W. レーナート博士講演 「木質系断熱材と木造建築の発展」

お茶の水女子大学名誉教授 田中辰明

はじめに

平成28年10月18日に(一社)日本断熱住宅技術協会 (平田恒一郎会長)の総会が川崎日航ホテル12階西の間で開催された。総会に先立ち恒例の講演会が催された。今回は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)をお招きし「木質系断熱材と木造建築の発展」という題で講演をいただいた。木質系断熱材とは木毛繊維断熱材の事でもあるが、応用例には触れられなかったので、筆者が本誌平成28年9月号に執筆した「木毛繊維断熱板を使用した高気密・高断熱住宅」の紹介を行った。レーナート先生はドイツのエスリンゲンで建築設計事務所を主宰されている。まず筆者がエスリンゲン市の紹介を行った。筆者が講演の通訳を行ったことにより、講演のまとめは筆者が行うのが適用であると考え講演要旨の報告を行う。

1. エスリンゲン

まず、講師であるレーナート博士(写真1)の略歴およびエスリンゲンの街の概要が紹介された。略歴は以下の通りである。京都大学建築学科への留学経験があり大変な日本通である。

1963年 エスリンゲン(Esslingen)生まれ

1985年 カイザースラウテルン(Kaiserslautern)大学

1988年 ウイーン工科大学

1996~1997年 京都大学工学部建築学科研究生

(DAAD奨学生)

1989年 シュッツトガルト(Stuttgart)大学、1993年

Dipl.-Ing.. 取得

2011年 シュッツトガルト大学で工学博士(提出論文: 日本国江戸時代の庶民住宅の外壁)

2000年より個人の建築設計事務所をエスリンゲンで主宰 2008年よりエスリンゲン市の建築家

2016年南ドイツのノイアポストシュ教会、専属建築家



写真 1 講演を行うレーナート先生

エスリンゲンの人口は91,570名で面積は46,63平方km である。ドイツバーデン・ヴュルテンブルグ州の州都で あるシュッツトガルト(Stuttgart)の南東約40kmの所に 位置する郊外都市である。しかし州都シュッツトガルト はドイツの工業化と共に大都市となったが、中世におい てはエスリンゲンの方が大きな町であったそうである。 ネッカー河に沿った街で、その水運により発達を遂げた。 第二次世界大戦でドイツの都市は殆ど壊滅的な被害を受 けた。しかしエスリンゲンには戦前米軍の高官が住んだ ことがあり、この高官がエスリンゲンの街を気に入って いたので、爆撃をさせなかったそうである。その結果こ の街には中世の建築が沢山残っている。レーナート先生 の設計事務所ではエスリンゲン市の中世建築の保全の仕 事が多いそうである。歴史的建造物であるので、外部か ら断熱改修が出来ず、仕方がなく内断熱を行う場合が多 いそうである。ドイツのように気密性が高い建築では内 断熱を行うと外壁で内部結露を起こすことがあり、内断 熱は好まれない。それどころか、如何に内断熱でも内部 結露を起こさないようにするかが研究材料にもなってい る。

エスリンゲン市に残る中世の建築を中心に写真で示す (写真2~22)。エスリンゲンのクリスマス市は市外からも多くの人が集まり大変に賑わう。建築写真にさらに クリスマス市の様子を添える。



写真 2 仕掛け時計を持つ旧市庁舎(1420年建設)



写真 3 ガッセ(狭い道)から見た旧市庁舎



写真 4 城壁



写真 5 エスリンゲンは高級ワインの産地でもある。



写真 6 城壁のある高台から見たエスリンゲン市街地。右に St.Dionys (セント・ディオニス) と呼ぶ市の教会が見える。8 世紀から存在したが、13 世紀から 14 世紀にかけてゴシックで再建された。



写真7 1377年に建設されたシェルツ門塔



写真 10 町の建物、後方は市の教会である St.Dionys



写真 8 エスリンゲンの名産である発泡ワインケラー、ケスラーハウス (Kesslerhaus) 1932/1933 年に建設



写真 9 Kesslerhaus



写真 11 市内にはネッカー河の支流が流れ、小型水力発電を行っている。



写真 12 水力発電の発電量を表示、さらに二酸化炭素削減量を示している。(ここでは 24 時間で 9.2kgとしている)



写真 13 クリスマス市で有名である。



写真 15 食肉製品の販売



写真 17 子供へのお土産をそりに乗せて運ぶトナカイ



写真 14 ドイツの木工品を示す出し物



写真 16 販売スタンドの屋根もロマンティックに飾られている



写真 18 販売スタンドの装飾



写真 19 販売スタンドの装飾



写真 21 エスリンゲンが賑わった中世の服装で仮想する人たち



写真 20 キリストの生誕



写真 22 お土産の販売スタンド

2.「木質系断熱材と木造建築の発展」

レーナート博士はドイツ語で講演を行い、通訳は筆者が行った。その記録に筆者の責任において注釈などを入れ、書き直した文章を次に示す。

皆さまコンニチワ。

大変丁寧なご紹介のお言葉有難うございます。本日は 木造建築にご興味をお持ちの方に集まって頂いておりま すので、材木と材木を原料とする断熱材を用いた軽量建 築の発達について講演をさせていただきます。

今年(2016年) 4月22日に170ケ国がニューヨークの 国連本部でパリ気候条約に署名をいたしました。8月に は杭州(ハンジョウ)で開催されたG20サミットにおいて 米国、中国も署名をしました。両国は二酸化炭素排出量 の非常に大きな国ですから、これは大変に意義がある事 です。この国々は地球温暖化を産業革命前に比べ2 $^{\circ}$ C低 下させる、可能なら1.5 $^{\circ}$ Cにするという約束をしました。 このためには二酸化炭素の排出を2045年と2060年の間 で増加量を0にしなければなりません。この目的は将来 の建築に多大な影響を与えます。建築材料としての材木 は二酸化炭素蓄積として大きな役割を果たします。

○グリーンテック賞

材木利用のさらなる発展、 新しい木造建築採用は、建築 物の建設、建物の使用、建物 の解体のそれぞれの局面にお いて、将来の二酸化炭素の収 支において、二酸化炭素削減 に大きく寄与します。

欧州では2008年以来グリーンテック賞というものが授与されるようになりました。これは持続可能な環境技術による産物に授与される最



図 1 スイスのエコセル社が 2016 年に受賞したグリーン テック賞

高の環境と経済に対する賞であります。そして新しい木 材が2度、次々にグリーンテック賞を受賞しました。こ のことは木材がエコロジーに果たした役割の意味を大き くしました。

2015年には自然の硬質発泡剤で発泡した発泡木材の研究を行ったフラウンホーファー研究所がグリーンテック賞を受賞しました。このフラウンホーファー研究所とはブラウンシュバイクにある木材の研究所です。ヴィルヘルム・クラウディツ研究所(WKI)とも呼ばれています。1年後の2016年にはスイスのエコセル社(Ecocell)がコンクリートハニカムの開発に関してグリーンテック賞を受賞しました(図1)。

○今後の建築材料に求められる事

近い将来、建築材料が環境負荷を掛けない事とリサイ クル可能な事が非常に重要な意味を持ってきます。今日 まで断熱材の主流は、例えばロックウール、石綿、さら に石油を原料として製造される発泡ポリマーを利用した 発泡スチレンでした。環境保全の立場から、将来はこれ ら現在主流である断熱材を建築材料として使用すること は困難になります。これに対し材木の断熱材は大変環境 に優しくリサイクルにあたっても環境に優しく処理する 事が出来ます。木毛繊維断熱材は今日樹木を基礎とした 唯一の断熱材です。樹木を基礎とした硬質発泡の製造方 法は今日まで存在しませんでした。木毛繊維断熱材は繊 維による断熱材です。建築物理学的観点から繊維断熱材 は植物を原材料として多くの利用方法があることを示し ています。木毛繊維断熱材は吸湿性を有する繊維構造を 有していることから拡散性能を有する壁の構築に適しま す。木毛繊維断熱板を使用した外壁はある程度まで湿気 を吸収し、後になって断熱性能を低下させる事無く湿気 (水蒸気)を放出いたします。このような自動的な調湿作 用により自然の繊維断熱材は室内気候にポジティブに作 用します。これに加えて夏の防暑、騒音防止、遮音にも 大きな効果をもたらします。

○発泡木材 ─ エコロジーな硬質発泡

2014年以来ブラウンシュバイクのフラウンホーファー研究所(WKI)では材木を基礎とした硬質発泡の開発を手掛けてきました。発泡木材の製造は最初に材木を繊維状にし、さらに細かな粒子に粉砕致します。続いて水が加えられ、どろどろの状態になります。この過程で木材特有のリグニンと呼ぶ接着剤が放出されます。二酸化炭素の導入により発泡し固体となります。発泡に際し砂糖とでんぷんを添加し、大きな硬度と圧縮強さを発揮

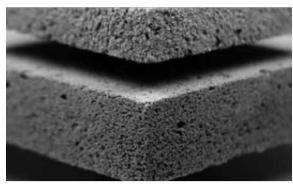


図2 エコロジカルな硬質発泡である「発泡木材」

致します。この強度は発泡コンクリートと同じで他の自然材料による断熱材ではこの強度を発揮できません(図 2)。

発泡木材の長所は次の通りです。

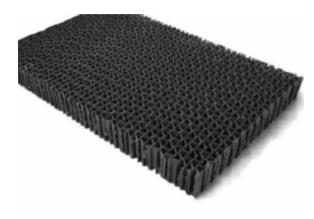
- ・硬質発泡を製造するのに化学薬品の添加は不要です。
- ・燃焼に際し、火炎を上げないで燃焼します。発泡スチレンのように滴下することがありません。
- ・発泡木材は環境に優しく古紙と同じように廃棄する事 が出来ます。
- ・フレキシブルに設置する事が出来ます。梱包材料としての使用にも適します。
- ・自重が軽量であるので軽量建築材料として使用するの に適しています。

○ハニカム壁

2016年のグリーンテック賞の受賞はハニカム板を使用したサンドウイッチパネルのさらなる開発に授与されました。ハニカムボードの構造原理はこの数十年、扉、軽量間仕切り、家具工業などで知られていました。それらはサンドウイッチパネルの両側に被覆材料、もしくは自然の材木板、チップボードもしくはMDF板などで覆う事により製造されました。両面の覆いの間は紙もしくはボール紙のハニカムで製造されました。剪断力、曲げ応力に対しIビームの原理で改善を行いました。ハニカムボードの長所は特に軽量建築と耐力50t/㎡までの建築に適する事です。

○コンクリートハニカム

スイスのエコセル社(Ecocell)社が開発し、2016年に グリーンテック賞を受賞したコンクリートハニカムをご 紹介します。



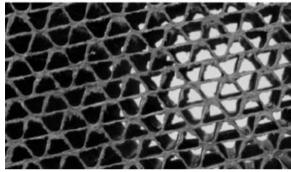


図3 ハニカムボード



図4 サンドウイッチ状になったハニカムボード

ハニカムボードは従来主に建設では軽量の間仕切り壁に利用されていました。スイスのEcocell社によるコンクリートハニカムの開発によりハニカムボードが外壁や屋根に利用できるようになりました。金属製被覆にセメントで後処理することでこの事が出来るようになりました。この工程でハニカムの空間が開放されていることが重要です。乾燥過程の後でコンクリートハニカムはサンドウイッチの要素からなる建築システムとしてさらに加

工されます。

Ecocellの建築システムは次の要素からなります。

- 壁の屋根の要素
- 接続と隔離の要素
- そして特別な建築要素

(図3、図4)

○コンクリートハニカムの材料特性

コンクリートハニカムはハニカムをセメントで被覆することにより特別な材料特性を持ちます。軽量であるという特性はそのために大して変化致しません。セメント被覆することでハニカムの圧縮強度は220t/㎡まで上昇します。熱伝導率は0.13W/(mK)以下と丸太よりも小さな値になります。

外皮があるサンドウイッチ工法によりコンクリートハ ニカムは次の特性を所有することになります。

- 断熱の要素
- 防音・遮音の要素
- 引っ張りと圧縮を受ける構造的要素

サンドウイッチ要素の完成ののちは耐火時間は75から120分になります。

○エコセル建築システム

Ecocell建築システムではコンクリートハニカムは壁や天井のエレメントとして利用されます。この工法をエコセル建築システムと呼びますが、OSB板のように単層、もしくは2層もしくは3層のサンドウイッチパネルとして利用いたします。個々の建築要素の接合はネジを用いた実矧ぎ(さねはぎ)継で行います。これにより建物が使用済となり廃棄される場合も再利用が可能になります。

外壁からの熱損失がさらに減少するようにEcocell社 は透明な断熱材も開発しました。この断熱にもコンク



図5 コンクリートハニカムの外壁(エコセル建築システム)



図 6 コンクリートハニカムの間仕切り壁(エコセル建築システム)



図 7 コンクリートハニカムの天井(エコセル建築システム)



図8 多層のコンクリートハニカム(エコセル建築システム)

リートハニカムが利用されました。この構造では外側に ガラス板が利用されます。日射が当たると、ガラス板を 通してハニカム内の空気が温められます。この効果によ りコンクリートハニカムの断熱特性を数倍引き上げる事 ができます。(図5、図6、図7、図8)

○木毛繊維断熱板使用の木造構造における二酸化炭素削減

持続可能で、管理された森林から産出される木材を建設に利用する場合、二酸化炭素の削減は様々な方法で行われます。木材は丸太のまであったり、加工された木材として建物建設に利用されます。残材、または木材の廃棄物が木毛繊維断熱板の材料になります。木毛繊維断熱板は木材の特質として、二酸化炭素の発生を自身の中に蓄えます。建物に使用されることで、暖冷房におけるエネルギー消費を削減致します。その事で、二酸化炭素の排出を削減するという事になります。

ポリスチロール、ガラス繊維、石綿のような他の断熱 材料と比較し、木毛繊維断熱板は優良なエコバランスを 示します。製造過程においても地球温暖化ガスの排出が 少ないのです。

環境負荷係数(UBP)^{註1)}熱貫流率0.2W/㎡Kで比較 し、木毛繊維断熱板は全ての生命サイクルで一番小さい 値を示します。

木毛繊維断熱板の製造には2つの方法があります。 1930年代にスエーデンで開発された湿式製造法と2000 年代に導入された乾式製造方法です。

○湿式製造法による木毛繊維断熱板

木毛繊維断熱板の製造には針葉樹が使用されます。針 葉樹の長所は供給が安定していることと、繊維の質の良 さにあります。湿式製造法による木毛繊維断熱板の製造 では樹木そのものが持つ接着力が利用されます。木毛繊 維は水を加えて粥のような状態に致します。場合によっ ては製造過程で、樹脂、もしくは瀝青を含む添加物が混 入することもあります。特に強度を必要とする場合や、 水を避ける特性を必要とする場合にこの混入が行われま す。例えば天井の下地板に利用する場合などは樹脂混入 の製品が使用されます。

製造過程で、途中の貯蔵所の後で、木毛の粥状のものは成型機械へ入ります。ここで繊維の搾りかすの状態になります。次の段階で繊維の搾りかすから水分が圧縮除去され、ある長さに切断されます。その後乾燥の為に160から220℃の温度の乾燥ダクトを通り、乾燥されます。最後の過程で乾燥した繊維搾りかすは板状に切断されます。表面にギザギザが設けられたリ、またより厚い板にするため接着が行われます。湿式製造による木毛繊維断熱板は硬く形状が安定した板を製造する事が出来ます。但しこれから説明する乾式工法に比べてエネルギーを多く使用するという欠点があります。

○乾式製造法による木毛繊維断熱板

およそ、15年前に木毛繊維断熱板の新しい製造方法が 導入されました。全く水を使用しないいわゆる乾式製造 方法です。乾燥した木毛繊維が直ちに製造過程に入りま す。乾式製造法は軟質で形状は安定した木毛繊維断熱板 を製造することができます。

形状が安定し、圧縮にも強い木毛繊維断熱板は乾燥後混合塔で4%までの硬質ポリウレタンが混入されます。その後、拡散された繊維は希望の厚さに圧縮されます。蒸気と空気の混合が吹き付けられ、硬化されます。この製造方法はMDFの製造方法と似ています。

フレキシブルな木毛繊維断熱板を製造するには結合繊維が冷却時に混入されます。結果、乾燥機の中で縄の状態になります。そこで結合繊維は加熱され、冷却時に木毛繊維と結合します。その後必要な大きさに切断されます。

○湿式外断熱工法の為の木毛繊維断熱板

外壁の湿式外断熱工法では湿式工法と乾式工法の両方の木毛繊維を使用する事が出来ます。重要なのは表面の仕上げの為のプッツと木毛繊維断熱板に適した材料の選択です。この両方の構造は外壁断熱に使用する木毛繊維断熱板に異なった可能性を示します。図9に示す構造は二つの異なる断熱板を示しております。壁に直接接しているのは軟質で、フレキシブルな断熱板PAVAFLEXです。これは乾式工法で製造されました。外側には形状が安定した断熱板DIFFUTHERMです。これは湿式工法で製造されました。これが(図9、A)です。一方図10に示す構造は一枚の断熱板からなっています。これは乾式工法で製造されたPAVAWALL-BLOCと呼ばれています。これが(図10、C)です。

炎暑の夏の日には木毛繊維断熱板は熱の侵入を遅らせ、外壁の過熱を遅らせます。これは蓄熱能力を持つことによります。温度が下がった夜間に再度熱を放出いたします。このような時間的遅れを「位相の遅れ」と呼んでいます。

この二つの構造の例は例えば120mm厚の断熱板の場合でも、湿式工法による断熱板と乾式工法による断熱板では位相の遅れが異なります。これに対し、断熱厚さが200mmに達しますと、位相の遅れに差は生じません。

○断熱された木造の壁

火災の場合、断熱材は様々な変形をいたします。EPS

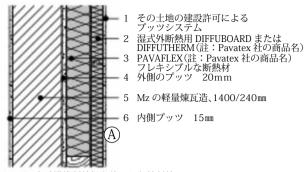


図9 木毛繊維断熱板を使用した外断熱

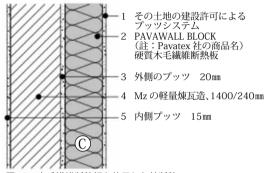


図 10 木毛繊維断熱板を使用した外断熱

(発泡スチレン)の場合、最初に溶解致します。それから 燃焼する溶解物の滴下が起こります。この事が更なる火 災の拡大をもたらせます。

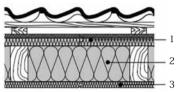
木毛繊維断熱板の場合、火災ではEPSで発生する通常の発火とは異なる状況を示します。火災では木毛繊維断熱板の表面が炭化します。その事により、酸素の侵入を妨げ火災の拡大を防止いたします。さらに高い蓄熱性能により火災による熱を少ししか内部に送りません。中断熱、外断熱の木毛繊維断熱板は木造建築の外壁を長時間火災にさらすことを可能にしました。100mm厚さの中断熱と60mm厚さの外断熱で、30分の耐火試験に合格しております。中断熱を180mmとした場合は90分になります。

○夏季の断熱と屋根の遮音

木毛繊維断熱板は密度が大きい事で良い蓄熱性能を所有いたします。ですから火災の場合も屋根からの暑さを減少させる事が出来ます。特に外側の断熱板が重要な役割を果たします。これには湿式工法で製造された木毛繊維断熱板が使用されます(図11)。乾式工法で製造された木毛繊維断熱板よりも蓄熱性能が大きいからです。中とさらに内側の断熱板は乾式工法で製造された軟質の木



図 11 屋根断熱の木毛繊維板敷き込み



効果的な遮音性能をもたらせます。

図 12 屋根の断熱システムの例

PAVATHERM—PLUS60mm (註:Pavatex 社の商品名) PAVAFLEX

(註:Pavatex 社の商品名) PAVAROOM 30/60 (註:Pavatex 社の商品名)

毛繊維断熱板が使用されます。この蓄熱性能はやや劣ります。3層の断熱厚さはそれぞれ異なります。表面の断熱厚さは60mmです。軟質でフレキシブルな中央に使用される断熱材厚さはドイツでは200mmです。内側の断熱材厚さは30か60mmです(図12)。このような屋根構造は

○断熱された屋根

時に外側に用いられる木質繊維断熱板は他の断熱材料 と混合して使用されます。

ここで示す例は外側は35mm厚さの木毛繊維断熱板です。これはPAVATEX社のISOLAIRと呼ぶ製品です。これは乾式工法で製造されました。その下に中断熱材として軟質なフレキシブルな200mm厚さの断熱材が使用されるれます。それはロックウール、ガラス繊維が使用されることもあります。または乾式工法により製造された木毛繊維断熱板が使用されます。この中断熱に使用されるのは55kg/㎡という大きな密度の木質繊維断熱板です。PAVATEXISOLAIRと同じ構造で大きな密度は熱の侵入に大きな影響をもたらせます。熱の侵入に対する位相の遅れは木毛繊維断熱材料を使用した場合、ロックウールやガラス繊維を使用した場合に比べ、5.3から4.5時間長くなります。(表1、表2)

表 1 断熱材の種類と熱容量

| 断熱材の種類 | 厚さ(mm) | 密度(kg/m³) | 熱容量 (J/kgK) |
|-----------|--------|-----------|-------------|
| ISOLAIR | 35 | 240 | 2100 |
| PAVATHERM | 200 | 140 | 2100 |
| PAVAFLEX | 200 | 55 | 2100 |
| ロックウール | 200 | 32 | 830 |
| グラスウール | 200 | 16 | 1030 |

表 2 断熱材の組み合わせと位相の遅れ

| | | | 位相の遅れ |
|--------------|---|----------------|--------|
| ISOLAIR 35mm | + | PAVAFLEX 200mm | 8.7 時間 |
| ISOLAIR 35mm | + | ロックウール 200mm | 4.2 時間 |
| ISOLAIR 35mm | + | グラスウール 200mm | 3.4 時間 |

F17木毛繊維断熱板による内断熱

〇内断熱

外壁が外部から断熱出来ない場合、内側から断熱を行うという可能性が残ります。内断熱は建築物理学の観点から多くの場合結露発生が生じます。この事は建物損傷やカビの発生をもたらせます。Pavatex社は2年前に様々な建築物理学的特性を持つサンドウイッチ構造の木毛繊維断熱板を開発しました。この木毛繊維断熱板はPAVADENTROと呼ばれています(図13)。これは毛細管現象の活発な動きと木毛繊維が持つ熱と水蒸気の特性を利用しております。このようにして結露の発生を防止致しております。さらに湿気の移動を制御する被覆を作成し、湿気侵入を防止しております。

PAVENDOROは粘土もしくは石膏のプッツで覆う事もできます。このような工法で困難な条件でも快適な環境を創造することが可能になります。

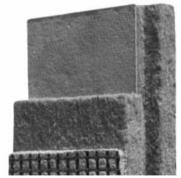


図 13 木毛繊維板による内断熱の例

○木毛繊維断熱板による内部断熱

その他の健全でエコロジカルな内断熱で新しく開発された木毛繊維断熱板があります。それはPAVAROOMと



図 14 通気層のある屋根断熱の例

表 3 断熱材と物性値

| | Pava Room | プラスターボード |
|--------------------|-------------|----------|
| | (20mm) 40mm | 12.5 mm |
| 密度 $ ho$ (kg / m³) | 230 | 680 |
| 単位面積重量(kg/m²) | (3.60),7.20 | 8.5 |
| 熱伝導率 λ W/(m・K) | 0.044 | 0.25 |
| 比熱(J/kgK) | 2100 | 960 |
| Sd 値(m) | 3.5 | 0.13 |
| 燃焼特性 | E | A2 |

呼ばれます。

特別な特徴はセルローズを基盤とした上の白い機能膜です。これは設置後だけでなく、明るく、友好的な外観を持ちます(図14)。それは建築物理学的に水蒸気止めとして作用します。この事で木毛繊維断熱板が堅固なものとなり、曲げ強度を増大させます。組み立ては木造下地の上に800mmまでの軸間隔で設置されます。

この木毛繊維断熱板は密度が230kg/㎡で石膏や石膏板の上に内装板を貼る場合に比べて4~5倍軽くなります(表3)。小さな自重故に構造上の荷重を減少させます。約150平方メートルの独立住宅屋根裏部屋で内装材をPAVAROOM使用の場合1トンまで重量を減少させる事が出来ます。

この例でご覧のように木毛繊維断熱板の新開発の可能性は常に大きくなっております。他の断熱材は成長の余地が少ないのに対し、ドイツでは2008年以来木毛繊維断熱板の消費は常に上昇しております。

○結論

今日の観点からエコロジカルで持続可能な建築材料に は未来があると申せます。

建築物理学的視点から3つのグループに分類できます。

- 毛細管現象が活動的な内断熱システム
- 拡散に開放的な内断熱システム
- 水蒸気抑制、もしくは水蒸気止めのある内断熱システム 水蒸気抑制、もしくは水蒸気止めがある場合、拡散密 度が高い内断熱システムでは高温側の空気密度が分離さ れます。この事は水蒸気が断熱に入ることを防止します。 断熱材料はそれ自体で水蒸気止めになります。繊維断熱 材料ではミネラルウールの断熱材では、断熱材と水蒸気 止めが一体化しています。このようなシステムでは外壁 を通しての水蒸気の拡散や水蒸気制御は起こりません。 毛細管現象が活発な内断熱では内側に設ける水蒸気制 御、もしくは水蒸気止め無しに機能致します。結露発生、 激しい水蒸気の侵入などの湿気の問題は適合した材料で 制御できます。この場合断熱材の細い穴が発生する水蒸 気を輸送し排出します。

もし壁構造が内部への乾燥が必要な場合、木組み構造 の場合拡散に下方された内断熱が適しています。これは 湿気を変化させる水蒸気止めと拡散に開放された木毛繊 維、ミネラルウール、セルロースのような繊維断熱材と の組み合わせで可能になります。木毛繊維断熱材料は水 蒸気の吸放湿に適しています。

ご静聴有難うございました。

〈参考文献〉

- Dr. Wolfgang Lehnert: "Aktuelle Entwicklungen beim Däm men und Bauen mit Holzwerkstoffen (木質系断熱材と木造建 築の発展): (講演会参加者に配布された資料)
- 田中辰明:「木毛繊維断熱板を使用した高気密・高断熱住宅」月刊建築仕上技術、Vol.42. No.494, 2016-9

〈註〉

1. 環境負荷係数(UBP):最近欧州で使用されている建築材料の環境に与える係数。生産に関わるエネルギー、廃棄に関するエネルギー、リサイクルの可否、この材料を使用することにより寄与する省エネルギー性を総合して評価する