(昭和 35 年 1 月 18 日受理)

電気絶縁紙の誘電的性質に関する研究

第 1 報 乾紙の誘電的性質におよぼす 1 価陽イオンの影響

株式会社巴川製紙所 武 祐 一 郎・鈴 木 豊
技 術 研 究 所 松 永 良 助

第 2 報 油浸紙の誘電的性質におよぼす 1 価陽イオンの影響

株式会社巴川製紙所 武 祐 一 郎・鈴 木 豊
技 術 研 究 所 橋 川 昌 弘

STUDIES ON DIELECTRIC PROPERTIES OF ELECTRICAL INSULATING PAPER. (PART I) EFFECTS OF MONO-VALENT CATIONS ON DIELECTRIC PROPERTIES OF UN-IMPREGNATED PAPER

By Yuichiro Take, Yutaka Suzuki and Ryosuke Matsunaga

(Research Laboratory, Tomoegawa Paper Mfg. Co. Ltd; Mochimune, Shizuoka City, Japan)

(PART II) EFFECTS OF MONO-VALENT CATIONS ON DIELECTRIC PROPERTIES OF OIL-IMPREGNATED PAPER

By Yuichiro Take, Yutaka Suzuki and Masahiro Kitsukawa

(Research Laboratory, Tomoegawa Paper Mfg. Co. Ltd; Mochimune, Shizuoka City, Japan)

(PART I) EFFECTS OF MONO-VALENT CATIONS ON DIELECTRIC PROPERTIES OF UN-IMPREGNATED PAPER

The paper for capacitor was dried without washing with water after immersed in the aqueous solution of electrolytes, and dielectric loss and electrical resistance were measured at 100°C and 120°C.

(1) It is found that the order of mono-valent cations which influenced badly on the dielectric properties is as follows; $\text{Na}^+ > \text{Li}^+ > \text{K}^+ > \text{Rb}^+ > \text{Cs}^+ > \text{NH}_4^+$.

(2) Although the order of Na^+ and Li^+ is reversed, this order generally agrees with Lyotrope series and the order of ion radius.

(3) It seems that the effects of anions on the dielectric properties are smaller than those of cations.

(4) When these cations contained in the paper are changed, there are no definite relations between the dielectric loss and the water-extract conductivity.

(PART II) EFFECT OF MONO-VALENT CATIONS ON DIELECTRIC PROPERTIES OF OIL-IMPREGNATED PAPER

Effects of mono-valent cations on dielectric properties of oil-impregnated paper were studied by the same method as that of un-impregnated paper.

(1) In the range of this work, effects of mono-valent cations on the dielectric loss at low temperature (about 20°C) is not observed.

(2) It is obvious that the order of cations which influences badly on the dielectric properties of oil-impregnated paper is same as that of un-impregnated paper. The order is as follows;

$$\text{Na}^+ > \text{Li}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+.$$

(3) In order to compare the dielectric loss of oil-impregnated paper with that of un-impregnated paper, a value of $\tan \delta_i / \tan \delta_u$ is obtained. Those values of the paper treated with NH_4 -salts are by far larger than those of the paper treated with other three electrolytes.

(Received January 18, 1960)

第1報 乾紙の誘電的性質におよぼす1価陽イオンの影響

I 緒 言

電力ケーブルの超高压化および高压コンデンサの大容量化に伴ない、これに使用される電気絶縁紙の誘電的性質に対して、ますます過酷な要求がなされつつある。

誘電体の異常現象は、一般に吸収現象に起因するものであり、誘電正接 ($\tan\delta$) は、吸収電流と、導伝電流によるものであるといわれているが¹⁾、絶縁紙およびこれに油を含浸した油浸紙の、商用周波数 (50~60c/sec) における高温領域 (80~120°C) の誘電正接は、導伝電流による要素が大きい。

電力ケーブルおよび高压コンデンサにおいては、もちろん、低温域の特性も問題にはなるが、設計および実用上、高温域の誘電正接が、より重視されている。

絶縁紙の場合、導伝電流は、含有電解質のイオン伝導によるものであり、絶縁紙の誘電的性質の改善にあつて、着目すべき重要な点は、絶縁紙中のイオン伝導をいかに減少させるかということである。

絶縁紙の製造にあつて、使用水が重要であることは、よく知られており、Del Mar²⁾ は雪どけの水が、適していると述べており、また水質と電気的性質の関係については H. S. Endicott³⁾ が報告している。

駒形、堀岡ら^{4), 5)} は電解透析によつて絶縁紙中の電解質を除去し、絶縁抵抗の改善について報告している。

金丸⁶⁾ は、繊維素のイオン吸着に関し興味ある研究を報告しており、特にその中で、キャラコおよびマニラ紙について、多価陽イオン (Al^{+++}) の影響を検討し、 δ -電位の符号が逆転するところで、破壊電圧、強度が最大となり、吸湿量、膨潤度が、最小になることを述べている。

一方、繊維素およびパルプ繊維のイオン交換性については、古くから知られており、特に絶縁紙の原料であるクラフトパルプは相当量のリグニシ、およびヘミ繊維素などを含んでいるので、イオン交換性は顕著である。McLean と Wooten⁷⁾ は、絶縁紙にイオン交換現象があり、カルシウムやマグネシウムイオンを含む硬水は、ある場合には、軟水よりも優れていると報告している。また、洞沢、北山ら⁸⁾ は、絶縁紙の誘電的性質を改善する目的で、イオン交換について検討し、マグネシウム塩類で、クラフト絶縁紙を処理すると、誘電的性質は、格段に改善されるが、カルシウム、バリウムなどの

塩類処理は、かえつて、多少悪化させることを報告しているが、この研究では、油浸紙については、検討していない。最近に至つて、下山田⁹⁾ がやはり、ケーブル絶縁紙のイオン交換による誘電的性質の改善についての研究を報告しているが、工業的な応用に関する問題は、全く未検討であり、また、絶縁紙の誘電的性質に及ぼす電解質の影響について、系統的な研究も報告されておらず、またこれに関する理論的な問題も殆んど解明されていないので、絶縁紙の製造者の立場として、この研究に着手することにした。

II 実験方法

1) 試料の調製

試料としては、第1表に示した特性の高压コンデンサ紙を使用し、電解質としては試薬特級の Li, Na, K, Cs, Rb, NH_4 の塩化物、および Li, Na, K, NH_4 の硫酸塩を用い、イオン交換樹脂によつて、精製した、比電導度 $2\mu\Omega/cm$ 以下の純水に試薬を溶解させて所定の濃度とし、この電解質溶液 1l をバットに取り、 $30\times 30cm$ に切つた絶縁紙を1枚静かに浸せし、2時間後、取り出して枠に貼り、風乾にした。

絶縁紙の浸せきに用いた電解質濃度は、 7×10^{-5} , 2.5×10^{-4} , 5×10^{-4} , 1×10^{-3} , 4×10^{-3} , 7×10^{-3} (N) の種6類であるが、RbCl, CsCl は、薬品が非常に少量しか入手できなかったため、 $1\times 10^{-3}N$ 以下の4種の濃度にした。

絶縁紙を水に浸せきして風乾にすると、見かけの密度が低くなり、誘電的性質が変化するので、純水の中に絶縁紙を浸せきして、比較試料を作つた。

2) 誘電的性質の測定

上記のようにして調製した試料を、直径約9.5cmの円形に切り、熱風循環式恒温槽で110°C、24時間、空気中加熱を行ない、素早く測定電極中に試料を5枚挿入し、更に、0.1mmHg以下、120°Cの条件で4時間、真空乾燥を行なつた。この条件で、誘電正接 ($\tan\delta$) および絶縁抵抗を測定し、次に真空に吸引しながら温度を100°Cに下げ、その条件に2時間保持した後、100°Cにおける

第1表 試料の特性

厚さ mm	引張強さ (kg/mm ²)		伸び (%)		気密度 (sec/100cc)	密度 (g/cm ³)	誘電正接 (%)		水浸液 導電率 ($\mu\Omega/cm$)	灰分 (%)
	タテ	ヨコ	タテ	ヨコ			120°C	100°C		
0.059	10.3	2.2	2.1	6.5	730	0.87	0.38	0.21	17.5	0.43

測定を行なった。

使用電極は、坂本¹⁰⁾が報告しているものであり、誘電正接は、 10^{-5} まで測定できるシェーリング・ブリッジを使用し、50c/sec, 200V の条件で測定した。

絶縁抵抗 (R) は、直偏法により、DC300 V 印加し、1 分間後の電流より求め、シェーリング・ブリッジで測定した。静電容量 (C) を乗じ、 $C \cdot R$ で表現した。この値は、試料の形状に影響されない。

3) 水浸液導電率の測定

試料を約 $1 \times 1 \text{ cm}$ の細片に切り、これを絶乾 2g 相当量秤量し、逆流冷却器をつけた硬質三角フラスコ中で、100cc の純水と共に 1 時間煮沸し、試料を分離した液を 20°C において、交流ブリッジ法で、抵抗を測定し、その逆数を取って導電率とした。

III 実験結果および考察

1) 絶縁紙中に含有される無機成分

予備実験として、試料の灰分を分光光度計により、定性分析を行なったところ、灰分中に含まれる電解質の種類は極めて多く、Ca, Mg, Na, Mn, Si, Ba, Al, Fe, K, Co, Cu, Ti, Zn, Pb, V, Ag, Sn, など 17 種類の金属イオンが認められた。更に、これらの中で比較的量の多いものおよび、絶縁紙として、重要と考えられるものについて、化学的に定量分析を行なった結果を第 2 表に示した。

この結果から明らかのように、クラフト紙の灰分でも、その主成分は、Ca であり、Na は、予想よりも少なかった。

第 2 表 灰分の化学分析結果(灰分に対する%)

CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂
46.4	11.0	1.2	8.7	1.9	0.5	8.5

Fig. 1. Effects of mono-valent cations (chloride) on dielectric loss at 120°C .

Fig. 2. Effects of mono-valent cations (sulphate) on dielectric loss at 120°C .

2) 誘電的性質におよぼす 1 価陽イオンの影響

第 1 図には、乾紙の 120°C 誘電正接におよぼす 1 価陽イオン (塩化物) の影響を第 2 図に、1 価陽イオン (硫酸塩) の影響について示した。上述したように、測定としては 100°C , 120°C の両温度における値を求めたが、特にイオン伝導が顕著に現われている 120°C の値だけ図示することにした。

第 1 図の 1 価陽イオン (塩化物) の影響についてみれば、誘電的性質に悪影響を与える順は、

であり、第 2 図も試薬の都合で Rb と Cs が欠けているが、

の順で、硫酸塩の場合も、塩化物と全く同じ順序である。

Fig. 3. Effects of mono-valent cations (chloride) on insulating resistance at 120°C .

Fig. 4. Effects of mono-valent cations(sulphate) on insulating resistance at 120°C.

第3図には、120°C、CRにおよぼす1価陽イオン（塩化物）の影響、第4図には1価陽イオン（硫酸塩）の影響について示したが、絶縁抵抗に悪影響を与える順位は、誘電正接の場合と全く同じであり、誘電正接は、交流50c/sec、絶縁抵抗は直流で測定しているが、共にイオン伝導に著しい影響を受けていることが明らかである。

イオン交換樹脂および繊維素などのイオン交換体に関する1価陽イオンの交換吸着は、リオトロブ系列が適用されることが報告¹¹⁾されている。すなわち $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$ の順にイオン交換吸着されることが指摘されている。このリオトロブ系列と、本実験で得られた上記の順位を比較すると、 Na^+ と Li^+ の順位が逆であるが他は、リオトロブ系列と一致している。

パルプと電解質の結合の様式について、祖父江、大久保¹²⁾は、全灰分を次の4つの様式、(1)付着灰分、(2)遊離灰分、(3)結合灰分、(4)強結合灰分（固有灰分）に分類した。

本実験において、試料中に含有されているイオンは、繊維に、物理的に付着している自由イオン（付着灰分、遊離灰分に相当するもの）と、なんらかの力（主として、イオン交換反応による力）によつて、吸着されている束縛イオン（結合灰分、強結合灰分に相当するもの）の2つに大別できるであろう。本実験における、試料の調製のところで述べたように、紙を所定電解質水溶液に浸せきして、水洗および圧さくすることなく、風乾にしたので、風乾前紙に付着していた多量の水の中に溶解しているイオンは、そのまま残り、特に希薄な場合は別として、ある程度以上の濃度に浸せきした試料は、相当量の自由イオンを含有していることが考えられる。

誘電的性質におよぼす吸着イオンの中、イオン交換反応によつて吸着している束縛イオンよりは、自由イオンの方が、より大きな影響を与えることは当然なことである。束縛イオンによつてのみ影響を受けるのであれば、リオトロブ系列に従つて、交換体に強くイオン交換吸着されることによつて、誘電的性質におよぼすイオンの順位を説明することができるが、自由イオンの影響については、イオン交換吸着の程度の強弱だけでは、説明が不充分であり、1価陽イオンそのものの性質に着目しなければならない。1価陽イオンのイオン半径および水和については、次のような値が報告¹³⁾されている。

第3表 金属イオンの半径と水和

イオン	結晶半径 (Å)	水和半径(Å)		水和水 moles H ₂ O/ mole
		Pallman	Jenny	
Li	0.68	7.3	10.0	12.6
Na	0.98	5.6	7.9	8.4
K	1.33	3.8	5.3	4.0
Rb	1.49	3.6	5.09	
Cs	1.65	3.6	5.05	
NH ₄	1.43		5.37	4.4

この表において、 NH_4 を除くならば、イオン半径およびイオンの水和傾向の順位が、リオトロブ系列に一致していることが明らかである。自由イオンでも、イオン半径の大きいもの程、紙の中で移動が妨げられ、また水和水が少ないことは、同一乾燥状態でも微量水分が少なくなり、電解質のイオン化が妨げられ、イオン伝導が少なくなるのではないかと考えられる。

結局、自由イオンの半径の大小、水和水の多少、すなわち水和エネルギーの大小が、絶縁紙の高温での誘電的性質に顕著な影響を与えているものと考えられる。 NH_4 イオンが、 Rb 、 Cs よりも、イオン半径が小さく、水和半径が大きいかかわらず、誘電的性質に与える影響が、これら2つのものよりも優れているのは、絶縁紙の誘電的性質を測定する際の乾燥により、含有されている NH_4 の一部が、 NH_3 ガスとして除去されてしまうためであろう。

3) 誘電的性質におよぼす、陰イオンの影響

Cl^- イオンと SO_4^{2-} イオンの影響を比較するために、塩化物で処理した紙の誘電正接を $\tan\delta(Cl)$ とし、硫酸塩で処理したそれを、 $\tan\delta(SO_4)$ および、 $\tan\delta(Cl)/\tan\delta(SO_4)$ の値を求め、処理濃度に対してプロットしたのが第5図である。

Li 、 Na 、 K 塩で処理した紙は、処理濃度 $4 \times 10^{-3}N$ までは、殆んど1.0に近い値であり、 Cl^- イオンと SO_4^{2-} イ

オンの影響の差は、殆んど見られないが、それ以上の濃度になると、1.0 よりも大きな値を示し、 Cl^- イオンの方が、誘電正接に悪影響を与えていることが明らかである。一方、 NH_4 塩で処理した紙は、 $1 \times 10^{-8} \text{N}$ までは 1.0 に近

Fig. 5. Comparison between effects of Cl^- and SO_4^{2-} on dielectric loss.

い値を示しているが、それ以上の処理濃度になると、急激に大きな値を示しており、陰イオンの影響が最も顕著なのは、 NH_4 塩の場合である。これは、 Li^+ , Na^+ , K^+ のように、陽イオンが、誘電的性質に、非常に悪影響を与える場合は、陰イオンの影響は、明瞭ではなく、 NH_4^+ のように、処理濃度によつてはかえつて、誘電正接を改善するような陽イオンの場合は、陰イオンの影響が明らかになってくる。

陰イオンについては Cl^- と SO_4^{2-} の 2 種類であるから、これだけの実験で、誘電的性質に及ぼす陰イオンの影響のすべてについて、結論を下すことは早計であるが、陽イオンよりも、陰イオンの影響の方が、小さいといふことはできそうである。

処理濃度が大きくなつた時の Cl^- イオンと SO_4^{2-} イオンの影響の差については、陰イオンの相異によつて、陽イオンの吸着量が異なり、そのために誘電的性質に差が現われるのか、または陰イオン自体の影響の相異であるか、不明であるが、祖父江、大久保¹⁴⁾は、繊維素による Ca 塩の吸着について、 Ca 濃度が殆んど同一であれば、その吸着量は、陰イオンにより変化しないと述べており、 Cl^- イオンと SO_4^{2-} イオンの影響の差は、イオン自体の影響であろうが、詳細は、今後の検討にまたなければならない。

4) 水浸液導電率および灰分の変化

第 6 図および第 7 図に水浸液導電率に及ぼす、1 価陽イオンの影響について示した。簡単に考えれば、水浸液

Fig. 6. Effects of mono-valent cations (chloride) on water extract conductivity.

Fig. 7. Effects of mono-valent cations (sulphate) on water-extract conductivity.

導電率に及ぼす、1 価陽イオンの影響は、誘電的性質に及ぼす影響と同じイオンの順列になると考えられるが、実際は、必ずしも一致せず、処理濃度が、 $1 \times 10^{-8} \text{N}$ 以上の場合について、第 6 図の塩化物処理紙についてみれば、 $\text{K} > \text{Na} > \text{Li} > \text{NH}_4$ の順に水浸液導電率が悪くなつており、第 7 図の硫酸塩処理紙においても同様な順序である。第 6 図、第 7 図を通じて興味があるのは、 NH_4 塩処理紙であり、他のもののように、処理濃度に従つて、連続的に水浸液導電率が増加することなく、処理濃度に従つてまず、水浸液導電率が小さくなり、 $1 \sim 2 \times 10^{-8} \text{N}$ 付近を最小にして増加している。これは、絶縁紙中に、あらかじめ、吸着されている陽イオンと、 NH_4^+ イオンが、イオン交換し、その NH_4 の一部が、風乾中に NH_3 ガスとして除去されるためであろう。

第 8 図および第 9 図に、灰分に及ぼす影響を示した。

Fig. 8. Effects of mono-valent cations (chloride) on ash.

Fig. 9. Effects of mono-valent cations (sulphate) on ash.

塩化物および硫酸塩処理紙共に、処理濃度に従つて、灰分は減少している。これは、原子量の大きい、Ca, Mg, が、原子量の小さい1価陽イオンと交換して、除去されたためであろう。この灰分の場合でも、 NH_4 塩処理紙は、最も小さい値を示している。

第10図および第11図に、水浸液導電率と120°C誘電正接の関係を示した。第10図は、 LiCl と NaCl 処理紙および NH_4Cl と、 KCl 処理紙が大体同じような傾

Fig. 10. Relation between dielectric loss and water-extract conductivity on the chloride treated papers.

Fig. 11. Relation between dielectric loss and water-extract conductivity on the sulphate treated papers.

向を示している。第11図では、 Li_2SO_4 と Na_2SO_4 処理紙が大体同じような曲線を示しているが、 K_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 処理紙は、それぞれ相異した曲線を示している。これらのことから、紙の中に含有されている電解質の構成が同じであり、量だけ相異なる場合は、水浸液導電率と高温度、誘電正接とは一定の関係を示すが、含有されている電解質の構成が変わる時には、一定の関係がなく、 NH_4 塩処理紙は水浸液導電率が大きくても、誘電正接は小さい。

灰分と誘電正接の関係も、水浸液導電率の場合と大体同じような関係であり、図示するのを省略した。

IV 総 括

絶縁紙の誘電的性質に及ぼす1価陽イオンの影響を検討するため、所定の電解質水溶液中に浸せし、風乾にした試料について誘電的性質、灰分および水浸液導電率を測定したところ、

(1) $\text{Na} > \text{Li} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs} > \text{NH}_4$

の順に、絶縁紙の高温度(100~120°C)の誘電正接および絶縁抵抗に悪影響を与えることが明らかになった。

(2) この順位は、Na と Li が逆転しているが、リオトロブ系列およびイオン半径の大小の順に大体一致している。

(3) 陰イオンの影響は、陽イオンの影響よりも小さいようである。

(4) 絶縁紙中に含有される電解質の種類が変わると、高温度、誘電特性と水浸液導電率の関係および灰分との関係は、一定の関係なくなる。

御指導を賜わった、東工大金丸教授、当社篠田専務および実験に協力下さった山河、有田両君に対し、感謝を捧げる。

文 献

- 1) 沼倉 ; 誘電体論, 50p. (昭 23) オーム社
- 2) W. A. DelMar ; *Wire and Wire Products.*, 29, 754 (1954)
- 3) H. S. Endicott ; *G. E. Rev.*, 52, 28 (1949)
- 4) 堀岡, 菊地, 比留間 ; 電学誌., 56, 260 (昭 11)
- 5) 駒形, 菊地, 比留間 ; 電学誌., 57, 992 (昭 12)
- 6) 金丸, 中村 ; 工化., 39, 713 (昭 11)
金丸, 中村 ; 工化., 39, 719 (昭 11)
金丸, 中村 ; 工化., 39, 858 (昭 11)
金丸, 福原 ; 工化., 39, 864 (昭 11)
- 7) D. A. McLean and L. A. Wooten ; *Ind. Eng. Chem.*, 31, 1138 (1939)
- 8) 洞沢, 北山 ; 第 22 回電気諸学会 連合大会講演 (昭 18)
- 9) 下山田, 常松 ; 日立評論., 37, 1567 (昭 30)
- 10) 坂本 ; 材料試験., 3, 495 (昭 29)
- 11) 金丸 ; 高分子材料., 42p (昭 26) 槻書店
- 12) 祖父江, 大久保 ; 織学誌, 10, 337 (昭 29)
- 13) 清水 ; イオン交換樹脂, 103p (昭 28) 共立出版社
- 14) 祖父江, 大久保, 神南 ; 織学誌, 10, 335 (昭 29)

第 2 報 油浸紙の誘電的性質におよぼす 1 価陽イオンの影響

I 緒 言

前報において、乾紙の誘電的性質に及ぼす影響について述べたが、実際には、油浸紙の状態で使用されるので、油浸紙に及ぼす影響を知ることは、実用上非常に重要である。油浸紙と乾紙の誘電的性質については、H. S. Endicott¹⁾は、そこに一定の関係があり、乾紙の誘電的性質によつて、油浸紙の優劣を論ずることができるような意味のことを述べているが、油浸紙にのみ悪影響を与える、未知の因子もあり、絶縁紙中に含まれる電解質の構成が同じであり、洗浄不足によつて、誘電正接が悪くなったような場合には、乾紙の測定値によつて、油浸紙の優劣を推定することができるが、本実験のように、含有電解質の種類を変えた時には、油浸紙について特別に検討する必要がある。

II 実験方法

乾紙の場合と、同じ電極に油注入用の補助装置をつけ、前報において調製した試料を、乾紙の場合と同様、大気中で、120°C、24 時間予備乾紙を行ない、その試料を素早く電極内に挿入し、120°C、0.1mmHg 以下の条件で、4 時間真空乾燥を行ない、その条件で、120°C の乾紙の特性を測定し、100°C まで、温度を下げ、別に精製したコンデンサ油を、空気と遮断した状態で、含浸し、約 12 時間、室温に放置し（この間も、含浸紙は、空気と遮断）充分、絶縁油が含浸した後、室温から、温度特性を、測定してゆく。誘電正接 ($\tan\delta$) の測定電圧は、4.2 および 10kV/mm で測定したが、10kV/mm の値を標準とし、この電圧の誘電正接についてのみ検討することにした。

絶縁抵抗は、乾紙の場合と同様、DC300V (約 1.25 kV/mm) であり、前と同様 C と R の積を求めた。

III 実験結果および考察

1) 低温度の誘電的性質に及ぼす影響

低温（室温）の絶縁抵抗は、試料面積が小さいため、流れる電流が少なく、正確な結果は求め難いので、一応参考のために測定したが、検討は行なわなかつた。

低温度の誘電特性としては、誘電正接のみについて述べるが、乾紙では室温の値は、誤差が入り易いので、前報では、測定しなかつた。室温の誘電正接は、温度特性の曲線より、外挿または、内挿して 20°C の値を求めた。

Fig. 1. Effects of mono-valent cations (chloride) on dielectric loss at 20°C.

第 1 図に、20°C 誘電正接に及ぼす 1 価陽イオン（塩化物）の影響を示したが、本実験で行なつた範囲の電解質含有量では、20°C、誘電正接に変化は見られない。商用周波数 50~60c/sec の低周波でも、室温付近の誘電正接は、双極子能率の振動および回転による損失の要素が多いことは、知られているが、周波数が低いため、ある程度、イオン伝導による影響もあるものと考えていたが、本実験の範囲内では、無視し得る程度に少ないことが明らかになつた。

現在、実際に高圧コンデンサおよび高圧電力ケーブルに使用されている絶縁紙は、本実験の $1 \times 10^{-3}N$ 処理紙、以上に電解質を含んでいるものはないから、実用の