

## 除湿機運転による除湿効果に及ぼす 室内装材からの放湿の影響について

三村 泰一郎・東 修三

### The Influence of the Moisture Release from the Interior Finish on the Effect of Dehumidification in the Room where Dehumidifier Is Operating

TAICHIRO MIMURA and SYUZO AZUMA

The variation of the relative humidity in the room where the dehumidifier is operating was theoretically and experimentally investigated. In case of the closed room with constant temperature and no ventilation, the theoretical results are as follows:

- 1) The relative humidity decreases exponentially with time, and finally reaches the stationary value.
- 2) Initially, the quantity of dehumidified water per unit time is larger than the moisture release from the interior finish, and finally becomes equal to it.
- 3) Large moisture release from the interior finish as plywood brings gradual decrease of humidity and higher stationary value, and small one as vinyl brings rapid decrease of it and lower stationary one.

These theoretical results explain well the experimental ones.

Secondly, the adsorption type dehumidifier using silicagel was operated in a small closet and the variation of relative humidity was observed. The theoretical analysis for this variation of relative humidity that is different from the case of being operated the usual type dehumidifier was performed.

(Received July 26, 1984)

#### 結 言

近年、梅雨期や寒候期などの湿度の高い季節に、室内空気の乾燥、ひいては室内生活用品等の防湿を目的として除湿機が一般に使用されるようになり、また、その除湿効果に関する報文もみられる。ところで、これらの報文をみると、除湿機を運転しても見掛け上室内の相対湿度が下らない実験例<sup>1) 2) 3)</sup>があり、これは室内装材から室内へ水蒸気が放湿されるため、相対湿

度の低下が妨げられているためではないかと考えられるので、このことについて理論的ならびに実験的に追究することとした。

最近、押入のような比較的狭い空間の除湿を目的として、従来の冷却式の除湿機とは機構の異なるいわゆる吸着式除湿機が市販されているが、この除湿機を用いて押入内の除湿実験を行い、その効果、性能について実験的に解明することとした。また、この実験では

従来の除湿機を用いた場合と異なる湿度変化を示す事実が明らかになったので、このことについても理論的に考察を加えた。

### 除湿機による除湿実験

#### 1 除湿理論

除湿機を運転する場合の室内空気の相対湿度（以下湿度と略する）の時間的変化を理論的に考察する。室温を  $T(K)$ 、外気温を  $T_e(K)$ 、室内空気の湿度を  $r(\%)$ 、外気のそれを  $r_e(\%)$ 、室容積を  $V(m^3)$ 、換気量を  $Q(m^3/h)$ 、室内装材などからの水蒸気の放湿量を  $R(g/h)$ 、温度  $T$  および  $T_e$  における飽和蒸気圧を  $E$  および  $E_e(mb)$ 、除湿機の除湿量を、室温  $T$  で決まる係数  $a$  および  $b$  を用いて室内空気の湿度  $r$  の関数として、 $ar+b$  ( $a>0$ ) ( $g/h$ ) で表わし（図1参照）、時間を  $t(h)$  とすると、室内空気の湿度  $r$  の時間的変化を表わす基本式は、

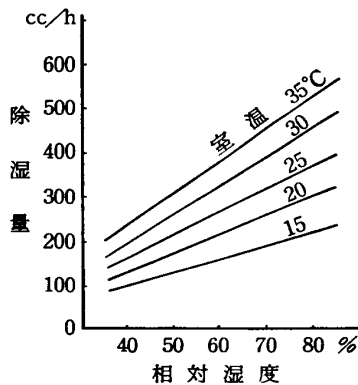


図1 除湿機の性能図  
(三菱 MH-10 型)

$$2.17 \frac{E}{T} V \frac{dr}{dt} = -(ar+b) + 2.17Q \left( \frac{E_e}{T_e} r_e - \frac{E}{T} r \right) + R \quad (1)$$

となる。この式で、左辺は室内の水蒸気量の時間的変化の割合を表わし、右辺の第1項は除湿機による除湿量を、第2項は換気により室内に侵入する水蒸気量を、第3項は室内装材などからの放湿量をそれぞれ表わす。この式を

$$m = \frac{aT + 2.17QE}{2.17EV}$$

および

$$n = \frac{-bT_e + 2.17QE_e r_e + RT_e}{2.17EV T_e} \cdot T \quad (2)$$

とおいて整とんすると次のようになる。

$$\frac{dr}{dt} = -mr + n \quad (3)$$

いま、室温  $T$ 、外気温  $T_e$ 、外気の湿度  $r_e$ 、換気量  $Q$ 、室内装材などからの放湿量  $R$  を一定と仮定し、初期条件として、除湿機運転開始時 ( $t=0$ ) の室内空気の湿度を  $r_0(\%)$  とし、(3)式を解くと、室内空気の湿度  $r$  の時間的変化に対して次の解式が得られる。

$$r = \frac{n}{m} + \left( r_0 - \frac{n}{m} \right) \exp(-mt) \quad (4)$$

この式で  $t \rightarrow \infty$  とすると、

$$r \rightarrow r_s = \frac{n}{m} = \frac{-bT_e + 2.17QE_e r_e + RT_e}{aT + 2.17QE} \cdot \frac{T}{T_e} \quad (5)$$

となる。この最終の湿度、いわゆる定常湿度  $r_s$  を用いると(3)式は

$$\frac{dr}{dt} = -m(r - r_s) \quad (3')$$

(4)式は

$$r = r_s + (r_0 - r_s) \exp(-mt) \quad (4')$$

となる。除湿機を運転する場合は、換気を少なくし、室内への水蒸気の侵入を防いで行うのが普通で、この場合は上述の取扱いで  $Q=0$  とおけばよく、(1)式は

$$2.17 \frac{E}{T} V \frac{dr}{dt} = -(ar+b) + R \quad (6)$$

(2)式は

$$m = \frac{aT}{2.17EV}, \quad n = \frac{-b+R}{2.17EV} \cdot T \quad (7)$$

(5)式は

$$r \rightarrow r_s = \frac{n}{m} = \frac{R-b}{a} \quad (8)$$

となり、この式は書きかえると

$$ar_s + b = R \quad (9)$$

となる。以上の理論に基づいて、室温が一定で換気が無く、室内装材などからの水蒸気の放湿のみが除湿効果に影響する場合について要約すると、次のようである。除湿機の運転開始時の室内空気の湿度  $r_0$  が定常湿度  $r_s$  より高い場合は、除湿量  $ar+b$  が室内装材などからの放湿量  $R$  より多いので、(6)式からわかるように室内空気の湿度  $r$  は時間とともに減少し、その減少のしかたは(4)または(4')式で示されるように指数関数的である。この場合湿度の減少とともに除湿量も減じてきて(図1参照)、十分に時間が経過すると、や

がて除湿量が放湿量と等しくなり、定常湿度  $r_s$  となつて、以後一定の状態が続くことになる。

また、(8)式に含まれる係数  $a$  および  $b$  は室温が変わらなければ定数であり、定常湿度  $r_s$  は室内装材などからの放湿量  $R$  のみの関数となり、放湿量の多少で定常湿度の高低が決まる。換言すれば、放湿性の高い室内装材を使用している場合は定常湿度は高く、放湿性の低いもの場合は定常湿度は低くなるということである。

## 2 除湿実験

上述の理論結果から考えると、先に引用した実験例のうち特に著者らのもの<sup>3)</sup>は、除湿機の運転開始時の室内空気の湿度が低く、最初から定常湿度に近かったので、除湿機を運転しても湿度が低下せず、ほぼ一定の状態で経過したもので、除湿開始時の湿度が定常湿度より高ければ理論どおり室内の湿度は低下して、十分に時間が経過すれば定常湿度になるものと予想されるので、今回は湿度がなるべく高い日を選んで実験を行うこととした。また、(8)式から、室温が同じであれば放湿量の大きい内装材を用いれば定常湿度は高く、小さい内装材であれば低くなるのが予想されるので、このことを検証するために、放湿性の高い内装材として合板素地(厚さ 2.7 mm)を、低い内装材としてビニルシート(厚さ 0.4 mm)を内装して実験を行った。

供試家屋は6畳1室の平屋建木造プレハブ家屋で、これを2分し、一方の室内には、内装材からの放湿の効果がみられるように、天井、床、壁(窓、出入口を含む)の全面に内装材を張りつけ、これを実験室と

し、実験中は換気のない密閉状態とした(図2参照)。除湿機は図2に示す位置に設置し、これからの除湿水はホースによって隣室に導き、水量をはかり除湿量とした。また、室内の温湿度は室中央部で床上90 cmの高さにサーミスタ温度計及び電気湿度計(シリコン検出素子)を設置して記録させた。

## 3 実験結果とその考察

図3は合板素地とビニルシートを内装して行なった実験の代表例で、除湿機運転開始後の室内の温度および湿度の観測結果ならびに室内の絶対湿度、室内装材からの放湿量の計算結果を示したものであるが、室温状態も、除湿機運転開始時の相対湿度も両者ほぼ同じであった。除湿機運転開始後の状態をまず合板内装の場合についてみると、絶対湿度は徐々に低下し、そのため相対湿度も84%から次第に低下し、約17時間後に定常湿度に達している。一方、ビニルシートについては、絶対湿度は最初の約1.5時間で急激に低下し、以後は定常状態となり、従って相対湿度も81%から急激に下り、約2時間後に定常湿度となっている。この定常湿度の値は、放湿量の多いと思われる合板素地の場合は27%、放湿量の少ないと思われるビニルシートの場合は23%であり、これは今回行った実験のすべての例についても同じ傾向で、これらの実験結果から前述の理論が実証されたことになる。尚、図に示した放湿量は1時間当りの除湿量と絶対湿度の1時間の変化量とから計算によって求めたものであるが、ビニルシートは合板素地より、放湿量はかなり少なくなっている。

図3において相対湿度の時間変化は内装材により大きく異なっているが、これは放湿量のグラフからわかるように、合板素地の放湿量は最初ビニルシートに比べてかなり多く、これが時間と共に指数関数的に減少しているのに対し、ビニルシートの方は最初から比較的少ない量ではほぼ一定していることが原因ではないかと考えられる。先に述べた理論式においては、放湿量は一定として取扱っているが、今述べたように合板素地の場合、放湿量は時間とともに変化しているので、次にこのことを考慮に入れて相対湿度の時間変化を理論的に考察してみることにする。

室内装材からの放湿量を  $R_s + (R_0 - R_s) \exp(-ct)$  (g/h) と表わすと(6)式は

$$2.17 \frac{E}{T} V \frac{dr}{dt} = -(ar + b) + \{R_s + (R_0 - R_s) \exp(-ct)\} \quad (10)$$

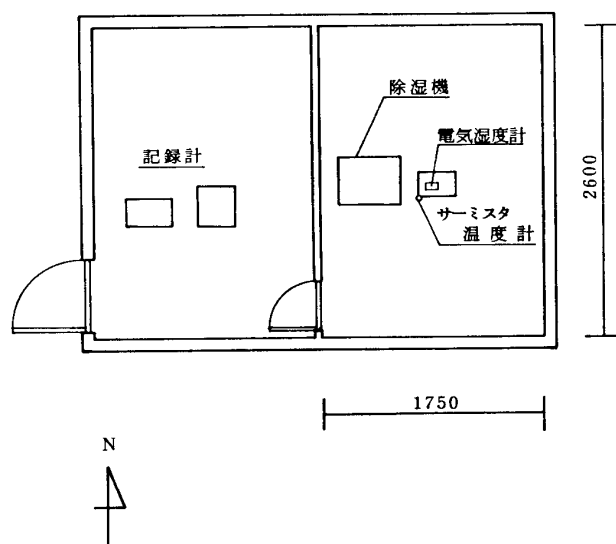
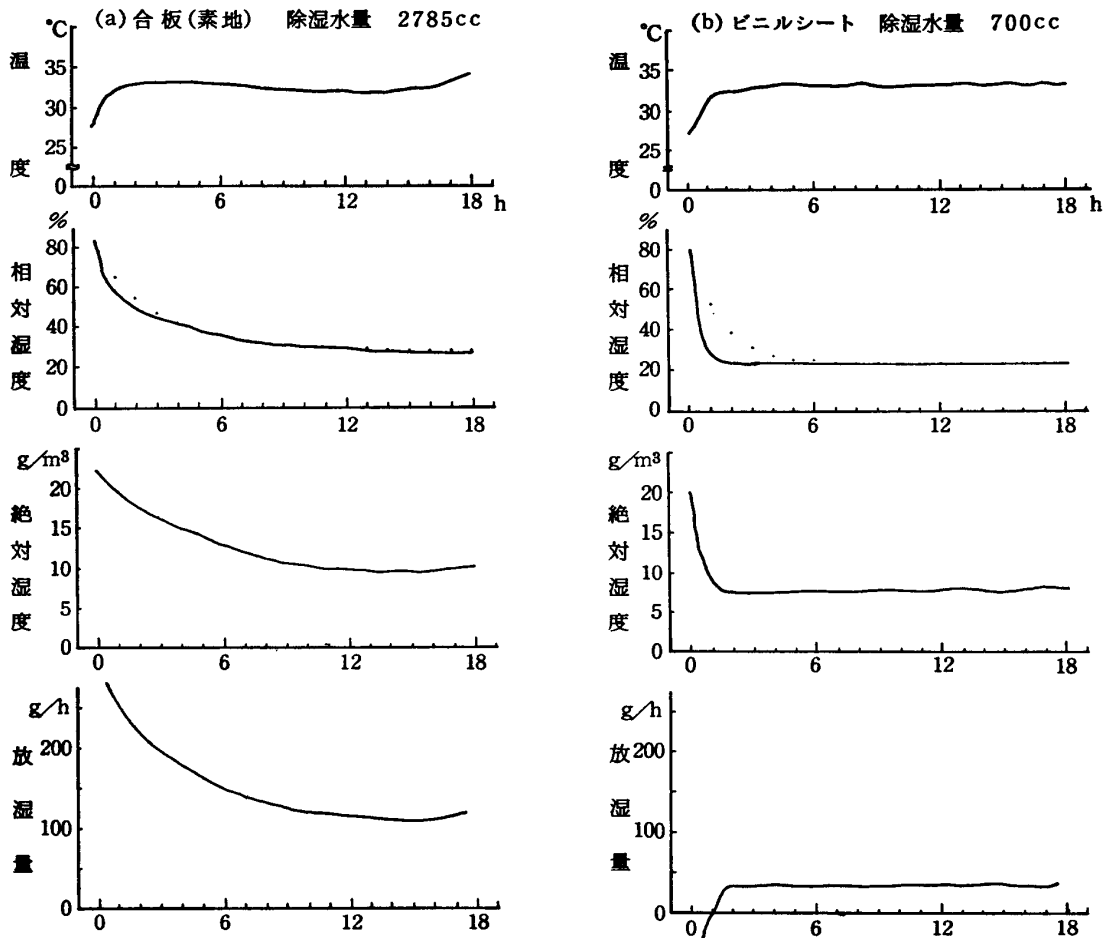


図2 機器の配置図



(注) 1時間当りの除湿量と室内装材の全表面積からの1時間当りの放湿量の差を室容積で除した値が絶対湿度の1時間の減少量である。放湿量はこの関係を利用して、1時間当りの除湿量と絶対湿度の1時間の変化量とから計算によって求めた。

図3 除湿機運転中の温湿度等の時間的経過

となり、この式の左辺は室内全体での単位時間当りの水蒸気量の変化を、右辺第1項は除湿量を、右辺第2項は室内装材からの放湿量をそれぞれ表わしている。室温  $T$  を一定とし、除湿機運転開始時の相対湿度を  $r_0$  として(10)式を解くと

$$r = \frac{R_s - b}{a} + \frac{T(R_0 - R_s)}{aT - 2.17EVc} \exp(-ct) + \left( r_0 - \frac{R_s - b}{a} - \frac{T(R_0 - R_s)}{aT - 2.17EVc} \right) \exp\left(-\frac{aT}{2.17EV}t\right) \quad (11)$$

となり、時間が十分たったとき ( $t \rightarrow \infty$ ) の相対湿度 (定常湿度)  $r_s$  は

$$r_s = \frac{R_s - b}{a} \quad (12)$$

となるので、これを(11)式に入れると、相対湿度の時間変化を表わす式は次のようになる。

$$r = r_s + \frac{T(R_0 - R_s)}{aT - 2.17EVc} \left\{ \exp(-ct) - \exp\left(-\frac{aT}{2.17EV}t\right) \right\} + (r_0 - r_s) \exp\left(-\frac{aT}{2.17EV}t\right) \quad (13)$$

また、ビニルシートの場合は放湿量がほぼ一定であるので、放湿量を表わす式  $R_s + (R_0 - R_s) \exp(-ct)$  において  $R_0 = R_s$  とすると、相対湿度の時間変化は(13)式に対応して

$$r = r_s + (r_0 - r_s) \exp\left(-\frac{aT}{2.17EV}t\right) \quad (14)$$

と表わすことができる。

合板素地内装の場合の相対湿度の時間変化を表わす(13)式と、ビニルシートの場合の(14)式とを比べてみると、合板素地の場合はビニルシートの場合より(13)式の第2項だけ余分に付加された形になっているが、この項の正負を調べてみると、 $R_0 > R_s$  ならばこの項

は常に正となるので、従ってこのことは合板素地の場合 ( $R_0 > R_s$ ) には、ビニルシートの場合 ( $R_0 = R_s$ ) よりも付加項の分だけ相対湿度の時間変化がゆるやかになることを表わしており、先述の実験結果がこれによって理論的に説明できることになる。これらの理論結果から計算した相対湿度の値を図3に点でプロットしてあるが、実線で表わした実測値とその時間変化の傾向が一致している。この場合の計算値と実測値のずれは、理論では室温を一定と仮定したのに対し、実測では一定でなかったためと思われる。

以上の考察によって、相対湿度の時間変化が室内装材からの放湿の違いにより異なることを理論的に説明できたことになる。

吸着式除湿機による押入内の除湿実験

1 実験方法並びに結果

本実験で使用した吸着式除湿機は、従来の冷却式とは異なり、内蔵されているシリカゲルカセットに空気を通してシリカゲルに水蒸気を吸着させることにより減湿するという方式のものであるが、この除湿機の性能を調べるために床面積0.72m<sup>2</sup>、高さ1.53mで、内部は天井、壁面および扉に合板を内装し、床にすぎ板を

張った押入を供試して、これを密閉状態とし、除湿機のタイマーは最大の5時間にセットして実験を行った。また、実験は湿度のなるべく高い日を選び、押入内を空にした状態と、ふとんを1組入れた状態の両方について行なった。

図4はこのようにして得られた結果の代表例である。この図で除湿機運転時5時間の湿度の変化の状態をみると、相対湿度は最初75%であったものが、運転開始後30分間で急激に下り、1.5時間で最低値45%になった後、運転停止時まで次第に上昇している。このような相対湿度の時間変化は、絶対湿度の時間変化によることも図からわかる。これはこの除湿機の吸着機構のために、除湿量が吸着量の増大とともに急激に減少するのに対し、一方、内装材からの放湿量の方は、初め多く、次第に減少するとしても、その変化が大きくないとすれば、最初のうちは除湿量が放湿量より多くて絶対湿度は下ってくるが、ある時刻以後は放湿量よりも少なくなって、絶対湿度が上ってくるためと考えられる。

次に除湿機運転停止後の相対湿度及び絶対湿度の変化の様子をみると、両者は共に除湿機運転停止直後一時的に急上昇をするが、その後次第にゆるやかな傾き

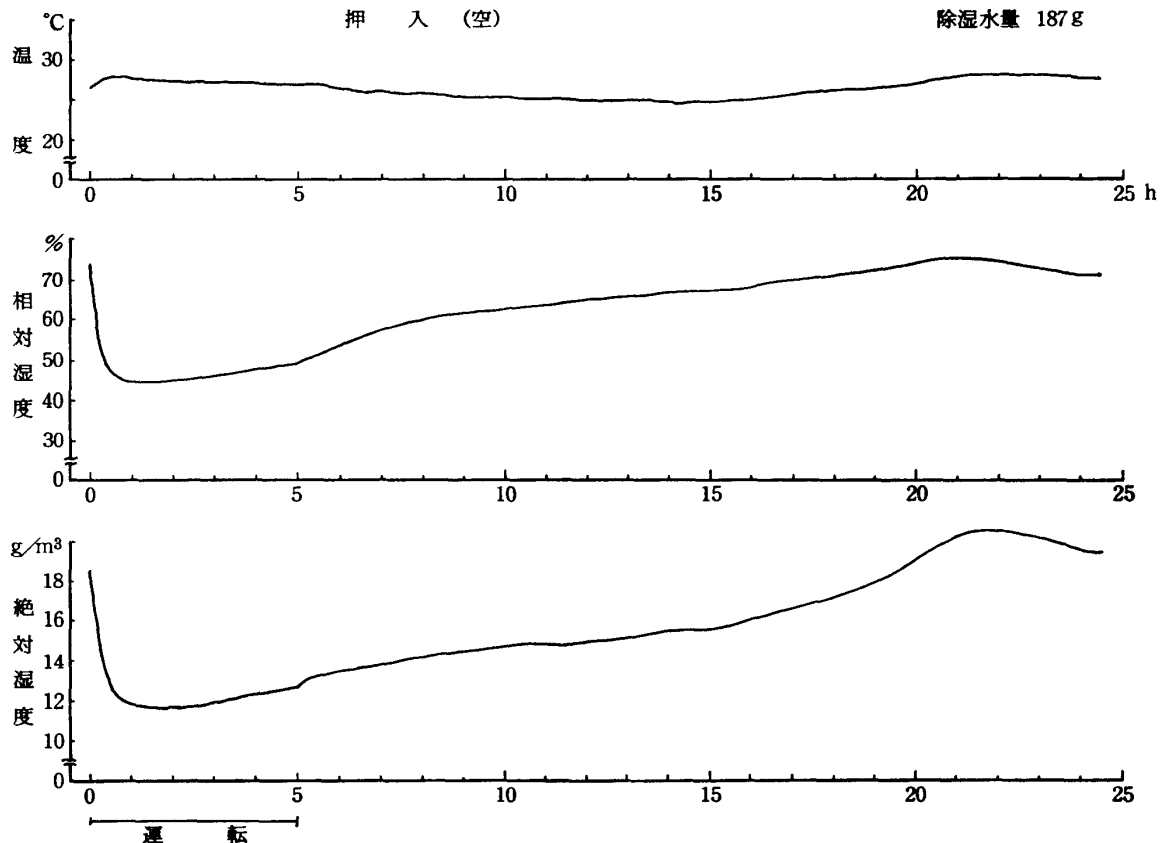


図4 吸着式除湿機運転中および運転停止後の温湿度等の時間的経過

になりながら上昇を続け、いずれも約20時間後に最初の値に戻っている。

押入内が空の上述の実験結果と比較するために、押入内にふとんを1組入れた場合についても実験を行ったが、絶対湿度の変化の仕方がふとんを入れない場合とよく似ていて、今回の実験ではふとんの影響はあまりみられなかった。これはふとんが乾燥していたためとも考えることができる。

以上の結果から、この吸着式除湿機の性能として次のことが明らかになった。すなわち、運転開始後短時間で湿度が急激に低下するが、シリカゲルカセットの吸着能力の低下と内装材からの放湿とにより、その状態は継続しない。しかし、運転が停止した後も密閉状態を維持すれば、約15時間にわたって湿度を運転前の状態以下に保つことができる。

## 2 理論的考察

吸着式除湿機運転中の押入内の相対湿度のこのような時間変化を理論的に考察してみることにする。

今、吸着式除湿機の単位時間の吸着量すなわち除湿量は、飽和吸着量 ( $A_s$ ) と、現在までの吸着量 ( $A$ ) との差に比例するものと考えたと(15)式が成立し、

$$\frac{dA}{dt} = a(A_s - A) \quad (15)$$

この(15)式を除湿機運転開始時 ( $t=0$ ) において  $A=0$  という初期条件のもとに解くと

$$A = A_s \{1 - \exp(-at)\} \quad (16)$$

となり、この(16)式を用いると(15)式は(17)式のように書くことができる。

$$\frac{dA}{dt} = aA_s \exp(-at) \quad (17)$$

そこで、次のような記号を用いると、換気のない場合の押入内空気の相対湿度の時間変化を表わす基本式は(18)式ようになる。

$$\begin{aligned} T & \quad (\text{K}) : \text{押入内気温} \\ r & \quad (\%) : \text{押入内空気の相対湿度} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E & \quad (\text{mb}) : T(\text{K}) \text{ における飽和蒸気圧} \\ V & \quad (\text{m}^3) : \text{押入容積} \\ t & \quad (\text{h}) : \text{時間} \\ aA_s \exp(-at) & \quad (\text{g/h}) : \text{1時間当りの吸着量} \\ R_s + (R_0 - R_s) \exp(-ct) & \quad (\text{g/h}) : \text{押入内装材などからの水蒸気の放湿量} \end{aligned}$$

$$2.17 \frac{E}{T} V \frac{dr}{dt} = -aA_s \exp(-at) + R_s + (R_0 - R_s) \exp(-ct) \quad (18)$$

この式を初期条件として  $t=0$  において  $r=r_0$  を用いて解くと、押入内の相対湿度の時間変化を表わす式は(19)式ようになる。

$$\begin{aligned} r = r_0 - \frac{A_s T}{2.17 E V} \{1 - \exp(-at)\} + \frac{T}{2.17 E V} R_s t \\ + \frac{T}{2.17 E V} \cdot \frac{R_0 - R_s}{c} \{1 - \exp(-ct)\} \end{aligned} \quad (19)$$

この式で、右辺第1項と第2項の代数和は時間とともに減少していくが、第3項と第4項の和は時間とともに増加するので、 $r$  は最初減少していくが、 $\frac{dr}{dt} = 0$  となる時刻以後は時間とともに増加していくことがわかる。従って、この理論式によって押入内の相対湿度の時間変化について、図4にみられる傾向を説明することができる。しかし、上述の理論ではシリカゲルの単位時間の吸着量は飽和吸着量と現在までの吸着量との差に比例するものと仮定して理論をすすめたが、比例係数  $a$  を決定するための実測が行えなかったため、定量的考察にまでは及ばなかった。これについては今後の研究にまつことにしたい。

(1984年7月26日受理)

## 文 献

- 1) 大島愛子, 家政学雑誌, 第18巻第6号67 (1967)
- 2) 東 修三, ハウスクリマ研究ノート, 第1号8 (1969)
- 3) 三村泰一郎他, ハウスクリマ研究ノート, 第4号12 (1978)