

メラミン樹脂積層棒 RU-54N の二、三の特性

Some of the Characteristics of Melamine Resin Laminated Rod, RU-54N

松崎 五三男* 柴原 健 三**

内 容 梗 概

最近電気機器の消弧部支持具としてアークに接すると同時に、ある程度の荷重が作用する箇所に使用するに適する絶縁材料が要望されて来たので、日立製作所では細糸布基材メラミン樹脂積層棒(RU-54Nと命名するメラミン樹脂応用の新製品)を製造して要望に応じている。

RU-54N の電氣的、機械的一般性能は JIS K6708 に規定されてあるフェノール樹脂積層棒の 1 級品 PB-121 に該当し、さらにフェノール樹脂のおよばないすぐれた耐アーク性を有している。RU-54N の電氣的特性について、使用上の必要事項を主として調べた結果、次の諸点を見出した。

- (1) RU-54N の絶縁抵抗は温度の上昇と共に低下し、絶対温度の逆数に対して指数曲線的に変化する。その低下傾向はフェノール樹脂の場合と同様である。電気伝導の活性化エネルギーとして 19.7 kcal の値を得た。
- (2) RU-54N の耐電圧もフェノール樹脂と同程度に温度の上昇と共に低下する。
- (3) RU-54N の絶縁抵抗および耐電圧は極間距離に比例せず、極間距離の短い程単位距離当りの数値が大きい。
- (4) RU-54N の耐水性は良好で、層間接着の強固であることが示された。なお RU-54N を水中に浸漬した場合に水が内部に吸収される反応の活性化エネルギーとして 12.2 kcal の値を得た。

〔I〕 緒 言

フェノールホルムアルデヒド樹脂(以下フェノール樹脂と呼ぶ)を結合剤として製作した成型品、積層品等の諸製品は機械的、電氣的および物理、化学的性能にすぐれているので、古くから機械的、電氣的用途に広く使用されていることは周知の事柄であるが、通常フェノール樹脂は耐アーク性が劣る⁽¹⁾ため、アークに接触する箇所には使用できない欠点がある。耐アーク性にすぐれた樹脂として古くから使用されているものには尿素、ホルムアルデヒド樹脂(以下尿素樹脂と呼ぶ)があり、電気機器の消弧および耐弧用材料として樹脂粉末、成型品、積層品の形で広く使用されているが、この樹脂には耐水、耐熱性におとる欠点があり、そのため使用に際し、使用部位の温度上昇、湿度等を慎重に考慮しなければならない。メラミン・ホルムアルデヒド樹脂(以下メラミン樹脂と呼ぶ)は丁度この尿素樹脂の欠点を補ったようなすぐれた性質を持つており、新しい樹脂であるにもかかわらず、近年各分野に急速に使用されるようになった。

最近に至り、電気機器の消弧部支持具としてアークに接触すると同時にある程度の荷重が作用する箇所に使用するに適する絶縁材料が要望され日立製作所においては耐アーク性と一般性能にすぐれたメラミン樹脂を結合剤とし細糸布を基材とする積層棒を製造して RU-54N と命名し、この要望に応じている。

このメラミン樹脂積層棒は、機械加工性にとみ、耐湿性耐薬品性および耐アーク性にすぐれているので、これらの性能を重視する絶縁材料として賞用されている。本

* 日立製作所多賀工場

報にはこの RU-54N の一般性能と二、三の電氣的特性についてやゝ詳細に記し、使用上の参考に供することとした。

〔II〕 RU-54N の一般性能

合成樹脂製品の特性を分類すると、構成材料自体の性質に基因するものと、製品の構造に基因するものとの二つに分けることが出来る⁽²⁾。RU-54N の構成成分は前述のようにメラミン樹脂と細糸布であるから、この両者の性質が RU-54N の特性の一部を支配することは明らかである。この構成成分に基因する RU-54N の特性を知るため、RU-54N と同一の材料で通常の積層板を作製し、これを試験片として JIS K6707 (1952) (フェノール樹脂積層板試験方法) に準拠して一般性能試験を行つた結果を第 1 表に示す。なお表にはフェノール樹脂および尿素樹脂を結合剤とした場合との比較のため、JIS K6707 (1952) (フェノール樹脂積層板) に規定してある PL-131 (細糸布基材、電氣的性能を主とするもの、1 級) および PL-210 (細糸布基材、機械的性能を主とするもの、1 級) の規格値、および PL-131、-210 にそれぞれ該当する日立製品 LP-51N および LP-52N、ならびに日立製尿素樹脂積層板 LU-51N の特性も併記した。表より明らかのように、メラミン樹脂はフェノール樹脂に比べ耐アーク性にすぐれており、また尿素樹脂に比べ耐熱耐水性がすぐれている。なお RU-54N の材料で製造した積層板は細糸布基材フェノール樹脂積層板の 1 級品に略該当する性能をもつていることが判る。

構造様式に基因する性能についての記述はこゝでは省略し、RU-54N とフェノール樹脂積層棒との性能比較結

第1表 メラミン尿素、フェノール樹脂積層板の性能
Table 1. Properties of Melamine, Urea and Phenolic Laminated Sheets

品別	LU-57N*	LU-51N	LP-51N	LP-52N	JIS規格値	
JIS記号			PL-131	PL-210	PL-131	PL-210
結合剤	メラミン樹脂	尿素樹脂	フェノール樹脂	同左	同左	同左
基材	細糸布	同左	同左	同左	同左	同左
耐電圧	貫層 (kV/mm)	10~14	>8	>12	10	
	沿層 (kV)	25~30	>20	>25	15	
絶縁抵抗 (MΩ)	常態	5×10 ³ ~10 ⁶	10 ³ ~10 ⁶	6.5×10 ³ ~10 ⁵	5×10 ³ 以上	
	煮沸後	20~2×10 ²	—	65~5×10 ²	5×10以上	
固有抵抗	体積 (MΩ-cm)	10 ⁴ ~10 ⁶	10 ³ ~10 ⁶	10 ⁴ ~10 ⁶		
	表面 (MΩ)	5×10 ³ ×10 ⁶	10 ² ~10 ⁶	10 ⁴ ~10 ⁶		
引張り強さ (kg/mm ²)	5~10	5~10	6~9	6~9		
曲げ強さ (直層) (kg/mm ²)	10~15	10~15	10~18	10~18	8以上	9以上
圧縮強さ (kg/mm ²)	沿層	20~30	20~30	24~30	24~30	24以上
	直層	15~25	15~25	20~25	20~25	15以上
衝撃値 (沿層) (kg-cm/mm ²)			4~10	5~15	3以上	4以上
へき開値 (kg)			600~900	500~800	400以上	450以上
耐熱性試験温度 (°C)	140	105	140	140	140	140
吸水量 (mg/100cm ²)	120~380	200~800	80~200	100~300		
アーク抵抗** (sec)	100~120	80~100	5~15	5~15		

* RU-54N と同材料を使用してある。

** ASTM D495-48T に準拠して試験した値。

果を第2表に示す。試験片には直径 15 mm の丸棒を用い、JIS K6709 (1952) (フェノール樹脂積層棒試験方法) に準拠して行つてある。なお表にはフェノール樹脂との比較のため、JIS K6708 (1952) (フェノール樹脂積層棒) に規定してあるフェノール樹脂積層棒 PB-121 (布基材、電氣的性能を主とするもの、1級) および PB-221 (布基材、機械的性能を主とするもの、1級) の規格値、ならびに PB-121 該当日立製品 RP-51N の性能も併記した。表よりわかるように RU-54N はフェノール樹脂積層棒の1級品に該当する性能をもっている。

〔III〕 RU-54N の電氣的特性

RU-54N は機械的特性においても第1表および第2表に示すようにフェノール樹脂積層棒の JIS 1 級品に該当するすぐれた性能を具備し、構造材料としても使用できるが、むしろそのすぐれた耐湿耐熱耐アーク性により、耐アーク用絶縁材料として使用することが材料の特性を生かした使い方といえる。

絶縁材料に要求される性質には絶縁性 耐電圧性、耐湿耐熱性、耐アーク性、低誘電損失、耐薬品性等多々あるが、こゝには RU-54N が耐アーク性絶縁材料として使用される場合が多いとの考えの上に立ち、使用中に起る温度上昇および吸湿に伴う性能の変化、ならびに RU-54 を使用する機器の設計に必要な寸法と電氣的性能の

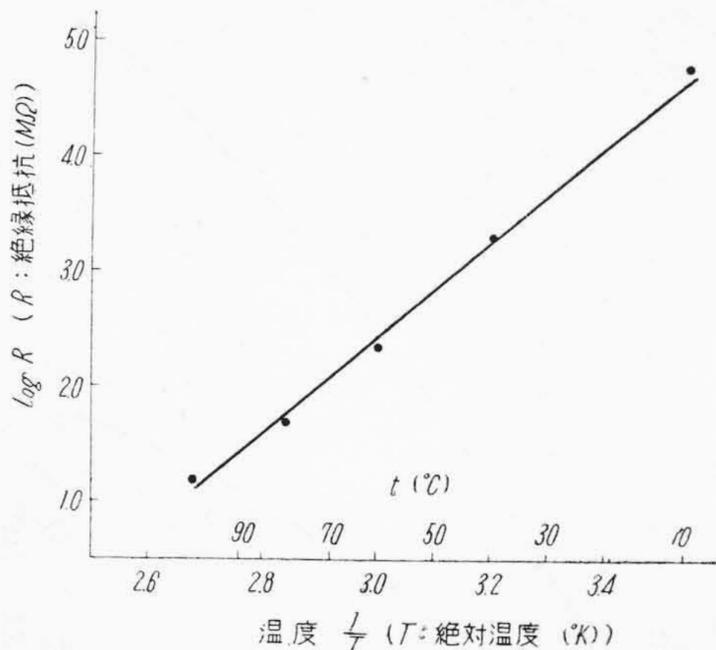
第2表 RU-54N の一般性能 (保証値)
Table 2. General Properties of RU-54N (guaranteed value)

品別	RU-54N	RP-51N	JIS規格値	
JIS記号		PB-121	PB-121	PB-221
基材	細糸布	同左	布	同左
結合剤	メラミン樹脂	フェノール樹脂	同左	同左
耐電圧 (kV/mm)	>6.5	>6.5	6	
絶縁抵抗 (MΩ)	常態	3×10 ³ ~10 ⁵	10 ³ 以上	
	煮沸後	10~10 ²	10以上	
曲げ強さ (kg/mm ²)	11~15	11~18	10以上	11以上
圧縮強さ (kg/mm ²)	18~25	18~25		15以上
耐熱性試験温度 (°C)	140	140	140	140
密度 (g/cm ³)	1.4~1.5	1.3~1.4	1.30~1.40	1.30~1.40

関係について以下に記す。

(1) 絶縁抵抗の温度変化

絶縁材料の絶縁抵抗が温度の上昇と共に減少することは周知のことである。電気機器は運転中にその温度が上昇するのが普通で、したがって使用してある絶縁材料の絶縁抵抗は使用中に低下する傾向にある。なお絶縁材料は長期間使用していると温度の反復上下により劣化を起し、経年的にその絶縁抵抗が低下する傾向にあるが、こゝでは短時間の間に温度が変化した場合にどのように絶縁抵抗が変化するかを調べた。



(注) 試験片は JIS K 6709 (1952) に規定のもの。

第1図 絶縁抵抗と温度との関係
Fig. 1. Dielectric Resistance vs Temperature

試験片には直径 45 mm 長さ 40 mm の RU-54N の断片に 15 mm の間隔 (孔の中心間) を置いて棒の中心を通るように直径 5 mm 深さ 30 mm の電極孔を 2 箇所穿つたものを用い、電極孔に黄銅棒を緊密にはめ、これを一定温度に調節した絶縁油 (JIS C2320) 中に 30 分浸漬後、絶縁抵抗計で極間抵抗を測定した。

第1図に温度と絶縁抵抗との関係を示す。図に示すように温度範囲 20~100°C において絶縁抵抗の対数と絶対温度の逆数との間には直線関係があり、

$$R = 10^{-10.3} \times e^{\frac{19.7 \times 10^3}{rT}} \dots\dots\dots (1)$$

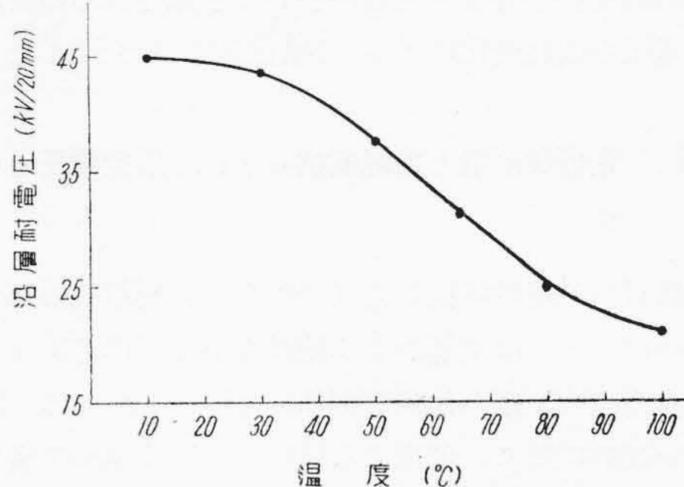
ここに \$R\$: 絶縁抵抗 (MΩ)
 \$r\$: 気体恒数 (\$\approx 2\$ cal)
 \$T\$: 絶対温度

(1) 式が成り立つ。すなわち本実験の温度範囲で絶縁抵抗は温度 10°C の上昇により約 $\frac{1}{2.5}$ に低下する性質をもっている。

絶縁材料の絶縁抵抗の温度変化については、フェノール樹脂の場合には各種製品について良く調べられているが⁽³⁾⁽⁴⁾、一般に絶縁抵抗 \$R\$ と絶対温度 \$T\$ との間には

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{rT}} \quad \begin{array}{l} R_0 : \text{恒数} \\ \Delta E : \text{活性化エネルギー} \\ r : \text{気体恒数} \end{array}$$

の関係があり⁽⁵⁾⁽⁶⁾、この関係と (1) 式とから、RU-54N の電気伝導における活性化エネルギーとして 19.7 kcal が得られる。温度上昇に伴う絶縁抵抗の低下率はフェノール樹脂の場合もほぼ同様で、著者等がフェノール樹脂積層棒について測定した所、30°C で 10^4 MΩ あつたものが、80°C では約 10^2 MΩ に低下しており、低下率として RU-54N と同じく 10°C について $\frac{1}{2.5}$ の値が得ら



第2図 RU-54N の温度と沿層耐電圧との関係
Fig. 2. Breakdown Voltage vs Temperature

れた。

温度変化に伴う絶縁抵抗の変化は材料が吸湿しているような場合には、表面漏洩電流が流れるため、本実験で得られた低下率を示さなくなることも予想され、使用時の材料の乾燥も必要となる。

RU-54N は耐アーク用絶縁材料としてアークに接触して使用される場合が多く、温度上昇は避けられないので、絶縁抵抗の温度変化を充分考慮して使用することが必要である。

(2) 沿層耐電圧の温度変化

前述の絶縁抵抗と同じく、耐電圧も絶縁材料に要求される性質として極めて重要なものである。一般に耐電圧も絶縁抵抗と同じく温度の上昇と共に低下する性質をもち⁽³⁾⁽⁴⁾、この低下の著しい時には使用上重大な支障を来す。RU-54N についてこの温度と耐電圧との関係を調べた。

試験片には直径 45 mm の RU-54N の原棒の一部から、原径のまま軸に直角に切つて厚み 20 mm としたものを用い、JIS K 6709 にしたがって沿層耐電圧を求めた。

結果を第2図に示す。図からわかるように耐電圧の温度上昇による低下率は 10~30°C では 1°C につき 0.075 kV/20mm であるが、この温度域より高温になると、低下率は漸次増大して 70~80°C では 0.43 kV/20mm となる。このように耐電圧も温度によつて著しく変化する性質がある。これは絶縁抵抗の温度上昇に伴う低下のため、ジュール熱の発生が増大し、材料が炭化して絶縁破壊を起すのを促進するためと考えられるが、絶縁抵抗が温度の変化とともに指数曲線的に変化するに対し、耐電圧はほぼ直線的 (30~80°C の間) に変化しており、これらの値だけでは両者の関係を推定することはできにくい。

RU-54N の耐電圧の温度変化は特に異常なものではなく、フェノール樹脂等においてもこれと同程度の変化を示す⁽³⁾⁽⁴⁾ものであるが、RU-54N はアークに接触して瞬

間的に温度が上昇する場合は多いと予想されるので、この耐電圧の温度変化については注意を払わねばならない。

(3) 電極間距離と絶縁抵抗および沿層耐電圧との関係

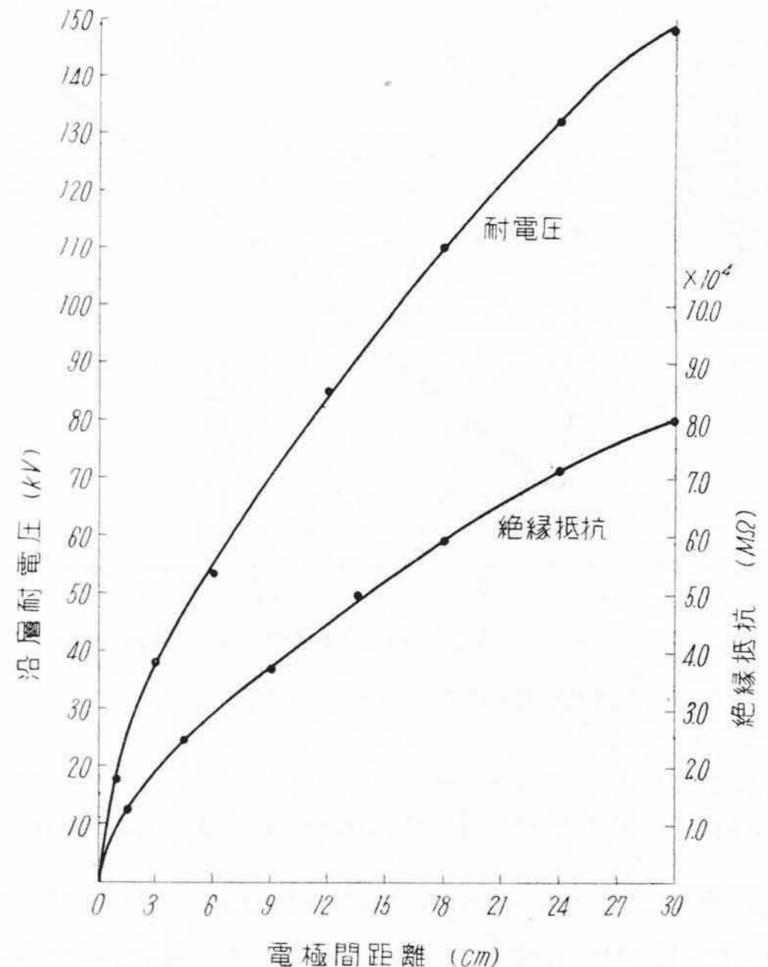
絶縁材料の絶縁抵抗および耐電圧は材料組成の部分的不均一、あるいは電導および絶縁破壊の機構等により必ずしも電極間距離と比例的關係にないことがある。電気機器の設計に際し、使用する材料の寸法は極めて重要な項目であり、寸法と性能との関係を考慮しなければならない。このような考えから RU-54N の寸法と絶縁抵抗および沿層耐電圧との関係を調べた。

絶縁抵抗の測定には直径 45mm 長さ 35cm の RU-54N に先づ 30cm の中心間隔を置いて直径 5mm 深さ 30mm の孔 2 箇所を孔心が同一稜線上にあり、且つ軸に垂直になるように穿つたものを用い 25°C RH 85% の気中で絶縁抵抗を測定した後、順次間隔を変えて内側に孔をあけ、測定を行つた。測定は JIS K 6709 に準拠し、穿孔後暫時放冷して孔部の温度が室温に達してから測定を行つた。また沿層耐電圧は直径 45mm で長さが 2~300mm の範囲で異なる数種の RU-54N を準備し、80°C の絶縁油 (JIS C 2320) 中に 30分保持後、(2) と同様にして測定した。

測定の結果は第 3 図に示す。図に示すように、絶縁抵抗、耐電圧共に極間距離の増加につれて増大して行くが、極間距離に比例しない。単位の極間距離に対する絶縁抵抗および耐電圧は極間距離の短い程大きい。例えば絶縁抵抗では極間距離 0~15mm の間では平均 $8 \times 10^3 \text{M}\Omega/\text{mm}$ であるに対し、200mm の附近では $3.2 \times 10^2 \text{M}\Omega/\text{mm}$ 、また耐電圧では極間距離 0~10mm では 1.8kV/mm であるに対し、100~120mm では 0.7kV/mm で、いずれも極間距離の増加と共に単位の極間距離に対する数値は減少している。このように極間距離と各特性値との間には比例關係は成り立たないが、絶縁抵抗と耐電圧との各々の変化傾向が類似しており、両者の間に密接な関係のあることがうかがわれる。このような寸法と特性値との關係が材料自体の組成の不均一によるのか、あるいは測定方法自体の特質に基因するのかは詳かでないが、寸法の小さい試験片について得られた単位方法当りの性能値から大寸法のものについての数値を比例的に推定しては、誤を招く結果となる。

(4) 吸水に伴う絶縁抵抗の変化

合成樹脂製絶縁材料を長期間使用していると、吸湿、冷熱反復による膨脹収縮、紫外線の吸収、高温での反応の進行等により電気的特性が低下し、いわゆる劣化を起す。劣化の原因には確然と推定できるものもあるが、多



第 3 図 電極間距離と絶縁抵抗および沿層耐電圧との関係

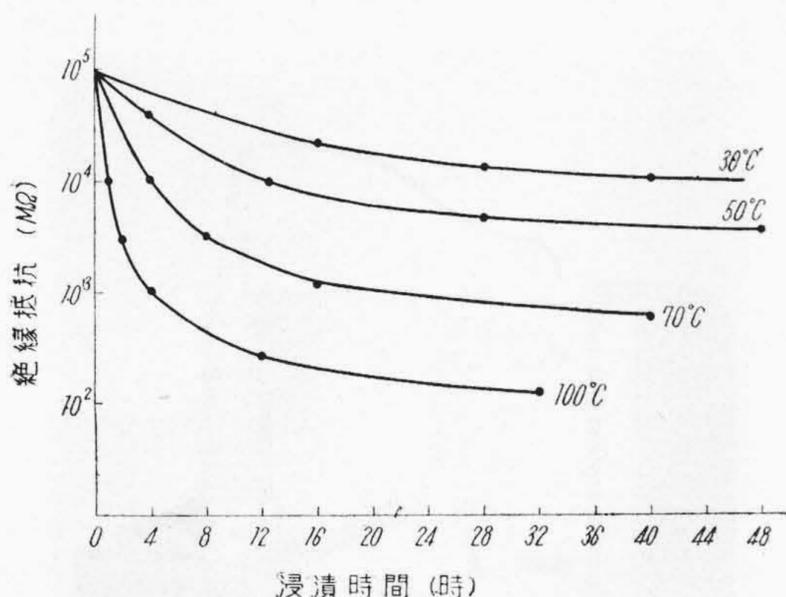
Fig. 3. Dielectric Resistance, Breakdown Voltage vs Distance of Electrode

くは種々の原因が複雑に重なり合つて劣化が起るものであつて、絶縁材料の劣化の問題は種々の角度から検討しなければ解決出来ないものである。しかし劣化の原因の中吸湿は最も起り易く、かつそれによる劣化の程度が極めて大きいことは周知のことで、絶縁材料を取扱う場合、耐湿 (耐水) 性ということが常に問題となる。

この耐湿性を検する方法として、JIS では絶縁抵抗試験片を常態抵抗測定後 2 時間煮沸し、煮沸後の絶縁抵抗を測り、その低下程度から耐湿性を相対的に検している。著者等は RU-54N の耐湿性を検するため、従来の処理方法を参考にして、温度と時間を変えて吸水処理を施した場合の絶縁抵抗を調べた。

試験片には (1) と同じ形状寸法のものを用い、30, 50, 70, 100°C の水中に浸漬し、適当な時間間隔を置いて取出し、20°C の流水に 30 分浸して温度を 20°C に下げた後、乾いた布で良く拭き、JIS K 6709 に準じて絶縁抵抗を測定した後、さらに浸漬処理を継続し、測定を繰返した。

第 4 図に浸漬時間と絶縁抵抗との關係を示す。図からわかるように、浸漬温度が高い程、絶縁抵抗の低下が早い。また絶縁抵抗の低下は浸漬の初期に急速に起り、浸漬 20 時間以後における低下は極く緩慢であり、48 時間程度で低下はほぼ平衡に達し、平衡値は浸漬温度の高い程低い。この変化傾向より煮沸を短時間施す処理は材料の



(注) (1) 図中の温度は浸漬温度を表示する。
 (2) 試験片は JIS K 6709 (1952) に規定のもの。

第4図 各種温度の水中浸漬に伴う絶縁抵抗の変化
 Fig. 4. Dielectric Resistance vs Immersion Time at Various Temperatures

相対的耐湿性を検する方法として採用できると考えられる。フェノール樹脂積層棒の煮沸抵抗は煮沸2時間後に測るようにより JIS 規定してあり、RU-54N の場合にはその値は $3.5 \times 10^3 \text{M}\Omega$ (第4図) であるから、第2表に記した PB-121 の規格値 $10 \text{M}\Omega$ を遙かに上廻るわけである。

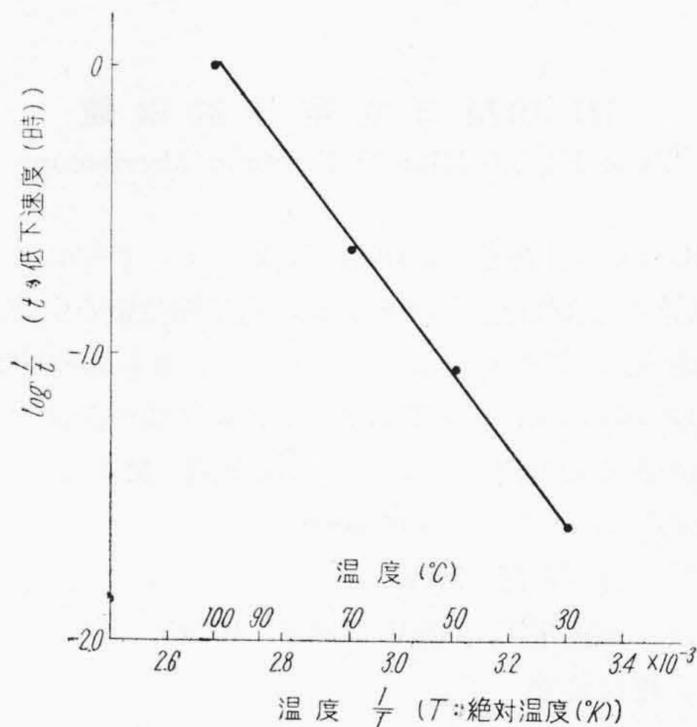
吸水処理による絶縁抵抗の低下は、処理中に吸収した水の電導性に基因すると考えられている。この考えを裏付けるものとして、浸漬処理の初期(初期においては水は一方的に材料に吸収されると看做すことができる)における絶縁抵抗の低下速度(絶縁抵抗が一定量だけ低下するに要する浸漬時間の逆数で相対的に表示される)の対数と浸漬温度(°K)の逆数との間にかなり良い直線関係がある。すなわち第5図に絶縁抵抗が浸漬前の $10^5 \text{M}\Omega$ から $10^4 \text{M}\Omega$ まで低下するに要した時間 t の逆数の対数と浸漬温度 T の逆数との関係を示した。 $\log \frac{1}{t}$ と $\frac{1}{T}$ の間にはかなり良い直線関係があり、

$$\frac{1}{t} = 10^{7.1} e^{-\frac{12.2 \times 10^3}{rT}} \dots \dots \dots (2)$$

ここに t : 絶縁抵抗が常態 $10^5 \text{M}\Omega$ から $10^4 \text{M}\Omega$ に低下するに要する浸漬時間 (h)
 T : 浸漬温度 (°K)
 r : 気体恒数 ($\approx 2 \text{ cal}$)

(2) 式が成り立つ。すなわち(2)式の関係は吸水による絶縁抵抗の低下が吸収した水の電導性に基因すること、および材料の内部に水が吸収される反応の活性化エネルギーが 12.2 kcal であることを表示している。

積層棒、板などで基材層間の接着が弱い場合には、煮



(注) 試験片は JIS K 6709 (1952) に規定のもの。

第5図 水中浸漬温度と絶縁抵抗低下速度との関係
 Fig. 5. Depression Velocity of Dielectric Resistance vs Immersion Water Temperature

沸2時間で層間剥離が起り、その間隙に水が入つて煮沸後の絶縁抵抗が、 $1 \text{M}\Omega$ 以下の極端に低い値まで低下するものであるが、本実験では第4図に示すように煮沸32時間によつても抵抗は $10^2 \text{M}\Omega$ を示している故、層間接着は良好と判断される。

[IV] 結 言

最近における合成樹脂製品の目ざましい発展により、電気および機械器具は日進月歩の進歩改良がなされていることは改めて記すまでもない。新製品の開拓、製品の改良に当つては、材料の特性を知悉して、適材を適所に使用するということが最も重要である。

本報には耐湿、耐熱、耐アーク性の優秀性を特長とするメラミン樹脂の新応用製品である日立メラミン樹脂丸棒 RU-54N の電氣的性能を中心として、RU-54N 使用上の参考事項を記した。メラミン樹脂製品は耐熱、耐湿、耐アーク性材料として、尿素樹脂製品を使用することのできない高温高湿の状況下でも使用することができる特長があり、種々の応用面で将来発展する材料と考えられており、本報が使用上の参考となれば幸である。

参 考 文 献

- (1) 中島：日本材料試験協会誌 第3巻 80 (昭 29)
- (2) 例えば同じ材料を用いた丸棒でも、材料の配列様式が異れば機械的強度が異なる。
松井：プラスチック 6月, 8 (1953)
- (3) 電気材料便覧 231 (昭見堂, 昭 28-11)
- (4) 鳳：電気材料 219 (共立出版, 昭 24-1)
- (5) 電気材料便覧 287 (昭見堂, 昭 28-11)
- (6) 電気工学ハンドブック 423 (電気学会, 昭26-7)

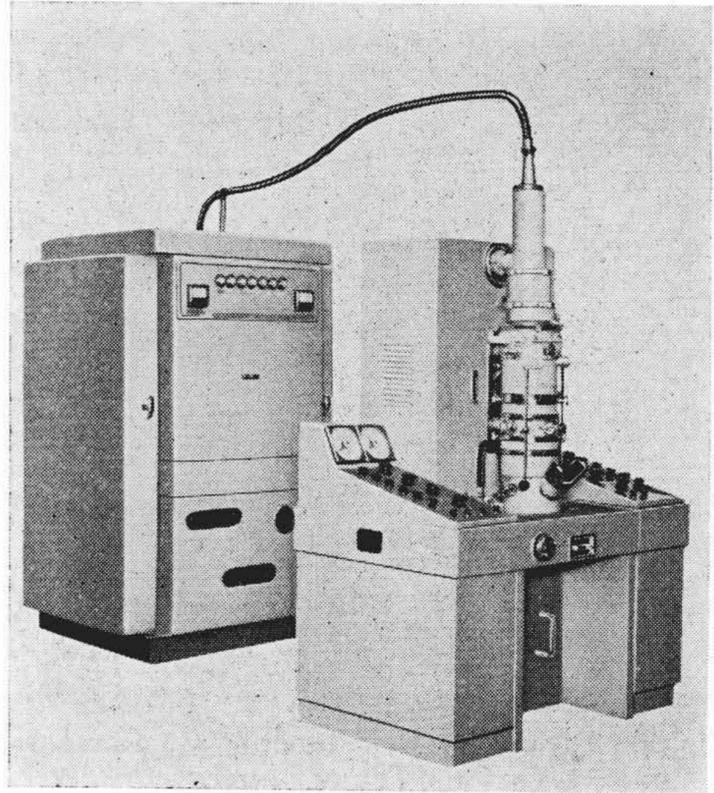
HU-10型日立電子顕微鏡
Type HU-10 Hitachi Electron Microscope

HU-10型日立電子顕微鏡は数回のコンクールにおいて世界的な高性能を認められた。電子顕微鏡の生命とする分解能は 10\AA に達し、したがって倍率も1,000,000倍に引き上げられた。プラスチック、碍子類の品質向上に關係のある検鏡例をかゝげた。(第2図、第3図)

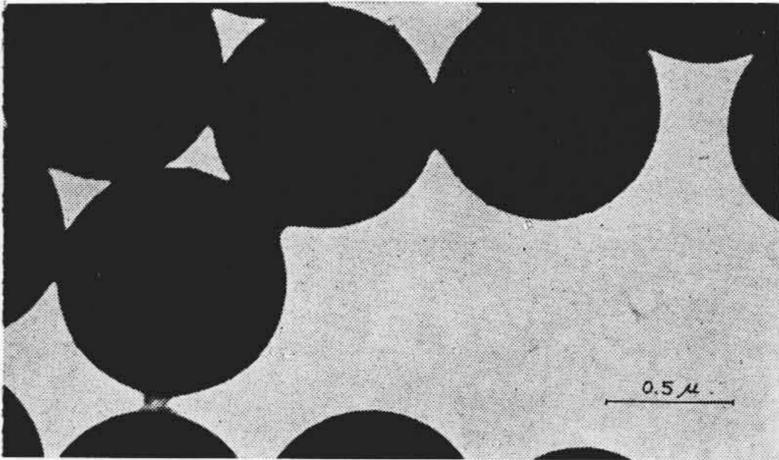
仕様 倍率 $\times 1,000,000$
分解能 10\AA
加速電圧 50kV, 75kV, 100kV

附属装置

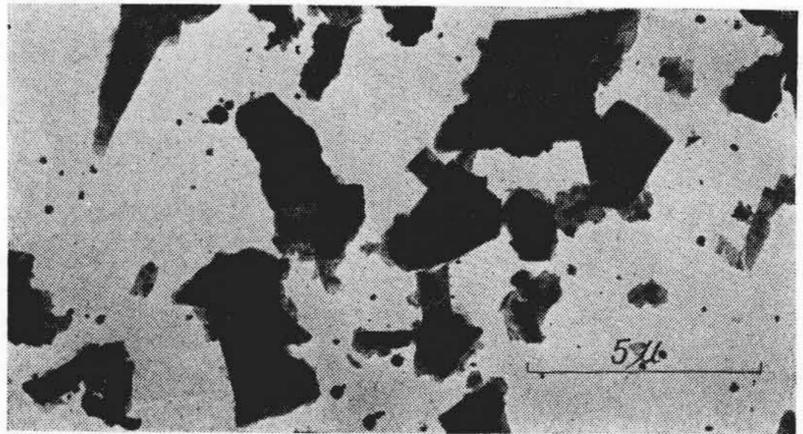
- 試料加熱装置 常温より 1000°C まで
- 試料冷却装置 常温より -180°C まで
- 反射装置
- X線顕微鏡装置
- ガス反応装置
- 各種電子廻折装置



第1図 HU-10型電子顕微鏡
Fig. 1. Type HU-10 Hitachi Electron Microscope



第2図 ポリスチロール
Fig. 2. Polystyren Latex Particles



第3図 タルク
Fig. 3. Talcum

日立

可鍛鑄鐵

黒心可鍛鑄鐵

材質優秀! 加工能率の高い!

東京 大阪 名古屋 福岡 仙台 札幌
日立製作所