

電力ケーブル用絶縁紙の熱劣化特性

下山田 富保* 常松 甲子郎**

Thermal Ageing Properties of Insulating Paper for Power Cables

By Tomiyasu Shimoyamada and Kashiro Tsunematsu
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In this article, the writers suggest that the thermal ageing properties of insulating paper may be determined by the change of its average degree of polymerization (DP).

Method for estimating the DP of cellulose is based upon the measurement of the viscosity of a cellulose solution. The solvent employed for dissolving the cellulose samples is cuprammonium hydroxide.

The experimental results may be summarized as follows:

- (1) The slight chemical change occurring in cellulose insulating material due to thermal caused can be recognized by means of the DP of cellulose.
- (2) Insulating paper, as represented by Kraft paper, deteriorates chemically, mechanically, and electrically as a result of chemical changes clearly evident at temperatures higher than 120°C, even when heated for a relatively short duration in vacuum or air, but remains practically unchanged at 80°C.
- (3) A higher DP of insulating paper insures higher stability and a higher folding strength during thermal ageing than a lower value. Therefore, the desirable DP of a sheet of Kraft paper should be higher than 600 at the end of the drying process.
- (4) It is recognized that the results of thermal ageing are affected by the content of alkali metals, such as Na and K, in the ash.

〔I〕 緒 言

紙絶縁ケーブルの乾燥に関する最近の基礎的研究に、内藤、島、佐藤ら⁽¹⁾は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法について報告し、電気特性上から乾燥限界をあきらかにし、河合、間瀬、工藤ら⁽²⁾は真空乾燥における乾燥時間を理論的に考察して実際上に有益な指示を与えているが、乾燥含浸過程中的加熱は必然的にセルローズ質絶縁体の熱劣化に関連し、一度劣化が起ると機械的強度および電気的特性すなわち製品の

寿命に大きな影響を与えるので、従来から紙の熱劣化を機械的強度の点から取扱った研究が数多く報告^{(3)~(28)}されている。

しかし熱劣化の影響はセルローズの酸化および熱分解の化学的変質の結果として起るものであるから、劣化の程度を化学的にとらえることができれば乾燥問題をより合理的に解決する有力な助けになると思われる。

化学的に変質程度を調べる方法は銅価、アルカリ中和価、粘度および重合度などがある。銅価およびアルカリ中和価は、熱劣化による物理的劣化の程度を大略表わせることが R. H. Rasch⁽²⁹⁾, G. A. Richter⁽³⁰⁾ などによ

* ** 日立製作所日立電線工場

り認められているが、セルローズ溶液の粘度および重合度はセルローズの性質のきわめて軽微な変化によつて鋭敏に変化する⁽³¹⁾ので、クラフト絶縁紙の加熱条件による変質の過程および原紙重合度と劣化傾向の関係について2, 3実験し、乾燥温度の合理的理解を深めようと努めた。

〔II〕 繊維質電気絶縁物の熱劣化の研究手法

繊維質電気絶縁物の使用状態によつて熱劣化特性の研究手法を適当に選ばなければならないが、従来の方法は機械的強度についての報告文献が多くその内容は第1表のようである。

紙ケーブルの乾燥含浸における劣化の研究手法として
(1) 短期間における軽微の変化も測定できる方法であること。

(2) 測定法が簡単であること。

(3) 測定結果に再現性があること。

などの条件において特に(1)項はクラフト絶縁紙が熱に対し他の紙より比較的抗酸化性のせい、抗張力の測定は短期間の劣化ではかえつて増加する傾向にあるので適当な測定法とは思われない。紙の弾性(耐折力、伸び)は機械的強度(抗張力、破裂強度)よりも速く劣化する⁽¹¹⁾ので、紙ケーブルの乾燥における劣化の研究には製品の屈曲試験に対応させる意味からも耐折力測定が抗張力測

第1表 過去における熱劣化研究に測定された諸性質に関する文献名⁽³⁹⁾

Table 1. References to Earlier Investigation of Deterioration in Properties Stated

試験項目	参考文献番号
抗張力	(3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18)
破裂強度	(7) (8) (18)
引裂強度	(3) (4) (7) (17) (18) (23) (26)
パンチング試験 (Punching Test)	(21) (22) (23)
耐折度	(7) (8) (17) (18) (23) (24)
伸び	(6) (17) (20) (23) (25)
屈曲半径	(20) (21) (22) (23) (26) (27) (28)

定より有効であるといえる。しかし測定結果のバラツキがやや大きいことが欠点であるため、セルローズの性質の軽微な変化でも鋭敏に変わる粘度法による重合度測定法が最も上記条件を満足すると考えられたので、本研究においてはもつぱら化学的方法によつて熱劣化特性を追及する方針をとつた。

〔III〕 実験の方法

(1) 試料

実験に供した試料は第2表に示す。

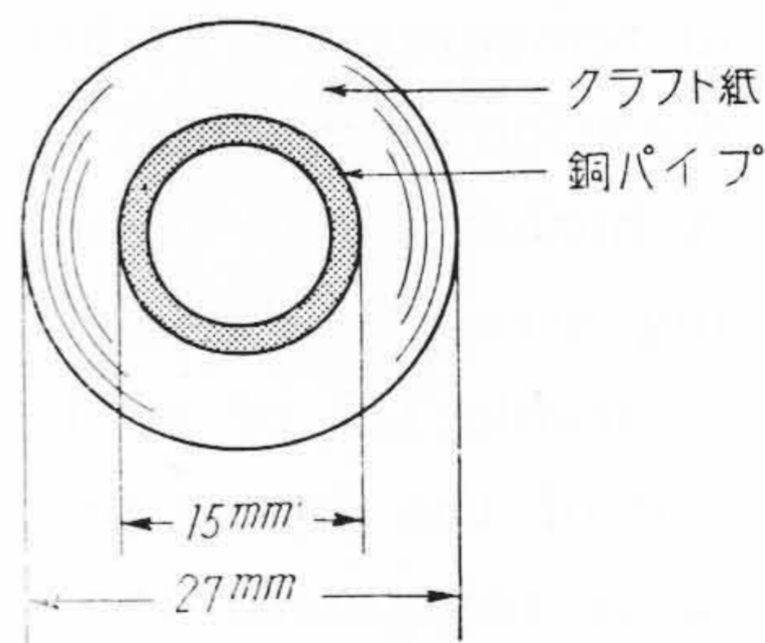
重合度を異にする3種のクラフト絶縁紙と熱劣化傾向の比較用として、純粋なセルローズと見なされる脱脂綿および濾紙についても実験を行つた。

(2) 熱劣化試料の調製

第2表に示した各試料を幅200mmに截断し、外径15mmの銅パイプを導体として46枚となるまで約2.5kgの張力で巻いて第1図のようなモデルケーブルをつつた。たゞし脱脂綿と濾紙はおのおの5gを直径約1.5mm、長さ60mmの円筒状に巻いて試料とした。

(3) 加熱劣化の方法と条件

モデルケーブルの試料の加熱は第2図に示す装置を使用し、実際のケーブル製造条件に即応するため空气中および真空中(0.6~0.8mmHg)で80, 110, 120, 130および140°Cの各温度において25, 50, 75および100h加熱劣化させた。

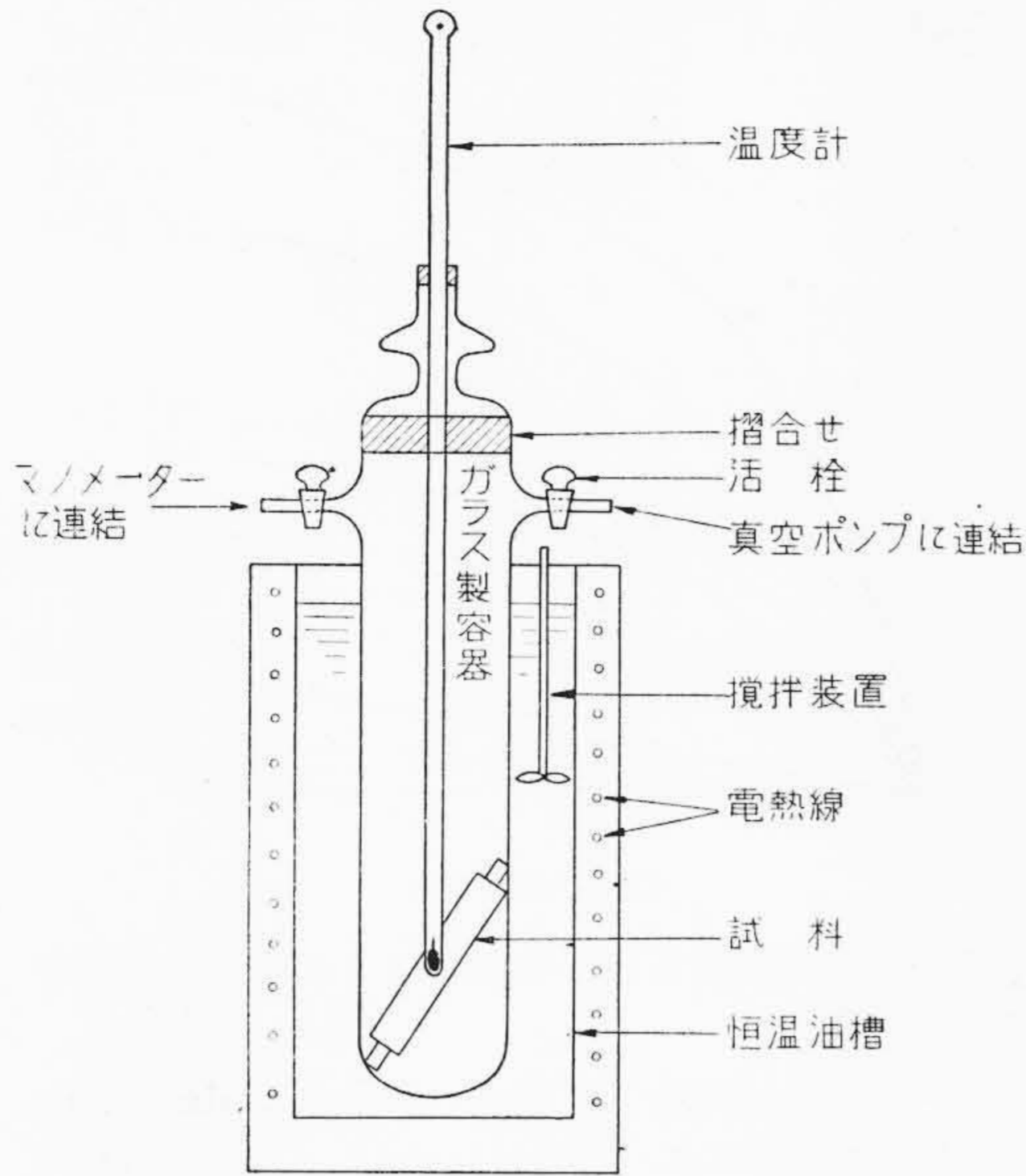


第1図 モデルケーブルの寸法 Fig.1. Size of Model Cable

第2表 試料の物理、化学的性状

Table 2. Physical and Chemical Properties of Samples

No.	種類	製造所	製造時日	抗張力 (kg/mm ²)	耐折度	気密度 (s/100 cc)	水浸液電導度 (μS-cm/20°C)	PH	灰分 (%)	重合度
1	クラフト紙 K# 3125 A	A 社	28. 11. 29	7.3	440	477	60	8.1	0.51 _g	1,190
2	クラフト紙 K# 3125 B	B 社	29. 4. 22	7.8	1,420	417	46	8.3	0.58 _g	1,400
3	クラフト紙 K# 3125 C	C 社	28. 8.	—	—	—	89	8.2	1.19	880
4	局方脱脂綿	—	—	—	—	—	24	—	0.08 _g	930
5	濾紙 No.5 A	東洋濾紙株式会社	29. 4. 21	—	—	—	23	—	0.02 _g	430



第2図 モデルケーブルの熱劣化装置
Fig.2. Experimental Apparatus for Deterioration of Model Cable

(4) 重合度測定法

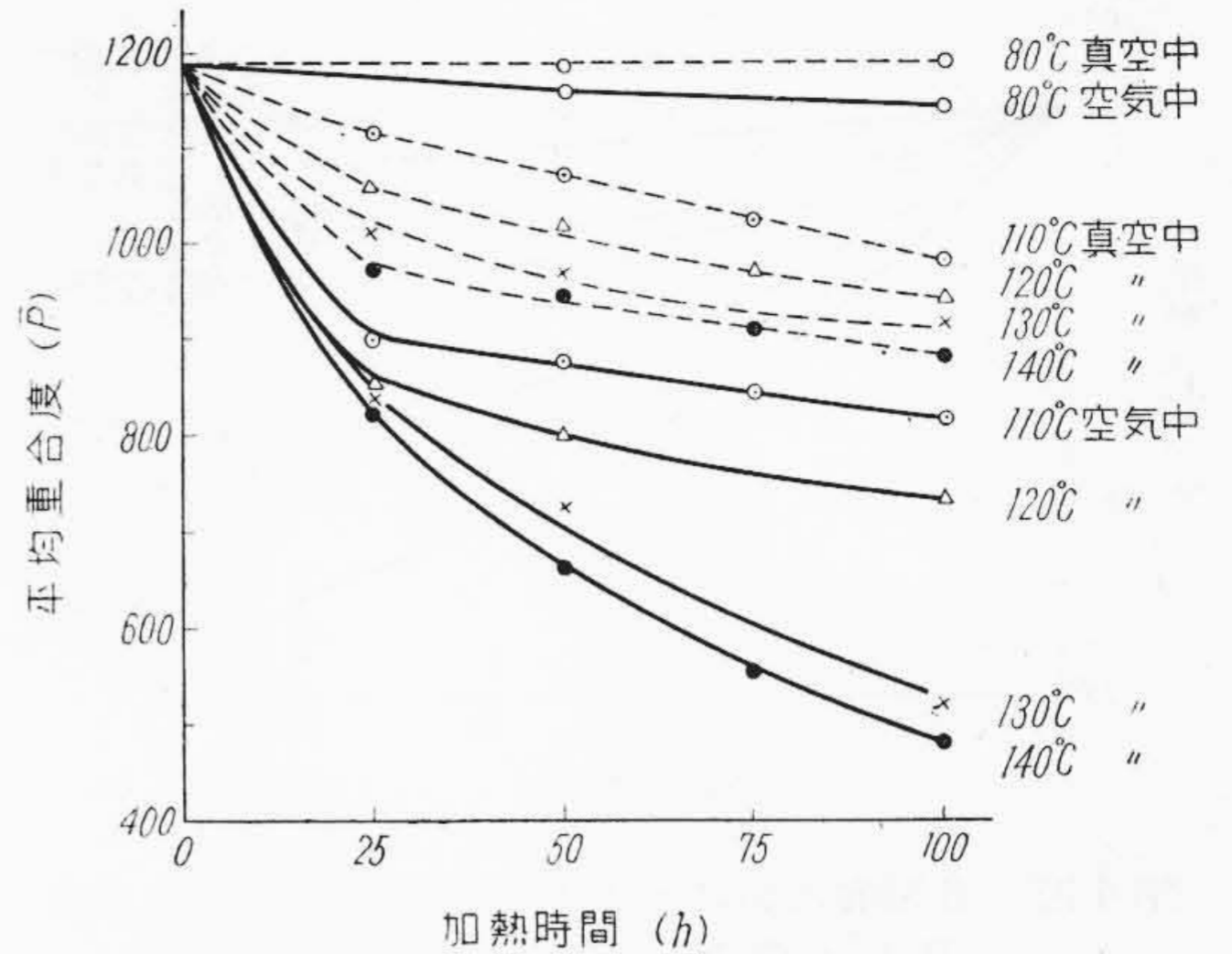
セルローズの溶媒として酸化銅アンモニアを用いる粘度法によつて重合度を求めた。なおセルローズの酸化銅アンモニア液は光と空気中の酸素の作用を受け徐々に分解して粘度を低下するため、この分解を自然に進行させて、一定時間後の粘度を測定して重合度を求め、別に求めた分解速度恒数によつて結果の補正を行つた。

まず亜塩素酸ソーダ法で漂白処理してリグニンを除去した試料約 0.05g を 100cc の有色メスフラスコに正確にはかりとる。これに酸化銅アンモニア液 (Cu 濃度 15.4 g/l, NH₃ 濃度 210 g/l) 約 95 cc を加えて 30±0.1°C の恒温水槽中でときどき攪拌しながら溶解し 1h 後全液量を正確に 100cc とする。溶解を始めてから 3h 後この 5cc をピペットでオストワルド粘度計にとり同温度で粘度 (η) を測定する。つぎに同温度において溶媒粘度 (η_0) を測定し、相対粘度 (η_{rel}) を算出して(2)式に代入し、極限粘度 ($[\eta]$) を求め、さらに(3)式に代入して溶解 3h 後の平均分子量 (M_t) を求める。

つぎに(4)式から溶解直後の平均重合度 (\bar{P}) を求めた。

なお分解速度恒数 (k) はあらかじめ \bar{P} が 500~1,200 のセルローズの酸化銅アンモニア液について定時間ごとに比粘度 (η_{sp}) を測定し、各測定値の組合せから(5)式によつて算出した。

$$\eta_{rel} = \frac{\eta}{\eta_0} \dots\dots\dots(1)$$



第3図 各温度における加熱時間と平均重合度の変化

Fig.3. Variation of Degree of Polymerization with Ageing Time at Different Temperature

$$[\eta] = (\ln \eta_{rel}) \frac{1}{C} \dots\dots\dots(2)$$

$$M_t = \frac{[\eta]}{K_m} \dots\dots\dots(3)$$

$$\bar{P} = \frac{M_t}{\left(1 - \frac{k}{m} t \cdot M_t\right) 162} \dots\dots\dots(4)$$

$$k = \frac{162 \cdot C \cdot K_m \cdot (\eta_{sp t_1} - \eta_{sp t_2})}{\eta_{sp t_1} \cdot \eta_{sp t_2} (t_2 - t_1)} \dots\dots\dots(5)$$

たゞし C: 溶液のグルコース基 C₆H₁₀O₅ のモル濃度
 K_m: 重合同族列の恒数でセルローズは 5×10⁻⁴
 m: 分解終点におけるセルローズの分子量 (162 を採用した)
 t: 溶解放置時間 (mn)
 $\eta_{sp t_1}, \eta_{sp t_2} \dots$ 溶解 t₁ および t₂ mn 後の比粘度

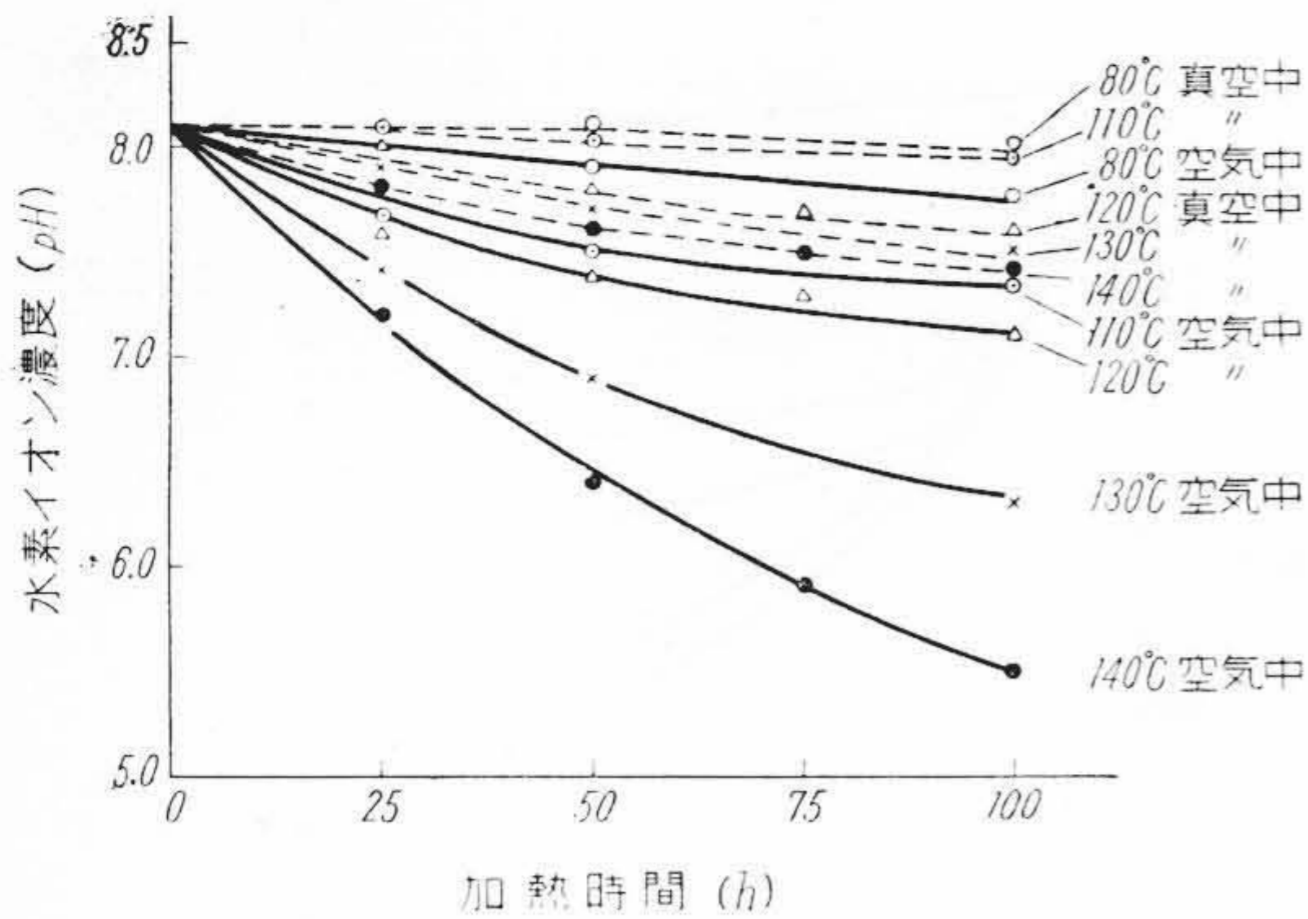
[IV] 実験結果

(1) 熱劣化に伴う重合度の変化

試料 No. 1 クラフト絶縁紙 A でつくつたモデルケーブルについて実験を行つた。一定温度の加熱による時間と平均重合度の変化の状態は第3図のようになる。

加熱雰囲気によつて重合度の変化の状態が異なり、空気中の加熱の場合が真空中のそれよりも酸素の影響を受けて苛酷な酸化反応が起ることは予想された通りである。

温度による影響は 80°C では真空、空気中両方ともほとんど変化しないが、110°C 以上においては真空中でも時間とともに進行し、100h 後の重合度は劣化前の 80% に減少する。しかし空気中の劣化にくらべると 140°C までは著るしく劣化に差のないことが重合度の変化状態で



第 4 図 各温度における加熱時間と水素イオン濃度 (P_H) の変化

Fig. 4. Variation of Hydrogen Ion Concentration (P_H) with Ageing Time at Different Temperature

知られる。空气中における熱劣化に対する温度の影響は真空中にくらべて著しく判然としており、 110°C と 120°C では 100 h まで同一傾向の劣化をたどるが、 120°C 以上になるとその傾向は第 3 図のように急激に劣化が進行し重合度は $130^{\circ}\text{C}-100\text{ h}$ で初期の 43%、 $140^{\circ}\text{C}-100\text{ h}$ では 40% に減少する。

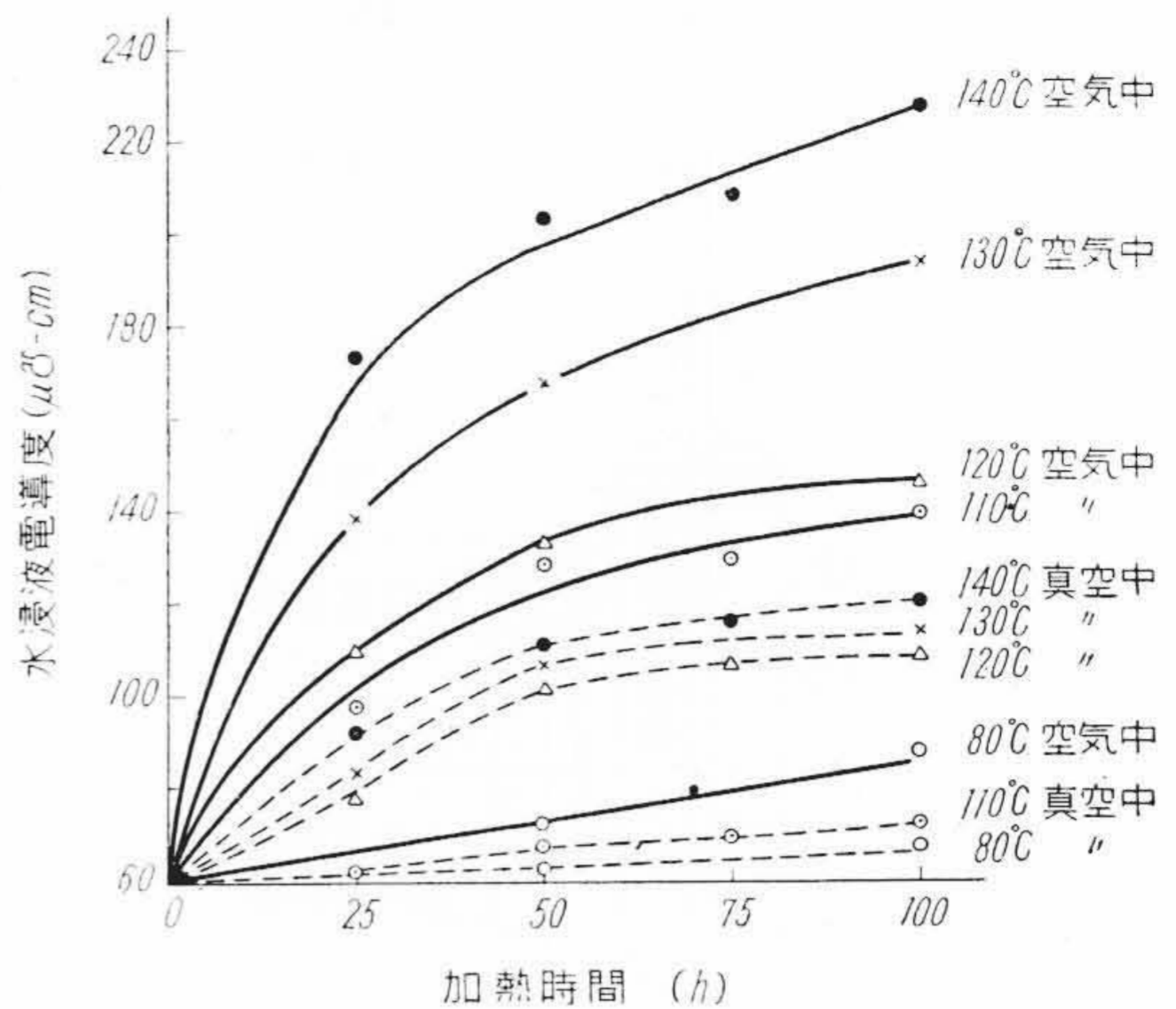
(2) 熱劣化に伴う水浸液の水素イオン濃度と電導度の変化

熱劣化に伴う現象に鯨井および赤平⁽²⁶⁾らが行った重量減少があるが、この点は F. M. Clark⁽¹⁵⁾ および E. J. Murphy⁽¹⁶⁾ らによつてさらにくわしく研究されているが、分解生成物が容易に紙に吸着されて残存し蓄積されて行く状態が紙の水浸液について水素イオン濃度 (P_H) および電導度を測定してみると第 4 図および第 5 図のように温度と時間が増すにつれていずれもあきらかに増加している。

第 4 図および第 5 図は試料 5 g をこまかく切つて 300 cc のコニカルビーカに入れて沸騰した蒸溜水 100 cc を加え 10 mn 間煮沸浸出して蒸発した水を補つてから濾過しこの濾液についてガラス電極式 P_H メータおよびコウラウシュブリッジで電導度を 20°C で測定した結果を示したもので、いずれも第 3 図の重合度変化と同様に真空中における変化は温度により影響が甚しくないが、空气中においては P_H 、電導度ともに 120°C 以上で顕著に増加する。特に P_H は 130°C 50 h 以上になると、酸性分解生成物が紙に著しく吸着されることを示している。

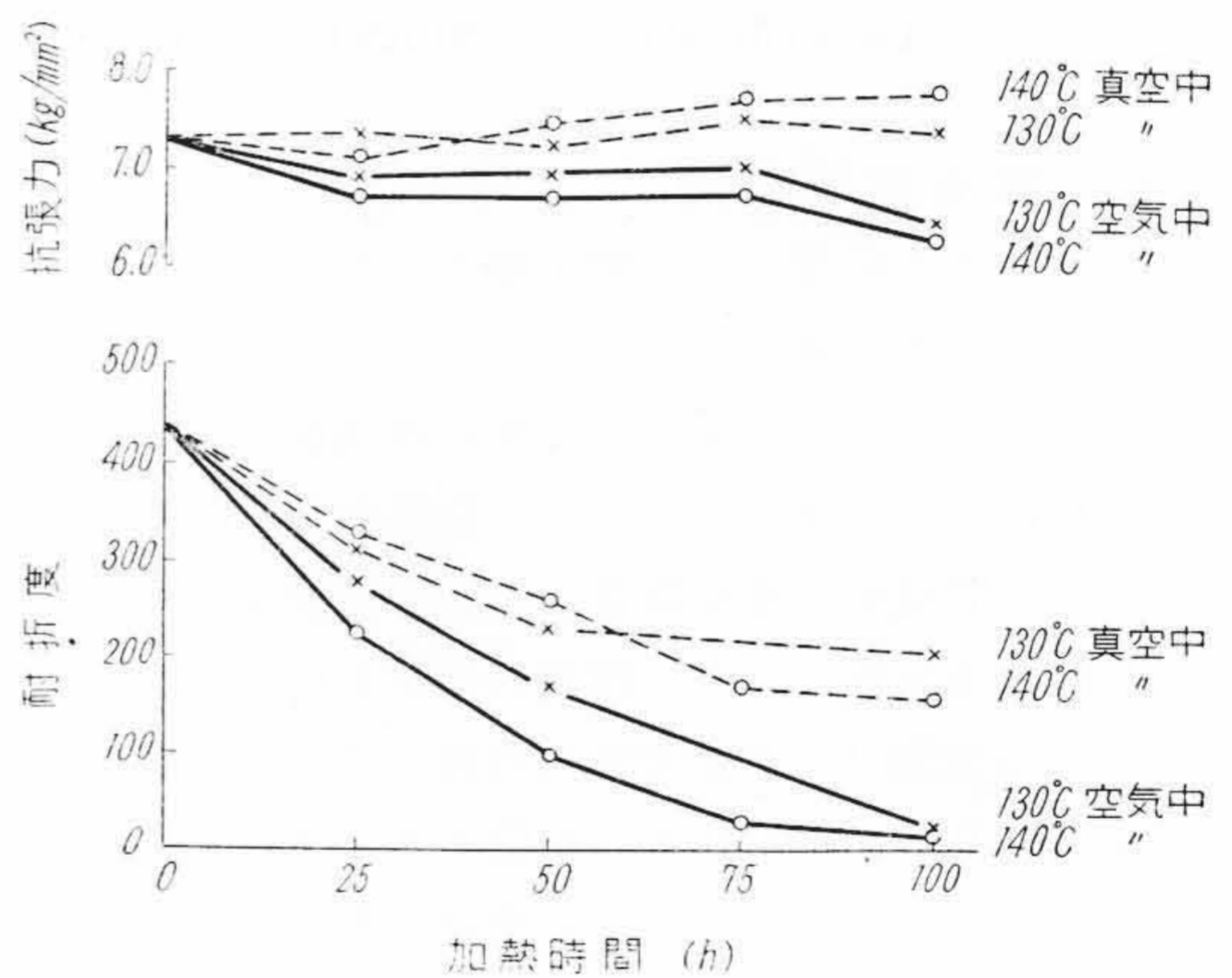
(3) 機械的強度の変化

セルローズ質の連続加熱はおもに機械的強度に影響すると以前から Rayner⁽²¹⁾ らにより結論されているが、紙絶縁ケーブルの場合製品の屈曲試験に対応する劣化特性を知るには耐折試験が適当していると考えられるの



第 5 図 各温度における加熱時間と水浸液電導度の変化

Fig. 5. Variation of Electrical Conductivity of Water Extract with Ageing Time at Different Temperature



第 6 図 各温度における加熱時間と抗張力および耐折度の変化

Fig. 6. Variation of Mechanical Strength (Tensile and Folding Strength) with Ageing Time at Different Temperature

で、MIT耐揉疲労試験機を用いて 1.5kg の張力のもとで測定した。参考に抗張力試験もショッパー試験機を用いて測定した結果を第 6 図に示した。

抗張力は真空および空气中いずれの場合の熱劣化においてもはつきり変化が認め難い程で、真空の場合は逆に抗張力を増加する傾向を示している。

F. M. Clark⁽¹²⁾ はこのような期間を安定期間といっているが、クラフト絶縁紙は他の紙にくらべてかゝる意味での安定期間は長いようである。

耐折度は温度と時間を増加するとともに減少し、空気中の劣化では 130°C 100 h ではほとんど零近くまで減少する。

(4) 電気的特性の変化

セルローズ質絶縁物の寿命を研究する場合に最も大きい障害になることは長時間使用後の電気破壊が、使用温度および電圧によつて影響を受ける複雑な化学変化——どんな化学的变化かわかつていないが——によつて、もたらされる漸進的劣化の結果によつて起る現象で、これを短時間で測定できる試験法がないことであるといわれる⁽³²⁾が、こゝには通常測定されている誘電体力率の変化を真空中で熱劣化させる場合の結果についてのみ第7図に示した。

劣化試料を平板電極にはさみ $110 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 0.1 mmHg で 24 h 乾燥後蓄電器用絶縁油を 1 h 含浸し、一旦常温に放冷後シェリングブリッジにより印加電圧 200 V で温度特性を測定した。

測定温度 30°C では加熱温度による影響はみられないが、 60°C 以上でははつきり影響が表われ、特に 120°C 以上の加熱温度になると絶縁紙の劣化が顕著になることはすでに述べた化学的变化とよく一致している。

[V] セルローズの重合度と熱劣化特性

クラフト絶縁紙はリネン紙やサルハイト紙にくらべて熱に対し抵抗性が高く安定していること、電気特性がすぐれている⁽³³⁾点で電気絶縁用紙にもつぱら使用されているようである。

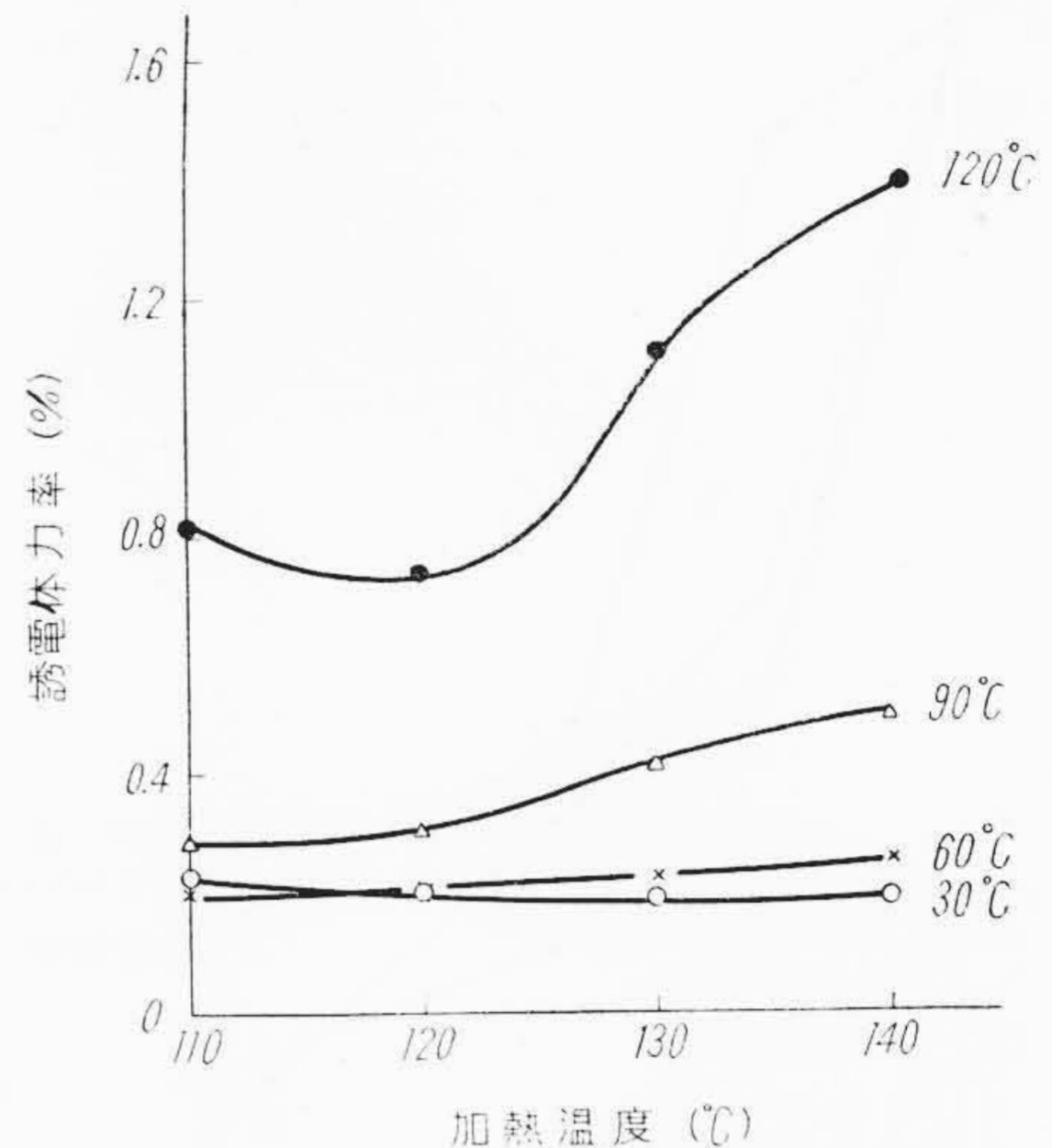
クラフト絶縁紙の熱抵抗特性を知るために、重合度の異なるクラフト紙3種と純セルローズに近いと考えられる脱脂綿および非常によく精製された濾紙(東洋 No. 5A)との比較を重合度の変化によつて測定した。また絶縁紙中の灰分およびその成分による影響についても検討を行った。

(1) クラフト絶縁紙の重合度と熱劣化特性

第8図に示したクラフト絶縁紙の熱劣化特性は 130°C 空気中における結果の比較であるが、初期重合度の高い試料程同一時間における劣化程度が大体において少なく、劣化後の重合度の絶対値が高い。これは D. A. Mc Lean⁽³⁴⁾によれば木材中に自然の抗酸化物が含まれているといわれるので高重合度の試料ほど抗酸化物が多く含まれているためとも思われる。

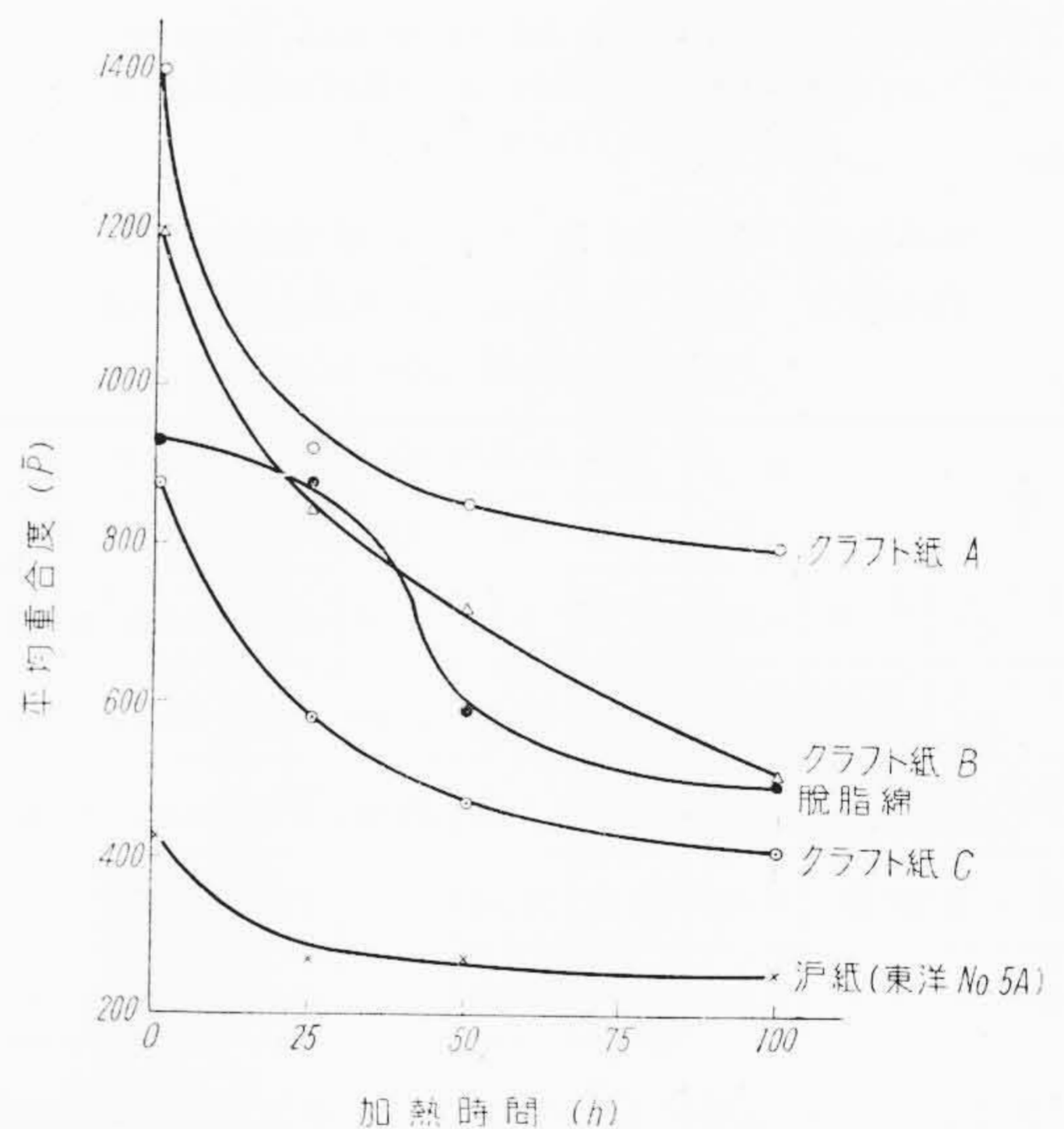
これらの実験からクラフト絶縁紙の熱劣化を防止し電気特性を向上させる上に、初期重合度が大きなファクターであることを示していると考えられる。

現在木繊維に対し望みうる重合度は H. F. Mark⁽³⁵⁾によれば 1,500~3,500 の範囲にあるが M. O. Schur お



第7図 加熱温度と誘電体力率の変化 (加熱時間 100 h)

Fig. 7. Variation of Power Factor with Temperature at 100 h



第8図 重合度を異にしたクラフト絶縁紙の加熱時間と重合度の変化

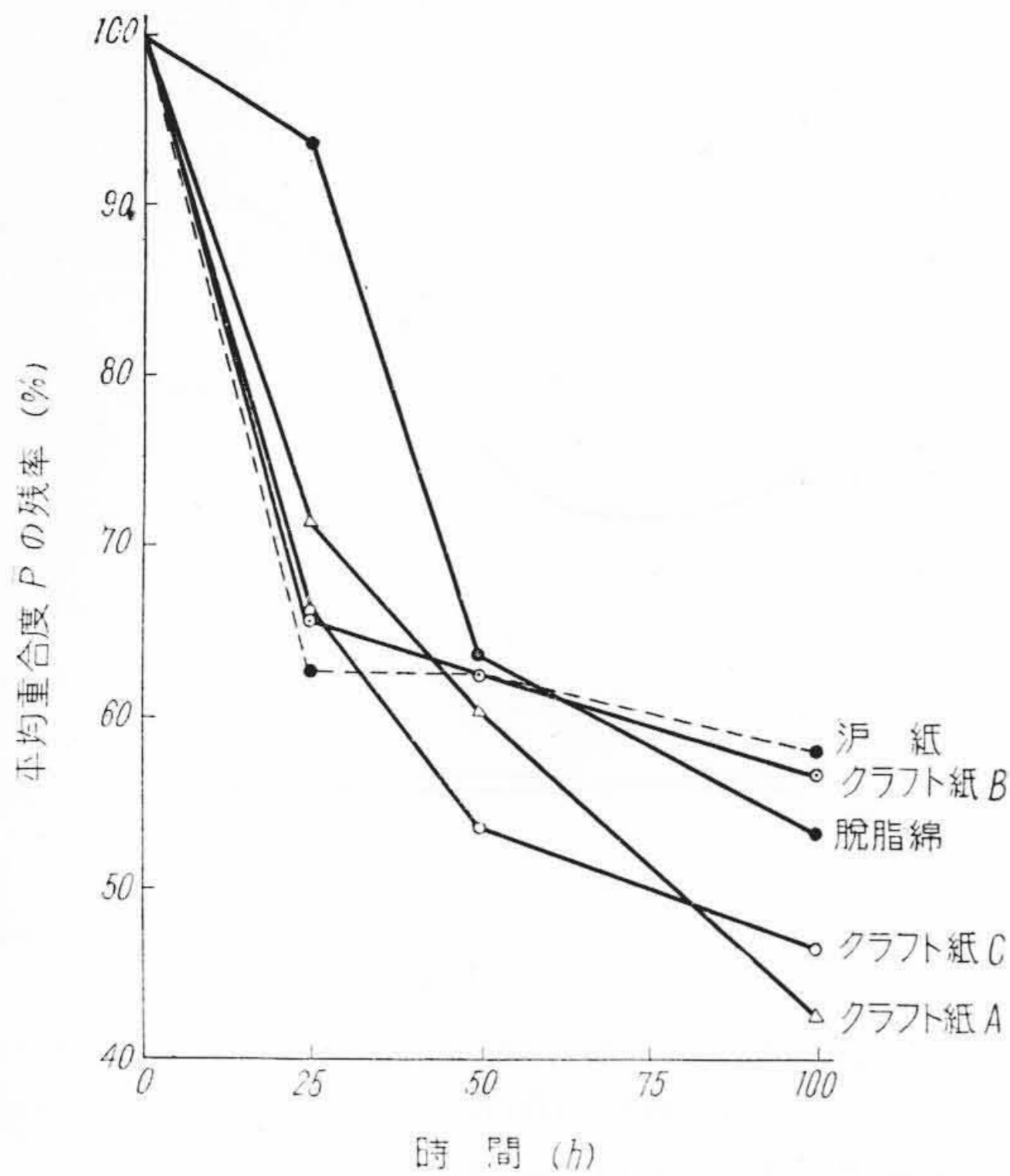
Fig. 8. Variation of Degree of Polymerization with Ageing Time of Various Kraft Paper, Aged in Air at 130°C

および H. F. Lewis⁽³⁶⁾ の報告によれば製紙の立場から紙の種類によつてそれぞれ適当な重合度があるようである。

(2) 純セルローズ(脱脂綿)の熱劣化特性

(i) 脱脂綿

重合度 930 の脱脂綿の熱劣化特性は第8図に見るようによや趣きを異にするようで、25 h まではきわめて安定



第 9 図 熱劣化による重合度の残率 (第 8 図より計算)

Fig. 9. Percentage of Original Degree of Polymerization at Thermal Ageing, Obtained from Fig. 8.

第 3 表 試料の灰分およびその成分
Table 3. Ash Content of Samples and Its Chemical Composition

試 料	灰 分 (%)	灰分の成分 (%)			原試料に対する (%)		
		Na	K	Ca	Na	K	Ca
クラフト紙 K# 3125 A	0.513	21.82	7.44	21.82	0.112	0.038	0.112
クラフト紙 K# 3125 B	0.585	8.64	5.76	27.07	0.050	0.033 ₇	0.158
クラフト紙 K# 3125 C	1.190	15.66	3.55	15.66	0.186	0.042	0.186
局方脱脂綿	0.085	58.82	29.41	—	0.013	0.006 ₈	—
濾紙 No. 5 A	0.023	54.05	13.51	—	0.046	0.011 ₅	—

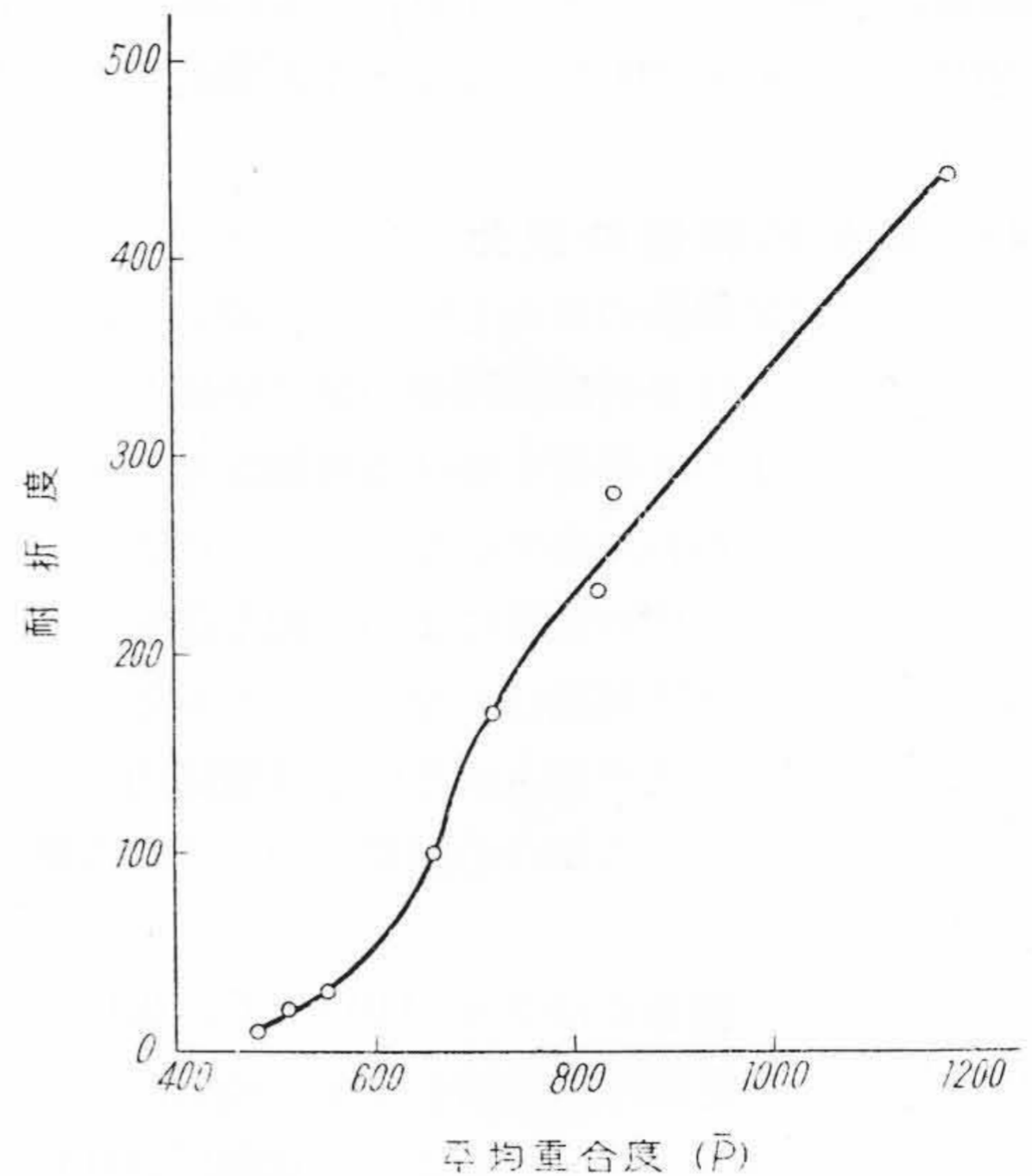
であるが、それ以後においては他のクラフト絶縁紙の試料とほぼ同程度まで劣化する。(第 9 図参照)

(ii) 化学分析用濾紙 (東洋濾紙 No. 5 A)

化学分析用濾紙は綿の白破布を原料とし特に灰分を少なくするための特別処理を行つたパルプで抄紙したものである。(40)

セルローズの熱劣化は灰分の含量およびその灰分の組成によつて影響される(37)(38)といわれるので、特に精製された灰分の少ない試料の代表として濾紙を選びその熱劣化特性を調べた。

濾紙の重合度は 430 で比較的低いですが、しかし熱劣化は第 8 図および第 9 図のように 25~100h の間に受ける劣化はほとんど変わらないことが特異な点である。



第 10 図 熱劣化による重合度と耐折度の関係

Fig. 10. Relation between the Mean Values of Folding Strength and the Degree of Polymerization, Heated in Air at 130~140°C and 100 h

このことは灰分の量およびその成分 (第 3 表参照) が熱劣化にいかにか影響するかを示していると思われる。

(3) 熱劣化におよぼす灰成分の影響

各試料中の灰分およびその成分を EPB-F 炎光分析用日立分光光度計で分析を行い、その結果を第 3 表に示した。

第 3 表と第 9 図を比較対照するとセルローズの熱劣化は灰分量よりも灰分中の Na, K などのアルカリ金属の少ない濾紙およびクラフト紙 B はクラフト紙 A および C よりも同一加熱条件の下では重合度の残率が 10% 以上も大きい。すなわち劣化されにくいことを示している。水浸液電導度と灰分の成分は絶縁紙を使用するに当り特に注意を要する項目であるかを示していると思う。

[VI] 乾燥温度の決定上の注意

セルローズ質絶縁材料の乾燥は機械的、電気的特性を害う酸化および熱分解を伴ないやすすいので、この変質を最少限度に留めおく合理的短時間乾燥方法と乾燥最高許容温度を決定する必要がある。最近の電流乾燥法はその具体的な一方法といえよう。

前章において空気および真空中の各種熱劣化の条件下にさらされたクラフト絶縁紙の変質を重合度の測定によつて、かなりくわしくつかむことができたが、機械的強度と重合度の関係の一例を 130~140°C の空気中における熱劣化時の平均耐折度と平均重合度の関係を第 10 図に示した。

第10図の関係はほぼ直線的な関係にあるが、重合度600附近から耐折度が急激に減少を起す傾向の認められることは特に注意を要する点であろうと思う。文献⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾によれば重合度600までは機械的強度はあまり変化が認められないが、それ以下になると急激に減少し始め200附近で機械的強度は零に等しくなり、50では繊維の状態が保てなくなるといわれている。

したがって紙ケーブルの乾燥において重要なことは絶縁紙の初期重合度が少なくとも1,200以上で、乾燥過程において600以下に低下させるような乾燥条件を避けることである。

第3図の空気中の80°C附近における乾燥が100hにおよんでも重合度に著しい変化を与えないことは合理的な乾燥方法への解決を与える一例であると考えられる。

[VII] 結 言

セルローズ質電気絶縁体の熱劣化特性を粘度法によるセルローズ重合度の変化によつて測定した結果を要約すると

- (1) 特に熱安定性のよいクラフト絶縁紙における軽微な熱劣化による変質もセルローズ重合度測定によつて劣化特性を詳細に知ることができる。
- (2) 80°Cにおける真空および空気中の熱劣化はほとんど認められない。しかし真空中での劣化は110°C以上になるとようやく盛んになるが140°Cまでの劣化はあまり大差はない。空気中では120°C以上になると劣化の傾向を著しく進行する。
- (3) 熱劣化後の水浸液電導度、水素イオン濃度の温度一時間に対する増加の傾向は重合度の変化と大体同一傾向を示す。
- (4) 電気的特性の変化は(2)(3)と同様に120°C以上において誘電体力率は大きくなる。
- (5) 重合度の高いクラフト絶縁紙程同一加熱条件下において熱劣化が少ない。機械的電気的特性上からクラフト絶縁紙の重合度は600以下にならないよう乾燥条件を制御することが望ましい。
- (6) 絶縁紙中の灰分の成分は熱劣化に影響する。特にNa, Kなどのアルカリ金属は触媒として作用し熱劣化を加速するようにかさえる。
- (7) 以上の実験の結果は紙絶縁ケーブルの乾燥時における合理的酸化制御上の一助となると思われる。

最後に本研究に種々御指導を賜わつた日立製作所日立電線工場内藤技術部長、試作課長久本博士ならびに測定に協力された富田留次、大沢康雄の諸氏に深謝申上げる。

炎光分析用日立分光光度計による絶縁紙中の灰分

の分析は日立製作所多賀工場鍋木氏の労を煩した。附記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 内藤, 島, 佐藤: 日立評論 測定特集号 別冊 No. 2 p. 7 (1953)
- (2) 河合, 間瀬, 工藤: 昭28電気三学会支部連合大会予稿 (東海支部)
- (3) W.A. Del Mar: Trans. AIEE 40 97-105(1921)
- (4) W.S. Clark: Trans. AIEE 40 137-141(1921)
- (5) E. Müller, C.H. Möllering: Textil-Ind. 43 339-340 (1928)
- (6) A.H. Tiltmann: India Rubber J. 76 245-248 (1928)
- (7) A.R. Dunton, A.W. Muir: Electrician 103, 419-422 (1929)
- (8) R.H. Rash: Paper Trade J. 88 233-263 (1929)
- (9) V.M. Montsinger: Trans. AIEE 49 776-790 (1930)
- (10) F.M. Clark: Ele. Eng'ng. 54 1088-1094(1935)
- (11) C.F. Hill: Trans. AIEE 58 484-487 (1939)
- (12) F.M. Clark: Trans. AIEE 60 778-783 (1941)
- (13) F.M. Clark: Trans. AIEE 61 742-749 (1942)
- (14) F.J. Vogel: Trans. AIEE 61 669-673 (1942)
- (15) F.M. Clark: Trans. Electrochem. Soc. 83 143-158 (1943)
- (16) E.J. Murphy: Trans. Electrochem. Soc. 83 161-172 (1943)
- (17) AIEE Committee on Electrical Machinery, Transformer Sub-Committee: Ele. Eng'ng. 66 910-913 (1947)
- (18) Report from A Committee of the AIEE, The National Electric Light Association and The Association of Edison Electric Illuminating Companies: J. AIEE 44 508-510 (1925)
- (19) H.W. Fisher, Atkinson: Trans. AIEE 40 143-166 (1921)
- (20) B. Anderson: ASEA J. 3 70-77 (1926)
- (21) E.H. Rayner: J. IEE 34 613-659 (1905)
- (22) P. Torchio: Trans. AIEE 40 107-129 (1921)
- (23) J.W. Koritskij: Elektritjestro 45-48 (April 1939) (in Russia)
- (24) B.W. Scribner: J. Res. Nat. Bur. Stand. 23 405-413 (1939)
- (25) H. Stäger: Electrotechnische Isoliermaterialen 245-246 (Wiss. Verlagsges., Stuttgart 1931)
- (26) T. Kujirai, T. Akahira: Inst. Phy. Chem. Res. Tokyo 223-252 (1924-25)
- (27) J.J. Smith: Trans. AIEE 58 435-442 (1939)

- (28) W. Bussing: Arch. Elektrotechn. 36 333-361
735-742 (1942)
- (29) R.H. Rash: Bur Standards J. Research 7
465-475 (1931)
- (30) G.A. Richter: Ind. Eng. Chem. 26 1154-7
(1934)
- (31) 厚木: パルプおよび紙 81 (丸善昭 28)
- (32) G.T. Kohman: Ind. Eng. Chem. 31 807-817
(1939)
- (33) D.A. McLean and Egerton: Ind. Eng. Chem.
34 101-108 (1942)
- (34) D.A. McLean: U.S. 2 339091 (Jan. 1944)
- (35) H.F. Mark: TAPPI 32 108-109 (1949)
- (36) M. O.: Schur and H. F. Lewis 33 392-397
(1950)
- (37) Casy: Pulp and Paper (Vol. II) 955 (Inter-
science Publishers, Inc., New York, 1952)
- (38) J.M. Finch: Ind. Eng. Chem. 32 1021 (1940)
- (39) G. MalmLöw: The Thermal Ageing Pro-
perties of Cellulose Insulation Materials
(Stockholm 1948)
- (40) 厚木: パルプおよび紙 365 (丸善, 昭 28)
- (41) 厚木: パルプおよび紙 63
- (42) Casy: 前出 11

日立製作所社員社外寄稿一覧 (昭和 29 年 10 月分受付)

寄稿先	題 名	執筆者所属	執筆者
日本分析化学会	ポーラログラフ法によるハロゲン酸塩螢光体中のカドミウムおよび三価アンチモンの定量法	中央研究所	青木米作
日本金属学会	高炭素鋼の黒鉛化におよぼす Si の影響	安来工場	{ 小柴定雄 菊田光男
モーターファン社	やさしい自動車電気の基礎知識(続き)	多賀工場	
日本電気協会	新しい絶縁ワニス	絶縁物工場	{ 日月紋次 森野正夫
照明学会	螢光放電管の演色性	中央研究所	
小峰工業技術	高送り切削法の実用化について	川崎工場	{ 岩瀬泰人 八木研司
工業資料社	繰返型アナログコンピューターとその応用	中央研究所	
日本規格協会	いくつかの対比を同時に推定検定する場合その他	中央研究所	島田正三
電気と運輸	南海電鉄株式会社納日立制御装置について	本社	小熊勇
電気と運輸	近畿日本鉄道株式会社納直角軸駆動主電動機および駆動歯車装置	本社	小熊勇
特殊鋼倶楽部	品質検査法	安来工場	小柴定雄
産業機械協会	建設機械を通して見たブラジル	亀有工場	岡田元
小峰工業技術	切削加工精度とテールストック	亀有工場	君島文雄
紙業工業社	高濃度パルプポンプについて	亀有工場	寺田進
日本機械学会	最近輸入されたローゼンハウゼン引張り圧縮疲労試験機およびハザウエイオッシュログラフ	亀有工場	小堀威
日本金属学会	Thermal Etching of O.F.H.C.	中央研究所	大原秀晴
電気書院	油圧操作と潤滑油装置	日立工場	田中暢雄
通産省	発電プラント輸出面における技術的諸問題	本社	吉山博吉
郵政省電波監理局	国産 I T V に つ い て	戸塚工場	今西久弥
電気車研究会	日立車両用電気式速度計	多賀工場	篠原清之助
日本機械学会	最近の鍛造作業一大物鍛鋼品に関する二三の問題	水戸分工場	{ 小河弘 武市彦四郎
IBM 研究会	資材品名コードについて	本社	