

# 電氣界面攪亂の研究(第II報)

## 纖維質粒子分散系の高温に於ける電磁波吸収 スペクトルに就て(第I報)

志 方 益 三  
上 田 静 男

### 梗 概

本報告に於ては木繊維=流動パラフィン系に就き 30~110°C の範囲に於る 6,000 サイクル以下の低域電磁波吸収分散を測定し、電氣物理的に吸着水分形態の一端を覗はんとするものなり。則ち實驗の結果常温にては固着水と考へられ、電磁波の吸収分散がみとめられない程度の吸着水分も、温度の上昇に順ひ其等の現象が認めらるるに至る。我々は此の場合誘電體損に及ぼす温度、含有水分量、周波数の影響、之より算出せる Relaxation time “ $\tau$ ” に及ぼす温度並に水分含有量の影響又等價直列靜電容量に及ぼす温度、含有水分量、作用周波数の影響を精密に測定し、之より吸着水分形態を追求せんとす。

### 目 次

- I 緒 言
- II 實驗裝置並に實驗方法
- III 實 驗 結 果
  - (A) 誘電體損に及ぼす温度の影響
  - (B) 誘電體損に及ぼす作用周波数の影響
  - (C) 誘電體損に及ぼす含有水分量の影響
  - (D) Relaxation time “ $\tau$ ” に及ぼす温度並に含有水分量の影響
- IV 實驗結果に對する考察
- V 要 約

### I 緒 言

一般に纖維質物質の水分吸着作用は、水の双極分子が纖維ミセル遊離面に配列さるる現象と見らる。我々は交流電橋を用ひて此の吸着水分双極分子の電磁波吸収分散を測定し、其の吸着水分形態を覗はんとせり。

即ち親媒膠質系に於ては水は膠質ミセルと密接な或結合にあり、其の性質は普通自由な状態にある水の夫とは異なる。而して常温に於ては水分の吸着量が8%になつて初て我々の測定装置で電波吸収を現はす事から、纖維質に吸着された水分の内8%位迄のものは吸着の程度が高く、殆ど固體の様な形をなして居て一般に考へらるゝ固着水とは斯様なものと考へた。<sup>(1)</sup> 而して含有水分8%を界として、之以上及び以下の含有水分の特性を明にせん爲に先づ第1に含有水分量が8%以上のものゝ、常温より-50°C迄の範圍に於ける6,000~以下の低域電磁波分散並に吸収を測定し、溶媒の水點に於て及び吸着水分の凝固すると考へらるゝ點に於て、其等の異狀性をみとめ、同時に測定せる低温水の誘電體吸収と併せ考へ、吸着水分形態に關する我々の推論を一步進むを得た。<sup>(2) (3) (4)</sup>

今回は反對に水分吸着量が8%以下のもの、即ち常温に於て我々の測定装置にて極僅かしか又は全々電波吸収を表はさない様なものゝ特性を究めんとした。即ち其の結果に依ると温度を上昇せしむることに依り吸着水分双極子の Relaxation time “ $\tau$ ” の減少を來し、我々の測定周波數に於ても水分双極分子の回轉に依る電磁波吸収及び分散の急變化を表はす。即ち斯様なものの實驗結果は次の如し、

- (1) 温度を上昇せしむることに依り低周波の方から誘電體損が現れ出し、等價直列靜電容量の變化も現はる。
- (2) 作用周波數同一の場合は、高温になる程低含有水分の處で誘電體損が現れ出し、又等價直列靜電容量の變化が現れ初める。
- (3) 作用周波數を變へた場合、誘電體損の極大點を現し、其の極大點の周波數は含有水分量の多い程、又測定温度の高い程高周波の方に移る。
- (4) 以上の實驗結果より算出せる Relaxation time  $\tau$  の特性傾向は我々の理論的計算と良く一致す。

以上の實驗結果は我々の吸着水分形態に關する推論によく合致するものにして、以下之が實驗方法並に實驗結果を詳述し、之に對する理論的考察を加へんとす。但し等價直列靜電容量の變化は誘電體損の場合と全く同一傾向を示すものにして紙面の都合上實驗結果を掲載することなく言葉の上にて其の大要を述ることとす。

- (1) 西・上田：理研彙報 第14輯 第7號
- (2) 志方・上田：電 化 4, (1936) 3.
- (3) 志方・上田：電 化 4, (1936) 6.
- (4) 志方・上田：化研講演集 7, (1937) 8.

Ⅰ 實驗裝置並に實驗方法

本實驗に使用せる實驗裝置並に實驗方法は特別のことわりなき限り電氣化學第4卷第2號掲載のものと全く同一にして、即ち測定電橋の等價回路には直列抵抗を用ひた。又資料木粉は北海松を機械的に粉細せるものを用ひ、之を流動パラフィンを入れた五極平板蓄電器中に suspend せしめ、デシケーター中に入れ、排氣し、氣泡を除き試料とす。尙試料木粉を乾燥する場合、高温では木粉表面に變化があるらしく思はれたので真空乾燥器にて 2~3 mm Hg とし、70°C にて乾燥す。次に資料の含有水分測定は加熱法 (105°C) 真空乾燥法 (70°C, 2~3 mmHg) 加幅式水分定量法 (トルオール使用) アブダーハルデン法 (沸點の異なる數種を用ひて試験す) 等精密比較研究の上アルコールを使用せるアブダーハルデン法が最も良結果を得たので之を採用することとした。

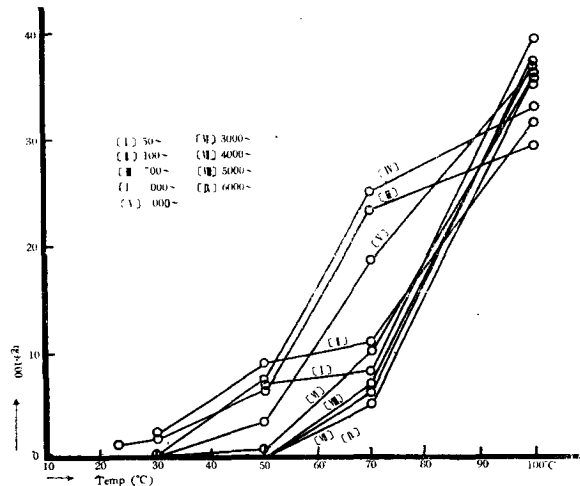
Ⅱ 實 驗 結 果

(A) 木粉=流動パラフィン系に於て誘電體損に及す温度の影響

恒温槽の温度を +30°C より +110°C 迄上昇せしめた場合の誘電體損の變化を 50~より 6,000~ の間の各周波數に分けて表したのが第 1-6圖である、

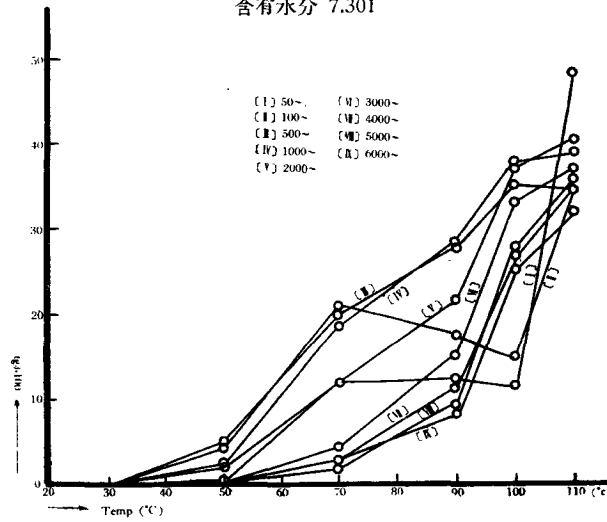
尙本測定に使用せる試料木粉の含有水分量は 0.403%, 3.095%, 4.413%, 5.201%, 6.264%, 7.301%, 8.12%, にして含有水分 0.403% のものは温度を 110°C に上昇せしむるも、誘電體損現象を現さぬ故圖示せず。本圖に於ては縦軸に  $\text{tg}\delta \times 100$  横軸には測定温度を取る。圖に依

第 1 圖  
木粉=流動パラフィン系  $\text{tg}\delta$ -Temp 曲線  
含有水分 8.12%



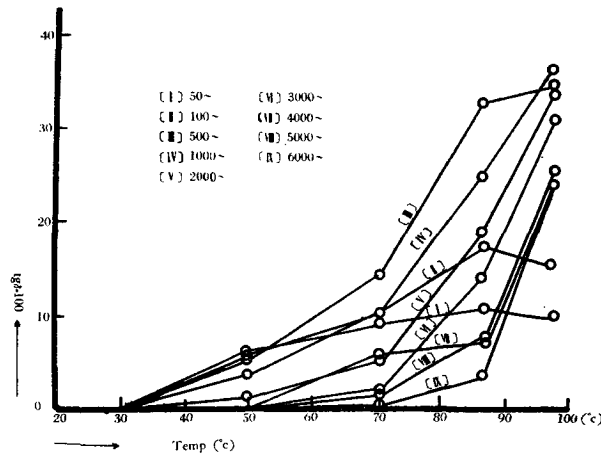
第 2 圖

木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -Temp 曲線  
含有水分 7.30%



第 3 圖

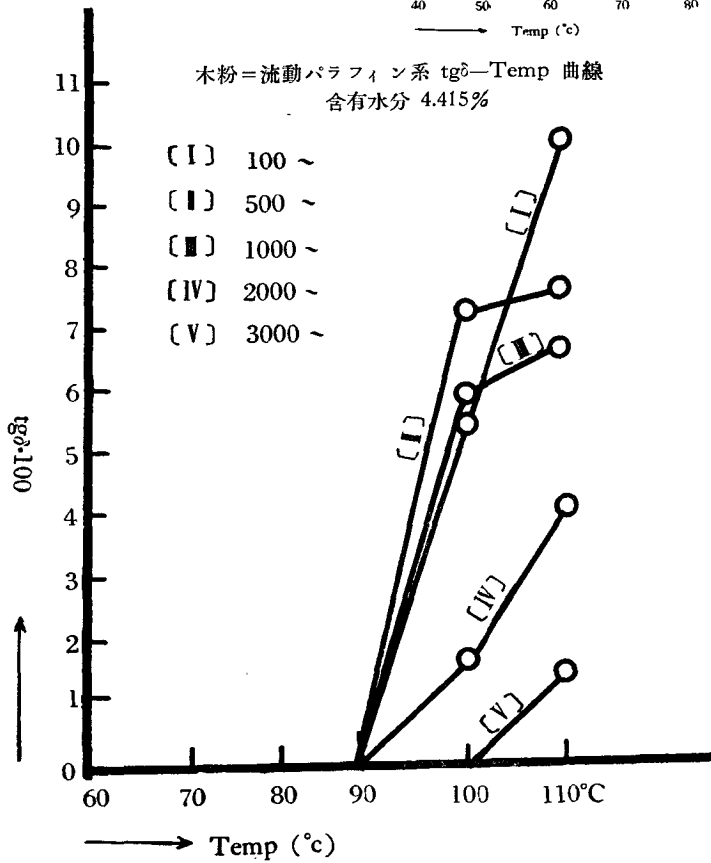
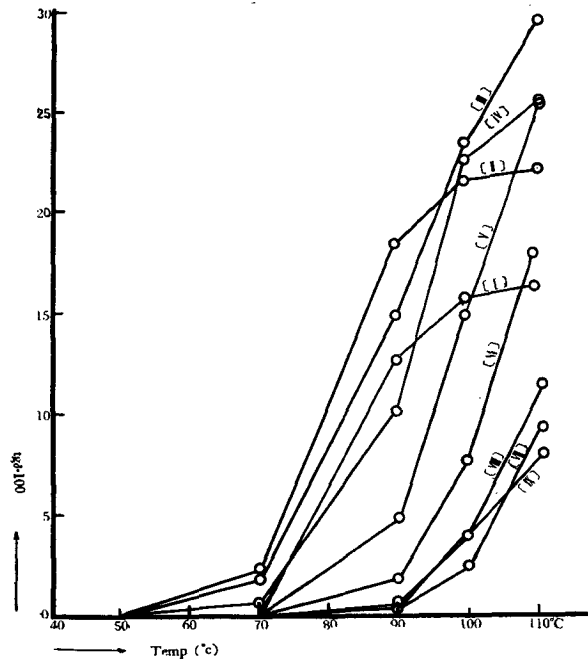
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -Temp 曲線  
含有水分 6.26%



り明なる如く木粉の含有水分が 8.12% の場合は測定電源が 50—1,000~ 迄は 30°C に於て既に誘電體損を現はすも、2,000~ 及び 3,000~ の場合は 50°C に於て、4,000~6,000~ の場合は 70°C に於て、初めて誘電體損を現はす。而して上記含有水分量のものに於ては、總て低周波・程低温に於て誘電體損を現し初めることは圖示の通である、木粉の含有水分が 7.301% になると 30°C に於て誘電體損を現すものは一つもなく 50°C に於て測定電源 50~—2,000~ の範囲のものが誘電體損を現し初める。而して 3,000~—6,000~ に至つては 70°C に於て誘電體損を

第 4 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -Temp 曲線  
含有水分 5.201 %

[ I ] 50 ~	[ VI ] 3000 ~	
[ II ] 100 ~	[ VII ] 4000 ~	→
[ III ] 500 ~	[ VIII ] 5000 ~	
[ IV ] 1000 ~	[ IX ] 6000 ~	
[ V ] 2000 ~		

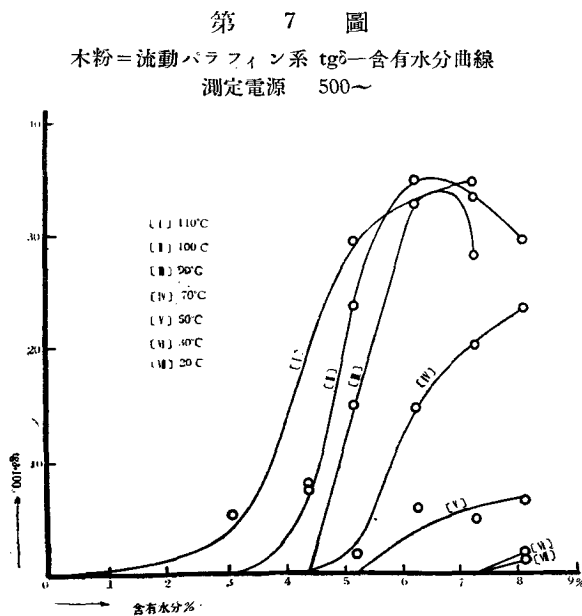


第 5 圖

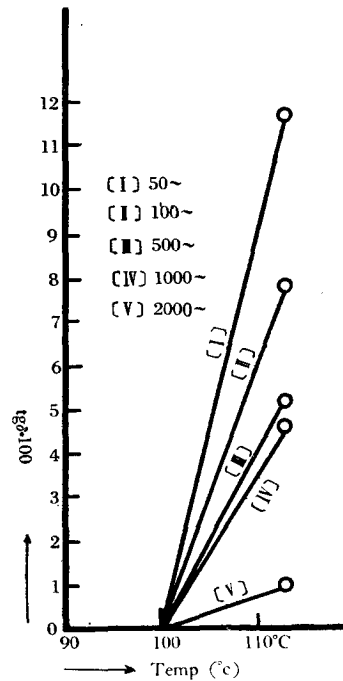
現し初める, 以下同様にして含有水分量が少くなればなる程誘電體損を現し初むる點が高温の方に移ることは, 第1~6圖に至るに従ひ  $tg\delta$  の現れ初むる點が高温の方に傾くことより明である. 第7-13圖にも此の傾向が解る. 而して木粉の含有水分が 0.403% に至つては  $120^{\circ}C$  となすも我々の測定周波數に於て誘電體損は現れず.

而して試料の含有水分の異なるものゝ温度上昇せしむるに連れ, 或周波數のものは  $tg\delta$  の上昇が飽和點に達した處がある. 之は温度變化に依る  $tg\delta$  の極大點とも見るべきものにして, 尙一層温度を上昇せしむることに依り返つて  $tg\delta$  の値は降下するものと思れる. 而して本實驗に於ては此  $tg\delta$  の値の極大點は大體作用周波數の低い方に出で居り, 尙温度上昇せしむることに依り周波數の高い方にも極大點の生ずることゝ思れる. 而して同じ作用周波數に於ては試料の含有水分量が少くなる程高温の方に  $tg\delta$  の極大點の現れる様な傾向を呈す.

(B) 木粉=流動パラフィン系に於て誘電體損に及す含有水分量の影響



第 6 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -  
Temp 曲線  
含有水分 3.095 %

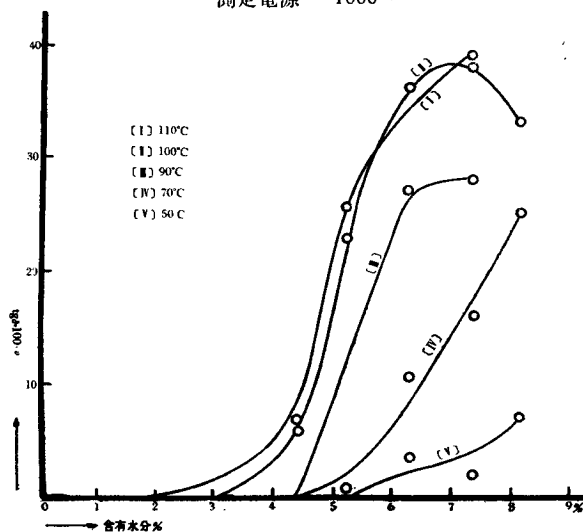


試料木粉の含有水分量を種々に變化せしめた場合の各種温度に於ける誘電體損の變化を表したのが第7-第13圖である. 而して其の測定電源は 500—6,000~に至る範圍である.

本圖に於ては横軸に含有水分量を, 縦軸に  $tg\delta \times 100$  を採る. 先づ測定電源 500~ に依るものの實驗結果を見るに, 第7圖に示す通

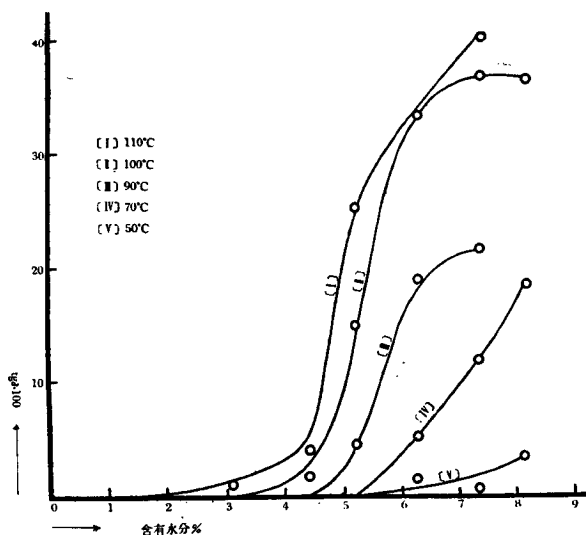
第 8 圖

木粉=流動パラフィン系  $\text{tg}\delta$ -含有水分%曲線  
測定電源 1000~



第 9 圖

木粉=流動パラフィン系  $\text{tg}\delta$ -含有水分%曲線  
測定電源 2000~

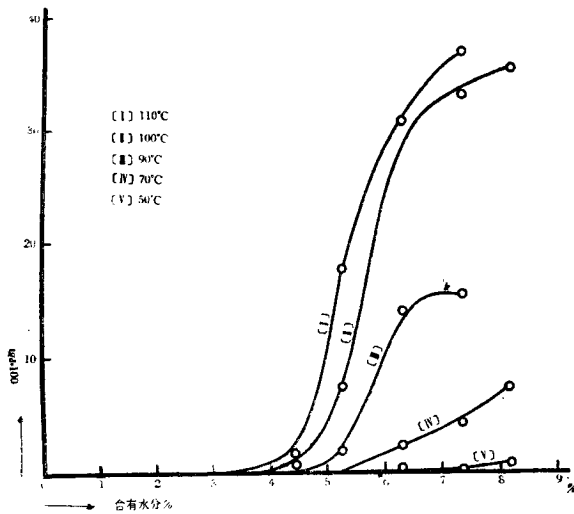


り 110°C に於ては、含有水分 0.403% の試料では、 $\text{tg}\delta$  を現さないが、3.035% になつて漸く現れ出す、又 90°C に於ては含有分 3.095% のものでは  $\text{tg}\delta$  を現さないが、4.415% になつて  $\text{tg}\delta$  が現れ出す。測定温度 70°C では 5.201%、50°C では 6.264%、30°C では 8.12% になつて初て  $\text{tg}\delta$  を現し初むる様になる。以上の結果は上記測定周波数の範囲に於て皆同一傾向を

示す。即ち測定電源が 500—6,000~ の間に於ける各周波數に於ては、測定温度が高温になる程誘電體損の現れ初る處が低含有水分の方に傾く。而して此場合も測定電源の周波數が低い程試料の含有水分が少い處に於て誘電體損が現れ出す。尙測定電源 3,000~ 以下に於て、測定温度 90°C 以上のものは、含有水分の 6—7% の處で極大點を現す様な傾向を示すは注目すべきことと思はる。

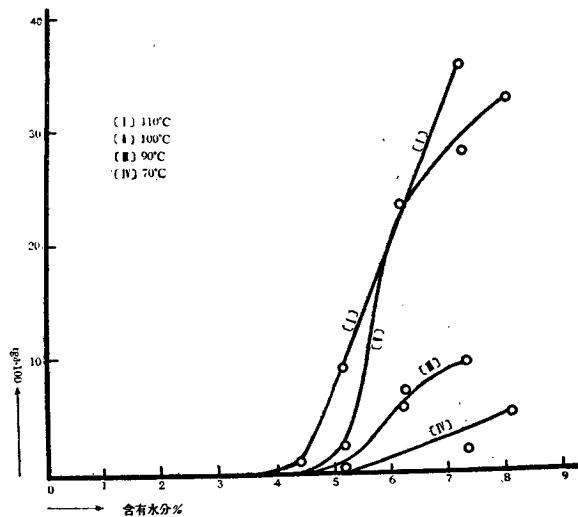
第 10 圖

木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -含有水分曲線  
測定電源 3000~



第 11 圖

木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -含有水分曲線  
測定電源 4000~

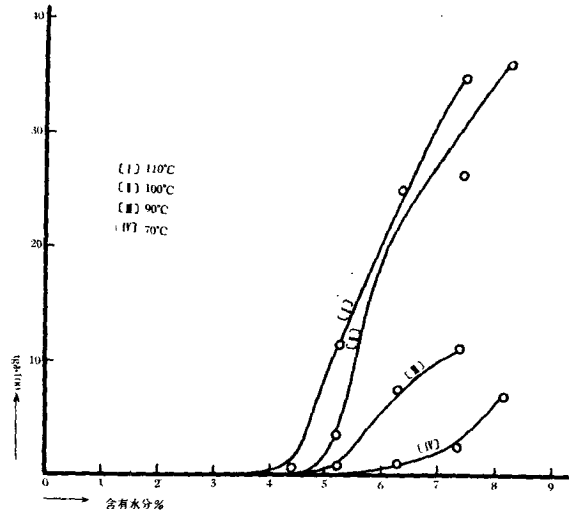


(C) 木粉流動パラフィン系に於て誘電體損に及す作用周波數の影響



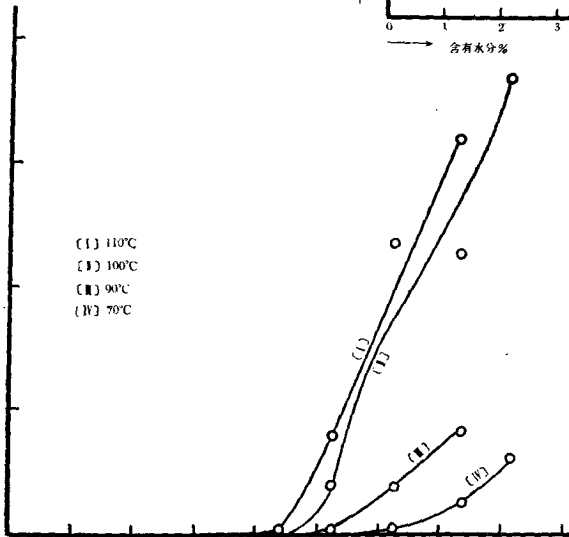
第 12 圖

木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -  
含有水分曲線 測定電源5000



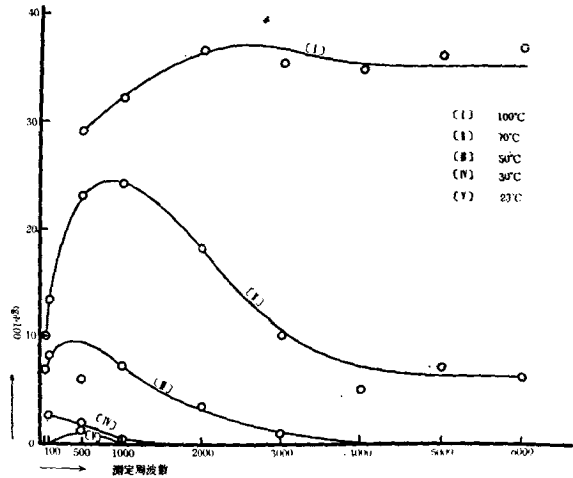
第 13 圖

木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -  
含有水分%曲線 測定電源600~



第 14 圖

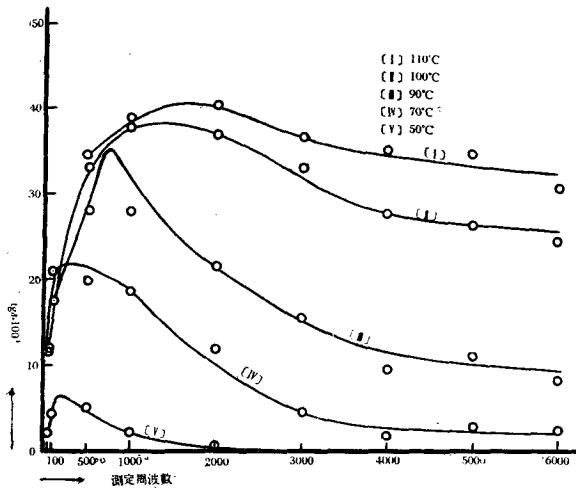
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -  
周波數曲線 含有水分8.12%



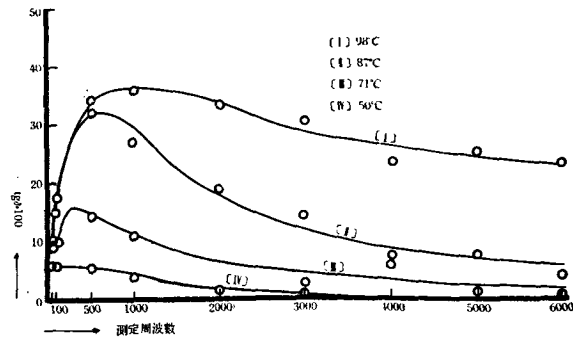
上記測定に於て測定交番電界の周波数を 50~6,000 の間に變化せしめた場合の、各種温度に於ける誘電體損の變化を表したのが、第 14—19 圖に示す。而して試料木粉の水分含有量は 8.12%-0.403% の間の各種を採る。

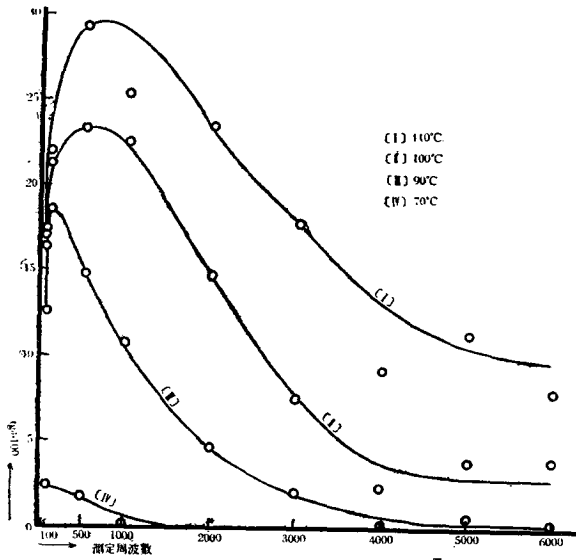
本圖に於ては縦軸に  $tg\delta \times 100$ , 横軸に測定周波數を採る。圖に依り明なる如く此の場合誘電

第 15 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -周波數曲線  
含有水分 7.301 %



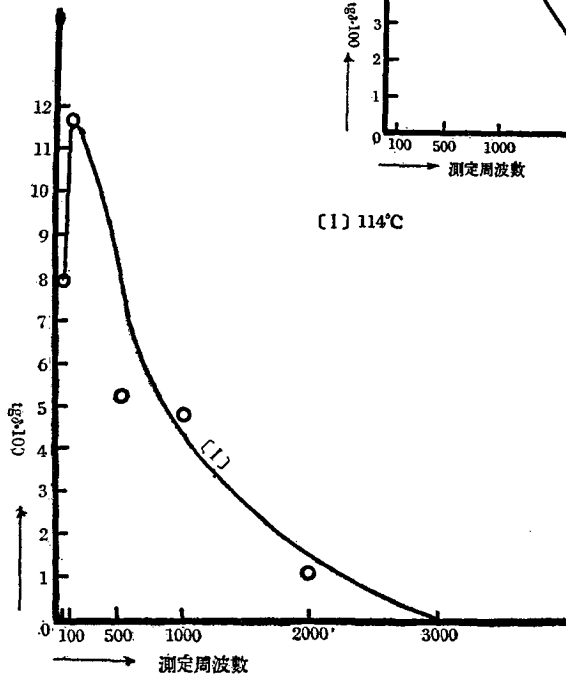
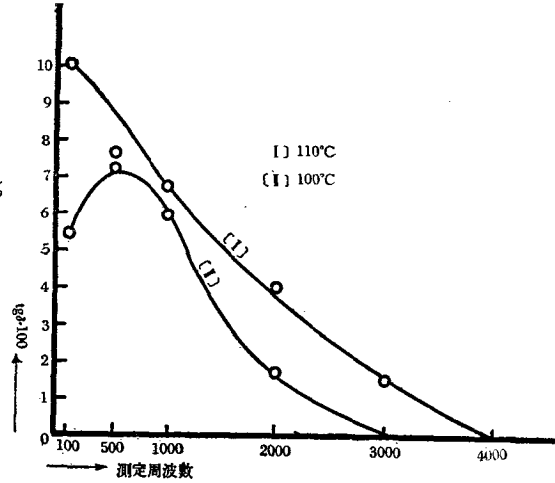
第 16 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ -周波數曲線  
含有水分 6.26 %





第 17 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ —  
含有水分曲線 含有水分5.2%

第 18 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ —  
一周波數曲線 含有水分4.415%

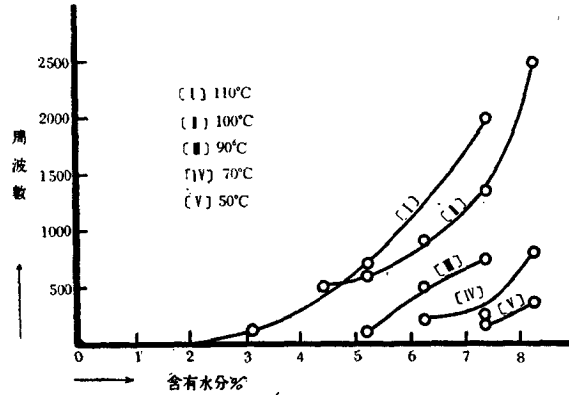


第 19 圖  
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta$ —  
一周波數曲線 含有水分3.095%

體損の極大點が生じ、それは、含有水分一定の場合高温になる程、又測定温度一定の場合含有水分%多くなる程、高周波の方に傾く。之を一まとめにしたのが第 20—21 圖である。

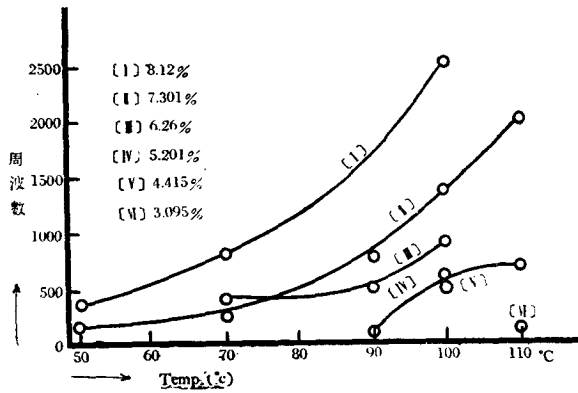
第 20 圖

木粉=流動パラフィン系に於て  $tg\delta$  の極大點の周波數-水分曲線



第 21 圖

木粉=流動パラフィン系に於て  $tg\delta$  の極大點の周波數-温度曲線

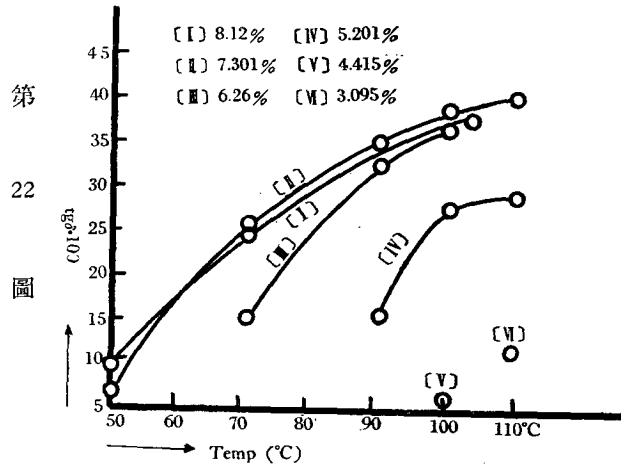


又  $tg\delta$  の極大値は、含有水分一定の場合高温になる程、又測定温度一定の場合含有水分量の多くなる程増大す、之を一まとめにしたのが第 22—23 圖である。

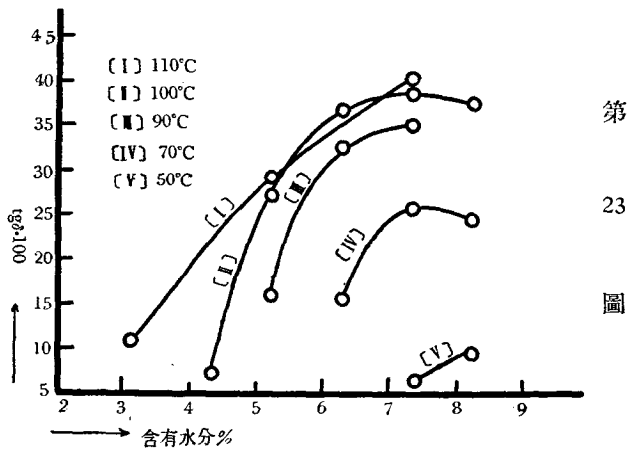
(D) Relaxation time “ $\tau$ ” に及す温度並に水分含有量の影響

以上の實驗結果より Relaxation time “ $\tau$ ” を計算し、測定温度並に含有水分量が之に及ぼす影響を見れば第 24—25 圖の如し。

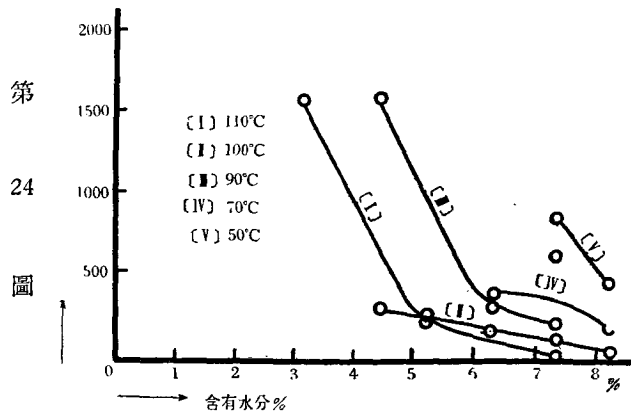
木粉=流動パラフィン系  $tg\delta_{(max)}$ -Temp 曲線



木粉=流動パラフィン系  $tg\delta_{(max)}$  -水分曲線

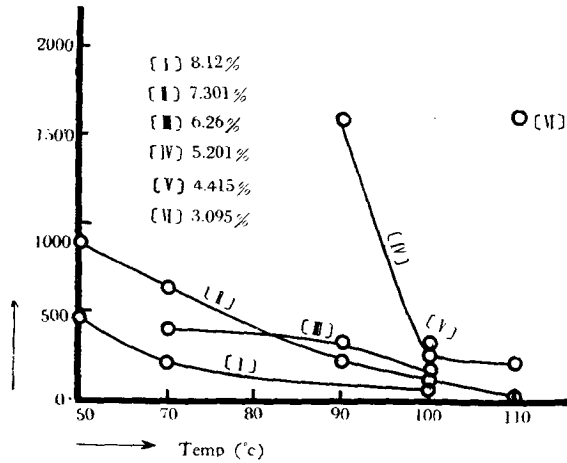


木粉=流動パラフィン系  $\tau$  -含有水分曲線



第 25 圖

木粉=流動パラフィン系 -Temp 曲線



本圖に於ては縦軸に  $\tau \times 10^6$  を採り横軸には温度又は含有水分%を取る. 其の結果を見るに測定温度一定の場合含有水分量が多くなる程, 又含有水分一定の場合測定温度上昇する程 Relaxation time は減少する.

IV 實驗結果に對する考察.

上述の様な實驗結果が如何なる機構に依り起るかと云ふことに就ては, 我々は常に木粉に吸着された少量の水分双極分子に着目し, 之が交番電界に置かれた場合其の回轉成極と其に對する抵抗の存在を考へに入れ推論を進めた.

而して "デバイ" の理論を引用した之に對する數學的計算は既に電氣化學誌上<sup>(1)</sup>に掲載せる處なり. 即其の場合の誘電體損  $\text{tg} \delta$  は  $\omega : 2\pi f$

$$\text{tg} \delta = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_\infty) \frac{\epsilon_0 + 2}{\epsilon_\infty + 2} \omega \tau}{\epsilon_0 + \epsilon_\infty \left( \frac{\epsilon_0 + a}{\epsilon_\infty + a} \right)^2 \omega^2 \tau^2} \quad (1) \quad \epsilon_0, \epsilon_\infty : \omega = 0 \quad \omega = \infty \text{ に於る誘電率なり}$$

$\tau$  : Relaxation time

$$\tau = \frac{4 \pi \eta a^3}{\kappa T} \quad \eta : \text{粘性係数} \quad a : \text{分子半径}$$

$\kappa$  : Boltzmann の常數 T : 絶對溫度

今纖維質粒子に吸着された水分双極子の交番電界に於ける回轉成極様式を見るに, 之等双極分子は其の回轉成極, 即ち双極子配位作用が電界の變化に對して十分に追從して行き得る間は, 誘電體分極量は靜電界の場合と殆ど相等しく現れると考へる. 而して此の回轉運動に對する内

(1) 志方・上田：電 化, 4 (1936) 12

部抵抗摩擦を考ふる時含有水分量が次第に少なくなる時は其の吸着ポテンシアルは次第に大となる爲、内部抵抗摩擦は増大すると考へてよろしく、従つて双極子の回轉が作用電界の周波數に追従し得ずして其の配位作用が不完全になり初むる處が存在するものである。即ち分子は其の隣間の電界の方向に完全に向き直らぬ前に電界が其の方向を變じて了う様な値の周波數が存在する。其の場合の誘電體損は次第に減少し來る。今木粉の含有水分が8%位の場合、第一圖に示す通り、30°C に於ては其の水分双極子は測定電源 50~1,000 位のものには不完全ながら其の配位作用を及ぼす位の Relaxation time である。而して測定電源が 2,000 以上の場合 30°C では吸着水分双極子の回轉は作用電界に追従し得ないが、50°C になれば(2)式より  $\tau$  の減少を來し、3,000 迄に、又 70°C になれば同一の理由に依り 6,000 迄に、不完全ながら其の配位作用が追従し得る様になり誘電體損が現れ始める。之は我々の測定結果では第1—6圖に示す通り、木粉の水分含有量8%以下の時は如何なる場合でも同一傾向を示す。即ち測定温度を上昇せしむる場合、其の測定周波數が低い方から誘電體損が現れ始むるは上述の理由に依る。而して含有水分量が少くなればなる程、其の吸着ポテンシアル大となり、内部抵抗摩擦を増大して従つて  $\tau$  が増大する故、低温に於ては我々の測定電源では吸着水分双極子の配位作用は行はれず、温度を上昇せしめ  $\tau$  を減少せしむること(第2式)に依り漸く回轉成極をなし誘電體損を現し初むる様になる。即ち吸着水分が少くなればなる程高温に於て始めて誘電體損を現し始める。以上の結果は又第7—13圖を参照すれば一層うなづかれる處である。例へば第7圖に於て測定温度高い程木粉の含有水分の少い處で既に誘電體損を現し始める。又含有水分量が 0.403% になると其の吸着ポテンシアルが大なる爲、120°C になるも其の  $\tau$  は相當大きく、我々の測定装置では殆ど吸着水分の配位作用を起さしむる能はず、故に  $\text{tg} \delta$  は現れぬものと考へられる。

次にエネルギー吸収に於て極大點を現すことは“デバイ”の双極子理論を取入れた數學式よりもみとめらるゝ處である。即ち第1式の場合  $\text{tg} \delta$  は  $\omega$  或は粘性係數  $\gamma$  従つて  $\tau$  に對して最大値を示すもので之に對する關係は次の如し。

$$\omega \tau = \frac{\epsilon_{\infty} + 2}{\epsilon_0 + 2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_{\infty}}} \quad (3)$$

$$\text{tg} \delta \text{ max} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_{\infty}}} - \sqrt{\frac{\epsilon_{\infty}}{\epsilon_0}} \right) \quad (4)$$

又此のことは双極分子は電媒質の粘性に關する Characteristic Frequency を有することよりも明なことである。而して吸着水分増加に伴ひ、吸着ポテンシアルの減少に依り、其の  $\tau$  の

減少を來し極大點は高周波の方に傾く。また測定温度上昇に従ひ極大點が高周波の方に傾くも温度上昇に依り $\tau$ の減少を來すに依ること明である。

尙含有水分量の上昇に依り實驗結果より算出した $\tau$ の減少は、吸着された水分の内で外層のもの程其の吸着ポテンシャルの小さきことを意味する。

## V 要 約

本實驗に於ては常温にて誘電體損を現さない様な含有水分の少ない木粉試料を取り、 $30^{\circ}\text{C}$ より $110^{\circ}\text{C}$ の間に於ける $6,000\sim$ 以下の電磁波分散及び吸収を測定し、大體次の様な結果を得た。即ち

(a) 常温にて誘電體損を現さぬものも、温度を上昇して行くに連れて低周波の方から誘電體損が生じ始め、又等價直列靜電容量の變化を現はし、尙作用周波數が低い場合高温部に於て誘電體損の極大を現はす傾向あり。

(b) 作用周波數同一の場合は、高温になる程低含有水分の所で誘電體損が生じ始め、又等價直列靜電容量の變化を現し始める。而して含有水分一定の處で誘電體損の極大を現はす處あり。

(c) 作用周波數を變へた場合誘電體損の極大點を現し、其の極大點の周波數は含有水分%の大きい程、又測定温度の高い程、高位周波の方に移る。又誘電體損の極大點の大きさも含有水分量の多い程、測定温度の高い程大となる。而して等價直列靜電容量に就ては作用周波數高くなる程 $C_s$ は小となり、其の影響は高温部程大で、低温又は吸着水分少なくて誘電體損を現はさぬ範圍では、作用周波數が高くなる程返つて等價直列靜電容量の増大を來す。

(d) 實驗結果より算出した Relaxation time  $\tau$ の値は、水分含有量多くなる程、又測定温度の高くなる程減少す。

以上の事柄の理論的説明として、纖維粒子に吸着された水分双極子を根本として“デバイ”の理論を引用すれば其の計算結果は實驗結果の重要な一部の特性傾向と一致した理論的結果が誘導された。然し理論的方面としては以上の外、双極子以外に纖維質粒子に含まれて居る“イオン”並に粒子自身の電導性及び電氣滲透又は泳動現象に起因する部分がある。是等が電界の影響を受けて運動をなす爲の電氣力の變化が之に相等する誘電體損失を起す原因の一因子をなす。又 Maxwell の Layer Dielectrics に於ける現象、即ち性状相異なる誘電體界面に於ける兩者の誘電現象、吸収現象の相違に基くものも十分に取入るべきものであると考へる。

本研究に當り、學術振興會より研究費の援助を受けた、こゝに深謝の意を表す。