塩類の飽和水溶液を注入する露点計[†]

上 田 政 文*

Dew-Point Hygrometer Injecting a Saturated Salt Solution

Masafumi UEDA*

A simple dew-point hygrometer injecting a saturated salt solution is described. The dew-point hygrometer consists of a metallic vessel ($\sim 200 \text{ cm}^3$), a U-tube manometer and a syringe. A gas to be measured is placed into the vessel, and then a definite amount of saturated salt solution known of the equilibrium relative humidity is injected in the vessel. The dew-point of the gas is determined theoretically from observed values of the pressure difference caused between the gas and the open air, the temperature of the gas and the atmospheric pressure. The other hand, using the gas known of dew-point, the equilibrium relative humidity of a saturated salt solution injected can be determined. Salts used in the experiments are NaCl, $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and LiCl. The results of measurements of equilibrium relative humidity and dew-point are shown and discussed.

Keyword: dew-point hygrometer, saturated salt solution, equilibrium relative humidity, water vapor pressure, measurement

1. はじめに

試料気体を入れた一定体積の容器の中に水を注入し、飽和状態を作って露点を測定する加水露点計は、簡単な装置でかなり高い精度の露点が得られることがこれまでの研究から知られた^{1), 2), 3)}.

加水露点計で直接に測定される量は水蒸気圧であり、水を加えて飽和状態を作るという操作は、飽和水蒸気圧が正確に知られている水を、水蒸気圧測定の標準としていることにほかならない。

このような考えからすると、水以外の液体、たとえば塩類などの飽和水溶液で、その飽和水溶液と平衡

共存する気体の相対湿度がよくわかっているものを用いても露点測定を行うことができる。飽和水溶液と共存して平衡にある気体の相対湿度を、本文では、平衡湿度とよぶことにする。塩類の飽和水溶液を用いると、温度が 0°C 以下の場合にも水溶液を注入することができる。逆に、露点があらかじめわかっている気体を標準として用いると、注入した飽和水溶液の平衡湿度を知ることができる。

本文では、飽和水溶液を注入する露点計の理論と、いく種類の塩類を用いて露点と平衡湿度の測定を行った結果を述べる。

2. 理論的考察

飽和水溶液を加える露点計の構成としては、加水の場合と同様に、二つの容器の一方を差圧測定の規準とする二容器式と、一つの容器を用いて大気圧を規準とする一容器式とが考えられる。ここでは、構成の簡単な一容器式の露点計について述べる。

一容器式の露点計は、測定の際の大気圧を不変とみて、試料容器内の気体の圧力と外気（大気）との圧力の差を測定する。

容器に入れた試料気体は、体積が V 、水蒸気圧が e 、温度が t であり、外気の圧力 P と同じであるとする。試料気体に加える飽和水溶液の平衡湿度 $H(\%)$ は、溶質の種類と温度 t による。その気体の温度 t での水蒸気圧 e^* は、温度 t における水の飽和蒸気圧を e_s とすると、

$$e^* = \frac{H}{100} e_s \quad (1)$$

である。

飽和水溶液を加えてから平衡状態になったときの圧力が $P + \Delta p$ 、体積が $V + \Delta V$ であり、温度は飽和水溶液を加える前と同じ t であるとする。この状態では、水蒸気圧 e^* となっている。容器内の水蒸気以外の気体のモル数は変わらないので、

$$(P - e)V = (P + \Delta p - e^*)(V + \Delta V) \quad (2)$$

[†] 応用物理学会学術講演会で発表 (昭 56・10)

* 群馬大学教育学部 前橋市荒牧町 1375

* Faculty of Education, Gunma University, Maebashi (Received April 21, 1983)

(Revised July 26, 1983)

である。したがって、

$$\begin{aligned} e &= e^* - \Delta p - (P + \Delta p - e^*) \frac{\Delta V}{V} \\ &\doteq e^* - \Delta p - P \frac{\Delta V}{V} \\ &= \frac{H}{100} e_s - \Delta p - P \frac{\Delta V}{V} \end{aligned} \quad (3)$$

である。平衡湿度 H がわかっていると、差圧 Δp と、温度 t における水の飽和蒸気圧 e_s 、大気圧 P および $V/\Delta V$ の値とから試料気体の水蒸気圧 e が求められ、露点がわかる。

上の(3)式を H について書き直すと、

$$H = \frac{100}{e_s} \left(e + \Delta p + P \frac{\Delta V}{V} \right) \quad (4)$$

である。露点がわかっている気体、すなわち、水蒸気圧 e が既知の気体、を用いると、上式により、飽和水溶液の平衡湿度を求めることができる。露点がわかっている気体を作るには、バブリング飽和槽⁶⁾やアスピレータ飽和槽⁵⁾などを用いればよい。

差圧 Δp を U 字管圧力計で測定すると、液体の移動による体積変化が生じるので、その補正をしなければならない。容器の外から試料気体に体積が w の飽和水溶液を注入し、圧力計の液体の移動による体積変化が u であるとすれば、体積変化 ΔV は、

$$\Delta V = u - w \quad (5)$$

である。飽和水溶液を外から注入しないで、試料容器内で投下する方法⁶⁾を用いれば、 $w=0$ であるので、

$$\Delta V = u \quad (6)$$

となる。

露点の測定に用いる飽和水溶液の溶質としては、温度による平衡湿度の変化の少ないものが便利であり、湿度定点として用いられている塩類はほぼこの条件に合っている。このような条件に合う塩類として、塩化ナトリウム、炭酸カリウム、塩化マグネシウム、塩化リチウムなどがあげられる⁷⁾。

3. 実験方法

3.1 露点計の構造

飽和水溶液を注入する露点計は、試料容器、U 字管圧力計および注入器からなり、装置の略図を Fig. 1 に示す。

試料容器は内径が 7.0 cm、高さが 5.0 cm のアルミニウム製の円筒形であり、蓋の部分に気体の取入れ管と、U 字管圧力計に連結する管が付いている。蓋の中央部にゴム栓があり、ゴムの部分に注入器の管を差し込んで水溶液を注入する。注入器は加水の場合と同

Fig. 1 Schematic of the dew-point hygrometer

Fig. 2 Cross sectional view of the apparatus for dropping powdered salts

じ医療用の注射器が用いられる。使用した注入器は容量が 2 cm^3 であり、 0.05 cm^3 の目盛り線が刻んである。

U 字管圧力計は管の内径が 4.0 mm であり、中の液体は高真空ポンプ油（比重 0.897, 20°C ）である。容器の蓋の部分から気体の取入れ管のコックまでの管内と、U 字管圧力計の液面までの管路内の体積は合計で 7.1 cm^3 である。これに、試料容器の内容積 192.4 cm^3 を加えて $199.5 \text{ cm}^3 \approx 200 \text{ cm}^3$ が試料気体の実際の体積である。

Fig. 2 は、塩類を粉末のまま加えられるようにした装置である。試料容器の蓋の内側に、薬品を入れられる皿形容器がはめ込んであり、蓋のゴム栓に差し込んである突き棒を押すと、薬品皿が蓋から離れ、容器内に薬品が落下する。薬品皿は外径が 3.4 cm、厚さが 0.35 cm であり、内容積は約 2 cm^3 である。薬品皿は容器の内部にあるので、薬品が皿ごと投下されても、試料気体の体積は変わらない。この場合の試料容器の実際の内容積は、薬品皿の体積を差し引いた 195 cm^3 である。

3.2 塩類

実験には、塩化ナトリウム $[\text{NaCl}]$ 、炭酸カリウム

[$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$], 塩化マグネシウム [$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] および塩化リチウム [LiCl] の 4 種類の塩類を用いた。これらの塩類は試薬 1 級のものである。なお、塩化ナトリウムは試薬のほか、市販の食卓塩も用いた。この食卓塩は NaCl が 99.5% 以上、 MgCO_3 が 0.15% 含まれている。

飽和水溶液を注入する場合は、試料気体中の水蒸気で稀釈されないように、水溶液中に溶質の微粒子も含まれるようにする。塩類を粉末のまま加える場合には、試薬の粉末を皿形容器につめ、試料容器の蓋の内側にはめておく。

3.3 測定方法

試料気体を入れる容器は恒温水槽に入れ、測定中は一定の温度に保つ。露点がわかっている気体を作るために、バブリング飽和槽⁹⁾を用いる。試料容器を入れた恒温水槽の水温 t と、バブリング飽和槽の水温 t_w をそれぞれ、0.1°C 目盛りのガラス製水銀温度計で測る。試料容器内の気体の温度は、恒温槽の水温と同じ t であるとみなす。

バブリング槽を通して露点がわかっている空気を試料容器に入れ、容器内の空気の圧力を大気圧と同じにする。このときの大気圧を気圧計により、kPa 単位で小数 1 けたまで測っておく。コックを閉じて試料容器内の気体を外気と遮断し、飽和水溶液を注入するか、試薬の粉末を投下する。

飽和水溶液の蒸気圧 e^* は、試料気体の水蒸気圧 e より大きいこともあり、小さいこともあるので、測定される差圧 Δp は $e^* \geq e$ に応じて、 $\Delta p \geq 0$ である。圧力計の液位が一定となつてから Δp を測定する。

バブリング槽を通った気体の水蒸気圧は、飽和槽の水温 t_w における飽和蒸気圧に等しいとみられるので、測定された Δp から (4) 式により塩類の平衡湿度を求める。使用した塩類の中で、実際の使用に適していると考えられるものを選び、露点測定を行う。バブリング槽では、0°C 以下の露点の気体が作れないので、0°C 以上の温度で実験を行う。平衡湿度の測定は、試料容器の温度を 25.0°C に保ち、これに $t_w = 10.0^\circ\text{C}$ の飽和槽を通した空気を入れて行う。露点測定は、 $t_w = 25.0 \sim 5.0^\circ\text{C}$ の範囲で試料気体を作り、試料容器の温度を t_w より 5~10°C 高くして行う。飽和水溶液の注入量は、いずれも 1.00 cm³ である。

4. 実験結果

4.1 平衡湿度の測定

種々の塩類について平衡湿度の測定を行った結果を Fig. 3~6 と、Table 1 にまとめて表わした。

Table 1 Results of measurements of equilibrium relative humidity for salts at 25.0°C. Symbol * shows powdered salts

Saturated salt solution and powdered salt	Δp		P (kPa)	ΔV (cm ³)	H (%)
	(mm)	(Pa)			
NaCl					
Reagent	138.4	1219	100.0	-0.130	75.2
Table salt	138.9	1223	100.0	-0.127	75.3
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	53.8	474	100.1	-0.662	43.2
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	27.6	243	99.6	-0.827	33.4
* $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-13.9	-122	100.6	-0.087	33.5
*LiCl	-72.0	-634	100.5	-0.453	11.4

Fig. 3 Pressure difference Δp vs time for saturated NaCl solution. t : air temperature in the sample vessel, t_w : water temperature in the saturator, w : volume of saturated solution

NaCl 塩化ナトリウムの試薬と食卓塩の飽和水溶液に対する差圧 Δp と時間との関係のグラフを Fig. 3 に示している。両者とも、飽和水溶液の注入と同時に急速に Δp が増大し、2~3 min ではほぼ同一の一定の値になる。 Δp , P , ΔV の測定値と、水の飽和蒸気圧⁷⁾から得られる $t = 25.0^\circ\text{C}$ における $e_s (= 3168 \text{ Pa})$ および $t_w = 10.0^\circ\text{C}$ に対する e の値 ($= 1227 \text{ Pa}$) を用いて、(4) 式により計算した平衡湿度 H は、試薬の塩化ナトリウムが 75.2%、食卓塩が 75.3% である。塩化ナトリウムと食卓塩の飽和水溶液とも、水溶液中に溶質の微粒子が含まれていても、注入器から噴出させるときの抵抗は水だけの場合とほとんど変わらず、水溶液は噴霧状となって飛散する。測定に要する時間も、水の場合とたいして変わらない。

$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 炭酸カリウムも飽和水溶液を注入した。Fig. 4 に測定した Δp を示す。塩化ナトリウムを注入した場合にくらべ、 Δp の値は 1/2 以下に減少しているが、 Δp の時間による変化はほとんど同じで

Fig. 4 Δp vs time for saturated $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ solution

Fig. 5 Δp vs time for (a) saturated $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ solution and (b) powdered $MgCl_2 \cdot 6H_2O$

あり、2~3min で一定になる。求められた平衡湿度は 43.2% である。炭酸カリウムの飽和水溶液は、粘性抵抗がやや大きいので、注入器から液滴状となって噴出する傾向がある。

$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ Fig. 5 の (a) は塩化マグネシウムの飽和水溶液を注入した場合、(b) は試薬の粉末を投下

Fig. 6 Δp vs time for powdered $LiCl$

した場合の Δp の時間による経過をそれぞれ示している。飽和水溶液を注入した直後は Δp が急速に増大するが、時間の経過につれて徐々に減少し、一定の値になるのに 30 min ほどかかっている。飽和水溶液の平衡湿度を計算した結果は 33.4% である。この値から、 $t=25.0^\circ C$ における飽和水溶液の蒸気圧を計算すると、 $e^*=1058 \text{ Pa}$ となる。試料容器内の気体の水蒸気圧 e は 1227 Pa であるので、 $e^* < e$ である。 $\Delta V=0$ ならば $\Delta p < 0$ になるはずであるが、水溶液の注入による体積の増加があるので、見かけ上、 Δp が正になっている。塩化マグネシウムの飽和水溶液も、炭酸カリウムの場合と同様に粘性抵抗が大きく、噴出液は液滴状になる傾向がある。塩化マグネシウムを粉末で投下した場合は、3~4 min で Δp は一定となり、飽和水溶液を注入した場合にくらべ、平衡になる時間がきわめて早い。粉末の投下によって得られた $H=33.5\%$ は、飽和水溶液の注入による値とほとんど同じである。

$LiCl$ 塩化リチウムは e^* の値が e よりかなり小さく、 $\Delta p < 0$ と予想されるので、試薬の粉末を投下して Δp を測定した。Fig. 6 はこの結果である。粉末の投下後、約 5 min で Δp は一定となる。得られた平衡湿度は 11.4% である。

4.2 露点測定

上の実験で、露点の測定にもっとも適していると思われる塩類は、 e^* の値が大きく、飽和水溶液として注入器で注入する際に粘性抵抗が比較的小さい塩化ナトリウムである。そこで、塩化ナトリウムの試薬と食卓塩を用いて露点の測定を行った。

Fig. 7 の (a) は $t=30.0^\circ C$ で $t_w=25.0$ と $20.0^\circ C$ 、(b) は $t=20.0^\circ C$ で $t_w=15.0$ と $10.0^\circ C$ 、(c) は $t=10.0^\circ C$ で $t_w=5.0^\circ C$ の試料気体を測定したときの Δp と時間との関係である。いずれも $e^* > e$ であり、水溶液を注入してから約 3 min で Δp は一定となり、

Fig. 7 Dew-point measurements by NaCl for (a) $t_w=25.0$ and 20.0°C at $t=30.0^\circ\text{C}$, (b) $t_w=15.0$ and 10.0°C at $t=20.0^\circ\text{C}$ and (c) $t_w=5.0^\circ\text{C}$ at $t=10.0^\circ\text{C}$

Table 2 Results of dew-point measurements for $t_w=25.0\sim 5.0^\circ\text{C}$, A: NaCl, B: table salt

t ($^\circ\text{C}$)	t_w ($^\circ\text{C}$)	A B	Δp		P (kPa)	ΔV (cm^3)	e (Pa)	t_D ($^\circ\text{C}$)
			(mm)	(Pa)				
30.0	25.0	A	42.9	378	99.9	-0.730	3197	25.2
		B	42.4	373	99.0	-0.734	3174	25.0
30.0	20.0	B	114.6	1009	100.7	-0.280	2320	19.9
		A	113.7	1001	99.5	-0.285	2325	19.9
20.0	15.0	A	48.2	42.4	101.5	-0.697	1684	14.8
		B	48.7	42.9	101.6	-0.694	1678	14.8
20.0	10.0	A	87.5	771	100.0	-0.450	1208	9.8
		B	85.4	752	100.0	-0.463	1234	10.1
10.0	5.0	A	47.0	414	99.7	-0.705	870	5.0
		B	46.5	409	100.1	-0.708	878	5.1

試薬および食卓塩とも Δp の値はほぼ等しい。

(3)式により露点の計算を行った結果を Table 2 にまとめて表わした。表中のAは試薬, Bは食卓塩の場合である。平衡湿度 H の測定を行ったときの温度は 25.0°C だけであるが, $t=30.0$ と 20.0°C では $H=75\%$, 温度が低下すると H はやや高くなる傾向があるので, $t=10.0^\circ\text{C}$ では 76% とした。AおよびBとも, 測定された露点 t_D はほとんど同じであり, $t_w=25.0\sim 5.0^\circ\text{C}$ の試料気体で得られた t_D は t_w とほぼ一致している。

5. 考 察

実験に使用した4種類の塩類について $t=25.0^\circ\text{C}$ で測定した平衡湿度 (Table 1) と, 文献⁸⁾に記載されている値とはほとんど一致している。飽和水溶液の平衡湿度の測定方法には, 飽和水溶液と平衡にある気体の露点を冷却露点計で露を結ばせて測る⁹⁾, 飽和水溶液の蒸気圧を測る¹⁰⁾, 飽和水溶液の蒸気圧と純粋の水の飽和蒸気圧との差または比を直接に測る^{11), 8)}, などがある。水蒸気圧を直接に測定する方法は, 測定誤差が比較的少ないので, 精度のよい測定ができるが, 真空ポンプにより水蒸気以外の気体を完全に排気しなければならぬので, 測定に手間がかかる。この研究による方法は, 比較的簡単な装置で平衡湿度の測定がかなり正確に行え, また, 塩類を飽和水溶液としても, 粉末試薬のままでも, 同一の平衡湿度が得られることが実験の結果から知られる。

露点が既知の気体を作るために用いたバブリング槽は, 水温が $10.0\pm 0.1^\circ\text{C}$ に保たれており, 放出された気体の露点に $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の誤差があるとする, $t=25.0^\circ\text{C}$ での平衡湿度におよぼす影響は相対湿度で

$\pm 0.2 \sim 0.3\%$ (RH) の程度である。水の飽和蒸気圧は温度が低いほど温度による変化が小さいので、水温による露点の誤差を少なくするために、飽和槽の水温は低いほうがよい。

塩化ナトリウムの試薬と食卓塩の飽和水溶液を用いて測定した露点 t_D と、飽和槽の水温 t_w との差は、Table 2 に示されているように 0.2°C 以内であり、大気圧式の加水露点計²⁾と同程度の精度で露点が求められている。使用した食卓塩は NaCl 以外に炭酸マグネシウムが 0.15% 含まれているが、測定された結果はほとんど同じであり、炭酸マグネシウムの影響は表われていない。

露点測定の実験では、試料気体の温度 t と露点 t_D ($\equiv t_w$) との温度差は $5.0 \sim 10.0^\circ\text{C}$ であり、注入した飽和水溶液の蒸気圧 e^* は気体の蒸気圧より大きく、いずれも $\Delta p > 0$ である。 $e^* < e$ であると、注入した飽和水溶液が試料気体中の水蒸気を吸収するのにある程度、時間がかかるので、 $e^* > e$ の状態で測定を行ったほうがよい。塩化ナトリウムの場合は被測定気体の露点が 25°C 以下ならば、試料気体の温度を露点より 5°C 以上高くしておけば $e^* > e$ となる。

炭酸カリウムや塩化マグネシウムなど、平衡湿度の低い塩類では、試料気体の温度をかなり高くしないと $e^* > e$ にならない。たとえば、被測定気体の露点が 0°C であるとする、 $e^* > e$ になるためには、炭酸カリウムの場合は試料気体の温度が 12°C 以上、塩化マグネシウムの場合は 16°C 以上でなければならない。しかし、塩化マグネシウムを粉末で投下した場合 [Fig. 5(d)] には、 $e^* < e$ にもかかわらず、短時間で水蒸気圧が平衡になっている。この理由は、液体より粉末のほうが、気体との接触面積が大きく、水蒸気の吸収が早く行われるからであると考えられる。したがって、平衡湿度が低い塩類の場合には、粉末を投下する方法を用いれば、 $e^* < e$ の状態でも測定が短時間に行える。このことは、塩化リチウムでの結果 (Fig. 6) にも示されている。

試料容器内の気体の温度は、露点や平衡湿度の測定値に与える影響が大きいので、正確に測ることが必要である。気体の温度に 0.1°C の測定誤差があると、露点の測定値に 0.1°C の誤差を生じることが (3) 式から知られる。露点を $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 程度の精度で求めるためには、気体の温度を $\pm 0.2^\circ\text{C}$ の精度で測定すればよい。また、平衡湿度の場合には、気体の温度の 0.1°C の誤差は $t=25.0^\circ\text{C}$ のときに 0.2% RH, $t=5.0^\circ\text{C}$ のときに 0.5% RH 程度の誤差を生じる。

差圧 Δp は、U 字管圧力計で 0.1 mm まで測定し

ているが、実際にはそれほどこまかに測る必要はない。 $t_D=5.0^\circ\text{C}$ の例 (Table 2) で計算すると、 Δp の $\pm 0.5\text{ mm}$ 誤差で、 t_D に $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の誤差を生じるにすぎない。したがって、 Δp の値の 1 mm 以下を 4 捨 5 入しても、 t_D に与える影響は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の程度である。また、平衡湿度 H の測定の場合には、 Δp の $\pm 0.5\text{ mm}$ の誤差は、 H の値に $\pm 0.2\%$ の誤差を与える程度である。なお、大気圧 P の変化が露点および平衡湿度の測定値に与える影響はきわめて小さく、 P の値は kPa 単位で小数以下のけたを読まなくても実用上十分である。

この実験に用いた塩類は、温度による平衡湿度の変化の少ないことが認められており、 $0 \sim 30^\circ\text{C}$ の温度範囲での平衡湿度の変化は⁷⁾、 $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ と LiCl は 0 、 NaCl は 1% 、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ は 2% である。 0°C 以下の温度における塩類の飽和水溶液の平衡湿度はよくわかっていないが、ここで用いた塩類ではたいした変化はないものと見られる。平衡湿度 H がかりに 1% 異なるとすると、(3) 式から計算される露点の変化は 0.2°C の程度である。

6. む す び

一定体積の試料気体に塩類の飽和水溶液を注入し、外気との間に生じる圧力差を測定して気体の露点を求めることができる。注入する飽和水溶液としては、平衡湿度が比較的高く、かつ、温度による平衡湿度の変化の少ない塩類が測定に都合がよい。このような塩類として、塩化ナトリウムがあげられる。塩化ナトリウムは、食卓塩も試薬と同程度の精度で露点の測定が行えるので、実際の使用にもっとも適している。塩類の飽和水溶液を用いる露点計では、 0°C 以下の低温でも測定が可能である。

飽和槽などで露点がわかっている気体を作り、これに塩類の飽和水溶液を注入することにより、注入した飽和水溶液の平衡湿度が求められる。塩類を粉末のまま加えても、平衡湿度を求めることができる。

この研究で述べた飽和水溶液の注入による露点計と平衡湿度の測定法は、比較的簡単な装置でかなり精度よく測定が行えるとみられるので、実用的な利用に役立てば幸いである。

終りにあたり、この研究にご教示をいただいた芝亀吉東洋大学名誉教授に厚くお礼の言葉を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 芝, 上田: 定積加水露点計, 応用物理, **44**-9, 964/970

- (1975)
- 2) 芝, 上田: 大気圧式加水露点計, 応用物理, **45**-11, 1051/1056 (1976)
- 3) 芝, 上田, 千輝, 原口: 水柱差圧計を用いる加水露点計, 応用物理, **48**-3, 224/228 (1979)
- 4) 芝, 一瀬, 上田: 露点の知られている空気源, 計測自動制御学会論文集, **8**-5, 526/529 (1972)
- 5) 芝, 千輝, 上田, 原口: アスピレータ飽和槽, 応用物理, **47**-7, 629/634 (1978)
- 6) 上田: 差圧計を用いる吸収露点計, 応用物理, **51**-3, 363/371 (1982)
- 7) JIS Z 8806-1981: 湿度測定方法 (1981)
- 8) たとえば
土井: 湿度定点, 計測と制御 **3**-5, 327/331 (1964)
- 9) A. Wexler, S. Hasegawa: Relative Humidity-Temperature Relationships of Some Saturated Salt Solutions in the Temperature Range 0 to 50°C J. Res. Nat. Bur. Stand. **53**-1, 19/26 (1954)
- 10) 稲松: 飽和塩による湿度定点, 計量研究所報告 **24**-3, 36/41 (1975)
- 11) 才野: 飽和水溶液の蒸気圧, 計測, **8**-5, 281/282 (1958)
-