荷重に対応  
鉛直方向の荷重(静荷重)  
水平方向の荷重(風荷重)

断熱材  
・断熱材  
・夏期の過剰な温度上昇抑制

ベースコート(補強を兼ねる)  
表面応力や衝撃力吸収  
・温熱応力  
・衝撃、…

フィニッシングコート  
耐候性(雨、紫外線放射、…)、意匠性  
・パターン  
・カラー  
・模様

木毛繊維断熱材



基本的に湿式外断熱は、以下に定める部材で構成されている。

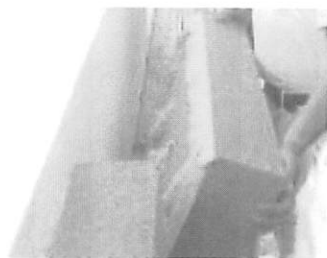
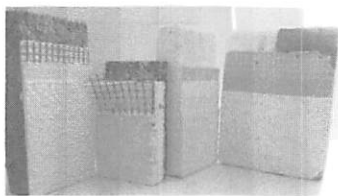


図2 湿式外断熱

#### 4. 木製パネルを使用した場合の外断熱

欧州における木材技術と木造建築はここ数十年で変化しました。

この間に都市では多層階の木造建築が建設されるようになりました。

木材は、現在に適合した建材として、すべての要求を満たすようになりました。

木材は持続可能な建材であり、再利用が可能で、製造や加工の際のエネルギー消費は最も少ない材料です。現在問題になっております地球環境に最も優しい建築材料です。

木製パネルを使用したエネルギー効率の高い大壁造の外壁は木製パネルの間に断熱材を充填し、外表面を外断熱で施工することができます。

木製パネルに断熱することで、外壁の平均的熱貫流率(U値)、遮音性、夏の遮熱性、構造の気密性が向上します。ファサード断熱の中にかき密度が120kg/m<sup>3</sup>から250kg/m<sup>3</sup>の木毛繊維断熱材を使用すると、構造の性能が向上しま

す。

断熱レベルのもう一つの改善策は、十分な強度を持ち、環境にやさしい木毛繊維断熱材による室内側からの付加断熱です。

木毛繊維断熱材は断熱改修用にも使用できます。既存の木質パネルの上に直接木毛繊維断熱材を固定することができます。

この後付け工法で木質パネル構造の場合、木毛繊維断熱材は142-280mmの厚さま取り付けが可能です(図3)。

#### 5. 木造構造材の場合のエネルギー効率

高気密、高断熱建築への要望の高まりで、I形ジョイストやCLTの厚板を使用した壁面工法が開発されました。

これらの断面は非常に薄く、構造部の割合を無垢材と比較し、40%も削減できます。

こうした新しい構造材料の使用により、壁面と屋根には断熱材を挿入できる、より大きな空間が確保できます。

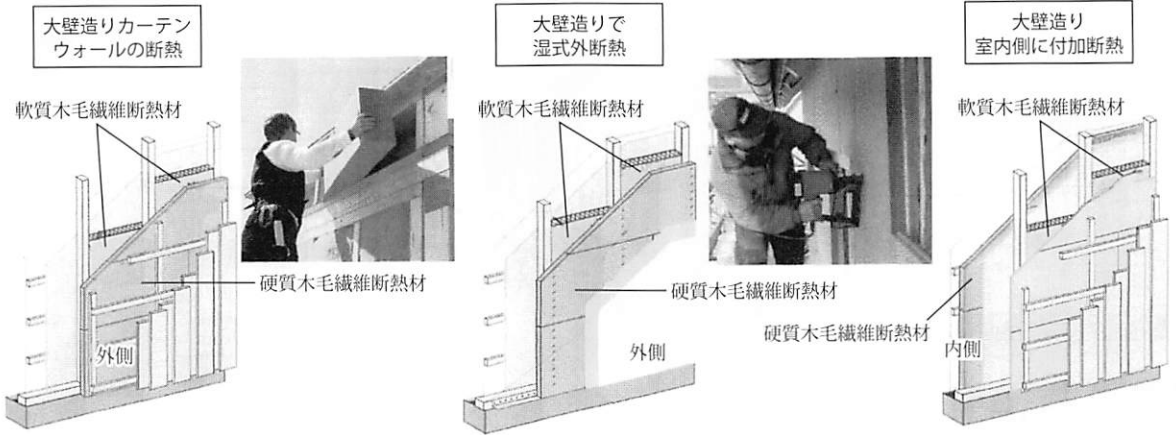
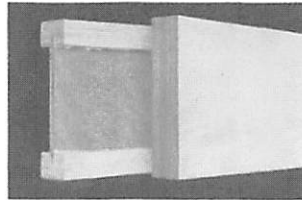


図3 大壁造り外壁の外断熱

硬質木毛繊維板使用の梁構造



CLT  
DIN EN 14374 CE-zertifiziert により証明

	無垢材 60/300mm	STEICO LVL R 45/300mm	STEICO Wall 60/300mm
無垢材の同等厚さ	6 cm	4.5 cm	3 cm
STEICO LVL R,STEICO Wallを用いることによる熱貫流率(u値)の減少	0%	5%まで	15%まで

図4 木造建築におけるエネルギー効率

STEICO LVL R,STEICO Wall は Steico 社の商品名

I形ジョイストを使用すると、無垢材の場合と比べ、熱貫流率が最高15%も下がることがわかりました(図4)。

## 6. I形ジョイストを使用した壁面の場合の外断熱

木造建築ではI形ジョイストは静力学的理由から垂木、天井の梁、壁面支持またはスペーサーとしてのみ使用が認められています。

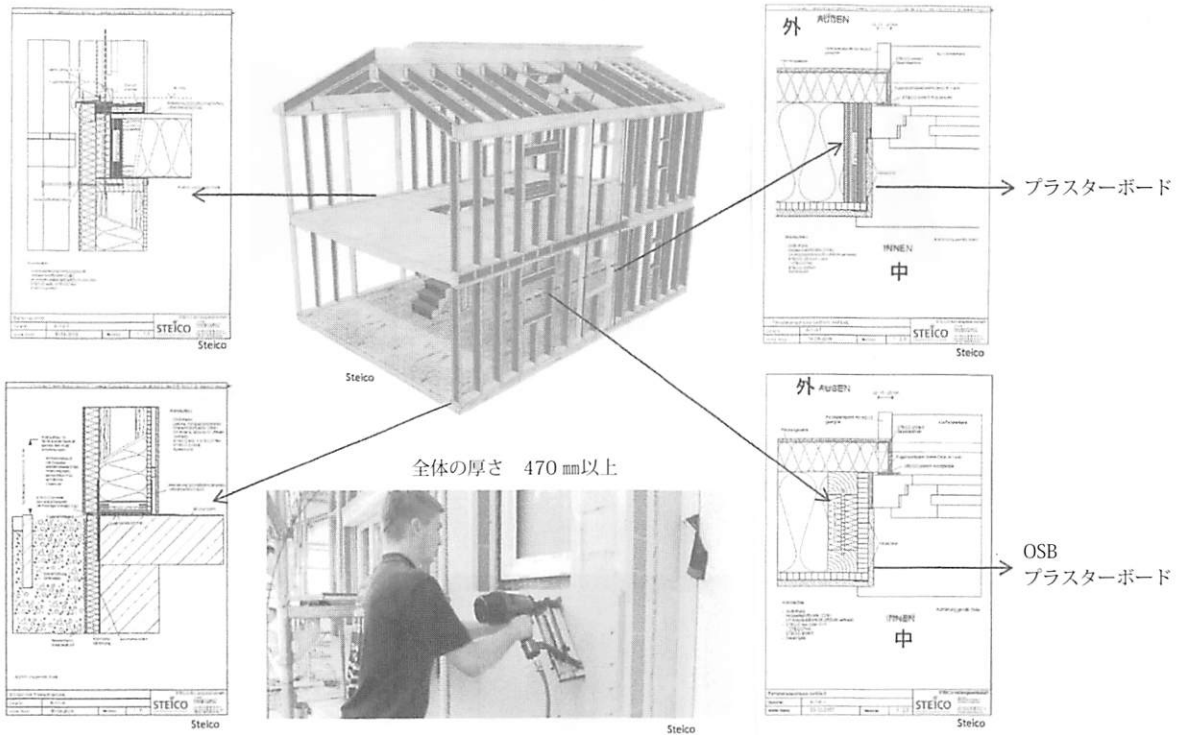


図5 木造建築外壁の外断熱(Steico社カタログ)

梁、柱、枠板、敷居、フレームの場合には例えば細い断面からなる単板積層材(CLT)を取り付けます。

I形ジョイストまたは単板積層材(CLT)の厚板の間の断熱には、セルローズや木毛繊維断熱材のような吹込み材を用いるのが最適です。

この構造は、ファサード断熱をシステムとして加え、断熱材の厚さを最高で470mmまで挿入することができます。

このファサード断熱は柱脚部分では押し発泡ポリスチレン(XPS)を断熱材として使用して施工する必要があります。

その上に木毛繊維断熱板を使った断熱の補強を行います。

熱橋は、壁と天井もしくは窓との接合部において生じます。窓がファサード断熱と同じレベルに取り付けられていれば熱橋を防ぐことができます。

窓がI形ジョイストから成る壁支持部に固定される場合、追加のOSBプレートが必要です。

単板積層材(CLT)の厚板を使用した構造の場合、窓は直接固定することができます(図5)。

## 7. 断熱を施したI形ジョイストの場合の隅角部形成

静力学的計算に応じ、建物の隅角部はI形ジョイストまたは単板積層材(CLT)の厚板を使って仕上げる必要があります。

建物の隅角部のディテールは、断熱の仕上げが細部によって影響されることを示しています。

隅角部にI形ジョイストを使用する場合、様々な空間が生じます。

断熱材をその空間に挿入するには手間がかかります。その上I形ジョイストの周辺部にも木毛繊維断熱材を挿入する必要があります。

単板積層材(CLT)のジョイストを隅角部に取付けると、小さな空間が生じません。

簡単に断熱できる大きな空間が残るだけです。

構造が困難な形状を有する場合、I形ジョイストを使った造りは手間がかかります。

その場合には無垢材を使用するのが経済的な解決になります(図6)。

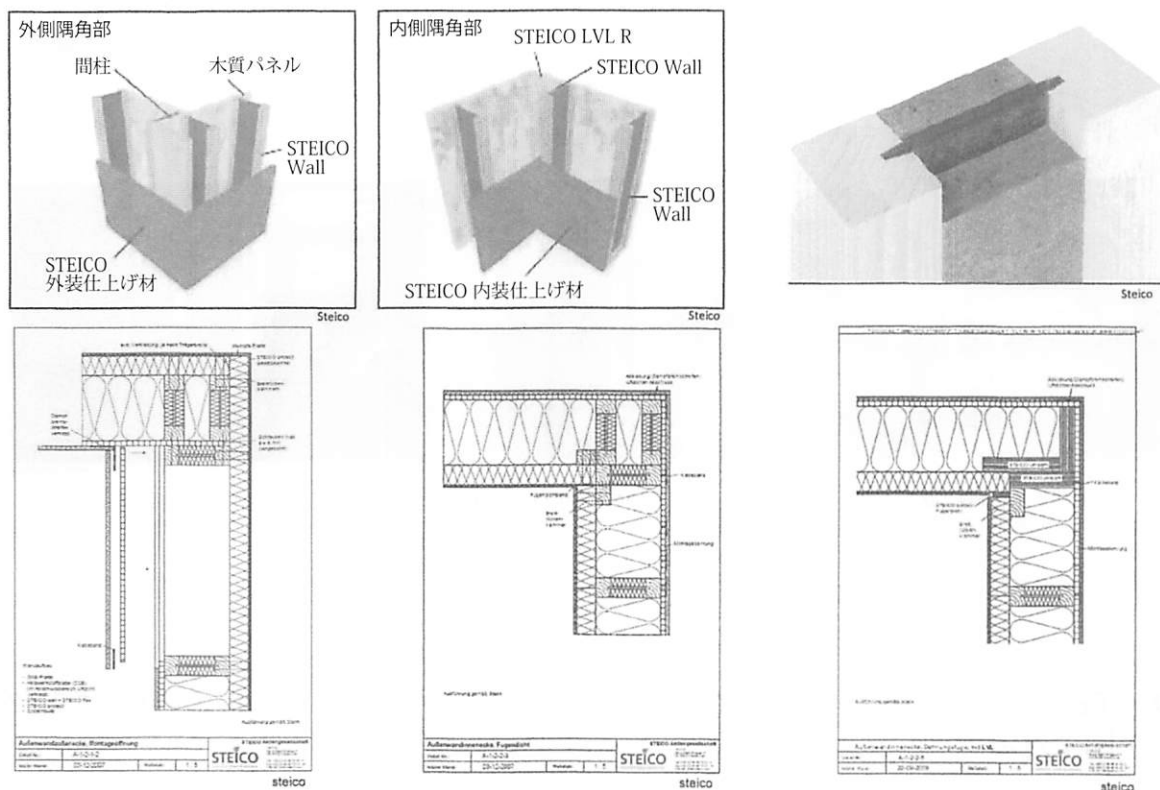


図6 木造建築隅角部の断熱(Steico社カタログ)

## 8. TESエネルギーファサード

ドイツでは1950年から1980年の間に現在の既存住宅の約40%が建設されました。

これらの建物では、屋根、外壁ならびに建築設備が老朽化し、全面的な改修が必要となっております。

それらは今後20年のうちにエネルギー効率の高いものに改修される必要があります。

改修の間、住人は建物内にそのまま留まるか、短期間引越しを必要とします。

それゆえ、工期の短さが非常に重要です。

これまでエネルギー効率を高めるための外壁の修理は大型の建物の場合、湿式外断熱システムが最も多く施工されました。

すべての断熱材とすべての必要な材料は現場に搬入前に施工されます。

湿式外断熱の場合、従来は工場生産はほとんど不可能でした。

しかし、木造建築では工場での断熱施工がかなり普及

して参りました。

2008年から2010年の間に欧州の研究プロジェクト「TESエネルギーファサード」が実施されました。

そのとき、ドイツ、フィンランド、ノルウェーの専門家が大型の木造フレームエレメントの断熱システムを開発しました。

このシステムは迅速な工法と工期短縮を可能にしました。

TESを用いて改修をする前に、既存の外壁の寸法測定を正確に行う必要があります。

これに基づき新しいファサードの設計が行われました。

TESのファサードエレメントは工場で生産されますが、工場内で断熱材、窓ガラス、一部の住宅設備も取り付けられます。

あとは現場でファサードに固定するだけです(図7)。

木材を基盤としたプレハブシステム(TES) (2008~2010年)

欧州の研究プロジェクト「TES エネルギーファサード」

- ・大型木造プレハブエレメントを使用した工法 近代化の為のシステム的方法
- ・プレハブ化による工期の短縮
- ・標準化したプレハブ化による高性能化



1. ファサードの計画と施工の為のデジタル技術による把握

2. ファサードのプレハブ生産

3. 建築現場における工場生産品の組立

図7 TES エネルギーファサード

## 9. TESエネルギーファサードの固定方法

既存の建物にTESファサードを固定するにはいろいろな方法があります(図8)。

例えば屋上階に梁を張り出し(キャンチレバー)そこにTESファサードを垂れるという方式があります。(1)

次の方法としてTESファサードを既存の建物の階ごとにアングルで取り付ける方法です。(2)

第3の方法はTESファサードを上部から垂れ下げ、基礎部分で支える方法です。(3)

古いファサードが撤去されている場合、TESファサードを各階の床の上に立てて設置することも可能です。

(4)

固定方法は既存の建物の構造とTESファサードエレメントの荷重が関係しますので、無理のない取り付けを行う必要があります。

## 10. アウグスブルク・グリュンテン通りの集合住宅

これまでにこのTESファサードシステムは10のプロジェクトに採用されました。

この建物は2011年にイノベーションカテゴリーでドイツのシュワイクホーファー賞2011を受賞しました。

アウグスブルク市では2011年から2012年までにグリュンテン通りに2900平米のTESファサードを持つマンションが完成しました。

この集合住宅には60世帯が入居しています。

このエネルギー効率改善のための改修工事は、住人が居住したままの状態で行われました。

ファサード側では既存のバルコニーがTESファサードエレメントを使い付設温室に改築されました。ドイツでは付設温室を「冬の庭」と呼んでいます。

これによって居住面積が拡張されました。

さらに木造のバルコニーが増築されました。

高断熱のTESエネルギーファサードと最新の換気装置、それに太陽熱も利用するペレットボイラーとで、この集合住宅の第一次エネルギー消費は一平米あたり30,39KWhになりました。

これはKfW30の低エネルギーハウスの水準に匹敵します。

この改修のコンセプトは2010年に「バイエルン州の住まい、実験的マンション建設」のコンペで1等賞を受賞しました(図9)。

## 11. 最近の傾向

専門の協会の資料によりますと、ドイツでは年間約4000㎡の外壁に断熱が施工されております。この断熱

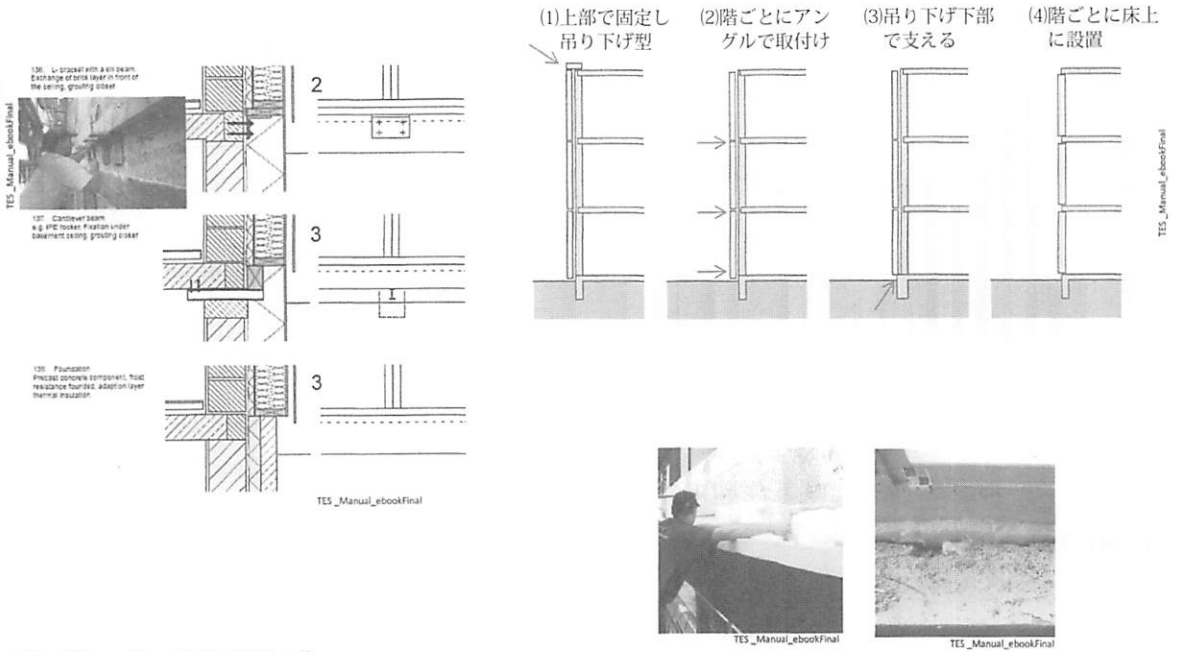
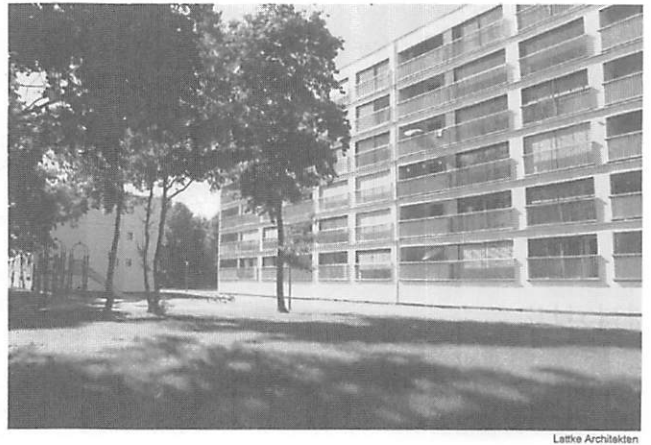


図8 TESファサードの取り付け方法



図9 アウグスブルグ、グリーンテン通りの集合住宅

TES エネルギーファサードの改修  
2011年8月～2012年9月  
2,900㎡  
Latke 建築事務所





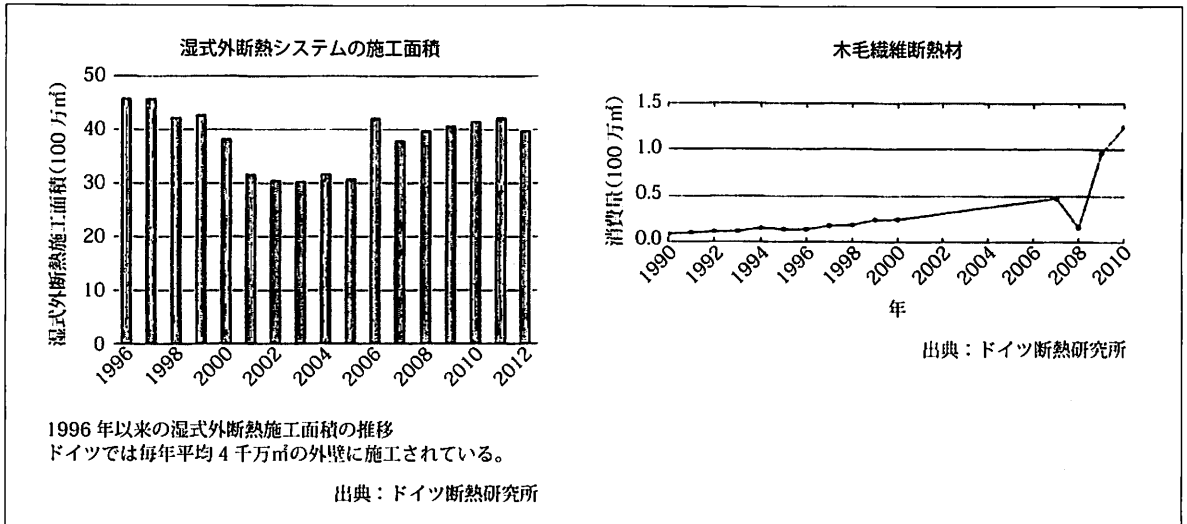


図10 最近の傾向

施工面積はここ数年一定の状態です。推移して参りました。

このTESエネルギーファサードがさらに良い影響を与えるかどうかは今後明らかになるでしょう。

しかしながら、このシステムの断熱材の場合、2008年ごろから新たな傾向が出てきました。すなわち木毛繊維断熱材が使用されるようになったのです。

木毛繊維断熱材の使用はFAO(米食糧農業機関)の統計によると、急激な増加を示しています。

2010年にはその生産量は断熱材全体のすでに4.5%に達しました。

この展開は、持続可能な建設では木造構造だけでなく、この間に木毛繊維断熱材もますます重要になってきたことを示しています(図10)。

## おわりに

これで、私の3部に分けた講演を終わらせていただきます。地球温暖化現象による異常気象で最も被害が多かったのは私の好きな国日本であったと思います。沢山の方が亡くなり、家屋の破壊も多くありました。この災害は過ぎ去ったのではなく、再びやって参ります。ドイツも第一次石油危機以来、何度も断熱の条例を改正、強化して今日に至っております。当初は3重ガラスでアルゴンガスを封入した木製サッシの窓は非常に高価でした。これが法改正により大量に製造され、今日では一般市民が手に届く価格になっております。こうやって省エネ

ギーが進むのです。札幌市の上田文雄前市長、林清治札幌市議会議員、大島佳之札幌市建築部長にもご臨席賜り、大変光栄でした。またこの講演会を主催してくださいました北海道大学大学院工学研究院の菊田弘輝先生に感謝申し上げます。皆様長時間にわたりご清聴を頂きありがとうございました。

## 註

- 1) 1918年創立の断熱に関する研究と試験機関、所在地はMünchen - Gräfelfing, 所長はProf. Dr. - Ing. Andreas Holm, 従業員数75名
- 2) 湿式外断熱システム、WDVS : Wärmedämmverbundsystem, 英語ではETICS : External Thermal Insulation Composite System
- 3) 水蒸気拡散抵抗係数( $\mu$ )は空気の透湿抵抗を材料の透湿抵抗で除した数で、材料の水蒸気拡散抵抗( $\mu$ )が同じ厚さで同じ温度の静止空気層の何倍に相当するかを示している。日本では湿気の通しやすさを示すのに湿気伝導率や透湿率が用いられてきた。また材料の厚さも考慮した場合は「透湿率」が用いられてきた。国際的にはISO規格に水蒸気拡散抵抗係数( $\mu$ )が使用されている。水蒸気拡散抵抗係数では温度、圧力の影響を受けないのに対し、湿気伝導率や透湿抵抗はそれらの影響を受けるので、国際単位系としては水蒸気拡散抵抗係数( $\mu$ )の方が合理的なのである。

## 参考文献

1. 田中辰明 ドイツのエコ建築家ヴォルフガング・レーナート博士講演録 (その1) SDGs(持続可能な開発目標)と建築の断熱 月刊建築仕上技術 2019年12月号
2. 田中辰明 ドイツのエコ建築家ヴォルフガング・レーナート博士講演録 (その2) グレンフェルトタワーの火災 月刊建築仕上技術 2019年12月号
3. 田中辰明 W. レナート博士講演「木質系繊維断熱材と木造建築」月刊建築仕上技術2016年2月号