

内 装 材 料 の 調 湿 効 果*

大釜 敏正**, 則元 京***, 小原 二郎****

Humidity Conditions by Interior Wall Materials*

Toshimasa OHGAMA**, Misato NORIMOTO***, and Jiro KOHARA****

(平成4年8月1日受理)

The relative humidity as a function of temperature in a closed steel box lined with interior materials was measured when its ambient temperature was changed periodically in the temperature range from 15°C to 25°C. The logarithm of relative humidity was represented approximately by a linear equation of temperature. The degree of humidity conditions by interior materials in the box was evaluated by the slope B of the equation. Eight kinds of finished materials and three kinds of base materials were adopted as interior materials. The relationships between the B-value and the ratio of lined area to volume of the box (A/V) for respective interior materials were obtained. The B-values at the A/V value of 1.99m^{-1} which corresponds to that in a six-mat room were also measured in the case lined with combinations of different interior materials. In the latter case, the corresponding B-value of wood was determined from the sum of A/V values of wood equivalent to the B-values at respective lined areas of interior materials. The calculated B-values agreed well with the experimental ones. It was considered that the degree of humidity conditions in a space lined with combinations of different materials could be evaluated by this procedure.

概 要

内装材料を内面に張った鋼製の密閉箱の外周温度を周期的に 15°C~25°C の範囲で変化させた時の箱内の相対湿度を温度の関数として測定した。相対湿度の対数を温度の一次式で近似し、その勾配 B によって内装材料による箱内の調湿の程度を評価した。内装材料として、8種類の仕上げ材料と3種類の下地材料を用いた。各内装材料について、B値と箱の気積に対する内装面積の比 A/V の関係を求めた。また、異なる内装

* 本研究の一部は、第42回日本木材学会大会(1992年4月、名古屋)において発表した。

** 千葉大学教育学部 (Faculty of Education, Chiba University, Chiba).

*** 木質バイオマス部門, 物性制御研究室 (Division of Wood Biomass Science, Laboratory of Property Enhancement).

**** 千葉工業大学工学部 (Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology).

Keywords: Humidity conditions, Interior material, Relative humidity, Ambient temperature

材料の組み合わせで内装した場合の6畳間に相当する A/V が 1.99m^{-1} における B 値を測定した。後者の場合について、内装材料のそれぞれの A/V における B 値と等しくなる木材の A/V を加え、その値から木材の B 値を計算した。計算した値と実測した値は、よく一致した。異なる内装材料で内装された空間の調湿の程度は、この方法により評価することができる。

1. は じ め に

木材のような吸放湿性に富んだ材料で内装された空間の相対湿度の変動幅は吸放湿性に乏しい材料で内装された空間のそれに比べて小さい。材料の吸放湿性が空間の相対湿度の変動を緩和させるように作用するような性質を調湿効果と呼ぶことにする。空間の相対湿度の変動の原因には、温度変化に基づくものと、蒸気の流出入による蒸気負荷と称せられるものがある。後者の原因は、換気扇を回したり、窓を開閉したりするなどの方法で対応することができるので、前者を基本的なものとみなしたほうがよい。このような観点から、これまで、壁装材料を中心に、種々の材料の調湿効果について、相対湿度の変動が温度変化に起因する場合を対象にして調べてきた。その際、調湿効果を定量的に表すための指標として、 B 値を定義した¹⁾。この B 値は、相対湿度の対数と温度の関係を直線で近似したときの勾配であって、調湿効果のまったく期待できない材料では、 -0.0255 という値をとる。一方、材料からの吸放湿が効率よく行われ、空間の相対湿度がまったく変動しない理想的な場合には 0 となる。したがって、 B 値が 0 に近い材料ほど調湿効果に優れていることになる。これまでに得られた結果の概要は、つぎのようである^{2,3)}。

① 単一の材料で内装された実空間における調湿効果は、温度の変化速度、気積率（内装面積 $A\text{ m}^2$ に対する気積 $V\text{ m}^3$ の割合 $A/V\text{ m}^{-1}$ ）を考慮すれば、 $20\times 20\times 30\text{cm}^3$ の鋼製の密閉箱を用いて、実験室規模でシミュレーションできる。

② また、このようなシミュレーションから得られた B 値をもとに、密閉空間に限定されるけれども、相対湿度の変動幅など湿度設計のために必要な数値を推定することができる。

これらの結果は、いずれも個々の材料の性能を調べたもので、実際の室空間に見られるように、数種類の材料で内装されているような空間を対象にしたものではない。そこで、本報告では、天井、壁、および床の各部位がそれぞれ異なる材料で内装された室空間の調湿効果を予測する方法を探ることを目的とした。そのため、①材料の吸放湿性能、すなわち各種内装材料の B 値と気積率の関係、および②それらの材料の組合せ方が室空間の調湿効果、すなわち、みかけの B 値に及ぼす影響、の両面から実験的に検討を加えることにした。

2. 実 験

供試材料は、調湿効果の優劣を考慮して、表1に示すような材料が天井、壁および床の各部位に用いられると仮定して選んだ。これらは、いずれも市販の材料である。壁紙は、布製及びビニル製のものを用了。壁紙には、防結露用に代表されるように、例えば炭酸カルシウムその他の無機質充填剤を配合するなど湿気に対する特殊加工を施したものもあり、多種多様な製品がある。調湿効果という観点からは、調湿効果に極めて優れている布製のものと、ほとんど調湿効果の期待できないビニル製のものについて調べておけば、十分であろう。壁紙の下地には、実際の施工例を考慮して、ラワン合板（5 mm 厚）、石膏ボード、およびコンクリート（10 mm 厚）を選んだ。接着剤は市販の壁紙用のりを用了。塗布量は、 200 g/m^2 とした。コンクリートの厚さを 10 mm としたのは、本研究が目的とするような調湿に関与する材料の部位は、表面近くの極く限られた層であることから、この厚さで十分であると判断したからである。

材料の組合せは、調湿効果に優れた材料が、天井、壁、および床の全部位、これら3部位のうちの2部位（天井と壁、天井と床、壁と床）、および1部位のみ（それぞれ天井、壁、および床のみ）に使われている

表1-1 みかけのB値の実測値と推定値

部位	材料の組合せ 材 料	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
天井	インシュレーションボード	○	○			○	○			○	○	○			○	○	○	○							○
	ロックウール			○	○			○	○				○	○					○	○	○				
	ポリエステル化粧合板																					○	○	○	
壁	天然木化粧合板（ナラ・塗装無）		○	○							○		○										○		
	布壁紙（ラワン合板）	○			○					○		○		○								○			
	布壁紙（石膏ボード）					○		○							○	○			○	○				○	
	布壁紙（コンクリート）						○		○								○	○			○				
	ビニル壁紙（ラワン合板）																								
	ビニル壁紙（石膏ボード）																								
	ビニル壁紙（コンクリート）																								
	ポリエステル化粧合板																								○
床	天然木化粧合板（ナラ・塗装無）	○	○	○	○	○	○	○	○													○	○	○	○
	天然木化粧合板（ナラ・塗装有）									○					○		○		○						
	Pタイル										○	○	○	○		○		○		○	○				
B _{TOIOI} 値の実測値	6時間周期	-15	-14	-26	-31	-40	-43	-47	-58	-15	-29	-37	-46	-45	-55	-59	-64	-65	-68	-73	-74	-41	-38	-71	-68
	12時間周期	-3	-3	-12	-19	-16	-21	-35	-38	-7	-10	-17	-25	-32	-29	-28	-35	-38	-46	-49	-58	-21	-20	-46	-34
	24時間周期	6	4	-4	-6	-7	-10	-22	-22	4	-1	-1	-9	-14	-16	-19	-18	-23	-31	-43	-40	-4	-9	-32	-17
B _{TOIOI} 値の推定値	6時間周期	-7	-12	-14	-9	-19	-28	-24	-32	-14	-28	-15	-33	-18	-39	-39	-50	-52	-45	-45	-59	-23	-38	-66	-76
	12時間周期	2	2	-4	-2	-5	-8	-18	-24	-2	-6	-4	-19	-18	-19	-20	-23	-25	-38	-40	-47	-14	-16	-36	-37
	24時間周期	7	6	2	3	3	5	-13	-6	5	5	5	-9	-8	-3	-5	0	-1	-29	-33	-20	-2	-4	-23	-14

表1-2

部位	材料	材料の組合せ																							
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
天井	インシュレーションボード	○			○	○	○	○	○																
	ロックウール		○	○						○	○	○	○	○	○										
	ポリエステル化粧合板															○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
壁	天然木化粧合板（ナラ・塗装無）															○									
	布壁紙（ラワン合板）																○								
	布壁紙（石膏ボード）																	○	○						
	布壁紙（コンクリート）																			○					
	ビニル壁紙（ラワン合板）									○															○
	ビニル壁紙（石膏ボード）	○	○				○	○					○	○							○		○	○	
	ビニル壁紙（コンクリート）								○						○										
床	ポリエステル化粧合板			○	○	○					○	○										○			
	天然木化粧合板（ナラ・塗装無）	○	○	○																	○	○			
	天然木化粧合板（ナラ・塗装有）				○		○				○		○					○					○		
B値の実測値	P タイル				○		○	○	○		○		○	○	○	○	○		○	○				○	○
	6 時間周期	-72	-94	-91	-119	-125	-118	-128	-121	-126	-129	-135	-139	-140	-133	-58	-64	-104	-101	-100	-144	-144	-257	-262	-255
	12時間周期	-28	-65	-67	-70	-66	-64	-74	-61	-116	-110	-122	-116	-121	-114	-31	-41	-73	-74	-72	-98	-105	-241	-256	-243
B値の推定値	24時間周期	-20	-42	-46	-34	-35	-35	-43	-32	-100	-91	-109	-92	-103	-90	-15	-19	-52	-56	-48	-61	-66	-197	-226	-231
	6 時間周期	-73	-84	-84	-116	-120	-119	-119	-121	-136	-130	-136	-134	-134	-135	-64	-46	-90	-90	-109	-151	-151	-255	-255	-255
	12時間周期	-34	-64	-65	-72	-70	-64	-68	-68	-125	-115	-125	-116	-119	-128	-36	-34	-66	-68	-80	-107	-109	-238	-245	-255
B値の推定値	24時間周期	-11	-30	-49	-32	-36	-25	-30	-33	-103	-106	-124	-87	-110	-95	-17	-15	-53	-51	-34	-71	-72	-143	-222	-210

大釜・則元・小原：内装材料の調湿効果

各場合を想定し、さらに全部位が調湿効果の期待できない材料で内装された場合を加えた48条件を選んだ(表1)。

実験は、各材料のB値と気積率の関係、ついで6畳間の大きさの室空間を想定したシミュレーションの順で行った。

試料の寸法は、天井(あるいは床)および壁の各面、さらに全内面に対する気積率 A/V が、それぞれ 0.417, 1.16, および 1.99 m^{-1} となるので、これらの値に相当する大きさとした。ただし、これらは、壁面に出入口と窓に相当する開口部が2ヶ所あるとし、それらは調湿効果になんら影響を及ぼさないと仮定して算出した。このほか、B値と気積率の関係を調べるために、 0.2 m^{-1} に相当する大きさのものも供試した。なお、無塗装の合板の場合に限って、 3.0 m^{-1} に対応する大きさのものについても測定を行った。

先に述べたような内法寸法をもつ鋼製の箱の底面に、材料を内装し、密閉したものを供試体とした。材料の固定および密封にはパラフィンを用いた。温湿度センサー(宝工業社製、タカラPF温湿度計)は、受感部が箱の中央部に位置するように上蓋に固定した。

この供試体を、恒温恒湿器(タバイエスペック社製、PR-2G)の中に入れ、つぎのような温度変化を2周期与え、供試体内部の温度と相対湿度を経時的にパーソナルコンピュータ(NEC PC-9801RX)に出力した。温度変化のパターンは、実寸小型住宅内(1室6畳平屋建て)で、実際に観察されたものを基本形に

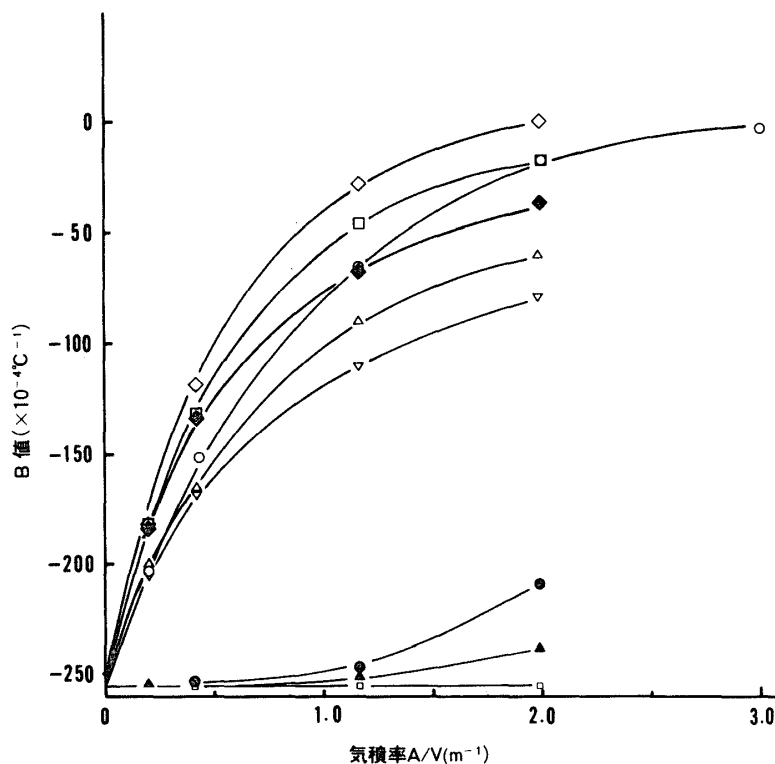


図1 B値と気積率の関係(6時間周期)

○:天然木化粧合板(塗装無), ●:天然木化粧合板(塗装有)
 ◇:インシュレーションボード, ◆:ロックウール, □:布
 壁紙(合板下地), △:布壁紙(石膏ボード下地), ▽:布壁
 紙(コンクリート下地), ▲:ビニル壁紙(石膏ボード下地)
 □:ビニル壁紙(合板およびコンクリート下地), ポリエステル
 化粧合板, Pタイル

して、外周の最低温度が 15°C 、最高温度が 25°C となるように、若干の修正を加えたものを用いた。温度変化の周期は、24時間のほか、温度変化の速度がB値に及ぼす影響をも調べるため、6および12時間となるものを加えた3種類とした。

供試材は、すべて 20°C 、65% RH の恒温恒湿室で十分に調整したものを用いた。封入作業も、上記恒温恒湿室で行った。なお、センサーの補正、主として湿度に関しては、鋼製の箱に、 20°C 、65% RH の空気のみを封入し、上述したような温度変化を与えたときに計器が示す値と理論的に得られるそれとを比較することによって行った。

以下に示すB値は、いずれも2周期目の測定値から算出し、 10^4 倍した値である。

3. 結果と考察

材料ごとのB値と気積率の関係を、温度変化の周期別に示したのが、図1～3であり、それぞれ6、12、および24時間周期の結果である。Pタイルおよびポリエステル化粧合板の結果を、同一の記号で示した理由は、得られたB値がいずれも $-250 \sim -260$ の範囲内にあり、実験誤差を考慮に入れると、これらの材料にはまったく調湿効果がないと判断されたからである。6時間周期における合板およびコンクリートを下地としたビニル壁紙についても同様である。

調湿効果に優れたインシュレーションボード、布壁紙（合板、石膏ボードおよびコンクリート下地とも）、および無塗装の天然木化粧合板の各材料のB値は、気積率および温度変化の周期に著しく依存する。気積率

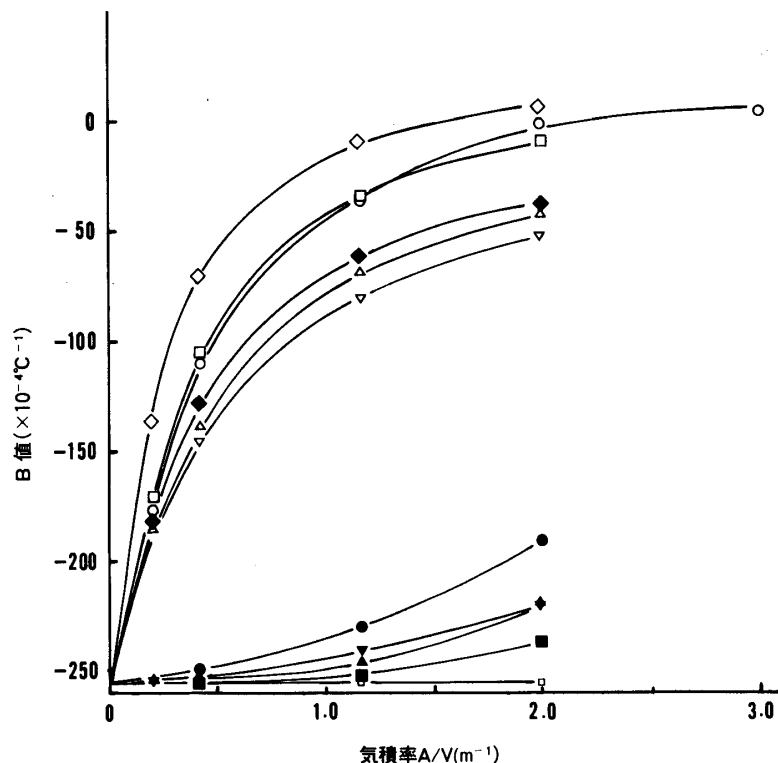


図2 B値と気積率の関係(12時間周期)

■：ビニル壁紙（合板下地）， ▼：ビニル壁紙（コンクリート下地）， □：ポリエステル化粧合板， Pタイル
他の記号は図1参照

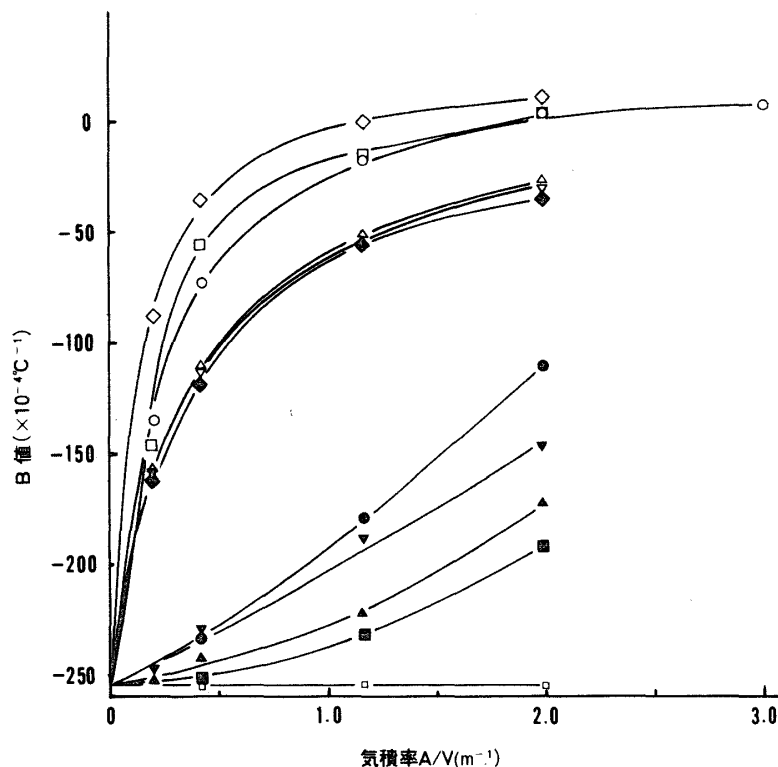


図3 B値と気積率の関係 (24時間周期)
記号は図1および2を参照

の小さい領域ほどB値の変化は急激で、温度変化の周期が長くなるにしたがってその傾向は強くなる。その傾向は、インシュレーションボードや合板下地の布壁紙に見られるように、調湿効果に優れた材料ほど顕著である。ロックウールも調湿効果に優れた材料であるが、B値が気積率に大きく依存するという特徴は上記の材料と類似しているものの、温度変化の周期の影響をほとんど受けない点が異なる。塗装された合板およびビニル壁紙(合板、石膏ボードおよびコンクリート下地とも)は、その材料表面の性状から、調湿効果の期待できない材料と考えられる。しかしながら、これらの材料も、気積率が大きく、温度変化の周期が長くなると、調湿効果が現れてくる。特に、ビニル壁紙に不透湿性を期待して施工するような場合には、壁内(下地)に水分が入り込むことになるので、注意を必要とする。

6 畳間の室空間を想定して行ったシミュレーションから得られた結果を表1に示す。No. 1～No. 8 が全部位とも、No. 9～No. 27 が3部位の内2部位に、No. 28～No. 45 が1部位のみに、それぞれ調湿効果に優れた材料を内装した場合の結果である。右端に示した No. 46～No. 48 は調湿効果の期待できない材料で全部位が内装された場合の結果である。

温度変化の周期が調湿効果に及ぼす影響についてみると、いずれの組合せの場合も、材料単体のときの結果同様、周期が長くなるほど調湿効果が大きくなる。

調湿効果の優れた材料の占める面積が大きいほど、調湿効果も大きくなることは言うまでもない。しかしながら、内装された各材料の気積率に対応するB値をもとに、表1に示したみかけのB値を求めることはできない。その理由は、前報²⁾で述べたように、材料の吸放湿量が気積率の影響を受けるからである。すなわち、材料の吸放湿量は気積率の減少とともに増大するという性質があるために、単純な加減則が成り立たないのである。

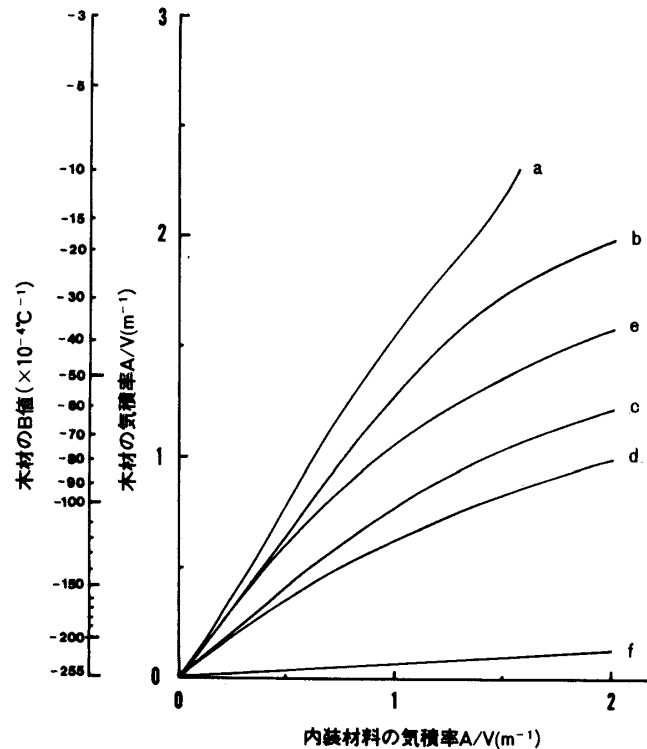


図4 等しいB値となる木材の気積率と内装材料の気積率の関係（6時間周期）
 a：インシュレーションボード， b：布壁紙（合板下地）， c：布壁紙（石膏ボード下地）， d：布壁紙（コンクリート下地）， e：ロックウール， f：塗装された天然木化粧合板

試みに，1列目に示した天井，壁，および床がそれぞれインシュレーションボード，布壁紙（合板下地），および無塗装の天然木化粧合板で内装されている場合について，6時間周期を例に，各材料の気積率とそのときのB値からみかけのB値を逆算してみる。

単位面積当りの放湿量 K_1 および吸湿量 K_2 は，平均温度を T_0 ，そのときの相対湿度を $H(T_0)$ ，そして温度の変化幅を ΔT とすると，次式で算出することができる。

$$K_1 = \frac{V}{A} \times \frac{H(T_0)}{100} \{10^{B\Delta T/2} \times h_s(T_0 + \frac{\Delta T}{2}) - h_s(T_0)\} \quad (T \geq T_0)$$

$$K_2 = \frac{V}{A} \times \frac{H(T_0)}{100} \{h_s(T_0) - 10^{-B\Delta T/2} \times h_s(T_0 - \frac{\Delta T}{2})\} \quad (T \leq T_0)$$

ここで， $h_s(T_0)$ ， $h_s(T_0 + \Delta T/2)$ および $h_s(T_0 - \Delta T/2)$ は，それぞれ温度 T_0 ， $T_0 + \Delta T/2$ および $T_0 - \Delta T/2$ のときの飽和絶対湿度である。

$T_0 = 20^\circ\text{C}$ ， $H(T_0) = 65\%$ ， $\Delta T = 2 \sim 10^\circ\text{C}$ （2度刻み）とする。インシュレーションボード，布壁紙（合板下地）および無塗装の天然木化粧合板の気積率は，それぞれ0.417，1.16，および 0.417 m^{-1} であるので，対応するB値は，-199，-45および-151となる（図1）。これらの値を上式に代入すれば，各材料が吸放湿する量を算出することができる。それらの和を各 ΔT について求めると，絶対湿度の変化分と温度の関係が得られる。絶対湿度の変化分から相対湿度を求め，その対数をとると，B値が得られる。計算値は124となる。実際に測定されたみかけのB値は，表1に示すように-15であるので，非現実的な値となる。

図1～3および表1の結果を比較すると，次のような特徴が読み取れる。

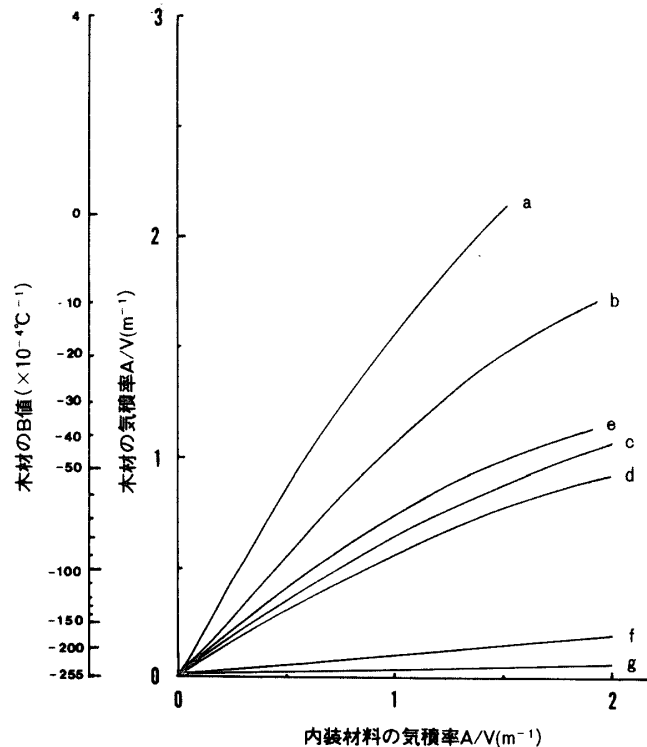


図5 等しいB値となる木材の気積率と内装材料の気積率の関係(12時間周期)
a～f: 図4参照, g: ビニル壁紙(合板, 石膏ボード, コンクリート下地)

①全内面が調湿効果の優れた材料で内装されている場合, 各材料の気積率 1.99 m^{-1} (6 畳間の空間の全内表面積に対する気積の比) のときのB値は, みかけのB値に近い。例えば, 上記の組合せの例の場合には, B値はそれぞれ1, -17, および-17となり, 実験値-15に近い。

② 2つの部位に調湿効果の優れた材料が内装されている場合, 調湿効果の期待できない部位を無視し, ①と同様の手続きをとれば, 同じような傾向が得られる。すなわち, 天井と壁あるいは壁と床の組合せでは, 気積率 1.58 m^{-1} ($=0.417+1.16$), 天井と床の組合せのときには, 気積率 0.834 m^{-1} ($=0.417+0.417$) に対応する調湿効果に優れた各材料のB値が実験値に近いB値をとる。

③ 調湿効果に優れた材料が1部位のみに内装されている場合は, その部位の気積率(天井と床は 0.417 m^{-1} , 壁は 1.16 m^{-1}) に対応するB値が, その空間におけるみかけのB値となる。

これらのことから, 調湿効果の期待できる材料の占める気積率の積算値に対応する各材料のB値を求め, 各材料の気積率を重みとして和をとれば, みかけのB値を推定できる。実際にこのような方法で求めたB値は, 実測値との間に高い相関関係があり, 実用性はある。しかし, この考え方では, 例えばビニル壁紙や塗装された合板のように, 温度変化の周期の短いときには調湿効果のない材料でも, 周期が長くなると調湿効果が現れてくるので, そのような材料の影響を考慮できない欠点がある。

そこで, 上記のような方法ではなく, 木材の調湿能力を基準にして, みかけのB値を予測する方法について考えてみる。つまり, 調湿効果に優れた材料の占める気積率の積算値に対応する各材料のB値が, みかけのB値にきわめて近いということが判ったので, 調湿効果に優れた材料のいずれかを基準にして, みかけのB値を予測してみようという試みである。ここでは木材(無塗装の天然木化粧合板)を基準の材料に選び, 各内装材料の調湿能力をそれに等しい木材の調湿能力に換算することにした。その手順は次のとおりであ

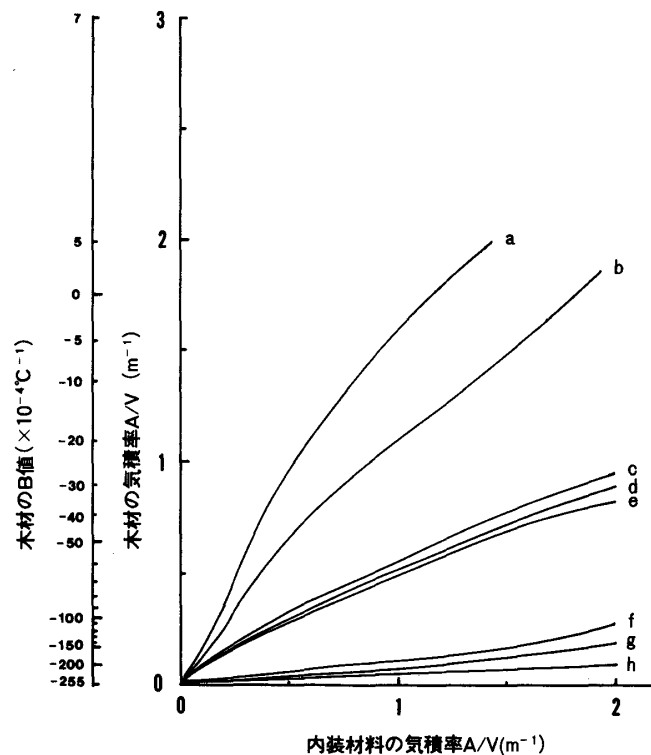


図6 等しいB値となる木材の気積率と内装材料の気積率の関係（24時間周期）
 a～f：図4参照， g：ビニル壁紙（コンクリート下地） h：ビニル
 壁紙（合板，石膏ボード下地）

る。

① ある材料の調湿効果を木材のそれで換算するには、B値が等しければ調湿効果も同じであるという考え方から、等しいB値となる気積率の関係を木材を基準にして求めておく。この関係を温度変化の周期別に示したのが、図4～6である。これらの図は、前報^{2,3)}で述べた木材相当量を求めるときの関係と同様の考え方から求めたもので、縦軸と横軸を入れ換えた関係になっている。供試材料の中で、ポリエステル化粧合板のように、図に表示されていないものがある。その理由は、いずれの材料も吸放湿性がないために、その調湿効果を木材のそれで換算できないためである。

② ついで、これらの図から天井、壁、および床を構成する各材料の気積率に対応する木材の気積率を読み取り、それらの和を求める。その和を気積率とする木材のB値を読み取れば、それが求めるみかけのB値の推定値となる。

先に示したインシュレーションボード、合板下地の布壁紙、および無塗装の天然木化粧合板の組合せの6時間周期の場合を例に説明する。天井と床の気積率は 0.417 m^{-1} であるので、横軸のこれらの点を通して縦軸に平行な線とインシュレーションボードと無塗装の天然木化粧合板との交点の縦軸の座標を読み取ると、それぞれ 0.62 と 0.417 m^{-1} となる。合板下地の布壁紙で内装された壁の気積率は 1.16 m^{-1} であるので、同様の手続きをとると、 1.45 m^{-1} が得られる。これらの和は 2.49 m^{-1} となるので、この値に対応する木材のB値を求めれば、 -7 となる。実測値は -15 であるので、よく対応していることが分る。

このようにして求めた推定値を表1に示す。また、推定値と実測値との関係を示したのが図7である。また、回帰方程式と相関係数を周期別に示したのが、表2である。図および表から明らかなように、両者の間には相関の高い直線関係がある。ただし、推定値は、実測値よりもやや大きくなっている。つまり、推定値

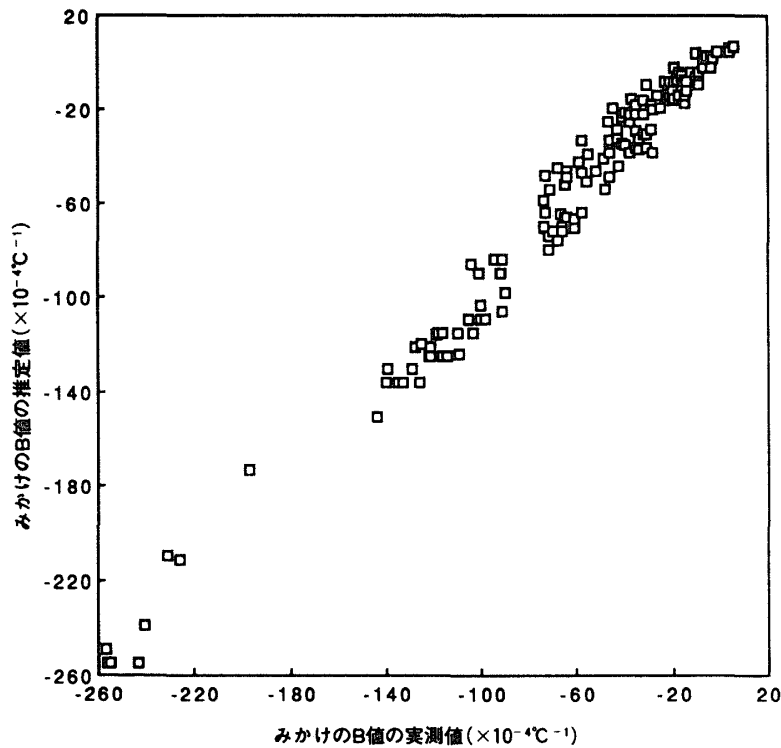


図7 みかけのB値の推定値と実測値との関係

表2 みかけのB値の推定値 B_E と実測値 B の関係

	回 帰 方 程 式	相 関 係 数
6 時間周期	$B_E = 1.01B + 8.94$	0.989
12時間周期	$B_E = 1.03B + 4.90$	0.989
24時間周期	$B_E = 1.02B + 4.73$	0.990
全 体	$B_E = 1.03B + 7.02$	0.989

は実測値よりも調湿効果が良好となる側の値を与えている。この傾向は、6時間周期で最も大きい。しかしながら、B値の10程度の差は、温度較差を大きめにとっても、相对湿度の変化にして極くわずかであるので、湿度設計の立場からは問題はない。したがって、上記のような方法で天井、壁、および床が異なる材料で内装された室空間のみかけの調湿効果を予測できる。

文 献

- 1) 牧 福美, 則元 京, 青木 務, 山田 正: 木材工業, **36**, 476 (1981)
- 2) 大釜敏正, 則元 京, 小原二郎: 木材工業, **43**, 14 (1988)
- 3) 則元 京, 大釜敏正, 山田 正: 木材学会誌, **36**, 341 (1990)