

平衡蒸気圧法による絶縁紙中の微量水分と 誘電特性の同時測定

内藤正之* 島史郎** 佐藤春枝***

Simultaneous Measurement of Moisture Content and Dielectric Character of Non-Impregnated Insulating Papers

By Masayuki Naito and Harue Satō
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.
D. Sc. Shirō Shima
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

For the determination of the relation between moisture content and dielectric character of non-impregnated insulating papers, there are several reports made available to date by a group of scientists. But, common to these reports, there remain some problems to be solved in their methods mainly in regard to the measurement of moisture content. Also, in these methods a change is inevitably introduced in the quantity of moisture in the interval between the measurement of moisture and dielectric character.

The writers succeeded to preclude these defects by the adoption of the Vincent-Simons' apparatus for the moisture content measurement. For the measurement of dielectric character, the writers adopted the Schering-bridge with electrodes attached to the paper in the apparatus. Thus they have made clear the relations of these two precisely to the value under 1% in case of dielectric and 0.1% in case of moisture.

The capacities of the paper increased gradually as moisture content increased up to 0.2%, and over this limit the increase put on rapidity. These results agree with those hitherto reported.

There is likely no discrepancy on the variation of dielectric power factor of the paper over the range of 0.2% between our results and those by other scientists essentially, but below 0.2% the decrease was found by our research to become rapid as the moisture content reduces. The mechanism backing this phenomenon, however, remains for discussion with more observations under many other conditions.

The simultaneous measuring method of two characters may be applied to the impregnated paper, but some proper consideration should be taken so as to prevent the diffusion of moisture from the surface of the paper into the vacuum space of the apparatus.

* *** 日立製作所日立電線工場

** 日立製作所日立研究所 理博

〔I〕 緒 言

絶縁紙中の微量水分の測定は、その誘電特性との関連において興味ある問題であるが、工学的には高電圧紙ケーブルの製造に於ける一つの重要な知識を与えるものとして関心をもたれている。絶縁物中の水分測定法としては第1表に示すように、平衡蒸気圧法⁽¹⁾⁽²⁾、重量減少法⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾、気体発生法⁽⁶⁾⁽⁷⁾、滴定法⁽⁸⁾⁽⁹⁾、静電容量法⁽¹⁰⁾、誘電体力率法⁽¹¹⁾、及び電気抵抗法⁽¹²⁾などが文献にあらわれているが、このうち静電容量法以下の電気的性質を利用する水分測定法は、あらかじめ含有水分と電気的諸性質との関連を確立することが必要であり、それ自体が水分測定の絶対法とはいえず、とくに我々の場合のように含有微量水分と誘電的特性との関連を問題にしようとするときには論理的にも利用するわけに行かない。

電気的性質とは無関係に水分を測定しうる方法のうち

絶縁紙に適用しうるものは平衡蒸気圧法及び重量減少法であるが、このうち重量減少法は含水絶縁紙の乾燥による重量減少によつて含有水分を測定する方法であるが、その重量差が極めて小さいのと、乾燥の終末点を決定することが比較的困難である。平衡蒸気圧法では装置の大きさにもよるが油柱で 0.5 mm の圧力を 0.01 mg の水分に対応させることが可能なので、水分測定の精度は 1/1,000% 迄向上させることができる。とくに Vincent-Simons によつて考案された装置は乾燥の終末点を誤りなく決定できる点ですぐれており、筆者の一人もこの装置を用いて紙の吸湿機構に若干の考案を試みた⁽²⁾。

今回 Vincent-Simons の装置に若干の改良をほどこし相当含水量の大きいところからの水分測定を可能にすると同時に、試料に測定用電極を附して水分測定と誘電特性の同時測定を行えるように工夫した。

従来含水量による誘電特性の変化を測定するには、紙

第1表 各種水分測定法

Table 1. Various Measuring Methods of Moisture Content for Insulating Materials

方法	研究者	年次	内 容	被測定物	測定範囲
平気 衡圧 蒸法	R. S. Vincent ¹⁾ A. Simons	1940	1 定温度で既知の恒容積中に試料の水分を拡散し、その平衡蒸気圧を測定し簡単なグラフから計算する。	絶 縁 紙 油 浸 紙	0.001% 以上 0.01 mg/ 0.5 mm Oil
	島 ²⁾	1943			
重 量 減 少 法	A. C. Walker ³⁾	1933	石英繊維のスプリングバランスにより乾燥後の重量減少を測定する。	絶 縁 紙	0.01% 以上
	L. Emanuelli ⁴⁾	1929	110°C で真空乾燥して、その目方を標準にし各々の重量との差を含水量として重量比を算出している。	絶 縁 紙	0.01% 以上
	R. N. Evans ⁵⁾ J. E. Davernport	1939	油に乾燥した純粋な酸素ガスを通じて炉中で燃焼させて、水分と炭酸ガスを吸収剤に吸収させて秤量する。	絶 縁 油	0.001% 以上
発気 体 生 法	広部、小川、久保 ⁶⁾	1916	金属ソーダ法による水分定量法。	鋳 油	0.001% 以上
	R. H. Larsen ⁷⁾	1938	グリニヤ試薬を作用させ発生するメタンガスを測定する。	絶 縁 油	0.001% 以上
滴 定 法	F. M. Clark ⁸⁾	1940	塩化アセチルピリジン溶液で遊離した酸を滴定する。	絶 縁 油	0.001% 以上
	伊 沢 ⁹⁾	1950	カールフィッシャー試薬を用いたペニシリン中の水分測定を行つている。	ペニシリン	0.001% 以上
静電 容量 法	J. B. Whitehead ¹⁰⁾	1935	105°C で真空度を変えて乾燥し、各々の場合 60 ^{mm} と 40,000 ^{mm} の静電容量を測定し、真空度に対しこの両静電容量値が交叉する点を求め、この点を水分 0 と仮定し、各真空度に於ける水分の容積比を算出する。	絶 縁 紙	0.05% 以上
力 率 法	H. B. Bolson ¹¹⁾ R. K. Draka	1951	高圧シェリングブリッジで力率を測定し水分との関係を求める。	クロス絶 縁コイル	0~4%
抵 抗 法	鈴 木 ¹²⁾	1951	抵抗変化を測定して含水量を求める。	木 材	7~16%

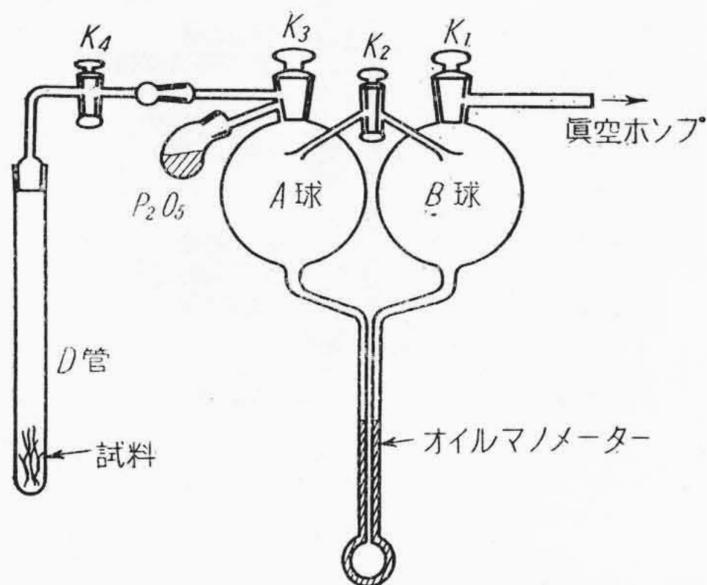
の乾燥をする場合に真空度を変えて行つたり⁽¹³⁾、種々の温度の容器中に入れて任意の水分を吸収させそのまま、或は油浸紙として温度特性を測定し⁽¹⁴⁾、その結果から含水量と誘電特性を求めている。しかし、水分測定の精度、及び水分測定時の含水量と誘電特性測定時の含水量とが不変であるという仮定に多大の疑問があり、どうしても多少の偏差の入ることは避けられない。したがって正確な水分測定を試料に対して行くと同時に、紙の状態を変化させないで誘電特性の測定を行うことが要求される。本報告による同時測定法によつて上記偏差を根本的にさけることが可能である。

この結果従来あまり信頼のおけなかつた含水量 0.1% 以下迄、含水量と誘電特性との関連を明確にすることができた。なお油浸紙の水分測定も同様な装置で実施できるが、平衡蒸気圧を形成させる際、電極の存在が、この過程をさまたげて測定に長時間を要するので、電極の構造及び測定技術に若干の考慮を必要とする。現在油浸紙についての測定も実施しているが、本報告ではとりあえず油処理のないクラフト紙についての測定結果について報告するに止める。

〔II〕 絶縁紙中の微量水分と誘電特性との同時測定装置

平衡蒸気圧法による絶縁紙中の水分測定装置としての Vincent-Simons の装置及び、その特長については、Vincent-Simons の原報⁽¹⁾及び島の報告⁽²⁾に明らかであるからこゝではその概要を述べるに止める。

Vincent-Simons の装置は第 1 図のようなガラス製のものであつて、試料である紙は試料管 D 管中に納められ



第 1 図 Vincent-Simons 装置の原理図
Fig. 1. Principle of Vincent-Simons' Apparatus

る。最初 D 管をドライアイス及びアルコールをもつて -70°C 以下に冷却し含有水分を完全に凍結した後、装置全体を油回転ポンプで排気する。しかる後 K_1, K_2, K_3 の順で活栓を閉じる。このとき A 及び B 球間には圧力差は全くなくオイルマンノメータは圧力差を示さない。

この状態で試料管のみを恒温器中に入れ試料を一定温度に保つと、試料中の水分は逐次蒸発し、紙中の残留水分と A 及び B 球中の水蒸気圧が吸着平衡に達して蒸発は止む。このときの水蒸気圧はオイルマンノメータにあらわれこれを p_1 とする。又 A 及び D の容積が知られておれば p_1 なる平衡蒸気圧を構成する迄に、試料から脱出した水分量 d_1 は、 p_1 と容積とから容易に計算できる。

次に K_4 を閉じ、 K_3 を開けば A 球中の水蒸気は P_2O_5 に吸収される。この量を b_1 とする。次に K_3 を閉じ K_4 を開けば、さらに第 2 回目の吸着平衡を構成するために試料から水分の蒸発が始まる。平衡に達したときのマンノメータの読みを p_2 とし、それまでに紙から脱出した水分量、すなわち b_1 と、 p_2 と A 及び D の容積とから計算される水分量との和を d_2 とする。

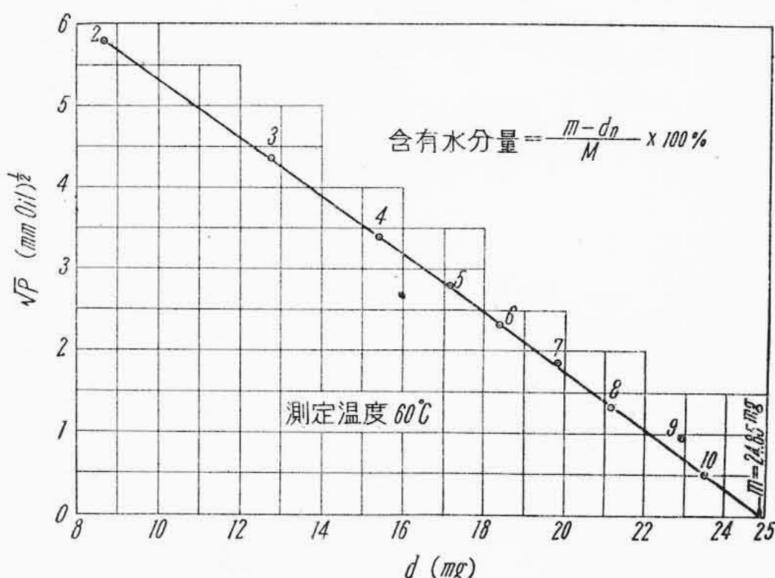
この過程を繰返せば $(p_1, d_1), (p_2, d_2), \dots, (p_n, d_n)$ なる p と d との一連のデータが得られる。

さて Freundlich の吸着式

$$\frac{\Delta m}{M} = K_t p^n \dots \dots \dots (1)$$

は紙の微量水分の吸着の場合にも成立し、かつすべての紙及び油浸紙に於て $n=2.00$ であることが知られている。こゝに M は乾燥状態に於ける紙の重さ、 Δm は吸着平衡状態にある紙中の水分の重さ、 K_t は紙の質及び温度による定数である。

今上記装置に於て最初凍結された水分を m とし以後



第 2 図 平衡蒸気圧の平方根と紙から取出した水分量との関係

Fig. 2. Relation between Square Root of Equilibrium Vapor-Pressure and Total Moisture Extracted from Nonimpregnated Paper

吸着平衡を構成したときの圧力、及びそれ迄に紙から脱出した水分を $p_n d_n$ とすれば

$$\Delta m = m - d_n$$

として

$$\frac{m - d_n}{M} = K_t \sqrt{p_n} \dots \dots \dots (2)$$

の関係が成立する。 m は未知であるけれども M とともに定数と考えることが許されるから、この式から d_n と $\sqrt{p_n}$ が第2図のように直線となる。

又この直線を延長して $\sqrt{p} = 0$ と交る点を図式的に求めると $m - d = 0$ したがって $m = d$ として最初の含水量が精密に与えられる。これに基づいて各 d_n に対する含水量百分比も簡単に計算できる。

今回測定に用いた装置は第3図のようであつて、Vincent-Simons の装置の原型に若干の改良を加えてある。このうち試料管に附した電極についてはあとで述べる。

第1の改良点はA球に比較的容積の大きいC球を附加直結したことである。C球がない場合、試料中に最初から含まれている水分が大きい場合、第1回の平衡を構成させるときの水蒸気圧が大きくなりA、B球間に設けられたオイルマンオメータの能力を越すことがしばしばおこるので、この場合水蒸気をC球内にも拡散させて平衡蒸気圧の低下をはかるのに用いる。又低温度の吸着平衡では1回に紙から脱出させる水分量は小さいから拡散容積

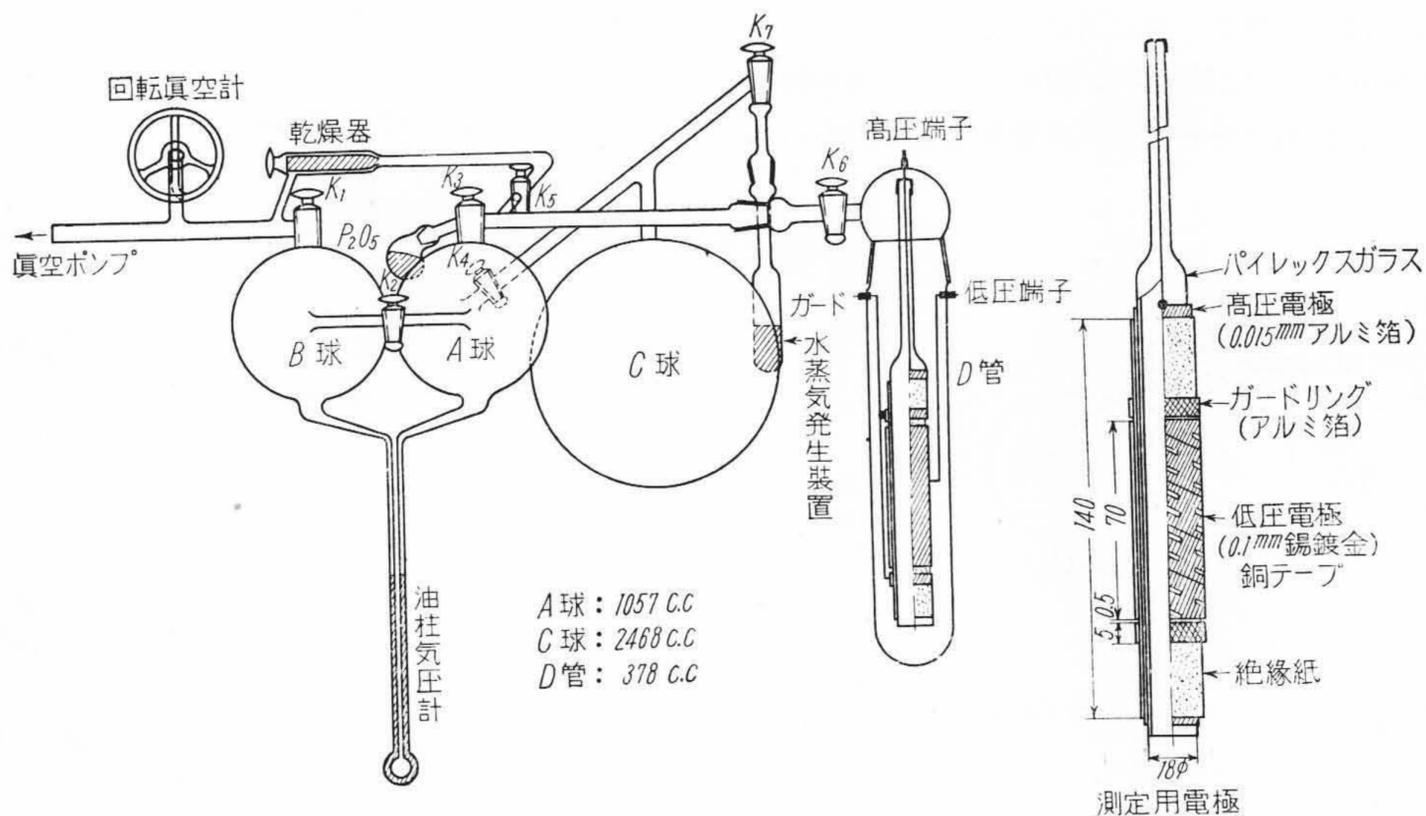
を増加させるためにも用いる。

第2の改良点は水蒸気発生装置を附加した点である。Vincent-Simons の装置の原型はさきに述べたように原理的に脱着平衡の測定を行つている。厳密な意味での吸着平衡過程をしらべるには試料に外部から既知量の水分を与えなくてはならない。このために活栓 K_7 を通じ水蒸気発生装置を附加したものである。

第3点は乾燥器の附加である。これは精密な測定に於て真空ポンプよりの水蒸気の逆流を防止するためのものである。

なお活栓 K_3 に附した乾燥球中の乾燥剤として従来 P_2O_5 が用いられているが、 P_2O_5 は吸湿によつて半流動性となり吸湿表面を減少するとともに、その封入などに取扱いの不便を感じる事が多い。我々は新に過塩素酸マグネシウム $Mg(ClO_4)_2$ を用いて見たが、これは吸湿後も粉末状を保ち、 P_2O_5 に見られるような欠点はない。たゞ吸水して吸湿能力が減少しても外観的にはよくわからないことが多く、多少の不便をしのいでも P_2O_5 を用いた方がよいと考えられる。

今回特に考慮したことは第2図のような方法で絶縁紙中の水分を測定して行く途中に於て図中 2, 3, ... 10 で示される含水量に対応した絶縁紙の誘電特性を同時に測定する点にあつた。このために試料である絶縁紙に測定用電極を附加した。その構造は第3図のようで、先ず外径 18mm のパイレックスガラス管の表面に、厚さ 0.015 mm のアルミニウム箔を巻き高圧電極としこれにリ-



第3図 平衡蒸気圧法による水分及び誘電特性の同時測定装置
 Fig. 3. Improved Vincent-Simons Apparatus' and Electrodes for Simultaneous Measurement of Moisture Content and Dielectric Character of Non-impregnated Papers

平衡蒸気圧法による絶縁紙中の微量水分と誘電特性の同時測定

第2表 平衡蒸気圧法による水分測定結果(60°C)
Table 2. Numerical Data of Measurement of Moisture Contents
by Improved Apparatus (60°C)

回数	t (°C)	p (mm oil)	a (mg)	b (mg)	c (mg)	d (mg)	\sqrt{p}	水分 (%)
1	—	—	—	—	—	0	—	1.24
2	25.5	33.65	8.681	7.841	—	8.681	5.80	0.84
3	26.4	19.08	4.907	4.432	7.841	12.748	4.37	0.63
4	25.4	11.51	3.167	2.860	12.271	15.438	3.39	0.49
5	25.8	7.89	2.033	1.836	15.132	17.165	2.81	0.40
6	26.3	5.40	1.389	1.255	16.968	18.357	2.32	0.34
6'	26.2	3.04	0.782	0.706	18.223	—	—	—
7	26.0	3.51	0.904	0.816	18.929	19.823	1.87	0.26
7'	27.5	2.43	0.623	0.563	19.745	—	—	—
7''	27.5	1.68	0.431	0.389	20.308	—	—	—
8	27.3	1.66	0.426	0.385	20.698	21.124	1.29	0.19
8'	27.2	3.08	0.790	0.714	21.083	—	—	—
8''	27.2	3.92	1.004	0.907	21.797	—	—	—
9	27.2	0.92	0.236	0.213	22.704	22.940	0.959	0.10
9'	27.0	1.16	0.298	0.269	22.917	—	—	—
9''	27.0	0.95	0.244	0.220	23.186	—	—	—
10	26.5	0.19	0.049	0.044	23.406	23.455	0.49	0.07

$m=24.85$ mg $M=1.9361$ g

- 〔注〕 p : 平衡蒸気圧 (mm oil) a : 球内 (3,525 cc) に拡散した水分、但し 80°C の場合は 1,435 cc
 b : A球 (3,525 cc) 及び C球から吸収した水分、但し 80°C の場合は 1,057 cc
 c : 平衡状態に於て吸収された全水分
 d : 各平衡状態に於て拡散された全水分 含有水分量 = $\frac{m-d_n}{M} \times 100\%$

フ線を附し試料管上部から外部に取出した。この上に試料となる絶縁紙を 140×175mm² に切り、3層巻き、その上に細い溝を切つた厚さ 0.1mm の銅テープに錫鍍金したものを固く巻きつけ低圧電極とした。細溝は絶縁紙よりの水分の脱出を容易にするためのもので、かつ誘電特性の測定に差支えないように考慮された。なおさらに低圧電極の上下にアルミニウム箔よりなるガードリングを附し、低圧電極端子及びガードリング用端子を試料管の側面から外界に出した。

誘電特性の測定は従来から用いられているシェリング、ブリッジによつたが、大気圧中の測定と本装置による低圧水蒸気圧乃至真空中の測定との間には実験誤差以上の差を発見することが出来なかつた。たゞ紙層が厚い場合電極間にかゝる電圧をあまり高くすると放電を起す

ことがあるので、測定電圧は低い方がよろしい。実際には 67 V/0.1 mm 程度で測定した。

さきに示したように毎回一定容積中に平衡蒸気圧を構成させる測定方法では最初の頃の d_n と d_{n+1} とのひらきは比較的大で、あとの方になると逐次つまつてくる。単に含水量を測定する目的であればこれで何ら差支はないが、我々の場合のように含水量と誘電特性との関係を調べようとする場合に於ては、 d_n-d_{n+1} が多少調節しうることが望ましい。ところで Vincent-Simons の装置の原理的な特長は任意の平衡状態に達する迄に紙から脱出した含水量が圧力と容積から計算されればよいのであるから n 回目の平衡状態と $n+1$ 回目の平衡状態との間で未平衡の状態で既知量の水分を取去つてもその原理にはふれないわけである。そのため今回の測定では第2

表のように例えば第6回目の平衡と7回目の平衡の間には6'で示されるような水分吸収を行い、測定点間隔の調節を行つている。8~9, 9~10回ではそれぞれ2回の既知量水分の除去を行つている。さらに低圧になつてくるとA球のみでは1回の除去水分量が小さいのでC球を採用している。このような工夫によつて測定点の間隔を第2図のように誘電特性との関係を推定し易い程度に調節することができた。

〔III〕 試料及び測定結果

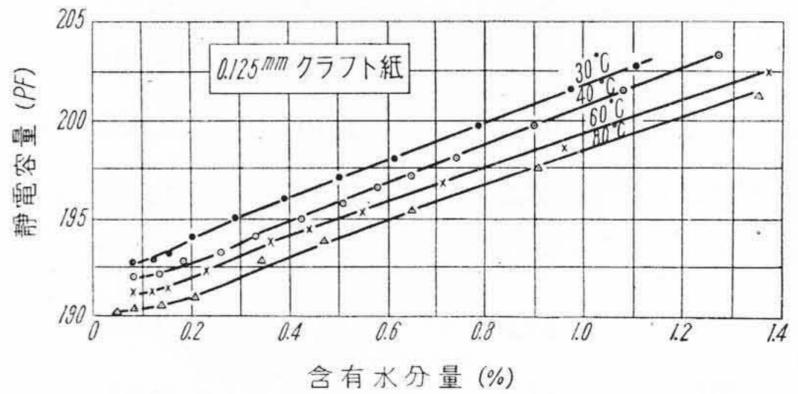
試料として高電圧紙ケーブルに用いられる厚さの異つた2種のクラフト紙を用いた。その特性の概要は第3表のようである。

なお水浸液電導度の温度による変化は第4図のようで、Aの方が電解質がやゝ多いと推定される。

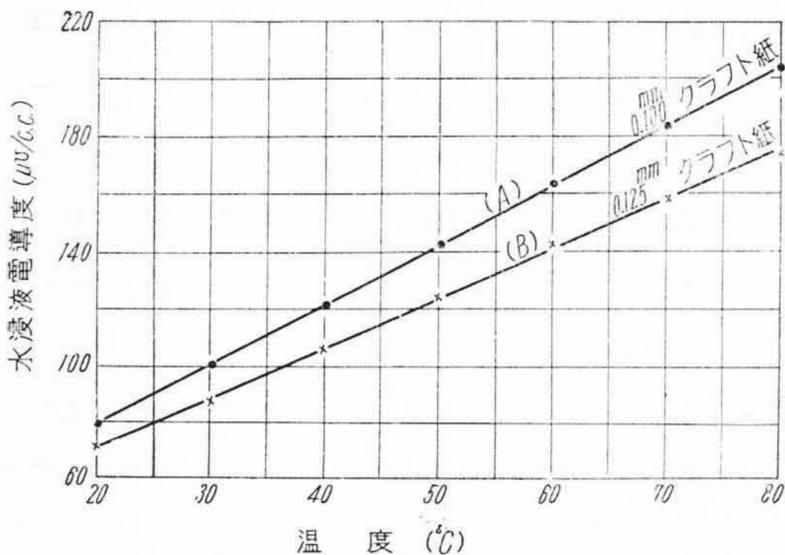
2種の紙について測定した誘電特性は、静電容量と誘電体力率の2つであり、その結果は第5図乃至第8図に

第3表 試料に用いたクラフト紙の特性
Table 3. Characteristics of Kraft Paper Used for Test

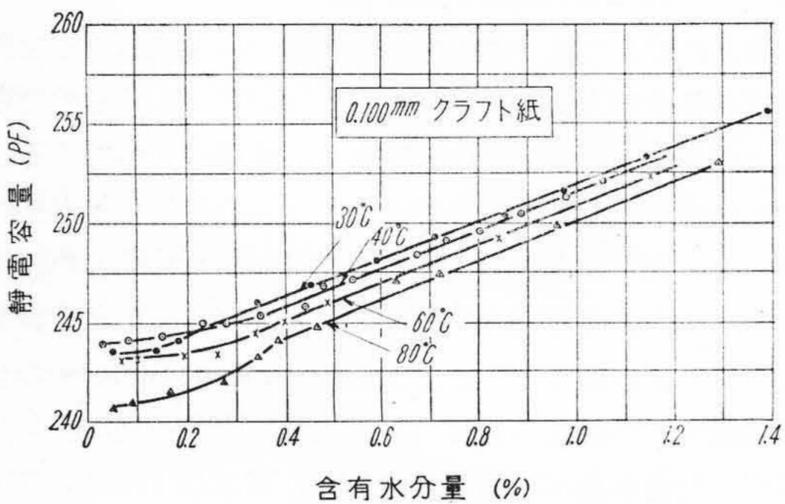
種別	厚さ (mm)	絶縁耐力 (kV/mm)	水浸液電導度 ($\mu\sigma/cc$) 20°C	気密度 (sec/100cc)
A	0.100	9.96	80	517
B	0.125	9.90	71	474



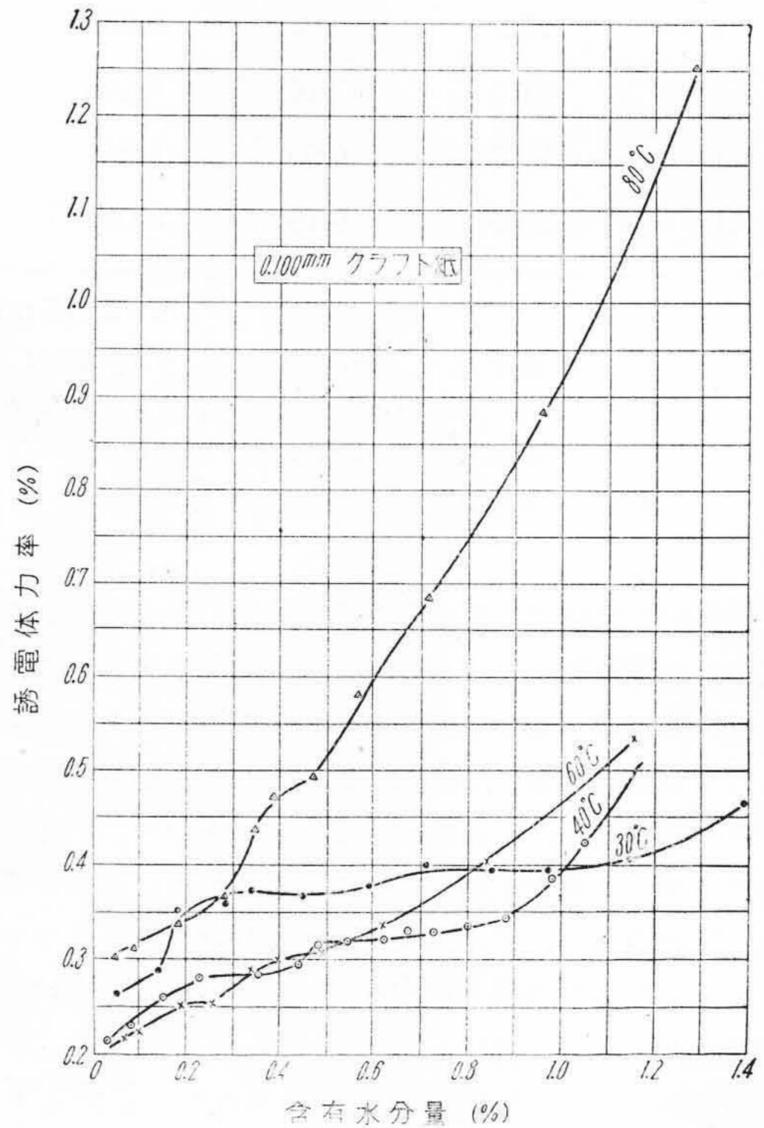
第6図 絶縁紙の含有水分量と静電容量の関係(B)
Fig. 6. Relation between Moisture Content and Capacity of Nonimpregnated Paper B



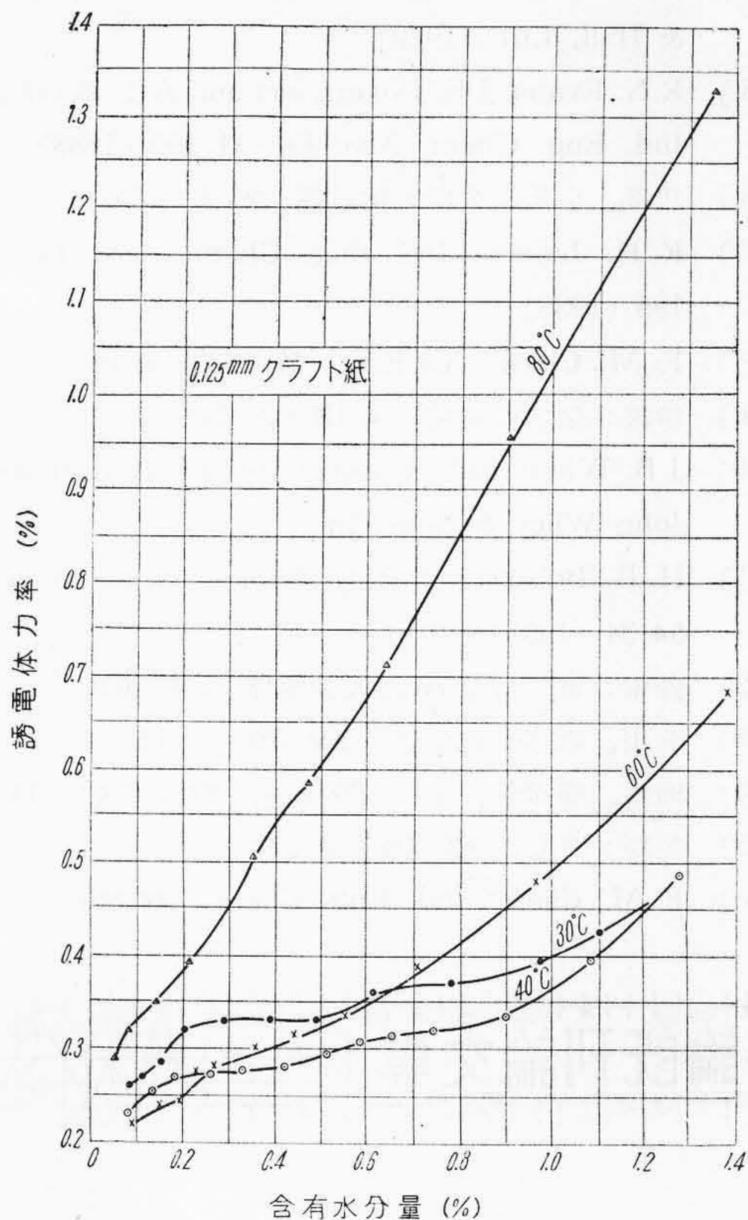
第4図 絶縁紙の水浸液電導度の温度特性
Fig. 4. Temperature-Conductivity Characteristics of Water Extracted Solution of Nonimpregnated Papers
(A) 0.100 mm Kraft Paper
(B) 0.125 mm Kraft Paper



第5図 絶縁紙の含有水分量と静電容量の関係(A)
Fig. 5. Relation between Moisture Content and Capacity of Nonimpregnated Paper A



第7図 絶縁紙の含有水分量と誘電体力率の関係(A)
Fig. 7. Relation between Moisture Content and Power Factor of Nonimpregnated Paper A



第8図 絶縁紙の含有水分量と誘電体力率の関係 (B)

Fig. 8. Relation between Moisture Content and Power Factor of Nonimpregnated Paper B

示す。本装置では最高含水量 1.4% 迄測定したが、それ以上の水分はいかなる方法によるも相当の精度を上げることは明かであり、我々は大して興味をもたなかつた。1% 以下の微量水分において静電容量は A, B 2種とも測定温度の如何にかかわらず含水量の増加に従つて単調に増加し、0.2% 以下に於てはその傾斜が減少している。この結果は極微量の水分は結晶水として吸着されてをり、ある程度以上の水分で毛管凝縮のような他の機構で吸着がおこるために、水分及び誘電率の関係に於てある点で屈曲的現象が発生するのであらうとする従来の考察と一致している。又無機多孔性の吸湿性物質であるシリカゲルの誘電率の水分による変化⁽¹⁵⁾とも類似していることが注目される。

誘電体力率の変化は温度によつて大差があるが、A, B 2種類ともその傾向は定性的に一致している。含水量 0.2% 程度以上の部分では、含水量の増加に従つて誘電体力率も単調に増加し、その増加率は温度の高いほど大であること、とくに温度が低い場合には一見誘電体力率

が一定であるかにさえ見えることは従来の測定結果と本質的には異つていない。たゞ 0.2% 以下に於て従来の報告によれば力率が一定になることが期待されるが、本報告に述べた方法による測定では急激に力率が減少していることが見られる。この新事実も測定精度と吸湿の機構と考慮しつゝ検討を加えなくてはならないが、何分吸湿の機構に推定するにはさらに周波数による特性変化をも考慮に入れる必要があり将来の問題に属する。たゞ本測定に於けるように商用周波数に於ける力率は主として誘電体の漏洩抵抗から発生されるものと予想されるので、0.2%以下の水分では漏洩電流が急激に減少するのではないかと考えられる。これらの諸点の詳細な考察は将来の問題とし、ただ従来あまり正確には測定されていなかった 0.2~0.1%以下の領域で相当の信頼度で急激に力率が減少するという結果の得られたことを報告する。

さて絶縁紙の吸湿による誘電特性特に力率の変化の知識が工業的に価値のあるのは、油浸紙にした場合である。

もし北川、坂本の報告⁽¹³⁾のように、油浸しないものと、油浸したものとの差が大してないならば本報告のデータから油浸紙の力率を推定することができ、これを利用して差支えない。Clark の報告⁽¹⁶⁾は水分測定法に多少疑問があるが、油浸した場合にその含水量と誘電体力率との関係は油浸しない場合と相当変化があることを述べているから直に本報告のデータを油浸紙に適用することは危険である。やはり本報告と同様な方法による測定を油浸紙に対して行つて見る必要がある。

Vincent-Simons の装置が油浸紙に対して適用できることはその原報にも明らかにされており⁽¹⁾、我々も追試して確認しているが、本報告の電極構造では油浸紙の場合水分の真空中への拡散が電極のためにいちぢるしく妨害され、平衡蒸気圧の構成に長時間を要し実用的でない。このため油浸紙に対する同時測定電極を新に考案し目下測定中である。

[IV] 結 言

従来種々の方法によつて絶縁紙の水分含有量と誘電特性との関係が測定されているが 1% 以下の微量水分の領域に於て、水分測定の精度に疑問があり、かつ水分測定の含水量と誘電特性測定時の水分とに多少偏差の生ずることは不可避であつた。今回水分測定装置として特にすぐれている Vincent-Simons の装置に若干の改良を行うとともに、試料に電極を附し、水分とシェリング、ブリッジによる商用周波数に於ける誘電特性の同時測定に成功した。この結果従来の測定ではあまり信頼できなかつた 1% 以下特に 0.1% 以下に於ける両者の関係が相当の精度で明かになつた。

この結果によれば誘電率は水分 0.2% 迄徐々に増加するが、それ以上でやゝ急激に増加するというシリカゲルに類似の結果が得られた。水分 0.2% 以上の力率の変化は従来の測定結果と大差は見られないが、0.2% 以下で力率が比較的急激に減少するという事実が新に観測された。この機構についての考察はさらに他の測定をも行わなくてはならないので、将来の問題として残した。

この結果をたゞちに油浸紙に適用することはやゝ疑問があるので、同様の同時測定を電極の構造及び測定方法に特別の考慮をはらい油浸紙について行っている。

終りに臨み本研究につき終始御指導御鞭撻を戴いた東北大学教授鳥山四男博士、日立製作所中央研究所河合麟次郎博士に謝意を表す。

参考文献

(1) R. S. Vincent and A. Simons: Proc. Phys. Soc. 52 489 (1940)
 (2) 島: 応物, 12 23 (昭 18)
 (3) A. C. Walker: Bell. Syst. Tech. J. 12 433 (1933)

(4) L. Emanuelli: High Voltage Cables. Chapman & Hall, Ltd. (1929)
 (5) R. N. Evans, J. E. Davernport and A. J. Revukas: Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 11 195 (1938)
 (6) 広部、小川、久保: 電試報 25 (大 5)
 (7) R. H. Larsen: Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 10 195 (1938)
 (8) F. M. Clark: A. I. E. E. 59 1433 (1940)
 (9) 伊沢: 化学の領域. 4 18 (昭 25)
 (10) J. B. Whitehead: Impregnated Paper Insulation John Wiley & Sons, Inc. (1935)
 (11) H. B. Bolson and R. K. Draka: G. E. Review. 54 34 (1951)
 (12) 鈴木: 電三学第 26 回大会要旨 (昭 26)
 (13) 北川、坂本: 電学誌. 56 579 (昭 11)
 (14) 岡崎、横須賀、中田: 電学誌, 56 577 (昭 11)
 (15) 黒崎: 日化. 73 606 (昭 27)
 (16) F. M. Clark: Ind. Eng. Chem. 44 887 (1952)



U. D. C. 53.08 (048.1)

(その 1)

創刊号 (大正 7 年 1 月) ~ 第 34 卷 第 12 号 (昭和 27 年 12 月)

531.218 光弾性

- 1) 回転体の光弾性的研究
大内田久: 日論集 1 4 (昭 23. 12) 140~146
- 2) スポーク車輪焼嵌めの光弾性研究
大内田久、岩崎勤: 日立評論 33 11 (昭 26. 11) 971~979
- 3) 人孔のある扁平鏡板の応力
大内田久: 日立評論 34 7 (昭 27. 7) 887~892

531.22.08 力の測定

大型送風機の軸応力の測定
野崎松郎、家坂秀信: 日立評論別冊 1 号 (昭 27. 11) 27~32

531.714.7 マイクロメーター

超仕上面の摩耗 (附・マイクロメータの寿命試験)
小坂誠市郎、俵卓郎: 日立評論 26 9 (昭 18. 9) 499~507

531.717 直径・平坦度・真直度・平行度の測定

伸線用ダイスの精密測定法
久本方、柿崎公男: 日立評論 34 4 (昭 27. 4) 595~602

531.717.5 ダイアルゲージ

ダイヤルゲージ使用に関する二三の実験

麓吉治: 日立評論 25 3 (昭 17. 3) 168~170

531.75 比重の測定

鉍油の粘度及び比重試験報告
試験係: 日立評論 1 1 (大 7. 1) 48

531.78 力・仕事・圧力の測定

空気圧縮機の試験
宮下弘: 日立機械評論 29 (昭 12. 7) 225

531.787.1 可撓管を用いての圧力の測定

ブルドン圧力計の固有振動数
小堀与一: 日立評論 33 5 (昭 26. 6) 348

531.787.9.082.78 磁気現象を用いての圧力測定 (電気式)

- 1) 磁歪管式圧力計の試作
藤芳利光、橋本明: 日立評論 32 1 (昭 25. 1) 43~48

2) MS-2 型磁歪管式圧力計とその応用

藤芳利光: 日立評論 33 4 (昭 26. 4) 271~276

531.788.1 真空計 (機械式)

日立ドラフトゲージ
(紹介): 日立評論 20 11 (昭 12. 11) 744