

環境システムとしての展示ケース

三 浦 定 俊

1. はじめに

博物館や美術館の展示ケースを設計する際、その設置される場所や視覚的な条件が一般に優先されることが多かったが、最近、ケース内部の適正な温湿度維持についても目が向けられるようになった。しかし、ケース内の湿度調整にはシリカゲルなどの湿度調節剤を用いることが多いが、どのように用いるのが最も効果的か検討せずに、ただケース床下の容器に少量いれておいてそのままにしているというような例も、まま見受けられる。

ここでは、展示ケース内湿度調節のためには、どんな性質を持った湿度調節剤を、どのようにして用いたら良いのか、あらためて考えなおしてみたいと思う。そのためには、展示品も含めたケース全体を、ひとつの小さな環境システムとしてとらえる考え方が大切になってくる¹⁾²⁾。

図1にその概念図を示す。展示品を取り巻く環境は、周囲の空気と湿度調節剤の2つに分かれると考えられる。展示品の周囲の温湿度が変化するとそれが空気を通じて湿度調節剤に伝わり、その変化に対応して湿度調節剤からの吸放湿が行なわれ、それがまた空気を介して展示品の周囲に伝わって、変化を緩和する。これを何度も繰り返して少しずつ展示ケース全体の湿度は平衡に近付いていく。ここでわかるように、展示ケース内の湿度変化には湿度調節剤だけでなく、空気も大きな働きをしている。そこで、この研究では色々な湿度調節剤の調湿特性を調べるだけでなく、展示ケース内の空気の果たしている役割についても実験を行った。

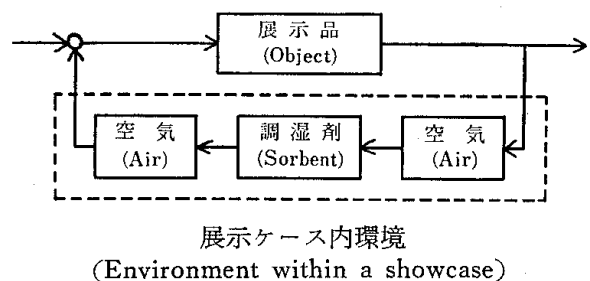


図-1 展示ケース内の水分移動のブロック線図
Fig. 1 Flow-chart of moisture within a showcase

2. 湿度調節剤のM値

図-2は、3種類の湿度調節剤の吸水率-相対湿度曲線を示したものである。A型シリカゲルというのは、一般に乾燥剤として用いられているシリカゲルで、アメリカ、ヨーロッパなどでケース内湿度調節に広く用いられているRD型 (Regular Density Type) シリカゲルとほぼ同じものである。ニッカペレット (日本活性白土製) はモンモリロナイトを酸処理することによって得られる活性白土で、A型シリカゲルより多湿度領域で吸放湿特性がす

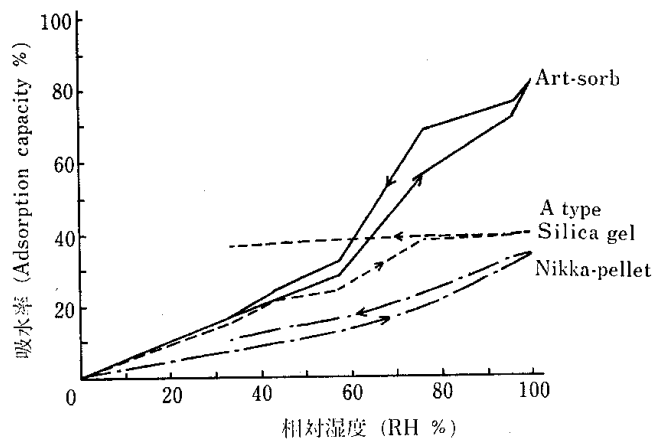


図-2 周囲空気の相対湿度に対する調湿剤の平衡吸水率
Fig. 2 Equilibrium capacity to relative humidity for three sorbents

表-1 シリカゲルの一般的物性値
(富士デヴィソン化学提供資料による)

		A type silica gel	Art-sorb
物理的性質	表面積 (m ² /g)	650	450
	細孔容積 (ml/g)	0.36	1.2
	見掛比重 (g/ml)	0.73	0.55
	比熱 (Kcal/kg·°C)	0.22	0.2
	熱伝導率 (Kcal/m·hr·°C)	0.15	0.04
化学的性質	含水率 (%)	0.5	1.0
	pH	5.5~6.5	6.0
	SiO ₂ (%)	99.48	90.0
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.016	0.1
	Al ₂ O ₃ (%)	0.17	0.2

表-2 湿度調節剤の相対湿度50—70%における平均的M値

	M+	M-
Art-sorb	10	13
Nikkapellet	3	3
A type silica gel	5	1

ぐれていることから、主に日本で用いられていることは衆知の通りである。以上の2つに対して、アート・ソープ（富士デヴィソン化学製）は新しいタイプのシリカゲルとして最近売りだされるようになったもので、図-2で見ると低湿度から高湿度まで広い相対湿度にわたって大きな吸放湿能力を持っている。化学的な性質は、一般のシリカゲルと全く同じで、違う所は多孔質のシリカゲルの細孔の径が大きく、細孔容積も大きいということぐらいであり、調湿

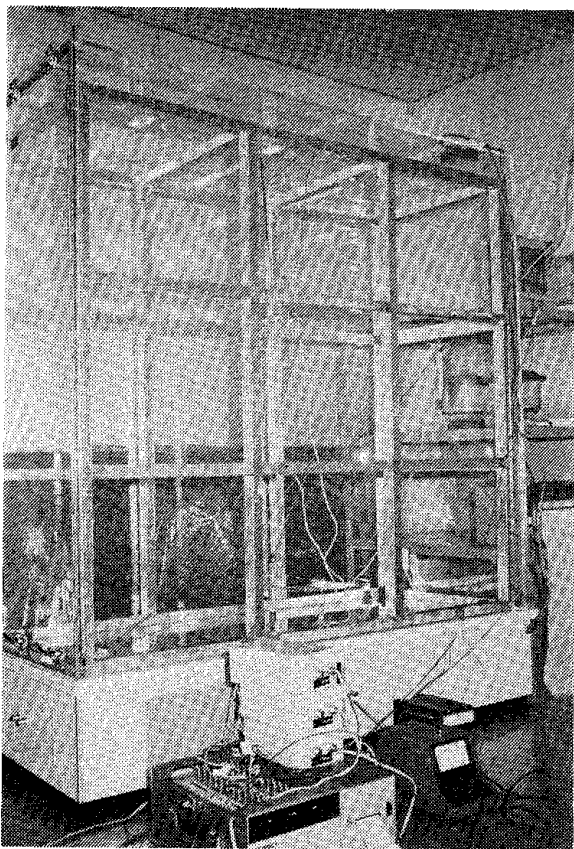


図-3 温湿度可変室内の実験用展示ケースと測定装置

Fig. 3 Experimental showcase and measurement devices in a temperature & RH controlled chamber

剤としての使用方法は従来のA型シリカゲルやニッカペレットと何ら変わるところはない。

湿度調節剤の吸放湿能力を比較するのに、周囲空気の相対湿度1%の変化に対し、調節剤1kgあたり何gの水分を吸放出するかで比べることができる。これをM値³⁾(Moisture gain in g/kg (buffer) for a Δ 1% RH)と呼んでいるが、さらにそれを吸湿過程と放湿過程に分けて、それぞれM+値、M-値と区別した方が議論を進めやすい⁴⁾⁵⁾。これらのM+、M-値は図-2でいうと、それぞれ湿度調節剤の吸湿過程、放湿過程の吸水率曲線の接線の傾き(変化率)をあらわしている。傾きが大きいほどM値は大きい。

文化財の保存では、一般に相対湿度50~70%付近が一番問題になるので、その範囲での平均的M値を比較してみると表2のようになる。欧米で用いられているのと同じタイプのA型シリカゲルは、吸湿過程ではよく水分を吸収して周囲空気を乾燥させるのに役立つといえるが、反面水分を放出しにくく周囲の湿度を上げるのには役に立たないことがわかる。ニッカペレットはM+値、M-値とも等

しく、これは乾いた所でも湿った所でも湿度調節剤として 1m^3 あたり同じ量のニッカペレットを入れておけば良いことを示している。アート・ソープはM+値、M-値とも他の2つに対してずっと大きく吸放湿能力がすぐれている。単純にこれらの値を比較してみれば、湿度調節剤としてアート・ソープの 1m^3 あたりの使用量はニッカペレットに対して、ほぼ $1/3$ ですむことになる。

湿度調節剤のM値と空気 1m^3 あたりの必要使用量との関係をしらべるために、実験用の展示ケースを用いて次のような試験を行った。理論的にいえばM値と必要使用量は反比例するはずである。

温湿度可変室の中に入れた実験用展示ケース(幅 1.5m 、奥行 0.6m 、高さ 1.5m)の床面に各湿度調節剤を、量を違えて均一にばらまく。展示ケースは厚手(8mm)の亚克力製の箱になっていて、横手の扉はパッキングできっちり閉まるようになっている。実験は可変室の温度を急に上昇させ、ケース内温湿度を湿度調節剤のすぐ上で測定した^{注1)}。結果は図-4の通りである。

いずれも6時間程度でほぼ初期値に近い相対湿度にもどり安定しているが、使用量はアート・ソープ $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ に対し、ニッカペレット $1\text{kg}/\text{m}^3$ 、A型シリカゲル $2\text{kg}/\text{m}^3$ と多くなっている。使用量が必ずしもM値(この実験の場合M-値)に反比例しないのは、ケース壁面からの水分の放出や隙間からの外部空気の出入りがあるためである。

3. 空気中の水蒸気拡散による遅れ

図-4で見たように、ケース内の温度が上昇して相対湿度が下りはじめても、湿度調節剤の応答には遅れがあってすぐには水分の放出がおこらず、ケース内相対湿度は最初の2時間ほどはいったん下ってしまう。この実験では、相対湿度の測定は湿度調節剤のすぐ上で行っていたが、ケース内では普通、展示品と湿度調節剤との間に距離があって、図-1のように水蒸気の媒介役として空気に関与している。途中で空気があると水蒸気の伝播がさらに遅くなって、相対湿度の低下はもっとはなはだしい。

図-5は前と同じ実験で、展示ケースの床に湿度調節剤を置いて、ケースの上下で温湿度を測定した結果である。ケース上部での相対湿度の低下はいちじるしく(約20%)ほとんど湿度変化緩和剤としての効果がない。

水蒸気の拡散を速くするために、ファンを使って(風速約 $0.5\text{m}/\text{sec}$)ケース内空気を攪拌しながら、同様の実験を行ってみた(図-6)。ケース

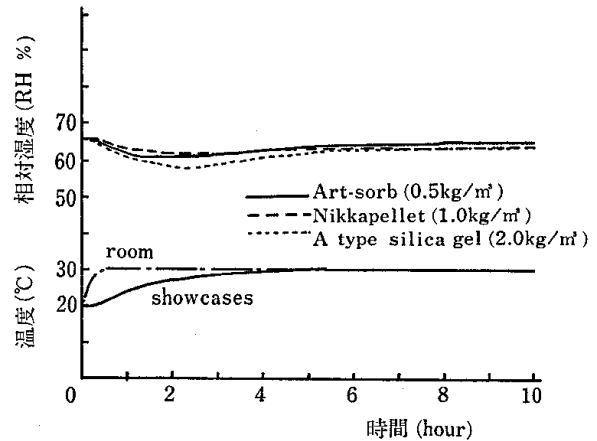


図-4 調湿剤の入った展示ケース内の温湿度変化
Fig. 4 Changes in temperature and RH within showcases containing three sorbents

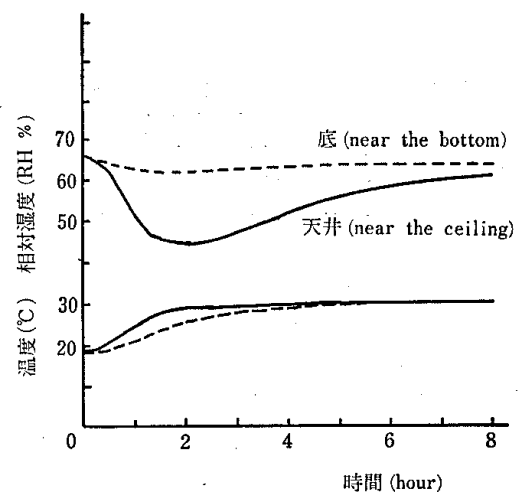


図-5 風のある時の調湿剤の入った展示ケース内の温湿度変化
Fig. 5 Changes within a showcase (Nikkapellet $1\text{kg}/\text{m}^3$)

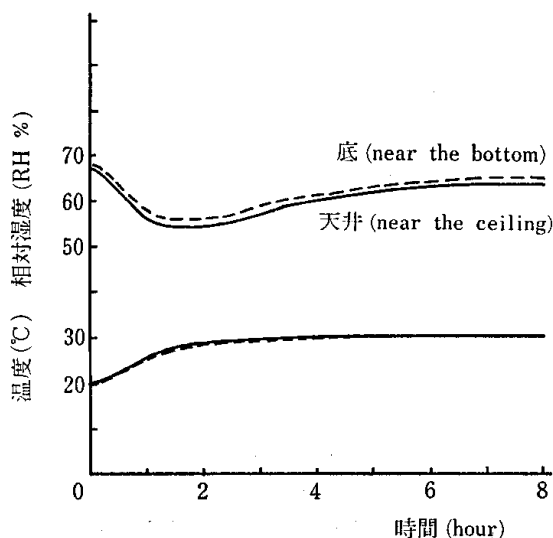


図-6 風のある時の調湿剤の入った展示ケース内の温湿度変化

Fig. 6 Changes within a showcase (Nikkapellet 1 kg/m³; stirred by a fan)

ようにしながらも、展示品にその風が直接あたらないような工夫が必要である。彫刻、絵画、工芸品など色々なものを展示する可能性のある大きな据え付けのケースについては、ケース背面の壁を二重壁にしてその隙間にそって内部の空気を緩い風速で強制的に対流させ、湿度調節

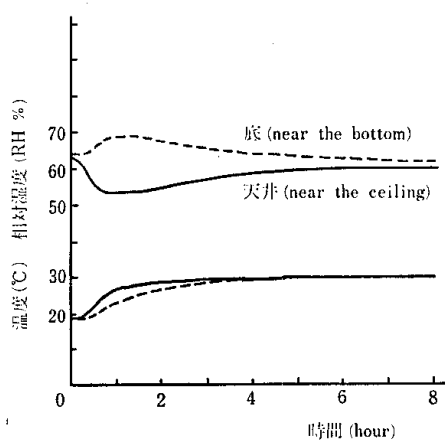


図-7 シリカゲルシートの入った展示ケース内の温湿度変化

Fig. 7 Changes within a showcase (Silicagel sheets suspended vertically against the wall)

内上下の温度・相対湿度とも、ほぼ均一に変化していて、空気による水分の拡散の遅れは無視してよい。ただし、この場合、新たな問題が生ずる。即ち、0.5 m/sec 程度以上の風が直接展示品にあたると、展示品の含水率の相対湿度変化に対する応答が大変速くなる。一例として和紙を考えてみると、風のない時は和紙の相対湿度変化に対する応答の時定数は5~10分程度である⁶⁾。ところが0.5 m/sec以上の風が直接和紙にあたると、その周囲に空気の境界層がなくなるために、応答は大変速くなり時定数は1分位になる。そのため、ケース内に入れてある湿度調節剤は紙の含水率変化に追従できない^{注2)}。

このような問題を回避するためには、ケース内の温湿度を均一にする程度に対流を作る

ようにしながらも、展示品にその風が直接あたらないような工夫が必要である。彫刻、絵画、工芸品など色々なものを展示する可能性のある大きな据え付けのケースについては、ケース背面の壁を二重壁にしてその隙間にそって内部の空気を緩い風速で強制的に対流させ、湿度調節された空気がまんべんなくケース内に行きわたるようにする等の設計が将来考えられるだろう。

高さや幅のわりに奥行きが狭いケース、あるいは額装品のケースについては、間の空気層を少なくして、湿度調節剤との接触面積を大きくするように、展示品のすぐ後の壁に湿度調節剤を設置することが考えられる。このような目的のためにはシート状の湿度調節剤が良い。今までの実験と同じケースで、後壁にシリカゲルシート（ポリエチレンとポリプロピレンでできたシートの繊維の間にシリカゲルを配合したもの）を1 m²/m³の割合で取り付け、同様の実験を行った結果が図-7である。図-5に比べてケース上部の相対湿度変化を半分以下の10%におさえている。ケースの奥行きが小さければ、変化はもっと小さくなるだろう。

4. ま と め

展示品と湿度調節剤の入った展示ケースをひとつの環境システムとしてとらえることで、湿度調節剤と水蒸気伝播役としての空気の働きをはっきり知ることができた。これは別の言葉でいえば、システム全体の静特性は、湿度調節剤の吸水率の相対湿度に対する変化幅(M値)によって決まり、それが大きいほどすぐれているということである。他方、動特性は、湿度調節剤の吸水率変化の応答が速いほど良いが、展示品との間に空気が介在すると水蒸気の拡散速度の遅さがむしろ問題になってくる。

この点を改良するためには、展示品に直接風が当たらないようにしながら強制的に対流を起

すなり、間の空気層をできるだけ少なくするように展示品にシリカゲルシートを密着させるなりして、システムとしての全体の動特性を改善する方法が考えられる。

注1) この実験の場合、相対湿度—吸水率曲線が温度によって変化しない、即ちM値が温度に依存しないことが必要である。これは湿度調節剤として大切な条件である。ここにあげられた3種類の湿度調節剤については、5°C、20°C、40°Cの条件下で調べて、いずれも80% RH程度以下ならほとんど温度に依存しないことを確かめた。

100% 近い高湿度では局所的に結露した部分でニッカペレットは粒がもろく崩れやすくなったり、アート・ソープでは濡れがみられたりして、湿度調節剤として適していない。そのような高湿度での湿度調節には、また別種のシリカゲル（B型やID型等）が使用できるのではないかと予想される。

注2) 但し、湿度調節剤から吸放湿される水分の量は大変多いので、展示ケース内に十分な量さえ入れてあれば、相対的な吸水率変化は少なくとも、實際上、相対湿度変化緩和剤としての役目を果しうることは指摘しておかなければならない。

参 考 文 献

- 1) 三浦定俊：システム論的にみた美術品展示ケースの設計，第19回 SICE 学術講演会，293—294 (1980)
- 2) 三浦定俊：システム論的にみた美術品展示ケースの設計(II)，第20回 SICE 学術講演会，589—590 (1981)
- 3) G. Thomson: Stabilization of RH in Exhibition Cases: Hygrometric Half-time, *Studies in Conservation*, 22 (1979), 85—102
- 4) S. Weintraub: Studies on the Behavior of RH Within an Exhibition Case (I), ICOM Committee for Conservation 6th Triennial Meeting (Ottawa), (1981)
- 5) S. Miura: Studies on the Behavior of RH within an Exhibition Case (II), *ibid.*
- 6) 上杉, 兼谷, 三浦, 豊田: 紙と木の湿度調節機構, 第13回 SICE 学術講演会 (1974)

System Analysis of RH Control in a Showcase

Sadatoshi MIURA

The 'static' and 'dynamic' characteristics of RH changes within a showcase were studied as a small environmental system.

The static characteristic of the system was determined by an adsorption capacity of a sorbent. The capacity was estimated by M_+ and M_- values (moisture gain at an adsorbing and desorbing stage respectively). Three sorbents (A type (RD) silica gel, Nikkapellet and Art-sorb) were compared and Art-sorb proved the largest in capacity in the examination.

The slow diffusion of humidity in air delayed a response time of the system. Methods to improve this by using a fan to aid circulation or a silica gel sheet were tested. Both methods gave good results.