



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低温用湿度計の研究
Author(s)	井上, 直一; INOUE, Naoichi
Citation	低温科学, 3, 1-78
Issue Date	1950-12-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17423
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_p1-78.pdf



低溫用濕度計の研究*

井上直一

(低溫科學研究所 純正物理學部門)

(昭和 22 年 月 11 受理)

緒 言

濕度計は昔から随分色々のものが考案されてゐるが、溫度の測定に於ける水銀寒暖計に匹敵するやうな、簡單でしかも如何なる場合に用ひても精確なものは未だ完成されてゐない。濕度の測定がこのやうに困難なのは、水蒸氣の量が空氣の量に比して甚だ少いといふ事と、濕度に應ずる物體の物理的變化が割合に複雑なものであるといふ事に起因する。

試みに今迄考へられてゐる濕度計を、濕度の絶對量を直接測定する絶對濕度計と、濕度に應じて變る物性を利用する二次的計器とに大別して分類して見ると次のやうになる。

I. 絶對濕度計

A. 吸收濕度計 藥品を用ひて水蒸氣を完全に吸收し

- i) 吸收した水蒸氣の重さを秤量するもの
- ii) 吸收前後の壓力變化を測定するもの

B. 凝縮濕度計 溫度を下げて水蒸氣を凝結させ

- i) 凝結を始める溫度を測定するもの (露點濕度計)
- ii) 凝結後の平衡壓を測定するもの

II. 二次的濕度計

C. 蒸發現象を利用し

- i) 蒸發による溫度降下を測定するもの (乾濕計)
- ii) 蒸發量を測定するもの (蒸發計)

D. 吸脫濕による物體の伸縮を利用するもの (毛髮, セロファン, 纖維, 豆づる等の濕度計)

E. 吸濕による發熱を利用するもの (硫酸, 綿等の濕度計)

F. 空氣の熱傳導率の變化を利用するもの (熱線濕度計)

G. 電氣的方法

- i) 吸濕物質の電氣抵抗の變化を利用するもの

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 85 號.

ii) 空氣蓄電器の容量變化を利用するもの

H. 光學的方法

i) 屈折率の變化を利用するもの

ii) 太陽の吸收スペクトルの變化を利用して廣範圍の大氣の濕氣を測るもの

I. 化學的方法

i) 吸濕による色の變化を利用するもの

ii) 電解質溶液の濃度變化を利用するもの (電池濕度計)

J. その他超音波の速度の變化を利用するもの

物體の機械的振動の變化を利用するもの等.

濕度計には以上の如く數多くの考案があるが、現在實用されてゐるものは A, B, C, D の四種である。しかも氣象學上の精密測定には主として乾濕計のみが用ひられてゐる。ところがこれは遅れが大きく、且つ零度以下になると濕球が凍ることと、濕度の絶對値が小さくなる事との爲に取扱上特別の注意をしなければ精度が著しく落ちてしまふ。又近時その重要性を認められて來たラヂオゾンデ用の濕度計は低溫で使用が出來しかも特に遅れの少い事が必要であつて、未だ適當なものが作られてゐない。

筆者は先づ毛髮濕度計、露點濕度計、及び乾濕計に就いて零度以下に於ける實用上の缺點を實驗的に検討して見た。その結果は乾濕計を除いては、何れも低溫用精密氣象計器として見込がない事がわかつた。又ゾンデ用としては乾濕計も使用不能である。それで他の方法のうち一番見込のある電氣濕度計に着目した。その研究をなすに當つて、先づ濕度計檢定用の標準計器として A の ii) の型の吸收濕度計を試作し、次いで檢定用恒濕槽の改良を行つて、最後に電氣濕度計の實用化に就いて研究を進めた。

第 I 部 毛髮濕度計、露點濕度計、及び 乾濕計の低溫に於ける性能

毛髮濕度計は一番手輕な低溫用濕度計として廣く用ひられてゐるが、既に前號に實驗の結果⁽¹⁾を發表したやうに履歴現象といふ致命的な缺點の爲に精密計器としては不適當である事がわかつた。それで次に露點濕度計について調べて見た。

第 1 章 低溫に於ける露點濕度計の誤差

1. 零度以下に於ける露點濕度計の性能

零度以下で使用する目的で第 1 圖に示すやうな露點湿度計を作つた。次にその特徴を列記する。

i) 温度誤差に對する對策

結露面はうすい銅板としその表面温度になるべく近い値を知る爲に結露面の直下に銅-コンスタンタン熱電對をつけて測定した。

ii) 結露時判定の誤差に對する對策

結露の状態を見やすくする爲に結露面をニッケルで鍍金し、更に内輪 A と外輪 B の二部分に分け、兩者の中間にパラフィン C を詰めて熱絶縁部とした。結露時に内輪のみがくもつて外輪はくもらぬので兩者の對比で判定がし易くなる。

iii) 對流誤差に對する對策

結露面に於ける對流を防ぐ爲に結露面は水平として、なほ測定時は恒濕槽内の空氣の攪拌を停止した。

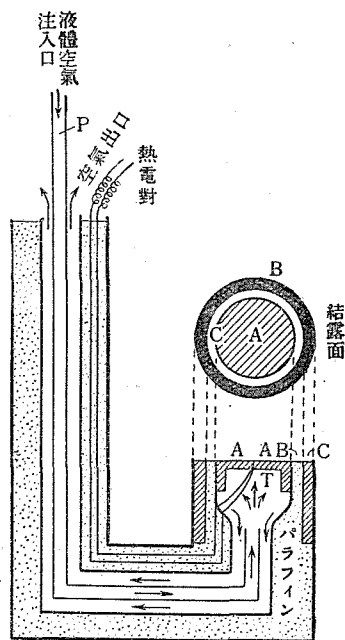
iv) 冷却法

密閉した低温室内の實驗であるからエーテルを用ひる事が出来ないので、液體空氣を細い硝子管で導いて結露面の背後に吹きつけた。この冷い空氣を逃す管は更にパラフィンの管の中に入れて熱的に絶縁し、恒濕槽内の空氣の温度を變へないやうにした。

v) 檢定用恒濕槽

檢定する湿度の空氣を入れた恒温恒濕槽は前報⁽¹⁾の毛髮湿度計の實驗に用ひたものと同じで、槽中の湿度は硫酸濃度を測つて算出した。

この露點計を用ひて -5°C 及び -10°C 附近で湿度を測定した結果を示すと第 1 表のやうになる。露點より湿度を計算する場合、露點の飽和蒸氣壓として水相のものを用ふべきか、氷相のものを用ふべきかといふ問題がある。眼で見たところでは結露面の状態は霜状を呈して居るので氷相の蒸氣壓を採用するのが妥當のやうに思はれるが實際計算して見ると第 1 表に示すやうに硫酸濃度より計算した湿度とは甚しく違つた値となる。これに反し水相のものとすると大體兩者の値が同じとなる。これは露點湿度計を 0°C 以下で使用するときの極めて大切な問題であるが、吉田氏の窓霜の實驗⁽²⁾によるとこの理由がわかる。即ち“過飽和の蒸氣が硝子面に當ると、始めかすかにくもりが出来るがこれは過冷却微水滴の集合なのであつて、次いで霜状に變化してゆく。始めのかすかにくもりは注意しないと見損ふ恐れがある”と報告されてゐる。第 1 表の硫酸濃度より計算した湿度と露點計による湿度との關係を圖示すると第 2



第 1 圖

第 1 表

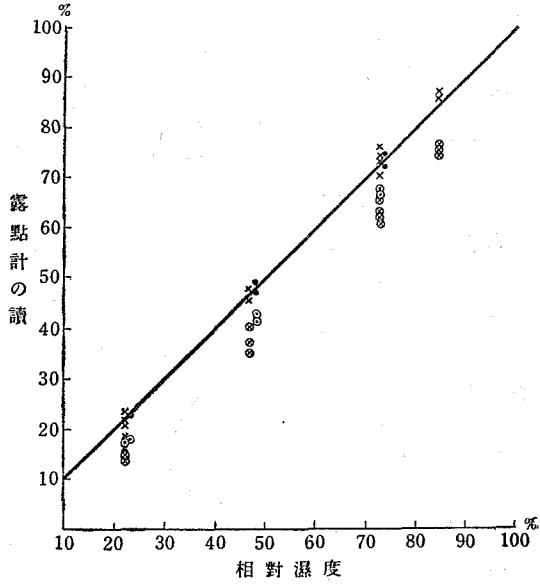
-5°C 附近					
實 験 番 號	氣 温	濕 度 (硫酸濃度 より計算)	露 點 計 に よ る		
			露 點	濕 度 (水)	濕 度 (氷)
2	-4.7	72.7	- 8.8	72.0	66.1
3	-4.7	47.5	-13.7	47.8	41.8
4	-5.3	22.0	-23.0	22.0	17.3
6	-5.5	22.5	-23.0	22.4	18.0
7	-4.8	47.5	-13.7	48.3	42.2
8	-5.3	72.7	- 9.1	73.5	67.2

-10°C 附近					
實 験 番 號	氣 温	濕 度 (硫酸濃度 より計算)	露 點 計 に よ る		
			露 點	濕 度 (水)	濕 度 (氷)
2	-10.5	72.4	-14.7	69.9	60.8
3	-10.8	47.0	-19.2	48.2	40.1
4	-10.2	22.1	-27.4	21.8	16.3
6	-10.5	22.1	-27.4	22.3	16.8
8	- 9.8	72.4	-13.7	72.5	63.1
9	- 9.7	84.0	-11.5	86.2	76.9
12	-10.2	84.0	-12.0	86.6	76.6
13	- 9.7	72.4	-13.2	75.2	65.7
14	-10.2	47.0	-19.2	46.0	38.1
15	-11.4	22.1	-28.8	20.9	15.5
17	- 9.8	22.1	-28.4	18.8	14.1
18	-10.2	47.0	-18.8	34.5	35.2
19	-10.2	72.4	-14.0	73.0	63.5
20	-10.0	84.0	-12.0	86.6	75.4

圖の如く大體直線關係となり、若干の系統的誤差を除くと、測定の不規則誤差は相對濕度値で±2%とみなされる。その原因の主なるものは結露面の眞の溫度の測定が困難なる爲の誤差(溫度誤差)と、結露時の判定の誤差とである。次にこの誤差について若干考察して見る。

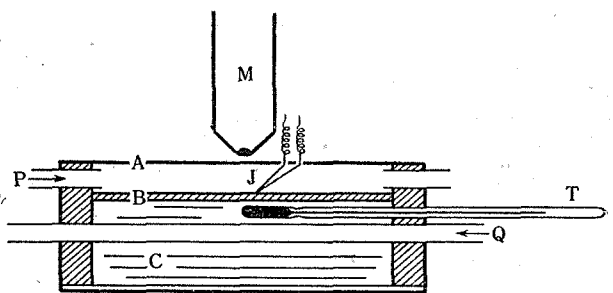
2. 誤差に対する考察

鈴木氏⁽³⁾は硝子表面の結露時の表面電気抵抗及び表面温度を電氣的に測定し、同時に顯微鏡で結露の状態を調査しながら結露の機巧を調べた。筆者も後述する電気湿度計を利用し、第3圖の如き装置で同じ様な研究を行つた。第3圖は装置の断面で、A は薄い平面硝子、B は電気湿度計の感濕體で同時に結露面となる。A、B の間にP 管より色々の濕度の空氣を入れて、その露點を熱電對 J で測る。B の冷却は、背面のアルコール C を液體空氣管 Q にて冷却して行ふ。尙同時に顯微鏡 M で結露面を調べた、最初 A を取除き空中の空氣で行つた實驗を第4圖に示す。冷却を始めると感濕體の電気傳導度は次第によくなるが、顯微鏡下に水滴が現はれ出す頃一度又悪くなる。このとき冷却を暫時止めても水滴は次第に成長し他の



	-5° 附近	-10° 附近
水相に対する湿度	●	⊗
氷相に対する湿度	⊙	⊗

第 2 圖



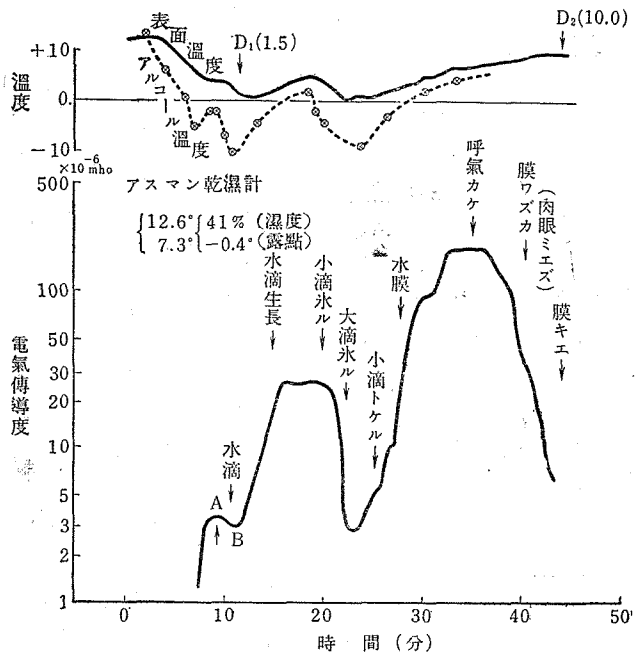
第 3 圖

水滴とくつつき始める。即ち水滴が他の水滴を喰つて成長する。この頃は傳導度は再び大いに増加する。そして再び冷却を始めると先づ小さい水滴が凍り、次いで大滴が凍り傳導度は急に悪くなる。こゝで冷却を止めて温度を上昇させると小滴が先づとけ次いで大滴がとけ、それが完了すると水滴は消えて水膜となる。傳導度はこれに應じて急によくなる。この頃呼氣を結露面にふきかけても傳導度に変した影響を興へない。温度が更に上昇すると傳導度は急に減少を始める。同時に水膜の部分は次第に小さくなり肉眼では全然見えなくなるが顯微鏡下ではまだ少し残つてゐる。やがてそれも完全に消失する。このやうにして顯微鏡下で水滴を認め始めた時の熱電對の温度は 1.5°C、消失した時の温度は 10°C であつて、アスマン乾濕計で測つた露

點 -0.4°C に比してかなり高く出てゐる。これは熱電對が結露面の表面で突起してゐる爲の誤差と思はれる。露の發生及び消失

の機巧は、このやうな電氣傳導度の變化からも判るやうに、決して可逆的ではないので、一般に行はれてゐるやうに、露のつき始めの溫度と消失時の溫度との平均をとつて、溫度の遅れの誤差を除かうといふ方法は、一般には意味のないことである。むしろ結露近くの冷却速度を極めて徐々に行つて、結露時の溫度を測りそれを露點とするのが正しいものと思はれる。

溫度の測定の方は以上のやうな注意をなせば相當正確に測れるものであるが、結露時の判定はどう

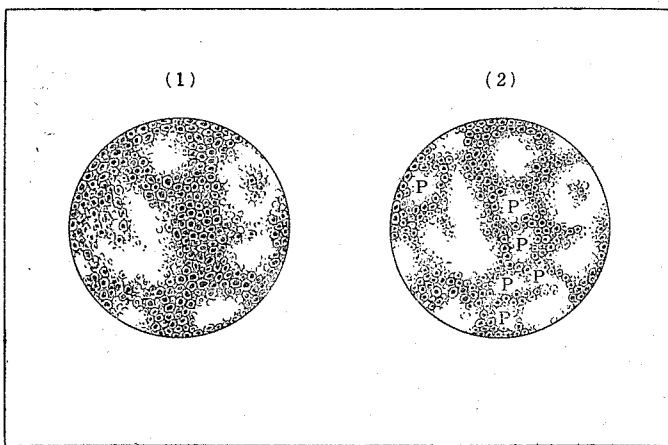


第 4 圖

であらうか。一體結露といふ現象は果して明確な溫度の限界をもつてゐるものであらうか。これは露點湿度計の原理に對する本質的な問題なのである。第 4 圖の電氣傳導度曲線の最初の山 A の意味について鈴木氏⁽³⁾は次の如く説明してゐる。即ち『A 點までは湿度の増加による表面吸着層水膜のイオン傳導が行はれるが、A 點に至つてイオンを中心とする凝縮即ち結露が始り、その爲に水膜が分裂してかへつて傳導度が一時わるくなる。然しこの水滴が成長して次に互に連絡を始めると再び傳導度が急増する』といふのである。このやうな意味では A 點を以つて結露の始りと明確に定義する事が出来る。従つて電氣傳導度と熱電對溫度を利用すれば非常に精確な露點測定が出来るわけである。ところが鈴木氏⁽³⁾によればこのやうな傳導度の極大の出現は表面の状況によつて異り、例へばよく洗滌すると出なくなり、アルカリ質が附着してゐるとはつきり出てくると報告されてゐる。筆者は第 3 圖の装置を用ひて A, B の間に、後述する水銀ピストンで一定湿度の空氣を P より間歇的に送つて結露の狀況を調べて見た。かうすると新しい空氣の進入時のみ結露があり、退出時には消えるので非常に鋭敏に結露の瞬間を見出す事が出来る。一例として顯微鏡下でスケッチしたものを第 5 圖に示す。

(1) は結露前、(2) は結露後である。黒白の斑點はエツデした硝子表面の模様であるがその白點のうち P 印のものが顯微鏡の視野の中に明滅する水滴である。この明滅は既に相對湿度 95% の空氣の場合から始つて居り、いつも同じ點で明滅する。湿度を高くするとその中の

あるものはもう消滅しなくなり、新に明滅の點が所々に増加し始める。この明滅する水滴の大きさは數 μ であつて普通肉眼で結露面にくもりを認める頃の水滴よりは一桁位小さいものである。尙よく見ると結露の表面には一定の湿度に對しては一定の結露點が存在し、しかも相對湿度 95 % 位から既に結露を始める點もある。こゝに用ひた結露面の表面には若干の鹽化リチウムが附着して

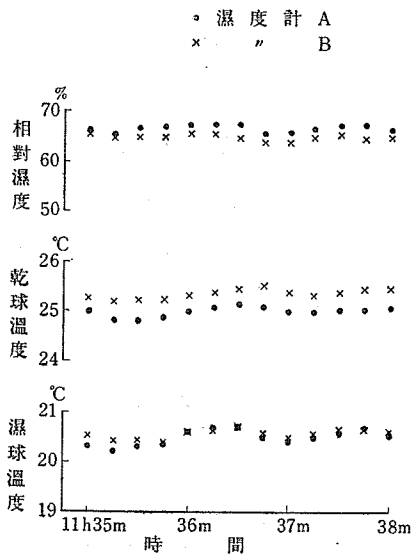


第 5 圖

居り、それによる飽和蒸氣壓降下が非常な役割をしてゐる事も考へられるが、完全に洗滌された面ではこのやうな事がなくすべて 100 % の湿度のみの結露點からなると云ひ得るかどうかは疑問である。この點に關しては尙今後研究を續行する積りであるが、露點湿度計に於ては結露面の撰定が極めて大切であるといふ事はこの事實より明瞭に斷言されるのである。

第 2 章 アスマン乾濕計の精度

3. アスマン乾濕計の精度



第 6 圖

乾濕計のうちでもアスマン通風乾濕計は精度がよく、野外観測用の湿度計としては最も信用の出来るものである。今試みに二つの計器で同時観測を行つた一例を圖示すれば第 6 圖の如くなる。温度計の系統的誤差を除けば兩者ともよく一致し、偶然誤差は相對湿度値で 1 % 以内である。

又零度以下の場合、花島氏⁽⁴⁾の吸接管法と比較した例は第 2 表に示す如く、相對湿度値で 2 % 位の誤差でよく一致する。

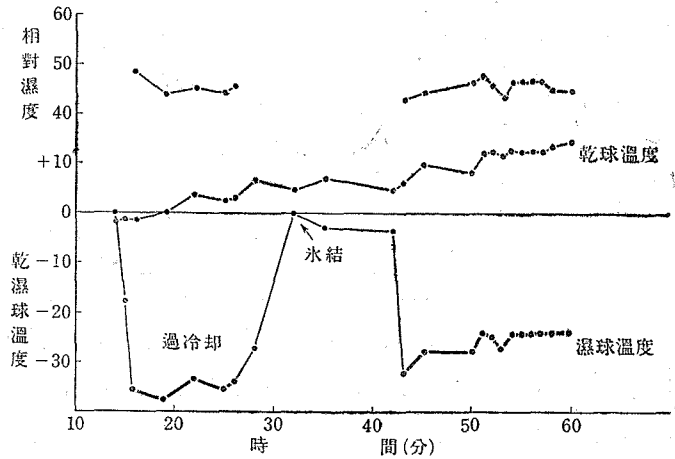
又濕球が過冷却の場合と氷結した場合の實驗例を第 7 圖に示す。濕球氷結前後の相對湿度

第 2 表

No.	アスマン乾濕計による				吸収管法による	
	乾	濕	絶対濕度	相對濕度	絶対濕度	相對濕度
1	-6.38°C	-6.75°C	2.66 g/m ³	86%	2.62 g/m ³	85%
2	-6.45	-7.27	2.34	76	2.39	78

値に格段の變化がない事はスプリングの公式がよく兩者に當てはまる事を示すものと思はれる。

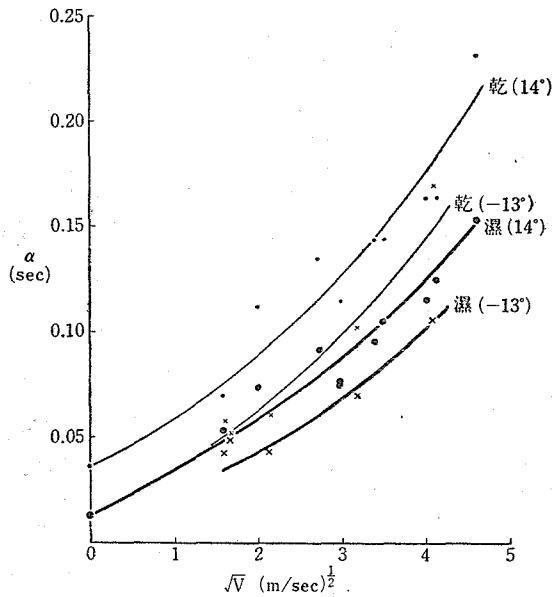
アスマン乾濕計はこのやうに比較的精度の高い計器ではあるが、使用する溫度計の精度に限りがあるので高濕になる程又低濕になる程精度が悪くなる。例へば溫度計の精度を 0.1°C と見れば -10°C 附近の高濕では相對濕度値の 3%、-20°C 附近では實に 5% の誤差が出来ることとなる。



第 7 圖

4. 遅れの問題

一般に大氣の中には色々の種類の溫度の微變動がある。溫度計はその球部の熱容量の爲に遅れを生じ、その大小に應じてこれらの變動の適當な時間的平均値を示す事となる。ところが濕球の遅れは乾球の遅れと必ずしも一致しない爲に、濕度の正しい平均を示さないといふ不都合が起る場合がある。普通用ひられてゐるアスマン乾濕計では、前掲の第 6 圖



第 8 圖

に示す程度のゆるやかな變動に對してはさしたる不都合は起らない。しかし次章に於て述べる熱電堆を利用した乾濕計の場合にはこれが問題となる。

乾球及び湿球を湿度 100% の風洞中に入れて温度を急變させ、その遅れの係数 α^* を求めて見た。その値を風速の平方根に對して並べて見ると第 8 圖に示す如くほぼ直線に近い關係となる。これは Edlund⁽⁵⁾が乾球に對して調べた結果と似てゐる。たゞ温度によつて直線の位置が平行に大きい方へずれてゐるし、又湿球と乾球では後者の α の方が大きい事に氣がつく。但し直線の傾斜は甚しくは違はない。これらの結果から考へると、アスマン乾湿計では通氣の速さは乾球部より湿球部の方を少し大きくして置くこと遅れを互ひに同じ程度にする事が出来るかもしれない。しかし湿球部の遅れについては尙もつと實驗的に調べる必要がある。

第 3 章 霧雪除け風洞と霧中の湿度

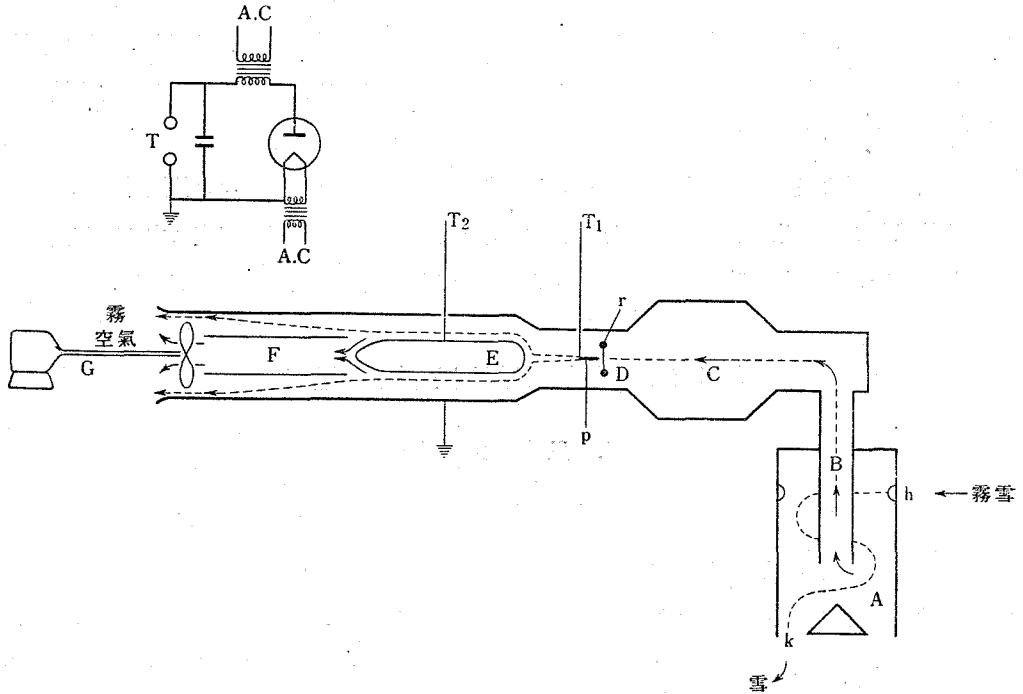
5. 風洞の設計

降雪中や又霧中の湿度は必しも 100% であるとは云はれない。我々の經驗ではアスマン乾湿計で 85% の湿度を示した霧もあつた。しかし一般には極めて高濕であつて、その上雪や霧が湿度計に附着する爲誤差を生じ、大抵の場合 100% 又はそれ以上の湿度を示す事が多い。霧中の湿度を嚴密に測る事は雪や霧の本質の究明の爲に必要とせられてゐるのであるが、以上のやうな理由で未だ完全に測定されてゐない。

霧雪中の湿度を現存の湿度計を用ひて精密に測定する爲には、湿度計の精度を出来るだけ高めることと同時に、大氣中の本來の湿度を變へないで霧雪を取除く工夫が必要である。筆者は渦流蒐塵器を利用して霧粒を除く風洞を試作した。その構造を第 9 圖に示す。雪と霧の混つた空氣は穴 h より渦流部 A に入る。A は中空の圓筒で、この中を空氣は渦流となつて降下するが、雪のみはその重さで益々その内壁に沿ひ螺旋狀に降下し k 部より外に放出される。一方 A の中心部にある圓筒 B からは雪の分離された空氣が霧と共に吸入されて前部測定室 C に入る。こゝでは霧のある空氣の温度、全含水量等を測定する。C を通つた空氣は放電部 D に行く。こゝでは高電壓 T_1 によつて、尖端 p より風洞壁にとりつけた輪狀針金 r に向つてコロナ放電が行はれ、それによつて空氣中の霧粒は帶電する。この帶電した霧粒は次の分離電場 E に至つて高電壓 T_2 による電場の爲に風洞壁側に分離される。かくして霧を分離された空氣は後部測定室 F に入り、霧はその外側の風洞を通つて外部に放出される。G は空氣吸入用の送風機である。

この風洞は使用して見ると色々の缺點が見つかり、數回の改良を加へた。未だ完全とは云ひ得ないが、若干の改良を加へれば目的を達し得るといふ確信を得た。以下製作の經過及び使用

* 遅れの係数 α は次式によつて定義する。即ち $F - f = \alpha \frac{df}{dt}$, ここに F は最終の示度、 f は時刻 t の示度である。



第 9 圖

結果に就て述べる。

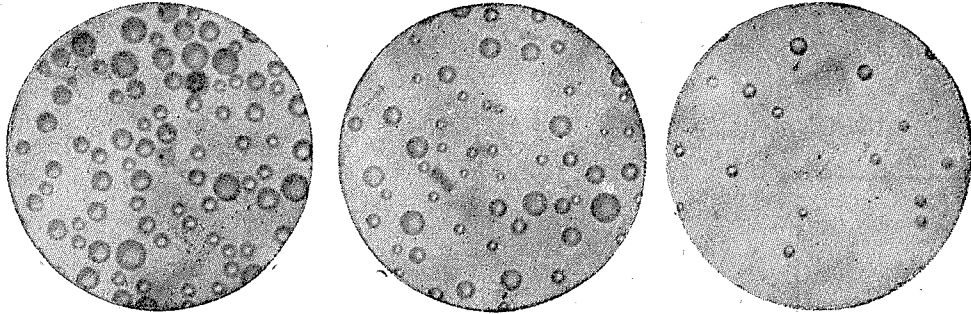
i) 除雪効果

初め渦流部 A の空気取入口にラツパ形の筒をつけて、空気の吸引速度を大きくし、且その方向が渦流部内壁に切線方向となるやうにしたが、着氷の爲に口が塞がれるのでこの筒はとつてしまった。しかし別に差支へは起らなかつた。又渦流部の底に穴 k を作つて落下した雪が溜るのを防いだ。さて雪は殆んどこの渦流部で除かれ、風の強いときわづかに粉雪が前測定室 C に入る位のもので除雪効果は良好である。

ii) 除霧効果

初め空気を回轉させ遠心力を利用して霧粒を分離する方法、又は油の前面へ霧を強く吸引し霧粒の慣性を利用して油の中に捕捉する事等を試みたが、何れにしても霧粒の重量はあまり大きくはないので簡単な装置では成功しなかつた。それで霧粒に電荷を與へ、その電氣による慣性を積極的に大きくして電場で分離する方法を試みた。前述の D 部のコロナ放電は約 1.5 kV の負電壓で行つて、こゝで負電荷を帯びた霧粒は E 部に於て、半径 4cm, 15cm の共軸圓筒間に 9kV 位の電位差を有する電場で中心より外側に向つて分離される。その分離の効果を小口氏⁽⁶⁾の顯微鏡寫眞で調べたところ、寫眞 1, 2, 3 の如くなつた。寫眞 1 は外氣中のもの、2 は風洞中で電壓をかけぬ場合、3 は放電電壓 17.5kV, 電場電壓 9kV の場合である。外氣

中と比べれば風洞に入っただけで既に若干粒が減少して居り、電場を強くすると次第に大粒のものから分離されるのがわかる。寫眞 3 でも未だ全部は分離されぬが、電場をもう少し強くすればよいものと思はれる。但し電圧をこれ以上強くするのは霧中の絶縁の困難さの爲に不可能に近い。よつて電極の形を變へる工夫をすべきである。



寫眞 1

寫眞 2

寫眞 3

iii) 風洞中の温度及び湿度の變化

氣象觀測に於て、外氣を百葉箱又は測定室に導入して測定する場合、その外氣の本來の状態を變化させないといふ事は甚だ大切なのであるが又甚だ困難である。それは壁の吸着能や霧粒の附着による濕氣の容量等がある爲に全體として温度や湿度の遅れを生ずるからである。一例を挙げるとある日の觀測では次の如くであつた。

百葉箱	外氣	風洞前部	風洞後部	(°C)
-2.05	-1.65	-1.05	-1.20	

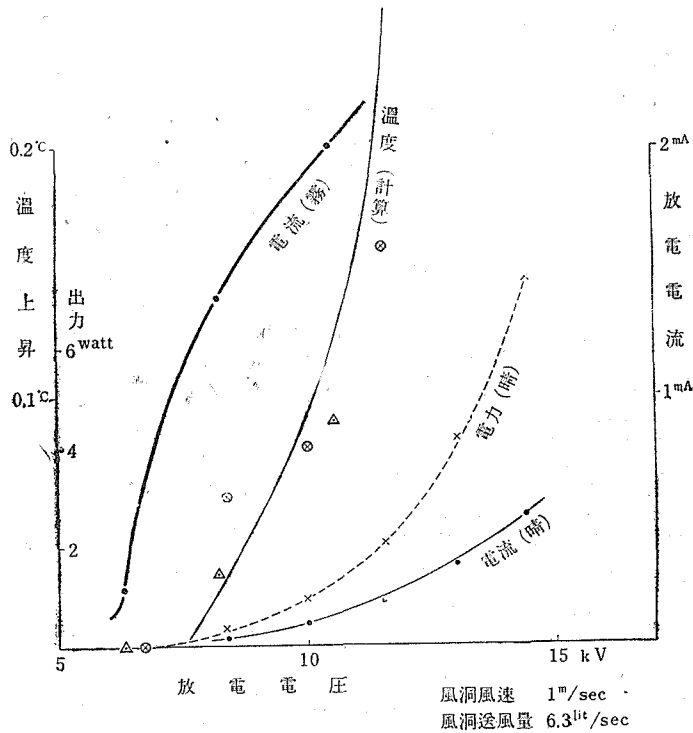
これ等の障害に對する策としては、次の如き方法をとつた。

- i) 風洞を鐵板製として日覆ひ板をつけること。
- ii) 測定室の部分は二重圓筒として通氣はこの二重圓筒の間をも流れるやうにすること。
- iii) 風洞の形は角のない平滑なものとして空氣のよどみをなくすること。
- iv) 通氣の速さを成るべく速く (3 m/sec) して、且つ温度計の球部等は測定室の中央に置くこと。

このやうな方法で大體 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以下の誤差で外氣の温度と一致させる事が出來た。

さて以上の如き注意をなしても尙且つ除き得られない誤差がある。それは風洞 D 部のコロナ放電による温度上昇である。第 9 圖の上部に示した如く 1 個のケネトロン、高壓變壓器及び蓄電器の結線で交流を半波整流した高電壓を電場、及び放電の電壓に共用し、改良前の風洞で實驗した結果を第 10 圖に示す。これを見ると晴れた日と霧の日とで放電電流は甚しく違ふ。しかし温度上昇は兩方の場合とも放電電壓のみで決る。試みに風洞送風量 6.3 lit/sec とし、晴れた日の出力が全部温度の上昇に用ひられるものとして計算した温度上昇曲線が霧の日

●——晴レタル日ノ放電電流 ⊙ 晴レタル日ノ温度上昇
 —●—霧中ノ放電電流 △ 霧中ノ温度上昇
 -x-x-晴レタル日ノ出力 — 出力ヨリ算出セル温度上昇



第 10 圖

の実際の場合とほぼ一致してゐる。これから考へると温度の上昇は針金先端のコロナ放電に原因するもので、しかも霧の有無には関係がなく、霧の日の放電電流の増加は他の部分の漏洩電流によるものと考へられる。このやうな温度上昇を避ける爲に、

- i) コロナ放電の電源を分離電場の電源と別にして獨立に調整出来るやうにし、なるべく出力を少くして使用し、又
- ii) 風洞の断面に比して放電部を小さくして、ここに於ける發熱部分を風洞の全空氣流中に擴散させ、しかも測定室に取入れる空氣は分離の能率の最もよい部分、即ち分離電場の高壓負電極の近くを通る部分のみを吸入するやうにした。第 9 圖はこのやうな考へのもとに設計したものである。實驗の結果は第 3 表の如く、晴れた日も、霧の日も前部測定室に比べて後部測定室の温度が特に上昇してゐるとは認められない。

次に湿度の問題であるが、花島氏⁽⁴⁾の方法によつて全含水量を調べて見ると(第 3 表参照)、

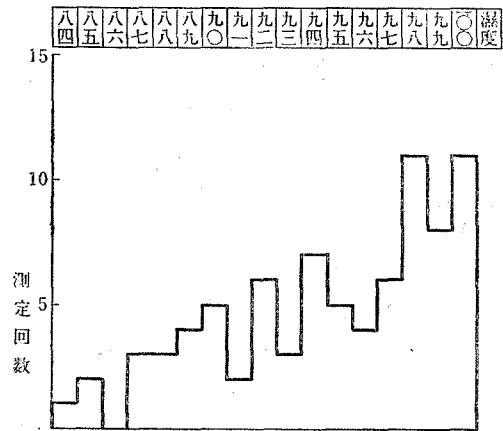
第 3 表

時 刻	天 氣	前 室		後 室		放 電
		温 度	湿 度	温 度	湿 度	
IV/13 1400	晴	-5.6°C	2.59 g/m ³	-5.7°C	2.58 g/m ³	なし
1441	晴	-6.5	2.39	-6.4	2.35	あり
IV/21 2113	霧	-5.1	3.34	-5.2	3.43	放電終止直後

晴れた日は前室と後室でさしたる違ひは認められないが、霧の日に後室の方がむしろ全含水量が多いといふ結果が出た。これはもしかすると壁にたまつた霧水からの再蒸發の爲かも知れない。この點は今後注意して改良を加へる必要がある。

6. 霧中の湿度の測定

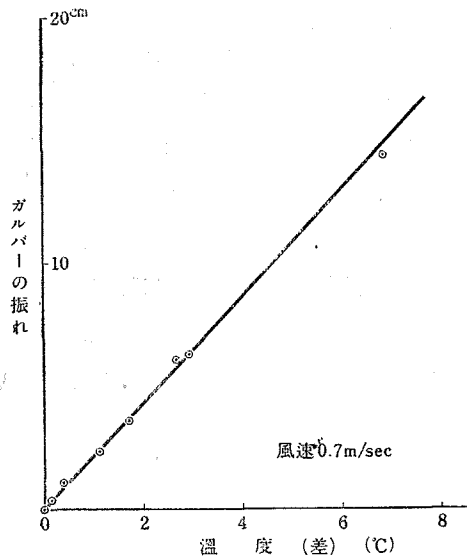
霧中で乾濕計を用ひて湿度を測る場合、乾球に霧粒が附着して乾球が濕球になる場合が多い。又濕球が凍結して居る場合、霧中の水蒸氣が逆に球部に凝縮したり、又は過冷却の霧粒そのものが附着氷結して潜熱を放出し、かへつて濕球の方が乾球より若干高い温度を示す事がある。このやうな誤差はすべて湿度を實際より高く示す結果となる。ところがこのやうな誤差を含めても尙且つ霧中の湿度が 100% でない場合が随分多い。たとへば第 11 圖は根室海岸の霧中でアスマン乾濕計を用ひて行つた湿度の觀測の統計⁽⁷⁾である。



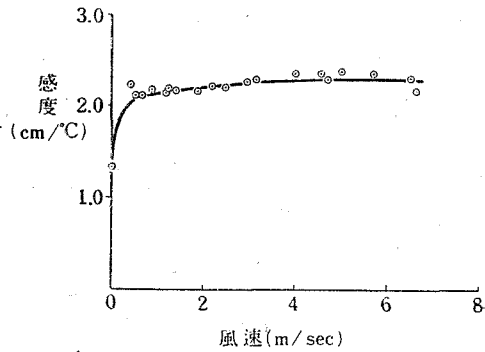
第 11 圖

このやうに霧中の湿度は 100% でない場合が多い事がわかつたが、又逆に眞に 100% を示す場合があるかどうかといふ事は、前述のやうな誤差があり、又アスマン乾濕計の温度計そのものの精度に限りがあるので何れとも斷定するわけにはゆかない。それで 100% 近くの湿度を精確に測る目的で、10 本の銅-コンスタンタン熱電對よりなる熱電堆乾濕計を作つた⁽⁸⁾。この乾濕計を普通の乾濕計と共に風洞中に入れ、普通の乾濕計の温度差と熱電堆乾濕計のガルバの振れとの關係を調べると第 12 圖の如く直線關係となる。次にこの直線の傾斜即ち熱電堆乾濕計の感度と風速の關係を調べて見たところ第 13 圖の如く風速 0.5 m/sec 以上はほぼ恒常となる事がわかつた。

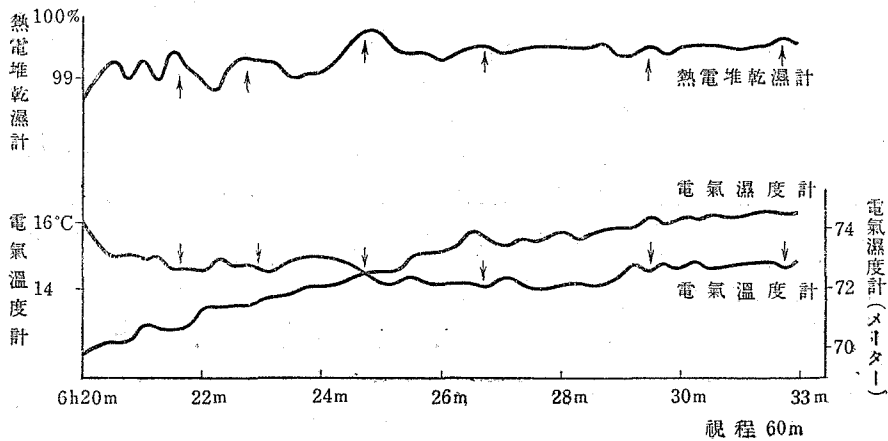
この乾濕計を用ひて前述の如き霧除け風洞で濕度を觀測した一例を示すと第 14 圖の如くなる。この乾濕計のガルバには乾球、濕球の溫度差のみが示されるので、別に敏感な電氣溫度計によつて氣温を同時に測定して濕度を計算した。その濕度の變化曲線を第 14 圖上方の曲線で示す。この圖を見ると溫度計の示度が急に降下するときに濕度計の方は急に上昇するやうな對應がかなりはつきり認められる。一方後述する電氣濕度計を同時に用ひて測定をしたが、そちらの方の示度は必ずしもこの濕度の上昇と對應しない。これは前章で述べた濕球の示度の遅れによる現象と思はれる。このような敏感な濕度計の場合は、大氣中の氣温の微細な變動が強く影響するので、乾球と濕球の遅れの係數を同じにするやうな工夫が特に大切である事がわかつた。しかしこのやうな原因による誤差は、溫度が降下の際は實際より高い濕度を示すことに



第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖

なるので、この誤差を含めて考へてもこの場合は 100% の湿度値にはなつてゐないといふ事はつきりいはれるわけである。この時の霧の観測を通じて、この乾湿度計の示度が 100% を示す事も若干あつたが示さない事の方が多かつた。尙この第 14 圖中に示される電気湿度計の示度の漸増の傾向は、この風洞では未だ完全に霧粒がとり切れないで湿度計の感濕面に若干霧粒が附着してゆく結果と思はれる。

第 II 部 湿度計の檢定

第 1 章 吸収湿度計

湿度計の檢定をなすに當つては先づ標準用の精密湿度計が必要である。しかもこの計器の目的は、比較的小さな容積の空氣の絶對湿度を精密に測定するにある。種々考究の結果、Rideal-Shaw 型吸収湿度計⁽⁹⁾を改良して新しい吸収湿度計を試作する事とした。

7. Rideal-Shaw 型吸収湿度計の原理及び誤差

この湿度計の原理を第 15 圖で説明する。總ガラス製であつて、先づコック K_1, K_2, K_3 を開き測定しようとする空氣を水銀ピストン A の操作によつて資料室 SB (aa') に吸入する。又この時 K_4 も開いて置いて同一の空氣の一部が補償室 CB にも入るやうにし、壓力計 M が平衡するのを待つて K_1, K_2, K_4 を閉じる。再び K_2 のみを開いて水銀ピストン A, B を操作し、SB 中の空氣を吸収室 AB 中に移す。AB は初め濃硫酸で滿されて居るが、空氣の移入と共に硫酸は下部の S(bb') に入り、AB 部の器壁の硫酸と共に AB 中の空氣の水蒸氣を吸収する。この吸収作用の完了と共に空氣は完全に乾燥し、壓力計 M は若干の壓力差を示す。この壓力差は吸収された水蒸氣の有してゐた壓力に他ならない。但し上記の操作中、資料の空氣の溫度變化による壓力變動も生ずるわけであるが、豫め CB 部中に導入せられた空氣もこれと同じ變動をして、溫度變化による壓力變動を相殺し、壓力計の示度には影響を與へない事となる。

吸濕による壓力變化即ち水蒸氣壓を知るには、壓力計 M に指示された壓力差を讀取ればよいのであるが、但しこの際壓力計中の液頭の平衡位置からの移動に伴つて AB の資料空氣は若干の體積變化をなし、讀取り値にこれに基づく補正を行はなければならない。又測定する壓力の範圍は讀取りの精度に比して相當大きいので壓力計の長さが長くなる。これらの不便を除く爲には、ピストン B によつて AB 中の資料空氣を壓縮して壓力計中の液頭を再びもとの平衡位置にもどし、その際の壓縮體積より水蒸氣壓を算出すればよい。壓縮管 CT 中の水銀頭の移動距離を r とすれば、水蒸氣壓 x は Boyle の法則より次式によつて算出される。

$$x = \frac{v_0}{V} Br \quad (7.1)$$

B : 大気圧. V : 吸収室 AB の容積. v_0 : 壓縮管 CT の單位長の容積.

H. W. Harkness⁽¹⁰⁾ はこの濕度計による測定に當つて次の三種の誤差を生ずる事を指摘した.

i) 導管に残存する空氣 (idle air) による誤差

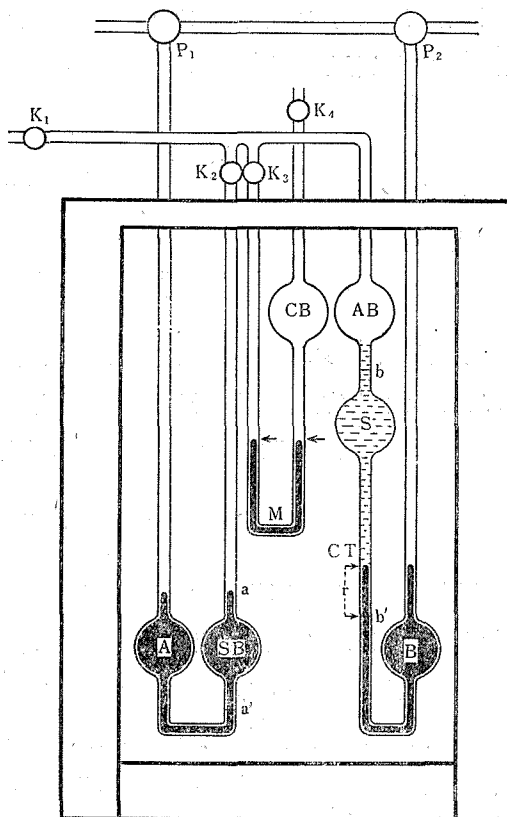
吸入口より資料室, 及び吸収室に至る導管中に測定前より残つてゐる空氣は如何にしても取除く事が出来ず, 資料空氣中に混入して若干の誤差を生ずる.

ii) 硝子管壁の吸着による誤差

吸収室以外の硝子管壁は以前接觸して居た空氣と濕度平衡を保つてゐたため, 新に吸入した資料空氣の濕度が以前の濕度と甚しく異なる場合は壁よりの發濕又は吸濕の影響を受けて本來の濕度を變化させる恐れがある.

iii) CB 部と AB 部の溫度が等しくない爲の誤差

CB 部と AB 部の溫度が等しくない時は, AB 部の溫度變化による壓力變化を除去することが出来ない.



第 15 圖

8. 新型吸收濕度計の設計

前節で述べた誤差を可及的に除去し, 且つ -20°C 位までの空氣中の濕度を測定しようとする目的で第 16 圖のやうな濕度計を設計した. 以下各部の構造に就て述べる.

1. 管壁の吸着による誤差を除く爲に, 資料室 SB と補償室 CB を連結し, 豫め資料空氣の一部を流通させて管壁との濕度平衡を保たせる.

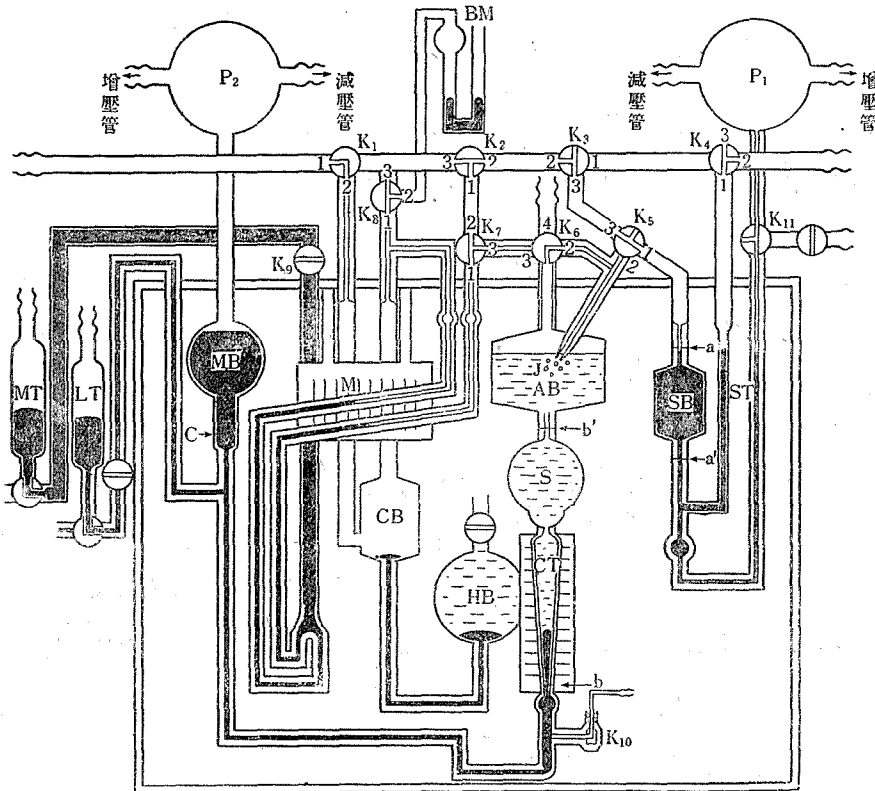
2. 導管に残つた空氣による誤差を小さくする爲に, 資料室 SB と吸収室 AB とは隣接させ, 毛細管で連結させる.

3. 溫度變化による誤差を小ならしめる爲に, AB, SB, CB は恒溫水槽に入れ, 且つ S 部の硫酸の溫度變化をも補償する爲に, 硫酸補償部 HB を作り, CB と連絡する.

4. 吸収速度を大きくする爲に、資料室 SB は細口 J より気泡となつて硫酸中を上昇し吸収室に入るやうにした。

5. 壓縮管 CT の長さを短くする爲に特殊の形を設計した。

6. 壓力計 M は傾斜型として感度を高め、又補償室 CB の壓力を知る爲に外氣壓との差を測る水銀壓力計 BM をつけた。尙壓力計 M 中の液はキシロール (凝固點 -27°C) を使



第 16 圖

用した。

7. 壓力計及び壓縮管の液頭部調整の爲調整管 MT, LT を設けた。

8. ピストンの操作は真空ポンプ及び毛細管を利用した空氣漏洩装置によつて行ふ。

9. 吸収劑の硫酸は凝固點を降下させる目的で 93.25% の水溶液を使用した。しかしその吸収能力は純硫酸と殆んど違はない。

10. 測り得る壓力範圍は $1\sim 20\text{mmHg}$ とし、 $\frac{1}{100}$ 以内の誤差で使用し得るやう設計した。

次に各部の大きさを決定する爲に、次の如き基礎的考察を行つた。

資料室 SB の大きさ (V):

本計器で測定し得る最小壓力を Δx とすればそれに應ずる壓縮管の移動量 Δr は (7.1) 式

より

$$\Delta x = \pi a^2 \Delta r \frac{B}{V}$$

よつて

$$\Delta r = \frac{\Delta x}{\pi a^2} \frac{B}{V} \quad (8.1)$$

で表はされる。但し a は壓縮管の半径である。實測し得る Δr は最小 0.5mm と做し、 $B=760\text{mmHg}$ として (8.1) 式より V を算出すると

$$V = \pi \cdot a^2 \cdot B \frac{\Delta r}{\Delta x} = \pi \times 1 \times 760 \times \frac{0.5}{0.01} = 119.3\text{cc}$$

となる。よつて SB の大き V は約 100cc に決める。

壓縮管 CT の形：

測定しようとする最大壓力を x_m とすれば、壓縮管の全容量 v_m は (7.1) 式より

$$v_m = \frac{x_m V}{B} \quad (8.2)$$

前述第 10 項の要求により、 $x_m=20\text{mmHg}$ とし $B=760\text{mmHg}$ とすれば $V=100\text{cc}$ より

$$v_m = \frac{20 \times 100000}{760} = 2630\text{mm}^3$$

となる。もしその形を半径 1mm の圓管とすれば、その長さは 84cm となつて計器の構造上甚だ不便である。一方實測し得る最小壓は 0.01mmHg であるから、 $x_m=20\text{mmHg}$ の測定の際の誤差率は $\frac{1}{2000}$ となつて、その精度は必要以上のものである。それで壓縮管の起點より離れるに従つて管徑を太くし、常に $\frac{1}{100}$ の精度を保ち得るようにすれば、その長さを短縮出來て便利である。今壓縮管 CT の起點からの距離を r とし、 r までの全容積を v とする。 $\frac{1}{100}$ の精度で測るべき壓力範圍を 1~20mmHg とし、それに應ずる r 及び v の範圍を夫々 $r_1 \sim r_2$ 、 $v_1 \sim v_2$ とすれば (8.2) 式から次の關係が出る。

$$\left. \begin{aligned} x_1 = 1\text{mmHg} & \quad v_1(r_1) = 132\text{mm}^3 \\ x_2 = 20\text{mmHg} & \quad v_2(r_2) = 2630\text{mm}^3 \end{aligned} \right\} \quad (8.3)$$

r に於ける壓縮管 CT の半径を $a(r)$ とすれば、CT の形を決定すべき基礎方程式は次の如く表はされる。

$$v_1 + \pi \int_{r=r_1}^r a^2 dr = 100\epsilon \pi a^2 \quad (8.4)$$

ここに ϵ は測定し得る r の最小値で、 $\epsilon \pi a^2$ は壓縮管の r の位置に於ける誤差を表はす。 $r \geq r_1$ で上式が成立つものとし、その解を求めれば次の如くなる。

$$a = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{v_1}{\pi \epsilon}} e^{\frac{1}{200\epsilon}(r-r_1)} \quad (8.5)$$

ϵ は前述の如く 0.5mm とし、 v_1 は (8.3) 式より 132 mm³ とすれば

$$a = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{132}{\pi \times 0.5}} e^{\frac{1}{200 \times 0.5}(r-r_1)},$$

$$a = 0.92 e^{\frac{r-r_1}{100}} \tag{8.6}$$

であつて、 $r=r_1$ では $a_1=0.92\text{mm}$ となる。

半径 a は実用上 1mm 以下にするのは好ましくないので、 r の値が $0 \sim r_1$ のときは(8.4)式に従はないで、半径 a_1 の圓管とした。従つて

$$r_1 = \frac{v_1}{\pi a_1^2} = \frac{132}{\pi(0.92)^2} = 50\text{mm}$$

となる。又(8.3),(8.4)式より r_2 を求むれば

$$r_2 = 196\text{mm}$$

となり、前述の半径一樣なる場合に比べれば約 $\frac{1}{4}$ の長さで充分である。(8.6)式より求めた $a(r)$ の數値は第4表に示す。又これより CT の形を描けば第17圖の太線の如くなる。

第 4 表

r	$(r-r_1)/100$	$e^{\frac{r-r_1}{100}}$	a	v	$x(v=100)$
0			0.92		
50		1	0.92	132	1mm Hg
70	0.2	1.22	1.12		
90	0.4	1.49	1.37		
110	0.6	1.82	1.67		
130	0.8	2.23	2.05		
150	1.0	2.72	2.50		
170	1.2	3.32	3.05		
190	1.4	4.06	3.74		
196	1.46	4.33	3.98	2630	20mmHg
210	1.6	4.95	4.55		

壓力計の傾斜度：

壓力計にはキシロールを用いてゐるが、感度をあげる爲に傾斜させた。しかしこれも不必要に鋭敏なものでもなくともよいので、要求される大體の程度を計算してみる。

今壓縮管の水銀の柱頭面を $4r$ だけ移動したとき、吸収室 AB 及び壓力計の柱頭面までの導管の體積を含めた全體積 V が $4V$ だけ變化して壓力 B は $4B$ 増加したものとすれば、Boyle の法則によつて

$$4B = -\frac{4V}{V} B$$

この時壓力計の讀みを Δz , その半徑を c , 傾斜角を θ , 壓縮管の柱頭面の半徑を a とすれば, 上式は次の如く書き變へられる.

$$\frac{\rho \Delta z \sin \theta}{13.6} = \frac{\pi \Delta r a^2 - \pi \frac{\Delta z}{2} c^2}{V} B$$

ここに ρ はキシロールの比重で, その値は 0.86 である. 壓縮管の最も細い部分の感度と壓力計の感度を同じものとし, 即ち $\Delta z = \Delta r$ とし, 更に $a_0 = c = 1 \text{ mm}$, $B = 760$, $V = 100$ として θ の値を求むれば

$$\theta = 11^\circ$$

となる. 即ち傾斜角 θ が 11° で半徑 1mm なる壓力計ではその柱頭面の移動は壓縮管の水銀の動きと同じ程度となる.

吸収室の利用されざる空隙 (idle space) の大きさの問題:

吸収室 AB と壓力計 M との間の導管には乾燥空気が残留し, これが誤差の原因となる. 従つてこの導管の容積は吸収室の一部として用をなさぬ空隙即ち idle space であつて, 可及的に小さくしなければならぬ. 今こ

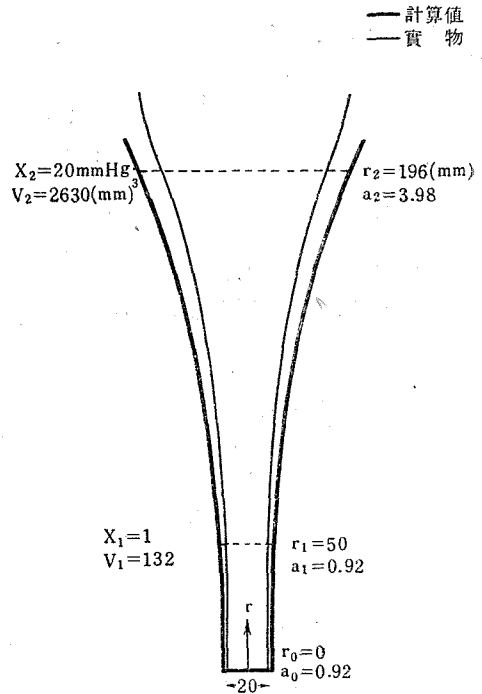
の空隙の容積が v' で豫め乾燥した空気が残存してゐるものとして, これによつて起る誤差を計算して見る. 測定すべき空気 V が吸収室に入つて來たとき, その空気の濕氣は idle space の空気中に擴散するが, これは間もなく吸収される場合 (a) と, なかなか吸収されぬ場合 (b) とに分けて考へる.

(a) この場合は極めて簡單であつて, 吸収室の實効容積が V でなくて $V + v'$ であるものとして (7.1) 式を書き直せばよい. 即ち

$$x = \frac{v_0}{V + v'} Br \quad (8.7)$$

となる. 従つて (7.1) 式より算出した値は眞の値より大きく, その誤差を 1% に止めようとするならば, v' は V の $\frac{1}{100}$ 以下にしなければならぬこととなる.

(b) この場合は idle space は吸収室として働かぬ故に吸収室の實効容積はもとの V である. ただ資料空気が吸収室に吸入された初め濕氣が idle space に擴散する結果吸収室に於け



第 17 圖

る蒸気圧 x' は

$$x' = x \frac{V}{V+v'}$$

となる。但し x は眞の蒸気圧である。この x' を (7.1) 式に代入すると

$$x = \frac{v_0 Br}{V} \cdot \frac{V+v'}{V} \quad (8.8)$$

となる。従つて (7.1) 式より算出した値は眞の値より小さく、その誤差を 1% に止める爲には矢張り $v' < \frac{1}{100} V$ でなければならぬ。

(a), (b) は共に誤差の極大の場合であつて実際にはこの中間の場合が起るものと考へられる。

硫酸の熱膨脹に対する補償:

既に述べたやうに測定中の温度變化に対する資料空氣の壓力變化は補償室 CB の空氣によつて補償され、しかも CB と AB の體積が等しくなくても構はない。ところがこの他に吸收室の硫酸の熱膨脹による體積變化をなす爲に起る誤差がある。今資料空氣の容積を V 、硫酸の容積を V_1 として吸收室中にて起る壓力變化 ΔP 、體積變化 ΔV 、温度變化 ΔT の間の關係を求めると

$$\frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$$

となる。 ΔV は硫酸の見掛けの膨脹によつて起されるものであるからその膨脹係數を α とすると

$$\Delta V = -\alpha V_1 \Delta T$$

となる。以上の二式より

$$\Delta P = P \Delta T \left(\frac{1}{T} + \alpha \frac{V_1}{V} \right) \quad (8.9)$$

となる。 $P=760$ 、 $T=253$ 、 $\alpha=0.53 \cdot 10^{-3}$ 、 $\Delta T=1$ とし、 $\frac{V_1}{V}$ には設計された値 $\frac{3}{2}$ を用ひて上式を計算すると

$$\Delta P = (3.00 + 0.62) \text{mmHg}$$

となつて硫酸の膨脹による部分だけでも 0.62mmHg となり、矢張りこれも何等かの方法で補償する必要がある。それで空氣補償室 CB に更に硫酸補償室 HB を接続してこれを補償することとし、補償室と被補償室との體積の差による誤差を計算してみる。即ち (8.9) 式の二次微分をとつてみると

$$S(\Delta P) = \alpha \cdot \Delta T S \left(\frac{V_1}{V} \right) \quad (8.10)$$

となる。今 $S(AP)$ が 0.01 mmHg 以内に止まるやうにする爲には上式より $S\left(\frac{V_1}{V}\right) = 0.025$ 以内にせねばならぬ。即ち空氣と硫酸の容積の比が兩部に於て 2.5% 以内で合ふやうにせねばならぬ。

9. 製作の實際及び使用結果

各部の容積に就て 各部の容積を前節の考察によつて要求される程度の精密さで製作することはかなり苦心を要するのであるが、大體満足される程度に出來た。資料空氣の容積は 105 cc とした。第 16 圖の aa' 間及び bb' 間がこの容積となつてゐる。壓力計の傾斜度は種々の都合で 6° とした。尙使用した硝子はテレックスである。

硫酸に就て 使用した硫酸は 93.25% のもので實驗の結果 -32°C まで凍らなかつた。吸收室の硫酸は 155 cc であるが、實驗を行ふ度に吸濕によつて多少濃度が變り吸收能力が悪くなる。今何回の實驗によつてこの濃度が 1% 變化するかを計算して見ると下記の如くなり、この程度の容量で充分と考へられる。

温 度	空氣の濕度	硫酸濃度 1% 減少するまでに使用可能回數
15°C	80%	176 回
-5	90	595
-15	100	1227

補償部分の硫酸を直接空氣補償室 CB に連絡することはいけないので間に水銀を入れた。そして水銀の容積 14.4 cc 、硫酸 150.8 cc とし、兩者の合計の膨脹が丁度 155 cc の硫酸のみの膨脹と等しくなるやうにした。

壓縮管 CT に就て 壓縮管 CT の實物は、10 數回の試作により第 17 圖の細線に示す如く理論より出した形にほゞ近いものを得る事が出來た。しかしこの部分が本濕度計の一番大事な測定部であるので、水銀柱頭面の讀みは管の後部に目盛つきの鏡を置いて行ひ、視差による誤差をなくした。又この讀みより壓力を求めるに當つて必要とする目盛(r)~壓力(x)の對照表は單なる計算によるのみではなく、實測をも行つて定めた。その方法は次の如くである。

水銀柱頭面の讀み $r=0$ に於ける吸收室 AB 中の壓力を P 、その容積を idle space をも含めて V とする。一方補償室の方から空氣を注入して壓力計のバランスを取り、その時の壓力 P をゲツチンゲン型精密壓力計で測る。次に水銀柱 r に於ける AB 中の壓力を $P+x_c$ 、容積を $V-v_r$ とすると

$$PV = (P+x_c)(V-v_r)$$

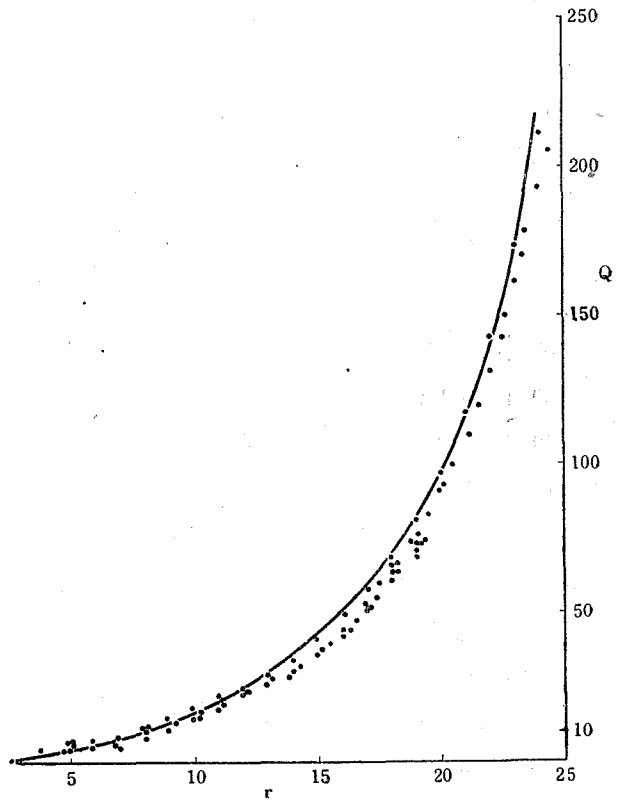
の關係より

$$\frac{x_e}{P+x_e} = \frac{v_r}{V} \equiv Q(r) \tag{9.1}$$

となる。上式の左邊はゲッチングン壓力計によつて實測し得るから各 r に於ける $\frac{v_r}{V} = Q(r)$ の値を求める事が出来る。第 18 圖はかくの如くして實測した $\frac{v_r}{V}$ の形と、先の CT の實際に製作された形について計算した値(實線)を示す。兩者には若干の系統的差違があるので、實測値の方を採用する事にした。かくの如くして r に對する $\frac{v_r}{V}$ が求められれば湿度 x は (7.1) 式の $v_0 r$ を v_r に置換えた式

$$x = \frac{v_r}{V} B \tag{9.2}$$

を用ひて直ちに求める事が出来る。



第 18 圖

實測結果に就て 實測にあつては先づポンプを用ひ、資料と同じ空氣で豫め資料室 SB, 補償室 CB を充分洗滌した後、資料空氣を SB 中に吸入し、次でこの空氣を全部吸収室 AB に移す。暫時の後壓縮管 CT 中の水銀柱を調整して壓力計を平衡させ、その時の水銀柱頭面の位置 r を測定するのである。その結果の二例を第 5 表に示す。實驗 No.6 では最初から示度 r が非常に安定である。然るに No.8 では最初の値よりは次第に増し約 17 分後に安定した。しかしその後 2—3 時間は再び變動し、15 時頃より又もとにもどつて安定した。表には吸収室 AB 及び補償室 CB 附近の溫度を併記してあるが兩者の溫度及び其の變化は殆んど同じである。たゞ上記のやうな r の不安定は溫度變化の始まる頃起り、その變化が止ると安定になり、その溫度が違つても r は初めの値にもどるといふ事から考へると補償の不完全によるものとは思はれない。

又この湿度計の測定が果して眞の値を示すかどうかといふ點に就ては資料空氣の別の方法による精密な檢定が必要である。こゝでは空氣取入口近くで通風乾濕計を用ひて測つた値を示してあるが、この値とはほぼ一致する場合もあるし、又甚しく違ふ場合もあつて、はつきりした

第 5 表

時 刻	記 事	溫 度		吸 收 濕 度 計			通 風 乾 濕 計			相 對 濕 度
		CB	AB	r	Q	mmHg	濕 球	乾 球	mmHg	
No.6		°C	°C	cm			°C	°C		%
1640	(SB) 空氣洗滌開始						7.85	12.45	5.12	45
1710	同上	11.7	11.7				6.40	11.60	4.60	45
12	同上						6.20	11.50	4.45	44
15	(CB) 同上						6.40	11.50	4.65	46
20	同上	11.7	11.7							
30	SB吸收			B=761.2 mmHg						
40	AB同上									
50	測 定	11.7	11.7	15.85	52.2	3.97				
1805	同上			15.80	51.8	3.94				
20	同上	11.65	11.65	15.80	51.8	3.94				
No.8										
1020	(SB) 空氣洗滌開始						9.45	13.60	6.80	57
40	同上	10.7	10.8							
50	同上						6.4	11.9	4.44	41
55	(CB) 同上	10.75	10.8				5.9	11.7	4.04	39
59	同上									
1110	SB吸收			B=766.7 mmHg						
20	AB同上									
28	測 定	10.8	10.9	15.90	52.4	4.02				
35	同上	10.8	10.9	16.10	54.0	4.14				
45	同上	10.8	10.8	16.20	55.0	4.22				
1220	同上	10.75	10.75	16.20	55.0	4.22				
1348	同上	11.1	11.2	15.15						
1439	同上	11.4	11.5	15.30						
50		11.15	11.1							
1500		11.15	11.15							
06	測 定			16.30						
1614		11.40	11.35							
17	測 定			16.20	55.0	4.22				

事は云はれないが、もし乾濕計の値が信用出来るものとする、このやうな違ひは何に起因するかといふ事が重大な問題である。この湿度計の性能に関する實驗は未だ中途であつて、尙色色調査すべき點があるが、今述べた二點即ち温度變化のある際の示度の不安定と、測定値に於ける比較的大きな誤差はどちらも硝子管壁の吸着の問題に關聯があるやうに思はれる。それで更にこの吸着の問題をよく調べてから再びこの湿度計の研究に移る積りである。

第 2 章 湿度計檢定裝置

10. 發 濕 裝 置

こゝで取扱ふのは専ら小さな空間の相對湿度を一定に保持する方法であつて、後述する電氣湿度計の如きものの檢定を目的としてゐる。實際に種々の檢定裝置を作つてみて解つたのであるが、一般に次の三點即ち温度、發濕機構及び器壁の影響に注意する事が必要である。以下項を分けて詳述する。

i) 温度の問題

空氣の絕對湿度は變へずに、ただその温度を 1°C 上昇させるとその相對湿度は第 6 表の如く減少する。これを見るとわかるやうに、湿度が高い程、又温度が低い程この變化は大きい。

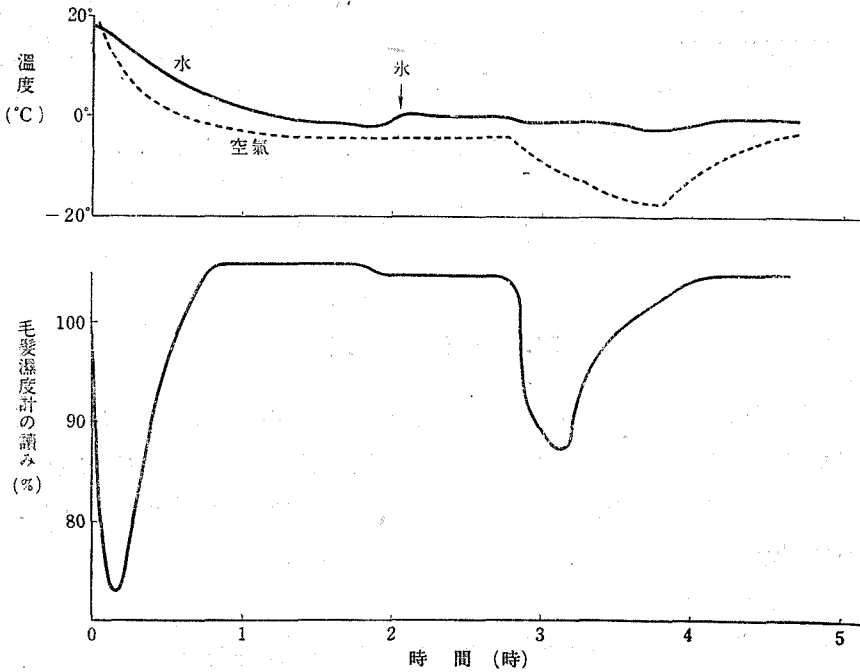
第 6 表

湿度 \ 温度	100%	95	75	50	25	5
20°C	6.0	5.6	4.5	3.0	1.5	0.3
10	6.4	6.0	4.8	3.2	1.6	0.3
5	6.6	6.3	5.0	3.3	1.7	0.3
- 5	8.1	7.7	6.1	4.1	2.1	0.4
-10	8.4	8.0	6.3	4.2	2.1	0.4
-15	8.8	8.3	6.6	4.4	2.2	0.4
-20	9.1	8.6	6.8	4.5	2.3	0.4

硫酸の水溶液を發濕劑としてその上に平衡させた空氣を用ふる場合、この空氣の温度が急變したり、又は液温が氣温と違つてゐる場合は上記のやうな意味の湿度の變動が起る。但し液温と氣温が等しいまゝでゆつくり温度が變化する場合は相對湿度は左程變化しない。その程度は後述の第 7 表からわかるやうに 1°C の温度變化に對して 0.1% 位のものである。

又 0°C 以下で 100% 附近で實驗をする時、温度の急變が前述のものとは違つた種類の湿度變化を起す。その一例として瓶中に水と毛髮湿度計を入れて急冷したときの瓶の中央部の氣

温、液温及び湿度計の讀みの變化の狀況を調べてみると第 19 圖の如くなる。これを見ると氣



第 19 圖

温が急降下するときに湿度計の讀みはかへつて甚しく減少する。このやうな原因としては硝子壁に水蒸氣の昇華を起して中央部から水蒸氣が移轉し、中央部が乾く事も考へられるし、又湿度計の温度降下が気温よりも遅れる爲に感濕部附近の相對濕度が減少する事も考へられる。尙この圖の中にも、一度過冷却になつた水が、次いで氷になつたときの湿度變化が湿度計の示度に現れてゐるのが見られる。このやうに恒濕の檢定槽を作る爲には同時に可成りの注意を以つて温度を一定に保つことが必要である。

ii) 發濕装置及び標準湿度

比較的小さい容器を檢定室とする場合、その中の湿度を正確に測定するには、現在では未だ露點湿度計を用ひる外はない。然しこれは測定室の温度を變へるので具合がわるい。それで普通行はれるやうに、酸や鹽類の水溶液を用ひてそれと蒸氣平衡を保つた空氣を用ひ、その湿度はその水溶液の濃度を正確に測つて定める事とした。

水溶液としては、廣い範圍の湿度を作る事が出来、又その濃度との關係もよく調べられてゐるといふ理由で硫酸水溶液を採用する事にした。硫酸濃度とその平衡湿度との關係に就いては色々の測定があるが、R.E.Wilson⁽¹¹⁾ がこれ等をまとめて作製した表が便利なのでこれを採用した。第 7 表に示したのがそれである。この表には 0°C 以下のものがないが 0°C 以上の

値から外挿法によつて求めた。實際に -10°C から 30°C 位の範圍に亘つて使用した結果は

第 7 表

H_2SO_4 %	0°C %	25°C %	50°C %	75°C %
0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	98.4	89.5	98.5	98.6
10	95.9	96.1	96.3	96.5
15	92.4	92.9	93.4	93.8
20	87.8	88.5	89.3	90.0
25	81.7	82.9	84.0	85.0
30	73.8	75.6	77.2	78.6
35	64.6	66.8	68.9	70.8
40	54.2	56.8	59.3	61.6
45	44.0	46.8	49.5	52.0
50	33.6	36.8	39.9	42.8
55	23.5	26.8	30.0	33.0
60	14.6	17.2	20.0	22.8
65	7.8	9.8	12.0	14.2
70	3.9	5.2	6.7	8.3
75	1.6	2.3	3.2	4.4
80	0.5	0.8	1.2	1.8

第 8 表

浮秤式比重計による測定 (1)	1.1378
同 上 (2)	1.1373
比重瓶による測定	1.1370

別に不都合は起らなかつた。

硫酸の濃度を測るのには、大量にある場合は大型の浮秤式比重計を用ひて小數下四桁まで測つた。一例として比重瓶を用ひたものと比較して見ると第8表の如く小數下三桁まではよく合つてゐる。液が少い場合は比重瓶によるか又は滴定法による他はない。後者の方が簡便なので苛性ソーダ液を用ひて滴定法を行つた。一度の測定に三回の讀みの平均をとり、この値と比重計による測定値とを比較して見ると第9表の如くなり、比重計より一桁精度は落ちるが小數點以下を無視するならば差支へない。筆者の實驗では成る可く比重瓶か又は浮秤を用ひて湿度値で小數下一桁まで正確を期する事とした。

次にこれらの硫酸溶液の上の空氣の湿度平衡を迅速にし、且つその空氣を測定室に導き入れる爲に

第 20 圖のやうな装置を考案した。圖の B_1 , B_2 中には所定の硫酸溶液を入れ、この中を泡立たせた空氣を測定室 A に導くのである。その循環の方法は、モーターを直結した送風ポンプ等を用ふるのでは、モーターの發熱の爲に空氣の溫度が上昇する恐れがあるので、圖の P に示すやうに水銀ピストンを上下させる事にし、空氣はこのピストンの内部に出入するだけで熱的影響を蒙らないやうにした。このピストンで空氣を一方向きに循環するときに必要な逆流留めの辨は B_1 , B_2 の泡立ちの瓶自身が兼ねてゐる。即ちこの圖では B_2 瓶の底にある水銀が毛管部に上昇して壓力差を作り、 B_2 よりピストンへ空氣の逆流を防いでゐるわけである。尙こ

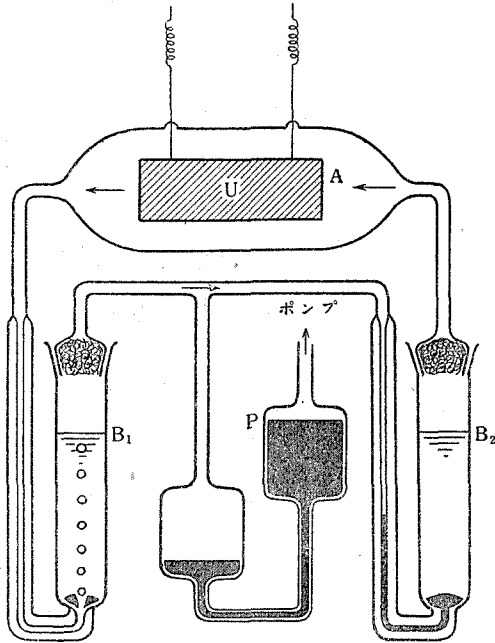
の泡立の際液滴を濾過するため、瓶の上方にガラス綿をかたくつめてある。この泡立ちの瓶の

第 9 表

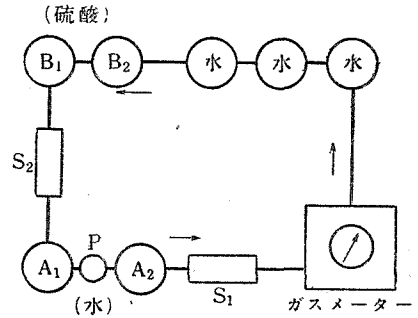
硫酸液	硫酸濃度	
	滴定による	比重計による
A	14.5%	14.61%
A'	5.2	5.08
B	23.8	24.44
C	31.4	31.83
D	38.0	38.68
E	43.2	44.02
F	48.4	48.74
G	55.7	56.32
H	59.90	60.83

吸湿又は發湿の性能を花島氏の吸
收管⁽⁴⁾を用ひ、第 21 圖の如き配
置方法で調べた。即ち水中を充分
泡立たせて濕らした空氣を濃硫酸
液を入れた瓶 B 中で更に泡立せ
た後その水分を吸收管 S₂で測る。
又この吸收管で完全に乾かした空
氣を水を入れた瓶 A に泡立せ、そ
の水分含有量を吸收管 S₁で測る。

このやうにして 10lit の空氣を
循環させて調べた結果は第 10 表
の如くである。即ち完全に乾いた
空氣を水で濕らす場合は 92.3%



第 20 圖



第 21 圖

の發湿能力があり、又湿度 100%
の空氣を乾かす場合は 94.4% の
吸收能力がある事になる。この實
験は最も苛酷な條件で行つたの
で、實際ではこのやうな湿度差を
作らなくてもよいから更に能率は
よくなるわけである。たゞ茲で注

意しなければならぬのは瓶中で泡立たせる際の空氣の壓力であつて、壓力があまり低い状態で泡立たせる際は、出て來た空氣を 1 氣壓にもどしたときの湿度は溶液の飽和湿度値より高くなるわけである。水について行つた實驗の一例では湿度値で 128% になつた例がある。かう云

ふわけて瓶中の液の高さはあまり高く出来ない。普通 5cm 位にして用ひた。又泡立ちの気泡の大きさもなるべく小さくする方がよ

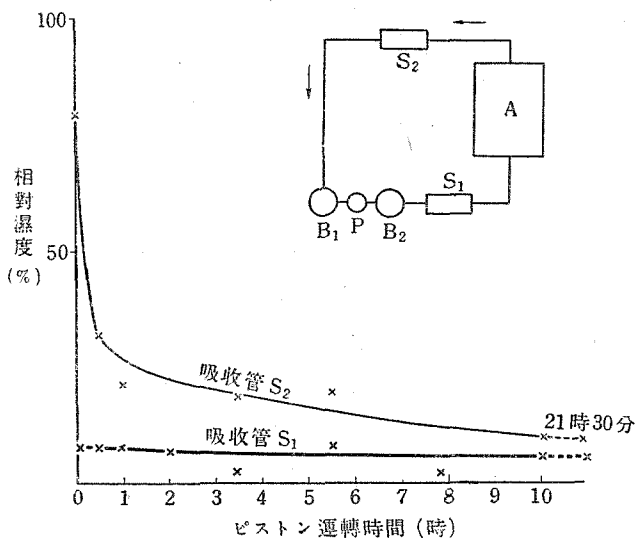
第 10 表

吸収管	水分	湿度	能率
1	0.1344 g	92.3%	92.3%
2	0.0085	5.6	94.4

い。そのため毛細管の太さは總て 1mm 以下にした。

11. 循環式恒湿槽と測定室の壁の影響

前述の空気循環装置を用ひ、四角な銅製の測定室 (A) がピストン始動後何分位で恒湿になるかを調べた。第 22 圖に示す如く五酸化磷吸収管 S_1, S_2 を室 A の入口及び出口に時々挿入して湿度を調べた。

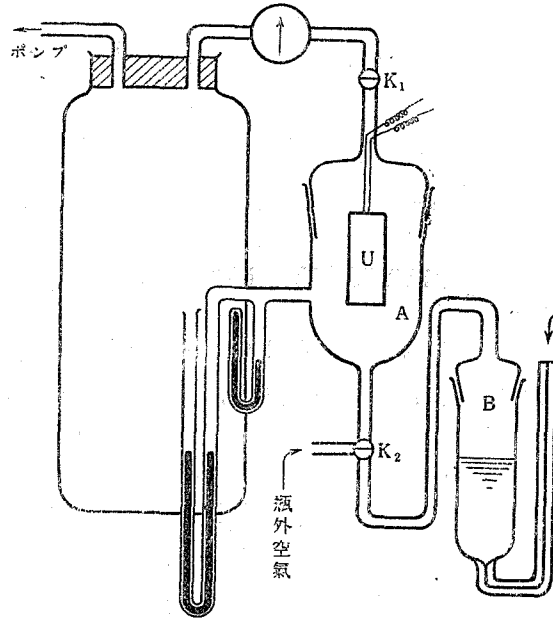


第 22 圖

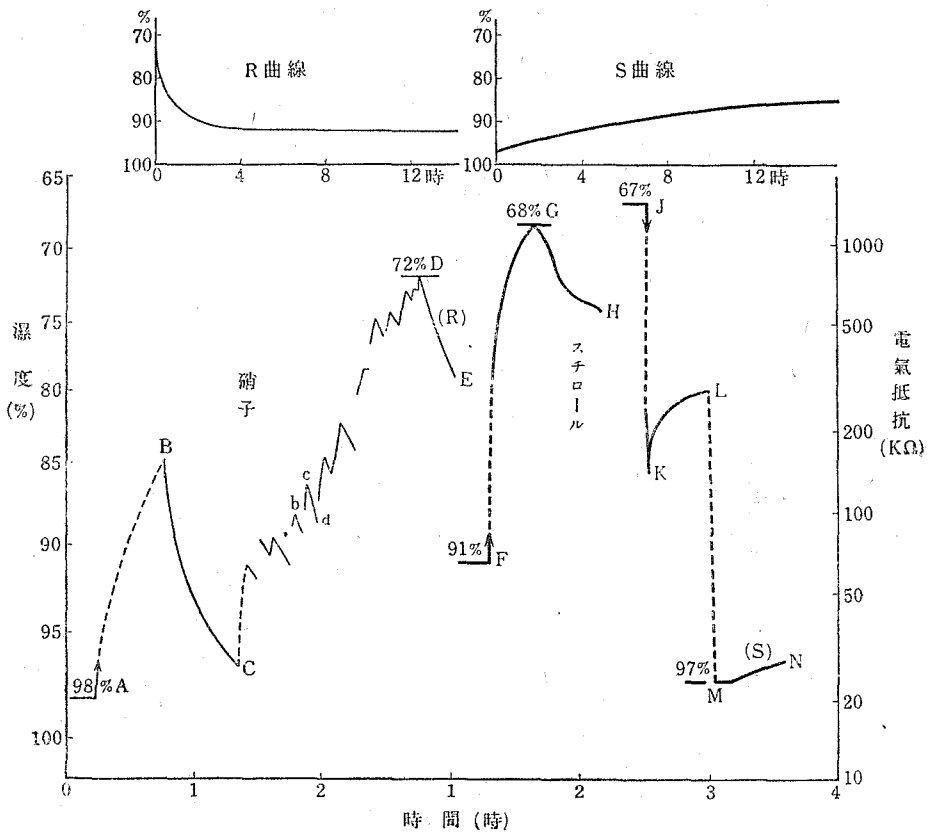
恒湿瓶 B_1, B_2 は 5% の湿度のものを用ひて実験を行つた。その結果は第 22 圖の下方に示す如く室の入口では約 5% の湿度である空氣が室の出口ではなかなか 5% とはならず、約 10 時間経つて 10% となり、それ以後は平衡状態となつた。今室の容積は 250 cc, 始めの湿度は H_0 , ピストンの一運轉で送り込まれる空氣の容積は 40 cc, その湿度は h として、更にこの送り込まれた空氣は直ちに全室に擴散するものとして、室の湿度が H_1 になるまで要するピストンの運轉回数 n を求めて見る。これらの諸量の關係は次の如き級數の形で示される。

$$H_1 = \left(\frac{21}{25}\right)^n H_0 + \frac{4}{25} h \left\{ \left(\frac{21}{25}\right)^{n-1} + \left(\frac{21}{25}\right)^{n-2} + \dots + 1 \right\} \quad (11.1)$$

それで今 $H_0=80\%$, $h=5\%$, $H_1=10\%$ として n を求めると、約 15 となる。ピストンの一運轉に要する時間は約 20 秒であるから 5 分位で室内は 10% の湿度となるべきである。



第 23 圖



第 24 圖

これは實際の所要時間 10 時間に比べて餘りに甚しい違ひである。その理由は室の形がわるい爲に入つて來た空氣流が室の全部にゆきわたらず、常に中央部のみ循環が行はれてゐる爲とも考へられるが、主たる原因は壁の吸着によるものと考へられ、この點を更に確める爲に今度は硝子製の測定室を用ひ、この中に電氣湿度計の感濕體を挿入して濕度の安定する狀況を調べて見た。實驗の裝置及び結果は第 23, 24 圖に示す通りである。

a) 硝子壁の場合 先づ測定室 A の硝子容器を重クロム酸洗滌液で洗ひ、更に水洗後暫時室中に放置乾燥して密閉した。しばらくしてその中の平衡濕度は 98% (24 圖 A) となつた。次に活栓 K_2 を開きポンプを用ひて 72% の瓶外の空氣で測定室を洗滌した。約 55 lit の空氣を通したが、濕度計の示度は尙 84% (24 圖 B) を示してゐる。次にポンプを止め、活栓 K_1, K_2 を閉ぢて置くと指度は再び 97% 即ち第 24 圖の C 點に上つた。尤もこの實驗では、吸入された空氣が完全に全器壁にふれてゐるとは限らないので、むしろ中央部のみを強く流れ、隅々には動かない空氣、所謂 idle air が残つて居るものと思はれる。それで、次には空氣の一定量を測定室に送り込んで、室のすみすみまで行き直らせては汲み出す工夫をした。先づ K_2 を閉ぢ K_1 を開いて測定室内を大急ぎで眞空にし (約 10 秒)、次いで K_1 を閉ぢ K_2 を開いて外氣を一氣壓になるまで吸入し、 K_2 を閉ぢて約 5 分間放置する。このやうな事を繰返して行ひ、約 11 回目始めて測定室の濕度は外氣の濕度 72% と一致した。一回の吸入量は約 300 cc であるから、33 lit の空氣で器壁を洗つた事になる。然し放置して置くと測定室内の濕度は再び上昇を始め (第 24 圖 R 曲線)、約 12 時間の後に 92% になつた。これは明らかに器壁からの發濕に基く現象である。今外氣吸入直後より 5 分間の濕度の變化を調べて見ると圖の bcd の如き曲線となり、最初濕度が減少するが (bc)、暫くすると再び増加し始め (cd)、しかしこの増加は相當の高濕になるまでつづく性質のものである。この増加は器壁の發濕に依るものであるが、最初の減少の理由はよく解らない。その原因としては、濕度計の遅れ、空氣の急激膨脹による溫度降下の影響等が考へられるが、それだけでは良く説明がつかない點がある。これについては尙よく調べる必要がある。こゝで問題となるのは、曲線 bcd の形から判斷すると、外氣を吸入した直後でも室内の濕度は既に外氣より高い濕度の状態にあるやうに見受けられる事である。これから考へると、この發濕現象は始めは極めて早く、主として器壁の表面に吸着された水分の放出される爲であり、その後次第に奥の方からの水分の放出が始まるものと思はれる。始め 72% の空氣が d まで増濕する爲に放出された水分は、測定室の溫度と容積より計算する事が出来る。このやうにして計算した各回の放出水分 d を積算すると C から D に至るまでに放出された全水分となる。その結果を第 11 表に示す。

即ち約 80 分間に全量 3.3 lit の空氣で測定室の壁を洗滌して、始めて測定室の濕度が空氣の濕度と等しくなり、その際に放出された全水分は 6.34 mg である。壁の面積は約 165 cm²

であるから、 1cm^2 あたりでは 0.038mg となる。これは既に Warburg⁽¹²⁾ 等によつて調べられてゐる湿度 100% 附近に於ける硝子面への水蒸気吸着量よりもかなり大きな値である。

b) スチロール壁の場合 次に

第 11 表

測定室の硝子壁にスチロールを塗布して前と同じ実験を行つてみた。その結果は第 24 圖の FGH, TKLMN に示す如くである。即ち最初 91% で平衡してゐる測定室に 68% の外氣を只一回導入しただけで湿度は既に外氣と同じになつた (FG)。然し暫く放置すると再び湿度は上つて来る (GH) がその速度は極めて緩慢である。F GH の形は前述の硝子の場合の b cd と同じであつて、矢張り同じ原因に基くものと考へられる。次に平衡湿度 67% の測定室に 97% の濕氣を、瓶 B を通して送入

No.	d	$d-72$	水分 Δ
1	92.2%	20.2%	0.96 mg
2	90.2	18.2	0.86
3	91.5	19.5	0.93
4	89.2	17.2	0.82
5	88.9	16.9	0.84
6	85.8	13.8	0.66
7	84.0	12.0	0.57
8	78.2	6.2	0.29
9	76.0	4.0	0.19
10	75.1	3.1	0.15
11	73.4	1.4	0.07
計			6.34
温度 18.5°C		測定容積 300cc	
		測定表面積 165cm ²	

した場合、300cc づつ二回の送入で測定室の湿度は送入した空氣の湿度と等しくなつた (J, K, L, M)。この場合も測定室を閉ぢて置くと再び減濕を始め、16 時間で 85% になつた (S 曲線)。この減濕状況は硝子の場合と違つて更に續くやうに見受けられる。即ち、スチロール膜そのものは吸着が甚だ少いのであるが、その奥にある硝子面の影響がスチロールを通して現はれるものと考へられる。たゞその現象がスチロールの抵抗の爲に甚だ緩慢なだけである。

以上でわかるやうに測定室壁面の影響は想像以上のものであり、このやうな空氣循環式檢定槽を用ひる際は特別の注意を要するのである。壁面の吸着は一般に早い現象であるが、壁面より内部へ滲透してゐる水分の出入は緩慢であつて、都合の悪い現象なのである。恒濕槽の問題では、これ等の兩者を綜合して吸着の現象として取扱ふべきであり、又宮部氏⁽¹³⁾ の濕氣流の考へを導入すると便利である。即ち壁の材質はその含濕量に應じて定まる平衡壓、即ち濕位* hygrometric potential を有するものである。これは丁度熱學に於ける溫度、又は電氣學に於ける電位に相當する。又同様にして比熱又は電氣容量に相當する含濕容量 hygrometric capacity を含濕量と濕位の比として定義する事が出来る。そして濕氣は材質の中でこの濕位

* 宮部氏は濕壓といふ言葉を用ひてゐるが、この論文では便宜上濕位といふ言葉を用ひることとする。

の高い方から低い方に流れるものであり、その湿気流は湿位の勾配に比例する。その比例の恒数が熱伝導率又は電気伝導度に相当する湿気伝透度であり、その逆数が湿気抵抗である。

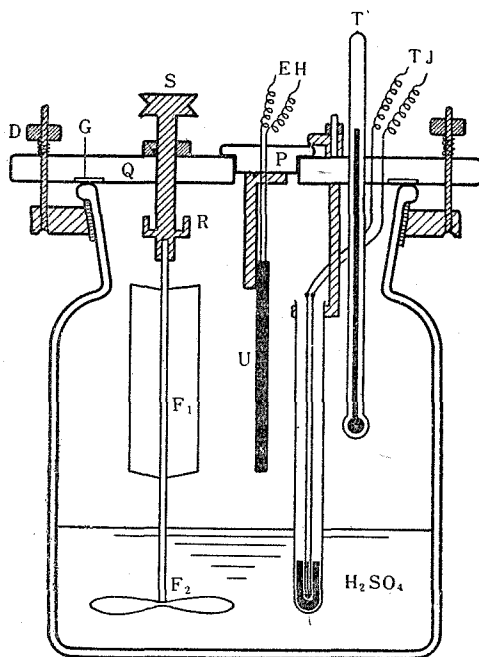
一つの測定室で種々の湿度の空気を送り込む方式のものでは、壁の一番外面には湿気抵抗の大きく、しかも含湿容量の小さいものを用ひなくてはならない。又如何にしても壁面からの湿気流をなくするわけにはゆかず、しかも僅かの湿気流でも小さな測定室では、その中の湿度には大きな影響を與へるものであるから、空気流は絶えず循環させ、この餘分の湿気を取り去る必要があるのである。

12. 固 定 式 恒 湿 槽

前述の空気循環式の恒湿槽は、壁の影響を受け易く、これを防ぐのがなかなか困難なので種の湿度の測定室を澤山作つて置いて被検湿度計を次々と移してゆく方が具合がよい。このやうな固定式恒湿槽の一例を第 25 圖に示す。

瓶には有機硝子の蓋 Q をなし、ゴムパッキング G と螺子 D によつて気密とした。

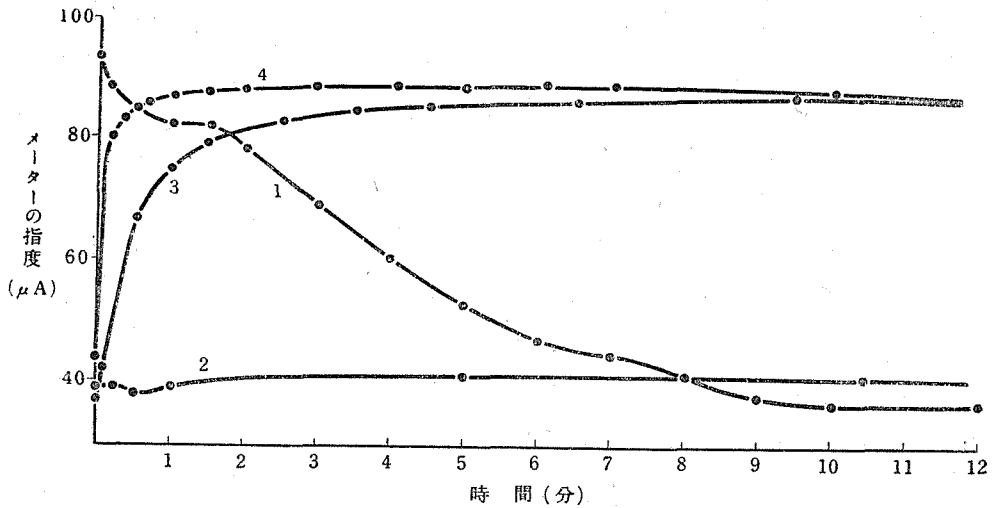
この蓋に攪拌機 S、電気湿度計 (被検湿度計) U、熱電對 TJ、温度計 T がとりつけてある。攪拌機には硝子製の羽 F_1, F_2 がついてゐて、空気と硫酸液とを同時に攪拌する。R は油うけてでシャフトの油が液中に落ちないやうにしてある。被検湿度計の電気湿度計感湿體 U は小蓋 P に取りつけてあつて、これのみ獨立して取出すことが出来る。高湿の場合には特に液温と气温を正確に一致させる事が必要で、それを検査する爲に熱電對を液と空気の兩方に跨つて挿入してある。この瓶を更に恒温水槽に入れて温度變化を防止する。



第 25 圖

この恒湿槽の安定の模様を電気湿度計によつて調べた結果を第 26 圖に示す。曲線 1 は湿度 40% の硫酸液を入れた恒湿槽の瓶の大きな蓋 Q をはづして約 5 分間放置し、再び蓋をした後の湿度計の指度の變化を示してゐる。これによると湿度が安定するまでに約 10 分を要する。次に瓶を洗つて 10 分位熱氣で乾かし、蓋をして湿度の變化を調べると第 2 の曲線のやうに極めて徐々に湿度が増加してゆく。これは前述の壁の發湿の現象である。次に瓶の底の方に靜かに水を入れ、直ちに湿度變化を調べて見ると曲線 3 の如くなる。矢張り 10 分位の後に

安定する。最後に再び瓶を洗つて乾かし、水を注入し、しかも瓶を振つて水滴で壁を充分濡らした直後の湿度の變化は曲線 4 の如くなり、前の半分位の時間で安定する。これによつて見ると瓶壁を液でぬらして置くのが非常によいことで、これによつて壁の影響も防げるわけである。



第 26 圖

第 III 部 電氣湿度計

13. 電氣湿度計の歴史

物體の電氣的性質が湿度によつて變る現象を利用する湿度計の考案は色々ある。例へば電池の起電力、空氣中のイオンの移動度、空氣の誘電率、電解溶液の濃度、或は高抵抗物質の抵抗等の湿度による變化を利用するのである。然しこれらの色々の方法のうち最後の電氣抵抗の變化を利用するものだけが發展して、既に高層氣象觀測用として實用の域に達せられた。こゝで取扱ふものも矢張りこの電氣抵抗式湿度計である。綿や毛髪が相對湿度に應じて一定の水分を吸収し、又それと同時に規則正しい膨脹をなすことが早くから知られて居り、毛髪湿度計に利用されたのである。然るに Barr⁽¹⁴⁾ はこれらの電氣抵抗變化を利用して湿度計を作らうとしたが、遅れが大きい爲にその考を放棄した。その後 Slater⁽¹⁵⁾ も綿の一本の纖維の電氣抵抗について測定を行ひ、矢張りその遅れが 24 時間にも達するといふ事を報告してゐる。ところが少し遅れて Burbidge⁽¹⁶⁾ 等は綿の薄い層及び毛髪を楕形の電極の間に入れて電氣抵抗の變化を測定した結果を發表した。その中で湿度と抵抗の對數との關係が前者ではほぼ直線にな

り、湿度による履歴現象も少く、遅れも数分程度であつて、他の湿度計に比べて遅れが少い點と隔測が出来る點が有利であると述べてゐる。又これと前後して Albrecht⁽¹⁷⁾ も同じやうな装置を發表してゐる。然しこのやうな方法による湿度計はその後今日に至るまで未だに實用化されては居らない。恐らく遅れが致命的な原因であらうと思はれる。

一方、電気絶縁材料について、濕氣による表面漏洩抵抗の減少が古くから認められ、表面に於ける水分の吸着の問題と關聯して色々調べられてゐた。特に硝子に就ては此の種の研究が多いが、中でも Yager⁽¹⁸⁾ や赤平⁽¹⁹⁾ は高周波回路に於ける湿度と漏洩抵抗との關係を組織的に調べた。又鈴木⁽³⁾ は硝子表面の結露の狀況を表面抵抗に依つて調べ、同時にこれを湿度計に應用した。然し乍らこれらの現象はなかなか複雑であり、その湿度と抵抗の特性は不安定で、これを定量的な測定器の原理に利用する事は甚だ困難な事とされてゐた。ところが高層氣象觀測に Radiosonde が用ひられるやうになつてから、毛髪を湿度計の感濕部として用ふる缺點が指摘され、遅れが少く、しかも電氣的な量に直す事の容易な湿度計の考案が特に要求された。そして遂に Dunmore⁽²⁰⁾ がパラヂウム線を電極とし、スチロール樹脂膜を電気傳導面とする電気抵抗式の湿度計を完成した。

我が國に於ても同じ方法による湿度計の研究が二三なされて居り、又 Burbidge の綿の代りにゲルを用ひる方法等の研究もなされてゐるが、未だ詳しい發表はされて居らない。筆者は専ら Dunmore の法を用ひ、我が國に於いて大量生産に適するやうな方式を求めんとして以下の研究を行つた。

第 1 章 抵抗測定器及び檢定装置

14. 眞空管電壓計式測定器 (1 號型)

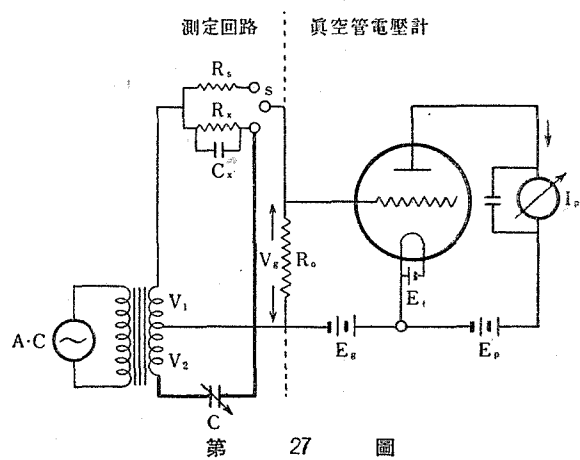
湿度計の感濕體は直流を流すと分極現象を起すものであるから、その抵抗は交流を用ひて測らなければならない。しかも抵抗値は $1k\Omega$ から $10M\Omega$ 程度まで變るので、その測定はなかなか簡単にはゆかない。實驗室に固定するやうなものならば、その装置は大がかりになつても構はないが、野外の測定にも携帯出来るものといふ條件では色々の制限を受ける。それで此等の條件を全部同時に満足するのは困難であるから、二つの型に分けて製作する事にした。第一の型は交流電源のない處でも使用出来るもので、交流電源も抵抗測定も全部眞空管を利用する事とした。若干大型になるが精密度は高いものである。第二の型は交流電源を自藏せず、電解整流器とマイクロアムメーターよりなる極めて簡単なもので、精密度は若干落ちるが携帯には便利である。先づ第一の型に就て詳述する。

製作の方針を列擧すると次の如くなる。

1. 携帯し得る最も感度の高いメーターは尖軸式マイクロアムメーターであるから、これを用ひる事を第一條件とした。
2. 整流方法は、微弱電流に不安定な電解整流器を用ひず、真空管を利用する事とした。
3. 測定には零位法を用ひず、メーターの指針が湿度の變動を刻々示すやうにした。これに依つて特に早い湿度の變動を捕へる事が出来、電氣湿度計本来の特徴を發揮出来るやうにした。
4. 感濕體及びこれに附した導線には若干の静電容量が存在し、測定には先づこれ等の綜合インピーダンスを測る事となる。此のインピーダンスから抵抗値のみを分離するには、一般にブリッジによる零位法を用ひねばならぬが、こゝでは第三の條件に適するやうにする爲に容量を補償する方法を講じた。
5. 交流回路に起り勝ちな迷走容量や諸種の感應による結合の影響を出来るだけ小さくして測定の精密度を高める爲に、出来るだけ低周波でしかも波形の正しい交流を用ひる事とした。
6. 真空管の動作特性を常に一定に保持する爲に、時々標準の抵抗に切替へて調整する事とした。

抵抗測定の原理 使用される電圧は實用上無闇に大きく出来ないから、それによつて高抵抗に流す電流は極めて小さいものとなる。従つてこれを直接メーターで測るとしても、交流メーターの感度には限度があつて到底精密には測定出来ない。然し測定しようとする抵抗と直列に同じ程度の不変抵抗を挿入して一定電圧をかけ、その兩端に於ける電壓降下を考へるならば、測定抵抗の變動に對してその電壓降下も大きく變動出来る。従つてこの變動を内部抵抗の非常に大きい電圧計、即ち真空管電

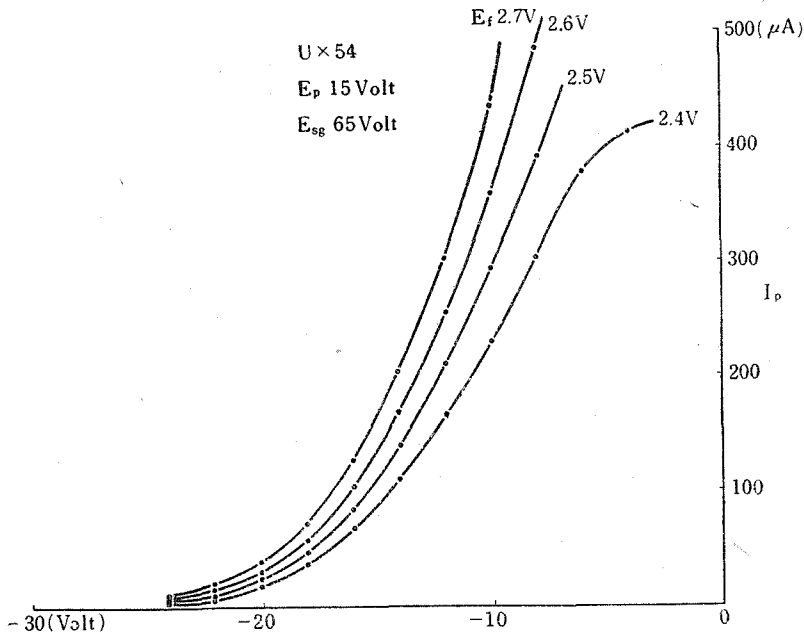
壓計の如きもので測ればよいわけである。しかもこの真空管のプレート特性檢波によつてその變動を直流として側定する事が出来るから、感度のよい直流メーターを使用する事が出来るといふ利點がある。第 27 圖は簡單の爲に三極真空管を用ひてこの原理を示したものである。圖



中の破線より右が真空管電壓計、左が測定回路である。 R_x は測定される抵抗、 R_0 は真空管の動作状態の規定用標準抵抗、 R_0 は真空管電壓計に R_x の變化による電壓變動を與へる電壓降

下用の抵抗である。AC は交流源の發振器、 V_1 はこの回路に導入される定電壓である。真空管電壓計は最も普通の型で、増幅でなく、檢波動作を行ふやうに真空管のグリッド電壓 E_g を規定してゐる。プレート回路には直流マイクロアムメーターを入れ、尙これと平行に容量を入れて整流電流の脈動をとつてゐる。測定抵抗 R_x が非常に大きな場合は、如何に低周波の交流を用ひても、抵抗自體に含まれる僅かの容量や、又感濕體の導線の容量が R_x に平行に挿入されてしかも大きな影響を與へることになる。圖ではこれを C_x で示してゐる。 C_x がある爲に困ることは、 R_x が大きくなると C_x を流れる分電流が大きくなつて、 R_x の變動量をかくしてしまふ事となる。従つて、何等かの方法で C_x と R_x の綜合インピーダンスから R_x のみを分離し C_x を消してしまはなくてはならない。それで圖の太線の如く、 R_0 と可變容量 C 及び位相の反對の電壓 V_2 からなる回路を作り、 C を調整して C_x と同じにすれば、 R_0 を通る C_x の分電流と C 回路の電流とは打消しあつて、たゞ R_x の電流のみが流れる事となる。

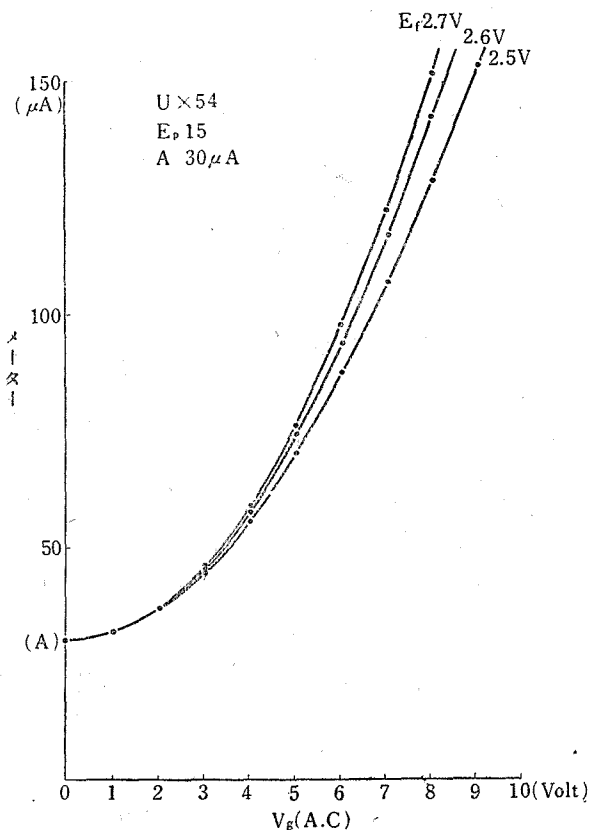
製作の實際 この測定に用ひる真空管としては、1) プレート特性を利用出来る檢波管で、2) その特性が安定で變らないこと、且つ、3) 入力測の絶縁抵抗の非常に大きな事が必要である。UX 54 が丁度それに適するので、これを用ひる事にした。さて真空管の特性が安定であつても、電源の變動による影響はどうしても避ける事は出来ない。其の中でもフィラメント電壓 E_f の變動が一番はげしい。今 E_f の色々の値に對するグリッド電壓 E_g とプレート電流 I_p の特性曲線をとつて見ると第 28 圖の如くなつて、 E_f が 0.1 volt 程度の變動でも I_p



第 28 圖

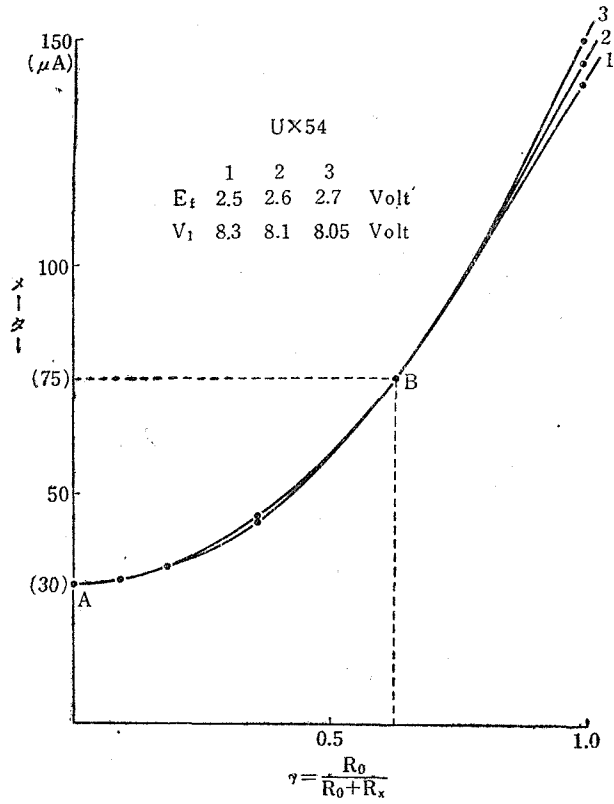
には 20% の變動が現はれる。

次に此の特性を用ひて檢波するのであるが、メーターは全目盛 150 μA であつて、檢波の原点、即ちメーターに現はれる直流部分は、これに對してなるべく小さくせねばならない。しかも此の原点を精密に固定させねばならぬので、あまり小さい値にすると、原点の調整はメーターの感度の悪い部分を用ひる事となり、又檢波交流電壓を大きくしなければならぬといふ不利があるので考究の結果 30 μA を採用する事とした。此の状態で交流を R_0 に重疊させ、その端電壓 V_g とプレート電流 I_p の特性曲線を調べると第 29 圖の如く、矢張りフィラメント電壓 E_f によつてかなりの變動を示す。しかし實際は R_x と R_0 を直列にして一定電壓 V_1 を與へ、 R_x を色々變へて R_0 の端電壓を變化し、 R_x と I_p との特性曲線を求める

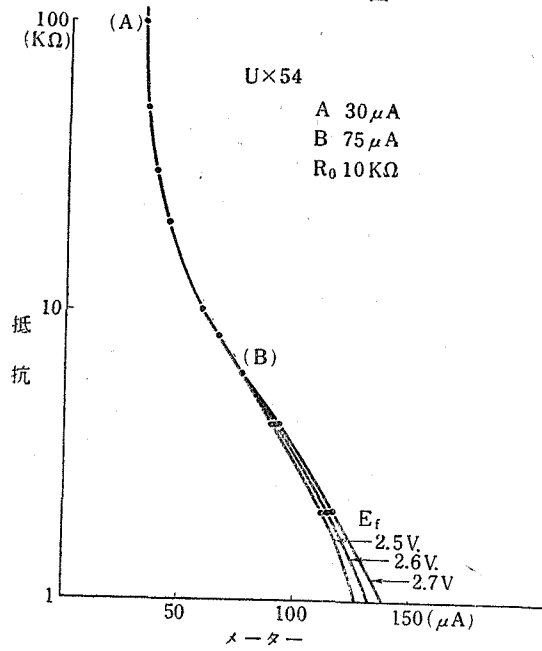


第 29 圖

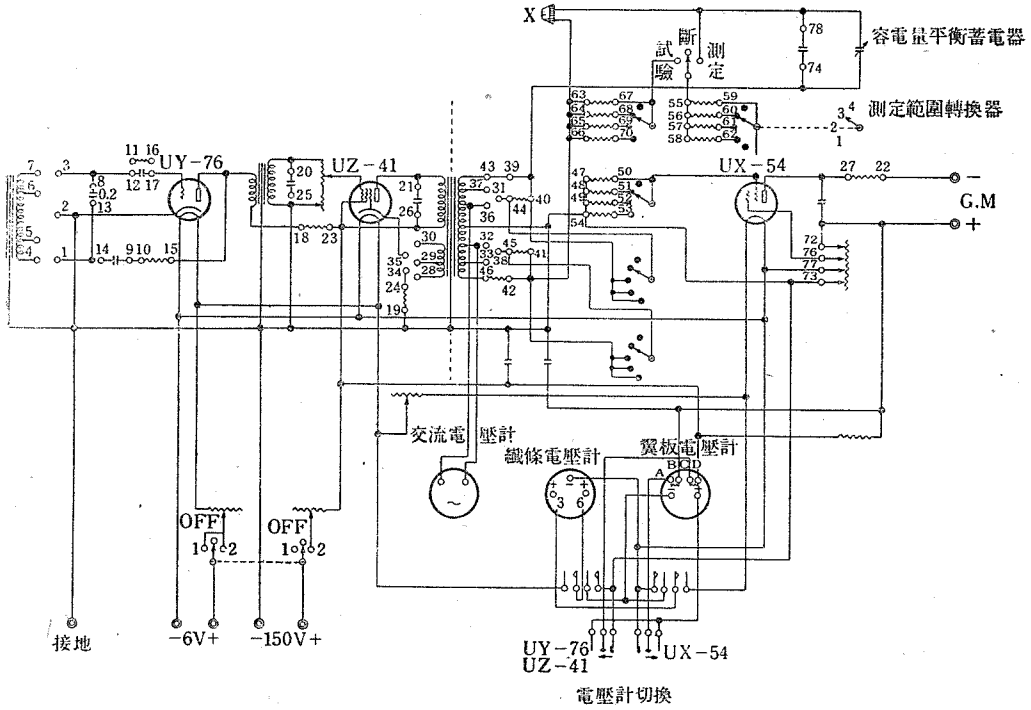
のが最後の目的である。この時 V_1 を一定にして置けば、第 29 圖と同じ結果になるが、もし $\frac{R_0}{R_1 + R_x} \equiv r(X)$ のある特定値 r^0 で I_p が特定値 I_p^0 を示すやうに V_1 を調節するとすれば、 r と I_p の特性曲線は二點で固定される事になり、第 30 圖の如く、此の二點間では E_f の變動の影響が非常に少くなる。此の圖では第一の固定點 (A)、即ち直流部分は 30 μA とし、第二の固定點 (B) は $I_p^0 = 75 \mu\text{A}$ 、 $r^0 = 0.625$ とした。今 $R_0 = 10\text{k}\Omega$ として R_x と I_p の關係に直すと第 31 圖の如くなる。即ち 30 μA と 75 μA の間ではフィラメント電壓の變動の影響を非常に少なくする事が出来る。此等の事を考へて、結局真空管の動作に對し次の如き規定の仕方を採用した。此の測定器で豫め規定すべきものは、 E_f 、 E_p 、 E_g (グリッド第二極の電壓 E_{sg} を含む)、 V_1 の四つであるが、 E_p 、 E_g は豫め別の簡単なメーターで規定し、 E_f は A 點、即ちマイクロアムメーターで 30 μA になる如く規定する。最後に V_1 は $r(X)$ の特定點 B で規定する。これは實際にはスイッチ S を標準抵抗 R_s に切替えてマイクロアムメーター上の一定電



第 30 圖

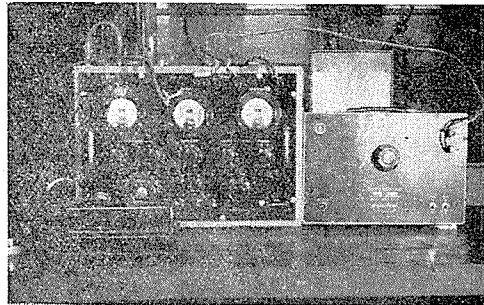


第 31 圖



第 32 圖

流で規定する。この他に前述した可變蓄電器による C_x の補償をしなければならない。此等の準備を終へて始めて R_x の測定を行ふわけである。しかし一度この規定の操作が終れば後は時々調整する位で連続測定にはさしたる不便を感じない。實際の測定器の外観及び配線圖は夫々寫真 4、第 32 圖に示す。第 32 圖中の破線



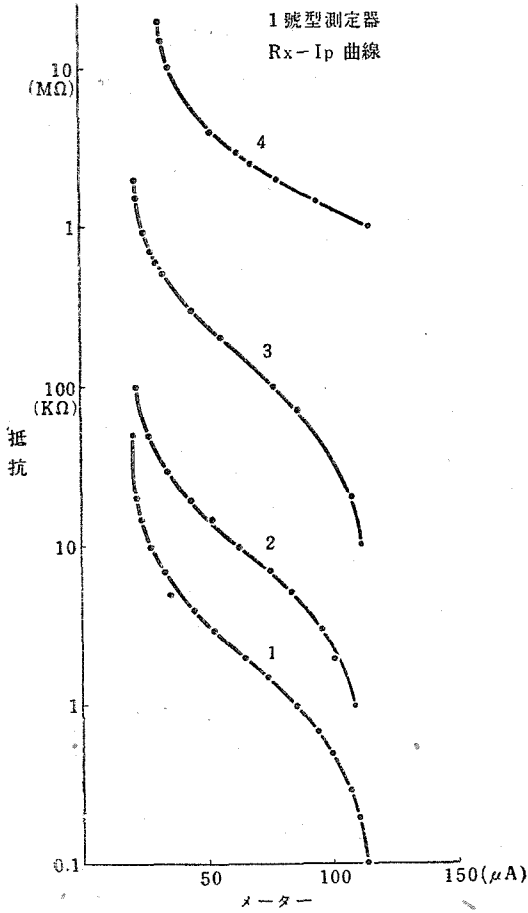
寫真 4

より右が測定器、左が發振器の回路である。測定器の方では測定の範圍を四段に分けて、標準抵抗、グリッド抵抗及び補助直列抵抗を夫々四段に切替へる如くした。此の補助直列抵抗は後述する $\log R_x - I_p$ の檢定曲線の形をなるべく直線に近くする爲である。發振器では、UY76 を用ひて Hartley 回路を作り、更に UZ41 で出力増幅をなし、變壓器を經由して測定器に交流電壓を供給した。特に測定器回路の負荷の變動による電壓の變動を自動的に調整する爲、變壓器の一部から UZ41 のグリッドへ negative feed back の回路を作つた。

この測定器の $R_x \sim I_p$ 曲線は第 33 圖の如くである。此の場合の A 點は $20 \mu A$, B 點は $100 \mu A$ とした。又 R_x の目盛は對數目盛とした。湿度計感濕體の抵抗の對數と湿度との關係がほぼ直線になるので、測定器の方でも抵抗の對數とメーターの指度とが直線關係となるのが

理想である。この爲にはプレート檢波のみでなく、更にグリッド檢波をも利用する等の工夫が必要と思はれる。

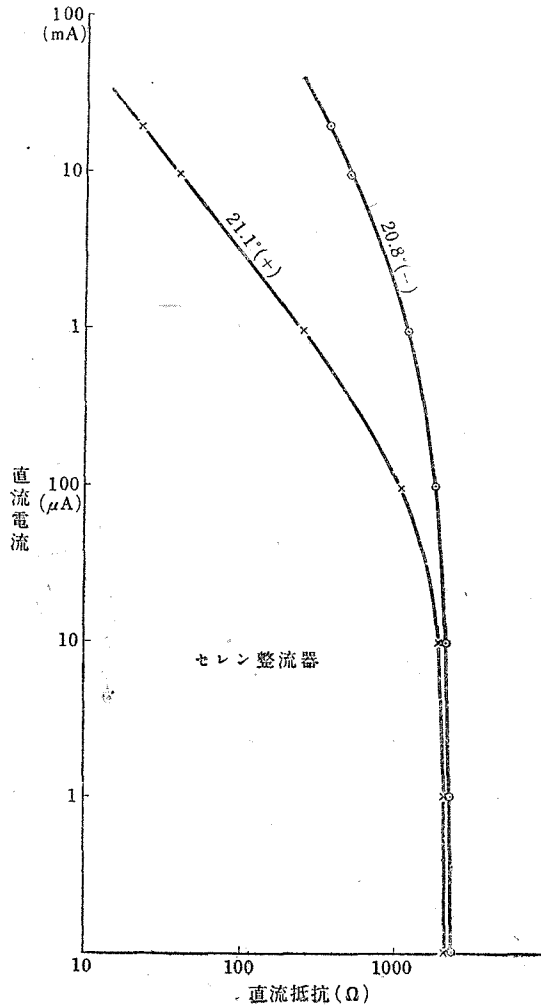
この測定器の測定範圍は $500 \Omega - 10 M \Omega$ 位で其の誤差は 1% 以下である。



第 33 圖

15. 堰層整流器式測定器 (2 號型)

堰層整流器は整流器の中で最も簡單なもので、これを使用出来れば抵抗測定器は非常に小型にする事が出来る。然し μA の如き微弱な電流を扱ふ時に、果してどれ程の

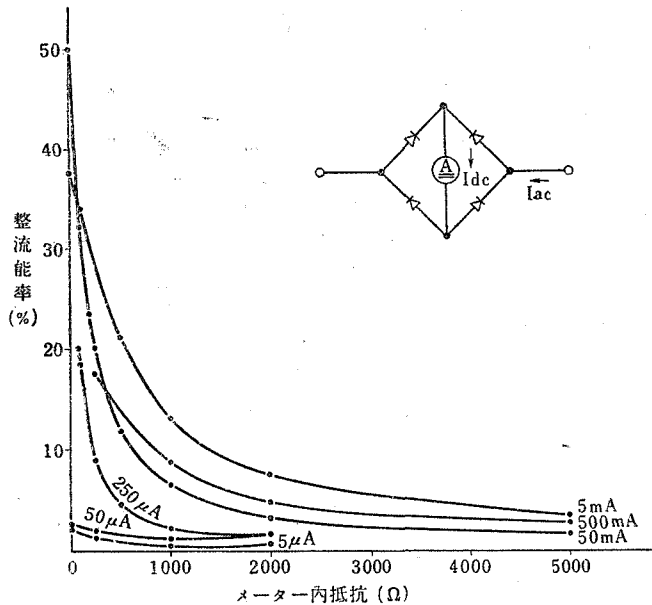


第 34 圖

精度が保てるかが問題である。此の點に關して、市販のセレンウム整流器を用ひて二三の實驗を試みた。

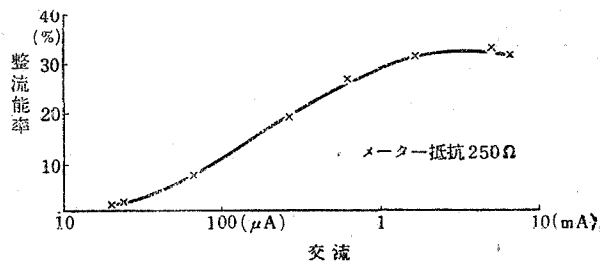
1) 直流抵抗特性 21°C 附近の直流抵抗と電流との關係を調べてみると、第 34 圖の如く $10\mu\text{A}$ 以上で電流の方向による抵抗の違いがはつきりして來る程度である。

2) 整流能率とメーターの抵抗 第 35 圖上部の回路の如く、整流器を用ひて全波整流方式で整流を行ふ場合、前述の實驗から解かるやうに微弱電流は整流方向の逆方向にもかなり通過するので、この回路は一種の不均衡ブリッジの如きものと考へられる。従つてメーターの内部抵抗によつてその整流能率が違ふ事が豫想される。第 35 圖下部の曲線をみれば其の關係が明瞭に認められる。



第 35 圖

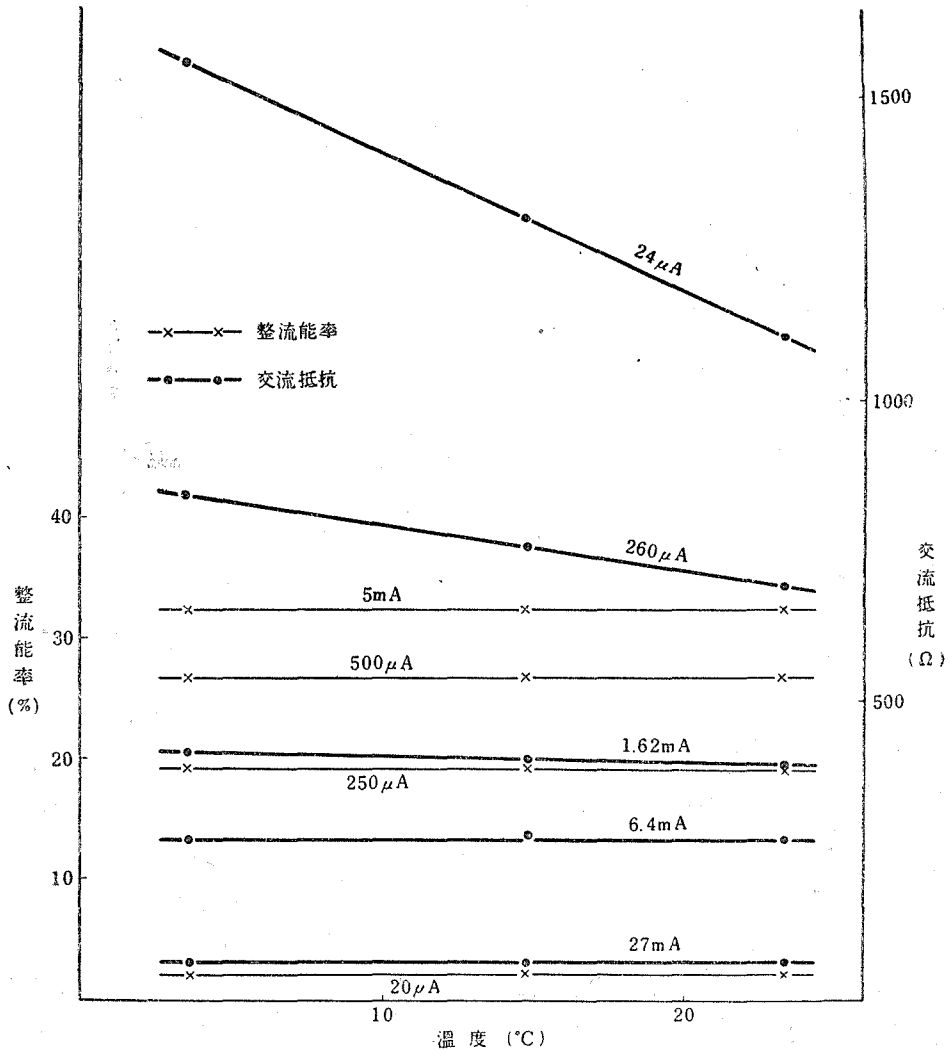
3) 電流の強さと整流能率 次にメーターの内部抵抗を一定にして電流と整流能率の關係を調べると第 36 圖の如くなる。 $10\mu\text{A}$ 位では約 1% 位に落ちてしまふ。此等の値は一般に報



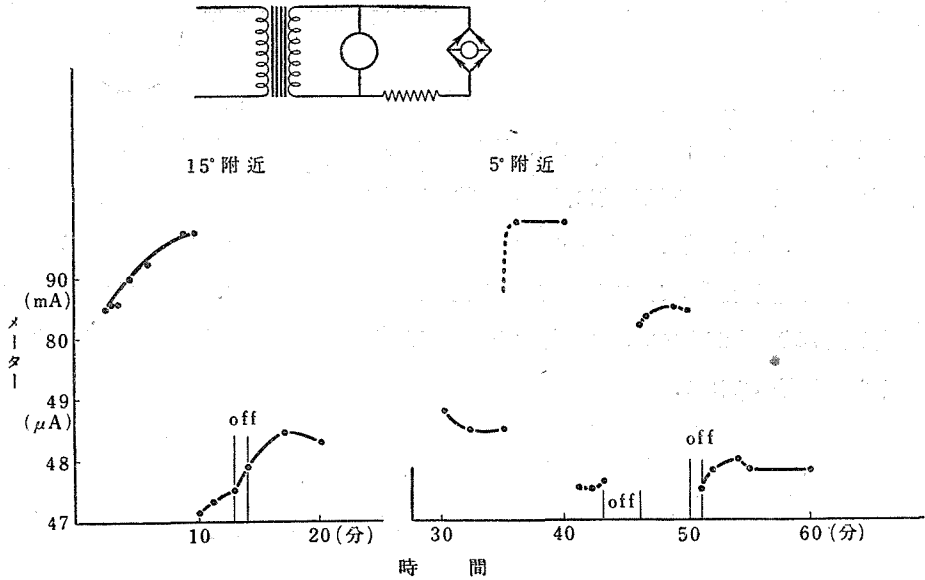
第 36 圖

ぜられてゐる値より少し小さい。或はこの整流器は既に整流能率がかなり落ちてしまつたものかも知れない。

4) 整流能率及び交流実効抵抗と温度 整流能率の温度による變化を調べると、第 37 圖の細線の如く殆んど温度には影響されない。然し交流を通した時の實効抵抗、即ち等價抵抗は第 37 圖の太線の如く温度の上昇と共に減少し、其の割合は電流が小さい程甚しい。又第 38 圖の上部に示したやうな回路で電壓を一定に保ち乍ら、整流器に電流を通し始めた時から後のメーターの時間的變動を調べて見ると、第 38 圖下部の如き變動をなす。そして其の變動量は空氣の温度が低い時の方が小さい。これ等は上に述べた整流器自身の發熱による實効抵抗の低下に基づくものと考へられる。



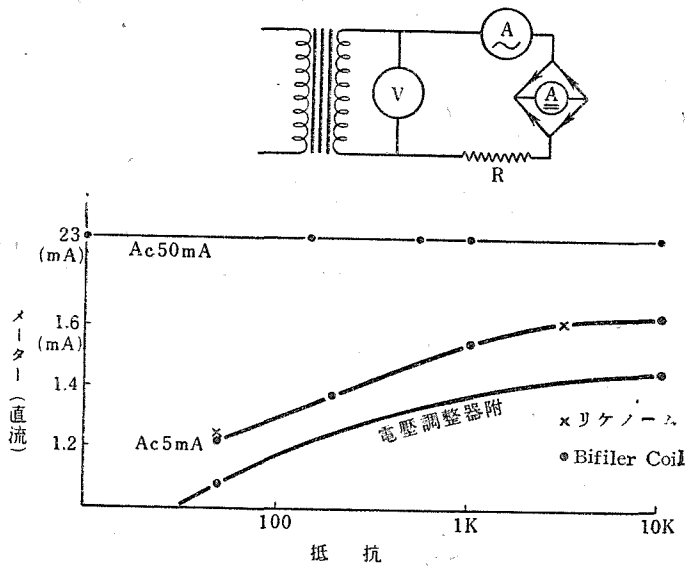
第 37 圖



第 38 圖

5) 電流の波形の影響 第 39 圖の上部に示したやうな回路をつくり、交流電流計には可動

鐵片式のものを使用し、抵抗 R の値を色々に変へ乍ら、しかも交流電流計によつて 5mA の交流が流れるやうに電圧を加減し、整流器のメーターの読みを調べて見た。其の結果は第 39 圖下部の曲線に示す如く、抵抗 R の増加と共に整流器メーターの示度も増加し、整流能率が良くなるやうに思はれる。圖中の×印はリケノーム、●印は Bifi-



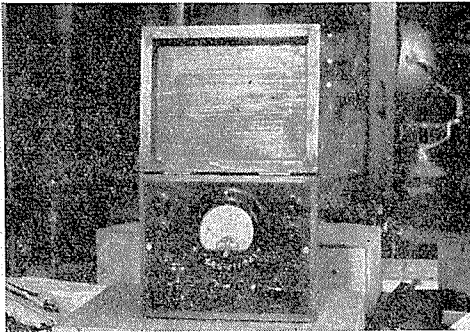
第 39 圖

ler Coil 型の抵抗體である。又電圧調整器を通して送つた交流に就ては、整流能率は一段と悪くなる。此等は總て變壓器や電圧調整器による波形の歪に原因するものと思はれる。しかし電流を大きくして 50mA の交流を用ひた時は、このやうな變動は現れない。

6) 光線による影響 セレニウム整流器は光電池としての作用も有するので、光線の強さに

よつて甚しい影響を蒙る。よつて此の實驗では整流器を黒い紙で包んで置いた。

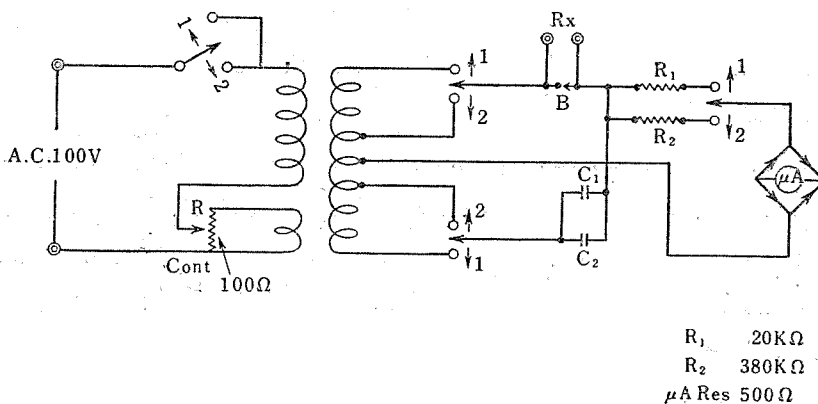
此等の實驗の結果から考へて、抵抗測定器の製作に當つては、次の如き注意が必要である。



寫眞 5

即ち、1) 整流器と直列に大きな抵抗を入れる事、2) メーターの内抵抗はなるべく小さいものを用ひる事——しかし實際の μA 級のメーターではあまり内抵抗値の小なるものは販賣されて居らない。3) 使用電流はなるべく大きく、即ち入力電圧は出来る限り大きくする事等である。しかし後述する理由によつて湿度計の感濕體には $200\mu A$ 以上の電流は流されない。

實際製作されたものは寫眞 5 の如き外觀を有し、精度は一號型と比べて若干悪いが、大きさは僅か $15 \times 19 \times 15 \text{ cm}$ で、交流電源さへ有る所ならば非常に簡易に電氣湿度計を使用する事が出来るわけである。その配線は第 40 圖の通りである。操作交流電圧を規正する爲にボタン B を押して被檢抵抗 R_x を短絡し、直列抵抗 R_1 又は R_2 のみの回路でメーターが $150\mu A$ を指す如く、可變抵抗 R を調整する。これが終ればボタン B を離し、直ちにメーターを読むのである。又一號型と同じく R_x に附隨する容量を補償する爲に容量 C_1, C_2 を入れる。測定範圍は $0.5 \sim 500 \text{ K}\Omega$ 、及び $10 \text{ K}\Omega \sim 5 \text{ M}\Omega$ の二種に分けて、各々に夫々直列抵抗 R_1, R_2 を用ひてある。 R_x とメーターの読みとの特性曲線は第 41 圖に示す。誤差は約 2% の程度である。



第 40 圖

16. 電氣湿度計用檢定裝置

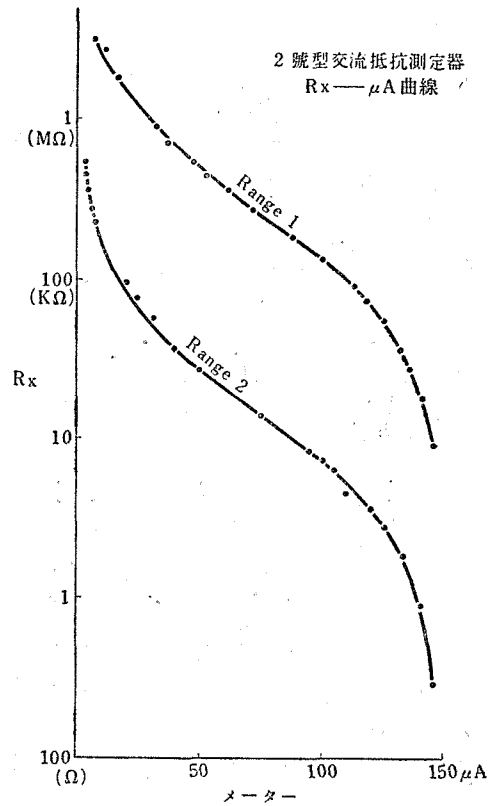
検定用の恒湿槽には既に第 12 節で述べたやうな固定式のものを使用する事とした。たゞ電氣湿度計の感湿體専用のもので、迅速に検定出来ることを目的として第 42 圖に示すやうな装置を特に製作した。圖の H, K, J はガラス製で、この中に硫酸溶液が入つて居り、K の上部の管をポンプに連結して減壓すれば H 中の液面は降下して上部があく。その空處を恒湿槽とするのである。使用前は液面を最上部に保つて器壁を充分にぬらして置き、次にポンプの操作で液面を下げ更に把手 E を押して上部の乾湿體箱 UB より感湿體 U を H 中に降下せしめる。又 H 内には皿 R があつて管 T によつて UB と連結されてゐる。今ポンプを間歇的に運轉して液面を皿の深さだけ上下させると、皿中に閉ぢ込められた空氣が T を通つて UB 中に出入する。かうする事によつて UB 中の器壁及び感湿體面を新しい空氣で洗ひ、湿氣の交換を早める。液面の上下に際し、泡立の瓶 B_1, B_2 を利用する事により H 中の氣壓がある限度を越える時は外氣と連絡して、H 中の氣壓の變動をなるべく小さくする事に努めた。これは次の三つの役目を果す事になる。

i) 急激な減壓による一時的湿度の減少をなるべく小さくする。

ii) H 中の氣壓と外氣壓の差を少くして H 中の空氣の漏洩を防ぐ。

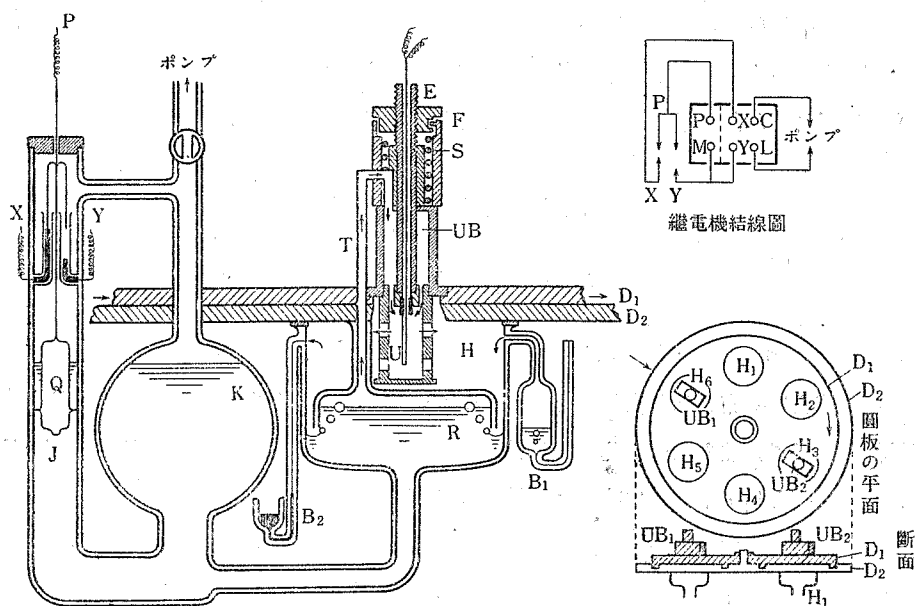
iii) 液面が降下するに際し、皿中の液面は管 T 及び UB の抵抗により皿外の液面より降下が遅れるので、皿外の液面が先に皿の下端に來、H 中の空氣が急に泡立つて皿の中の上部の空隙に入り込んで皿中の液面を降下させることになる。かうしてよく湿つた空氣は R, T, UB, H へと殆んど一方向きに循環するわけである。圖中の液面の位置は丁度この泡立ちの時を示してゐる。

ポンプの間歇的運轉は、K に連結したガラス管 J 中のガラス製の浮子 Q の上下運動を利用する。即ち Q についてゐる接點 P が二つの水銀接點 X, Y 間を往復すると、ポンプの一サイクルが行はれる。P が接點 X から Y に至る間はポンプが止り、Y から X に至る間は運轉するやうに第 42 圖右上の如き結線の繼電機を用ひた。即ち PYM 回路が閉ぢればポン



第 41 圖

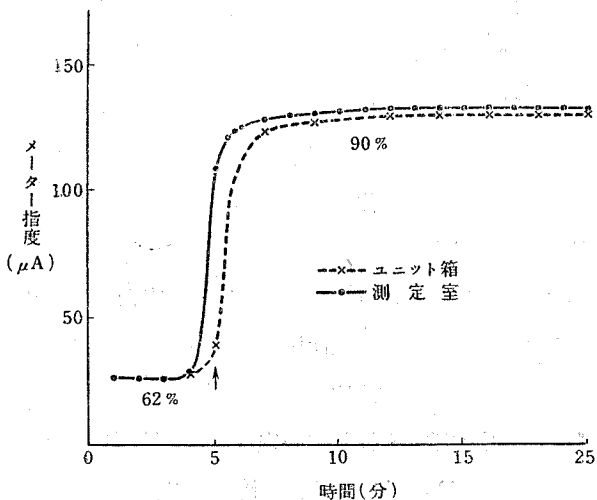
ブ回路 CL も閉ぢるやうになつてゐる。此の時又繼電機の XY 回路も閉ぢるので、ポンプ



第 42 圖

の運轉によつて浮子が上昇を始めて Y を離れても、XP が連結されてゐるので尙運轉をつづけ、XP が離れて始めて回路 PM が開いて運轉が止る。此の時又 XY も開く。その爲に同様の理によつて P が Y に接するまで運轉は止つてゐることになる。さて、第 42 圖下右に示すやうに、この様な恒湿槽を圓板 D_2 の下方に 6 個取付けてある。 D_2 の圓板の上には別の圓板 D_1 を填込み、この上に感湿體箱 UB が 2 個對角線上に取付けてある。それで、一つの槽で測定を終れば UB のフック F

を外し、スプリング S によつて E を上に押し上げて感湿體を UB 中に入れる。この時 UB 中は、前述の空氣洗滌により槽中と同じ湿度になつてゐるので、感湿體は同じ湿度の空氣に接した儘で D_1 の回轉により次の槽まで移動する事が出来るわけである。このやうにして同時に二つの測定を行ひつつ、次々に六つの異つた湿度の測定を簡便に行ふ事が出来る。



第 43 圖

この検定装置を運轉してその性能を調べた結果は第 43 圖に示す如くである。即ち感濕體濕度 62% の槽から 90% の槽に移した場合、メーターの示度は數分で安定した。二分毎に感濕體を測定室から上方の感濕體箱に移して箱内の濕度も測つたが、圖の破線で示す如く測定室より少しは遅れるが割に早く測定室の濕度と等しくなる事がわかる。

第 2 章 感 濕 體 の 製 作

17. 感 濕 體 製 作 の 順 序

前述の Dunmore⁽²⁰⁾ の感濕體は金、白金、又はパラジウム等の細線を約 1m 位用ひて、アルミニウム管上に塗布された樹脂膜上に捲き附けて作るのであるが、この方法によると高價な電極材料が必要で、然も温度變化による伸縮によつて膜面との密着が損はれる危険がある。それで電極を薄膜として平板上に塗布又は焼附ける事を試みた。

此の報告では専ら硝子板上に金の電極を焼附けたものに就て述べる。硝子板は顯微鏡の slide glass でその寸法は 26×76×1mm である。製作の順序は次の如くである。

1. 洗滌 硝子板を重クロム酸洗滌液に約一晝夜浸し、水洗後更に 70°C の苛性ソーダ 5% 液に 10 分間浸し、後蒸溜水中にて數時間煮沸する。その後熱氣乾燥を行ふ。

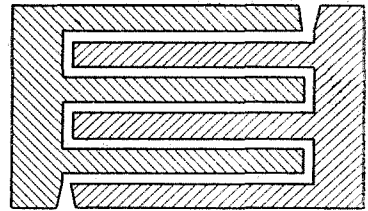
2. 金液塗布及び第一回焼着け コロイド状の金液を平均に塗布し、一晝夜乾燥後約 500°C で焼附ける。

3. 線引き (Cutting) 特別に設計製作した横削盤の如き器械で第 44 圖の様な線をつける。金の粒子はまだ密着度が弱いのでこの線の部分のみ搔取られ、金膜は楕形に入り組んだ二つの電極に分れる。この線の部分が漏洩抵抗面になるのである。

4. 第二回焼着け 今度は約 600°C に 10 分間保ち、後は爐の中で徐々に冷却する。かくして金粒子は完全に硝子面に密着し、爪位では傷がつかず、布で軽く磨いて艶を出す事が出来る程度である。

5. 煮沸 4 の操作に引き続き再び蒸溜水で數時間煮沸し、乾燥する。

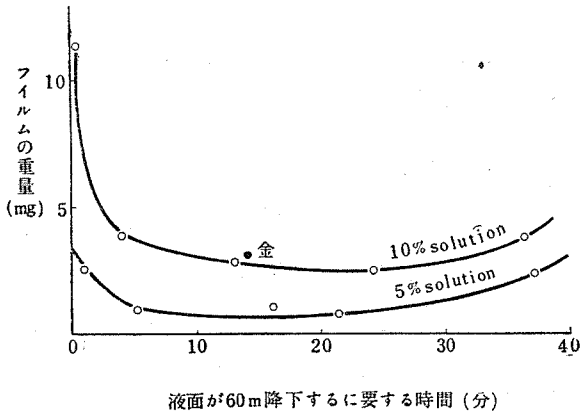
6. 膜つけ (Coating) かくして出来た硝子基面の上にポリスチロール又は醋酸ヴィニール等の樹脂膜



第 44 圖

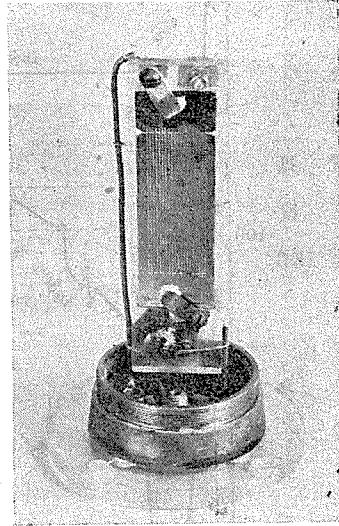
を塗布する。その方法はスチロールのトルオール溶液、又はヴィニールのアルコール溶液を作り、その中に硝子を浸して一定の速さで液面を引き下げるのである。引き下げの方法は、サイフォンを利用して水槽の水面を降下させ、その中に浮かしたピーカー中の溶液面をピーカーと共に降下させる。この液面の降下の速度と、金を塗らない硝子に附着した液の重さとの關係を

調べて見ると第 45 圖の如くなる。即ち早ければ澤山着くし、又あまり遅くても澤山つく。7cm 降下時間が 10 分乃至 30 分が丁度一定の附着量を示してゐる。又溶液が濃い程澤山つくのは當然の事である。又金膜の有る場合と無い場合も比較したが大差はなかつた。この様



第 45 圖

にして膜着けが終つた後は室中に約一晝夜放置して自然乾燥をさせる。これで感濕體は出來上る。寫眞 6 はこの感濕體を枠に取りつけたところである。

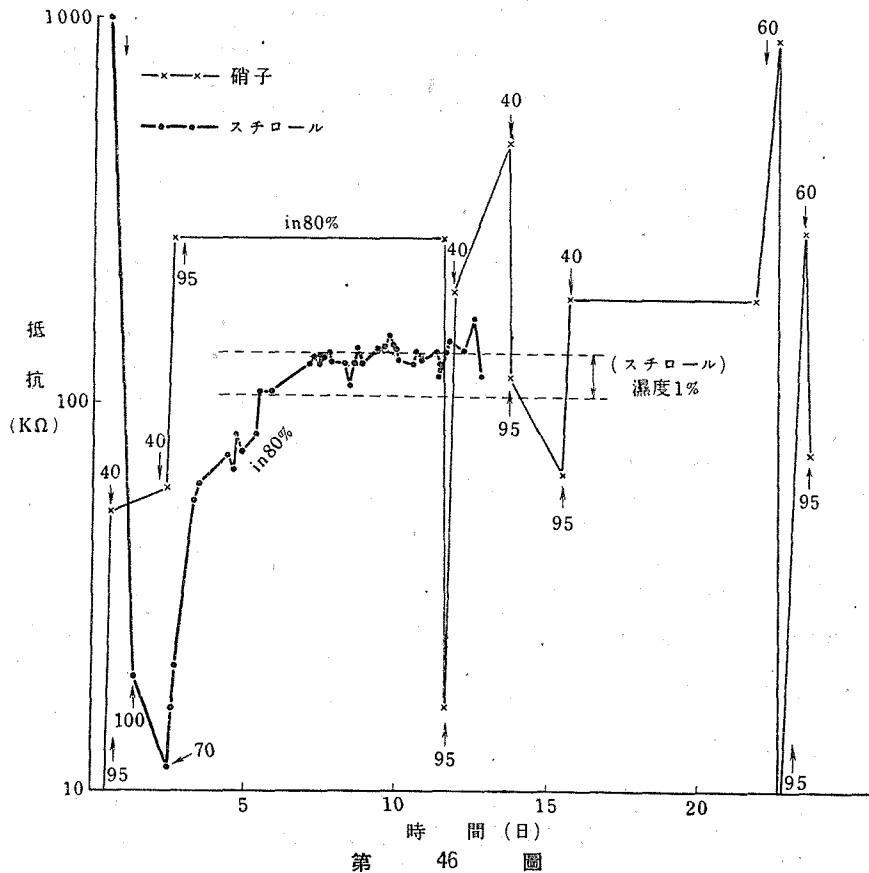


寫眞 6

18. 時効効果 (aging)

感濕體が出來上つた直後は抵抗が不安定でメーターの示指度が甚しく動揺する。然し低濕と高濕の間を繰返して測定してゐる間に次第に安定となつて來る。始め金液の燒着けを 500°C 附近で一回だけにして置いた場合は、この不安定さはなかなか取れないので、600°C 附近で第二回燒着けをした處、非常に早く安定するやうになつた。尙感濕體に蒸氣をかけては乾燥する事 (steaming) を繰返して操作して見たが、大した効果は認められなかつた。

一般に抵抗値は日が経つにつれて大きくなつてゆく。第 46 圖は硝子面の場合と、スチロール膜つけの場合の濕度 80% 中の aging を示す。後者では凡そ一週間位で安定する。毎日の測定點の小變動は溫度變化による瓶中の濕度の變化に原因する。硝子面の場合の濕度 80% 中の aging 測定の合間に時々低濕、高濕の循環測定を繰返したので後述する drift の影響が大きく、スチロールの場合程はつきりした傾向を掴む事は出來ない。尙圖中の 90 の印は 90% より 80% に移して測定した事を意味する。又始めは濕度抵抗特性曲線に履歴現象の現はれなかつたものでも、低濕-高濕の循環測定を繰返してゐるうちに次第にこの現象が現はれて來る場合がある。



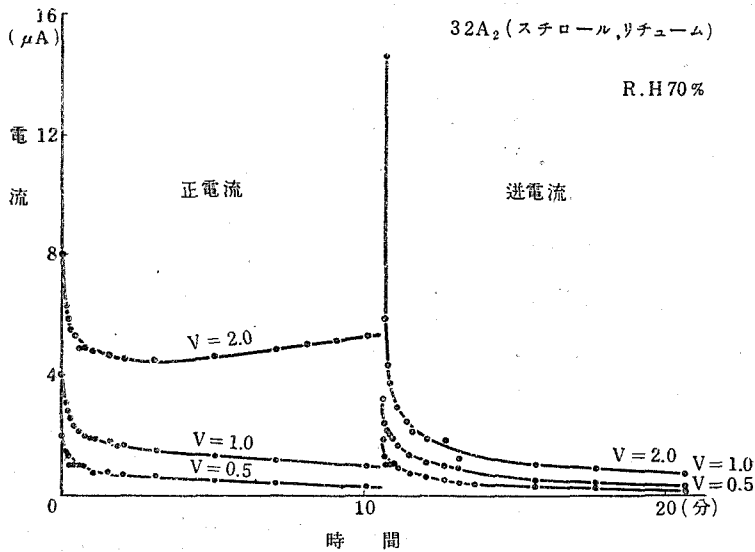
この原因は調査の結果二つあつて、一つは後述する膜のひび割れの爲であり、他の一つは便宜上白化と名づける現象の爲である。この白化現象と云ふのは、硝子の表面に白い粉状のものが析出することである。顕微鏡で見ると樹枝状又は板状の結晶をなしてゐる。それで感濕體製作前硝子を苛性カリで洗滌し、又焼附け後蒸溜水煮沸を行つたところ、この白化を完全に防止する事が出来た。

時効効果ではないが、表面汚損の影響も調べて見た。塵等の附着を筆で拂ふ程度では影響は認められない。然し布で強く擦つた場合は抵抗が甚しく大きく、湿度に對する感度も悪くなる。これは専ら硝子面に膜つけを行つたものみに起る現象で、膜の破損によるものと思はれる。尙霧中の測定に使用して表面が水滴で蔽はれたやうに思はれる場合でも、静かに乾燥すれば差支へない。このやうに感濕體の特性に影響を與へるのは表面汚損の程度が割合にはげしい場合だけであつて、表面汚損を左程氣にする必要はない。

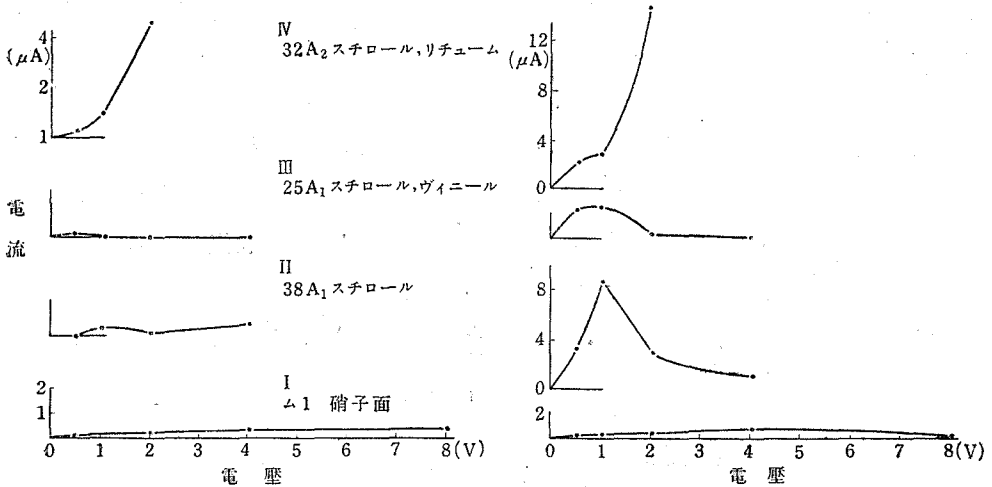
19. 感濕體の電流に對する性質

(I) 直流を通す場合 一例として感濕體 32A₂ に直流を通じ、約 10 分間後スイッチを切つて逆電流を更に 10 分間測定した時の電流と時間の關係を第 47 圖に示す。これを見ると明らかに可逆的な分極現象を生じてゐる事がわかる。更に四種の感濕體に就て、加へた電壓と殘餘電流との關係(左)、及びスイッチを切つた瞬間の逆電流と電壓との關係(右)を調べると、第 48 圖の如くなる。但しこの場合に用ひたユニットは次の如きものである。

感濕體	膜着け	實驗の濕度, 溫度	
I ム 1	硝子面	95%	14.6°C
II 38A ₁	スチロール	95%	14.5°C
III 25A ₁	スチロール, ヴィニール	70%	14°C



第 47 圖

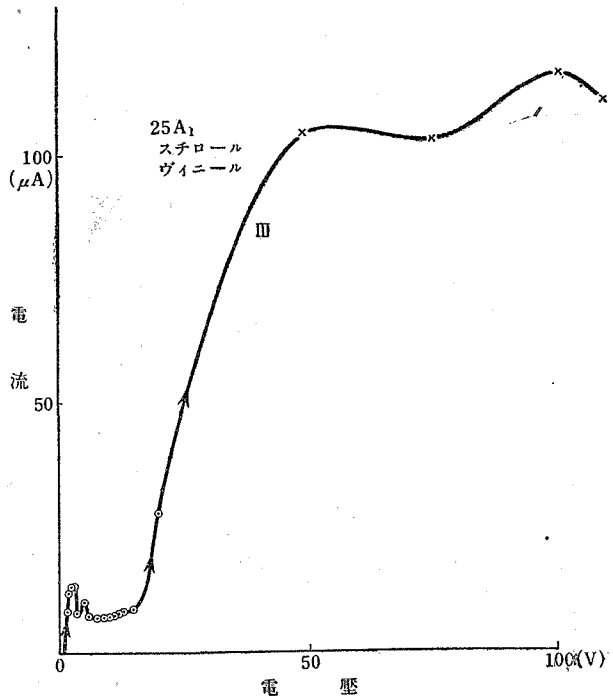


第 48 圖

IV 32A₂

スチロール, LiCl 70% 14.4°C

圖中の曲線 IV は鹽化リチウムをかけた感濕體の場合であつて、2 ボルトにならないうちに残餘電流は大きくなり、電氣分解の様子を示してゐる。且つその分解電壓も普通の鹽化リチウム溶液のものと同程度である。ところが他の三つの感濕體では、残餘電流は甚だ少なく、分極起電力は甚だ大きい。一例として III の感濕體の場合、100 ボルトまで電壓を上げたときの電流の増加の模様を第 49 圖に示す。複雑な變化を示し、約 10 ボルト位で電流は一度極小となりその後急激に上昇する。又 48 圖の右側に示した逆電流は IV の感濕體を除いては一般に小さく、又ある電壓では極大値を示し、それ以上ではかへつて少くなつてゐる。硝子面のみの感濕體では逆電流は特に小さい。

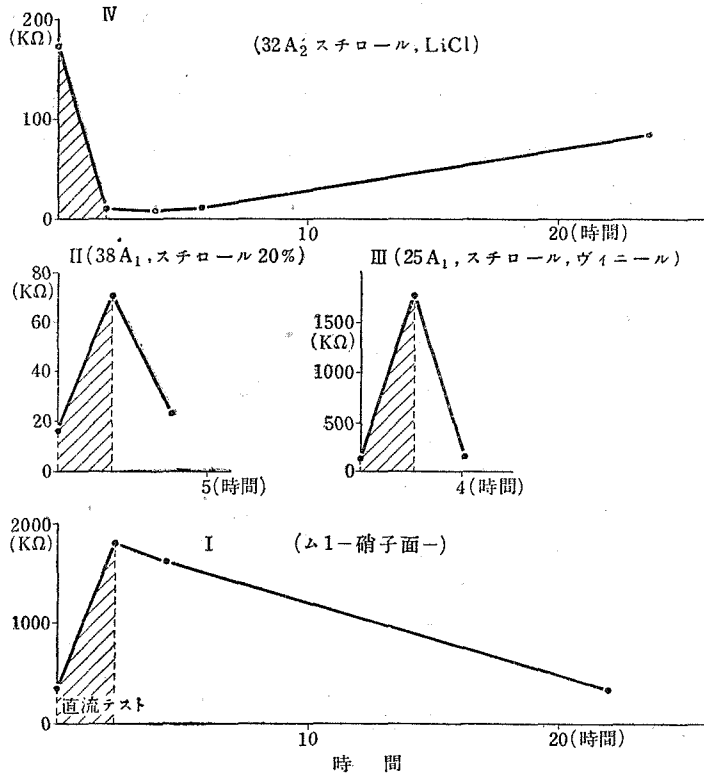


第 49 圖

次に直流を通ずる直前及び、直後の感濕體の交流抵抗の變化を測定して見ると、第 50 圖の如き経過をとる。圖中の斜線の部分は直流試験中である。これを見ると IV の感濕體を除いては直流を通じた爲に抵抗が一度多くなり、後數時間で次第に回復する。しかし硝子面の場合はそれが甚だ遅い。ところが IV の鹽化リチウムの入つた感濕體では抵抗は一度減少し後次第に回復する。之を要するに感濕體は例外なく直流に對しては電解質に似た傳導を行ふものである。中でも鹽化リチウムを含んでゐるものは、典型的な電解質の傳導をする。しかし樹脂膜の場合は一般に複雑である。分極起電力はかなり大きい硝子面のみの場合は逆電流が特に小さいといふ特徴がある。

(II) 交流を通ずる場合 感濕體に交流を流す場合、感濕體の有するインピーダンスの内容は次の如くに分けて考へると便利である。

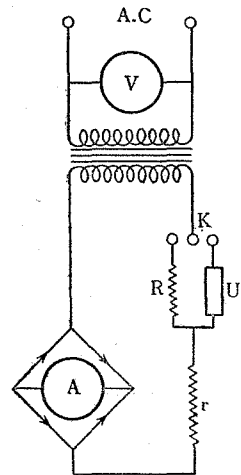
$$\text{インピーダンス構成要素} \left\{ \begin{array}{l} \text{抵 抗} \left\{ \begin{array}{l} \text{表 面 抵 抗} \\ \text{内 部 抵 抗} \end{array} \right. \\ \text{容 量} \left\{ \begin{array}{l} \text{誘 電 體 容 量} \\ \text{分 極 容 量} \end{array} \right. \end{array} \right.$$



第 50 圖

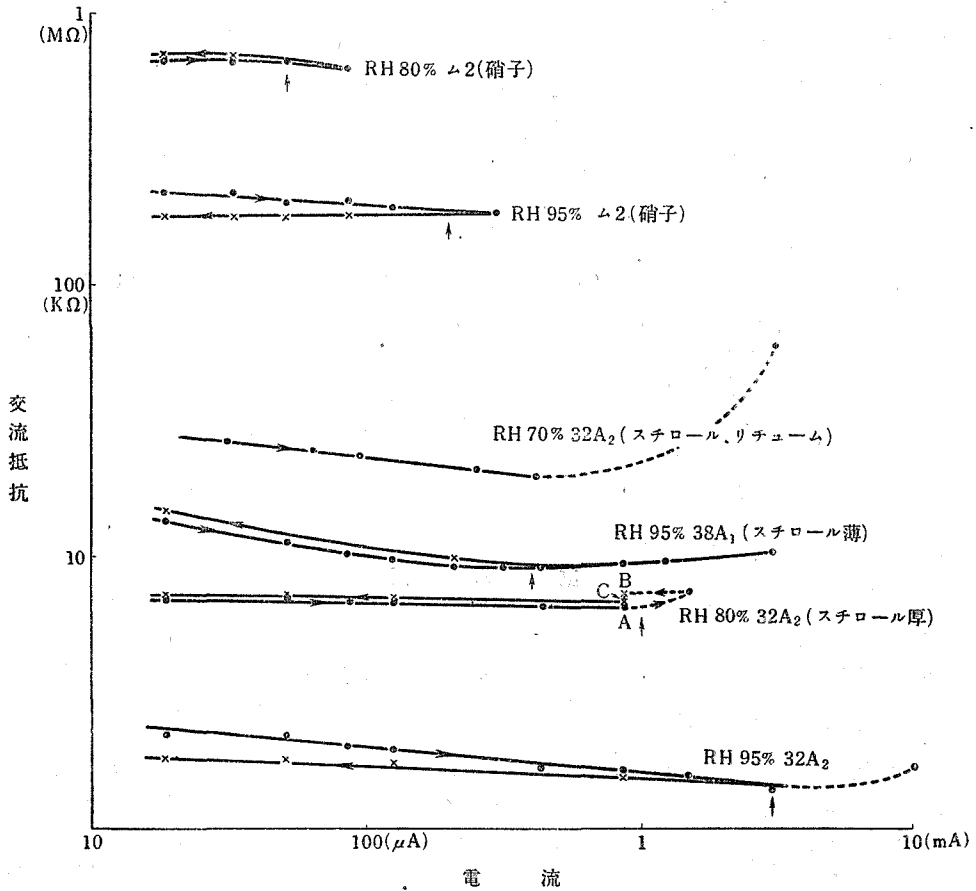
感濕體の電気傳導の本質は未だ明瞭ではないが、大體硝子又は膜の表面の傳導と、硝子の表面下若干の厚さの層、及び膜自身の内部傳導から成つてゐる事は間違ひなく、従つてその各に應じて表面抵抗、内部抵抗が考へられる。又電極は平面上にある極めて薄い金の膜よりなつてゐるが、二極の間隙が非常に狭いので、電極の幾何學的配置と硝子又は膜の誘電的性質による容量が考へられる。この他に前述の如く電解質的分極現象に基づく分極容量もある。これは普通の意味の容量ではないが、分極起電力の爲に起る見かけの容量である。今感濕體を容量 C と漏洩抵抗 R とが並列にある一つの蓄電器と看做して交流ブリッジを用ひてその容量を測つてみたが、 C は約 $20\mu\mu\text{F}$ の程度であつて、60 cycle の交流を用ひ、最高 $10\text{M}\Omega$ 位の漏洩抵抗を取扱ふ場合にはこの容量は無視しても差支へない程度である。

さて感濕體に交流を流した場合の等價抵抗はオームの法則が成立つ様なものであるか、又は電流によつて變化するものであるか



第 51 圖

が問題である。それで色々の強さの電流を流した場合の抵抗を第 51 圖の如き回路によつて測定した。スイッチ K を感濕體 U に連結して交流電壓計 V と整流器付き直流電流計 A を読み、次に K を R に切替へ、同じ V と A の状態になる様に抵抗 R を調整し、その R の價を以つて感濕體の等價抵抗とする。この様にして求めた R と電流 A との関係は第 52 圖に示す如くである。この圖では兩軸とも對數値を用ひてある。感濕體は硝子面のみのもの

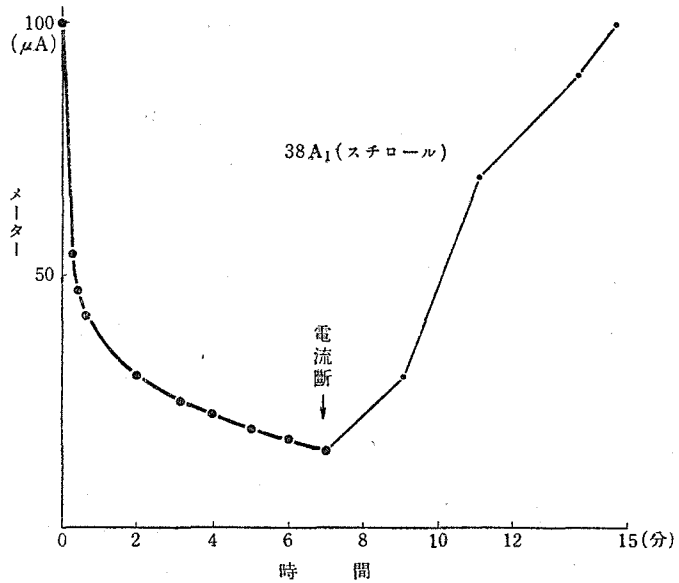


第 52 圖

と、スチロール膜のあるもの、更に鹽化リチウムを加へたもの等に就て測つたが、何れの場合も電流と共に抵抗は若干減少する。然しその減少の程度は感濕體によつて色々である。此の傾向は濕度を變へても同じである。ところが電流が或る程度以上大きくなると再び増大し始める。この増大は次の現象と關係があるものと思はれる。今ある電圧で電流を通じたまま放置すると、電流計の指度が次第に減少を始める事がある。即ち低抗値が増大する。そこである程度減少した後スイッチを切つて、次には時々讀取りの時だけ短時間電流を通して測定を行ふと次第に再びもとの状態に回復する。

第 53 圖にこの實驗の一例を示した。この様な現象は電流値がある値以上になると始まる。

然しその時の感濕體の示す抵抗値の大小によつてもこの現象の開始の電流値が違つて、抵抗値が高い程小さい電流で始まる。第 52 圖の↑印がそれである。この様な事から考へると、これは感濕體の表面物質の化學的な變化ではなくて、ジュール熱のために起る發熱現象で、その爲に表面近くの溫度が上昇しそれに接する空氣の相對濕度を減少するために起るのではないかと



第 53 圖

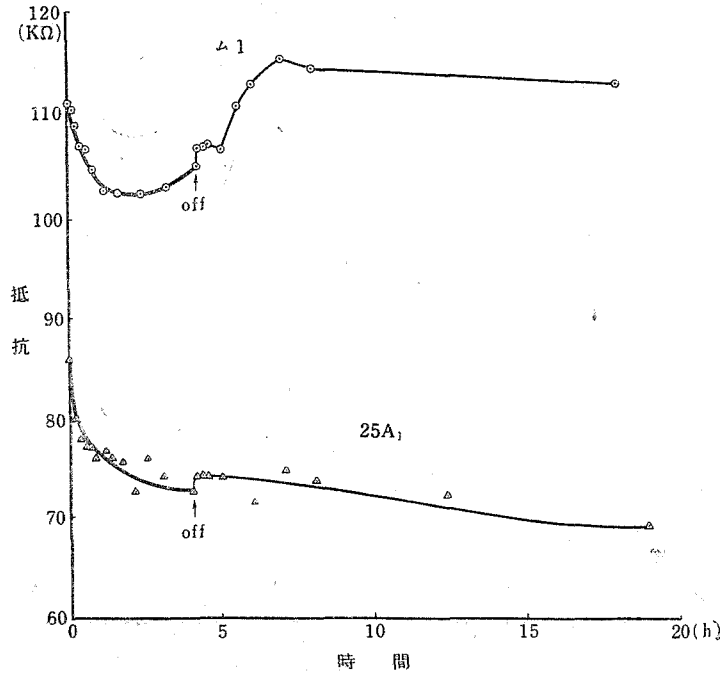
思はれる。事實この現象が起り始める時の感濕體の負荷は、どの感濕體でもほぼ一定で約 10^{-3} watt 程度である。前述の第 52 圖の曲線で、電流がある程度以上大きくなると抵抗が増大するのは測定操作中このジュール熱が発生するために起るものと考へられる。圖中濕度 80% $32 A_2$ の曲線で點 B は 1.5mA の測定直後 0.85mA にして素早く測定した場合、C 點は電流を切つて約 20 分放置した後、又 0.85mA にて測定した時の値である。この値は 1.5mA を通さない前の値 (A 點) に戻つてゐる。

以上の事から考へると、感濕體に交流を通じてその等價抵抗の濕度による變化をメーターに指示する場合、次の二つの事に注意しなければならぬ。即ちその一つは感濕體の等價交流抵抗には嚴密にはオームの法則が適用されず、電流と共に若干その値を變へるものであるから、測定器のメーターの読みから抵抗値を求め、抵抗と濕度との關係として圖示する事は正しくない。といふのは同じ濕度でも測定器が違へばその回路の電流状態でユニットの抵抗が違つてくるからである。従つて常に同一の回路を用ひ、メーターの指度と濕度との關係のみを取扱ふのが本當である。しかしこの様な電流によつて抵抗が變化する程度は感濕體によつて色々であるが一般には僅少で、測定回路の電流の變化する範圍を餘り大きくしなければ實際問題としてはこの現象を無視しても構はない程度である。

次に第二の注意は回路の電流を餘り大きくしてはいけない事である。感濕體に 10^{-3} watt 程度以上の負荷をかけない様にするのが安全である。吾々の測定器では感濕體の抵抗の實際の値

から考へて、 $150\mu\text{A}$ 以上は流さない様にし、普通 $50\sim 100\mu\text{A}$ の間で測るやうに設計した。

感濕體の電気傳導の本質は、電解傳導を加味した誘電體としての漏洩傳導と考へられ、その抵抗は周波數によつても變はる事が期待されるが周波數の影響に關する實驗は行はなかつた。



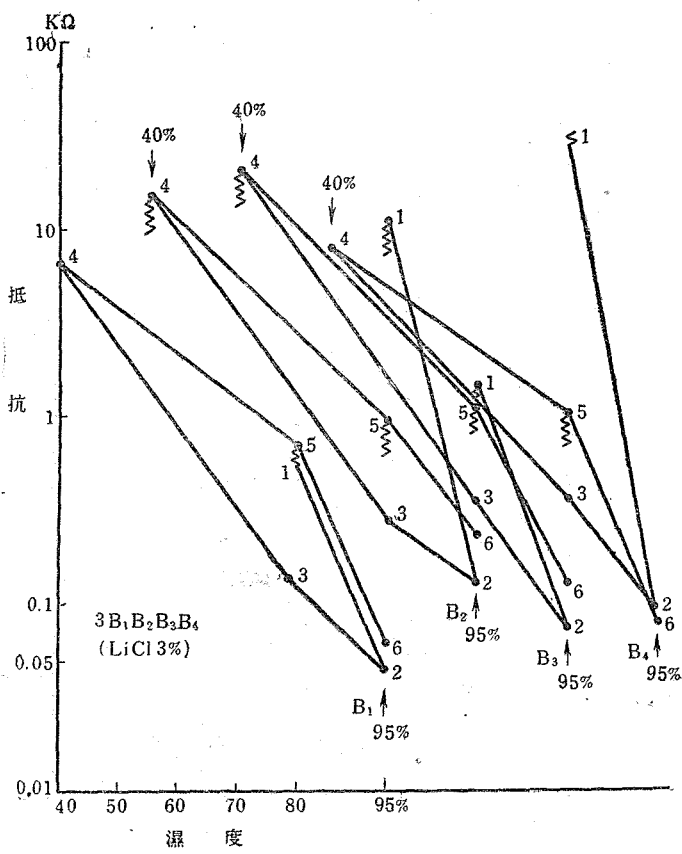
第 54 圖

たゞ直流抵抗と比べて 50 サイクルの交流の抵抗はるかに小さく、例へば 32A_2 の感濕體では前者が約 $250\text{K}\Omega$ 程度であるのに後者は $25\text{K}\Omega$ 位である事は一般の誘電體の漏洩抵抗としての考へを充分支持するものである。又一定の電流を長時間通した時の抵抗の變化及び電流を切つた後の残留効果も當然豫想せられる。第 54 圖は硝子面のみの場合 ($\Delta 1$)、とステロール、ゾイニール膜着けの場合 (25A_1) に就いて調べた結果である。兩者ともその影響が認められる。特に後者では残留効果が長時間に及ぶ。

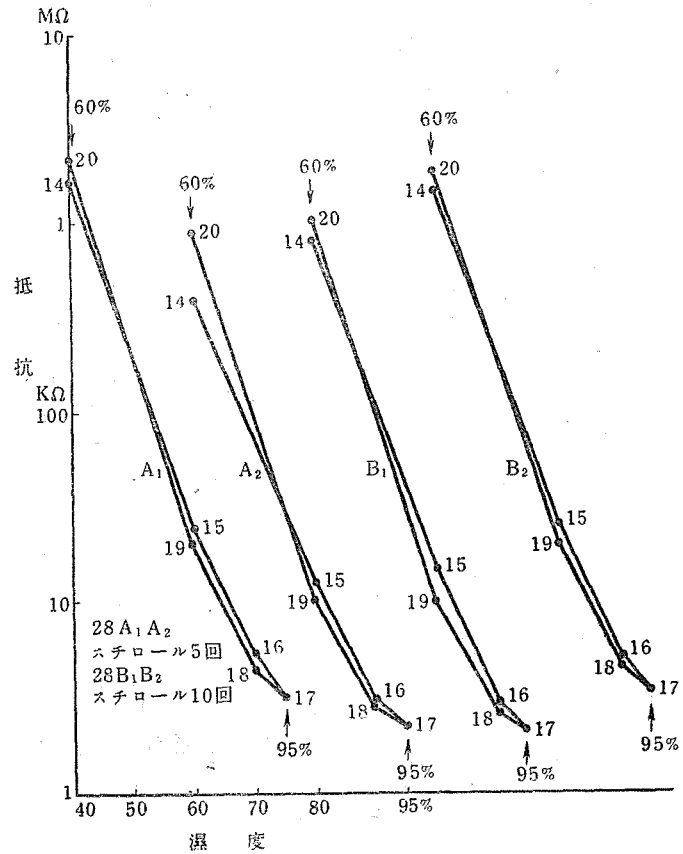
以上述べた感濕體の抵抗値に及ぼす交流の種々の影響は、濕度がそれに及ぼす影響に比べては甚だ小さいものであつて、後述する濕度—抵抗の特性曲線を用ひて抵抗の變化に換算すると、せいぜい $1\sim 2\%$ 程度である。この位の誤差は他の原因、例へば履歴現象等による誤差の範囲に入るので、本研究で製作した感濕體では餘り問題とするに當らない。

20. 濕度—抵抗特性曲線及びそれに影響を及ぼす諸因子

相對濕度と感濕體の交流等價抵抗との關係を圖示すると第 55 圖、第 56 圖の如くなる。但



第 55 圖



し抵抗値は對數目盛で示してある。又圖中の數字は測定順序である。これを感濕體の特性曲線といふことにする。前者は研究の初期に製作したもので、感濕體番號 3 B₁, B₂, B₃, B₄ は皆同じやうな操作で作つたに拘らず甚だ不揃ひであり、その特性曲線は回を重ねる度に甚だ違ふ。又抵抗値は不安定で、例へば圖中 MMM 印の箇所は抵抗値が絶えず振動する。これに反し後者は四つの感濕體ともよく揃つた特性を有して居り、その特性曲線即ち湿度と抵抗の對數の關係曲線はほぼ直線であるが、高濕部では上向き(又は下向き)の曲線となるのが普通である。たゞ第 55 圖でも第 56 圖でも共通の事は高濕→低濕→高濕と一循環の測定をなす際に履歴現象を示す事である。然しその履歴の程度は第 56 圖では非常に小さくなつて居る。

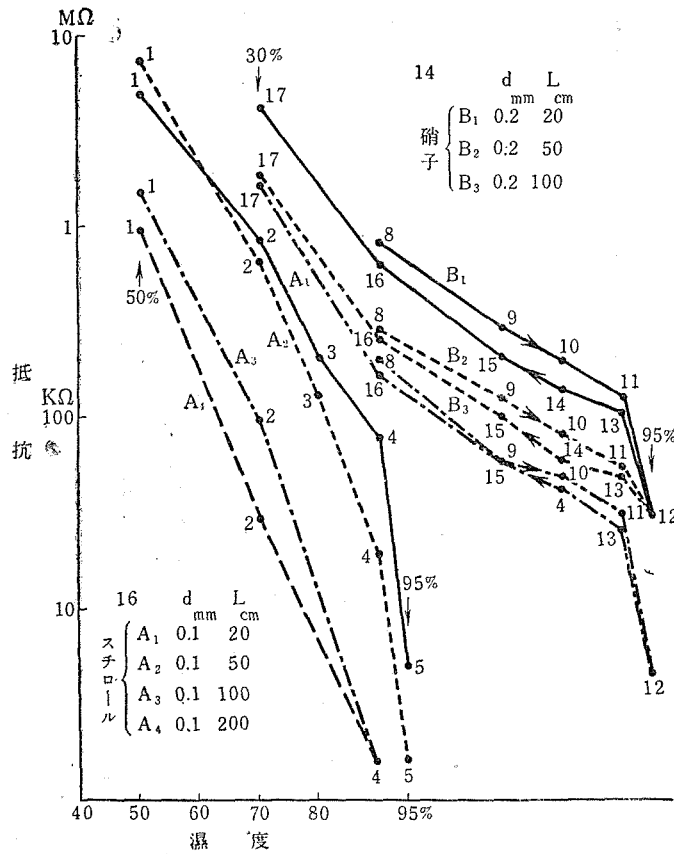
さてこの様に特性曲線に影響を與へる因子は色々あつてよく解らない事も多々あるが、研究の主力を先づ電極の製作技術の問題に注ぎ、次いで膜着けの問題に移した。その結果の大體を述べると、先づ抵抗の不安定は再燒着けと、膜着けによつて除く事が出来た。又履歴現象はスチロールの膜着けによつて非常に少くする事が出来た。又少量の鹽化リチウムを加へることによつて曲線の直線性を増すことが出来た。以下電極と膜着けについて詳述する。

21. 特性曲線と電極の形

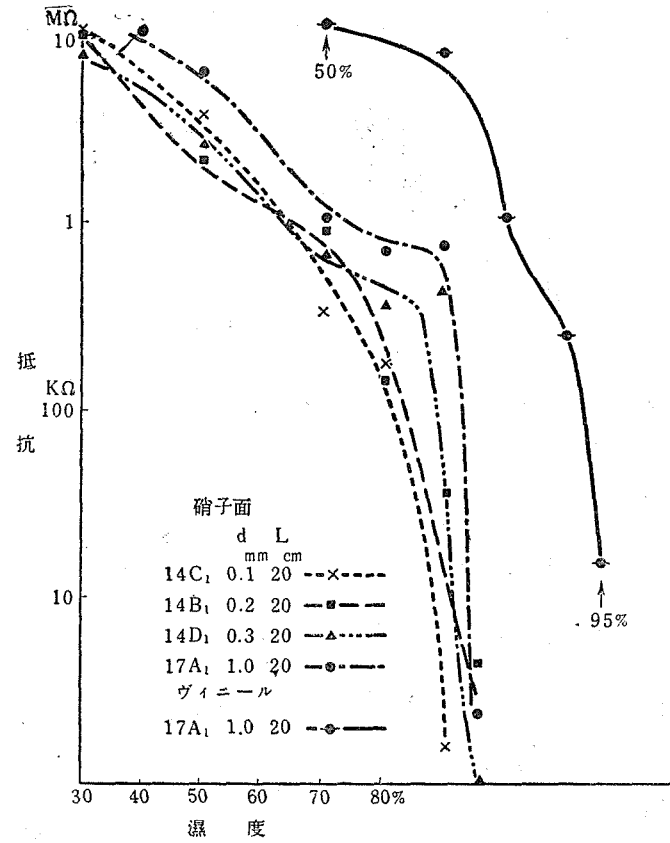
前述の第 55 圖の感濕體を作る頃は電極の線引をなすに當つて、定規と針を用ひて人の手で行つてゐた。その爲電氣の漏洩面に不揃ひが出来たものと思はれる。それで後には横削盤の小型のものを作り、そのバイトは發條で軽く硝子面に觸れるやうにして金膜を削つた。第 56 圖の感濕體はこの機械を用ひて作つたもので、硝子面の上にスチロールの膜着けをしてある。

線の幅及びその全長が特性に如何なる影響を及ぼすかを調べてみた。第 57 圖は線の幅 (d) を一定にして長さ (L) を色々に變へた感濕體の特性曲線を示す。 L と抵抗値とは反比例する筈であるから、抵抗の對數値をとつた曲線では L が長い程下方に平行に移る筈である。この傾向は第 57 圖で明瞭に認められる。又感濕體面が硝子面の場合 (14 B) もスチロール膜面の場合 (16 A) もこの關係は同じである。たゞ L とこの平行移動とは數量的にはよく一致しない。それはこの他の色々因子の影響があつて複雑だからである。

次に線の幅 (d) の影響を調べる爲に d を色々に變へて作つた感濕體の特性曲線を第 58 圖に示す。 L はすべて 20 cm とし、 d は夫々 0.1, 0.2, 0.3, 1.0 mm とした時の感濕體 14 C₁, 14 B₁, 14 D₁, 17 A₁ に就いての測定點を夫々 \times , \blacksquare , \blacktriangle , \bullet 印で示す。これ等から各々の感濕體の傾向を少し誇張して書いた曲線圖を見ると次の如き事がわかる。即ち低濕部 50% 以下ではあまりはつきりした違ひはないが、高濕部 (70~90%) では d の大きい程抵抗は高く、且つ曲線の傾斜がゆるくなる。ところが又ある程度以上湿度が高くなると急激に抵抗が減少する。この變化の曲點は d が小さくなると次第に低濕部に移行して $d=0.1$ mm では見



第 57 圖



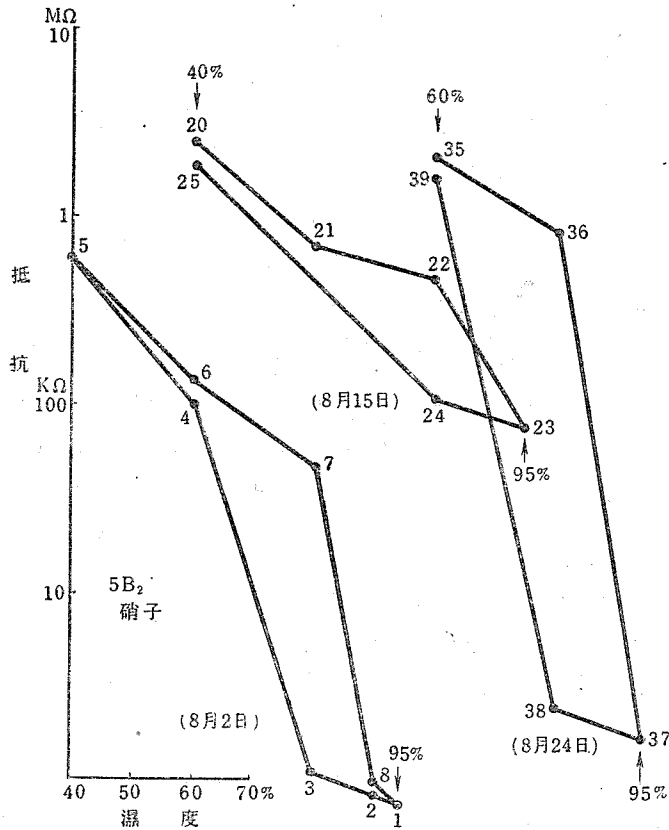
第 58 圖

られなくなる。又 $d=1\text{mm}$ のものでは抵抗は甚だ不安定である。ところが膜着けをすると安定になり、又變曲點もなくなる。圖の ● 印と • 印の曲線を比較するとはつきりわかる。前者は $17A_1$ の硝子面、後者はヴィニールの膜をかけた $17A_1'$ の特性曲線である。この様に線の幅の問題はなかなか複雑であるが、表面の傳導の機巧に關して一つの暗示を與へるものと考へられる。吸着の現象は各部に一樣に起るものではなく吸着に對する活性の中心があり、先づ其所を中心として行はれるものであるといふ事は既に Langmuir によつて指摘されてゐるが、かなり高濕になつても吸着表面には何等かの理由による不均一性が存在するものと考へられないだらうか。例へば既に第 2 節で述べたやうに一樣な膜が切れて小さい膜の範圍、假にこれを水滴と呼べば、水滴が澤山出來るといふやうな事も考へられる。さうするところゝ抵抗は一時増加する筈である。そして更に高濕になるとこの水滴が再び連結して抵抗が急減するといふ様な機構も考へられる。假にこの様な模型を考へれば第 58 圖の曲點前後の事情がよく説明される。そして線の幅 d が小さくなるとその點が次第に低溫の方へずれて、 d のある値以下ではその點がなくなるといふのは、その水滴の大きさと線の幅との關係で説明される。即ちある濕度で變曲點が出来るのはその濕度に於ける水滴の大きさが丁度線の幅と同じ程度になつた事を意味する。此の様な説明は未だ假想的な事であつて、更に充分なる研究を進めなければならぬのであるが、線の幅の問題は兎も角表面電氣傳導の機構に大切な暗示を與へる事項であらうと思はれる。尙又硝子面にヴィニールの膜着けを行へばこの様な現象がなくなるといふ事は、この現象が硝子面だけに特有な事であるのかも知れない。しかし電極の上に不導體の膜がある爲に兩極間の電流の場が變るといふ事も考へに入れて置かねばならない。

22. 特性曲線と膜着け

硝子面の抵抗 硝子面の電氣抵抗の特性曲線は一般に甚しい履歷現象 (hysteresis) が見られる。第 59 圖にその一例を示す。曲線中の小數字は測定 of 順序を示す番號である。1—8 の曲線は最初 95% の濕度中に約 15 時間放置した後測定を始め、次に各數字の測定を 1 時間づつかけて行つたものである。履歷曲線は常に 80% あたりが最も開いてゐるのが特徴である。次に 20—25 までの曲線は最初 40% の濕度中に 17 時間放置した後に測定を始め、次いで各測定を 2 時間づつかけて行つたものである。この曲線は矢張り履歷現象を示すが、曲線は全體として高抵抗部に移動してゐる。即ち drift の現象が現はれる。次に 80% の濕度中に 4 日間放置し、更に 60% 中に 14 時間放置した後に前と同じやうにして行つた測定が 35—39 の曲線であるが、高濕部の抵抗が前よりずつと小さくなつてゐる。以上の實驗で解る事は、一つの高濕—低濕間の循環測定を開始前、長時間保持してゐた空氣の濕度が特性曲線の位置に強い影響を與へるといふ事實である。この事實は又一循環測定に現はれる履歷現象とも關聯する

ものであり、恐らく兩者とも同じ原因によつて生ずるものと考へられる。例へば既に第 11 節でも述べた如く硝子では水分が表面に吸着せられるばかりでなく内部までも擴散浸入し、其の擴散は甚だ遅いものであるから、表面直下の層はなかなか外部空氣と濕氣平衡にならず、濕氣流の爲一種の定常状態となり、空氣よりも若干高い(或は低い)濕位を有してゐるものと考へられる。そして電氣傳導が最表面のみでなく表面下若干の深さの層にも影響せられるものとするれば上記の現象が説明される。又硝子表面が多數の凹凸を有し、これが毛管として作用する爲に生ずる所謂毛管凝縮による履歴現象もその一因となるのかも知れない。その機構は何れにせよ、表面電氣傳導が硝子表面の吸着水分のみでなく、内部へ吸收された水分の影響をも直接か間接に受けるといふ事は確かであらう。



第 59 圖

膜着けの厚さ それでこれを防ぐには、硝子の表面を主傳導面とせず、防水性の膜を以つて蔽ひ、この膜の表面を傳導面とすればよいといふ事が當然考へられる。しかしこの膜の上に金の電極も焼きつけるわけに行かぬので、金膜の上に極めて薄い膜をかける事にした。膜の種類及び膜の厚さで、その厚さの方向の體積抵抗は違ふが、今次の如き計算を行つて見る。第 17 節

の膜着けの實驗でヴィニールの 10% アルコール溶液中で約 35 分かけて膜着けを行つた場合、膜の重さは約 5mg である。この比重を 1.35 とし、硝子面の両面の面積を $7.5 \times 2.6 \times 2 \text{ cm}^2$ として膜の厚さを計算して見ると $9.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$ となる。ヴィニールの體積比抵抗 $10^6 \text{ M}\Omega$ を用ひてこの膜を通してその厚さの方向の抵抗を計算すると、電極 1 cm^2 あたり $10 \text{ M}\Omega$ 程度になる。ところが實際に調べて見たところ、この厚さの方向の抵抗は數 Ω の程度である。これはスチロールを用ひた場合でも同じである。この理由はよく解らないが、膜の厚さは實驗に所謂薄膜の色を認め得る程度であるから、 10^{-5} cm 程度と考へるのは間違ひでなく、たゞこの様な薄膜の體積比抵抗は普通の比抵抗とは違ふものかも知れない。兎も角も膜の厚さの方向の抵抗は無視しても差支へないので、金膜の上に膜着けを行つてもこの程度の厚さでは全抵抗はさ程大きくはならず、しかも膜面上の表面抵抗が主役を演ずるものと考へられる。

ヴィニールの膜着け 醋酸ヴィニールのアルコール溶液中で下表の如き條件で膜着けを行つたユニット三種に就ての特性曲線は第 60 圖の如くなる。これを見ると

8 A ₂	10 % 溶液	膜着時間 77 秒
8 B ₂	10 % 溶液	// 21 分
8 C ₂	5 % 溶液	// 22 分

膜の薄いものの方が即ち、8 A₂ より 8 B₂、8 C₂ の方が履歴現象が少い。然し 8 B₂、8 C₂ でも測定を繰返してゐるうちに再び履歴現象が大きくなつてくる。

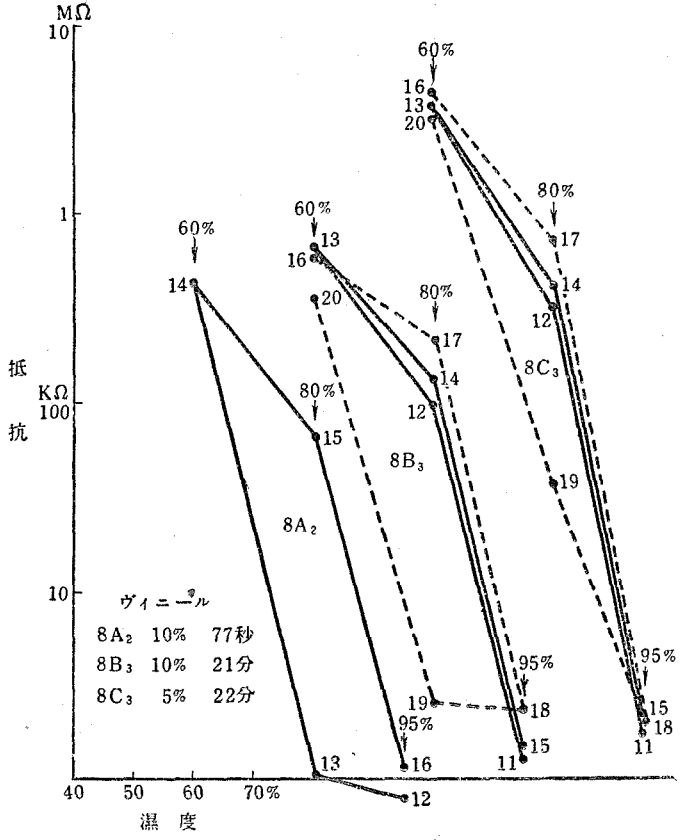
又ヴィニールの膜のみを二つの眞鍮の電極で作つたスリットの間に張つて抵抗を調べると第 61 圖の如く測定回数を重ねるに従つて次第に抵抗が高くなつて行く。そして肉眼でも膜面の龜裂を認め得るやうになつた。それで第 61 圖に於ける、時が経つに従つて強く現はれる履歴現象は多分龜裂その他の原因による膜の多孔性の増大に基くものと考へられる。

次にヴィニールの溶液中に鹽化リチウムの水溶液を若干混じて見た。その結果を第 62 圖に示す。感濕體は次の如き膜着けを行つた。

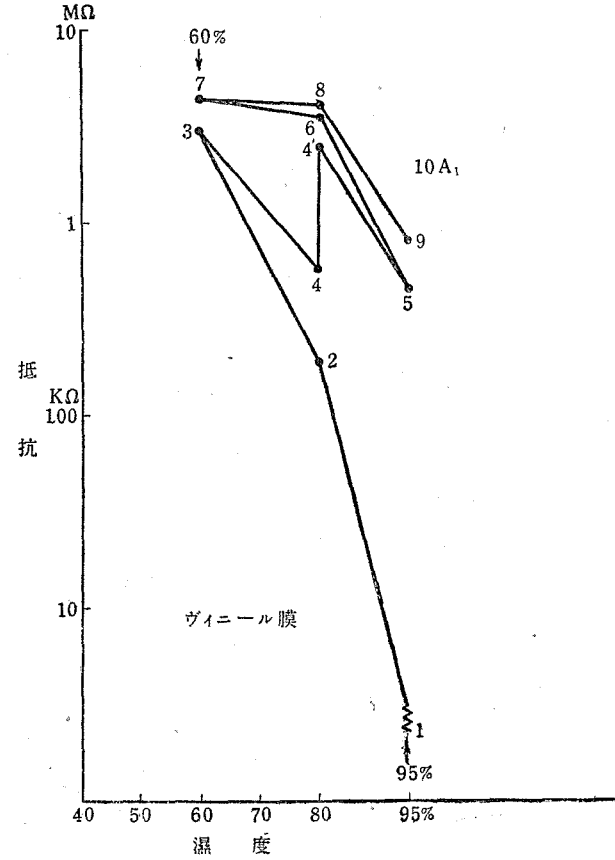
9 C ₂	5 % ヴィニール	0.01% LiCl	23 分
9 B ₂	7.5% ヴィニール	0.5 % LiCl	25 分
15 B ₁	No.10 溶液*	1.0 % LiCl	19 分

鹽化リチウムの多いものは抵抗少く又履歴現象が大きい。これに反し鹽化リチウムの極く少いもの (0.01%) は抵抗値は大きいが曲線は直線に近く履歴現象も少い。9 B₂ では 60% に 16 時間放置後の測定では (11—14)、其の特性曲線が高抵抗の方にずれてゐる。即ち硝子面と同じやうな性質を示してゐる。

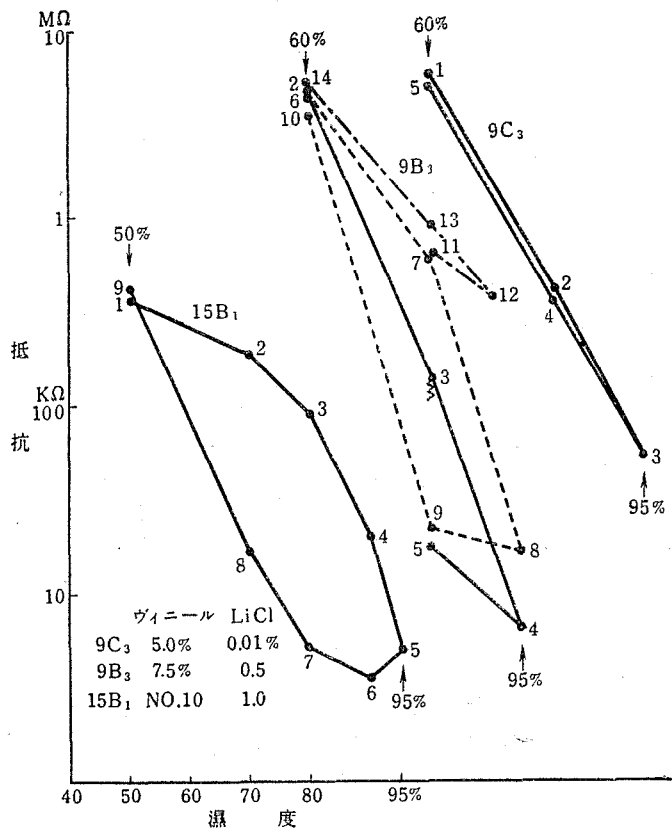
スチロールの膜着け ポリスチロールのトルオール溶液を用ひて行つた膜着けの効果を示すと第 63 圖の如くなる。



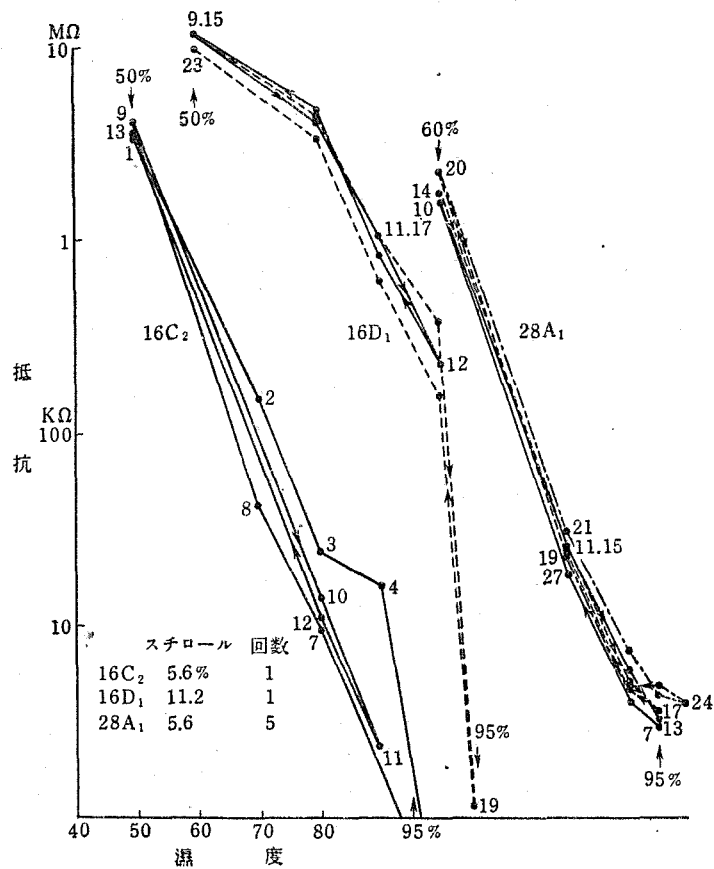
第 60 圖



第 61 圖



第 62 圖



第 63 圖

感濕體の膜着け条件は下表に示す.

16 C ₂	5.6% スチロール	18分 1回
16 D ₁	11.2% スチロール	18分 1回
28 A ₁	5.6% スチロール	15分 1回, 2分 4回

これを見ると 16C₂, D₁ では湿度 90% 以下の循環測定では履歴現象は少ないが, 95% までもつて行くと大きくなる. これに反し 5 回重ねて膜つけを行つたものは 95% 又は 100% にもつて行つても履歴現象は少ない. そして高湿度部で前者は急激に抵抗を減ずるが, 後者ではむしろ減少率が少くなる. 履歴現象の爲の曲線の開きの大きいのは 90% 附近であり, それより低湿になるとずつと少くなる. 従つて 28A₁ の特性曲線を用ひるとして, 90% 以下の湿度では履歴現象による相対湿度の開きは 3% 以下であり, 割合によい感濕體である.

次に繰返し 10 回のスチロール膜着けを行つて表面の多孔性を除き, 更に鹽化リチウムをその上にかけた次の如き感濕體

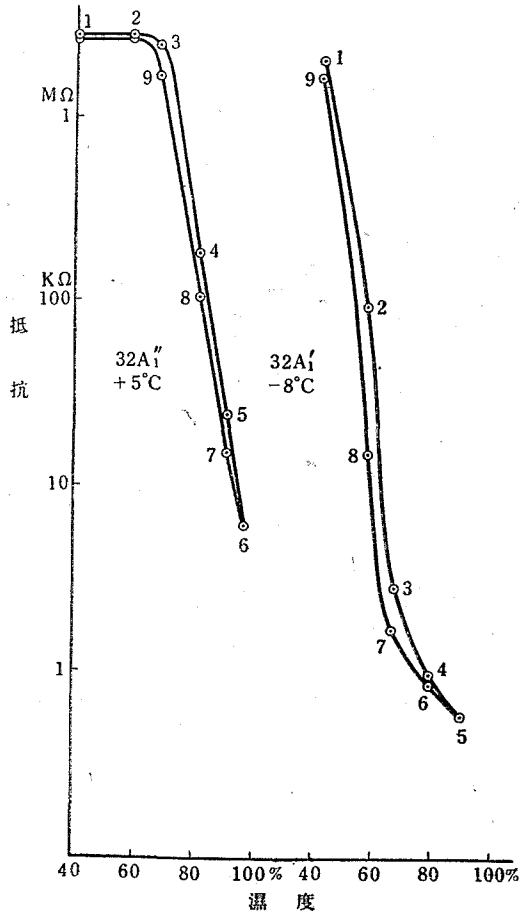
- 32A₁' 22%スチロール 10 回
- 0.5% LiCl 1 回
- 32A₁'' "
- 0.05% LiCl 1 回

の特性曲線を第 64 圖に示す. これを見ると両者とも履歴現象が非常に小さい. たゞ鹽化リチウムの多いものは少ないものに比べて履歴現象がやゝ大きい. 32A₁'' の特性は本研究で製作したうちで最も勝れたもので直線性もよく, 履歴現象による湿度誤差は 2% 以内である.

23. 特性曲度に及ぼす温度及び 壓力の影響

壓力の影響 感濕體を水を含ませた硝子綿と共に瓶中に入れ, 瓶中の壓力を減じ乍ら測定した例を第 65 圖に示す. これによつて, 200mmHg 位までの壓力では殆んどその抵抗値に變化はなかつた.

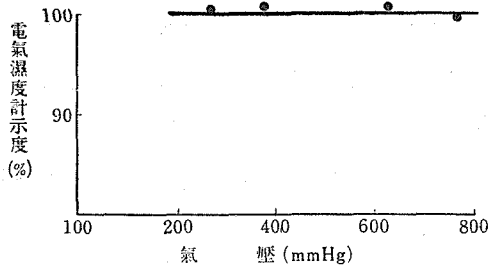
温度の影響 前述の 32A₁'' の感濕體を



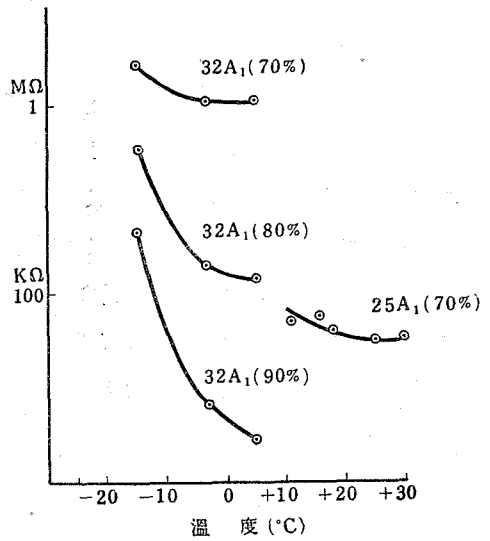
第 64 圖

用ひて $+5^{\circ}\text{C}$, -3°C , -14.5°C の三つの温度で求めた特性曲線を示すと第 66 圖の如くなる。これを 90, 80, 70% の各湿度に就て温度と抵抗の關係に直すと第 67 圖の如くなる。

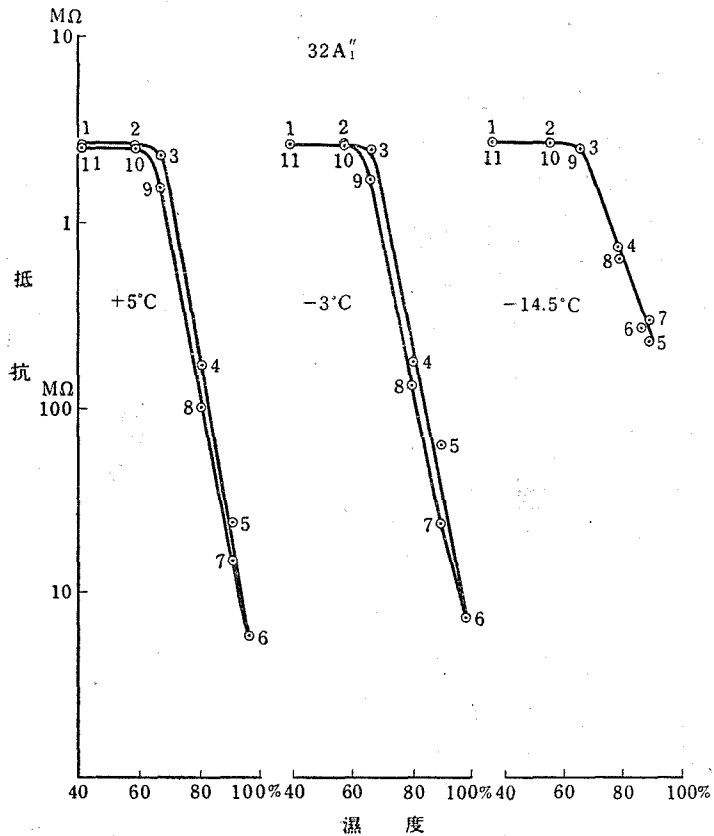
又 5% ヴィニール 2 回, 22.4% スチロー抵抗 1 回の膜着けをした感濕體 $25A_1$ を用ひて湿度 70% に於ける温度と抵抗の關係も同



第 65 圖



第 67 圖

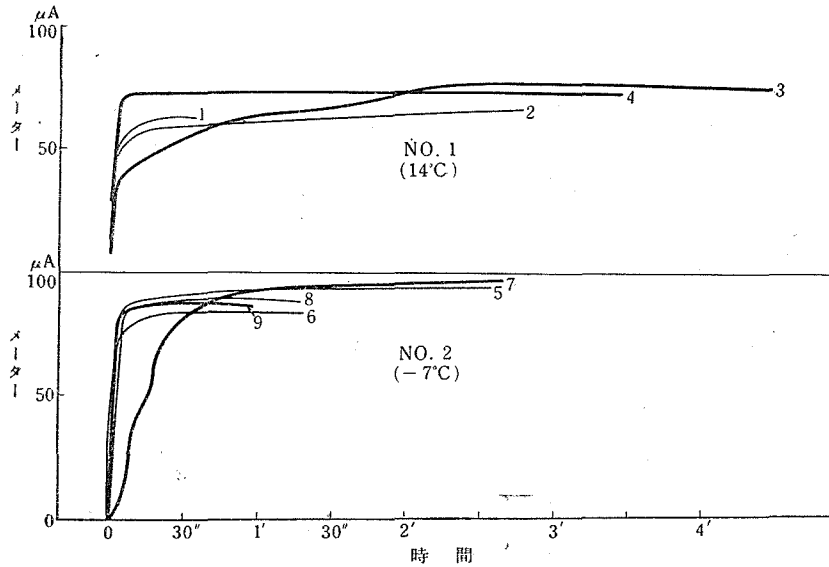


第 66 圖

圖に示した。これらより解ることは、一般に温度と共に抵抗は減少するが、高温では抵抗の變化が少く、低温になると急激に増加する事である。これは誘電體の抵抗の特徴とよく一致してゐる。

24. 遅れ (lag) と履歴現象 (hysteresis)

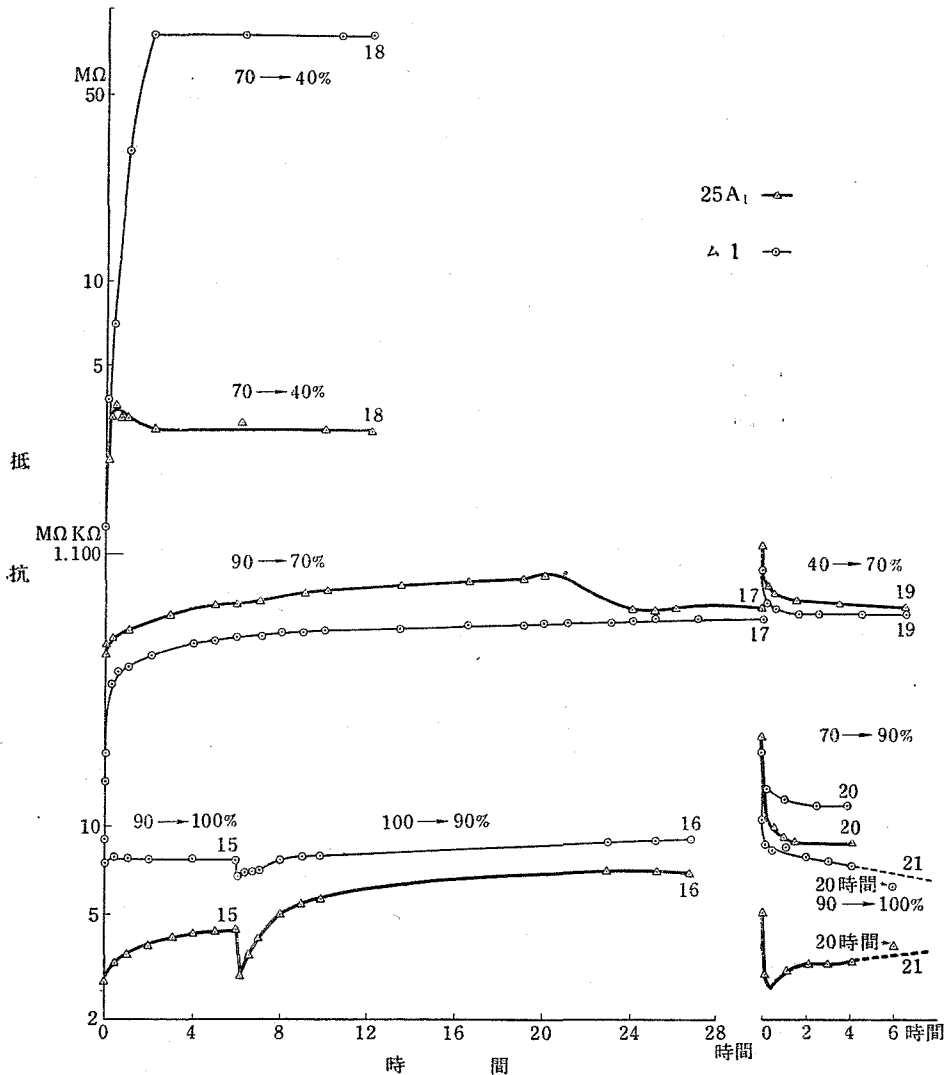
感濕體を急に變つた湿度にもち來すとき、抵抗が新しい湿度に應じて平衡を保つのに若干の時間を要し、その爲にメーターの示度に遅れ (lag) を生ずる。しかもこの遅れはその性質上三つの種類に分けて考へられる。第一は極く初めの數十秒のうちに經過し、第二は數分の間に終り、第三は數十分乃至十數時間もかゝるものである。第 68 圖はこの第一の種類の遅れを示



No.	風速	(No. 1)	No.	風速	(No. 2)
1		2.7 m/sec	5		0 m/sec
2		5.9	6		2.9
3		5.9(24°C, 83%, 40分)	7		7.1(22°C, 57%. 10分)
4		20.0	8		7.1(室中 2 時間)
			9		20.0

第 68 圖

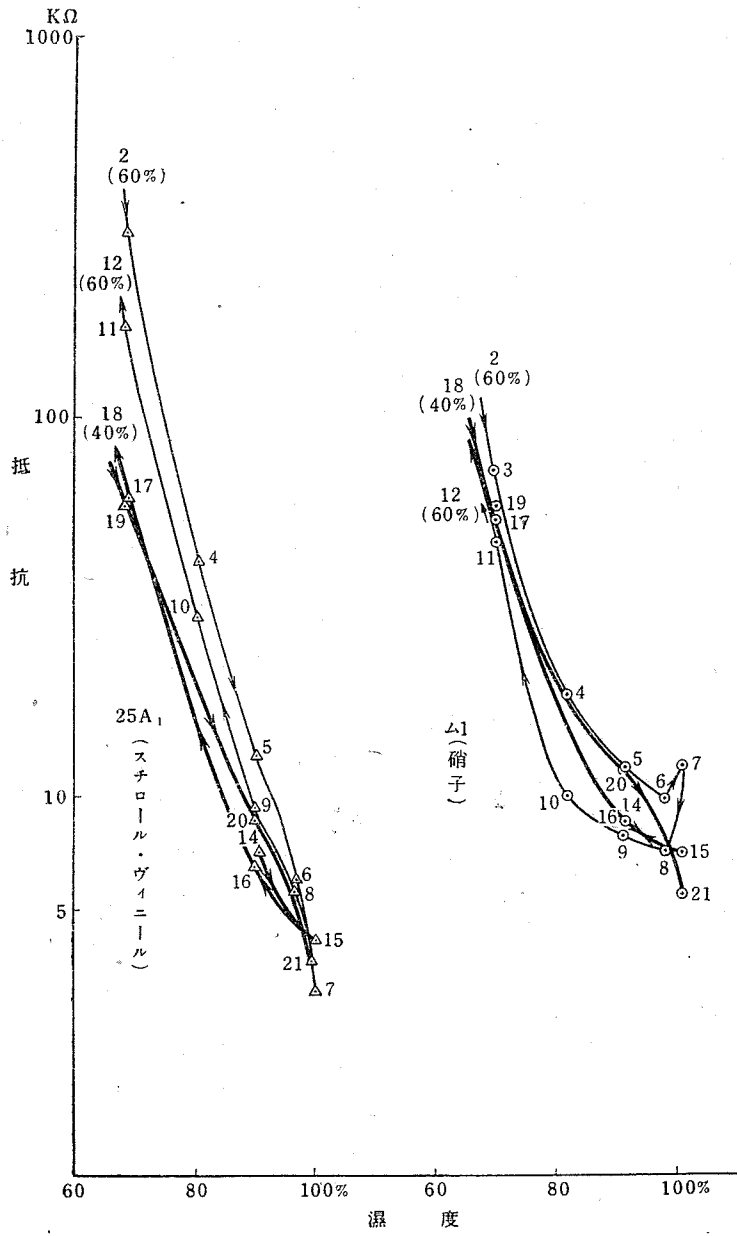
す. No.1 は温度 14°C, No.2 は -7°C の場合であつて, 先づ濃硫酸を入れた瓶の中に感濕體 Δ1 (硝子面) を入れて置き, 次に手早くとり出して風洞の氣流中に露出するのである. この氣流は 100% の濕度を有してゐるから, この實驗の濕度變化の條件は苛酷な場合である. 實驗番號 1—4 及び 5—9 は夫々温度 14°C, -7°C で風速を色々變へて測つたものである. これを見ると 3 と 7 を除いては皆初めの數秒の間に全變化量の 90% を越えてゐる. そして風速は零から 20m/sec まで變へたが, その違ひは數秒から 30 秒位まで變化する程度である. 又温度が低くても -7°C 位ではその遅れは常温の場合と變らない. 次に 3 と 7 は皆室中に長時間放置した後の實驗で 2~3 分の遅れを生じて居る. 又 8 は室中に長時間放置した



第 69 圖

後硫酸瓶中で感湿體の温度の降下を待つてから風洞中に入れたもので、この場合には前の様な遅れを生じない。つまりこの種の遅れは、感湿體の温度が気温と違ふ結果、その直ぐ表面の相對湿度が一時空気の湿度と違ふ爲に起る現象である。これが前述の第二種の遅れであつて嚴密には湿度の遅れとは云はれない。むしろ感湿體の温度の遅れである。

さてある特定の湿度に長時間置いた感湿體を一時他の湿度に移し、更にもとの湿度にもち來



第 70 圖

すやうな場合は第一種の遅れだけで済むが、長時間保持した湿度から他の湿度に移して又長い間その變化を調べると、第一種の遅れに續いて更に極めて緩慢な變化が現はれる。これが第三種の遅れの過程である。今硝子面 ($\mu 1$) 及びスチロール、ヴィニール膜 ($25A_1$) の兩感濕體を用ひ高濕—低濕—高濕と循環測定を行つて見る。そのとき各湿度の測定に充分長い時間をかけて調べてみると第 69 圖の如き遅れの曲線が得られる。検定用恒濕瓶中の湿度は既に第 16 節で述べたやうに實驗開始後 10 分位で安定するから、このやうな長時間の變化は感濕體そのものの遅れに違ひない。しかもこの遅れは高濕の場合程大きい。

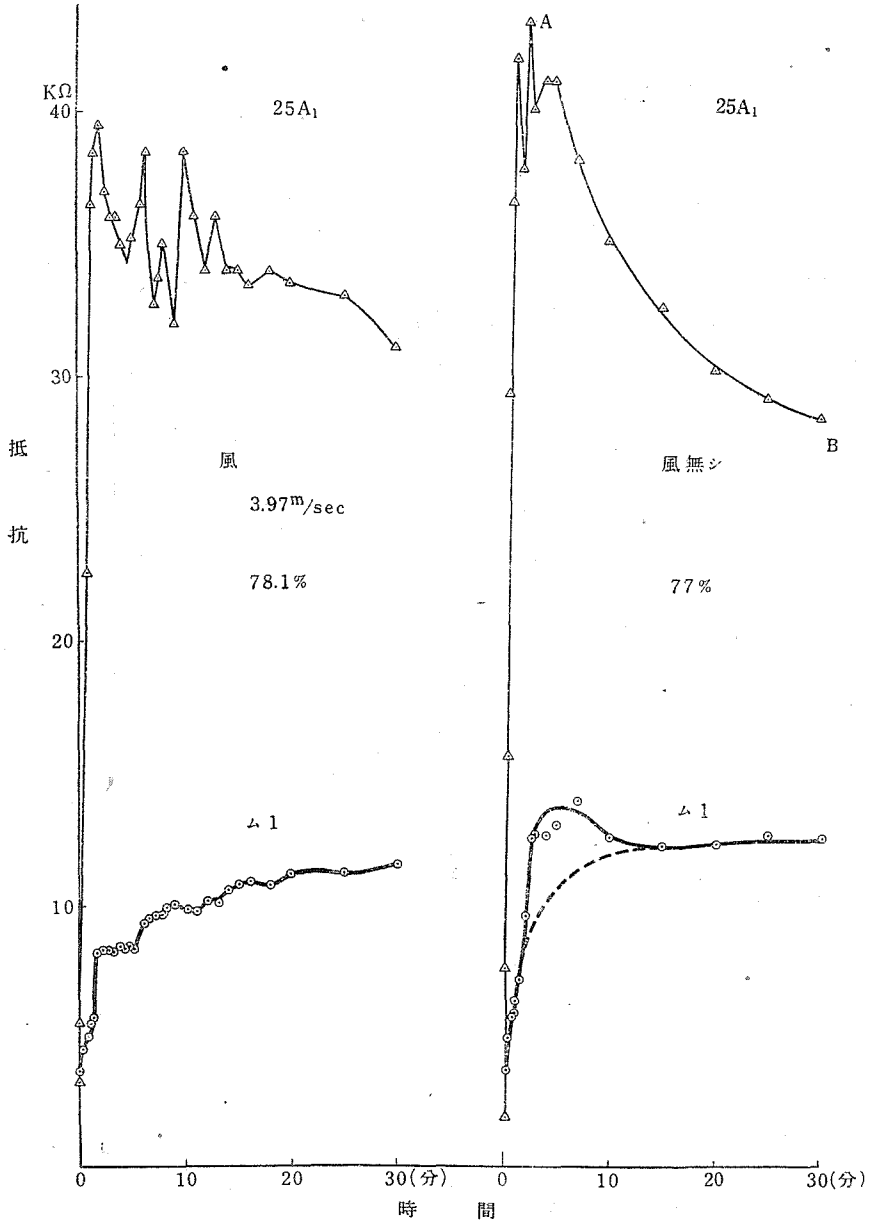
湿度—抵抗の特性曲線に現はれる履歴現象や drift はこの遅れが一つの大きな原因をなして居るものと思はれる。試みに前述 $\mu 1$, $25A_1$ の兩感濕體を用ひて、高濕→低濕→高濕の循環測定を二回行つて見た。第一回目は測定番號 1—13 までで、各測定の所要時間は一時間とした。第二回目は 14—21 までで、各湿度の測定の経過及び所要時間は前述の第 69 圖に示した通りの長時間である。このやうにして得た特性曲線を第 70 圖に示す。豫期の通り、第二回目の場合充分時間をかけて行つた測定 (70% 附近) では履歴現象が非常に少い。又硝子面と膜面ではこの第三種の遅れは若干大小があるけれども何れにも現はれてゐる。ところが湿度變化の初期には膜面と硝子面で甚しい違ひが現はれることがある。第 71 圖の左は 100% の湿度の検定槽中より感濕體を取り出し、扇風機によつて湿度 80%, 風速 4.0 m/sec の空氣流にあつた場合の遅れを示すものであるが、膜面の感濕體 ($25A_1$) の抵抗値は非常に早い變化を見せて第一種の遅れを回復し、次いで溫度變化による第二種の遅れを見せて居る。この時の測定のばらつきは空氣中の湿度の不均一を示すものと思はれる。一方これに反し硝子面の感濕體 ($\mu 1$) は初めから抵抗の變化遅く、又第二種の遅れも現はさず第三種の遅れの様相を示して居る。ところが空氣流の速度をなくして、自然對流の中でこの實驗を行ふと第 71 圖の右に示される如く、硝子面の方にも第一種、第二種の遅れが現はれてくる。これを要するに、感濕體の抵抗には湿度變化に早く應ずる部分と極めて緩慢に應ずる部分があり、前者は極く表面の抵抗、後者は表面下若干の深部まで及ぶ部分の抵抗であらうと思はれる。そして風速が強い場合は時としてこの表面の抵抗の特性を變へてしまひ、表面の下層の抵抗の影響を誘導するものと思はれる。ところが電極の上に膜があるやうな場合は膜の抵抗によつて下層の影響が直ぐには現はれにくいのである。

次に第 71 圖に現はれた第二種の遅れ、即ち膜面の感濕體の場合抵抗が一度増加して再び減少する現象に就て次の如き計算を行つてみる。圖の右の A 點即ち恒濕槽より取出した直後最高の抵抗値を示したときの湿度値を感濕體の特性曲線から求めると 72% となる。又 B 點即ち空氣の湿度と平衡したと看做される時の抵抗値に應ずる湿度値は特性曲線から求めると 77% となる。この時の氣温は 17.5°C であるからその時の絶對湿度は 17.5°C の飽和壓を 14.9

mmHg とすると

$$14.9 \times 0.77 = 11.5 \text{ mmHg}$$

である。又 11.5 mmHg が 72% である様な温度は飽和蒸気圧 $11.5 \div 0.72 = 16.0 \text{ mmHg}$ に對する温度であるから 18.7°C である。つまりこれは A 點に於ける感濕體表面の温度で恒濕槽中の温度もこれに近い筈である。實際にユニットを取出す直前の恒濕槽の温度は 18.6°C であつ



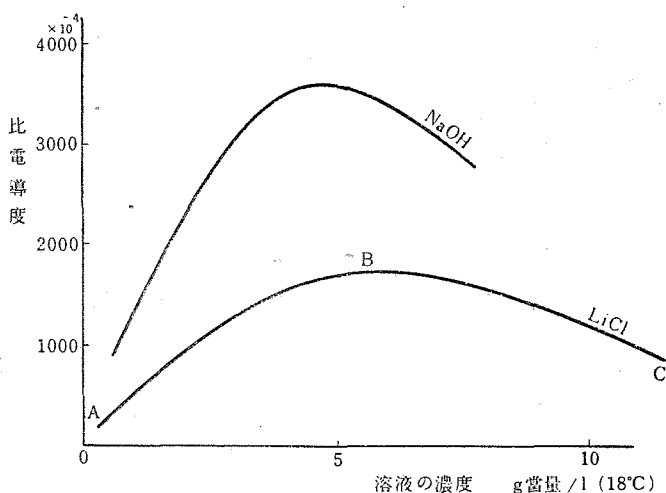
第 71 圖

H $10^{-8} \sim 10^{-6}$ P—P 10^{-2} cm

さて遅れの実験から、感湿體の抵抗には外界の湿度變化に早く應ずる部分と長い時間がかかる部分がある事を知つた。今假に前者を極く表面の抵抗、後者を表面下若干の深さの層の抵抗と考へて見る。換言すると前者は表面の吸着水の層の抵抗であり、後者は樹脂膜或は硝子内部の抵抗である。よつて電流の経路は圖の鎖線及び破線に示す如き種々のものがある。但し例へばポリスチロールの比抵抗値 $10^{11} \text{M}\Omega$ 、硝子の比抵抗値 $10^6 \text{M}\Omega$ を用ひて内部の抵抗を計算してみると實際に測定せられる抵抗値より遙かに大きなものとなり、少くとも湿度 50% 以上では感湿體の抵抗は主として表面の抵抗に支配せられ、このやうな體積抵抗は無視し得るものかも知れない。一般に表面電氣傳導と云はれてゐるものの機巧は専ら固體と液體の界面の現象に就て論ぜられてゐるものでこのやうな氣體と固體の界面の現象にそのまま當嵌めることは出来ない。しかしこの場合に於ても固體の表面には吸着水の層が出来て居るのであるから矢張り表面傳導の考へを何等かの方法で利用する事が出来るものと思はれる。

McBain⁽²¹⁾ の考へによれば、固體と電解質溶液の界面には過剰のイオンが集つてイオンの複層をつくり、これが傳導の原因となるのであるが、感湿體の場合にはこのイオン源である電解質溶液がないので、固相である硝子面又は樹脂膜面からの無機遊離イオン、又は積極的に混入した鹽化リチュームの各イオン等を考へなければならぬ。湿度が次第に増すに従つて、表面水層が増大し、その中のイオン濃度は次第に減少する筈であるから若しこの現象が假に第 73 圖に示したやうな電解質濃度と比傳導度との普通の關係に従ふものとするれば感湿體の湿度

～抵抗特性から考へてその濃度は BC の間にある事になる。感湿體に附着した鹽化リチューム量を調べて居ないので果してこのやうな濃度であるかどうかは解らない。又 Briggs⁽²²⁾ の實驗によれば、電解質溶液に於て表面傳導が現はれるのは $10^{-4} \sim 10^{-3}$ N 程度の小さい濃度であつて、あまり濃い場合には固相に接する



第 73 圖

電解質溶液の體積傳導度が遙かに大きくなつて、表面傳導の現象はかくれてしまふ。そして同氏は表面傳導に於けるイオンの役目は所謂イオン傳導としての主役をなすものではなく、表面

に於ける水和層の水分子の状態を變化して傳導度の強い monohydrol を作ることにあると云つて居る。しかしこの場合は濃度の増加と共に抵抗は減少することになるので感濕體の場合の抵抗變化とは逆になる。

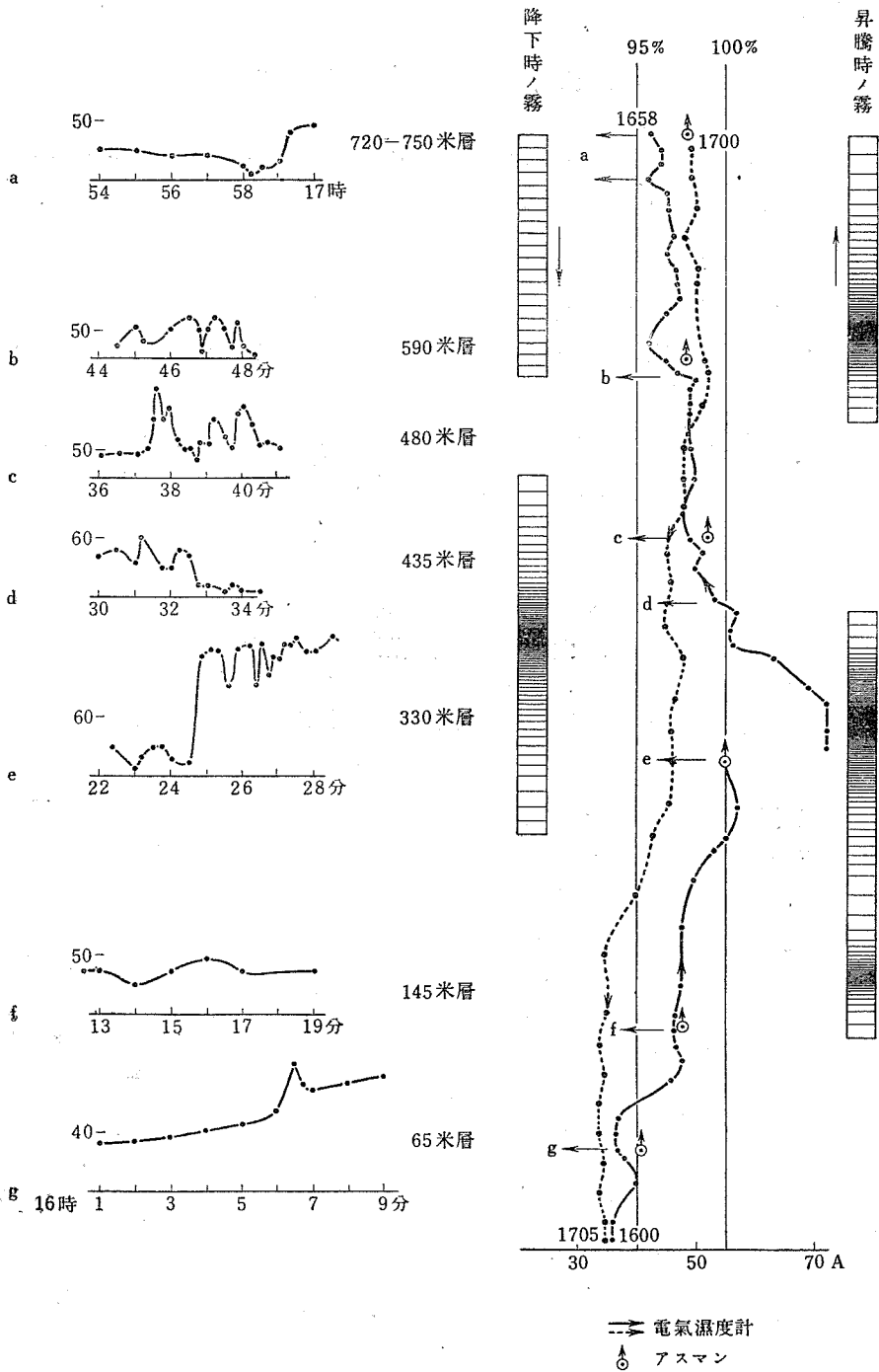
感濕體の場合の表面傳導がこのような固液界面の表面傳導と同じものであるか、又は普通電解質溶液の傳導に近いものであるかは尙今後の究明に待たねばならないが、膜着けに際し少量の鹽化リチウムを混入した感濕體の場合の電流に対する性質 (20 参照) 及びその抵抗~濕度特性曲線の直線性、又は一般の感濕體に直流を通ず際の分極現象、交流による抵抗變化及びその殘留効果 (22 参照) 等はその究明の大切な資料になるものと思はれる。

次に感濕體特性曲線に現はれる履歷現象には二つの説明が考へられる。一つは極性の強い水分が親水性の表面を有する硝子等に吸着される場合、その水分子は一定方向に並んだ特殊の電氣的二重層即ち水和層を作り、この水和層の附着力は甚だ強い爲に脱濕の場合に遅れが現はれるといふ考へである。金丸氏⁽²³⁾によればこの水和層は濕度 70% 附近で現はれるものである。硝子面感濕體の履歷現象 (22 参照) はこの考へを支持する。又この考へによれば疎水性の物質では當然履歷現象は少くなる筈である。スチロール膜着けの感濕體に於ける履歷現象の減少も亦これによつて説明される。しかし乍ら第 24 節で述べた如く濕度に對する遅れの現象の過程が二つの部分に分けられ、兩者は一連の現象とは見られない點、又スチロール膜の場合でも薄い場合は時間が経過すると再び履歷現象が強く現はれるやうになる點等は、上述の理由のみでは説明されない。一般に硝子面では吸着水分が内部にも次第に浸入する事、又樹脂膜の表面では一般に多孔性の粗表面の爲に吸着と吸収の作用を兼ねた所謂吸藏の現象が起る事等を考へれば履歷現象や長い遅れは又このやうな方面からも説明されるのである。

即ちこのやうな場合には多孔質表面即ち粗表面に於ける毛管凝縮による履歷現象⁽¹⁾、又内部擴散の爲の長い遅れ⁽²⁴⁾による履歷現象等が起るのである。そしてこのやうな吸収の履歷現象が感濕體の抵抗の履歷現象となつて現はれる爲には、表面下若干の層の電氣傳導が利用されてゐるといふ事を考へなければならぬ。そしてこの場合傳導には前述の電解傳導以外に硝子、樹脂等の誘電體の傳導も考へなければならぬ。感濕體の樹脂膜が薄い場合龜裂を生じ、次第に履歷現象を現はす事、又膜着けを數回繰返す事によつて履歷現象を小さく出來た事實等 (22 参照) は、この表面粗性による履歷現象の考へを支持するものである。

以上の考へを基礎とすれば感濕體の履歷現象を少くする方法は次の諸點に要約される。即ち

- i) なるべく表面のみの電氣傳導を利用する事、従つて電極を最表面に置く事、又疎水性で且つ表面粗度の少い固體表面を用ふる事。
 - ii) 水和層の形成を少くする事、従つて疎水性の強い物質を用ふる事。
- 等である。



第 74 圖

第 3 章 電氣濕度計の使用例

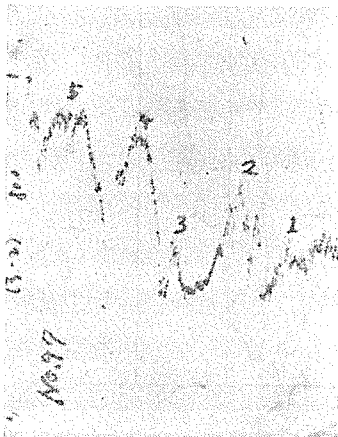
27. 大氣中の濕度の垂直分布の測定

氣球に電氣濕度計を載せて霧の中を昇騰しその中の濕度を測定した一例を第 74 圖に示す。圖の右の曲線は昇騰及び下降の際の大氣中の濕度の垂直分布である。又昇騰時 a~g の各層に暫時滯溜してその濕度の時間的變動を調べたものが左の曲線である。又その時の各層に於けるアスマン乾濕計の測定値を \odot で示してある。昇騰時及び下降時の霧の濃さは \blacksquare で示してある。これを見ると電氣濕度計の測定値はアスマン乾濕計の測定値と割合によく合つてゐる。たゞ霧の濃い時に前者の示度が 100% を越えてゐるのは霧粒の附着による抵抗の低下と思はれる。下降時は 750m から僅か 7 分で降下して連続測定を行つたのであるが、このやうな事はアスマン乾濕計等では到底不可能な事である。

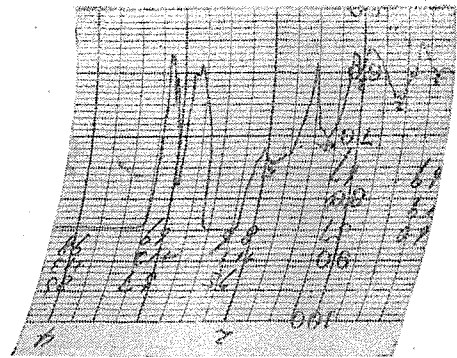
又圖中の左の部を見れば霧中の濕度の變動のはげしさが窺はれ、霧の特性の究明によき資料を與へるものである。

28. 大氣中の濕度の微細變動の測定

冬季ニセコ山頂の觀測所で行つた電氣濕度計の觀測例を寫眞 7,8,9 に示す。このときは濕度計のメーターをガルバに切替へ、その振動を光の挺子を利用して擴大し寫眞に記録した。寫眞 7,8 は毛髮自記濕度計 (8) と電氣濕度計 (7) の同時記録を對照させたもので濕度變動の



寫眞 7 ← 時間



寫眞 8 時間 →

山 (1—5) の形が實によく一致してゐる事がわかる。たゞ毛髮濕度計には現はれない微細振動が、電氣濕度計の記録に現はれてゐる。寫眞 9 は氣象觀測用に作られた風通しの悪い風洞の中の濕度の變動を示す。即ちこのやうな風洞では所謂残留空氣が残つて居り、それが風の週期的な

吹込みと共に外氣と不規則に混合し合つてこのやうな湿度の振動を現はすものと思はれる。従つてこのやうな風洞で外氣の測定をなす事は意味がない事になる。

以上によつて電氣湿度計は又湿度の微小變動の測定にも適する事が解る。

結 語

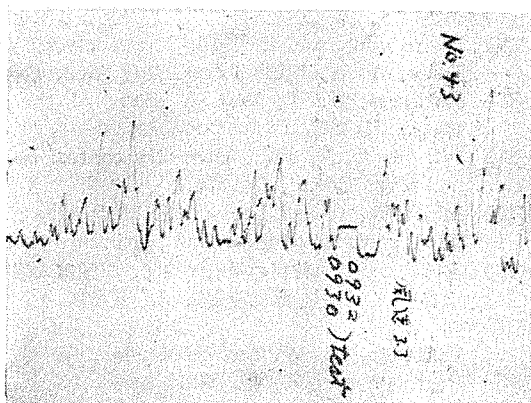
電氣湿度計は以上の如く氣象方面に於ける連續觀測、瞬間觀測、又は冬季の觀測に役立つばかりでなく、工場や實驗室に於ても特に限られたせまい空間、又は測定場所より隔たつたところの湿度の測定等に用ひて有利なものである。

本研究で製作出來た最もよい感濕體を用ひても未だ湿度値で2%位の誤差は免れず湿度に對する遅れがあり、0より100%に至る全湿度範圍を一つの感濕體で測定する事が出來ないといふやうな缺點がある。これらの諸點の改良は本湿度計の實用化を見た上で多年に亘つて漸次爲さるべきである。

本研究は北海道大學低溫科學研究所に於て中谷教授の御懇篤なる指導の下に行はれたものであり、こゝに同教授に對し衷心より感謝の意を表す。又測定は終始同研究所中山助手の熱心な助力を得て行はれた。電氣湿度計感濕體の製作は東昭化學工業株式會社溝口哲夫氏が擔當し、抵抗測定器は北斗電氣商會竹内吉男氏の設計製作になるものである。又角寧氏は本研究に關し種々よき示唆を與へられた。又通風乾濕計の霧中の湿度測定に關しては北大理學部助手孫野氏が貴重なる資料を提供された。ここにこれらの諸氏に對し深甚なる謝意を表する次第である。

文 獻

- (1) 井上直一. 1944. 毛髮湿度計のヒステレシスについて. 低溫科學, 1, 19.
- (2) Yosida, Z. 1940. Investigation on snow, No. 13, Window hoar crystal on clean glass surfaces. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., S. II, 3, 43.
- (3) Suzuki, S. 1932. The anomalous variation of the electrical conductivity of glass surface and the mechanism of dew formation. Geophys. Mag., Centr. Met. Obs. Tokyo, 6, 377.
- (4) 花島政人. 1949. 全含水量測定について. 低溫科學, 2, 169.
- (5) Edlund, O. 1926. Über die Beziehung zwischen Windgeschwindigkeit und Temperatureanpassungs-koeffizienten bei einem Quecksilberthermometer. Met. ZS., 43, 66.
- (6) 小口八郎. 1945. 霧粒の大きさ及び數の測定に就いて. 霧の研究, 學研第151班報告, 5.
- (7) 井上直一, 孫野長治. 霧中の湿度測定に就いて. 未發表.



寫 眞 9 ← 時間

- (8) 井上直一, 鈴木秀次. 熱電堆乾濕計による霧中の濕度測定. 未發表.
- (9) Rideal and Hannah. 1915. *The Analyst*, 40, 467.
Shaw, A. N. 1916. *Trans. Roy. Soc. Can.*, 111, 10.
- (10) Harkness, H. W. 1939. A study of the Rideal absorption hygrometer. *Rev. Sci. Instr.*, 10, 237.
- (11) Wilson, R. E. 1921. Humidity control by means of sulfuric acid solutions. *J. Ind. and Eng. Chem.*, 13, 326.
- (12) McHaffie, I. and Lenher, S. 1925. The absorption of water from the gas phase on plane surfaces of glass and platinum. *J. Chem. Soc.*, 127, 1564.
- (13) 宮部宏. 1944. 材料の濕氣的性能. 早稻田大學理工學研究所報告, 1.
- (14) 木谷要一. 1944. 濕度測定法. 77 頁參照.
- (15) 同 上
- (16) Burbidge, P. W. and Alexander, W. S. 1927. Electrical method of hygrometry. *Proc. Phys. Soc.*, 40, 149.
- (17) Albrecht, F. 1926. Widerstandshygrometer. *Beitr. Phys. d. Frei. Atm.*, 11, 4.
- (18) Yager, W. and Morgan, S. 1931. Surface leakage of Pyrex glass. *J. Phys. Chem.*, 35, 2026.
- (19) 赤平武雄, 釜澤正夫. 1934. 高周波に於ける絶縁材料の誘電體損失及び表面抵抗と濕度の影響について. *理化學研究所彙報*, 20, 589.
- (20) Dunmore, F. 1939. An improved electric hygrometer. *J. Research of National Bur. Standards*, 23, 701.
- (21) McBain, J. W. 1921. Kataphoresis und Elektroendosmose. *Kolloid Z.*, 28, 239.
- (22) Briggs, D. R. 1928. Surface conductance. *Colloid Symp. Mono.*, 6, 41.
- (23) 金丸競, 祖父江寛. 1944. 高分子構造論. 428 頁參照.
- (24) 同 上 626 頁參照.

Naoichi INOUE: Investigation on Low Temperature Hygrometer.

Résumé

Part I. Characteristics of Dew Point Hygrometer and Assmann Psychrometer at Low Temperature ; Below the freezing point, the dew formation was observed in the saturated vapour pressure of water, on the nickel plate which was previously cooled down by liquid air. The accuracy of Assmann Psychrometer at low temperature was studied, special attention having been paid on the time lag of indication.

Part II. Calibration of Low Temperature Hygrometer: As the standard hygrometers, an improved Rideal-Shaw type absorption hygrometer was constructed. Several hygrometers suitable for the calibration of low temperature hygrometer were designed and their characteristics were studied in full detail.

Part III. Electric Hygrometer: Surface resistance on the glass is changed remarkably by the amount of moisture in the surrounding atmosphere. This phenomenon was used for the electric hygrometer. Moisture sensitive unit of the hygrometer consists of a glass plate covered with a thin film of gold, the film being cut in two parts of comb-form. These two parts of film are used as electrodes. Several characteristics of the nature of this unit were thoroughly examined. Examples of the humidity measurement by this hygrometer were also reported.