

ゼオライトを入れたアクリル箱内の温湿度分布

三 浦 定 俊

1. はじめに

近年、発掘された考古遺物等を保管するのに、あらかじめ希望の湿度になるように調整しておいたゼオライトを中に入れた、透明なアクリルケースが使われることがある。ケースが透明であるからそのまま展示にも供せるし、経費のかかる空気調和をしなくても調整したゼオライトさえ手に入れば、自由に望みの恒湿環境をつくりだせるので大変重宝である。

反面、次のような問題がある。第1に、いくら丁寧に隙間をシリコンラバー等で補填しても、わずかな外と内の水分のやりとりがあって、長い間にはゼオライトの調湿能力をこえてケース内の湿度は外部の湿度に等しくなる^{1),2)}。このため、ケース内の湿度を定期的に測定して、はたして所定の湿度になっているかどうか確認する必要がある。ケースは収納品をいれれば一杯になる程度の大きさであるから、通常用いている自記記録計やアスマン式通風乾湿計は使用できず、特別なものが必要となる。我々は、このための測定器として電気抵抗式の微小湿度計を用いている。

第2に、測定した点のはたしてケース内全体の温湿度を代表しているか不明である。これはケース内に限らず、一般の建物においても問題となる。毛髪湿度計（ポリメーター）を壁にかけて室内の湿度を測ることは、壁の影響を受けるので避けた方がよいといわれる³⁾。

第3に、常に制御対象の温湿度を検知してフィードバック制御している空調システムと違い、ゼオライトの吸放湿特性を利用しているのであるから、ケース内の温度分布が不均一になるなど予期せぬ状況になった時、はたしてうまくゼオライトがケース内を恒湿に保ってくれるかどうか心配である。

このため筆者はゼオライトの働きとケース内温湿度分布との関係を測定する必要があると考え、特にケース内の温度が不均一になった場合について実験と考察を行った。

2. 実 験

2.1 測定装置

(i) 温度測定器：江藤電気サーモダックⅡ（24点まで同時測定可能）。銅・コンスタンタン熱電対を検出端として使用した。

(ii) 湿度測定器：エース研究所製エース鋭感湿度計AH-2S型。電源は直流安定化電源（菊水電子製）からとった。湿度受感部は極小型B。

(iii) アクリルケース：内法29×39×21(cm)。厚さ0.5cmの透明アクリルで作られた箱で、底面から6cmの高さで上下にわかれるようになっている。ふちのついた上下の合わせ目にはグリースを塗ったシリコンラバーをはさみ、上下からビスでとめて密封した。ケース内部には、図-1のような温湿度分布を測定するための測定素子支持台をおいた。素子からのコードは側面にあけた穴から外へ取り出し（隙間はパラフィンとグリースで充填）測定器に接続した。

(iv) ホットプレート：寸法29×33(cm)。ステンレススチール製。写真現像に使うものを用いた。サーモスタットがついていて所定の温度に保たれる。

(v) ゼオライト：日本活性白土製ニッカペレット。あらかじめ60%に平衡湿度を調整して出

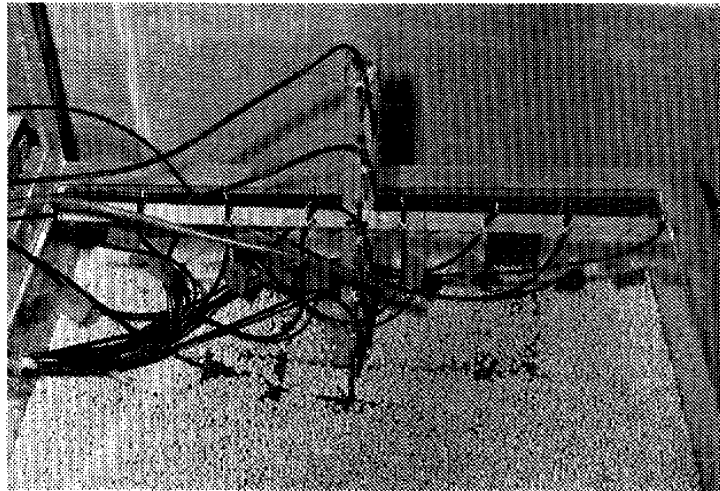


図-1

攪拌した場合である。もし攪拌しなければ、かなり手早く注意してやっても感湿素子の出し入れによって湿度に不必要なむらが生じ、それがもとの周囲の湿度に慣らされるまでに時間がか

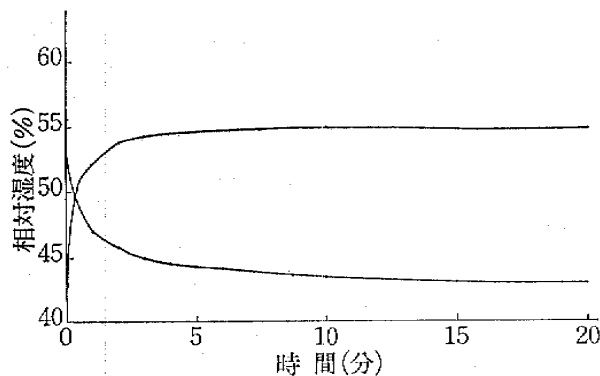


図-2 感湿素子の応答特性（攪拌した時）

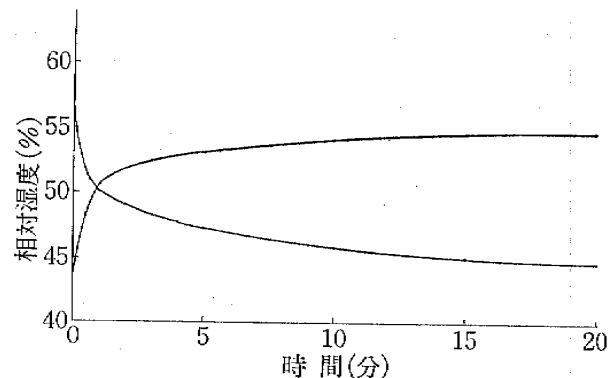


図-3 感湿素子の応答特性（攪拌しない時）

かる。その結果、見かけの感湿素子の応答は図-3のようになりに遅いものとなる。特に開口部の大きなケース内温湿度の測定に於いては、これが測定上の重要な問題になると考えられる。例えば、底に水を入れた高さ約17 cmのガラス製の円筒では、上に蓋をしてから全体が均一に100%RH近くなるまでには約24時間を要している³⁾。感湿素子の挿入方法、測定時間等に十分な注意を払わなければ、測定したい本来のケース内温湿度ではなく、外界の影響を受けて変化した温湿度を測定してしまう恐れがある。

この実験では、このような感湿素子の出し入れによる測定誤差を防ぐために、感湿素子は中に入れたままにして外からアームで動かしてやることとした。

2.3 ゼオライトの量

ニッカペレットの場合 1 kg/m^3 という量が標準的な目安になっている。この実験の場合アクリルケースの容積は約 0.024 m^3 であるから、ゼオライトの標準量は 24 g 程度（大さじ山盛1杯）の量である。最初にそれだけの量のゼオライトをケース内に入れてみた所、内部の湿度は $47\% \text{ RH}$ から上にあがらなかった。この理由は2つ考えられた。1つに、測定素子の支持台が木製であったのでそれがかなり水分を吸収したこと。2つに、小さなケースである為に内容積の割に表面積が大きく、アクリル板に吸着する水分の量が無視できなかったことである。

以上からこの実験では一般に行なわれているように、ケースの底面全体にゼオライトを一層に敷きつめた。この時のゼオライトの量は 350 g で、 1 m^3 当たりになおせば 14 kg/m^3 という

荷されたものを用いた。実験時の実際の平衡湿度は 15°C で $58\% \text{ RH}$ であった。この時、ゼオライトを入れる前のケース内温湿度は 16.5°C 、 $42\% \text{ RH}$ であった。

2.2 感湿素子の応答特性

用いた感湿素子の応答特性は図-2に示す通りである。湿度が低くなる時の方が応答は遅いが、それでも5分程度で平衡に達した。但し、これは感湿素子の周囲の湿度が均一になるように空気を

ことになる。

2.4 測 定

ゼオライトを入れて密封したアクリルケースの上に、ホットプレートを置いて45分間加熱した後、ホットプレートを取り除き自然冷却する。内部の温湿度分布の測定は、温度については、加熱及び冷却の最初の10分間を1分ごとに、後の35分間を5分ごとに同時測定した。湿度については感湿素子が1個しかないため同時測定ができないので、湿度変化がきわめて緩やかになった加熱後40分と放冷後50分に、下から順々に測定していった。測定は、感湿素子が平衡になる前に移動させることのないよう、素子からの出力を記録計にとって応答の様子を見ながら注意しつつ行った。

さらにその後で、加熱の場所を違えて、アクリルケースの下にホットプレートをおいて2回目の同様な実験（50分間加熱，60分間放冷）を行った。

3. 結果と考察

3.1 ケース内温湿度の代表値

ケース内の垂直方向の温度分布・湿度分布の時間変化を図-4，図-5に示す。図-4は上から加熱した場合の変化であり，図-5は下から加熱した場合の変化である。いずれの場合においても，ケースの中央付近の高さで水平方向の温湿度を測定した所，ほとんど違いは見られなかった。

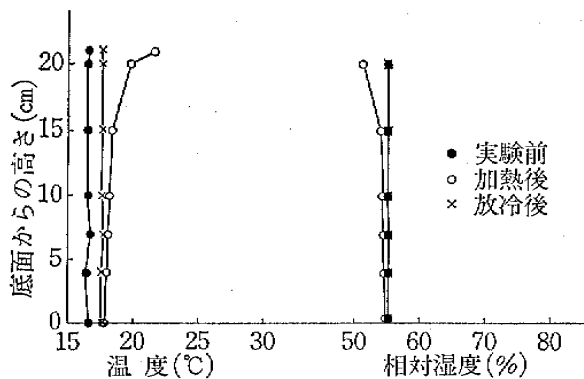


図-4 アクリルケース内の温湿度分布
(上から加熱した場合)

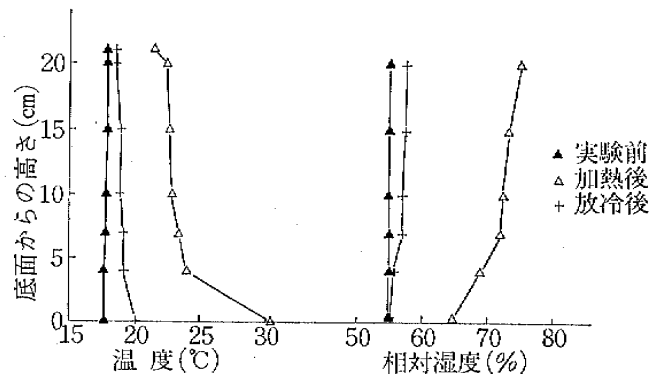


図-5 アクリルケース内の温湿度分布
(下から加熱した場合)

ケースの空間の中央の3点は大体似た温湿度を示している。金属のような固体では、両端で温度が異なる時、途中の温度は段階的に変化していく。しかしこの場合のように、両端を除いた全体がほぼ等しくなるのは、温度の違う表面に接している境界層を残して、空気の対流の為に均一化されるからだと考えられる。それ故、もしケースに収納してある物が空間の中央部分に置いてあるのだとすれば、その付近のどこでも温湿度を測定することによって、大体正確な値が得られる。

3.2 温度分布の偏りとゼオライトの働き

始めにゼオライトの湿度調節の仕組みを調べておく。多孔質のゼオライトは一個一個が多数の微小な毛細管から成り立っていると考えられる。毛細管中の水は管内で、周囲の温度によって決まる飽和水蒸気圧と平衡している。もし管内の水蒸気圧が変化したり、温度が変わって飽和水蒸気圧が変化したりした場合は毛細管内で蒸発又は凝縮が起り、管内の液面が上下して平衡が保たれる。このような働きを行なう毛細管の太さや数で、ゼオライト全体の平衡する相対湿度が定められると考えられる。

このようにゼオライトによる湿度調節で本質的な働きをするものは、飽和水蒸気圧（即ち温度）と湿り空気の水蒸気圧であるから、図-4、図-5をもとにケース内の水蒸気圧分布を算出すると図-6、図-7のようになる。4 cm くらいから上は水蒸気圧が殆んど均一になっているが、このことは、先に述べたように、上下の温度差に起因する空気の流れで水蒸気が移動し、均一化されたことを示している。

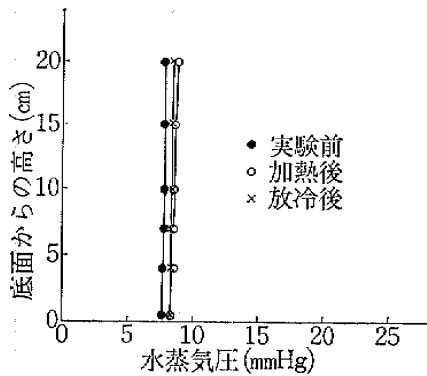


図-6 アクリルケース内の水蒸気圧分布
(上から加熱した場合)

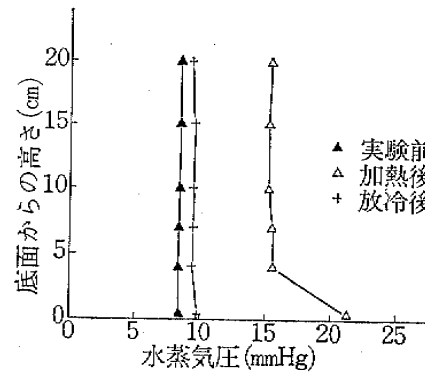


図-7 アクリルケース内の水蒸気圧分布
(下から加熱した場合)

図-6はケースの上から加熱した場合であるが、もしゼオライトが水蒸気の発生源になっていれば下に水蒸気の濃度（水蒸気圧）の勾配があるはずで、それが見られないことはゼオライトが効いていないということである。ケースや支持台からの水分の放出で全体に水蒸気圧が高くなったと考えられる。

図-4で、上の加熱面近くでは他に比べて5%RHも低くなっているが、これは温度が高い為であって図-6に見るように水蒸気圧は他と変わらず、その為他にから水蒸気が移動することはない。このようにゼオライトから遠い所に於ける、温度の局所的な違いにはゼオライトの調湿作用が効かず、直ちに相対湿度の変化を引き起こす。

ケースの下から加熱した場合が図-7である。水蒸気圧の勾配があつてゼオライトが効いていることがわかる。問題は、ゼオライトの調湿作用はその置かれた場所の温度と水蒸気圧によって決まるものなので、この場合のようにゼオライトの置かれた所だけが温度が高い時は、水分を過剰に放出してケース内が湿り過ぎる結果になる。

以上まとめて次のように結論される。ケース内部に温度分布の異常な偏りがあると、ゼオライトの働きが阻害されケース内を希望する湿度に保てない。全体が一様に暖まったり冷えたりするように、ケースを保存する部屋の条件に注意を払うべきである。そうすれば、図-6、図-7に見たようにケース内の水蒸気圧はゼオライトの近くを除いて殆んど均一になっているから、常に所定の相対湿度に保たれる。

この論文で述べられた現象は、小さな箱よりはむしろもっと大きな、施設に備えつけられた展示ケースに於いて問題になると考えられる。そのような場合については、また稿を改めて述べる予定である。

文 献

- 1) 三浦定俊「保存箱内の温湿度変化」表具の科学, 125—136 (1977)
- 2) G. Thomson: "Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-Time" Studies in Conservation, 22, 85—102, (1977)
- 3) 芝亀吉「湿度の細かい分布を測定する」科学朝日, 16, 3, 79—83, (1956)

The Distribution of Temperature and Humidity in a Case made of Acrylic Resin which contains Zeolite as a Buffer

Sadatoshi MIURA

Recently a case made of transparent acrylic resin, which contains zeolite as a buffer, is often used for the conservation of cultural properties. The author reports an experimental result which is concerned with the relation between the effect of zeolite and distribution of temperature and humidity in the case. The effect of zeolite was especially examined when the temperature in the case was not uniform.

The size of the case tested here was $29 \times 39 \times 21$ (cm) and the thickness of the acrylic resin was 0.5 cm. Six measuring points were selected vertically at a center of the case and measured almost simultaneously. The total of zeolite laid in a case was 350g which was equivalent to 14 kg/m^3 . At the first experiment, the case was heated from upside by placing a hot plate on the case and then cooled spontaneously. At the second experiment, the case was heated from underside by placing a hot plate under the case, then cooled spontaneously. The distribution of temperature and humidity was measured during the experiments.

As the function of zeolite is determined by temperature and humidity of the surrounding atmosphere, the humidity in the case did not remain constant when there was a large inequality of temperature (Fig. 5). The condition of a room in which the case is stored must be considered carefully as to make the temperature in the case uniform. Then the humidity in the case will be constant and uniform, because the vapor pressure in the case was almost even except the small gradient near zeolite (Fig. 7).