



Title	室内仕上材の吸放湿に関する実験的研究
Author(s)	堀江, 悟郎; Horie, Goro
Citation	北海道大學工學部研究報告, 28, 79-134
Issue Date	1962-03-06
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40692">https://hdl.handle.net/2115/40692</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_79-134.pdf



# 室内仕上材の吸放湿に関する実験的研究

堀江 悟郎

## Experimental studies on the moisture absorption and exhalation of the finishing materials in the room

Goro HORIE

### Abstract

In the first series of experiments, the varying humidity of the air in the model room was measured. The results showed that the variation of humidity depended mainly on the air temperature and moisture absorption to the wall surface, and it seemed as if the ventilation ( $\frac{1}{2}$  volumes of room per hour) would have very little influence to the amount of moisture in the room.

The next series of experiments were performed on the measuring method of the absorbed moisture in the materials. For this purpose a closed box of sheet iron and remote weighing apparatus were adopted to record varying weights of the material in the box. In this box the relative equilibrium between the moisture included in the material and humidity of the air could be accomplished in several hours, while the static equilibrium in the space of constant humidity and temperature was reached in some hundred hours. This was due to the fact that in closed space, the humidity of the air defined the moisture volume in the material, and at the same time the moisture in the material determined the humidity of the air.

A linear equation could nearly express the relative equilibrium between temperature and moisture allocated to the material and air in the closed box. But then the equation was extended to a more general form:

$$(w_1 - w_0) = \zeta(\varphi_1 - \varphi_0) - \nu(\theta_1 - \theta_0)$$

$w_1$  (gr): the moisture content of the material at equilibrium in the air of which temperature  $\theta_1$  (°C) and relative humidity  $\varphi_1$  (%).

$w_0$ : also the moisture content of the material in the arbitrarily determined standard status of the air, of which temperature  $\theta_0$  (°C) and R.H.  $\varphi_0$  (%).

$\zeta$ : the unit amount of moisture increasing in the material per one percent (1%) variation of relative humidity of surrounding air at constant temperature.

$\nu$ : also the unit amount of moisture increasing in the material per one degree (1°C) variation of temperature of air at constant relative humidity.

$\zeta$  and  $\nu$  were the characteristic constants of the materials and determined by their sorts, sizes respectively and by the ratio of the areas of their surfaces and volume of the room.

When  $\zeta$  and  $\nu$  were known, the relative humidity of the room after the air temperature had been varied, was determined by the nomogram proposed.

最初の実験は模型室内の湿度変動測定に関するものであって、その結果によれば湿度変動は主として気温と壁面の吸湿とに左右せられ、換気 (1/2 回/時) による水蒸気量の増減は認められぬ如くであった。

次の実験は密閉箱内の材料の吸湿量測定に関するものである。ここでは鉄板製の密閉箱とその中の材料の重量変化を記録する遠隔秤量装置とを用いた。

密閉箱内では、材料中の含湿量と空気の湿度との相関的平衡は数時間で達せられたが、等温等湿空気内での静的平衡に達するのは約 100 時間位かかる。その理由は密閉空間中に於いては空気の湿度が材料の含湿量を規定するのみならず、材料の含湿量もまた空気の湿度を規定するからである。

密閉箱内の湿気の材料と空気との配分量と温度との関係は一次式で近似させることが出来る。しかしこの方程式をもっと一般的な形に拡張すると

$$(w_1 - w_0) = \zeta(\varphi_1 - \varphi_0) - \nu(\theta_1 - \theta_0)$$

となる。

$w_1$  (gr): 温度  $\theta_1$  (°C), 関係湿度  $\varphi_1$  (%) の空気中における平衡状態の材料の含湿量。

$w_0$ : 同じく任意の基準状態, 温度  $\theta_0$  (°C), 関係湿度  $\varphi_0$  (%) の空気中における材料の含湿量。

$\zeta$ : 定温において空気の湿度 1% の変化に対する材料内の湿気の単位増加量。

$\nu$ : 同じく定湿度において空気の温度 1°C の変化に対する材料内湿気の単位増加量。

$\zeta$  と  $\nu$  とは材料の特性を示す常数で、種類や大きさによって異なるが、材料の表面積と室容積との比によって決まる数である。

$\zeta$  と  $\nu$  とが既知ならば、温度変化を与えた場合の室内湿度はここに掲げたノモグラムにより見出すことが出来る。

## §1. 序 説

室内湿度を決定する要素のうち、室内壁面の吸放湿についてはこれまでに研究例が少なく不明の点が多かった。しかし実例より認識せられたところによれば室内湿度を決定する第 1 のものは、壁表面と、これに接する空気との間の水蒸気交換の法則であるといっても過言ではない。なぜならば壁面が室内空気の保有水蒸気量に対してもっている強い影響力を考えないとすれば単純な条件の実例においてさえこれを説明しようとする矛盾につきあたるからである。たとえば常統的な換気がありながら、室内に何等水蒸気発生源がないにもかかわらず、室内外に温度差のあるときは必ず水蒸気張力または絶対湿度の差も存在するのである。このとき室内

温度および室内絶対湿度が共に室外のそれらよりも高いとすれば、換気によって室内の水蒸気は絶えず排出されているが、その水蒸気が室内の壁表面からの放湿によって室内空気に補給されているものであれば、このような実験の繰返しによって壁表面の含湿量はどんどん少なくなり遂には室内温度を高くしても室内の絶対湿度は室外のそれと同じ高さから上昇しなくなるに至るはずである。この矛盾は換気経路の問題と、壁表面と空気との間の湿氣的平衡の問題との2つによって解明出来ると思われる。

特にこの後者は殆んど未研究の分野に残されているにもかかわらず、当面のきわめて重大な問題となってきているのである。

これまで材料の吸放湿性能については主として適確な表現と、規則性の記載とを重んずるため等温、等湿等、定常的あるいは平衡的条件のもとにおける定量的研究がなされていた\*。

しかしながらわれわれの問題としているのは専ら室内環境要素の1つとしての湿度であり壁表面の吸放湿性能はいわば室内湿度を把握するための鍵として考えているのである。いま室内空気の温度や湿度が変化すればこれにともなって壁面への吸放湿がおこり、更にそのため室内の温湿度の変動に二次的な影響をあたえるというような、室内空気と壁表面との間の水蒸気移動の相互関係または動態の把握が対象なのであって、静的な平衡関係における特性のみでは室内湿度の問題をあつかうことは出来ないのである。

特に室内気候計画のための資料として必要なのは、数10日もかかって到達するような平衡状態における含湿量などよりもむしろ吸放湿の速度などであって、暖房期における24時間の温度変化のサイクルに対して壁体の吸放湿量がどのようにこれに応じ、またその吸放湿量が室内空気の湿度変化をどのように規定するかが明らかにされなくてはならない。

したがってここに筆者らの行なった一連の実験はこれまでに報告された多くの材料の吸放湿に関する実験とは趣を異にし、主対象とするところは室内湿度の変動の法則であり、そのうちで壁体の吸放湿能力のうけもつ役割を明らかにせんとするものである。

## §2. 模型室における実験

### [1] 水蒸気発生のない場合

実験用模型室は340 cm×340 cm×240 cmの内法をもち内面にはビニール膜を貼りつけてあり、換気回数は0.3回/hである。(温度差30°C, 無風)室内中央部に90 cm×180 cmのプラスチックボード(P)あるいはソフトテックス(S)を2枚吊下げて重量変化を測定した。両面とも素面であるから合計面積は約6.48 m<sup>2</sup>で全室内表面積の11.6%にあたる。

図2-1は対照のため材料を吊らず空室として測定した1例である。居住状態における1日のサイクルを真以て、9時より17時までを一定熱量供給による加熱、17時より翌朝9時まで

\* 材料の湿氣的性状(宮部 宏), 早稲田大学理工学部研究報告, 昭和19年。

建築用各種仕上材料の吸放湿性能について(浅野・他), 日本建築学会研究報告, 第31号, 昭和30年5月。

を自然冷却として数日間連続繰返し測定を行なった。毎日の往復経路はほぼ同じで、加熱過程では3~4時間後に温度22°C前後、関係湿度39~40%におちつく。冷却過程ではおちつくのがもっと遅く約7~8時間で関係湿度70%になる。温度はこのとき外気温より3~4°C高いところまで下り、なお外気温に応じて翌朝まで少しずつ変動するが関係湿度はほとんど動かない。

加熱過程では供給熱量によって室温の上昇速度が変わるので壁面温度の上昇の速さも、また放湿速度もそれによって変わるけれども、冷却過程では室温の降下速度は大体内外温度差に比

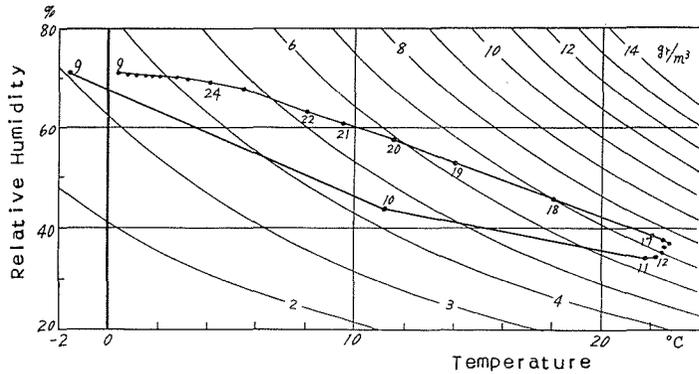


Fig. 2-1. Humidity variation in the model room (Empty).

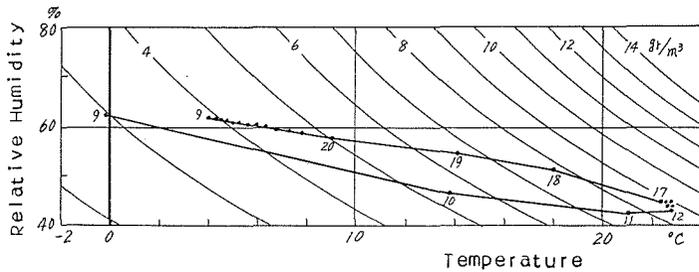


Fig. 2-2. Humidity variation in the model room (Plaster boards).

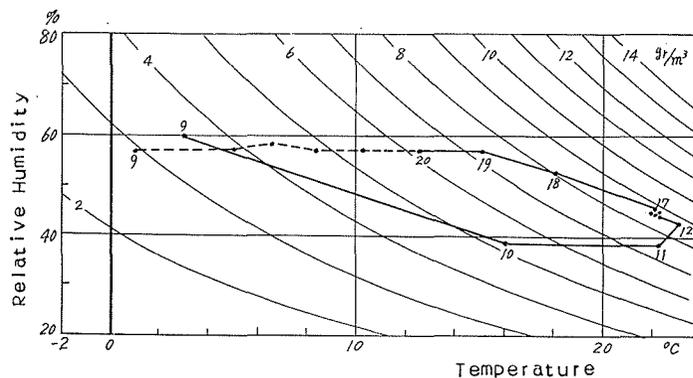


Fig. 2-3. Humidity variation in the model room (Insulation boards).

例しているのです、日々よく似た経過をたどり、その形をみると温度と絶対湿度とがほぼ比例した状態を保っていると思われる。

図2-2はプラスターボード2枚を入れたときの1サイクルである。4日間の繰返し測定ではやはり日々ほぼ同様の経路を往復し、加熱過程では2~3時間後に温度22°C前後、関係湿度45%くらいにおちつき、冷却過程では最終0~4°Cにてほぼ60%になる。このとき温度の下降速度が遅くなってからも関係湿度はそれにつれて少しずつ上昇するようである。

その形は温度振幅に対する関係湿度の振幅の比率が小さくなっている。また加熱過程と冷却過程との経路が近接していて、その形は温度と関係湿度とが常に比例関係を保とうとするような状態である。

今、実験のはじめ  $t=0$  における室温を  $\theta_0$  としこのとき室内空気、壁面、材料の3者が湿氣的平衡の状態にあったものとする。このときそれぞれの含有する水蒸気量を  $S_{a0}$ ,  $S_{b0}$ ,  $S_{m0}$  (g) とし、室容積を  $V(\text{m}^3)$  とすると、室内空気の絶対湿度は

$$\sigma_{a0} = \frac{S_{a0}}{V}$$

であらわされる。そこで dimension をあわせるため  $S_{b0}$ ,  $S_{m0}$  を室容積で除したものをそれぞれ  $\sigma_{b0}$ ,  $\sigma_{m0}$  とかくこととすれば

$$\sigma_{b0} = \frac{S_{b0}}{V}, \quad \sigma_{m0} = \frac{S_{m0}}{V}$$

となる。

材料の重さを  $M(\text{g})$  であらわし、その絶乾重量を  $M_a$ ,  $t=0$  における重さを  $M_0$  とすると

$$S_{m0} = M_0 - M_a$$

であるから、絶乾重量を測定しておけば  $S_{m0}$  の値は知られるが、 $S_{b0}$  の値は知り難い。しかしわれわれが問題とするのは  $t=0$  以後の経過であるから、 $t=0$  において平衡状態であったとし、 $t=t$  における含湿量をそれぞれ  $S_{bt}$ ,  $S_{mt}$  としたとき

$$\sigma_b = \frac{S_{bt} - S_{b0}}{V}, \quad \sigma_m = \frac{S_{mt} - S_{m0}}{V}$$

とあらわすことにする。そのとき  $\sigma_b$ ,  $\sigma_m$  は  $t=0$  より  $t=t$  までの間に放湿又は吸湿した積算量の割合を示している。

図2-4の(A)は  $\sigma_a$ , (B)のIは  $\sigma_m$  の経過を示したものであるが、材料の重量減少は放湿を意味するものであるから、ここには  $\sigma_m$  の符号を放湿(すなわち重量減少)に向って正、吸湿(重量増加)に向って負としてある。(B)のIIは  $\sigma_a - \sigma_{a0}$  すなわち空気の絶対湿度増加分と  $\sigma_m$  との差であって

$$\sigma_c = \sigma_a - \sigma_{a0} - \sigma_m$$

とおくと、 $\sigma_c$  はプラスターボード以外の壁面の吸放湿か、または換気による水蒸気の持込みあ

るいは持出しによる水蒸気増減量に相当するものであるが、実験期間中外気の絶対湿度は常に室内よりも低いから、換気によって持込まれることはあり得ない。したがってこれを示す (B) の II の経過のうち + の部分は壁面 (ビニール膜) よりの放湿量であり、- の部分は同じく吸湿量および換気による排出量である。しかし同じような経過が毎日くりかえされているのであるから、この実験室内のように水蒸気発生もなく、水蒸気の持込みもないとすれば、水蒸気の持出しもまた行なわれているとは言い難い。なぜなら日々のサイクルはほぼ同じところを往復

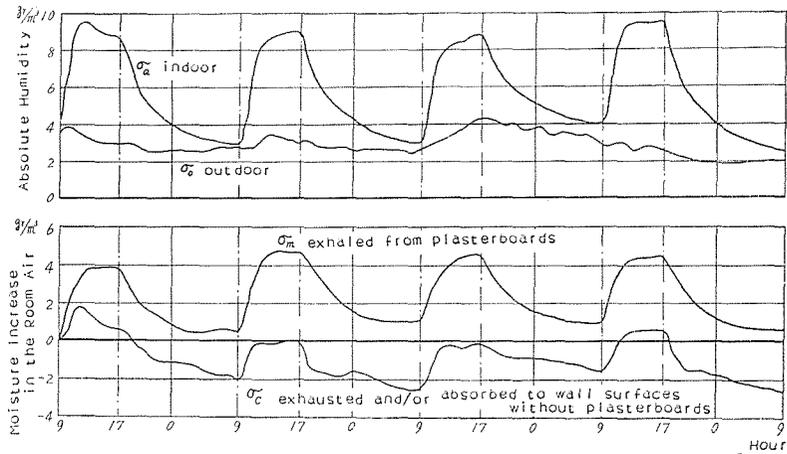


Fig. 2-4. Moisture variation in the room (Plaster boards).

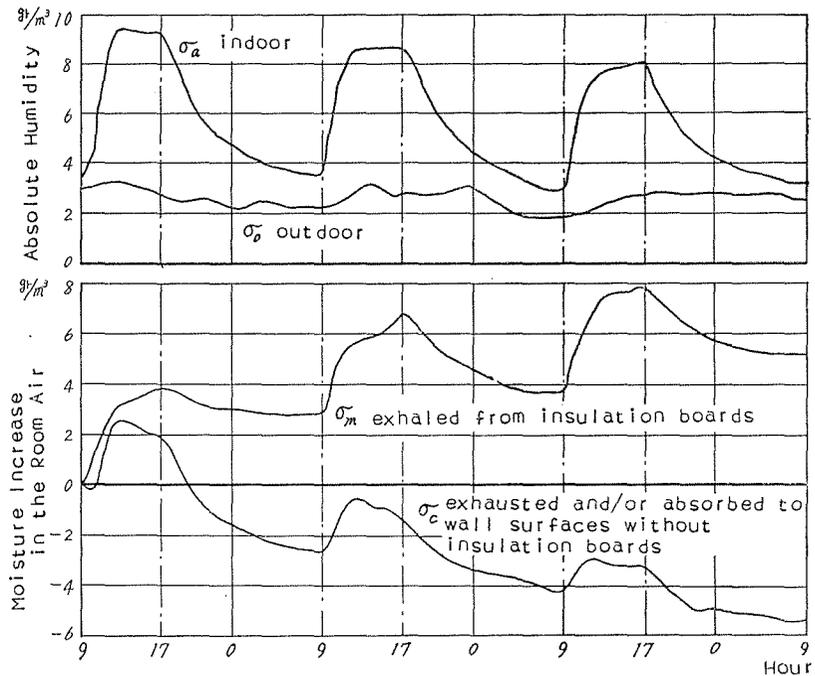


Fig. 2-5. Moisture variation in the room (Insulation boards).

しており、室全体としては水蒸気全量の増減はあまりないものと思われるのに、もし換気による水蒸気交換が行なわれているとすればその結果は一方的であって持出量の方が持込量よりも多くなければならぬから室全体としての水蒸気保有量は減少の傾向がなくてはならないのである。

実際に常続換気があるにもかかわらず室内水蒸気量が全体としてあまり変わらないとすればこれは、壁面やプラスターボード表面などが室内空気の保有水蒸気をも拘束していると考えなければ説明できない。

図2-3はソフトテックス2枚を入れた場合の1日のサイクルの例である。これはプラスターボードの場合と異なり温度変化に応ずる関係湿度の変動速度に変化がみられる。すなわち温度変化のはやくて大きいときは関係湿度も共にはやく動くが、温度変化の速度がおちると、まもなく関係湿度は一定となって動かない。そのためこれと図2-2とを比較してみると、温度変化の停止した位置における湿度は両者とも大差ないが、ここにいたる経路はソフトテックスの場合の方が大きいループを形成するのである。

図2-5は同じく3日間の経過であるが、ソフトテックスが日々軽くなってゆくのが見られる。また空気の絶対湿度もいくらか減ってゆくような傾向があるが、これはおそらく換気による持出しであるとしなければならぬであろう。しかるにプラスターボードを用いた実験のときは換気による水蒸気の持出しは殆んど無いものと見なければならなかった。この矛盾は次のように説明することが出来よう。すなわちプラスターボードまたはテックスが模型室内に持込まれたとき、室内空気と、内壁面と持込まれた材料との三者の間には一定の湿氣的平衡の条件が存在するはずである。したがってこの三者が水蒸氣的に完全絶縁された系を形成しているならば、全体の保有水量は不変で、ただ三者のそれぞれの保持する量の配分比だけが温度に応じて変化するのみとなる。

それゆえ新に持込まれた材料がそのとき新に形成せられるべき配分比に相当しない含湿量をもっていたならば、この材料はただちに室内空気またはこれを介して内壁面との間に水蒸気交換をおこない、新しい平衡に達しようとするであろう。図2-4において最初のサイクルから後いくらかの重量減(4日後で実量30g)が残存しているのは、プラスターボードのこの配分比の平衡のためと考えることが出来る。

しかし図2-5の場合ソフトテックスの重量減は日々累加されているし(3日後で実量120g)空気の保有水蒸気量も減少しているから、これら((B)のIIであらわされる量)がすべて配分比平衡のために内壁面に吸収されているとは考え難い。すなわちこのテックスからの放湿量の幾分かは換気によって室外へ排出されているとしなければならぬ。

換気条件は同じでありながら、プラスターボードのときには絶縁系と考えられ、ソフトテックスのときには水蒸気の流出があるということは、換気の際にこれにともなう水蒸気の入出量を決定するのは室内外の空気の絶対湿度差ではなく、室内環境を形成する系のもつ水蒸気拘

東力のようなものによると考えなくてはならないのである。

あるいはこのような隙間のみによる自然換気経路内においては、空気がここを通過するあいだにその温度に応じた湿氣的平衡に近づいていると解すべきであるかもしれない。そのときは換気による水蒸気排出はむしろ透湿に近い機構をもつと考えられそのため換気量は変わらないが、室内の湿氣的平衡条件に応じて換気経路中における水蒸気の一方交通が実施せられるのである。この問題は今後における自然換気の興味ある研究目的の一つとなり得る。

## [2] 水蒸気発生のある場合

図2-6、2-7、2-8は前項と同じくそれぞれ空室およびプラスターボードを入れたときとソフトテックスを入れたときとの1例であるが、この場合は温度上昇中連続して水蒸気を発生させている。水蒸気の総供給量は約600gである。

空室の場合、室温が上昇しはじめてから4~5時間は水蒸気発生量はまだそれほど多くなっていないので、室内空気の関係湿度は下っており、空気中へは水蒸気発生によるのみならず壁からの放湿による水蒸気供給も見られる。しかし室温上昇速度が緩くなると、水蒸気発生

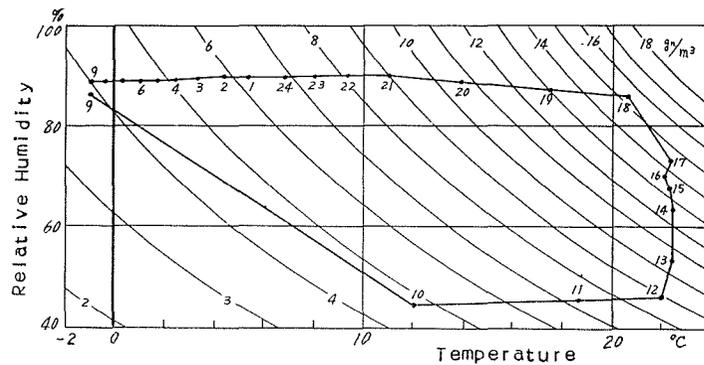


Fig. 2-6. Humidity variation with vapour generation (Empty).

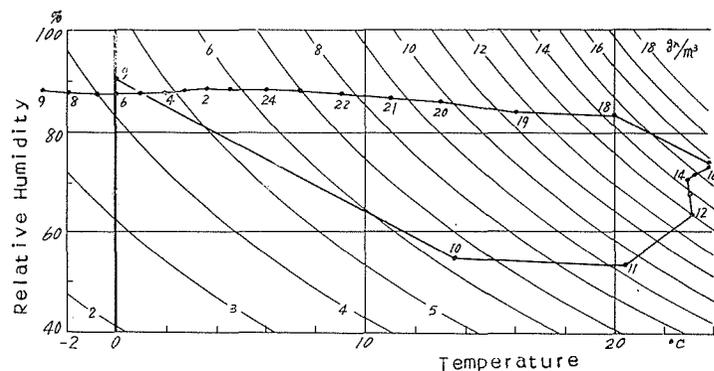


Fig. 2-7. Humidity variation with vapour generation (Plaster boards).

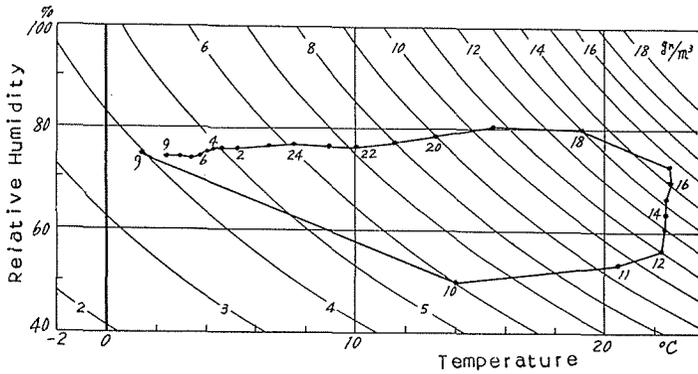


Fig. 2-8. Humidity variation with vapour generation (Insulation boards).

ために室内の関係湿度，絶対湿度共に上昇する。室温の冷却がはじまるとき関係湿度は既に70～80%に達しているのだから，冷却開始後約1時間で90%に近づくが，このとき壁面温度は室温よりも低いから全面的に結露がはじまっている。それまでも隅角部など特に低温の部分は結露している。こうして室内空気は湿度は約90%のまま冷却をつづけ，室温とともに空気の保有水蒸気量も出発点まで戻る。したがって発生水蒸気約600gのうち一部分は換気により排出せられるが大部分は結露として室内に残っている。その後は繰返しによってほとんど毎日同じ経過をたどり，発生水蒸気は壁面に結露しては流下して床に水溜りを作るに至る。

プラスターボードあるいはソフトテックスを入れた場合も，水蒸気発生量が多すぎたため結果としてはあまり変りないこととなった。しかし室温上昇の最初の3時間ほどまだ水蒸気発生が多くないとき，ボードあるいはテックスからの放湿がかなり盛んでそのため室内の関係湿度が空室のときほど低くならない。またそのとき壁面からの放湿は空室のときにくらべていちじるしく少なくなっている。しかし室内が最低温度になったときの関係湿度は空室の場合よりも低い。それゆえボードあるいはテックスを入れたときは空室にくらべて，同じ温度差および同じ水蒸気発生量に対して関係湿度の振幅を10%またはそれ以上小さくしていることとなる。これは前項のように水蒸気発生のないときは当然と考えられるが，このように水蒸気発生があり室内壁面（このときはビニール膜面）がすっかり結露しているような場合でも，室内のボード類に対してある程度の調湿作用が期待出来ることを示すものである。

図2-9は同じく空室の場合の実験経過を示したもので(A)は室内空気の絶対湿度であるがピークがだんだん高くなっているのは発生水蒸気のためではなく温度のピークがそれだけ高くなったためである。(B)の $w$ は発生水蒸気の積算量で，各時刻における $w$ の値は実験開始時よりその時刻までの蒸発量の合計を与えている。また $\sigma_d$ は

$$\sigma_d = w - \sigma_c$$

にてあらわされる量であるが，この場合は空室であるから

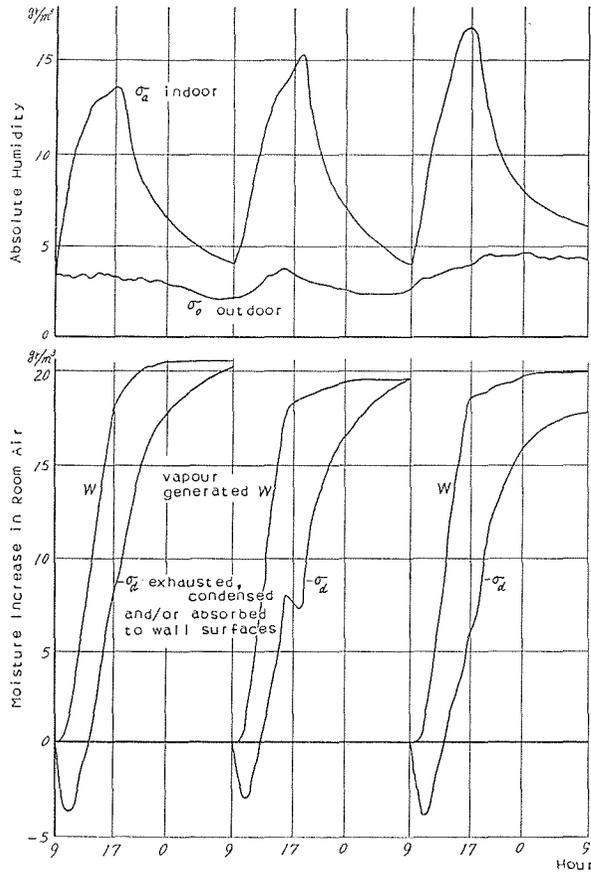


Fig. 2-9. Moisture variation in the room with vapour generation (Empty).

$$\sigma_a = \sigma_a - \sigma_{a0}$$

すなわち  $\sigma_a$  は発生水蒸気のうち空気の絶対湿度増加分とならないで処理されたものの量を示す。したがって  $\sigma_a$  の負号の部分は壁面よりの放湿量を示し正号の部分は壁面への吸湿および換気による排出および結露により凝結した分の合計量となる。その配分についてはこの実験においては測定出来なかったが大部分は結露したものであることは既に述べた。なおこの図は1日毎に0点より描いてあるが、本来2日目以後の  $w$  および  $\sigma_a$  の線は前日のそれぞれ  $w$  および  $\sigma_a$  の終点(9時)から始まるべきものである。

図2-10はプラスターボードを入れた場合であるが、(A)には室内絶対湿度を示し、(C)にはプラスターボードの重量減少から計算した  $\sigma_m$  とプラスターボード以外から室内空気に供給された水蒸気量、すなわち

$$\sigma_a = \sigma_a - \sigma_{a0} - \sigma_m$$

とを示している。したがって(B)の  $\sigma_a$  は発生水蒸気のうち空気中にもプラスターボード中に

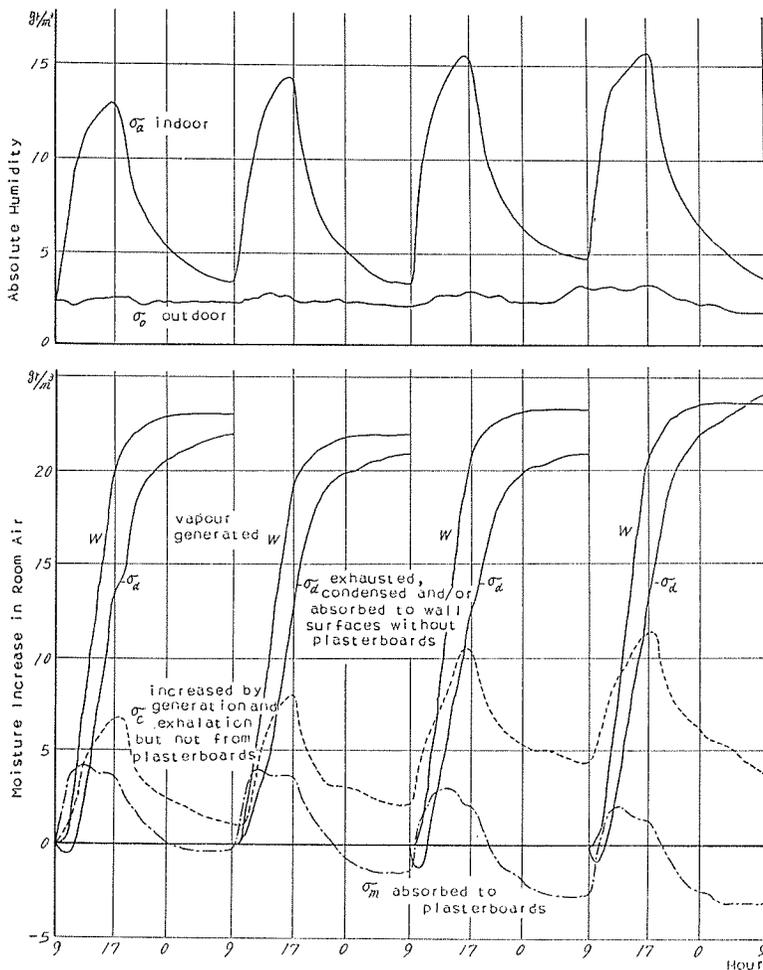


Fig. 2-10. Moisture variation in the room with vapour generation (Plaster boards).

も保持されない量で、負号のとき壁面よりの放湿量を、正号のとき壁面への吸湿、結露および換気による排出量の合計をあらわしている。図2-11の(A), (B), (C)はソフトテックスを入れた場合でそれぞれの記号を付けた線は上と同じ意味を示すものである。

この経過を比較してみると次のようなことが判明する。すなわちプラスターボードは1日のサイクルにおいて吸放湿量ともかなり大きく、毎日少しずつその重さを増しているから、吸収された水蒸気の一部はボード中に蓄積せられている。これに反しソフトテックスは1日のサイクル中における吸湿量は最初の1回だけ大きくてその後は重量増加をしめさない。すなわち2日目以後は、温度上昇中の放湿量と冷却中の吸湿量とがほとんど同じになっているが、これはソフトテックスが最初の1日のサイクルによって、結露した壁面および室内空気との間の基本的な水蒸気配分比に到達していることを示すものである。したがって2日目以後は動的平衡の状態と考えてよい。しかしプラスターボードは4日後にもなおその状態に達しないで内部

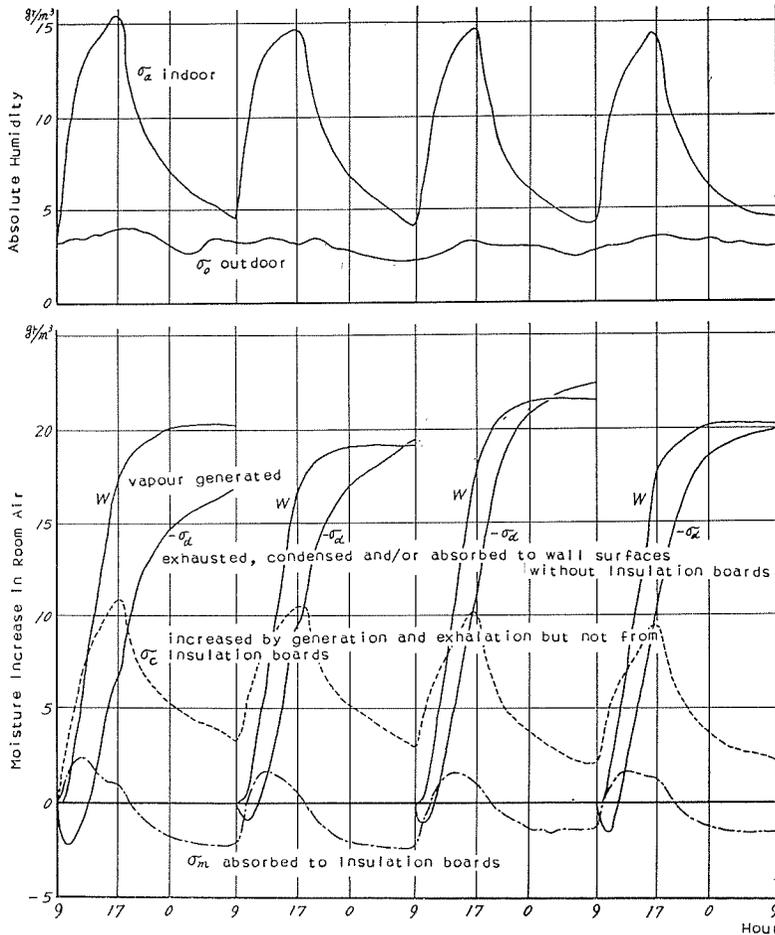


Fig. 2-11. Moisture variation in the room with vapour generation (Insulation boards).

への浸透がつづいているのであろう。このような性質の相違は、おそらく多孔質材料の内部へつながる気孔の大きさの平均または分布に関係があり、プラスターボードの場合は層による材質のちがいがあらわれていると思われる。

### [3] 結果に対する考察

以上を通覧して特に興味のあるのは次のような事項である。

(a) 吸湿性材料の存在によって同じ温度振幅に対して関係湿度の振幅が小さくなる。これは水蒸気発生のない場合にもある場合にもあてはまる。

このとき低温時に関係湿度の低下が大きく、高温時にはむしろ関係湿度は高い。図2-1~3の場合で言うところと14°C 50%のあたりを中心にして空室の場合が最も傾斜しているが、これはもちろん壁面および材料の合計吸放湿能力の相異があらわれているのである。

(b) 図 2-4~5 をみると、第一回目の加熱時には壁面よりの放湿があるが、これにつづく冷却期には吸湿量が多くなり、その後はあまり多くない吸放湿をくりかえしている。したがって室内空気の湿度を決定するのはむしろ材料よりの吸放湿である。

空室の場合の  $\sigma_a$  の振幅はそのまま  $\sigma_e$  の振幅でなければならぬから、それに比べると材料を入れた場合の  $\sigma_e$  の振幅はかなり小さくなっている。

壁面よりの吸放湿が材料の吸放湿によって影響されるのは次のことによっても明らかである。すなわち  $\sigma_m$  をみると、9 時~17 時の加熱期間中上昇を続けているのに対し、 $\sigma_e$  は温度上昇中にもかかわらず早くピークに達し(約 3~4 時間目)それからは吸湿となる。これは材料よりの放湿が強力であるため壁面よりの放湿が抑えられたと考えられる。

(c) 毎日 9 時より最大値までの放湿量と、ピークより翌朝 9 時までの吸湿量とを示すと表 2-1 のようになる。これをみると、吸湿性材料の存在によって、温度変化による空気中の水蒸気量の増減は明らかに多くなっている。

表 2-1

	毎日 9 時より最大値までの増加量			毎日最大値より翌朝 9 時までの減少量		
	空気絶対湿度差 /同上温度差 (g/m <sup>3</sup> )/(°C)	ボード類の 放 湿 (g/m <sup>3</sup> )	壁面よりの 放 湿 (g/m <sup>3</sup> )	空気絶対湿度差 /同上温度差 (g/m <sup>3</sup> )/(°C)	ボード類の 吸 湿 (g/m <sup>3</sup> )	壁面への吸湿 及び換気による 排除 (g/m <sup>3</sup> )
空室 の 場 合	4.4/21.7		4.4	3.2/17.4		3.2
	3.9/19.8		3.9	5.3/25.4		5.3
	4.4/24.4		4.4	3.9/22.3		3.9
	3.7/20.5		3.7	3.5/19.5		3.5
プ ラ ス タ ー ボ ー ド	5.2/17.7	3.8	1.7	6.7/21.9	3.4	3.7
	6.0/22.2	4.2	2.0	6.0/22.0	3.6	2.6
	6.0/22.8	3.6	2.4	5.0/18.8	3.6	1.4
	5.5/18.4	3.5	2.2	7.0/23.8	3.9	3.2
イ ン シ ョ ン レ ボ ー ド	6.1/21.1	3.8	2.6	6.0/19.3	1.0	5.3
	5.2/19.2	4.0	2.2	5.7/21.0	3.2	3.8
	5.2/21.3	4.2	1.4	4.9/18.7	2.7	2.6

また材料よりの最大放湿量に対して壁面よりの最大放湿量は 1/2 強となっているが材料表面積は壁面積の 11.6% であるから、単位面積当りの放湿量としては材料(プラスターボードおよびテックス)よりのものが壁面(ビニール膜)よりのものの約 17~18 倍あることになる。

### § 3. 密閉箱による実験

#### [1] 実験の装置

§ 2. においては、実大模型室を用いたけれども、換気による水蒸気の排出量が測定出来な

いので、全体として各部分のうけもつ湿気交換量を決定することが出来なかった。換気にともなう水蒸気排出量の問題はもちろん大きな研究課題であるけれどもここにはより単純な条件から実験を始めるという原則にしたがって無換気条件のもとにおける吸放湿をとり上げた。

いま、透湿のない材料で箱を作って、これに吸湿性材料を入れると、箱の内壁面と箱内空気と、供試材料との3者は水蒸気について外界と絶縁された一つの系を形成し、壁面の吸着水分と、空気および材料の含有水分との合計量は不変である。このときこの系の一つの温度に対して、平衡状態における3者の間の水蒸気配分比はただ一つの値しかとり得ないと考えられる。したがって温度の変化する状態においても、その速度に応じて配分比の変化は一定の法則にしたがうであろうことが予想されるのである。

これらの実験のための装置および実験結果の一部は既に発表した(注1の(1))。しかしこのとき密閉箱内で材料の重量変化を測定するために用いた特殊天秤は試作品で、十分に精度を上げるに至らず、自記装置も完成していなかった。

その上模型箱が完全密閉でなかったため温度変化に対する箱内空気の膨脹収縮による箱内と外気との交流があつて、厳密な実験条件を得ることが出来なかったので、定性的な解析を試み得たにすぎなかった。

図3-1はこれら一連の予備実験の結果明らかにされた不備をおぎなつて完成した実験装置の説明図である。

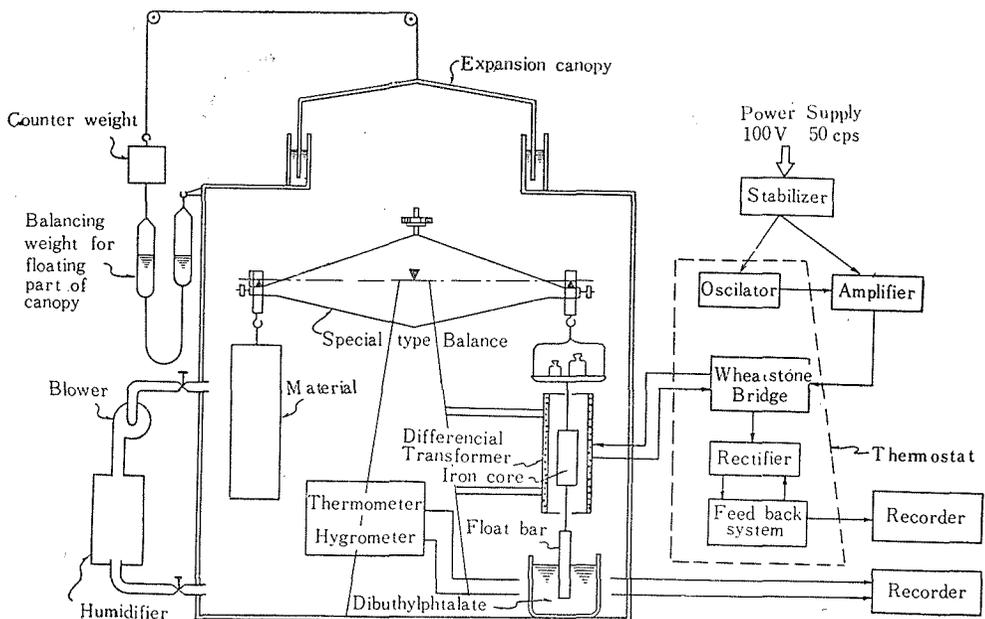


Fig. 3-1. The closed box and measuring system.

内部の特殊天秤は中央支持点の刃先に腕の重心があり、左右の载荷用の刃先は中央刃先と同一平面上にあるように設計されている。したがって微小な不平衡に対しても顛倒してしまうので重錘皿の下端に浮子をつけて復元力を与えている。このとき浮子棒の太さを均一にしておけば重量変化は正確に浮子棒の水浸長に比例する。もっとも箱内では水を用いることは出来ないので蒸気圧、親水性とも非常に小さいジブチルフタレイトを用いている。浮子棒の変位は差動トランスによって遠隔自記記録せしめる。

天秤の支点間距離(片腕長)は250 mm、最大変位50 mmで载荷容量は2 kg、精度は $10^{-5}$ である。供試材料の最大重量変化は予備実験において3 g以内であったので、浮子棒の直径を約10 mmとして重量0.8 gに対し変位10 mmの割合になるようにした。(ジブチルフタレイトの比重1.047)。

このような範囲内では温度変化による天秤の腕長の変化やジブチルフタレイトの比重の変化は天秤の精度に対して誤差のうちに入っていないが、差動トランスに対しては1000サイクルの交流信号を送り、コア50 mmの変位に対して直流6 mVの直線的变化をとり出しているので発振器およびブリッジ回路、整流回路は恒温槽中に入れて出力の温度による変動をふせいでいる。自記記録計は6 mVに対して100目盛となっている。

密閉箱の大きさは80 cm×80 cm×80 cmの立方体で天井に油封の可動帽をそなえ、温度変化に対して定圧を保つようにした。箱は充分気密に作られてはいるが、圧力変化に対して可動帽が滑らかに作動するようカウンターウェイトを付け、更に油封部分の浮力変化と自動的にバランスする補償装置をつけてある。このため完全な無換気箱となり、水蒸気について絶縁系を形成しているが、内壁面積は可動帽の上下にともなって増減する。しかし壁面への水蒸気吸着量の変化は全体として多くはないので、面積の変動は無視することとした。

## [2] 箱内空気の絶対湿度の変動を与える実験式

箱内において空気中に含まれる水蒸気量を $S_a$ 、供試材料中に含まれる水分量を $S_m$ 、壁面や測定器等の表面に吸着されている残余の水分量を $S_b$ とし、

$$S_m + S_a + S_b = S \quad (1)$$

とおくと、一般に $S_m$ と $S_a$ とを測定することは出来るが $S_b$ は測定し難い。したがって $S_m$ と $S_a$ との関係を求めることが出来ない。

しかし今箱を密閉してしまって水蒸気についての絶縁系を形成すると、この系の温度を変化させても $S_m$ 、 $S_a$ 、 $S_b$ の比率が変化するだけで合計量である $S$ の値は変化しない。

今Iなる条件において

$$S_{mI} + S_{aI} + S_{bI} = S \quad (2)$$

またIIなる条件において

$$S_{mII} + S_{aII} + S_{bII} = S \tag{3}$$

であったとすると

$$(S_{mII} - S_{mI}) + (S_{aII} - S_{aI}) + (S_{bII} - S_{bI}) = 0 \tag{4}$$

したがって  $S_m$  および  $S_a$  が測定できるならば  $S_b$  についても少なくともある基準状態よりの変化量を知ることが出来る。

そこでこの系において長時間一定の温度を維持したとき、(1)式の各々の配分比は一定値に近づくと考える。すなわち壁面と材料と空気との間には一つの温度に対して只一つの平衡関係があると仮定する。

今もしこのような平衡が破れている状態であるとすると、三者の間に水蒸気の交換が行なわれて平衡に達しようとするであろう。そのときどれほど平衡点からはなれているかによって交換のための水蒸気移動速度も変化するはずである。

すなわち、図3-2にみるように平衡でない場合には

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_b}{dt} &= f_b(S_{bE} - S_b) \\ \frac{dS_m}{dt} &= f_m(S_{mE} - S_m) \\ \frac{dS_a}{dt} &= f_a(S_{aE} - S_a) \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

ただし  $S_{bE}$ ,  $S_{mE}$ ,  $S_{aE}$  はこの温度で平衡状態にあるときのそれぞれの含湿量を示す。また、空気は壁面にも、材料にも接しているからこの両方の変化の合計を示すことになる。

(1)より

$$S - S_a = S_b + S_m$$

ゆえに

$$\begin{aligned} -\frac{dS_a}{dt} &= \frac{dS_b}{dt} + \frac{dS_m}{dt} \\ -f_a(S_{aE} - S_a) &= f_b(S_{bE} - S_b) \\ &\quad + f_m(S_{mE} - S_m) \end{aligned} \tag{6}$$

次に温度の変化する場合を考える。温度の変化速度が準静的と考えられるときは、この系は平衡を維持していると見

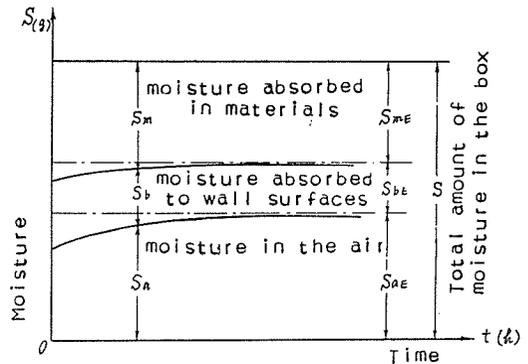


Fig. 3-2. Variation of the allocated moisture in isothermal process from non-equilibrium to equilibrium in the closed box.

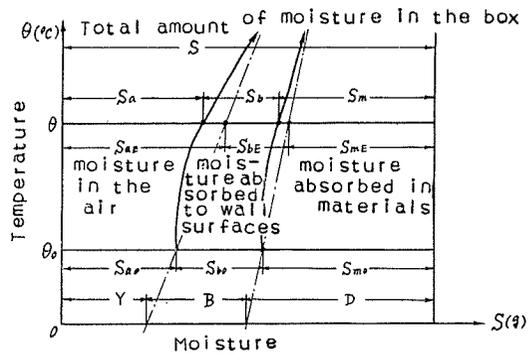


Fig. 3-3. Variation of the allocated moisture with variation of temperature from initial equilibrium to another equilibrium in the closed box.

てよい。しかし温度変化がもっと速いときは吸放湿の速さと温度変化の速さとが必ずしも同じでないから平衡はやぶれ、水蒸気の配分はいろいろな値をとりながら変化することになる。

いま 図 3-3 において、この密閉箱の中の温度が変化しつつ  $\theta$  となったとき

$$S = S_a + S_b + S_m$$

であったとし、温度  $\theta$  における平衡な関係が

$$S = S_{aE} + S_{bE} + S_{mE}$$

なる値であらわされるものとする、このときの温度変化と水蒸気量変化との関係は次のよう  
にあらわされる。

$$\begin{aligned} \frac{dS_a}{d\theta} &= \frac{dS_a}{dt} \cdot \frac{dt}{d\theta} \\ \frac{dS_b}{d\theta} &= \frac{dS_b}{dt} \cdot \frac{dt}{d\theta} \\ \frac{dS_m}{d\theta} &= \frac{dS_m}{dt} \cdot \frac{dt}{d\theta} \end{aligned}$$

そこで温度変化のみについてこれを

$$\theta = \varphi(t) \tag{7}$$

とすると、(5), (7) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_a}{d\theta} &= \frac{f_a(S_{aE} - S_a)}{\varphi'(t)} \\ \frac{dS_b}{d\theta} &= \frac{f_b(S_{bE} - S_b)}{\varphi'(t)} \\ \frac{dS_m}{d\theta} &= \frac{f_m(S_{mE} - S_m)}{\varphi'(t)} \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

となる。

したがってこの系の各温度における平衡状態 (図 3-3 の  $E_a$  および  $E_m$ ) がわかっているならば、これに既知の温度変化をあてた場合の空気の湿度の変化と、材料の吸湿量の変化とを測定することによってその結果を図 3-3 のように描き、これより各点の  $\frac{dS_a}{d\theta}$  etc. を知って (8) 式に入れば (5) 式を解くことが出来るであろう。

筆者の場合は実験から得た結果を見た上で、逆に (5) 式の形を予想し、これが実験式として結果に適合するかどうかを見る方法をとった。そのため (5) 式に対して最も単純な函数形として

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_b}{dt} &= b(S_{bE} - S_b) \\ \frac{dS_m}{dt} &= m(S_{mE} - S_m) \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

$b, m$  は常数

にて示されるようなものを予想した。

(9)を解くと

$$\left. \begin{aligned} S_b &= e^{-bt} (b \int e^{+bt} \cdot S_{bE} \cdot dt + R) \\ S_m &= e^{-mt} (m \int e^{+mt} \cdot S_{mE} \cdot dt + T) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

となるが,  $S_{bE}$ ,  $S_{mE}$  は本来時間の函数であるのではなく, 温度の函数であつて, もし温度が一定であるなら

$$\left. \begin{aligned} S_b &= R e^{-bt} + S_{bE} \\ S_m &= T e^{-mt} + S_{mE} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

となる。いまは温度を変化させているのであるから

$$\left. \begin{aligned} S_{bE} &= \psi_b(\theta) \\ S_{mE} &= \psi_m(\theta) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

であつて, この函数形が与えられると, (10)の形も定まるが,  $\theta$ の変動のあまり大きくない範囲では  $\psi_b$ ,  $\psi_m$  の形として直線形を用い

$$\left. \begin{aligned} S_{bE} &= A\theta + B \\ S_{mE} &= C\theta + D \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

としてよい。

また実験に際して一定熱量の供給による温度上昇と自然冷却の過程として

$$\theta = L e^{-\alpha t} + M e^{-\beta t} + N \quad (14)$$

をあたえたとき

$$\left. \begin{aligned} S_{bE} &= AL e^{-\alpha t} + AM e^{-\beta t} + AN + B \\ S_{mE} &= CL e^{-\alpha t} + CM e^{-\beta t} + CN + D \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

となる。

それゆゑこれを(10)式に入れて解くと

$$\left. \begin{aligned} S_b &= \frac{bAL}{b-\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{bAM}{b-\beta} e^{-\beta t} + (AN+B) + R' e^{-bt} \\ S_m &= \frac{mCL}{m-\alpha} e^{-\alpha t} + \frac{mCM}{m-\beta} e^{-\beta t} + (CN+D) + T' e^{-mt} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

となるが  $R'$ ,  $T'$  は始初条件によつてきまる常数である。

実験のはじめに温度  $\theta_0$  にて平衡に達せしめておき, ここから(14)式の如き温度変化を与えるようにすると

$$\theta_0 = L + M + N$$

またこのときの  $S_b$  を  $S_{b0}$  とすれば, 平衡状態であるから

$$S_{b0} = A(L + M + N) + B$$

おなじく

$$S_{m_0} = C(L+M+N)+D$$

(16) 式において  $t=0$  とおけば

$$A(L+M+N)+B = \frac{bAL}{b-a} + \frac{bAM}{b-\beta} + AN+B+R'$$

$$C(L+M+N)+D = \frac{mCL}{m-a} + \frac{mCM}{m-\beta} + CN+D+T'$$

これより  $R'$ ,  $T'$  を求めて (16) 式に入れ

$$\left. \begin{aligned} S_b &= \frac{bAL}{b-a} e^{-at} + \frac{bAM}{b-\beta} e^{-\beta t} - \frac{\alpha AL}{b-a} e^{-bt} - \frac{\beta AM}{b-\beta} e^{-bt} + AN+B \\ S_m &= \frac{mCL}{m-a} e^{-at} + \frac{mCM}{m-\beta} e^{-\beta t} - \frac{\alpha CL}{m-a} e^{-mt} - \frac{\beta CM}{m-\beta} e^{-mt} + CN+D \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

これによって  $S_b$ ,  $S_m$  があたえられる。

実験に際しては  $S_b$  を直接測定することが出来ないので箱内空気の温度と関係湿度とを測定しこれより絶対湿度  $\sigma_a$  を求めて

$$\sigma_a = \frac{S_a}{V}$$

$V$ : 箱内容積

一方材料の重量変化を測定して  $S_m$  を知るが、このとき絶乾重量が判明していれば  $S_m$  がそのまま与えられるけれども絶乾重量がわからなくても  $t=0$  以後の変化量

$$\sigma_m = \frac{S_m - S_{m_0}}{V}$$

を知れば

$$\sigma_b = \frac{S_b - S_{b_0}}{V} = \sigma_{a_0} - \sigma_a - \sigma_m$$

によって  $S_b$  の  $t=0$  以後の変化量、すなわち  $S_{b_0}$  を基準としたときの吸放湿量を知ることが出来る。

実験値としては  $\sigma_a$  が得られるわけであるから

$$\begin{aligned} \sigma_{a_0} - \sigma_a &= \sigma_b + \sigma_m \\ \sigma_a &= \sigma_{a_0} - (\sigma_b + \sigma_m) \\ &= \frac{1}{V} (S_{b_0} - S_b + S_{m_0} - S_m) + \sigma_{a_0} \end{aligned} \quad (18)$$

また (17) より

$$S_{b_0} - S_b = \frac{bAL}{b-a} (1 - e^{-at}) + \frac{bAM}{b-\beta} (1 - e^{-\beta t}) - \left( \frac{\alpha AL}{b-a} + \frac{\beta AM}{b-\beta} \right) (1 - e^{-bt})$$

$$S_{m0} - S_m = \frac{mCL}{m-a} (1 - e^{-at}) + \frac{mCM}{m-\beta} (1 - e^{-\beta t}) - \left( \frac{aCL}{m-a} + \frac{\beta CM}{m-\beta} \right) (1 - e^{-mt})$$

これより

$$\begin{aligned} \sigma_a = \frac{1}{V} & \left\{ \left( \frac{bA}{b-a} + \frac{mC}{m-a} \right) L(1 - e^{-at}) + \left( \frac{bA}{b-\beta} + \frac{mC}{m-\beta} \right) M(1 - e^{-\beta t}) \right. \\ & \left. - \left( \frac{aL}{b-a} + \frac{\beta M}{b-\beta} \right) A(1 - e^{-\beta t}) - \left( \frac{aL}{m-a} + \frac{\beta M}{m-\beta} \right) C(1 - e^{-mt}) \right\} + \sigma_{a0} \quad (19) \end{aligned}$$

ここにおいて箱内空気の平衡状態は

$$S_{aE} = S - (S_{bE} + S_{mE})$$

であるから(13)式の成立つばあいは  $S_{aE}$  もまた直線であらわされる。

$$S_{aE} = X\theta + Y = S - (A+C)\theta - (B+D)$$

ゆえに

$$\begin{cases} X = -(A+C) \\ Y = S - (B+D) \end{cases} \quad (20)$$

したがって

$$\sigma_{a0} = \frac{S_{a0}}{V} = \frac{1}{V} (X\theta_0 + Y) = \frac{1}{V} \{ X(L+M+N) + Y \} \quad (21)$$

これを(19)式に入れると

$$\begin{aligned} \sigma_a = \frac{1}{V} & \left\{ \left( \frac{bA}{b-a} + \frac{mC}{m-a} \right) L(1 - e^{-at}) + \left( \frac{bA}{b-\beta} + \frac{mC}{m-\beta} \right) M(1 - e^{-\beta t}) \right. \\ & \left. - \left( \frac{aL}{b-a} + \frac{\beta M}{b-\beta} \right) A(1 - e^{-\beta t}) - \left( \frac{aL}{m-a} + \frac{\beta M}{m-\beta} \right) C(1 - e^{-mt}) + X(\theta_0 - \theta) \right. \\ & \left. + X\theta + Y \right\} \end{aligned}$$

これを整理すると

$$\begin{aligned} \sigma_a = \frac{1}{V} & \left\{ \left( \frac{aL}{b-a} + \frac{\beta M}{b-\beta} \right) A e^{-\beta t} + \left( \frac{aL}{m-a} + \frac{\beta M}{m-\beta} \right) C e^{-mt} \right. \\ & \left. - \left( \frac{aA}{b-a} + \frac{aC}{m-a} \right) L e^{-at} - \left( \frac{\beta A}{b-\beta} + \frac{\beta C}{m-\beta} \right) M e^{-\beta t} + X\theta + Y \right\} \quad (22) \end{aligned}$$

となる。

しかしながら以上導いてきたのは推定式であってこれが実験式として用い得るためには実験値が果して(22)とよく合致するかどうかを確かめなくてはならないが、このままの形であれば  $A$ ,  $C$ ,  $b$ ,  $m$  等が未知であるためこれを検討することがはなはだ困難である。

ここに用いた装置(図3-1)の箱内壁面は亜鉛鍍鉄板であって、空箱による実験の結果によれば箱壁への水蒸気吸着速度はきわめて速く、実験において与えた温度変化の範囲に対して全く遅れを示さない。言いかえると温度変化の速度如何にかかわらず箱壁面と箱内空気とは常に

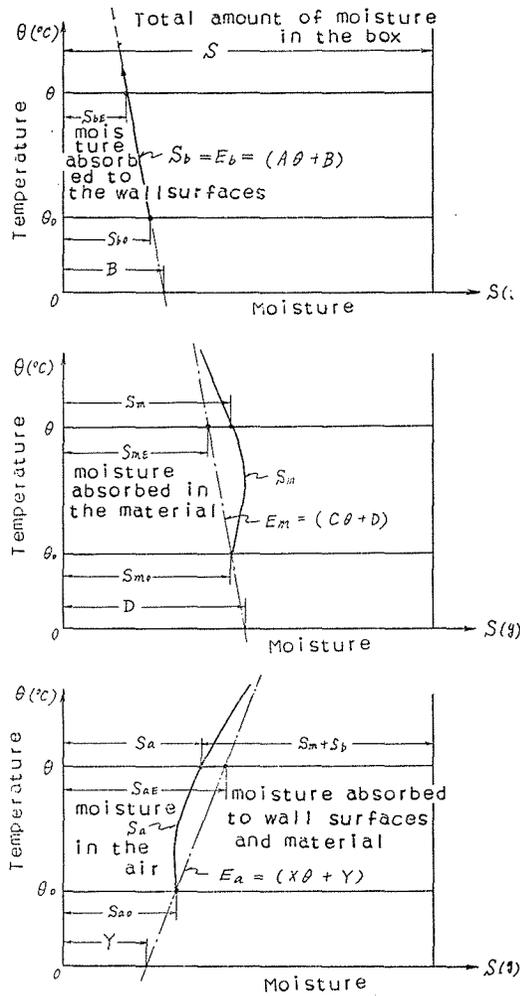


Fig. 3-4. Moisture absorbed to wall surfaces is always in equilibrium with remaining moisture when the temperature varies.

平衡関係を保持していた。(注1の(1))

したがってこのときは 図3-4のように材料と箱壁とへの合計含湿量と空気中の水蒸気量との平衡位置を考え、これを基準として  $S_a$  を求めるならばこれは同時に  $S_b + S_m$  をも与え、しかも常に  $S_b = S_{bE}$  であるから (22) 式はもっと簡単な式であらわすことが出来る。

すなわち材料と空気との間にのみ不平衡がおこるから

$$\frac{d(S_b + S_m)}{dt} = m \{ (S_{mE} + S_{bE}) - (S_m + S_b) \} \tag{23}$$

また

$$S_{mE} + S_{bE} = (A + C)(L e^{-\alpha t} + M e^{-\beta t} + N) + (B + D)$$

として(16)式と同じように解くと

$$S_m + S_b = \frac{m(A+C)}{m-a} L e^{-at} + \frac{m(A+C)}{m-\beta} M e^{-\beta t} - (A+C) \left( \frac{aL}{m-a} + \frac{\beta M}{m-\beta} \right) e^{-mt} + (A+C)N + (B+D) \quad (24)$$

となる。しかし実験値をあてはめるときは  $S_b$  の値は測定出来ないで  $S_m$  および  $S_a$  があたえられるのであるから(24)式のみでは解けない。

(18)式より

$$\sigma_a = \sigma_{a0} + \frac{1}{V} \left\{ (S_{m0} + S_{b0}) - (S_m + S_b) \right\}$$

これに(24)式および(24)式を解くために用いた始初条件を入れると

$$\sigma_a = \sigma_{a0} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{A+C}{m-a} L_m (1-e^{-at}) + \frac{A+C}{m-\beta} M_m (1-e^{-\beta t}) - \left( \frac{aL}{m-a} + \frac{\beta M}{m-\beta} \right) (A+C) (1-e^{-mt}) \right\} \quad (25)$$

これを更に簡単な形に整理するために(21)式を入れて

$$\sigma_a = \frac{X}{V} \left\{ \frac{aL}{m-a} (e^{-at} - e^{-mt}) + \frac{\beta M}{m-\beta} (e^{-\beta t} - e^{-mt}) \right\} + \frac{1}{V} (X\theta + Y) \quad (26)$$

となる。

箱内の気温変化を指数関数1項のみであらわし

$$\theta = L e^{-at} + N$$

としたとき(26)式にて  $M=0$  とおいて

$$\sigma_a = \frac{X}{V} \cdot \frac{aL}{m-a} (e^{-at} - e^{-mt}) + \frac{1}{V} (X\theta + Y) \quad (27)$$

これをもととした実験式

$$\sigma_a = P e^{-\lambda t} (e^{\mu t} - e^{-\nu t}) + R(L e^{-at} + N) + T \quad (28)$$

が実験値とよくあうことは既に示した。(注1の(1))

(28)式は  $\theta \sim \sigma$  座標系において

$$\sigma_{aB} = R\theta + T$$

なる直線を基線として描かれた減衰振動の形であって、実験値を  $\theta \sim \sigma$  図上にプロットして得た図形から  $P$ ,  $\lambda$ ,  $\mu$  を求めることは容易である。

このとき

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{X}{V} \cdot \frac{aL}{m-a} \\ e^{-at} - e^{-mt} &= e^{-(\lambda-\nu)t} - e^{-(\lambda+\nu)t} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

となる。

しかし箱内空気の温度を上昇または下降せしめるとき箱の熱容量等のためその温度変化を指数関数1項のみであらわすことは無理である。したがって(28)式は初期の温度変化には合致しないので、どうしても(26)式を用いなくてはならない。

$$\theta = L e^{-\alpha t} + M e^{-\beta t} + N$$

において、箱内に熱源をおいたとき  $L, M$  は同符号で、箱外からあたためるとき  $L, M$  は異符号となる。この実験に際して始初条件は温湿度共平衡であり、箱外から温気および冷気によって温度変化をあたえているので、

$$t=0 \text{ において } \frac{d\theta}{dt} = 0$$

となる。したがって

$$aL = -\beta M \quad (30)$$

(30) を (26) 式に入れると

$$\sigma_a = \frac{XaL}{V(m-a)(\beta-m)} \left\{ (\beta-m)e^{-\alpha t} + (m-a)e^{-\beta t} + (a-\beta)e^{-mt} \right\} + \frac{1}{V}(X\theta + Y) \quad (31)$$

を得るが、もちろん(31)式の方が(28)式よりもよく実験値に合致する。(注1の(2))

ハードテックス 460 mm × 460 mm × 5 mm のもの一枚を入れたときの1例を図3-5に示す。

このときの温度変化の方程式は

加熱過程

$$\theta_h = -14.0 e^{-0.2162t} + 2.6 e^{-1.1642t} + 14.6$$

冷却過程

$$\theta_c = 18.6 e^{-0.3288t} - 4.0 e^{-1.5289t} + 4.4$$

絶対湿度変化の方程式は

加熱過程

$$\sigma_h = -6.9308(0.1205 e^{-0.2162t} + 0.8275 e^{-1.1642t} - 0.9480 e^{-1.0437t}) + 0.2283(-14.0 e^{-0.2162t} + 2.6 e^{-1.1642t}) + 5.35$$

冷却過程

$$\sigma_c = 6.2113(0.2394 e^{-0.3288t} + 0.9607 e^{-1.5289t} - 1.2001 e^{-1.2895t}) + 0.2336(18.6 e^{-0.3288t} - 4.0 e^{-1.5289t}) + 3.15$$

となる。これより

	加熱過程	冷却過程
$m$	1.0437	1.2895
$\frac{X}{V}$	0.2283	0.2336
$\frac{Y}{V}$	2.02	2.12

が得られる。

実験はまず試料を箱中の天秤につるして蓋を閉じ全体を一定温度の室内に放置して試料の重量変化および箱内空気の温湿度変化が停止するのを待つ。平衡に達したならば次に室内に一定温度の温気又は冷気を送って箱外から温度変化を与え、送入の温気又は冷気の温度と箱内の温度とが等しくなつてからもなお試料の重量変化が停止するまで待つてこれを1過程とする。

このとき温度変化の方程式は 図 3-5 (2) に示すように片対数方眼紙上にプロットして指数を決定する。また始の平衡状態における絶対湿度と終の平衡状態における絶対湿度とより

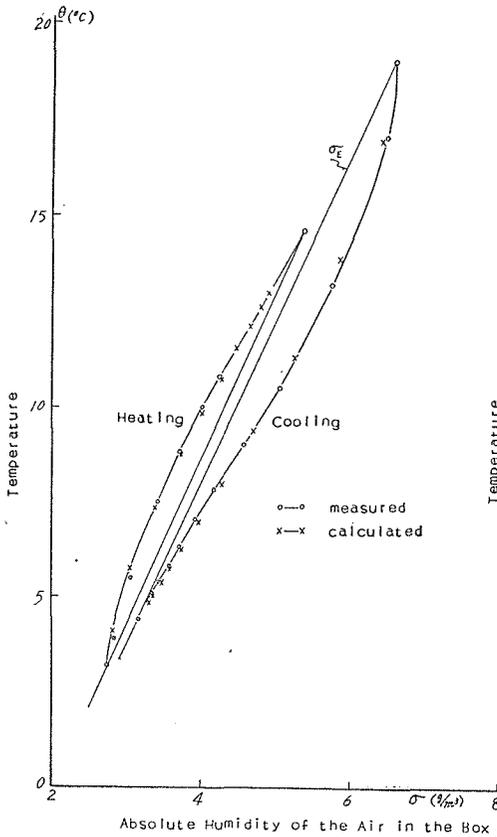


Fig. 3-5 (1). Variation of temperature and humidity of the air in the box (Fibreboard in).

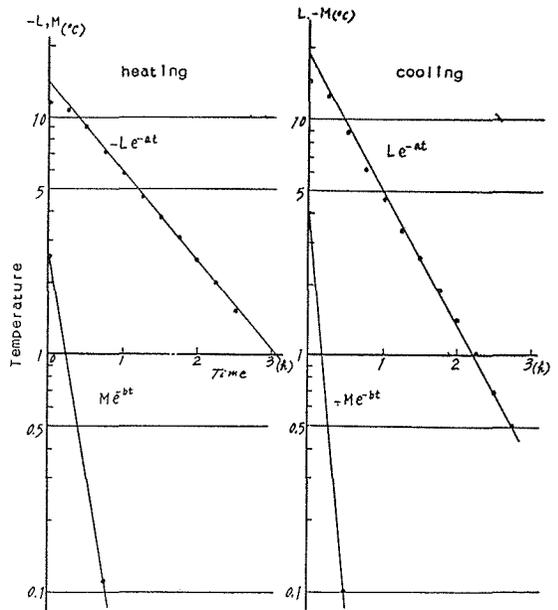


Fig. 3-5 (2). Given variation of temperature.

$$\sigma_{aE} = \frac{1}{V} (X\theta + Y)$$

における  $X, Y$  を決定する。このとき未知数は  $m$  のみとなる故、(30)式よりこれを知る。ただし実験経過中の 1 時刻のみの  $\sigma_a$  の値から  $m$  を決定すると誤差が大きいから、全過程について最もよく適合するように  $m$  をえらばなくてはならない。

こうして求めた  $m$  の値は (26) 式によったものであるから箱内空気の温湿度の測定値のみによって計算出来る。しかしこれは正確に言えば箱壁と材料との合計の吸湿能力をあたえているのであって材料のみの吸湿力を示すものではない。

[3] 箱壁と材料との吸放湿量の配分

図 3-6 は箱内空気の絶対湿度変化と同時に材料の重量変化をも測定して、これを示したものである。ここには scale をあわせるため

$$\sigma_m = \frac{1}{V} (S_m - S_{m0})$$

を用いた。ただしこのとき箱内に入っている測定装置等の容積をのぞいて  $V = 0.502 \text{ m}^3$  として計算している。

これを見ると加熱過程と冷却過程とでは初期における温度変化の速度がちがうので絶対湿度の変化の形がかなりちがう。

しかし材料の吸放湿の形はこれに影響されていないので、両者の形の上にかんがりの喰い違いがある。

したがって

$$\sigma_b = \sigma_{a0} - \sigma_a - \sigma_m \quad (32)$$

によって  $\sigma_b$  を求めると、この  $\sigma_b$  は最初温度変化の方向とは逆の方向にむかうようになる。

箱全体としては外から加熱、冷却を行なっている故、箱壁は材料よりも先に温度変化をうけるのであり、このような現象とは矛盾している。この現象は冷却のときよりも加熱のとき甚だしいから、おそらく箱内空気の温度分布が、(したがって湿度分布も) 攪乱され測定位置による差が出るのであろう。

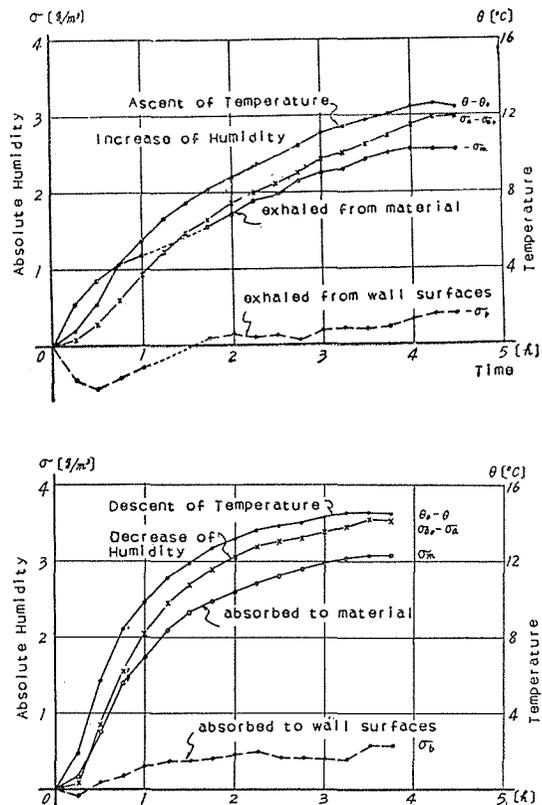


Fig. 3-6. Variation of absolute humidity referred to allocation of moisture.

しかし時間が経過すると  $\sigma_b$  はよく  $\theta$  に比例するようになる。

測定のはじめにおいて  $\sigma_b=0$ ,  $\sigma_m=0$  として測定のおわりの平衡状態における  $\sigma_b$ ,  $\sigma_m$  を用いて

$$\left. \begin{aligned} S_{bE} &= A\theta + B \\ S_{mE} &= C\theta + D \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

における  $A$ ,  $C$  の値を求めたものを表 3-1 に示す。

表 3-1 温度変化に対する水蒸気量平衡特性 (g/m<sup>3</sup>°C)

	X/V		A/V		C/V	
	加 熱	冷 却	加 熱	冷 却	加 熱	冷 却
空 箱	0.0925	0.0925	0.0925	0.0925	—	—
プラスチックボード	0.2661	0.2706	0.1061	0.1108	0.1600	0.1598
ハードテックス	0.2416	0.2416	0.0123	0.0295	0.2293	0.2121
ハードテックス S/2	0.3042	0.3042	0.0802	0.0825	0.2240	0.2217
” S/4	0.2496	0.2496	0.0549	0.0843	0.1947	0.1653
ソフトテックス	0.3098	0.4054	0.0114	0.0818	0.2984	0.3236
しなベニヤ	0.2700	0.2700	0.0435	0.0547	0.2265	0.2153

このように  $X$  の値が似ている場合でも材料の種類や大きさによって  $A$  と  $C$  との比が全く異なることがわかる。

更に  $A$  の値に大きいバラツキのあることは、箱壁の吸着量が、材料の存在によって大きい影響をうけることを示すもので、特に吸放湿能力の大きい材料が存在する場合箱壁への吸着量が温度によってほとんど変化しない(すなわち  $A/V \approx 0$ ) と見られる場合もある。このような場合は温度変化によって空気と材料との間のみ水蒸気交換がみられ、空気と箱壁の間には水蒸気交換がないと考えねばならない。

このような関係を更に確かめるために試料をハードテックスのみに限り、大きさを変えることによって  $\sigma_m$  と  $\sigma_b$  との比率の法則を見出そうとした。(注 1 の (5))

試料の大きさは次の通りである。

記号	S	S/4	S/8	S/16	N
大きさ	400 mm×400 mm	200 mm×200 mm	200 mm×100 mm	100 mm×100 mm	空 箱

(S) の場合 (図 3-7)

20°C 以上にわたるさまざまな温度変化に対し箱内空気の関係湿度は常に 45% で殆んど変化しない。これは試料が十分な吸放湿能力をもっていることを示すばかりでなく、いわゆる調湿力として空気の関係湿度を制御する能力の充分あることを示している。

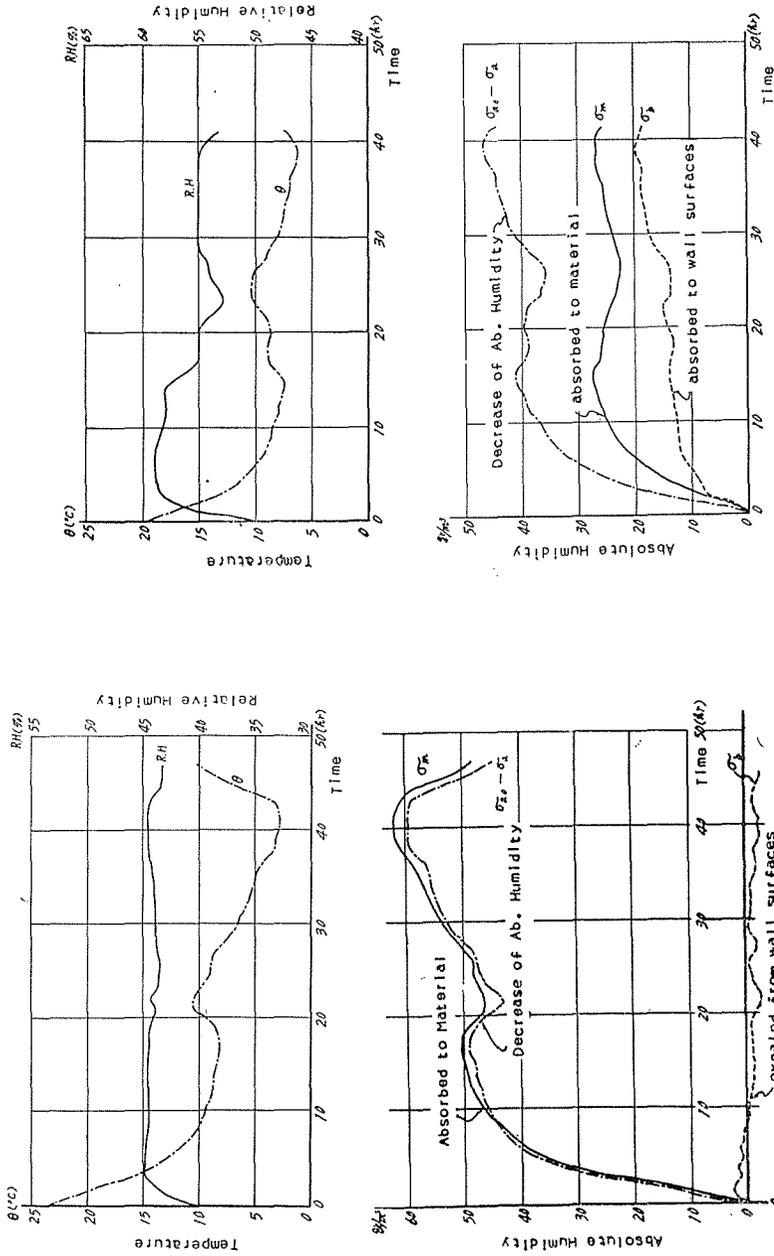


Fig. 3-8. Variation of humidity (Test material S/4 in the box).

Fig. 3-7. Variation of humidity (Test material S in the box).

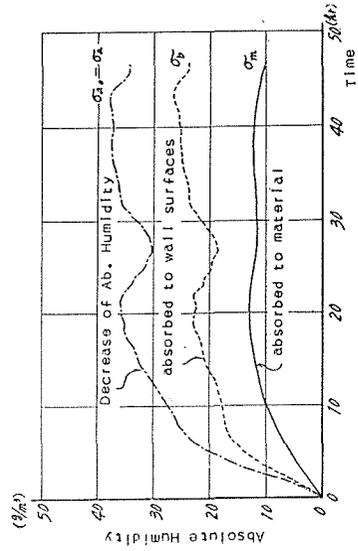
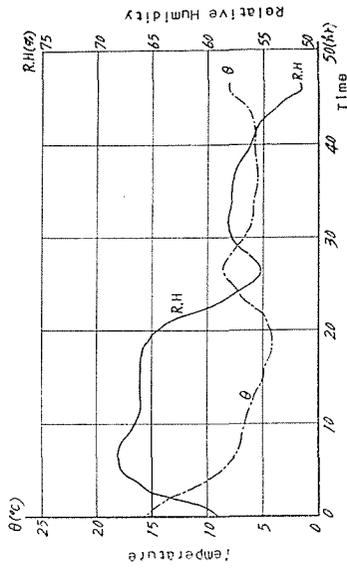


Fig. 3-10. Variation of humidity (Test material S/16 in the box).

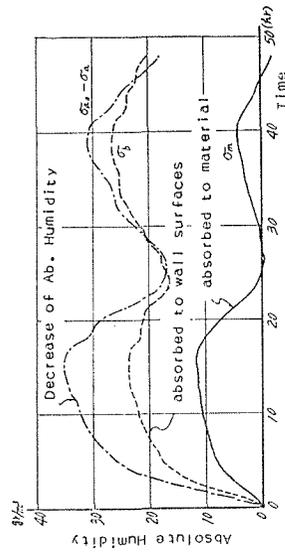
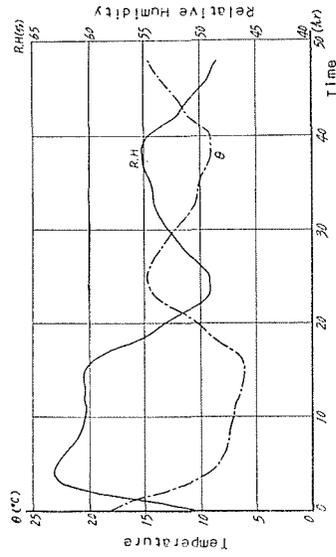


Fig. 3-9. Variation of humidity (Test material S/8 in the box).

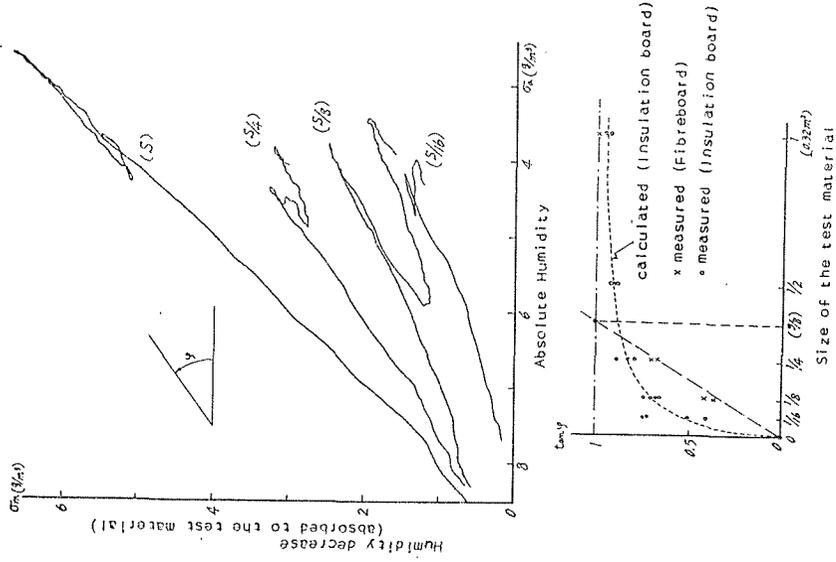


Fig. 3-12. Moisture allocation to material and wall surfaces.

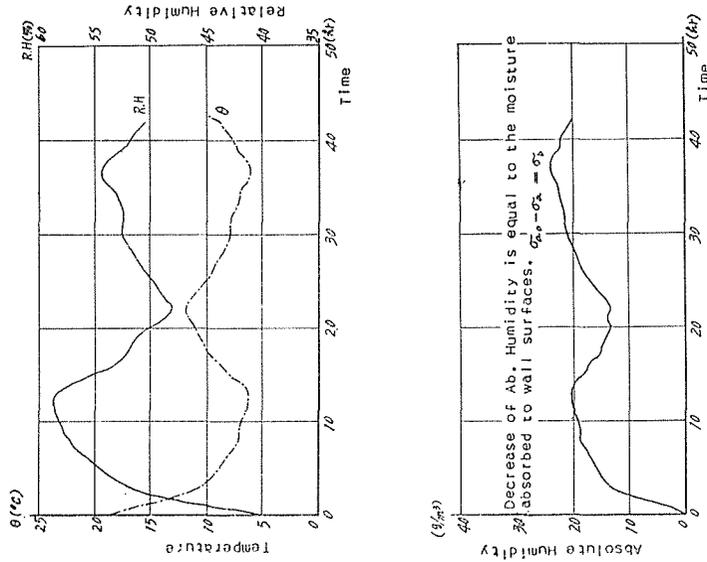


Fig. 3-11. Variation of humidity (The empty box).

更にこの場合  $\sigma_m$  がほとんど常に  $\sigma_{a0} - \sigma_a$  に追隨して、(32) 式より

$$\sigma_b = 0.01 \sim 0.02$$

と見ることが出来る。

すなわち箱壁はほとんど吸放湿をせず、空気中の水蒸気量の増減は 95% 以上を材料の吸放湿によっているのである。

(S/4) の場合 (図 3-8)

温度変化に応じて箱内空気の関係湿度も変動するようになる。また箱壁にも相当量の吸放湿がみられ、材料で約 60% 箱壁で約 40% を分担している。

(S/8) の場合 (図 3-9)

関係湿度の変動は更に大きくなり、空気中水蒸気量の増減はむしろ箱壁によって受けもたれるようになる。その配分はおよそ材料が 40% 箱壁が 60% 位である。

(S/16) の場合 (図 3-10)

配分比は材料が 30% 箱壁が 70% にも達するが、材料の重量変化には細かい動きがなくなり吸放湿における柔軟性がなくなっていることを示している。すなわち調湿能力について、単に大きさの差のみによらない質的な変化をうけていることを示す。

(N) の場合 (図 3-11)

既に指摘したように箱壁に相当量の吸放湿があるにもかかわらず、温度と関係湿度とは対称形となり、一見して試料を入れたときの形と判別出来る。

図 3-12 (1) は縦軸を  $\sigma_m$ 、横軸を  $\sigma_a$  として S~S/16 までの実験の経過を描き入れたものでこの経過を示す線と、 $\sigma_a$  軸とのなす角を  $\varphi$  とすると

$$\tan \varphi = \frac{\left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial t}\right)}{-\left(\frac{\partial \sigma_a}{\partial t}\right)} \quad (33)$$

また

$$\frac{\partial \sigma_m}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_b}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_a}{\partial t} = 0$$

であるから

$$\frac{1 - \tan \varphi}{\tan \varphi} = \frac{\left(\frac{\partial \sigma_b}{\partial t}\right)}{\left(\frac{\partial \sigma_m}{\partial t}\right)} \quad (34)$$

したがって

(a)  $\varphi = \frac{\pi}{4}$  のとき (34) の右辺は 0 となり材料のみが調湿作用をもち箱壁は関与していないことを示す。(S の場合)

(b)  $\varphi = \tan^{-1} \frac{1}{2}$  のとき (34) の右辺は 1 となり材料と箱壁との吸湿量分担はそれぞれ 50% ずつである。したがって (a) の場合から (b) の場合までは材料の調湿力が大きい。

(c)  $\varphi$  がこれよりも小さいと材料よりも箱壁への吸着量の方が大きい。 $\varphi = 0$  のときが空箱に相当する。

材料の大きさと  $\tan \varphi$  との関係を示すと 図 3-12 (2) の如くであって、 $S/8$  および  $S/4$  の点をむすぶと  $3/8 S$  において  $\tan \varphi = 1$  となる。すなわちこの箱内容積 ( $0.512 \text{ m}^3$ ) に対して箱壁に吸放湿を分担させないだけ十分な調湿力をもつハードテックスの最小の大きさはおよそ  $245 \times 245 \text{ mm}$  であると考えられる。 $S/16$  の場合  $\tan \varphi$  の値が大きくなっているのは次のような理由によるものと思われる。すなわち  $S/16$  の実際の吸湿量の最大値は  $S/8$  の場合に匹敵し、したがって表面積当りでいえば 2 倍に相当する。(温度差  $13^\circ\text{C}$  で約  $33.4 \text{ g/m}^2$ ) これに対し  $S/8$ ,  $S/4$  の両者は単位面積当り吸湿量最大値はほぼ等しい。(温度差  $14^\circ\text{C}$  でほぼ  $17.2 \text{ g/m}^2$ ) であるからこのハードテックスの場合は一応の調湿力の限界は単位温度差、単位面積について  $1.23 \text{ g/m}^2^\circ\text{C}$  という値であると考えられる。また箱壁への吸着量は単位温度差について  $S/4$  のとき約  $0.05 \text{ g/}^\circ\text{C}$ ,  $S/8$ ,  $S/16$ ,  $N$  のときは共に約  $0.10 \text{ g/}^\circ\text{C}$  である (図 3-13)。したがって箱壁のうけもちうる限界も大体  $0.10 \text{ g/}^\circ\text{C}$  であろう。

これをまとめていえば、

(1)  $S$  の場合は与えられた温度変化の範囲よりも遙に大きい調湿力をもっているため、箱壁に吸放湿を分担せしめず、材料のみで箱内関係湿度を一定に保ち得る。その最小限は約  $3/8 S$  (単位容積当りにして  $0.24 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) に相当する。

(2) 材料の大きさがこれよりも小さくなると箱壁も吸放湿を分担するようになるが、それでもはや箱内空気の関係湿度を一定に保つことが出来ず温度に応じて変動しはじめる。

$S/4$  のときは材料の吸放湿能力は限界まで達しているが、箱壁はなお余力がある。

$S/8$  のときは両者とも限界一ぱいと考えられる。

(3) 温度変動の範囲が大きくなるか、または材料の表面積が小さくなって、両者合計の吸放湿能力が上に述べた限界を超えてしまうと、ハードテックスは第 2 段の吸湿を行なう。その限度は第 1 段の限度の約 2 倍となる。この段階では温度変化の小さい変動に対してはほとんど吸放湿をしない不活潑な状態になっている。

箱壁はこのような 2 段の限界をもたず、他の材料にもこのように 2 段に作用しないものも

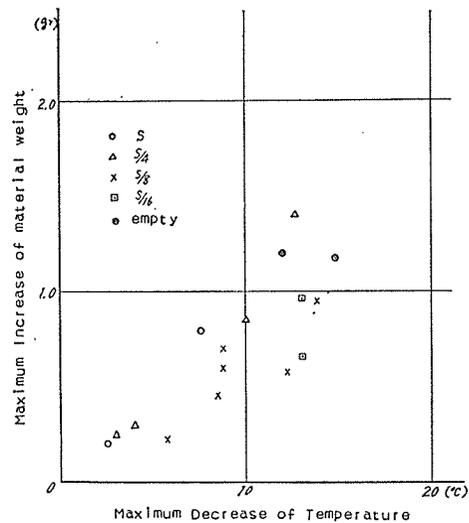


Fig. 3-13. Variations of temperature and weight of material.

あると思われる。

(4) 第1段の限界内にあるときは温度変化に対応する吸放湿について時間的遅れを殆んど認めることが出来ない。

(5) このような材料の吸放湿についてよく問題となる履歴現象は、第1次限界に達しない状態(例えばSの場合)においては全く見られない。したがって通常われわれが使用しているような状態にあっては常に同じ条件を保持しているものと思われる。

しかし第1次限界点またはそれを越えた状態において吸放湿を行なっているときは繰返しのたびに条件が変わり、いわゆるヒステリシスが見られるようになる。

- §3. 注1 (1) 密閉箱内の材料表面と空気との水蒸気交換に関する実験的研究(堀江), 北海道大学工学部研究報告, 第19号, 昭和33年7月.
- (2) 材料の吸放湿に伴う室内空気の湿度変動について(堀江・江口), 日本建築学会論文報告集第60号, 昭和33年10月.
- (3) 試作微小重量変化自記記録計について(堀江・江口), 日本建築学会北海道支部第14回研究発表会報告, 昭和34年2月.
- (4) 材料の調湿力に関する実験的研究(堀江・江口), 同上, 第15回, 昭和35年2月.
- (5) 密閉箱内における材料の調湿性について(堀江・江口), 日本建築学会論文報告集, 第66号, 昭和35年10月.

#### §4. 箱内空気と材料との水蒸気の動的平衡

##### [1] 動的平衡関係の意義

密閉箱内における空気の温度と湿度との相対関係は、一般の室内については無換気という特殊の場合に相当するが、換気のある場合でも実際の室内温湿度の変動状態は換気による水蒸気排出の計算には合致せず、むしろ壁体から多量の吸放湿のある場合の密閉箱の状態によく似ていることは先に指摘したところである。

§3. においては密閉箱内に材料を入れたとき平衡状態のまままたは準静的に温度変化を与えれば、温度と絶対湿度とは直線的関係を保持するものとして実験式を導いた。

しかしこのときもソフトテックスのような吸放湿量のきわめて大きい材料に対しては結果が必ずしも適合せず、特に温度変化の広い範囲にわたる場合はこの温度と絶対湿度との関係を曲線的な関数としなければならぬことを示しておいた。図4-1(A)はインシュレーションボード、同(B)はラワンベニヤ板の場合であるが、(A)においては $\theta-\sigma_a$ 図にて弯曲した平衡線を、 $\theta-R.H.$ 図にて直線的な平衡線を予想しうるのに対し(B)においては $\theta-\sigma_a$ 図にて直線的な平衡線を、 $\theta-R.H.$ 図にて弯曲した平衡線を予想するであろうことがわかる。

したがって§3. において示した諸種の材料の平衡位置

$$S_{mE} = C\theta + D$$

におけるCは最初の平衡の条件によって同じ材料についても種々の値をとり得るから、これを材料に個有の一つの湿気的特性として定義づけることが出来なかつた。

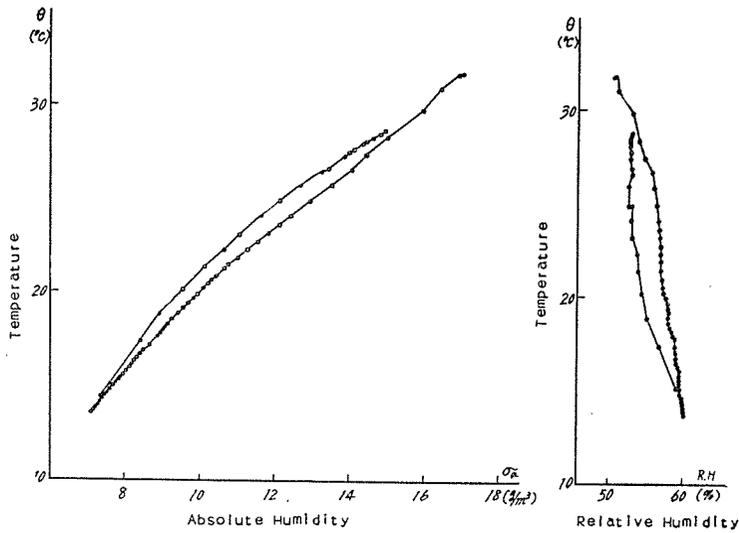


Fig. 4-1 (A). Variation of the temperature and humidity in the box (Insulation board *T*).

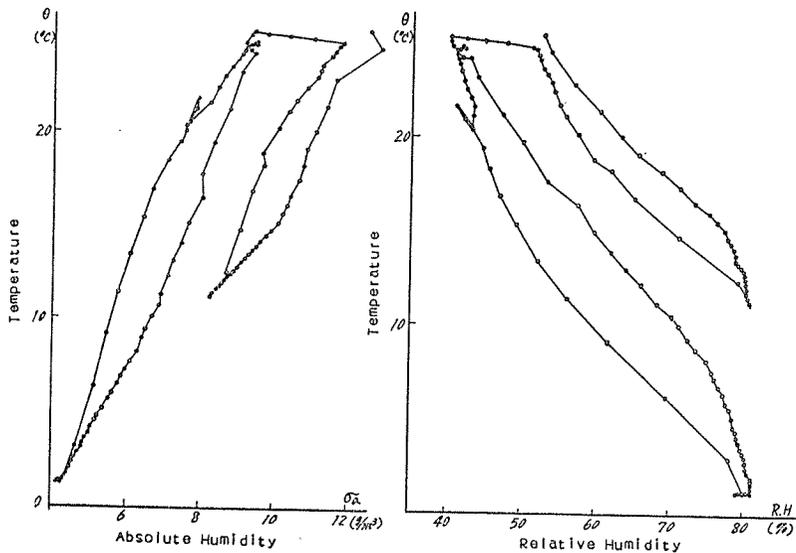


Fig. 4-2 (B). Variation of the temperature and humidity in the box (Plywood board *B/4*).

実際の家屋について考えてみても室温の冷却は8時間について $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ の程度であるから、吸放湿の速度が特に問題となる場合は少なく、むしろ平衡的な関係における調湿力の方が問題となるであろう。したがってわれわれの必要とするのは§3.に求めたような湿度変動を与える式であるよりは、種々な条件に対して材料のとりうる平衡関係を与える法則でなくてはならない。

しかしながらこれまで空気と材料との湿氣的平衡は材料の側より見た最終含湿量によって

静的な問題としてあつかわれていた。したがって材料をとりまく空気湿度は独立して与えられ、材料の吸放湿によって影響をうけない条件のもとに検討されていたのである。

しかしこのようなデータは、われわれの場合のように逆に空気中の水蒸気量を左右する要素としての材料を問題にするときはそのままでは役に立たないので、あくまで空気、材料両者の相互関係としてお互に影響しあう状態での動的平衡の条件が解明せられなくては、室内気候の研究のために役立ち得ないのである。

いま例えば等温特性について考えてみる。図4-2においてA、Bとも空箱であったとし、 $t < 0$ において箱内空気の絶対湿度 $\sigma_{a0}$ 、箱壁への水蒸気吸着量 $S_{b0}$ にて平衡しているものとする。Bの場合は同じく絶対湿度 $\sigma_{a0}$ の空気を循環せしめているが、系全体が平衡であるから $\sigma_{a0}$ も $S_{b0}$ も不変である。

$t=0$ において材料 $m$ を箱中に入れる。ただしこのとき箱中の状態を攪乱することなく入れ得るものとする。そのとき材料の含湿量を $S_{m0}$ とし $S_{m0}$ と $\sigma_{a0}$ とは平衡関係にはないとすると、Aの場合は $t < 0$ において箱内の全水蒸気量は

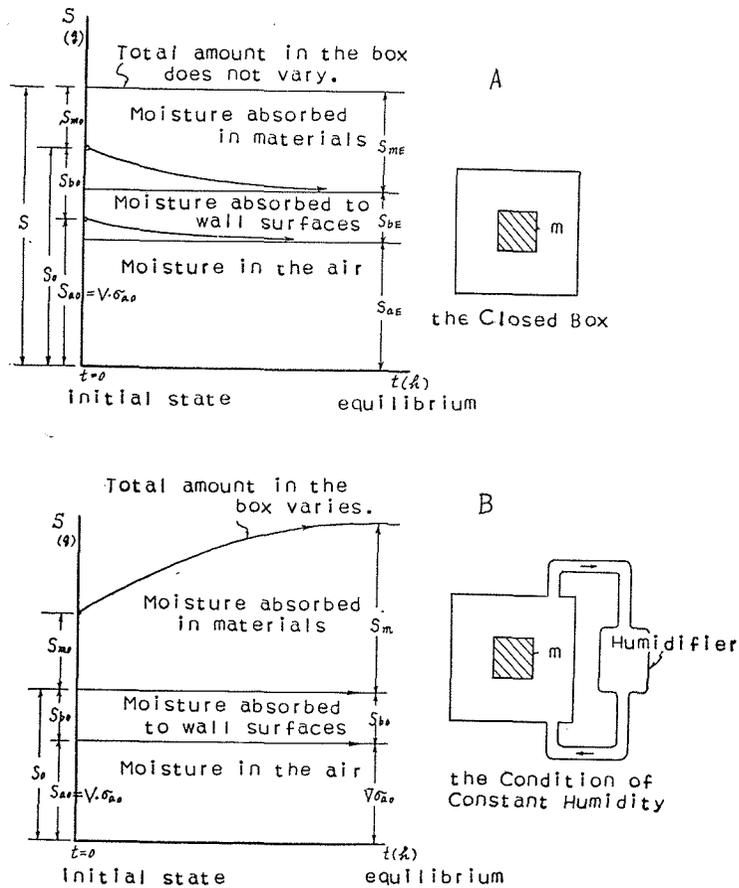


Fig. 4-2. Allocated moisture in equilibrium.

$$V \cdot \sigma_{a0} + S_{b0} = S_0$$

であったのに対し  $t=0$  以後は

$$V \cdot \sigma_{a0} + S_{b0} + S_{m0} = S$$

となり、この  $S$  なる量に対して新しい 3 者の平衡関係が一つだけ成立つはずである。その条件を

$$V \cdot \sigma_{aE} + S_{bE} + S_{mE} = S$$

とすれば、3 者それぞれのもつ水蒸気量は図のような経過をたどりつつこの平衡に達することになる。

しかし B の場合は材料が吸湿又は放湿しても箱内空気の湿度は循環装置によって不変に保たれているから  $t \geq 0$  においても  $\sigma_a$  および  $S_{b0}$  は変化しない。すなわち材料は無限大空間におかれたと同じ状態で、単独に温度  $\theta$  絶対湿度  $\sigma_{a0}$  の空気に接しているときの平衡含湿量  $S_m$  に達するのである。したがってこのような比較によるのみでは  $S_m$  と  $S_{mE}$  との間に何等の関係を見出すことは困難であって、 $S_{mE}$  についてはまた別の法則が見出されなくてはならない。

## [2] 平衡位置の決定

箱内において空気中の水蒸気量を決定するものは材料および周壁の平衡状態における含湿量であるけれども、この含湿量は温度のみの函数ではなく同時に空気の関係湿度又は絶対湿度によって決まるものである。

材料の重さの変化は自記微量秤量計によって連続記録されているからこれを用いて温度あるいは湿度との関係を検討することが出来る。

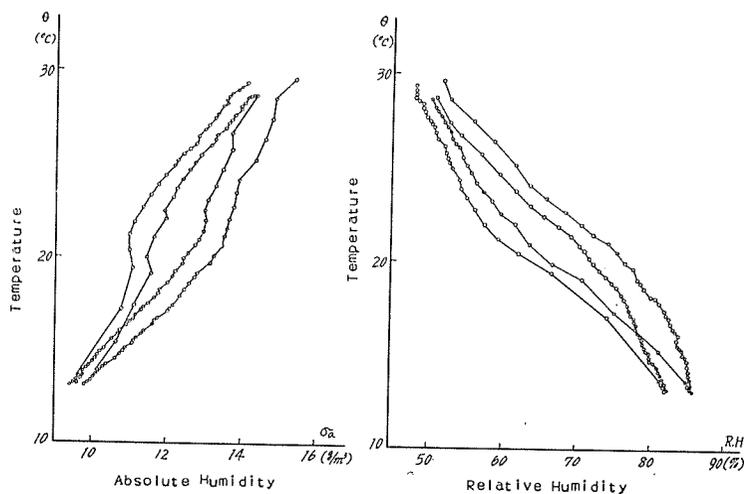


Fig. 4-3. Variation of the temperature and humidity in the box (Insulation board T/8).

図4-3はその1例で箱内空気の温度と関係湿度および絶対湿度との変化の関係を示す。試料はインシュレーションボード200 mm×100 mm×12 mmである。試料の記号は§3.におけると同じで400 mm×400 mmを  $T$  としているゆえこれは  $T/8$  である。いずれも切口部はアルミ箔で封をしてこの面からの吸放湿を止めているから、記号の分数はそのまま面積比を与えている。

図4-4は試料の重量変化すなわち吸放湿量と、箱内空気の関係湿度，絶対湿度との関係を示す。

これによれば試料の重量変化と関係湿度との関係においてのみ繰返しによる移動が見られず常に平衡点については単純な関係をあててよいと思われる。図4-5はいろいろな温度で平衡点をとってみた場合である。このような材料についてはまず関係湿度と含湿量との関係を第1に検討すべきであろう。

図4-6にはインシュレーションボードの各サイズによる重量変化量と関係湿度との関係を示す。

これより考えれば密閉箱中における湿度の変化は次のような経過をたどることになる。

空気の温度変化→関係湿度の変化→  
 材料の吸湿又は放湿→絶対湿度の変化→平衡

たとえば温度上昇により関係湿度は下る。すると、材料の含湿量と空気の関係湿度との平衡は破れ材料は放湿してその関係湿度と平衡しようとするが、放湿によって空気の関係湿度の下降は妨げられるから、これによって放湿速度は落ち、 $\frac{d\theta}{dt}$  と  $\frac{d\sigma_m}{dt}$  との間にある均合が保たれる場合  $\frac{dR.H.}{dt}$  は0または常数となる。

しかし一方において材料の温度変化による吸放湿も無視することが出来ない。すなわち

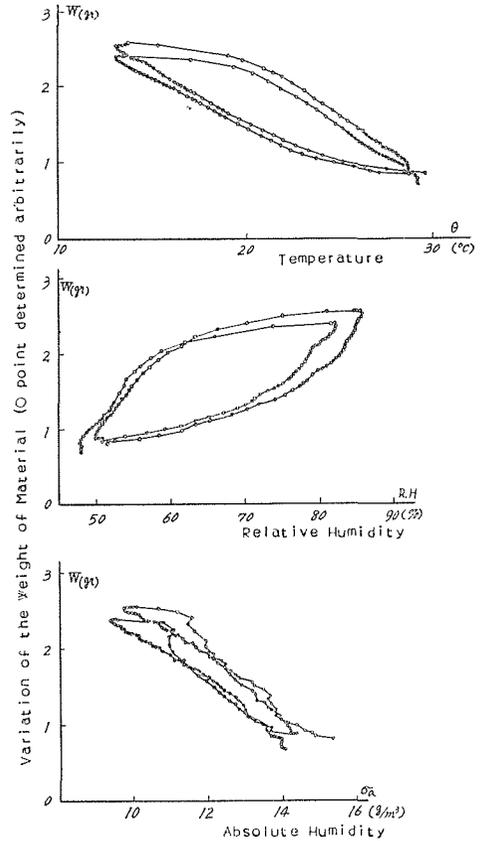


Fig. 4-4. Variation of the weight of material (Insulation board  $T/8$ ).

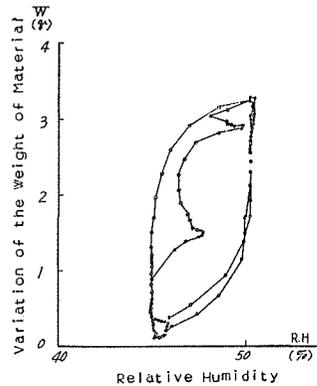


Fig. 4-5. Variation of the weight of material (Insulation board  $T$ ).

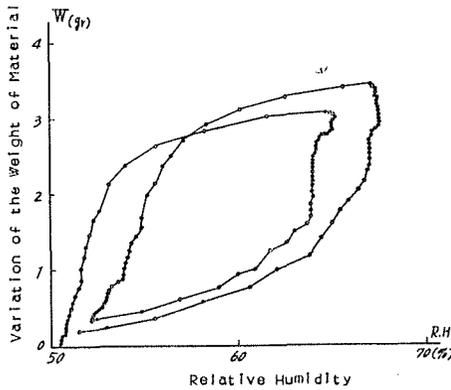


Fig. 4-6 (1). Variation of the weight of material (Insulation board T/2)

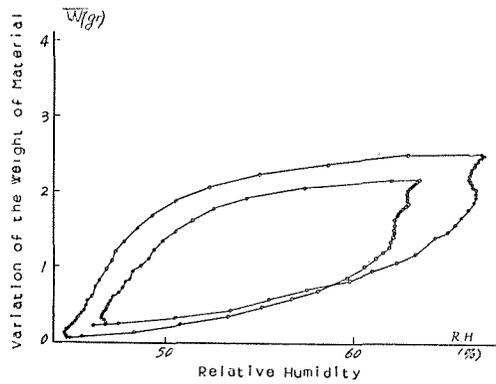


Fig. 4-6 (2). (Insulation boards T/4).

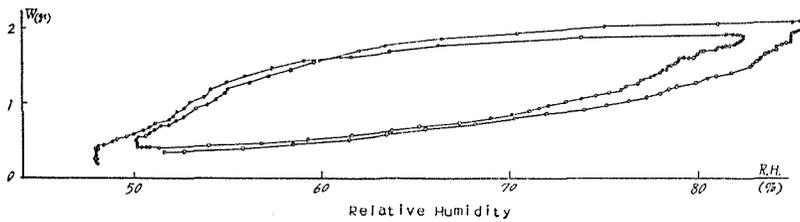


Fig. 4-6 (3). (Insulation board T/8).

上の経過を材料の側からみれば

材料の温度変化→吸湿又は放湿→  
 空気の関係湿度の変化→吸湿又は  
 放湿→平衡

したがって、たとえば図4-7において材料の重量と、これに接する空気の関係湿度とがA点にて平衡していたと考え、この空気の温度を変えないで関係湿度のみを変化させたとするとA→Cなる経過をもつ。

次に関係湿度を変えないで温度のみを変えたとすればC→Bなる経過をとりB点において平衡に達するはずである。

密閉箱にあつてはC→Bなる変化をおこすために与えられる温度差  $\Delta\theta$  の大きさに対してA→Cに相当する関係湿度差  $\Delta R.H.$  の大きさが決定されており、任意にこれをきめることが出来ない。したがって密閉箱内でA点において平衡しているとき  $\Delta\theta$  なる温度差を与えれば箱内の状態は必ずB点に達するが、そのとき  $\Delta\theta$  の与え方すなわち  $\frac{d\theta}{dt}$  によってA→Bの経路

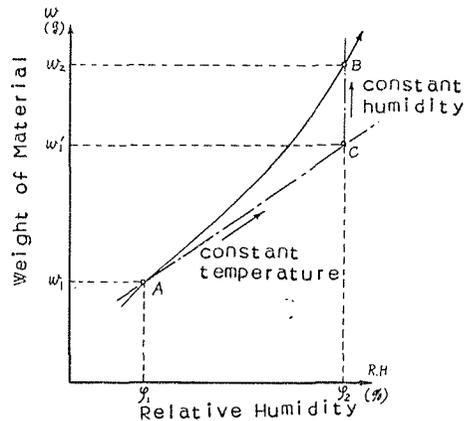


Fig. 4-7. Variation of the moisture in the material.

はいろいろ変化する。 $\frac{d\theta}{dt}$  が非常に小さくて準静的と考えられるときは、いろいろな温度差を与えたときの各平衡点を連ねた線をたどることになる。

このときの AC 曲線はたとえば一般に材料の平衡含湿率といわれるものの等温特性に相当するものと考えてよい (図 4-8) (注 1)。

したがってこれ以上の解析をすすめるに当ってはこのような等温特性を承知しておく必要がある。

図 4-9 は温度一定でいろいろな関係湿度を与えた場合と、関係湿度一定でいろいろな温度を与えた場合とについて平衡重量を測定したものである。関係湿度と重量の関係はよくあらわれているが、温度差については不明瞭となった。これはインシュレーションボードが特に温度の影響の少ない種類に属する材料であるのと、僅か数時間で一応平衡に達したのものとしてその測定値を採用しているためとであると思われる。このとき一応重量変化がなくなったと見られる程度にはなるがその後の測定によればやはり極めて僅かながら重量変化は続行し完全な平衡に達すると見られるのは 100 時間をこえてからであることがわかった。

すなわち温度  $\theta$  (°C) にて水蒸気分圧  $f$  (mm Hg) をもつ空気中に材料がおかれて平衡状態に

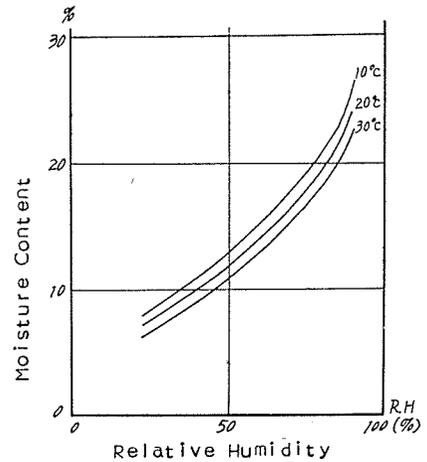


Fig. 4-8. Moisture content in "Hinoki" boards at constant temperature (by Miyabe).

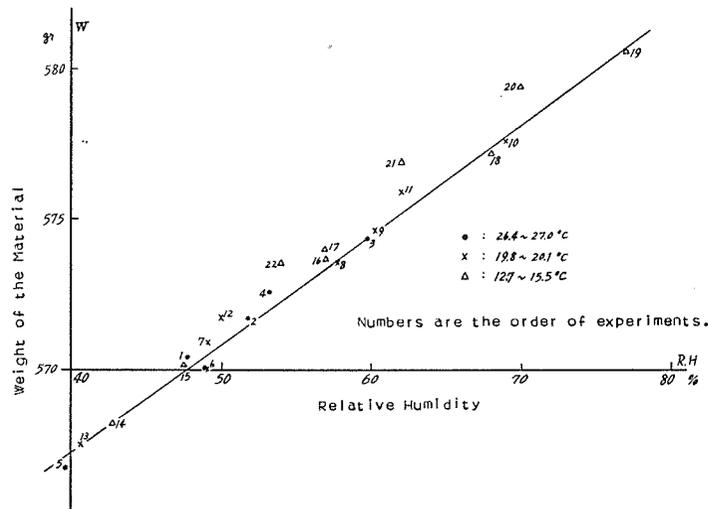


Fig. 4-9. The weight of the insulation board in equilibrium at various temperatures and humidities (The same test piece).

あるときこの材料の含湿量を  $S_m$  とする。(本来含湿率(%)であらわされるべきであるが今試料の絶乾重量が一定のものとして含湿量であらわす。) 材料と空気との間の水蒸気の移動を水蒸気分圧の差によるものとして、いま平衡状態にあるゆえ、温度  $\theta$ 、含湿量  $S_m$  の材料の表面水蒸気圧を同じく  $f$  であるとする。

不平衡の状態にある材料がその内部まで全部一様な水蒸気圧  $f$  をもつに至るにはここに用いた程度の大きさにおいてもそのように長時間を要するのである。

しかしその経過は、最初の数時間において大部分の重量変化を終え、その後は極めてわずかずつ進行するにすぎない。

したがって我々が問題としているような日常生活における室内温度のサイクルに対する吸放湿は、この巨視的部分の重量変化のみに頼っているわけであり、それ以後の緩慢な変化や最終的な平衡はむしろこれを無視してとりあつかう方が目的に合致するとも考えられる。

図 4-7 において密閉箱内の状態が最初温度  $\theta_1$  で  $A(\varphi_1, w_1)$  なる平衡位置より温度  $\theta_2$  で  $B(\varphi_2, w_2)$  なる平衡位置まで移動したとすると、これを二つの経過に分解して、最初等温で  $C(\varphi_2, w_1)$  に至り次に等関係湿度で  $B$  に至ったものと考えることが出来る。

ここに  $AC$  が直線であるとする

$$w'_1 - w_1 = \zeta(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$w_2 - w'_1 = -\nu(\theta_2 - \theta_1)$$

$$w_2 - w_1 = \Delta w, \quad \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi, \quad \theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$$

とすると

$$\Delta w = \zeta \cdot \Delta\varphi - \nu \cdot \Delta\theta$$

$\zeta$ : 関係湿度 1% の増加に対する吸湿量の増加 ( $\text{g/m}^2$  % R.H.)

$-\nu$ : 温度  $1^\circ\text{C}$  の上昇に対する吸湿量の減少 ( $\text{g/m}^2$   $^\circ\text{C}$ )

$\Delta w$ : 単位表面積当り吸湿量 ( $\text{g/m}^2$ )

この式において係数  $\zeta$ ,  $\nu$  を決定するには 2 回の実測値を入れた連立方程式を解けばよい。

このときの仮定条件は最初の平衡位置の如何にかかわらず  $\zeta, \nu$  が定数であるということである。すなわち 図 4-7 における  $\overline{AC}$  が直線であついかなる位置にあつても同傾斜をもつこと、および  $\overline{BC}/\Delta\theta$  がどの位置にあつても一定であることの二つを仮定している。

図 4-6 等 に示したような各種の実験中における平衡位置と重量変化量とを用いて以上のような平衡関係を見出すため、温度上昇過程 12 回 温度下降過程 13 回計 25 回の実測のうちから 2 回ずつの組合せの全部について係数  $\zeta$  を求めたのが表 4-1 である。

このうち D-8, D-9, U-8, U-9 の欄においては  $\zeta$  の値が全般に大きすぎる。この 4 回の測定は  $T/16$  によつたもので低温における平衡点の位置が関係湿度 86~90% のあたりにあり、等温特性を直線とおきうる範囲から出ていると考えられる。

表 4-1

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9	D-10	D-11	D-12	D-13	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10	U-11	U-12
D-1																									
D-2	0.325	0.339	0.386	0.423	0.398	0.352	0.318	0.337	0.385	0.417	0.258	0.258	-0.167	0.330	0.351	0.412	0.408	0.352	0.322	0.305	0.430	0.509	0.384	0.388	0.225
D-3	0.405	0.406	0.538	0.585	0.385	0.361	0.579	0.607	0.351	0.388	0.301	0.301	0.285	0.407	0.486	0.380	0.380	0.380	0.361	0.380	0.454	0.560	0.357	0.380	0.293
D-4	0.447	0.511	0.577	0.556	0.571	0.598	0.392	0.598	0.392	0.377	0.342	0.309	0.296	5.048	0.485	0.468	0.468	0.553	0.356	0.371	0.450	0.553	0.367	0.368	0.302
D-5	0.091	0.336	0.297	0.633	0.678	0.678	0.383	0.403	0.303	0.403	0.369	0.365	0.381	0.470	0.444	0.627	0.136	0.136	0.342	0.332	0.450	0.595	0.395	0.397	0.364
D-6	0.315	0.278	0.585	0.631	0.411	0.388	0.381	0.396	0.549	0.541	0.421	0.388	0.381	0.396	0.549	0.541	0.344	0.205	0.297	0.313	0.431	0.566	0.414	0.415	0.383
D-7	0.767	2.373	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271
D-8	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892	1.892
D-9	0.510	0.516	0.507	0.592	0.519	0.612	0.601	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614	0.682	0.614
D-10	-0.089	0.306	0.502	0.445	0.355	0.367	0.401	0.419	0.362	0.369	0.424	0.489	0.454	0.489	0.424	0.489	0.454	0.489	0.424	0.489	0.454	0.489	0.424	0.489	0.454
D-11	0.016	0.727	0.483	0.370	0.381	0.413	0.439	0.463	0.375	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435	0.428	0.435
D-12	0.263	0.352	0.307	0.321	0.383	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416	0.485	0.397	0.416
D-13	0.282	0.310	0.389	0.407	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481
U-1	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385
U-2	-0.286	0.491	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604	0.604
U-3	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407	0.407
U-4	0.318	0.373	0.392	0.407	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481	0.481
U-5	0.308	0.290	0.307	0.432	0.583	0.407	0.445	0.378	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422	0.422
U-6	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293	0.293
U-7	0.207	0.689	2.066	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359	0.359
U-8	0.588	1.203	0.371	0.372	0.350	0.425	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491	0.483	0.491
U-9	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491	0.491
U-10	0.545	0.593	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580
U-11	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580
U-12	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580

Fig. 4-10.

numbers

under

over

また材料の表面積が 1/16 であるため吸湿量も 16 倍して比較しているから、重量変化測定  
の誤差も 16 倍になっているはずである。そのためこの 4 つの場合より算出した値をのぞき、  
その他の  $\zeta$  の値の分布をとると 図 4-10 のようになり、これより

$$\zeta = 0.368$$

なる値を得た。

この  $\zeta$  を用いて再び各実験値を整理すると

$$\nu = 0.059$$

となるが、これは 400 mm×400 mm の大きさの試料に換算してまとめたものゆえ単位表面積  
あたりになると 表 4-2 のようになる。

表 4-2

材 料	$\zeta$ (g/m <sup>2</sup> % R.H.)	$\nu$ (g/m <sup>2</sup> °C)
インシュレーションボード 12 mm (トマテックス)	1.150	0.184
ラワンベニヤ (4 mm)	0.394	0.425

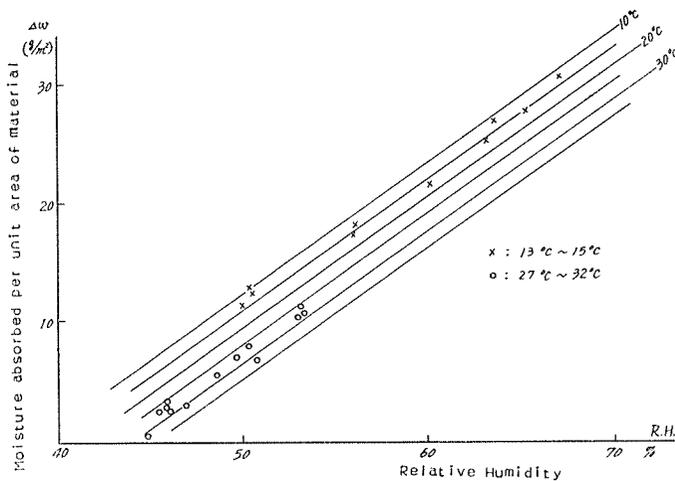


Fig. 4-11. Moisture absorbed per unit area of insulation board  
in equilibrium of constant temperature.

図 4-11 はインシュレーションボードについて

$$\Delta w = \zeta \cdot \Delta \varphi - \nu \cdot \Delta \theta$$

の実験値およびこれより求めた平衡直線とを描いたものである。

このように温度 10°~30°C、関係湿度 40~70 % の範囲においては、直線式による近似値を  
用いて実用上充分である。

[3] 密閉箱内の関係湿度および壁面吸湿量を与える実験式

§ 3. においては  $S_b$  すなわち箱壁への吸着量の変化についても考慮して来たが、§ 4. においては専ら材料と空気との関係のみについて見てきた。

したがって密閉箱を用いてはいるが、本質的には等関係湿度特性と、等温特性との組合せの 1 例として解析したこととなった。けれども箱内空気の湿度変動については箱壁への吸着量をも考慮に入れなくては、これを解析することは出来ないし、材料としても 2 種以上の表面の併在における吸湿量配分の問題がここに残っているのである。

本節にとりあげた実験例については完全密閉の条件は信頼出来るから、実験の始初条件

$$\left. \begin{aligned} S_{b0} &= S - (S_{a0} + S_{m0}) \\ \text{および} \quad S_b &= S - (S_a + S_m) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

より

$$\frac{S_b - S_{b0}}{V} = \frac{S_{a0}}{V} - \frac{S_a}{V} - \frac{(S_m - S_{m0})}{V}$$

$$\sigma_b = \sigma_{a0} - \sigma_a - \sigma_m \quad (2)$$

として箱壁その他材料以外の表面への吸湿量の変化を知ることが出来る。

既に材料について見たように  $S_b$  もまたそのときの空気の関係湿度の差に比例しているものとする、最初の平衡位置  $A(S_{b0}, \theta_0, \varphi_0)$  より等温にて関係湿度を変化しつつ  $B(S_{b1}, \theta_0, \varphi_1)$  に至ったものとし、次に等関係湿度にて温度のみを変えつつ最後に  $C(S_b, \theta_1, \varphi_1)$  にて平衡になったと考えてよい。したがって [2] におけると同様に

$$\Delta w_b = \zeta' \cdot \Delta \varphi - \nu' \cdot \Delta \theta \quad (3)$$

となる。

図 4-12 には空箱の場合および各実験における結果をしめす。

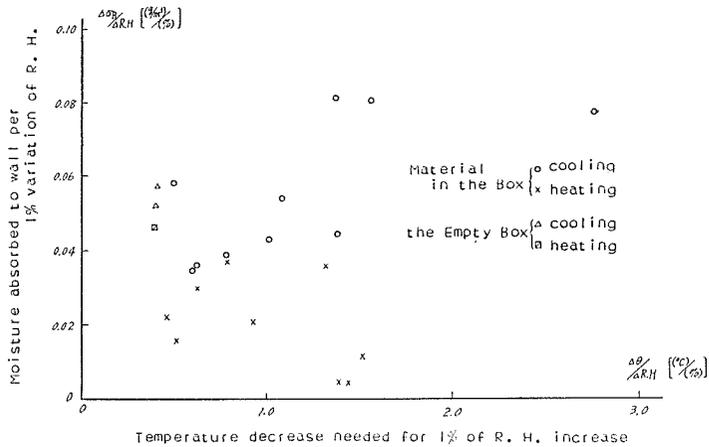


Fig. 4-12. Moisture absorbed to wall surfaces and temperature variation.

ここには

$$\frac{V \cdot \sigma_b}{A_b \cdot \Delta\varphi} = \frac{\Delta w_b}{\Delta\varphi} = \zeta' - \nu \frac{\Delta\theta}{\Delta\varphi}$$

$A_b$ : 箱壁面積

を考え、縦軸に  $\frac{\sigma_b}{\Delta\varphi}$  を横軸に  $-\frac{\Delta\theta}{\Delta\varphi}$  をとっている。これで見ると  $\zeta'$  や  $\nu$  が一定値をとると思われない。したがって配分比の問題が残っているのであろうがこれについてはこのような方法でなく別に方法を更めて検討することとしたい。

したがってこのままでは  $\sigma_b$  あるいは  $S_b$  を決定することは出来ないのであるが、一応ここでは図4-12より温度項を0として

$$\sigma_b \cdot V = 0.02 \Delta\varphi \quad (4)$$

とおくことにする。

[2]において見たごとく、

$$\sigma_m \cdot V = \Delta w \cdot A_m = (\zeta \cdot \Delta\varphi - \nu \cdot \Delta\theta) \cdot A_m \quad (5)$$

$A_m$ : 材料表面積

(2)より

$$\sigma_b + \sigma_m + \sigma_a - \sigma_{a0} = 0$$

これより

$$\begin{aligned} 0.02 \Delta\varphi + (\zeta \Delta\varphi - \nu \Delta\theta) \cdot A_m - (\sigma_{a0} - \sigma_a) V &= 0 \\ (0.02 + \zeta \cdot A_m) \Delta\varphi &= \nu \cdot A_m \cdot \Delta\theta + (\sigma_{a0} - \sigma_a) V \\ \Delta\varphi &= \frac{\nu \cdot A_m \cdot \Delta\theta + (\sigma_{a0} - \sigma_a) V}{0.02 + \zeta \cdot A_m} \end{aligned} \quad (6)$$

(6)式を2つに分解すると

$$\Delta\varphi = \frac{\nu}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \Delta\theta + \frac{1}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \frac{V}{A_m} \cdot (\sigma_{a0} - \sigma_a) \quad (7)$$

これは

$$\Delta\varphi = X \cdot \Delta\theta + Y (\sigma_{a0} - \sigma_a) \quad (8)$$

ただし  $X, Y$  は定数

という形である。

したがって  $\Delta\theta$  をあたえると

$$X \cdot \Delta\theta = \Delta\varphi' \quad (9)$$

また  $(\sigma_{a0} - \sigma_a)$  をあたえると

$$Y (\sigma_{a0} - \sigma_a) = \Delta\varphi'' \quad (10)$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi' + \Delta\varphi'' \tag{11}$$

である。

図 4-13 (A) は

$$\frac{\nu}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \Delta\theta = \Delta\varphi'$$

を与える図表で、インシュレーションボードおよびラワンベニヤ板において各大きさについて

$$\frac{\nu}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta}$$

を算出して示してある。

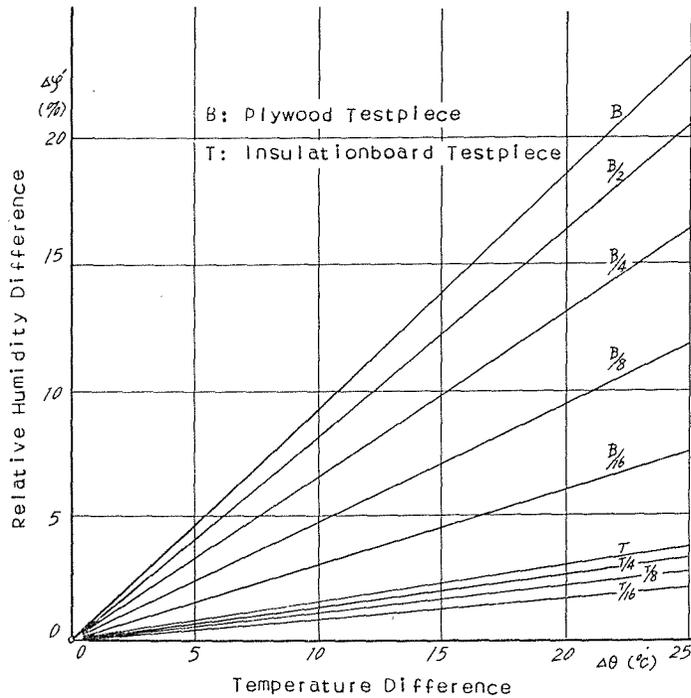


Fig. 4-13 (A). Variation of relative humidity by absorption caused by temperature variation.

図 4-13 (B) は  $\Delta\varphi$  または  $\sigma_a$  を求める図表で同じくインシュレーションボードおよびラワンベニヤ板の各大きさについて

$$\frac{1}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \frac{V}{A_m}$$

の値を傾斜として示しているからこれより

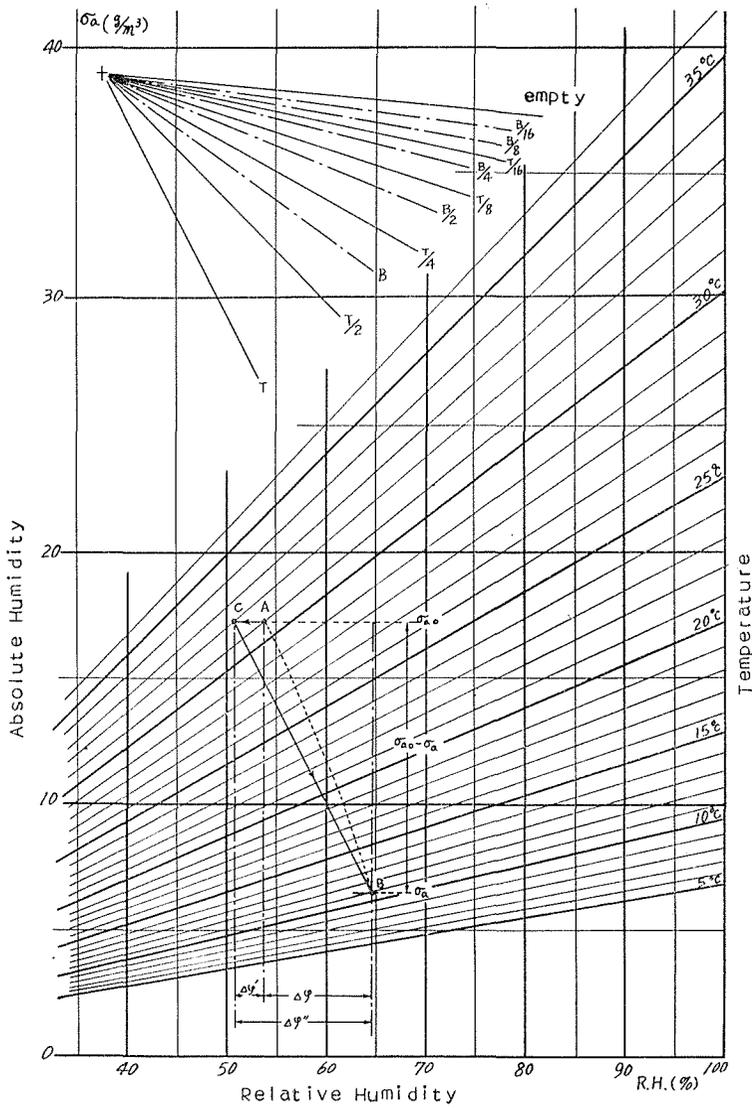


Fig. 4-13 (B). Nomogram for determining the humidity in the closed box when the temperature varied.

$$\frac{1}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \frac{V}{A_m} (\sigma_{a0} - \sigma_a) = \Delta\varphi''$$

を知ることが出来る。

いま 図 4-13 (B) において始初条件を A 点 ( $\theta_0, \sigma_{a0}, \varphi_0$ ) とし温度差  $\Delta\theta$  をあたえたときの終結平衡点を B ( $\theta_1, \sigma_a, \varphi_a$ ) とすると

$$\theta_0 + \Delta\theta = \theta_1 \quad \varphi_a - \varphi_0 = \Delta\varphi$$

いま B において

$$\frac{1}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \frac{V}{A_m}$$

なる傾斜をもつ直線を引き、これの  $\sigma_{a0}$  の高さにおける点を  $C(\sigma_{a0}, \varphi_c)$  とすると

$$\varphi_c - \varphi_0 = \Delta\varphi'' = \frac{1}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot \frac{V}{A_m} (\sigma_{a0} - \sigma_a)$$

それゆえ

$$\varphi_c - \varphi_0 = \Delta\varphi' = \frac{\nu}{\frac{0.02}{A_m} + \zeta} \cdot (\Delta\theta)$$

でなくてはならない。

したがってこれを逆算すればこの図表から  $B$  点を求めることが出来る。

すなわち  $A$  点と  $\Delta\theta$  が決定せられたならば試料の大きさに応じて図 4-13(A) より  $\Delta\varphi'$  を求める。温度降下のときは  $\Delta\varphi'$  は負号、温度上昇のときは正号である。

次に  $A$  と同じ  $\sigma_{a0}$  で  $\Delta\varphi'$  だけ移動した点  $C$  を求め、これより  $\Delta\varphi''$  を与える斜線を引き  $\Delta\theta$  の正負に応じてきめられる  $\theta_1$  の線との交点が求める  $B$  点を与える。

いま一般に無換気不透湿の室内を考えたとき

$$(\sigma_a - \sigma_{a0})V + (\sum \zeta_m \cdot A_m) \Delta\varphi - (\sum \nu_m \cdot A_m) \Delta\theta = 0 \quad (12)$$

ここに  $\sum \zeta_m \cdot A_m$  は室内壁を構成する各材料のそれぞれの吸湿等温特性とその表面積との積を合計したものである。

$\sum \nu_m \cdot A_m$  も同じく等関係湿度特性についての合計値である。

そこで

$$\sum \zeta_m \cdot A_m = \bar{\zeta} \cdot A$$

$$\sum \nu_m \cdot A_m = \bar{\nu} \cdot A$$

$$\text{ただし } A = \sum A_m$$

すなわち、室内壁全表面積である。

とおくと、 $\bar{\zeta}$ 、 $\bar{\nu}$  はこの室内の平均吸湿特性を示すことになる。

図 4-14 には、2, 3 の実験値および居住家屋における測定値を描きこんである。

居住家屋ではもちろん換気があるからこの図表とはあわないけれども、比較によっておよそどれほどの  $\bar{\zeta}$  または  $\bar{\nu}$  をもっているかということがわかる。

ただしこの図からの逆算では  $\bar{\zeta}$ 、 $\bar{\nu}$  のそれぞれを知ることは出来ないで総合結果のみが与えられる。

なお (12) 式は

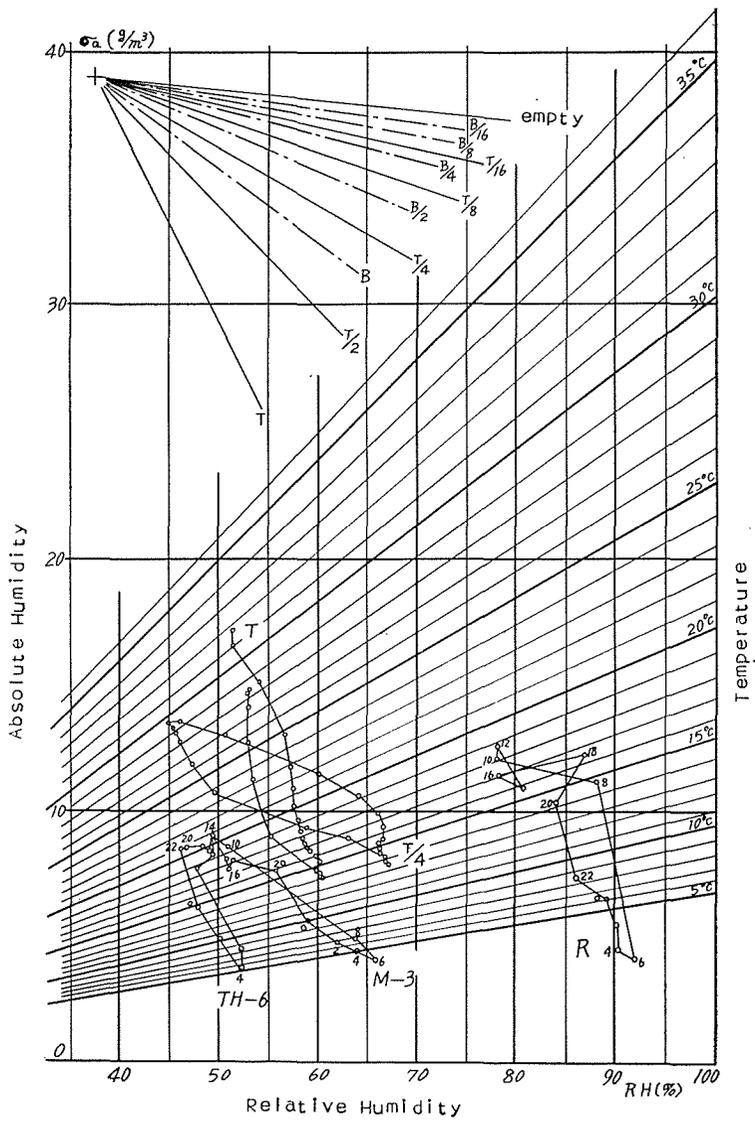


Fig. 4-14. Variations of humidity in the closed box and in actual houses.

$$\Delta\varphi = \frac{\sum \nu_m \cdot A_m \Delta\theta - V(\sigma_a - \sigma_{a0})}{\sum \xi_m \cdot A_m}$$

$$\varphi - \varphi_0 = \frac{1}{\bar{\xi}} \left\{ \bar{\nu} \Delta\theta - V/A (\sigma_a - \sigma_{a0}) \right\}$$

これより

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{\bar{\nu}}{\bar{\xi}} - \frac{V}{\bar{\xi}A} \frac{d\sigma_a}{d\theta}$$

$$\sigma_a = \frac{\varphi}{100} \sigma_s$$

(13)

ただし  $\sigma_s$  は  $\theta$  における飽和絶対湿度

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{d\theta} &= \frac{\bar{v}}{\bar{\xi}} - \frac{V}{\bar{\xi}A} \frac{1}{100} \left( \frac{d\varphi}{d\theta} \sigma_s + \frac{d\sigma_s}{d\theta} \varphi \right) \\ \left( 1 + \frac{V\sigma_s}{100\bar{\xi}\cdot A} \right) \frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{V}{100\bar{\xi}\cdot A} \frac{d\sigma_s}{d\theta} \varphi &= \frac{\bar{v}}{\bar{\xi}} \end{aligned} \quad (14)$$

ゆえに

$$\begin{aligned} \left( \frac{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s}{100\bar{\xi}\cdot A} \right) \frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{V \cdot \frac{d\sigma_s}{d\theta}}{100\bar{\xi}\cdot A} \varphi &= \frac{\bar{v}}{\bar{\xi}} \\ \frac{d\varphi}{d\theta} + \varphi \frac{V \cdot \frac{d\sigma_s}{d\theta}}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} &= \frac{100\bar{v}A}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} \end{aligned} \quad (15)$$

(15) 式を解けば

$$\varphi = e^{-\int P(\theta) d\theta} \left\{ \int e^{\int P(\theta) d\theta} Q(\theta) d\theta + L \right\} \quad (16)$$

ここに

$$\begin{aligned} P(\theta) &= \frac{V \cdot \frac{d\sigma_s}{d\theta}}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} \\ Q(\theta) &= \frac{100\bar{v}A}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \int P(\theta) d\theta &= \int \frac{V \cdot \frac{d\sigma_s}{d\theta}}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} d\theta = \log(100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s) \cdot L' \\ \varphi &= \frac{1}{(100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s) \cdot L'} \left\{ \int L' \cdot 100\bar{v}A \cdot d\theta + L \right\} \\ &= \frac{100\bar{v}\cdot A\theta + \frac{L}{L'}}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} \end{aligned}$$

始初条件として  $\varphi_0$ ,  $\theta_0$  および  $\theta_0$  における飽和絶対湿度  $\sigma_{s0}$  の値を入れると

$$\frac{L}{L'} = \varphi_0(100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_{s0}) - 100\bar{v}\cdot A\theta_0$$

すなわち

$$\varphi = \frac{100\bar{v}\cdot A(\theta - \theta_0) + \varphi_0(100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_{s0})}{100\bar{\xi}\cdot A + V\sigma_s} \quad (17)$$

を得る。これが無換気室に温度変化を与えたときの平衡状態における室内湿度を求める実験式となるはずである。

また個々の材料に対する吸湿量については本節 [2] より

$$\Delta w = \zeta \Delta \varphi - \nu \Delta \theta \quad (18)$$

によって求められるがこの式より材料の重量を  $W_m$ 、始初条件のときにおける重量を  $W_{m0}$  とすれば

$$\frac{W_m - W_{m0}}{A_m} = \zeta_m \cdot \Delta \varphi - \nu_m \cdot \Delta \theta$$

ゆえに

$$\frac{W_m - W_{m0}}{A_m} = \zeta_m \cdot (\varphi - \varphi_0) - \nu_m (\theta - \theta_0)$$

これより

$$\frac{W_m}{A_m} - (\zeta_m \cdot \varphi - \nu_m \cdot \theta) = \frac{W_{m0}}{A_m} - (\zeta_m \cdot \varphi_0 - \nu_m \cdot \theta_0) = \frac{W_A}{A_m} \quad (19)$$

とおけば

$$W_m = (\zeta_m \cdot \varphi - \nu_m \cdot \theta) A_m + W_A \quad (20)$$

(19) 式における  $W_A$  は定数でなければならないから、これを知れば (20) 式によって任意の温度および関係湿度における材料の実重量を知ることが出来る。

#### [4] 湿気伝達率の問題

§3. においては不平衡の場合の重量変化をあらわすのに、材料について

$$\frac{dS_m}{dt} = f_m (S_{mE} - S_m)$$

空気について

$$\frac{dS_a}{dt} = f_a (S_{aE} - S_a)$$

とし、この函数を最も単純な形

$$\frac{dS_m}{dt} = m (S_{mE} - S_m) \quad (1)$$

$m$ : 常 数

とおいて解いた。

ただし前項に述べたような理由もあり、箱壁の受持つ部分が不確かなので

$$S = S_a + S_m + S_b$$

より

$$-\frac{dS_a}{dt} = \frac{d(S_m + S_b)}{dt} = -m'(S_{aE} - S_a) \quad (2)$$

のように材料と箱壁とを合わせて考えたときの  $m'$  を求めた。このとき材料の重量変化の値をそのまま用いないで

$$\frac{S_m - S_{m0}}{V} = \sigma_m \quad \text{etc.} \tag{3}$$

として空気の絶対湿度と dimension をあわせるようにした。

(1) 式のような  $m$  の値は 1 実験過程中で常数であるばかりでなく、同一材料についてはどのような過程についても同一の常数であるべきはずである。しかしながら §3. では  $\sigma_{aE}$  を温度に対して直線式としていることや、実際に算出せられたのは  $m$  でなく  $m'$  であったことなどのために、この値は実験毎に少しずつ異なる値となった。しかし図 4-15 にみるように各過程ごとに  $\sigma_a$  に対する傾斜が一致しているので、これを以上のような誤差にもとづくものとすれば、 $m'$  の値を  $\sigma_a$  に関係のない定数として、ハードテックスの場合

$$m' = 4.4 (\text{h}^{-1})$$

と推定することが出来る。(§3. [2] にあげた  $m$  の値は  $t=1/4(\text{h})$  についてのものであるから、この  $m'$  はその 4 倍になっている。)

いま (2) 式より

$$S_m + S_b = S'_m$$

とおけば

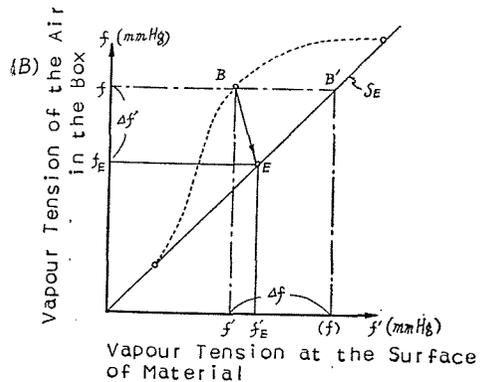
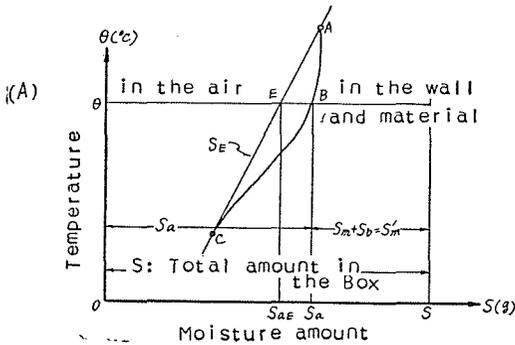


Fig. 4-16. Non-equilibrium state in the process of temperature variation.

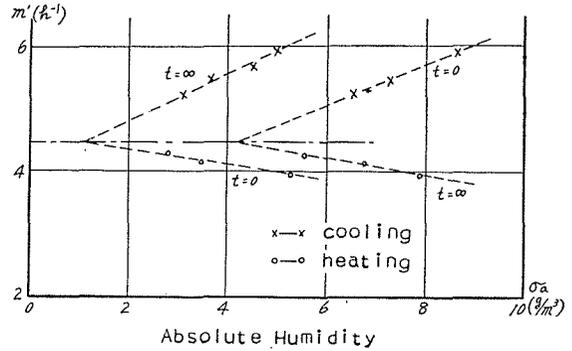


Fig. 4-15. The value of  $m'$  (Fiber board).

$$-\frac{dS_a}{dt} = \frac{dS'_m}{dt} = m'(\sigma_a - \sigma_{aE})V \quad (4)$$

この状態を図示すれば図 4-16(A) のようになるが、温度  $\theta$  で絶対湿度  $\sigma_a$  のときこの空気の水蒸気分圧を  $f$ 、同じく絶対湿度  $\sigma_{aE}$  のとき  $f_E$  とする。また図中  $B$  点における材料表面の水蒸気圧を  $f'$ 、同じく  $E$  点において  $f'_E$  とすると (図 4-16(B))  $E$  点においては空気と材料とは平衡であるから

$$f_E = f'_E \quad (\text{mm Hg})$$

である。それゆえ  $\sigma_a - \sigma_{aE}$  に相当する空気の水蒸気分圧の差は

$$f - f_E = \Delta f'$$

であるが、 $B$  点における空気の水蒸気分圧と材料表面の水蒸気圧との差の実際の値は

$$f - f' = \Delta f$$

でなくてはならない。

いま材料の表面積を  $A_m(\text{m}^2)$  とすれば、(4) 式より

$$\frac{dS'_m}{dt} \cdot \frac{1}{A_m \cdot \Delta f'} = m' \cdot \frac{V}{A_m} \cdot \frac{(\sigma_a - \sigma_{aE})}{\Delta f'} = \beta' \quad (5)$$

とおくと、 $\frac{\sigma_a - \sigma_{aE}}{\Delta f'}$  の値はあまり広くない範囲では定数とみてもよいから、 $\beta'$  は定数となりその dimension は  $(\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm Hg})$  であって、いわゆる表面伝達率に相当する係数となる。

ゆえに

$$\frac{dS'_m}{dt} = \beta' \cdot \Delta f' \cdot A_m \quad (6)$$

あるいは(4)式より直接に

$$\frac{dS'_m}{dt} = m'(\sigma_a - \sigma_{aE})V = \beta' \cdot \Delta \sigma \cdot A_m$$

$$\Delta \sigma = \sigma_a - \sigma_{aE}$$

とおくと

$$\beta' = m' \frac{V}{A_m} \quad (\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{g}/\text{m}^3) \quad (7)$$

となるから、ハードテックスについての  $m'$  の値  $m' = 4.4 (\text{h}^{-1})$  を用いると ( $V \doteq 0.5 \text{ m}^3$ ,  $A_m \doteq 0.4 \text{ m}^2$  として)

$$\beta' = 5.5 \quad (\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{g}/\text{m}^3)$$

またこの温度範囲では

$$\frac{\Delta \sigma}{\Delta f'} \doteq 0.9$$

として実用上差支えないから

$$\beta' = 5.0 \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm Hg})$$

とみることが出来る。

一般に表面伝達率  $\beta$  の値はもっと大きいはずであるが、この実験では §3. [2] に示した実験式が  $m'$  の値を定数としてよく全過程の測定値に合っているから、 $\beta'$  または  $\beta''$  の値を表面伝達率に相当するものと考えてよいと思われる。

[3] においては主としてインシュレーションボードについて等温の場合の関係湿度の変化に対する材料の吸放湿量および密閉箱内で温度変化を与えた場合の空気の関係湿度と材料の重量とを求める実験式および図表を示した。しかしこれらは温度および湿度の変化の完了した時、または準静的に変化を与えたときの平衡状態のみを求めるものであった。図 4-17 において最初の平衡状態  $A(\theta_0, \varphi_0, w_0)$  より温度変化完了時の平衡状態  $C(\theta_1, \varphi_1, w_1)$  に至る過程はその温度変化の速度に応じていろいろ変化するし、もちろん材料の種類や大きさによって異なるはずである。したがって温度変化が進行している際の不平衡状態を問題にするときには、その温度変化の仕方の外に材料の吸放湿能力に関するどのような性質がこの過程を決定するのかを確めなくてはならない。

いま  $A \rightarrow C$  の過程において温度  $\theta$  ( $\theta$  は  $\theta_0$  と  $\theta_1$  の間にある) となったときの状態を  $B$  点 ( $\theta, \varphi, w$ ) であらわされるとする。まず、材料の温度が  $\theta$ 、重さが  $w$  のままであるとすると、これと平衡する空気の関係湿度は  $\varphi'$  であるから平衡点は  $B'$  でなくてはならぬ。あるいは空気の温度が  $\theta$ 、関係湿度が  $\varphi$  のままであるならば、これと平衡する材料の重さは  $w'$  すなわち  $B''$  点でなくてはならない。

いま温度  $\theta$  における飽和水蒸気圧を  $F$  とすると  $B$  または  $B''$  における空気の水蒸気分圧  $f$  は

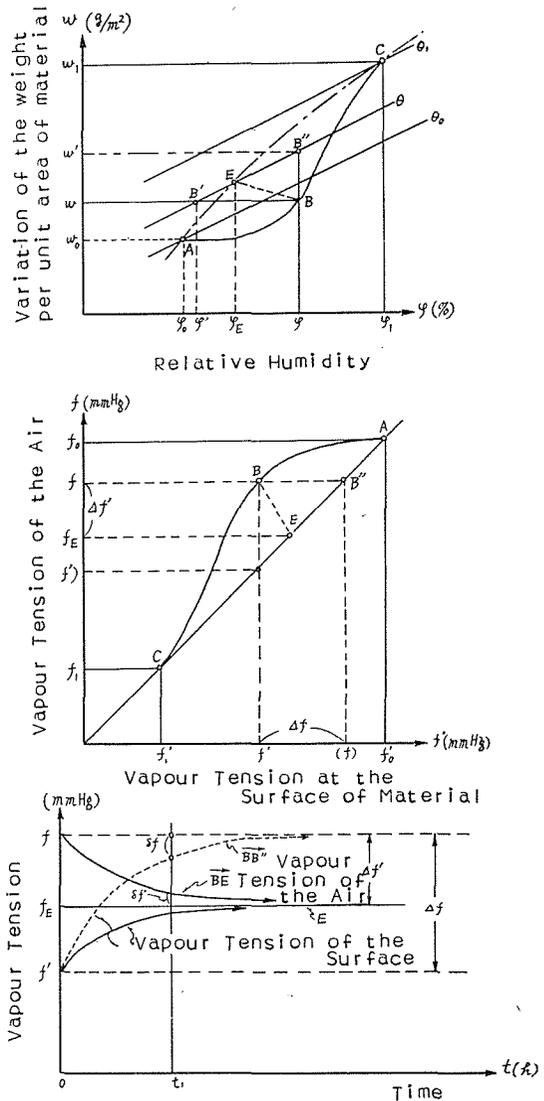


Fig. 4-17. Non-equilibrium state in the process of temperature and humidity variation.

$$f = F \cdot \frac{\varphi}{100}$$

$B$  または  $B'$  における材料表面の水蒸気圧  $f'$  は

$$f' = F \cdot \frac{\varphi'}{100}$$

したがって  $B$  における空気と材料表面との水蒸気圧差  $\Delta f$  は

$$\Delta f = f - f' = \frac{F}{100} (\varphi - \varphi') \quad (8)$$

となる。

したがって単なる湿気伝達を考えるならば

$$\frac{dw}{dt} = \beta \cdot \Delta f \quad (9)$$

なる方程式が成立つはずである。

先にハードテックスの実験式をみちびいたときには、 $B$  点において等温となったときには密閉箱の条件から平衡点は  $B'$  でも  $B''$  でもない  $E$  点であることから、この  $E$  点に至るまでの絶対湿度差をとって

$$\frac{d\sigma_a}{dt} = -m'(\sigma_a - \sigma_{aE})$$

と仮定していた。これが測定値とよく合うとしても、この仮定には理論的な根拠があったのではなく、実際に  $B$  点における空気と材料表面との水蒸気圧差は  $(\sigma_a - \sigma_{aE})$  についてのものではなく、静的には (8) 式における  $\Delta f$  である。しかし (9) 式に実測値による  $\frac{dw}{dt}$  と  $\Delta f$  との値を入れてみると  $\beta$  はやはり小さい数となる。

たとえば 図 4-18, 19 はインシュレーションボード ( $T/4$ ) およびベニヤ板 ( $B/4$ ) の実測例において

$$\frac{dw}{dt} = \beta'' \cdot \Delta \sigma$$

ただし

$$\Delta \sigma = \frac{\sigma_s}{100} (\varphi - \varphi')$$

$\sigma_s$ : 温度  $\theta$  における飽和絶対湿度

なる  $\beta''$  の値を示している。また同じように  $dw/dt$  の値から

$$\frac{dw}{dt} = \beta \cdot \Delta f$$

を求めるとすると、先に示したように

$$\beta' \cong 0.9 \beta''$$

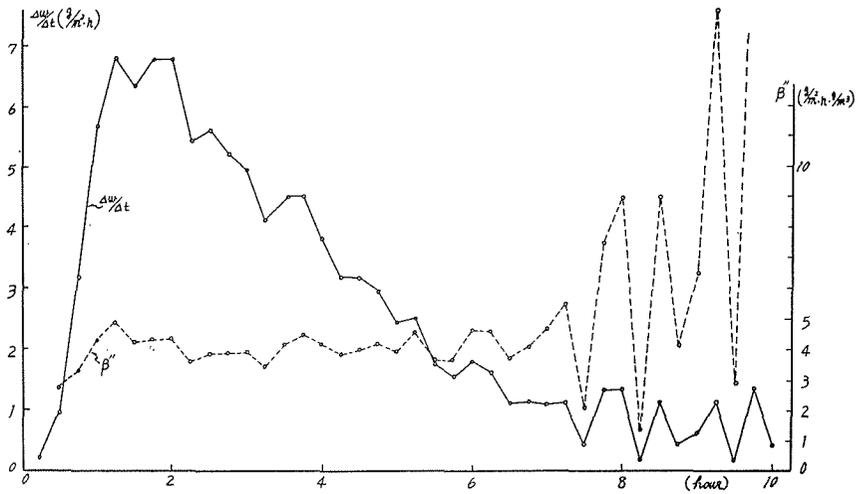


Fig. 4-18. The value of  $\beta'$  (Insulation board T/4)

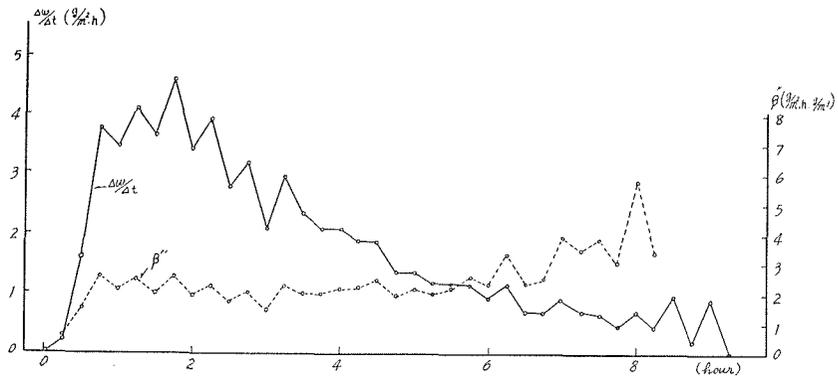


Fig. 4-19. The value of  $\beta'$  (Plywood B/4)

であるから、これらの実験例について

$$\beta' = 3.6 \text{ (g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm Hg)} \text{ (インシュレーションボード)}$$

$$\beta' = 1.9 \text{ ( // ) (ベニヤ)}$$

この程度の値にしかならない。

先の例で求められた重量変化の方程式は

$$\frac{1}{A_m} \cdot \frac{dS'_m}{dt} = \beta' \cdot \Delta f' \quad (\text{g/h m}^2) \tag{10}$$

に相当するものであり、後の例では

$$\frac{dw}{dt} = \beta \cdot \Delta f \quad (\text{g/h m}^2) \tag{11}$$

であるが、図 4-17(B) について知られるように、密閉箱にあっては  $\Delta f > \Delta f'$  となるゆえ、(10) (11) 両式の示す  $\beta'$  の値は異なったものとなるのはいうまでもない。たとえばもし B 点で温度

一定となったとすれば 図 4-17(C) において  $t_1$  時間後には  $\Delta f$  は  $\delta f$  となり  $\Delta f'$  は  $\delta f'$  となるようなそれぞれの  $\beta'$  をあたえていることになる。

前者は 図 3-5 に示したように温度変化の 1 過程中  $\beta$  または  $\beta'$  を一定値として実測値と計算値とがよく合致しているし、後者は 図 4-18, 19 にみるようにやはり 1 過程中定数と置きうると考えられる。したがってこのような過程の基本式として

$$\frac{dw}{dt} = B \cdot \Delta f \quad (12)$$

なる形を与えることは確かであるが、このとき  $\Delta f$  を空気と材料表面との静的な水蒸気圧差とすれば  $B$  は通常の表面伝達率  $\beta$  よりも小さな値でなくてはならないし、 $B$  に通常の  $\beta$  の値を用いるとすれば  $\Delta f$  は吸放湿機構における何等かの修正を補されねばならないことになる。

## § 5. 結 語

室内の水蒸気量の増減と換気との関係が実測においてはなほだあいまいであるのみならず水蒸気発生がなくても室内が高水蒸気圧を保持し得るような状態は換気によって説明出来なかった。そこで室内壁面の吸放湿性能が室内湿度に対して最も大きい役割をになっているのであろうとの見当のもとに吸放湿についての実験を行なったのであるが、これについて最初に密閉箱をえらんだのは、序説にも述べたように空気の湿度変動が知りたいのであって、材料の吸放湿はその手段であるにすぎないゆえ、換気があつては空気中の水蒸気のゆくえが把握し難いからである。現在までの一連の実験によっては未だその性状の一端さえ明確になったとは言えないが、居住家屋における湿度変動に関する事象の多くを説明し得る端緒を開いたことと思つている。

たとえば室内湿度の変動はほとんど外気湿度の変動の影響をうけず室内温度の変動の形によって決定されるが、その形は密閉箱における壁面吸放湿と空気中水蒸気との関係のような交換移動が基本になっていると考えられ、換気や、水蒸気発生はこれに対する modification としてはたらいっているのである。

多くの居住家屋における実測例においては、温度上昇および下降のサイクルにおいて、上昇時に湿度高く下降時に湿度の低いことが指摘出来る。しかし一般にはこの両過程における湿度差は非常に少なく、日々同経路を往復するが、時として湿度差の大きいものも見られる。両過程の湿度差の大きいのは一般に高湿の場合で、室内環境も良くなく、結露の見られる例もある。

このような事象は本実験例には見られず、ここでは例外なく温度下降時に湿度高く、温度上昇時に湿度が低い。またその湿度差も一般に大きくなっているが、このとき与えている温度変化は実測家屋にくらべて大きすぎるのではなく、較差も  $dw/dt$  もともに大抵日常生活におけるものに類似せしめているのである。したがってこのような実験例と実測例との差は換気や水

蒸気発生によるものと考えて差支えない。

突発的な水蒸気の多量発生は、室内を高湿にするので、1 時的にもせよそのような状態がおこると、室内の温度分布や換気経路によっては高湿滞留部分を生じここに悪影響をのこすことがあるから、このようなときは局所的に排出してしまうことが望ましい。しかし通常の場合壁面の吸放湿量が相当望みうるならば水蒸気発生による室内湿度の変動は緩和せられここに述べたような動的な平衡状態を保っていると考えられる。そしてこのような平衡状態については空気の絶対湿度または関係湿度をとっても、材料の重量変化をとっても、これと、温度との関係はかなり複雑な様相を示していた。§3. ではこの平衡関係を  $\theta$  と  $\sigma_a$  との間の直線式で近似せしめ、§4. では  $w$  と  $\varphi$  および  $w$  と  $\theta$  との間に直線式をおいた。このいずれによっても実測値と計算値とがよく合致することは、一見矛盾のようであるけれどもここにとり上げたような温度範囲では  $d\sigma/d\theta$  を一定としたとき、 $d\sigma/d\varphi$  もまた大体一定値に近くなる場合があり、たまたまここに用いられた材料などがその範囲に入っていたと考えられるのである。

したがって材料によっては、どちらかがよりよく近似することになるし、場合によっては両式ともうまく合致しないこともある。また 80% 以上の高湿や 40% 以下の低湿では誤差が大きくなる。

しかしこれらの平衡吸湿に関する係数は、室内の湿気容量を決定するに必要なものでありまたオーディトリウムにおける吸音材と残響あるいは定在音のエネルギーの大きさなどの関係のように、水蒸気の定在量や変動の緩和を計算するのにも用いられなくてはならない。

ここに述べた諸式については理論的な考察の不充分なところもあり、換気のある場合にも触れていないから、このまま直ちに実在家屋にこれを適用することは出来ないけれども、居住家屋気候の実測値について少なくとも湿度変動の様相を評価するための scale を示唆することが出来たと思われる。