

集合住宅における健康性・快適性向上に関する研究 —吸放湿特性を持つエコロジカル建材の開発—

末永 義明* 伊藤 雅明**

要 旨

21世紀は地球環境の時代と言われている。建設業も環境負荷の削減、地球環境に優しい取り組みを進めている。建設は人と自然との共存のための環境を作り上げる作業でもある。

我が国の建物には自然素材の活用、自然エネルギーの利用が見られ、自然から学び知恵として活用する、共生の考えがあった。これは、日本の建築の特質でもある。建築材料である、ひのき、ひば材には抗菌性が、ヒノ木精油には防ダニ効果が、土壁、木材、畳、襖などには吸放湿性がある。自然の素材を活かし作られた建築物は、廃棄した場合にも環境を破壊することなく自然の中で分解される。地球環境を考える時に、自然環境と共生する知恵を復活する必要があると考えた。

土と紙を使い、製造段階の環境負荷が少なく、廃棄しても土に戻り、リサイクルも可能なエコロジカル建材の開発を計画した。私たちが開発したエコロジカル建材は吸放湿性能と防かび特性を持ち、屋外に設置したチャンバーの試験では約10%の調湿効果を示した。

1. まえがき

我々の快適な生活を支えているのは化学素材により作られた製品である。集合住宅では壁、床材料として大量に使われており、自然素材による材料を探すのが困難なほどである。化学素材による建築材料は自然の姿に似せた、視覚的、触角的な配慮はされても、自然の素材が持つ特性、吸放湿性、ひのきやひばが持つ人に優しい抗菌性については充分でない場合が多い。

自然に似せた建築材料として、軽量床衝撃音対策床材がある。表面は木だが、裏に貼り付けられた緩衝材によりカーペットと同様な歩行感がする。軽量床衝撃音床材をコンクリートに直貼りした床で、子供が転び頭蓋骨骨折した例が報告されている。視覚的には木で歩行感はカーペットでもコンクリートと同じ堅さの床が原因であった。床衝撃音対策のために、我々の素材に対する感覚的な特性を替えてしまった例である。

最近の集合住宅では室内の気密性能向上と共に、建材から発生する化学物質、ホルムアルデヒド、VOC（揮発性有機化合物）等による室内空気汚染が問題となっている。気密性の高い住宅では、建材の接着剤、可塑剤、抗菌・防かび材として使われている微量の化学物質が室内に発散し蓄積することにより健康に害を及ぼしている。有機系薬品による抗菌・防かび剤では効果を得る為に必要以上の能力を加える場合もあり、長期的暴露として健康への影響が懸念される。

集合住宅では室内材料の吸放湿性の不備による結露や乾燥等の被害も生じている。集合住宅で使われてい

る樹脂系の建材には、吸放湿性能がほとんど無いためである。対策として、乾燥には加湿器、結露には除湿器、臭いには脱臭器、などの対処法的な方法が取られており問題を複雑にしている。

化学製品による建材は生産、廃棄の段階で環境に影響を及ぼす場合がある。私たちは自然の素材が持つ特

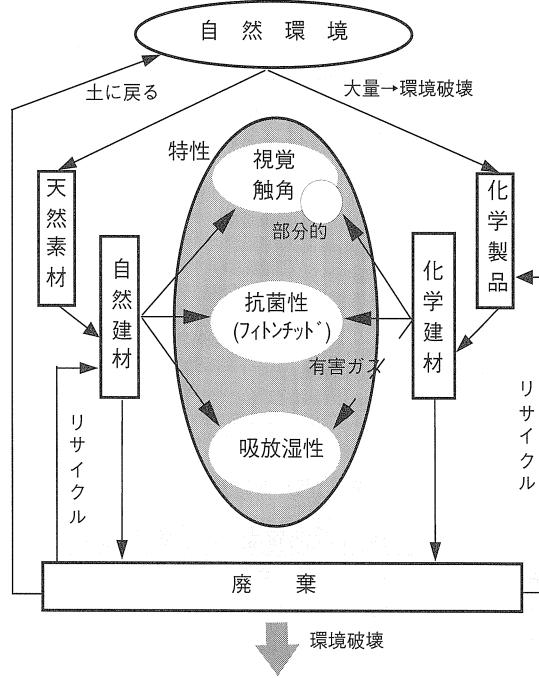


図-1 環境と建材

*技術研究所 **第二技術部

性を理解・活用し、環境とも調和するエコロジカル建材を活用する必要がある。

2. 吸放湿特性

2.1 吸放湿の目的

住居内には吸湿能力のあるものがある。表-1は建材として使われる材料の吸湿量である。吸放湿力のあるといわれる木材の吸湿質量は1m²で約10gある。表-2は、住宅内で見られる吸湿効果のあるものである。書籍等の吸湿性能は質量比で1~2%、吸湿能力が大きな電話帳でも1冊当たりの吸湿質量は約30gである。書籍等では吸湿性能が飽和に達するまでに約500時間が必要であり、反応速度が遅いのも特徴である。雑誌、書籍では切り口面の吸放湿性能が大きいと予想され、置き方により吸放湿能力が変化する。

住居内で見られる、ものによる吸放湿能力はあまり大きなものではない。建材や書籍等の吸放湿能力に対し結露対策を期待するのは難しい。建材等によるパッシブな吸湿性能は反応速度が遅く急激な湿気の放散には有効ではない。炊事、浴室からの急激で多量な湿気の発生には、換気による対策が必要とされる。

建材等に対しては、急激で大量の湿度変動ではなく、気象の変動に対する調湿効果を期待するのが妥当である。吸放湿建材には、吸湿・放湿の応答速度、湿気容量、特に高い湿度で能力を発揮することが必要とされる。数日程度の気象変動に対する調湿効果では、木材の吸湿量から考えても大きな吸放湿性能は必要ないと考えられる。

表-1 1m²の吸湿質量（建材）⁴⁾

材 料 名	吸湿質量(g)
木毛セメント板	25.1
軟質繊維板	14.2
米桟（柾目）	13.2
石綿スレート	11.1
しな合板	11.4
杉（板目）	10.4
米ひのき	8.4
石膏ボード	4.1

注) 温度を一定とし、1日周期で相対湿度を変動させた。

表-2 書籍等の吸湿能力⁵⁾

	冊	吸湿質量(g)	質量比(%)
書籍(B5)	28	97	1.20
雑誌(B5)	13	162	2.00
新聞紙	54	96	2.01
電話帳	5	163	2.00

注) 吸湿時間500時間による能力。

建材に対して調湿効果を期待するには大量に使えることも重要である。集合住宅を考えると壁紙、特に天井材としての使用が有効である。

吸放湿建材に使われる多孔質材料には脱臭効果、ガスに対する吸着性、カビ、バクテリアなどの微生物吸着性のある場合が多い。多孔質材料の特性による影響についても確認する必要がある。

また、化学物質により作られた建材が廃棄物として環境に影響を与えており、廃棄しても自然に戻り、リサイクルも可能である事、化学変化によらない製造方法などの配慮も必要である。この点では、古くから使われている日本家屋での建材が参考になる。

2.2 吸放湿材料

化学的に吸着する場合をのぞいて、吸放湿性能に優れた多孔質材料は、表面に多数の連続気泡を持っている。吸放湿特性は、気泡の細孔径の大きさと比表面積が影響する。比表面積は粒子の大きさと細孔径により決まり、吸放湿の応答速度とも関係すると考えられる。表-3は主な多孔質材料の細孔径である。吸湿容量を考えると細孔径が小さい方が比表面積が大きくなり有利である。湿気を吸着しやすい細孔径は2.4Å~6.2Åとも言っている。³⁾この結果から判断するとゼオライトが最も優れた吸放湿材料となるが、建材では耐久性、強度も考慮する必要があり、他の素材との複合により成形される。商品化されている吸放湿建材を見ると、多孔質材料としてゼオライトとセメント、珪藻土とセメント、石灰、オカリナ等により構成されている。吸放湿建材の吸放湿性能は多孔質材料の細孔径だけで決まるものではない。複合される材料との関係、相性が重要となる。

吸放湿容量は建材の厚みと関係するが、湿度の日変動による集合住宅内での湿度変化を考えると有効に働く調湿領域は厚さで数mmと考えられており吸湿容量より吸放湿の応答速度が重要になる。

建材の形態としては、ボード状だけでなく、壁紙など色々な可能性が考えられる。

表-3 多孔質材料の細孔径¹⁾

材 料 名	細 孔 径
ゼオライト	3~10Å
シリカゲル	15~200Å
アルミナ系吸着剤	40~400Å
活性炭	10~80Å
クリスパール	30~200Å
珪藻土	3000Å~10μm
軽量骨材	200Å~100μm

3. 吸放湿材の基礎的検討

3. 1 吸放湿材料の条件

吸放湿建材としてシート状のものを考えた。水蒸気の吸放湿を目的とすると、接触面の大きさが重要であり、吸湿容量と関係するのは材料の厚みである。吸湿容量と関係する厚みは、数日単位の吸放湿を考えると5mm以下で充分と考えられる。吸放湿速度は多孔質材に添加する材料により決まると考えられる。

吸放湿は空気中の水蒸気と接触する面の状態が重要であることから、塗装等で変化を起こさないように、仕上げを兼ねた材料とする必要がある。

吸放湿特性は汚れ、劣化等により低下すると考えられることから、取り替えられ廃棄された後のことでも考える必要がある。エコロジカル建材として、廃棄しても自然界で分解し、焼却しても有害ガスを発生しない、リサイクルも可能であることが重要と考えた。

試験シートの製作方法は、エコロジカル建材として化学反応や接着剤を使用しないで成形する事とし、次の基準のもとに検討をおこなった。

- ・自然界に存在する材料である事
→廃棄しても環境を破壊しない。
- ・水分の吸着が化学反応によらないこと
- ・吸放湿能力が大きなこと
→比面積の大きな多孔質材料を使用する。

検討の結果、手漉き和紙の製法をヒントにパルプと多孔質材料を組み合わせた吸放湿シートを試作した。紙には吸放湿性能があり（表-2）、リサイクル可能な材料である。また、従来から手漉き和紙では色々な材料を混入する試みがされている。ベースとなるパルプは新聞古紙、和紙を使い、多孔質材料としてはクリスパール、ゼオライト、珪藻土を使用した。

3. 2 作成方法

試験シートの製作では小型の手漉き紙製造装置を利用した。多孔質材である、クリスパール、ゼオライト、珪藻土の混入比率を70%、50%、20%の3種類、ベースの紙は新聞古紙、和紙の2種類、合計6種類の試験シートを作製した。試験シートの厚さは約1mmである。試験シートは次の手順で作製した。

- ①ベースとなる紙、多孔質材料を必要量計量する。
- ②紙の繊維が切斷されないように2~3cmの大きさに手でちぎる。
- ③ちぎった紙をミキサーに入れ10分間水に浸した後に、攪拌して液状にする。
- ④多孔質材料を入れ再度ミキサーで攪拌する。
- ⑤紙漉機に攪拌した材料を流し込み、圧力を加えて水分を除去する。

⑥ステンレス板の上に漉いた紙を置き、自然乾燥又はアイロンで乾燥させる。

⑦試験体を自然乾燥させた後に、さらに乾燥炉で1~2時間乾燥させて絶乾状態とした。

3. 3 吸湿性能

吸放湿性能の把握方法として絶乾状態からの試験シートの吸湿による質量変化を計測した。試験シートを塩化カルシウムにより湿度90%になるように調整した小型チャンバーに入れ密封したあとに、温度25℃の恒温槽に入れ、試験シートの吸湿による質量変化を1日1回計測した。吸湿量は定常状態となる7日目以降の3日間の質量増加量を平均して求めた。

試験結果は表-4、表-5となり、多孔質材の混入量が大きくなるに従い吸湿量が増加しており、70%混入した場合に吸湿量が最大となった。多孔質材の混入率を増やせば吸放湿性能は向上するが、混入率を上げるに従い多孔質材料の剥離が起こり、シートとして成形するには混入率70%が限界であった。

多孔質材の比較では、クリスパールを70%混入した場合に吸放湿量は最大を示した。多孔質材を比較するとクリスパールが優れていると判断された。

ベースとなる紙による、吸放湿量の比較では和紙とクリスパールを70%の比率で混入した試験シートが最大の吸湿量となった。和紙は繊維が太く隙間の大きな構造であり、古紙は繊維が細く短く細分化されている。和紙を使った試験シートでは多孔質材と紙材の空隙がからみ合い吸湿性能が向上したと判断された。多孔質材料の混入率が少ない場合に吸放湿性能が一定しないのはベースとなる紙と多孔質材が上手く絡み合わないなど製造方法に問題があるものと判断された。和紙の産地による組成の違いも吸放湿性能に差が生じ、繊維が太い和紙の場合に良い結果が出た。

表-4 1m²の吸湿質量（古紙）

混入量	多孔質材料の種類		
	クリスパール	ゼオライト	珪藻土
70%	125.3 g	96.0 g	94.7 g
50%	81.3 g	72.0 g	72.0 g
20%	64.0 g	78.7 g	64.0 g

表-5 1m²の吸湿質量（和紙）

混入量	多孔質材料の種類		
	クリスパール	ゼオライト	珪藻土
70%	141.3 g	109.3 g	133.3 g
50%	64.0 g	61.3 g	81.3 g
20%	70.7 g	58.7 g	57.3 g

3. 4 かび特性試験

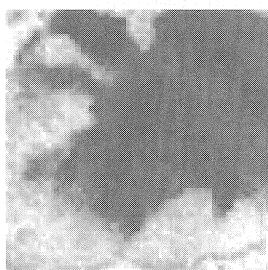
吸放湿建材では、吸湿により建材の含水率が高くなる。特に吸放湿を繰り返す表面の湿気は高くなり、かび発生が懸念された。そこで、吸放湿材の表面における、かびの発生と生育について試験を行った。

試験体として和紙と多孔質材料による吸放湿シートを3種類作製した。多孔質材の混入比率は吸放湿効果が高い70%とし、普通和紙を加えた4種類のシートについて試験を行った。

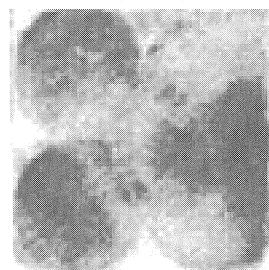
- ・和紙+クリスバール（70%混入）
- ・和紙+ゼオライト（70%混入）
- ・和紙+珪藻土（70%混入）
- ・普通和紙

試験はオートクレーブで滅菌した試験シートにかびの繁殖を見るために、かびの栄養分として卵黄をスタンプスプレードにより塗布し、さらに濃度調整したかび菌（Penicillium）を塗布した。試験シートを温度25°C、湿度90%に調整したチャンバーに入れ密封し、2週間培養し、かびの発生状態を観察した。

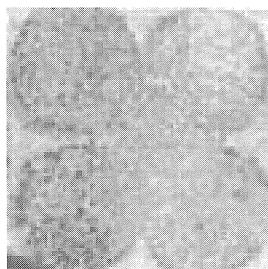
実験開始3日目に和紙の表面にかびの胞子が確認された。写真-1は実験開始2週間目のかび発生状態である。ゼオライト、珪藻土を混入した吸放湿シートにはかび発生と繁殖が見られた。クリスバール入りの吸放湿シートでは内部結露水落下の影響で栄養分を塗った円形部分の一部に胞子が確認されたが繁殖するにはいたっていない。また、栄養分を塗っていない部分にはかびの発生が見られない事から、クリスバールを混



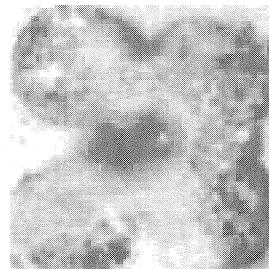
和紙十珪藻土



和紙十ゼオライト



和紙十クリスバール



普通和紙

写真-1 実験開始2週間後のかび発生状態

入した吸放湿シートはかび発生に対し、他の多孔質材を入れたシートと比べ有利であると判断された。

3. 5 まとめ

吸放湿性能を得るための多孔質材としてクリスバールはゼオライト、珪藻土と比べ優れていると判断された。クリスバールは和紙との相性も良くシート状の建材としての可能性が判断された。

シート状では容積あたりの吸湿量は大きいが厚みが薄いため、調湿効果を得るために面積当たりの吸湿量が不足している。シート状の欠点を補う方法として他の建材との組合せによる改良が必要と判断された。

4. 吸放湿性能の改良

4. 1 複合による検討

薄い吸放湿シートを建築材料として使用するには下地材が必要である。集合住宅の下地材としては石膏ボードが使われることが多い。石膏ボードには木材の半分程度の吸湿量（表-1）があるが放湿力が弱く吸放湿建材としての活用には問題がある。吸放湿シートを加える事により放湿性能の改善が可能ではないかと考えた。

4. 2 吸放湿性能の試験方法

試験体は厚さ9mmの石膏ボードに吸放湿シートを貼りあわせたものとした。シートの厚みによる変化を把握するために1mmと3mmを加え3種類とした。

- ・石膏ボード（厚さ9mm）
- ・石膏ボード+吸放湿シート（厚さ1mm）
- ・石膏ボード+吸放湿シート（厚さ3mm）

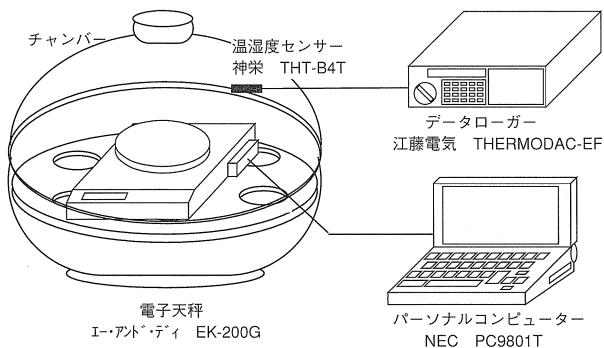
試験体は表面以外からの吸放湿による影響を除くために周囲、裏側を耐水性アクリル接着剤を使いポリエチレンシートにより密封した。

比較のために、試験体は絶乾状態と3日間室内（温度18°C、湿度40%）に放置した2種類とした。

図-2は試験装置である。ポリカーボネイト製の密閉型チャンバーに電子天秤（エー・アンド・ディ EK-200G）を入れ、電子天秤上に設置した試験体の吸放湿による質量変化をコンピューターに取り込み記録した。電子天秤の最小秤量は0.01gである。

チャンバー内の温湿度変化を把握する為に、温湿度センサー（神栄 THT-B4T）を入れ、データロガー（江藤電気 THERMODAC-EF）に記録した。

チャンバー内は塩化カルシウム水溶液により湿度80%に調節し、試験体を入れたあと密封し温度25°Cに設定した恒温槽に入れた。立ち上がり時の吸放湿特性を把握するために、計測間隔を1時間とし、吸放湿による重量の変化を自動記録した。



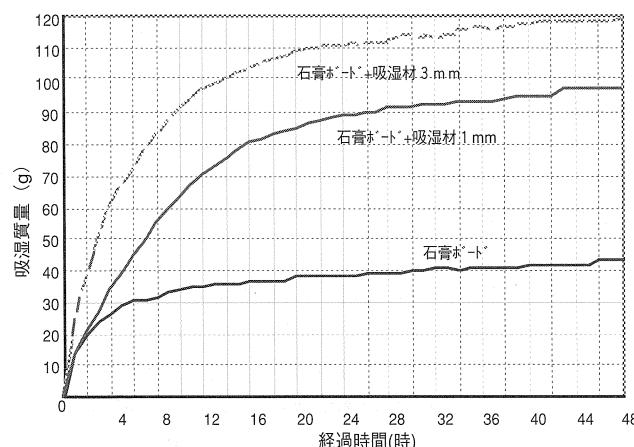
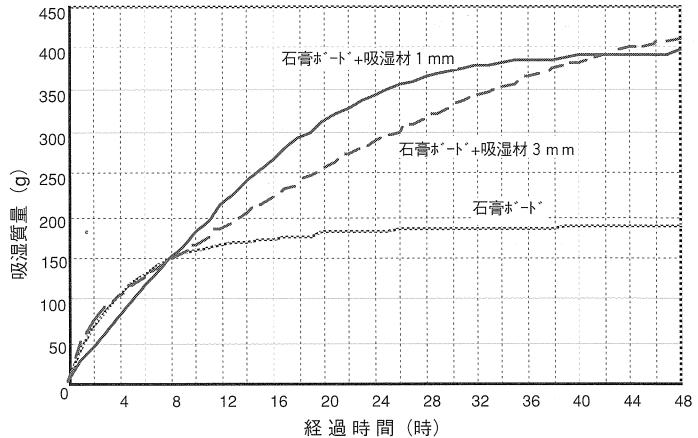
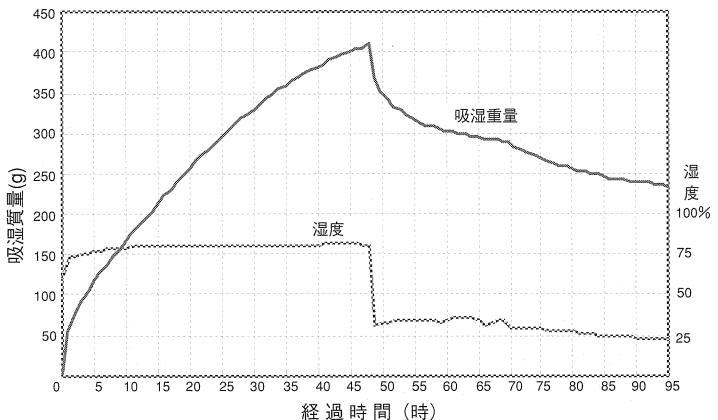
図一2 吸放湿実験装置

4. 3 吸放湿性能

図一3は室内に放置した吸放湿シートと石膏ボードによる複合材の吸湿質量である。1 m²当たりの吸湿質量は吸放湿シートの厚さが1 mmで約100 g、厚さ3 mmで約120 gであった。石膏ボード単体の吸湿質量が1 m²当たり約40 gであることから吸湿シートを貼ることにより2～3倍の吸湿質量増加になった。吸放湿シートの厚さ1 mmと3 mmの比較では厚さ3 mmのシートで吸湿質量が約2割増加し吸湿反応が早くなる傾向が見られた。

図一4は絶乾状態からの試験である。立ち上がり時の吸湿質量は石膏ボード単体が大きいが、室内放置と同じように約8時間で平衡状態になった。厚さ3 mmの吸放湿シートを貼った試験体は、石膏ボード単体と同じように吸湿反応が早くなり、48時間を経過しても平衡状態に達していない。吸放湿シートの吸湿反応が石膏ボードと比較しても高いためと判断される。48時間経過の吸湿質量では吸放湿シートを貼った試験体は石膏ボード単体と比較して約2倍の吸湿質量となった。

図一5は放湿質量についての試験結果である。絶乾状態の建材を約80%の環境で48時間湿気を吸わせた後

図一3 1 m²の吸湿質量（室内放置）図一4 1 m²の吸湿質量（絶乾状態）図一5 1 m²の吸放湿質量

に、チャンバー内の湿度を25%に調整した。放湿は湿度変化が始まった最初に急激に進むが、その後は緩やかである。試験は吸湿量が大きい絶乾状態からの実験であり、95時間経過後の放湿質量が1 m²当たり約150 gであることから石膏ボードに吸放湿シートを貼った試験体は吸放湿特性を持っていると判断された。

4. 4 まとめ

吸放湿シート単体では厚みが薄いために吸放湿性能は充分ではない。しかし、石膏ボードと貼りあわせる事により石膏ボード単体と比較して吸湿力が2倍以上になり、調湿材料としての可能性が期待された。比面積の大きな多孔質材料による吸放湿シートが水蒸気を捕まえる役割をはたし、不足した吸湿容量については石膏ボードが補ったものと判断される。

調湿効果では、温度、湿度の変動に対し、吸放湿材がどのように追随するかが重要であり、外気の温湿度の変動に対する応答性を確認する必要がある。

吸放湿シートと各種建材の組み合わせにより優れた、吸放湿建材開発の可能性が期待された。

5. 調湿効果の暴露実験

5. 1 調湿効果

屋外の温度、湿度の変化に対して、吸放湿シートと石膏ボードによる建材が調湿効果を持つかを確認するために屋外でチャンバーによる実験を行った。

建材の調湿効果は梅雨期の長雨、夏期の高温多湿時に効果を発揮することが期待される。実験は温度、湿度の影響が大きな、梅雨期（1996年6月）と夏期（1996年8月）に行った。

実験は2個のチャンバーによる一対試験とし、同じ温湿度条件下の、吸放湿建材の設置有り、無しによるチャンバー内部の温度変化の比較を行った。

5. 2 吸放湿建材

吸放湿材は和紙にクリスピールを70%混入した吸放湿シートを作製し、石膏ボードに糊で貼り作製した。

吸放湿シートを貼った石膏ボードのパネルは取り外しが出来る形態として、実験チャンバーの壁部分に設置した。吸放湿シート付の石膏ボードパネルの面積は実験チャンバー内部の表面積の約65%となった。

5. 3 実験装置

図-6は実験チャンバーの部位構造、写真-2は実験チャンバーである。市販の犬小屋を改良してチャンバー（650×600×700mm）に使用した。チャンバー屋根は切妻構造で軒があり外面はカラー亜鉛鉄板仕上げ、壁、床、屋根の室内側は合板仕上げである。

気密性能を上げる為にチャンバーの室内側に片面アルミシート付の発泡ポリエチレンシートを貼り、目地をコーキングし隙間を密閉した。さらに、チャンバーの外側全体をポリエチレンシートで被った。

チャンバー内部の壁部分にはパネル状の石膏ボードを貼り、一方の実験チャンバーの石膏ボードに吸放湿

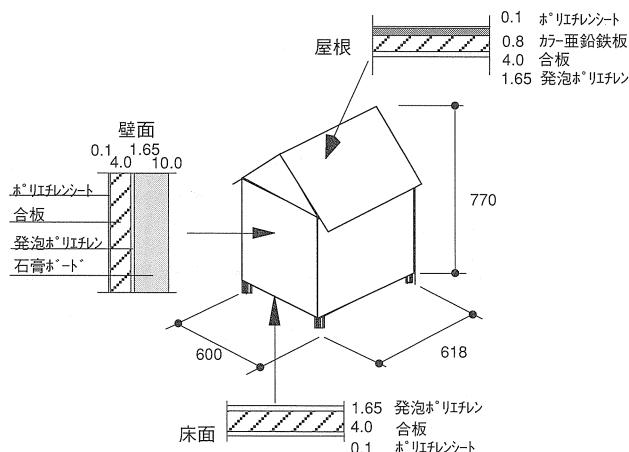


図-6 実験チャンバーの部位構造

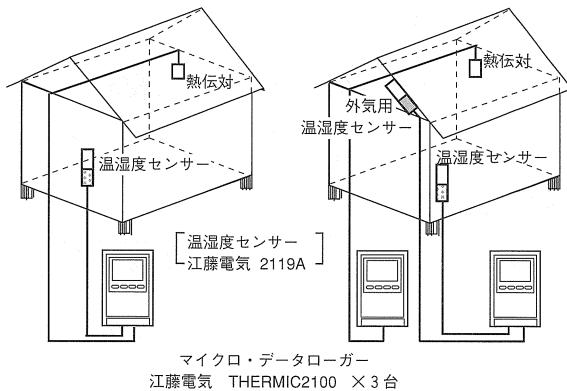


図-7 計測方法



写真-2 実験チャンバー

シートを貼った。壁以外の屋根、床面は発泡ポリエチレンシートであり、吸放湿効果は無い。

2個のチャンバーに一定の換気性能を与えるために換気装置として小型の排気用ファンを設置し可変抵抗機で風量を1時間当たり0.5回の換気量になるよう調整した。模型は地表面の水蒸気の影響を減ずるために、技術研究所屋上（栃木県那須郡西那須野町）、6階部分に設置し、チャンバーへの日射、風の影響が同じになるように調整した。

2個のチャンバーの違いは、内部壁部分の石膏ボードパネルに吸放湿シートが貼ってあるか、無いかであり、内部湿度を比較することにより吸放湿建材による調湿効果が把握出来ると考えた。

5. 4 計測方法

図-7は建材の吸放湿による温湿度変化の計測方法である。2個のチャンバー内に温湿度センサー（江藤電気 2119A）と熱伝対を設置し温度と湿度の変化を記録した。また、外気の温湿度も計測した。計測結果はマイクロ・データロガー（江藤電気 THERMIC2100 A）に取り込み記録した。

5.5 計測結果

①梅雨期の調湿効果（6月12日～19日）

梅雨期は平均して湿度が高く、数日間連続して降雨があるなど吸放湿建材にとり過酷な条件の時期である。特に吸放湿建材の吸湿容量が問題となる。

天気の状態は次の通りであった。

- ・6月12日～15日 晴れときどき曇り
- ・6月16日～18日 曇りときどき雨
- ・6月19日 快晴

吸放湿建材によるチャンバー内の調湿効果は石膏ボードとの比較である。石膏ボードにも少しではあるが吸湿特性がある。

6月15日までは湿度の上昇する夜間に吸湿して日中に放湿しており、外気の湿度が37%～95%まで変動するのに対し、石膏ボードに吸放湿シートが貼ってあるチャンバー内は湿度が57%～77%、石膏ボードだけの場合は湿度が50%～82%の範囲で変動した。吸放湿シートが設置してあるチャンバーでは調湿効果により湿度の変動幅が小さくなつた。

6月16日から天気が不順となり、吸放湿建材による効果の限界を確かめる事となつた。測定結果は石膏ボードと比べて最大で約10%の調湿効果となつた。6月19日

からは天気の回復と共に急激な放湿が始まつている。

梅雨期の計測結果から吸放湿シートを貼った石膏ボードによる吸放湿建材からは、チャンバー内の湿度の変動幅を小さくする効果が認められた。また、調湿能力として、最大で約10%の効果があると判断された。チャンバー内部の温度変化はチャンバーの熱抵抗が小さい為に、外気とほぼ同じであった。

②夏期の調湿効果（8月10日～17日）

夏期は高温多湿であり、夕立などによる急激な温湿度の変動がある。吸放湿建材がどの程度反応出来るかが課題であった。天気の状態は次の通りであった、

- ・8月10日～14日 日中は晴れ、夕方から夜にかけ雷雨
- ・8月15日 台風により雨、風強し
- ・8月16日 快晴

湿度は日中と夜間で50%の差となつた。吸放湿シート有りの場合には、湿度が上昇する夜間で約5%の調湿効果が確認されている。台風接近による急激な温湿度変動に対して吸放湿シートがあるチャンバーでは強力な調湿効果が発生し、湿度が約10%低下している。台風一過には、放湿効果が発生し湿度は約55%で一定となっている。

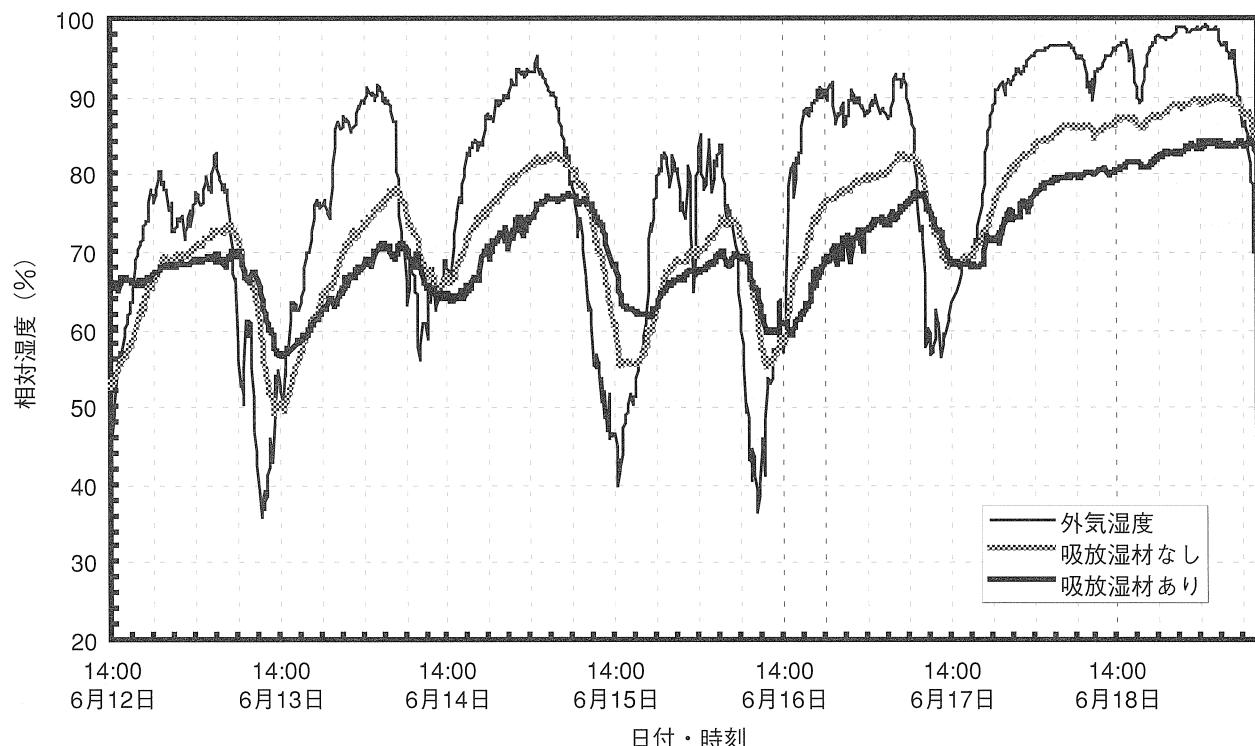
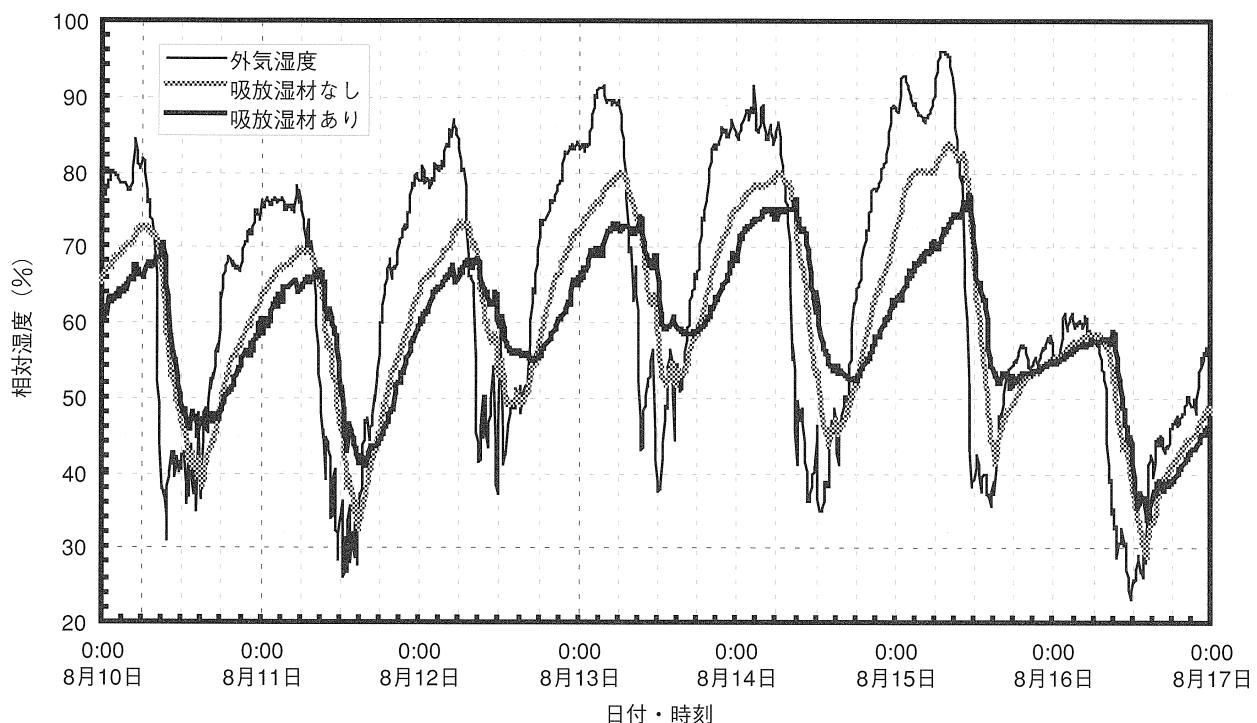


図-8 調湿効果の実測結果（梅雨期）



図一 9 調湿効果の実測結果（夏期）

夏期の調査結果から吸放湿シートを貼ったチャッパー内の調湿効果が確認できた。

同時に測定した、温度計測からは、吸放湿建材の室内温度に対する効果は確認されていない。

6. まとめ

吸放湿シートと石膏ボードの組み合わせにより石膏ボードと比べて最大で約10%の調湿効果が得られることが確認された。また、夏期の急激な湿度変動に対しても有効であることが確認された。

吸放湿シートは化学的な加工を行っていないために再生が可能である。実験終了後の試験シートを、再生したものについて実験を行ったが再生前と同様な吸放湿性能が確認された。

参考文献

- 1) 日鉄鉱業(株)：クリスバール説明書、pp.3
- 2) 大建工業(株)：吸放湿ボード技術資料
- 3) 日刊工業新聞：孔径制御で好みの湿度、1996.6
- 4) 荒川ほか：ゼオライト系調湿パネルに関する研究開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.255-256、1993.9
- 5) 内藤ほか：書類の湿気特性に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.297-298、1996.9