



## 湿度測定

森 好 市

## 緒 言

戦前は気象学以外はあまり重要視されなかった湿度が、産業の飛躍的發展にともなって湿度の測定をするだけでなく、自動制御も行われるようになった。たとえば、農業衛生、製鉄、製鋼、精密機械加工、及びその測定、倉庫、ガス工業、など次第にその重要性を増してきた。湿度計に要求される主な事項は

- 1) 広い湿度範囲が測定できること。
- 2) ヒステリシス特性がないこと。
- 3) 相対湿度が 100%を超しても素子の特性が変化しないこと。
- 4) 応答性がよいこと。
- 5) 経年変化が小さいこと。
- 6) 温度変化に不感であること。
- 7) 取扱が容易で、また安価であること。
- 8) 遠隔測定ならびに自動制御が可能であること。

などである。現在まで上述の諸点を充分満足させるような素子はできていない。本文では各種の湿度計についてその概説を述べる。

## 〔I〕毛髪湿度計

18世紀頃すでに湿度によって毛髪の長さが変化することを利用して、湿度測定がなされていた。この種のものでは動物質の皮膜とか植物の繊維またはナイロン、なども同様に用いることができる。

毛髪湿度計は、取扱が容易であるので、ポリメータ、自記機器、湿度調整装置、高層測定などに広く利用されている動作機構については、井上、WhippLe、について説明がなされている。

WhippLe によれば、毛髪の伸縮は、毛管中に吸着された水の水頭面直下における負圧のため、生じる毛髪細胞の弾性的伸縮によるものといわれる。相対湿度0~100%の変化に対する人間の毛髪の伸縮率は長さの 2.5%程度である、毛髪は洗剤で脱脂したのち微温の蒸留水ですすぎ、そのあと蒸留中に数時間おく。この処理のあと、一定加重を加えてエージングを行って組立てる。毛髪湿度計は履歴現象を有する。その特性を図1に示す。また

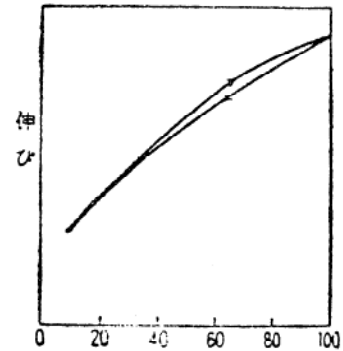


図1 毛髪湿度計の履歴現象

履歴の最大巾は5~6%で吸湿の際の伸びは脱湿の際の伸びより大きい。また毛髪を過飽和の空气中に放置すると伸びた状態から逆に収縮する。特にぬれた場合は甚だしい。

履歴及び内部拡散を無視すれば、毛髪内部に吸収された水蒸気量 $M$ と長さの間には、比例常数を $k$ 、 $v$ を風速、 $\rho$ を空気密度、 $e_0$ 、 $r_0$ をそれぞれ初めの水蒸気圧及び相対湿度、 $E$ をこのときの気温の飽和水蒸気圧、 $p$ を気圧とすと次式のような関係がある。

$$\frac{dM}{dt} = kf(v \cdot \rho) \left( \frac{e - e_0}{p} \right) = kf(v \cdot \rho) \frac{E}{p} (r - r_0) \dots\dots(1)$$

$$\text{また遅れの係数 } \tau \text{ は } \tau = \frac{1}{k} \frac{p}{f(v \cdot \rho) \cdot E \cdot \alpha} \dots\dots(2)$$

ここでは $\alpha$ は伸長率である。毛髪湿度計のステップ応

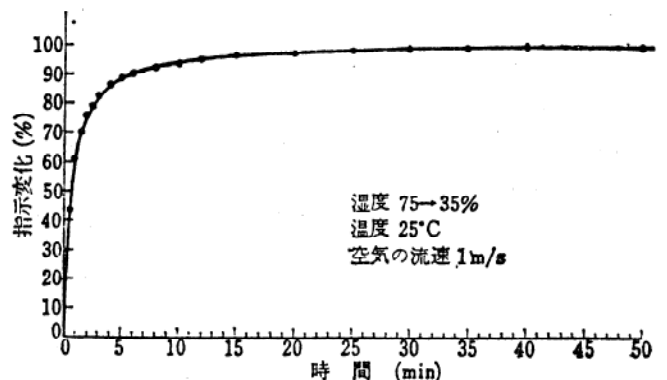


図2 毛髪湿度計のステップ応答

答の一例を図2に示す。また $-40^{\circ}\text{C}$ 以下では実際上不感になる、毛髪湿度計を取扱うためには次の諸点に注意する必要がある。

- 1) 高い温度の雰囲気置くことをさけること。60°C 以上で放置すると組織が破損する、また凍結してもだめになる。
- 2) 毛髪に大きな張力を加えないこと。
- 3) 毛髪にほこりが附着しないこと。
- 4) 20%以下の低湿度に長時間放置しないこと。
- 5) アンヒニヤ、酸性蒸気などの腐蝕のある場所に置かないこと。
- 6) 毛髪に風圧などの外力が加わらないこと。

などである。同じ原理のものにナイロンの伸縮を用いたものがある。これは一般に応答が悪い、しかし最近処理方法が改善され良くなった(11~23min)。しかし温度による影響が小さいという特長をもっている。またゴールドビータースキン湿度計というものがあり、これは羊、牛などの腸の粘膜を精製して、感湿素子としたもので、伸縮率も大きく応答時間も早い(0.5~2.5min)。一般に短冊状のものが用いられる。この感湿特性を図3に示す。

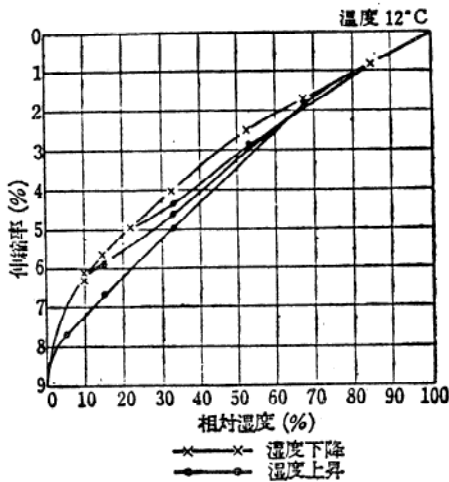


図3 ゴールドビータースキンの特性

〔II〕 乾湿球計湿度計

できるだけ特性のそろった2本の温度計を用いその1個の球部を湿した布で包んでおくと2本の温度計の指示差と乾球温度計の読みから湿度を求めることができる。

これは、(a)通風しないで用いるもの(b)通風して用いる通風乾湿球湿度計とがあり、温度計としては通常ガラス寒暖計(水銀、アルコール温度計)のほかサーミスタ、抵抗温度計やバイメタルを用いたもの、またはベローズ、ブルドン管を用いたものなどがある。これらの中で代表的なアスマン通風乾湿球湿度計では湿球周辺の風速が2.5m/S以上あり、次式が成立する。

(Sprung の式)

$$e = e_w - A'P(\theta - \theta_w) / 755 \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $A' = 0.5$  (湿球が氷結しないとき)

$= 0.44$  (湿球が氷結するとき)

$e$ ; 空気の水蒸気圧

$p$ ; 空気圧  $\theta$ ; 乾球温度  $\theta_w$ ; 湿球温度

図4は、アスマン湿度計を示す。

乾湿球湿度計を用いるときの注意事項としては、次のようなものがある。

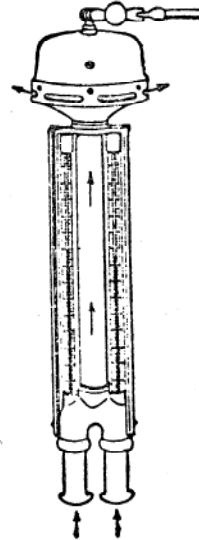


図4 アスマンの通風乾湿計

(1) 風速による誤差; 風速が小さいと(3)式の $A'$ が大きいため湿球温度が高く現われ誤差を生じ、通風しないで用いる簡易乾湿球湿度計では自然通風を妨害するものから遠ざけ、風速を1 m/S以下になるようにする必要がある。通風形のものでは2.5m/S以上あれば充分である。

(2) 気圧変化の影響; (3)式に示す通り指示は気圧 $P$ の関数で、誤差は1気圧からの偏差及び温度差 $(\theta - \theta_w)$ に比例するが、一般に気圧は無視してよい。

(3) 温度誤差によるもの; 乾湿球湿度計は乾球および湿球の温度誤差については相対湿度に大きな影響を与えないが $(\theta - \theta_w)$ に対する誤差は、湿度に大きく影響する。たとえば $(\theta - \theta_w)$ が0.2degのとき常温付近で2%の誤差を生じるので、特に注意する必要がある。従って正確に湿度を測るには、温度差を、0.1 deg 以下まで測定する必要がある。

(4) 温度計の遅れ; 2つの温度計の特定数が等しくないと温度が変化するとき、一時的に湿度指示が、大きく変化する。また湿球は熱伝達がよいので時定数が小さいから、湿球の熱容量を大きくした方がよい。

一般に乾湿球を用いるものでは、(a)非常に大きい誤差を生じるような狂が生じない。(b)誤差が数%程度でよいときなら便利であるなどの利点を有する。欠点としては(a)湿度、温度の広範囲にわたるとき誤差が大きい。(b)湿

球に水が必要である。(c)低温、低湿の測定に不適當である。

〔Ⅲ〕 塩化リチウム露点計

塩化リチウム飽和溶液の水蒸気圧と湿度との間に、一定の関係があることを利用して、溶液の水蒸気圧が、外気の水蒸気圧と等しくなるまで溶液の温度を高め、その温度から外気の水蒸気、または露点を求めるものである。

この方式のものはアメリカの Foxboro 社から DewceL という商品名で発売されてゐる。塩化リチウム露点計は次のような特長をもっている。(1)露点を直接に読みとれる。(2)連続的に指示し、遠隔測定が容易である。(3)使用できる温度範囲が広い。(4)応答が速い。などである。

温度を上げて塩化リチウム飽和溶液と、周囲の気体との水蒸気圧と平衡させるには、塩化リチウム水溶液の電気伝導を利用すると、溶液中に固体塩が存在しない場合は、その電気伝導度は非常に大きい。が少しでも、固体塩を析出すると伝導度は非常に大きい。が少しでも、固体塩を析出すると伝導度は急激に低下する。したがって図5

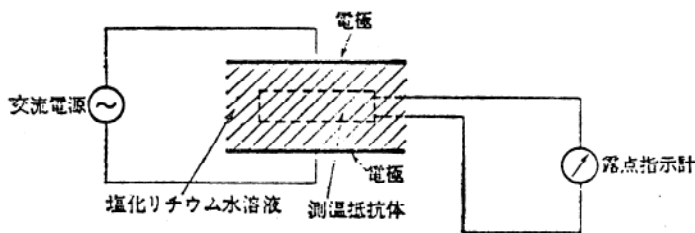


図5 塩化リチウム露点計の原理図

のように2つの電極間に、塩化リチウム水溶液を塗り、電極間に交流電圧をかけると、ジュール熱のため溶液の温度は上昇し、一部の水は蒸発して、やがてその蒸気圧は周囲の水蒸気圧に等しくなる。もし溶液の温度がさらに上昇すると、その水蒸気圧は周囲の水蒸気圧より高くなるから、溶液はただちに水分を失って、多数の結晶を析出し、この結晶のために溶液の電気抵抗は急激に増大し、電流が減少するので、ジュール熱は減少し、溶液の温度は低下する。温度が下り過ぎると、溶液は水分を吸収して電気抵抗は減少し、電流が増大して再び温度は上昇する。こうして溶液の水蒸気圧が周囲の水蒸気圧に等しくなるよう自動的に温度が調節される。

〔Ⅳ〕 露点湿度計

水蒸気を含んだ空気中に、平面をもった固体を置き、これを冷却すると露ができる。この現象を利用した湿度計を露点湿度計という。飽和水蒸気圧と露点温度との間には熱力学的には Clausius-Clapeyron の式がある。

$$\frac{de_s}{a\theta} = \frac{L}{\theta(v-v')} \dots\dots\dots(4)$$

ここに  $\theta$ : 絶対温度  $e_s$ : 飽和水蒸気圧  
 $L$ : 1モルの水(凍っているときは氷)の気化潜熱  
 $v$ : 1モルの水蒸気容積  
 $v'$ : 1モルの水(凍っているときは氷)の容積また水蒸気を理想気体とみなすと  $v=R\theta/e_s$  また  $v \gg v'$  従って(4)式は近似的に。

$$\frac{d\theta_s}{d\theta} = \frac{Le_s}{(R\theta)^2} \dots\dots\dots(5)$$

測定した露点を  $\Delta\theta$ 、水蒸気圧の誤差を  $\Delta e_s$  とすると。

$$\frac{\Delta e_s}{e_s} = \frac{L}{R\theta^2} \Delta\theta \dots\dots\dots(6)$$

一般に低温では水蒸気圧は非常に小さくなり、従って精度が低下するが、露点式では(6)式で明かなように水蒸気圧に関係がないので、低湿度の測定に適する。この種のものには、(a)肉眼判定式露点計(b)光電露点計、(c)電子冷却光電露点計、などがある。(a)はその名の通り、露点を肉眼で判定し露のできる温度と消失する温度を測定して、その平均値から湿度を知る。(b)は試料気体を測定箱内に吸引し鏡の温度を自動的に気体の露点に保持するように、鏡面の一方より冷却剤で冷し、他方で高周波加熱によって、温度を制御する。高周波を用いるのは時間遅れをなくして定温に保つために役立つ。(c)は Peltier 効果の大きい半導体素子を鏡面の加熱及び、冷却の両用に用いて露点温度を知るもので(b)と原理的には同じものである。露点湿度計は(1)鏡面を常に清浄に保つ必要がある。(2)測定者の体温、呼気、などにも注意する必要がある。(3)水の過冷却の影響、(4)露か霜かの判定が必要(5)鏡面温度の測定の困難である。などの欠点をもっている。利点としては、湿度の絶対測定に近い方法であること、特に前述のように低湿度において高い精度をもっている点は他の追従を許さない。

〔Ⅴ〕 拡散湿度計

図6に示すように多孔質材で遮断された容器の底部に吸質性物質を入れたもので、隔板の孔の大きさを気体の

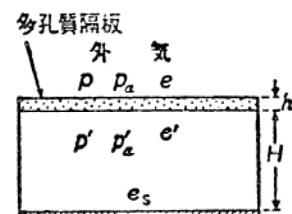


図6 拡散湿度計原理図

自由行程約  $10^{-5}$ cm よりも小さくすると、器内では吸質物質によって水蒸気分圧が低下し物質上の飽和蒸気圧  $e_s$  になるが内外に全圧の差があっても器内には入りこま

ない。故に内部と外部の全圧を測定することによって、外気の水蒸気  $e$  を知ることができる。全圧の差を  $\Delta P$  とすると

$$e = \left(1 + \frac{1}{C}\right) \Delta P + l_s \dots\dots\dots(7)$$

ここで  $C$  は多孔板の透過度及び隔板と底の距離とで定まる定数である。

$\Delta P$  を測定すれば  $e$  は既知であるから  $e$  を知りうる。だから圧力計を水蒸気圧で目盛ればよいことになる。また吸質剤のかわりに水を入れても同じ論議で説明できる。また感度は  $C$  のみで定まり水蒸気圧は無関係である。 $\Delta P$  の測定に比重  $d$  の液体を用いた U 字管圧力計を使ったものとすると、目盛 1 mm に対する水蒸気圧の差、即ち感度は

$$s = \frac{d}{13.595} \cdot \frac{c}{Hc} (\text{mm/水蒸気圧mmHg}) \dots\dots(8)$$

である。

この方法は低温の湿度測定には適しないが、面白い方法である。またこの原理を用いたものにスイスの TESA 及び Rueger 等の製品がある。これは気温の補正をもなされている。

〔VI〕電解質湿度計

この湿度計は、電解質水溶液の濃度が相対湿度の関数であることを利用したものである。一般に電解質水溶液の水蒸気圧は、その温度における純水な水の飽和水蒸気圧よりも小さく、溶液を濃くする程その水蒸気圧は小さくなり、飽和溶液では水蒸気圧が最低である。そして飽和水溶液の水蒸気圧が小さい程広い湿度範囲の測定ができる。

もし周囲の気体の水蒸気が溶液の水蒸気圧より高い場合、気体中の水蒸気が液化し、ついには気体と溶液の水蒸気圧が等しくなって平衡する。この状態における溶液の電気抵抗を測れば溶液の濃度がわかり、したがって周囲の気体の湿度が測定できる。

感湿部はその表面に溶液を保ち、溶液が一様不変であって、溶液が流動したり形を変えたりしてはならない。また応答性がよいためには溶液の量が小さく、表面積が大きいことが望ましい。このために感湿部は、部分鹼化したポリビニルアセテートなどの有機結合剤を使って溶液に粘性を与え、不侵透性の固体表面に溶液を塗るか、または多孔性の繊維やセラミックに溶液を含浸させるという工夫がなされている。

この湿度計の特長としては、 $-40^{\circ}\text{C}$  程度の低温まで測定可能であり、応答が比較的早い点である。欠点としては温度係数が大きいことと、エイジング効果が大きいことである。したがって長期間の測定には適しない。またこの素子を長時間湿度 100% に放置したり、濃い霧や雲の中に入れると濡れて膜の中に溶液が流れて測定が不可能となる恐れがある。

電解質による湿度計として次の 3 つがある。

(a) Dunmore 形感湿抵抗体

Dunmore がはじめて実用化したものである。この素子はポリスチレンの円筒管に 2 本の平行なパラジウム線を電極として巻いてあり、この不侵透性樹脂の表面に、部分鹼化したポリビニルアセテートと塩化リチウム溶液との混合液を均一な膜状に塗布したものである。

(b) Honeywel の感湿抵抗体

これは現在実用されているものの中では、安定性が高く、精度や応答もすぐれている。

この素子は  $38 \times 44 \text{mm}^2$  のプラスチック基材に厚さ  $1 \text{ \AA}$  の金ばくの格子状電極をつけ、作動する相対湿度の範囲に応じた濃度の塩化リチウムがポリビニルアルコールを結合剤として塗布してある。誤差は  $\pm 1\%$  以内に押えることができる。図 7 にこの素子の湿度一抵抗特性、及び図 8 に湿度が 10% だけ階段状に変化したのに遅れる時定数が周囲温度によってどのように変化しているかを表わしたものである。

(c) エース湿度計

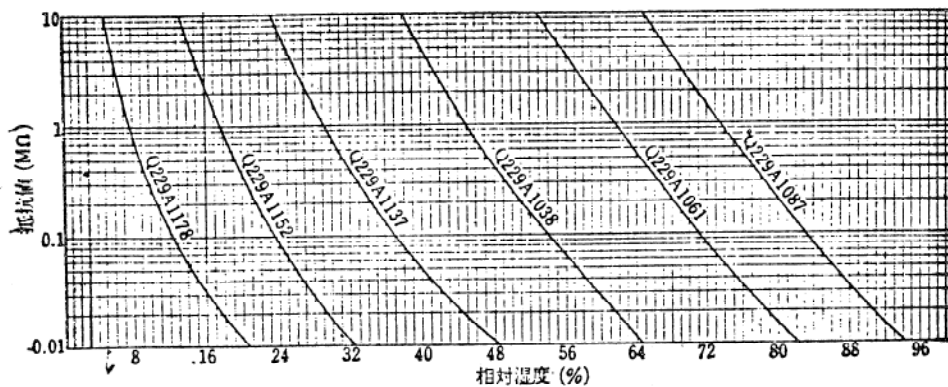


図 7 Honeywell の感湿素子の特性

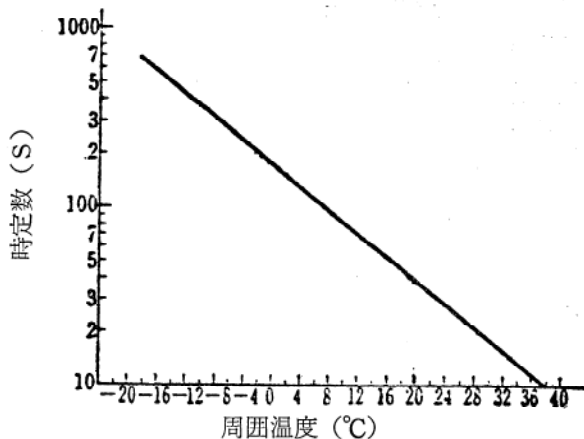


図8 Honeywell の応答特性の一例

従来ミニマ湿度計と呼ばれていたものであり、植物の髓の薄片に白金電極を付け、塩化リチウム水溶液に含浸させて感湿抵抗体としている。その寸法が $10 \times 35 \text{mm}^2$ で非常に小さいので狭い空間の湿度測定に適している。

〔VII〕不侵透性固体の電気湿度計

不侵透性固体（磁器、プラスチック等）の表面電気抵抗は周囲の湿度の変化によっていちじるしく影響され、水蒸気の吸着現象により表面リークを生じる。またその表面にある種の塩、酸化物、フッ化物、ヨウ化物、イオン交換物質等を薄く付着させると、湿度の変化によりそれらの電気抵抗または電気容量が変化する。例として (a) WEXLER の感湿抵抗体、(b) 金属酸化膜感湿抵抗体、

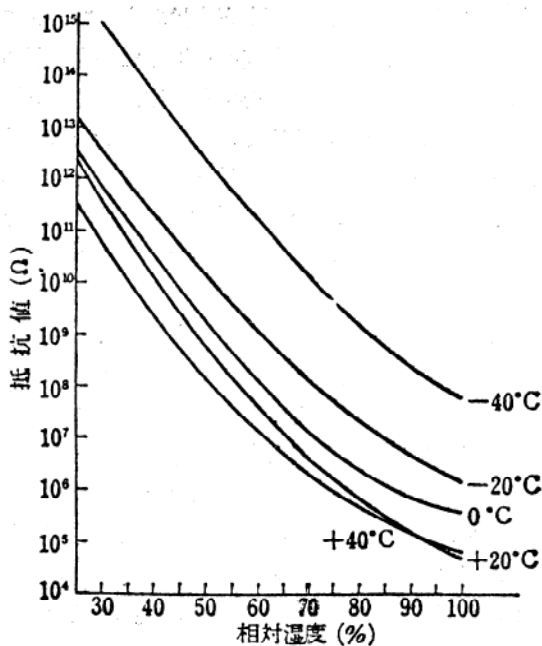
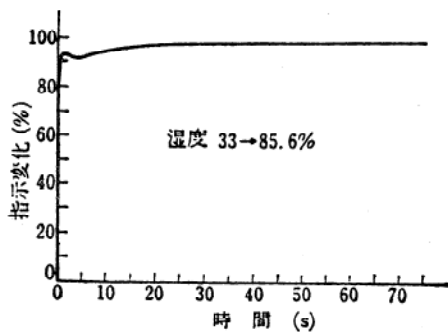


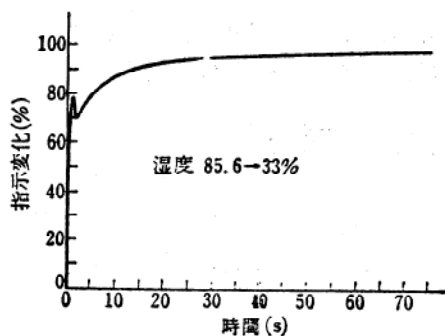
図9 Wexler の感湿素子の特性

(c) POPE の感湿抵抗体、(d) 沃化鉛感湿抵抗体等がある。

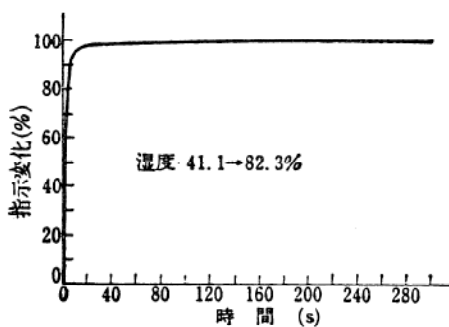
(a)の原理は絶縁物質基板に塩を付着させて、その塩の飽和水蒸気圧よりも低い周囲水蒸気圧の中に入れると感湿膜は周囲の相対湿度のある関数の水蒸気量を吸着する。ところが塩の飽和水蒸気圧という上限があるので塩の飽和水蒸気ができるだけ相対湿度 100%に近いものである



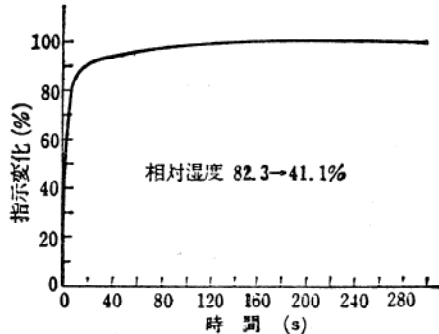
(a) 室温、吸湿過程



(b) 室温、脱湿過程



(c) -20°C、吸湿過程



(d) -20°C、脱湿過程

図10 wexler の感湿抵抗体のステップ応答

必要がある。そこで塩として水に不溶性のものが用いられなければならない。WEXLERは塩として、メタリン酸カリという水に難溶性の塩を利用した。構造はガラス材に電極として銀ペイントを焼き付け、メタリン酸カリを真空蒸着させたものである。図9は-40~40°Cの間の湿度-抵抗特性を示す。図10は応答特性を示す。室温で風速230m/分の下での時定数は吸湿で0.1秒、脱湿で0.42秒である。また-20°Cで風速240m/分の下での時定数は吸湿で1.9秒、脱湿で3.4秒である。この素子の特長は低温の下での応答時間が短いことである。

(b)の原理は金属酸化物が水蒸気を吸着することにより電気伝導度が増加することを利用したものである。使用される金属としては化学的に安定で水蒸気の吸着性が適当と思われるアルミニウムが一般に用いられている。他にマンガン、鉄、クロム、ニッケル、亜鉛、スズ、ゲルマニウム等の酸化物も用いられている。アルミニウムの場合99.99%のものを用い、15%重量濃度の硫酸液中で温度23°C、電流密度1.5A/dm<sup>2</sup>の定電流で約30分間陽極酸化する。

この硫酸酸化皮膜は多孔性の六角形の結晶である。この皮膜の上に電極として膜厚150~200Åの島状構造を有して外部の空気に皮膜が接し得るような金を蒸着する。図11(a)は酸化アルミニウム感湿素子の構造で、(b)は電気的等価回路を示す。B<sub>1</sub>は孔壁のリーク抵抗、C<sub>2</sub>、R<sub>2</sub>は孔の表面とアルミニウムベース間との容量及び抵抗、C<sub>0</sub>、R<sub>0</sub>は外部金電極とアルミニウムベース間の容量及び抵抗である。これを(c)の如く置換しその抵抗をR<sub>p</sub>、容量をC<sub>p</sub>とすればその電極間インピーダンス|Z|は

$$|Z| = \frac{1}{\sqrt{(1/R_p)^2 + (\omega C_p)^2}}$$

でC<sub>p</sub>及びR<sub>p</sub>は相対湿度の変化に対数的な変化を示す。この特性及び応答特性を図12に示す。この素子の特長は軽量小型、再現性がある、ヒステリシスがない、応答速

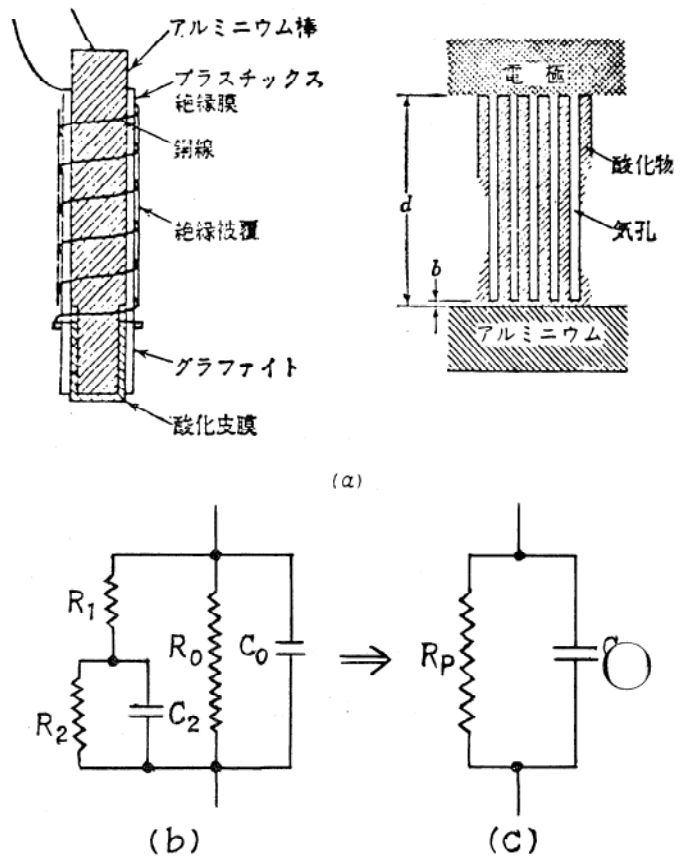


図11 アルミニウム感湿素子

度が速い、-30~80°Cの温度範囲において動作することである。欠点としては経年変化の問題があるが現在この対策の方法も研究開発されつつある。他の酸化法としては、真空蒸着した金属を空气中で酸化したもの、酸化物の粉末を薄く塗布したものがある。後者にはCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnO等の酸化物について研究がなされている。粉末状の酸化物に蒸留水を加えて泥状にして平行電極の間に一様に薄くのばし、自然乾燥の後に100°C附近の温度で充分乾燥させる。構造は図13に示す。

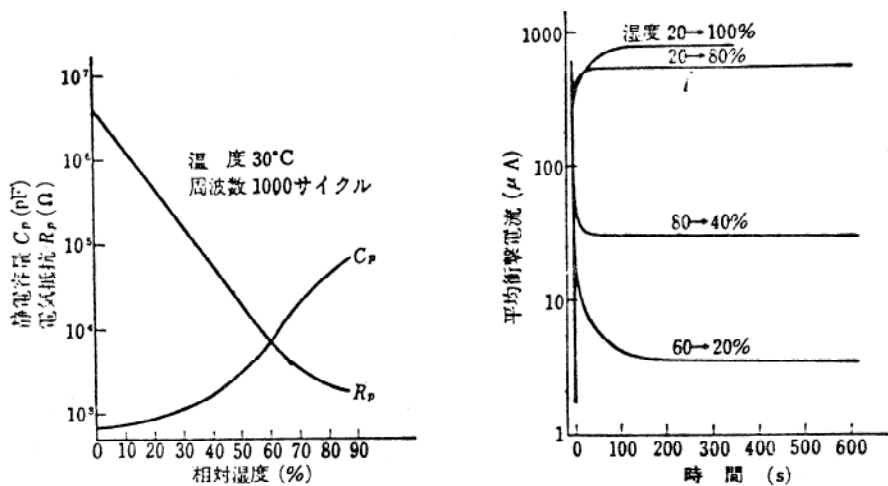


図12 アルミニウム感湿素子の特性及び応答特性

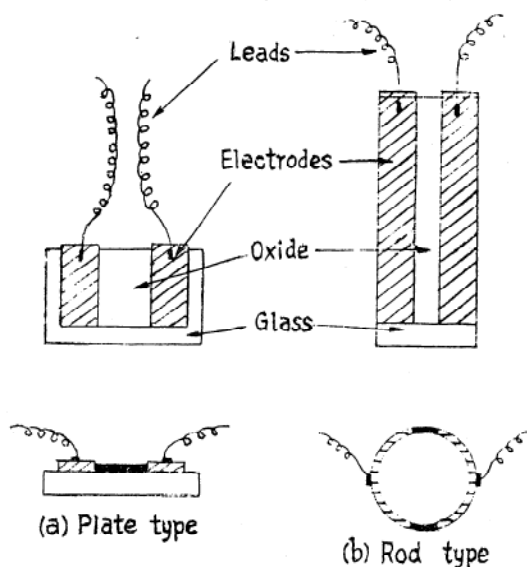


図13 金属酸化物感湿抵抗体の構造

これらの湿度—抵抗特性を図14に示す。この抵抗値では高かすぎるので次のような混合物にすれば測定容易にできる。図15に示す。1)  $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{C}$ , 10:1, 10:2の重量比, 2)  $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Ni}_2\text{O}_3$ , 3)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ —エポキシ。いずれの素子にもヒステリシスはみとめられなく、応答速度が速く、分極や温度効果もほとんどみとめられない。

(c)はポリスチレン樹脂を基材として、その表面にイオン交換樹脂の薄膜をつけて、電極として銀ペイントを両辺にぬったものである。この湿度—抵抗特性を図16に示す。特長は  $100^\circ\text{C}$  においても使用できること、感湿部が汚染しても水で洗浄できることである。欠点は経年変化が大きいことである。

(d)はヨウ化鉛の相対湿度に対する表面電気抵抗の変化を用いたものである。基材のガラス板を水、軟水、イオン

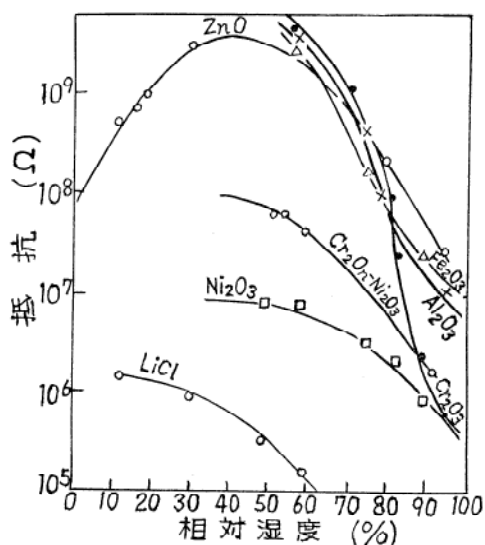


図14 金属酸化物感湿抵抗体の湿度抵抗特性

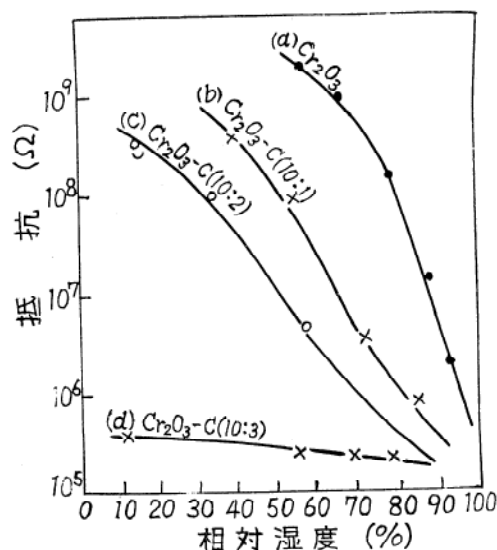


図15  $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{C}$  混合物の湿度抵抗

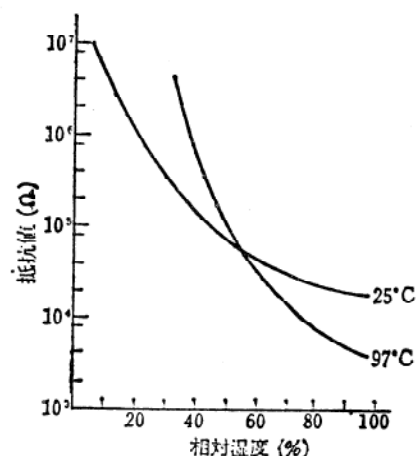


図16 Pope の感湿抵抗体の特性

プロピルアルコール等によって清浄し、その上へ  $3 \times 10^{-5}$  mmHg の真空中でヨウ化鉛を2分間、 $350^\circ\text{C}$  で蒸着させる。

この膜厚は約  $2200 \text{ \AA}$  である。その膜を24時間、 $52^\circ\text{C}$  でシンター (sinter) させて膜の安定化を行なう。電極として金の薄膜を用いその形状は図17のようにくし状に向かい合わせる。ヒステリシスをなくするために測定に先だって 100%RH と 0% RH のふんいきの中に、それぞれ10分間づつ10回循環させる。その湿度—抵抗特性を図18に示す。両軸とも対数表示である。特性直線は3つ直線部分に分かれて、42%以下、45~92%、92%以上の



図17 金電極の配置図

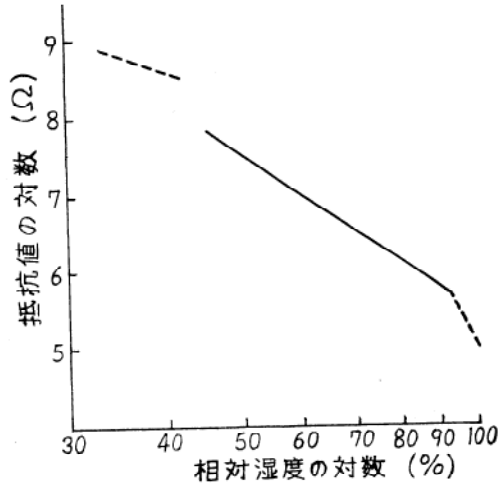


図18 ヨウ化鉛感湿抵抗体の特性

3直線であり、42%附近で不連続がある。長所は通常のふんいきで直線性である、温度計数が小さい。ヒステリシスがない。短所として抵抗値が高すぎる、不連続がある。同様にしてフッ化バリウムについても研究されている。

〔Ⅷ〕 膨潤性物質の電気抵抗式湿度計

毛髪、植物繊維等の膨潤性物質は水蒸気の吸収、放出によって長さ、体積が変化する。この表面に伝導物質（炭素等）をぬっておくと吸湿した場合抵抗が増え、脱湿した場合抵抗値が減る。この現象を用いたものの一つが炭素膜湿度計である。特長は高湿度中でも破損しない、温度係数が小さい。直流で分極をおこさない。ここで例としてSMITH&HOEFLICHの感湿抵抗体を取り上げる。基板はポリスチレンでその両端にすずはくを電極としてとりつける。感湿膜の成分は、1：炭素粉45%，2：水溶性結合剤（セルロースエーテル）32%，3：湿潤性可塑剤（ポリエチレンオキサイドソルビット）16%，4：分散剤（アルキルアシルポリエチレンアルコール）7%である。これらを基材に数回吹き付けて厚み 0.025m

m以下にする。図19に湿度—抵抗特性を示す。これは他の抵抗体と違って抵抗値が小さく測定が比較的容易であ

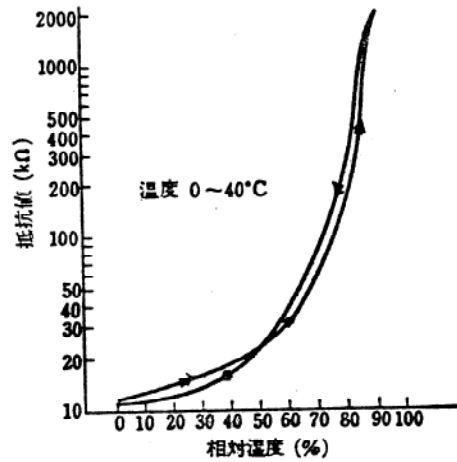


図19 炭素膜感湿抵抗体の特性

るが、ヒステリシスがあるのが欠点となっている。0~40°Cの温度範囲では温度係数はないが、低温では少しある。板応答は17~83%の90%変化時間は室温で1秒以下であり、-20~-30°Cでは30~60秒である。

〔Ⅸ〕 半導体薄膜の電気抵抗式湿度計

半導体感湿膜は膜に吸着した水分の分子がその表面エネルギー状態を変化させることを利用したものである。またセレン、ゲルマニウム、アントラセンはエネルギー状態変化の他にイオン伝導も関係してくる。(a)セレン湿度計、(b)アントラセン感湿抵抗体がある。

(a)の構造は磁器管の上に白金膜を螺旋状に厚く焼き付け電極とし、この上にセレンを真空蒸着させ、その後安定化処理をほどこす。セレンの蒸着の方法により無定形セレン、金属セレンの2通りができる。無定形の場合は圧力3 mmHgで150~160°Cで蒸着し、すぐに空気中に取り出して冷却するとできる。金属の場合は圧力3 mmHg

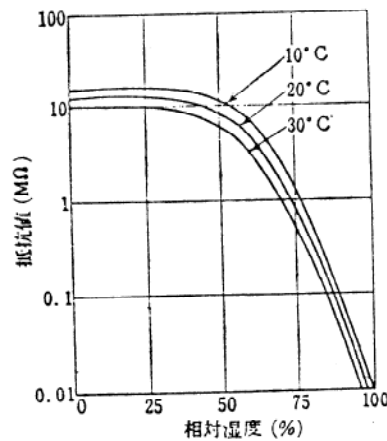
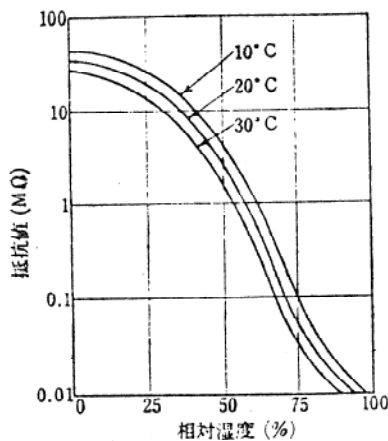


図20 無定形セレン感湿抵抗体の特性 金属セレン感湿抵抗体の特性



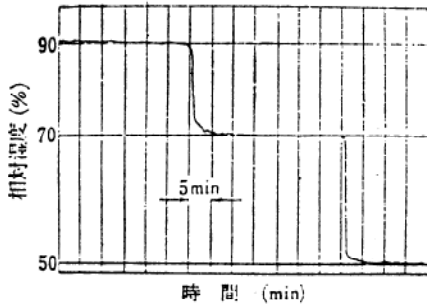


図21 セレン感湿抵抗体のステップ応答

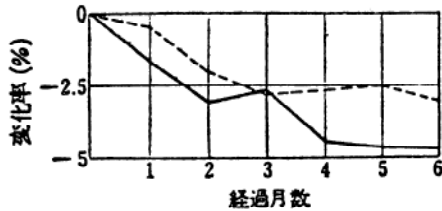


図22 セレン湿度素子の経年変化

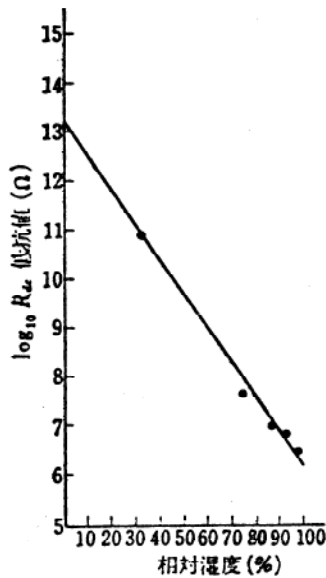


図23 表面処理アントラセン感湿抵抗体の特性

で200~220°Cで蒸着し、24時間かけてゆっくり冷却するとできる。それらの湿度一抵抗特性を図20に示す。温度係数はかなり大きいのが特性のそろったもう1個を使用して温度補償をすれば ±5deg 程の温度範囲では誤差を無視できるようになる。応答特性は図21に示す。時定数は1~2分位である。経年変化のグラフを図22に示す。製作時の伝導度を基準としており、実線は無定形セレン、破線は金属セレンの経年変化である。

(b)のアントラセンは有機半導体であり、へき開直後の表面はN型である。水蒸気を吸着すると電気伝導度が増える。表面を酸化させるとP型の層ができ、さらに酸化させるとイオン伝導によるようになる。またオゾン化空気中で単環テルペン類のリモネンを作用させたものは水蒸気量によって抵抗が大巾に低下する。この処理を

したものの湿度一抵抗特性を図23に示す。全相対湿度範囲で直線性であるが抵抗値が高いので、主に75%以上の高湿度の計測に用いられる。温度係数は0~35°Cでほとんどない。応答時間は4~5秒で速い。

〔X〕 その他の湿度計

(a) 赤外線湿度計

湿り空気の中に光を通過させ、ある距離の間水蒸気圧によって吸収されたエネルギーを計測することにより光の通過路に存在する水蒸気量すなわち湿度を求める。光の波長によって水蒸気に吸収される割合は異なるのであるが、赤外線領域(0.9~1.9μ)を用いるのが有望視されている。この湿度計の特長としては、

1. 低湿度でも高感度を有する。
2. 応答が早い。
3. 絶対湿度を直接計測する。
4. 非常に小さい空間から大きい空間まで計測することができる。

などの性質のため特殊な用途にも用いられる。

(b) 電波屈折率湿度計

水蒸気を含んだ空気の屈折率  $n$  は次式で与えられる。

$$(n-1) \times 10^6 = \frac{C}{T} \left( P_d + e + \frac{be}{T} \right) = \frac{C}{T} \left( p + \frac{be}{T} \right)$$

.....

ただし  $P_d$  は乾燥空気分圧  $l$  は水蒸気圧  $P$  は分圧すなわち  $p = p_d + e$   $T$  は絶対温度  $C = 79^\circ\text{K}/\text{mb}$   $b = 4800^\circ\text{K}$

したがって屈折率は気圧、温度および湿度によって変化するが、特に水蒸気によって大きく変化する。普通気温湿度、気圧の測定値から上式を使って計算して屈折率を求めるのであるが、直接屈折率を測定する方法も考えられている。その原理は2つの空洞共振器を用い、一方は真空または乾燥空気を入れ、他の一つに被測定湿潤空気を入れて、各空洞をそれぞれの共振回路をもつ極超短波発振器をつくり、この2つの発振周波数のビートをつくらせて発振周波数の差を測定し、屈折率を求める。気温別に測定されれば、水蒸気圧あるいは湿度が求められる。いまだ装置も大きく湿度測定装置としては完成していないが将来有望な測定器である。

(c) 放射線露点計

弱い放射線が露によって吸収されることを利用して湿度を測ろうとするものである。露点面にα線源をつけておき、α線の飛程より少し近くにこれを検出する電離箱を置く。露点面をじょじょに冷却し、表面に露がつくと露は線を吸収するから電離電流が急に減る。そのときの露点面の温度を熱電対で測る。露が着いた露点面の冷却

をとめるとじょじょに温度は上昇するが、露点以下であれば露はなお付着しつづけるから電離電流はさらに減る。露点面の温度が上がって露点以上になると露が減少しはじめるから、電離電流は増加しはじめる。このときの露点面の温度は最初に露がつきはじめた温度と一致する。

- (d) 塩化コバルトなどの湿度によって発色するもの
  - (e) 水蒸気の磁性を利用する磁気湿度計
  - (f) 吸質による重量変化による湿度計
  - (g) 超音波の音速が湿度によって変化することを利用した超音波湿度計
  - (h) 吸質液体の屈折率の変化を利用した湿度計
  - (i) イオンの易動度を利用するもの
- などの各種の湿度計が考えられてきた。

結 言

湿度の測定について、実用に供されているもの、現在開発されつつあるもの、などを含めてできるだけ広く集録その原理と特徴の概要を述べた。湿度の測定および制御の必要性が増大するにつれ、新しい素子が開発され進歩発展されるものと思われる。特に〔VII〕〔VIII〕の項について述べたものには小形で応答性もよく現在の欠点も今後の研究によって改善され、大きな活用面が期待できる。また記述した湿度計についてその交換機構によって分類したものを下表に示す。

湿度～偏位	毛髪湿度計, ナイロン湿度計, ゴールドビーターズ湿度計
〃 ～温度	乾湿球型湿度計 Dewcel
〃 ～電気抵抗	〃～光量露点温度計, 赤外線湿度計, 電解質湿度計, 炭素膜湿度計, 金属酸化膜湿度計, 沃化鉛湿度計
〃 ～圧力	拡散湿度計
〃 ～屈折率	電波屈折湿度計, グリセリン湿度計
〃 ～色	塩化コバルト湿度計
〃 ～磁気	磁気湿度計
〃 ～音速	超音波湿度計
〃 ～放射線	放射線湿度計
〃 ～重量	吸湿型湿度計

文 献

- 1) F. Whipple: The theory of the hair hygrometer, Proc. Phys. Soc. London, 34 (1922)
- 2) 井上直一: 毛髪湿度計のヒステリシス現象について低温科学, 1, P19~26 岩波書店 (1944)
- 3) 小林寿太郎: 各種湿度計の原理と特性 (上) 計装3, 8 (1960)
- 4) E. Brendeng: A recording dew-point hygrometer. Humidity and moisture, 1
- 5) J. Kobayashi: Investigations on hygrometry 気象研究所欧文報告 11 2~4 P. 213~338 1960
- 6) F. Lieneweg: Absolute und relative Feuchtebestimmung mit dem Lithiumchlorid-Feuchtemesser, Siemens zeitschrift 29, 5~6 S.212~218
- 7) 岩淵芳雄, 小松勇, 植松誠: 塩化リチウムを使用した露点温度計に関する二, 三の実験 計測と制御/10 P.764~771 (1962)
- 8) V. E. Suomi: Moisture measurement with an electronic dewpoint indicator Instr 21, 2 p 178~182 (1948)
- 9) 坂手邦夫: 光電管式自動露点計の性能 応用物理 276, P 351~363(1958)
- 10) E. Brendeng: A recording dew-point hygrometer, Humidity and moisture, 1 p209~215 Reinhold Publishing Corp (1965)
- 11) Findeisen, W. Wiss Abh. Reichsamt f. Wetterdienst 2 Nr.11 P1 (1937)
- 12) A. Wexler: Electric hygrometers, NBS Circular 586 (1957)
- 13) J. Kobayashi: Investigation on hygrometry, 気象研究所欧文報告 11, 2~4 P.213~338 (1960)
- 14) 芝亀吉: 湿度の細かい分布を測定する, 科学朝日16, 3P 79~83 (1956Mar)
- 15) A. Wexler, S. B. Garfinkel, F.E. Jones, S. Hasegawa, & A. Krinsky: Afast responding electric hygrometer, J. Research NBS, 55 2 p. 71~78 (1955)
- 16) A. C. Jason: Some Properties and Limitation of the Aluminum Oxide Hygrometer, Humidity and Moisture, p 372~390 (1965)
- 17) C. L. Cutting, A. C. Jason and J. L. Wood: A capacitance-resistance hygrometer, J. Sci. Instr. 32, 11, p. 425~431 (1955)
- 18) 河崎, 義輪, 稲松: 金属酸化物感湿体, 応用物理 35 P 355~359 (1966)
- 19) M. Pope: Electric hygrometer, U. S. patent 2, 728, 831 (1955 Dec. 27)
- 20) F. E. Jones: A Study of the Variation of the Surface Electrical Resistance of Lead Iodide Films with Relative Humidity at Room Temperature, Humidity and Moisture, p. 361~365 (1965)
- 21) S. L. Stine: Carbon humidity elements manufacture, performance and theory, Humidity and moisture p. 316~330 (1965)
- 22) Serizawa: Measuring diffusion of water through insulating materials, Bull Tokyo Instit. Tech. B, 43 (1953)
- 23) 加納: 有機結晶利用の湿度計, 計装7, 7, P16~20 (1964)
- 24) 日刊工業新聞社: 湿度水分測定 (1965)
- 25) 佐貫, 磯野: 気象器機地人書館 (1955)

大阪大学工学部原子力工学科