

M. P. 蓄電器

山邊知定*

Metallized Paper Capacitors

By Tomosada Yamanobe
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Urged by the war time necessities they had, the German engineers succeeded to produce the metallized paper capacitor, and employed it widely in electrical apparatus, such as rader, radio, etc., because of its high reliability against puncture and the compactness of its size. It has self-healing character, i. e., when breakdown occurs in metallized paper part, the metal film on that point is automatically removed to recover instantly the insulation resistance. The volume of this type of capacitor can be reduced to about 25% of ordinary one.

After the War, the capacitors of this type have been adopted in the U.S.A. and England to be put in service in telephone plants and others.

For the purpose of adopting this new sort of capacitor into some of Hitachi electric equipment, we also made an elaborate study on this device, and recently succeeded to turn out the device of quite satisfactory performance.

[I] 緒言

紙蓄電器は2枚の金属箔を絶縁紙によつて互いに絶縁して巻きこみ、乾燥し、これに絶縁油、パラフィン、クロールナフタリン等を注入して製作する。その細部については進歩もあつたが、その根本的の方式には久しく少しの変更も見られず、電気機器各部品の小型、軽量化等の進歩に対して立ちおくれた感が深い。斯の如く絶縁紙と金属箔とを使用する代りに、絶縁紙上に直接金属薄膜を附着せしめて、これを2枚巻き蓄電器を作ると言う考えは旧く既に1910年、G. F. Mansbridgeによつて提唱されたが長い間実用化しなかつた。昭和15年頃より独逸ボッシュ会社は、この種日本特許を請求していたが、大戦中量産化に成功して、兵器その他に広く使用していた。この蓄電器は普通の紙蓄電器に比して劃期的に進歩したものと云える。その第一は極めて小型、軽量で100V程度の電圧に使用するものではその体積は紙蓄電器の25%程度にもなる。第二はパンクによつて駄目にならないことである。それは、例えパンクしても、電

極が光の波長程も無い薄膜であるために、その放電の電流によつてその部の電極が直ちに飛散し去り、数 μ Sで絶縁が回復する。この性質をパンクの自癒性と言う。この性質があるため、通常の紙蓄電器の代りに本 M. P. 蓄電器を使用した電気機器はそれだけ高い信頼性を持つことになる。

よつて、戦後、米英両国では独逸の方式によりそれぞれその生産を始め、米国ベルテレフォン会社⁽¹⁾に於てはその500型新型電話機にこれを採用した。文献⁽²⁾によると交換機その他にも広く使用する計画と見える。

又日本にも戦争の終り近く、M. P. (metallized paperの略)蓄電器の名称のもとに製法は一切不明のまま独逸から資料が送附せられ、主として旧海軍関係で取り上げられ、日立製作所に於てもその製造方法の研究を初めた。

一番問題となるのは、如何にして絶縁紙上に極めて薄い金属薄膜を連続して均一に付けるかにある。金属の粉末を塗布すると云う考えもあつたが、日立としては真空中で金属の蒸気を発生させ、これを絶縁紙上に膜として附着させるのが一番良いと考えこの方針の下に研究を進め鋭意工業化に努め現在は中間工業試作の段階も終り近

* 日立製作所戸塚工場

く、試作した M. P. 蓄電器については、各種試験を行うとともに、社内各方面に試用して実地試験をも行っている。

〔II〕 試 作 経 過

金属薄膜を絶縁紙上に均一につけたものを略して金属化紙と云う。以下この金属化紙製作より M. P. 蓄電器製造経過を略述する。

(1) 金属化紙製作

金属も皆それぞれの温度でその温度に相当する蒸気圧を持っているので、真空中で適当な温度まで加熱すると蒸発し、その蒸気は冷い部分にまず薄膜として凝縮するこの操作を真空蒸着と云う。

M. P. 蓄電器用の金属化紙を真空蒸着によつて作るには、その金属が第一に出来るだけ低い温度で蒸着出来るもの、即ち低温で蒸気圧の大きい金属であることが望ましい。第二には化学的に安定で、又容易に入手出来ることも必要である。低温で蒸気圧の大きい金属はしばしば化学的に活性で蓄電器には使用不能のものもあるので、今回の目的には結局、Zn 又は Cd が最適となる。Cd は物理的並びに化学的に Zn より優れている点もあるが、価格の点より Zn を第一とした。

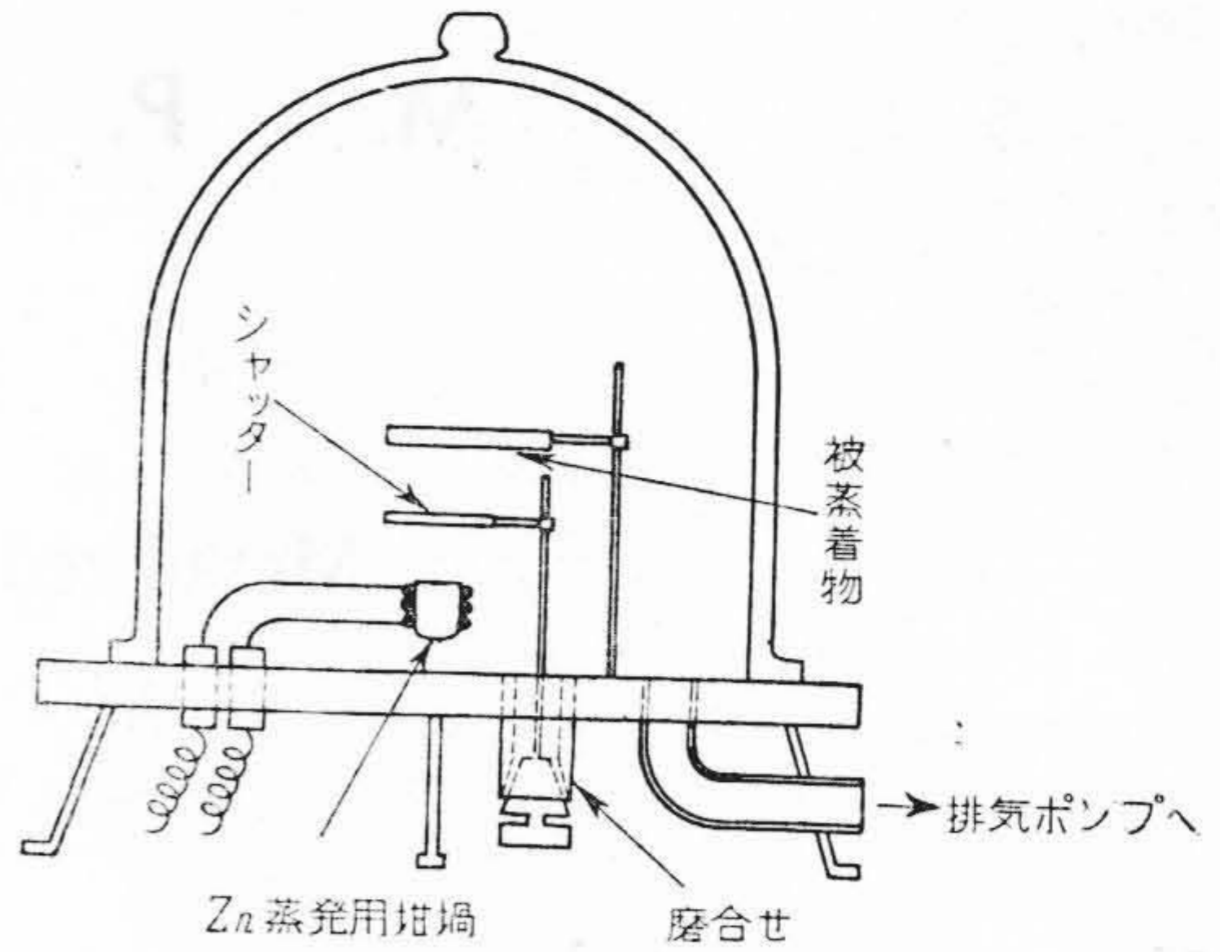
Zn の蒸気圧については多くの人の研究があるが Maier⁽³⁾ の式 $\log_{10} P = 12.0013 - \frac{66,700}{T} - 1.1265 \log T$

によつて各温度に於ける蒸気圧を計算すると第 1 表の如くなり、比較的蒸気となり易い金属であることがわかる。

最初の真空蒸着は第 1 図の装置によつて行つた。水銀 4 段の拡散ポンプを用いて、ガラス罐の内部を 10^{-4} mm Hg まで排気しつつ、その中の籠型のタングステン線のコイルを電流によつて加熱し、その中においた金属 Zn を蒸発させ、その蒸気を坩堝の上面においたガラス板又は蓄電器用絶縁紙に附着せしめた。図中のシャッターは磨合せによつて外部より回転せしめ蒸気を遮断するのに用

第 1 表 亜 鉛 の 蒸 気 圧
Table 1. Vapour Pressure of Zinc

温 度 (T)	度 (°C)	蒸 気 圧 (mm Hg)	備 考
693	419.5	0.151	(Zn の 熔 融 点)
700	427.	0.186	
750	477.	0.740	
800	527.	2.475	
825	552	4.266	
850	577	7.150	

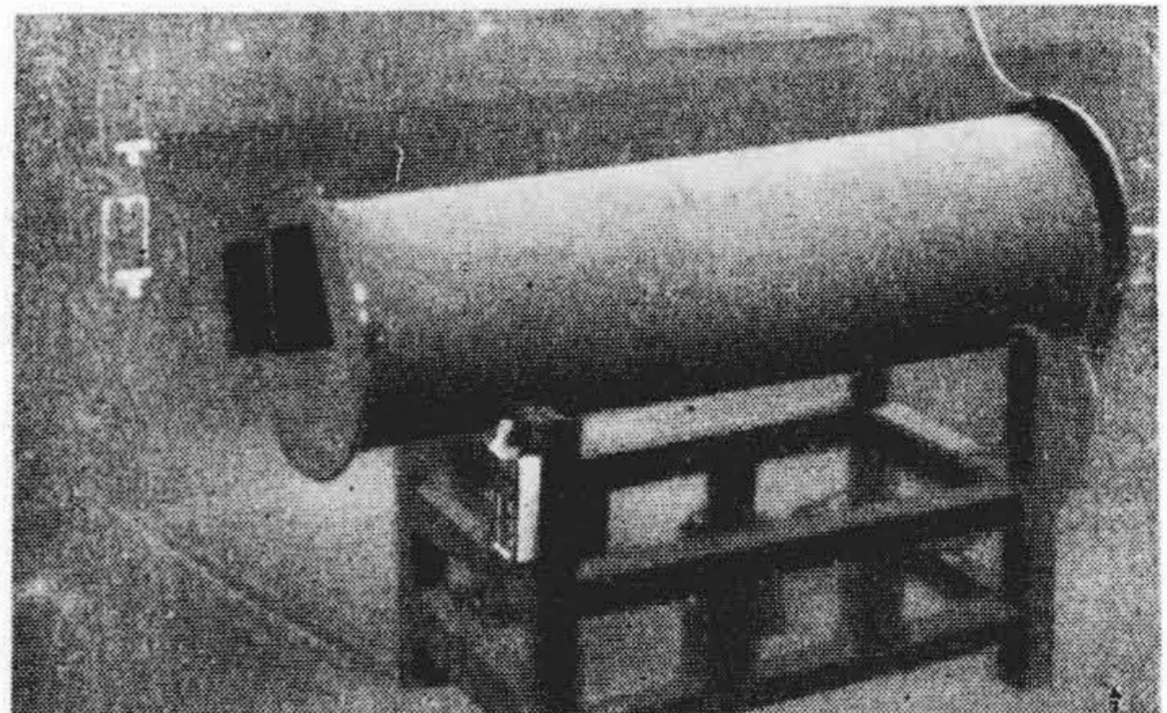


第 1 図 ガラス鐘を用いた真空蒸着装置
Fig. 1. Vacuum Evaporation Apparatus with Glass Bell Jar

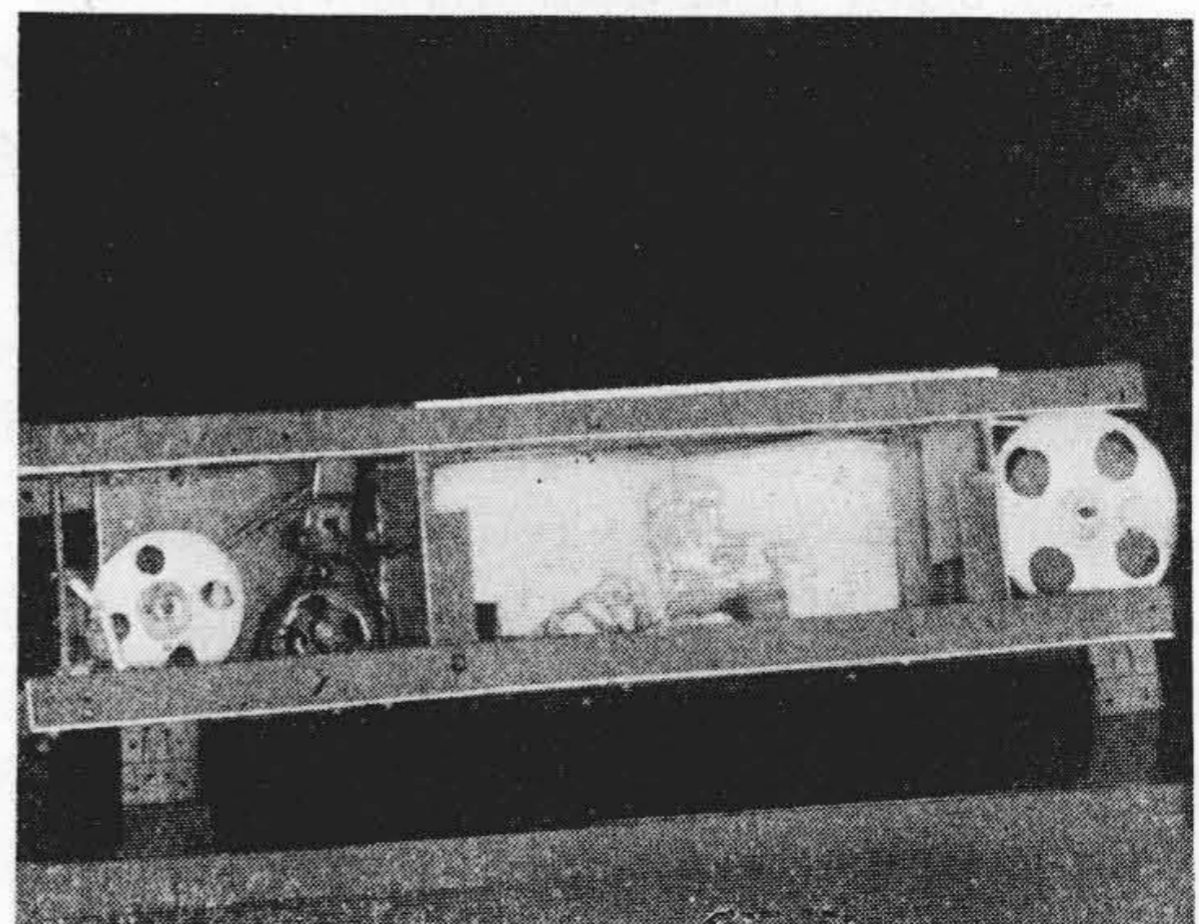
いる。

次に内部を改造し、磨合せによつて外部より絶縁紙が水平面内で回転出来るごとくしこの上に連続して Zn 膜をつけた。

第 3 にはガラス鐘中に電気時計用モータを入れて、絶縁紙を巻き取らせ数米程度の金属化紙を作るに至つた。



第 2 図 (A) 鉄製タンクを用いた真空蒸着装置外観
Fig. 2. (A) Outside View of Evaporation Apparatus with Steel Vacuum Tank



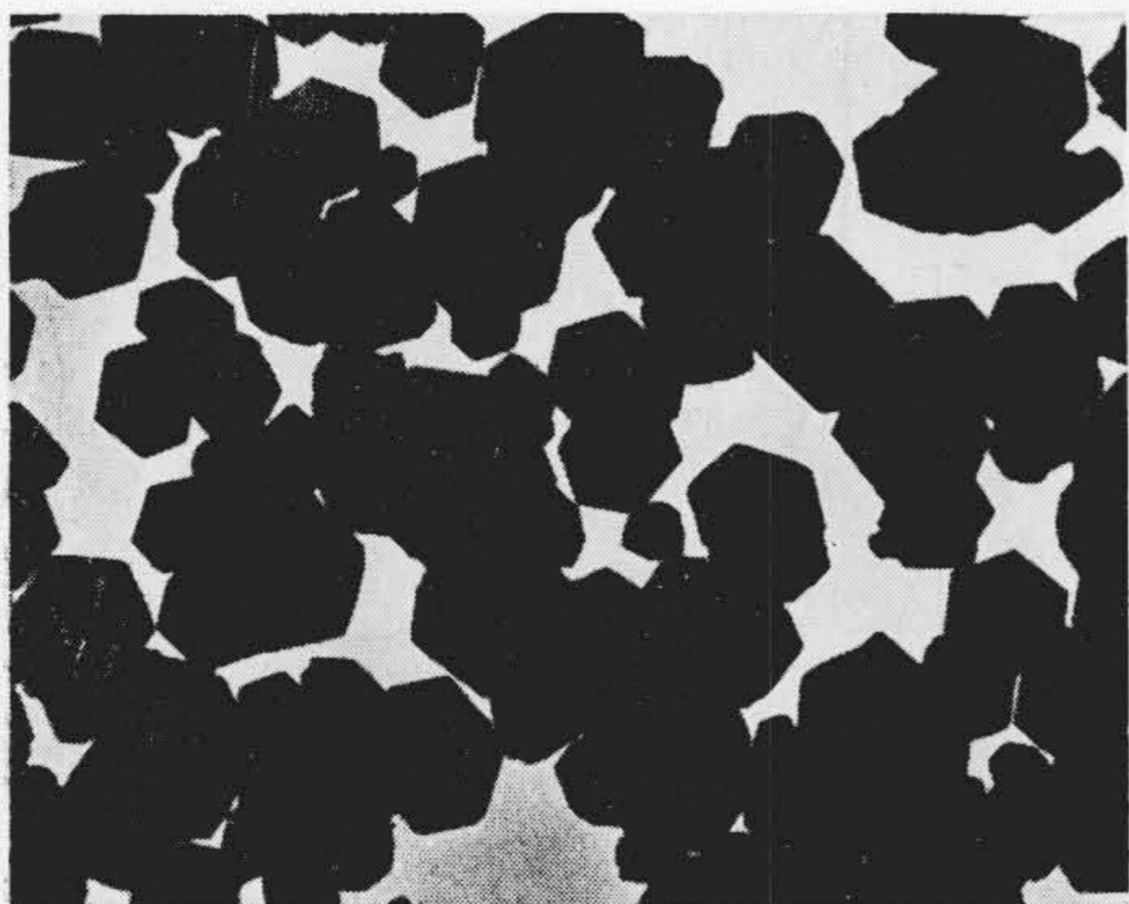
第 2 図 (B) 鉄製タンクを用いた真空蒸着装置内部
Fig. 2. (B) Inside View of Evaporation Apparatus with Steel Vacuum Tank

その後数回装置を改造したが、この時期に於けるものの一例を第2図A及びBに示した。Aは鉄製の蒸着用真空タンク、Bはその内部装置である。Bに於て、右側にある未処理の絶縁紙はモータによつて左側のドラムに巻き取られる。その中間に於てZnの蒸気がこれに蒸着され金属化紙となる。Zn膜の厚みは光電管及び膜の電気抵抗によつて調節する。現在使用中の装置もその主な点はこれと同一である。

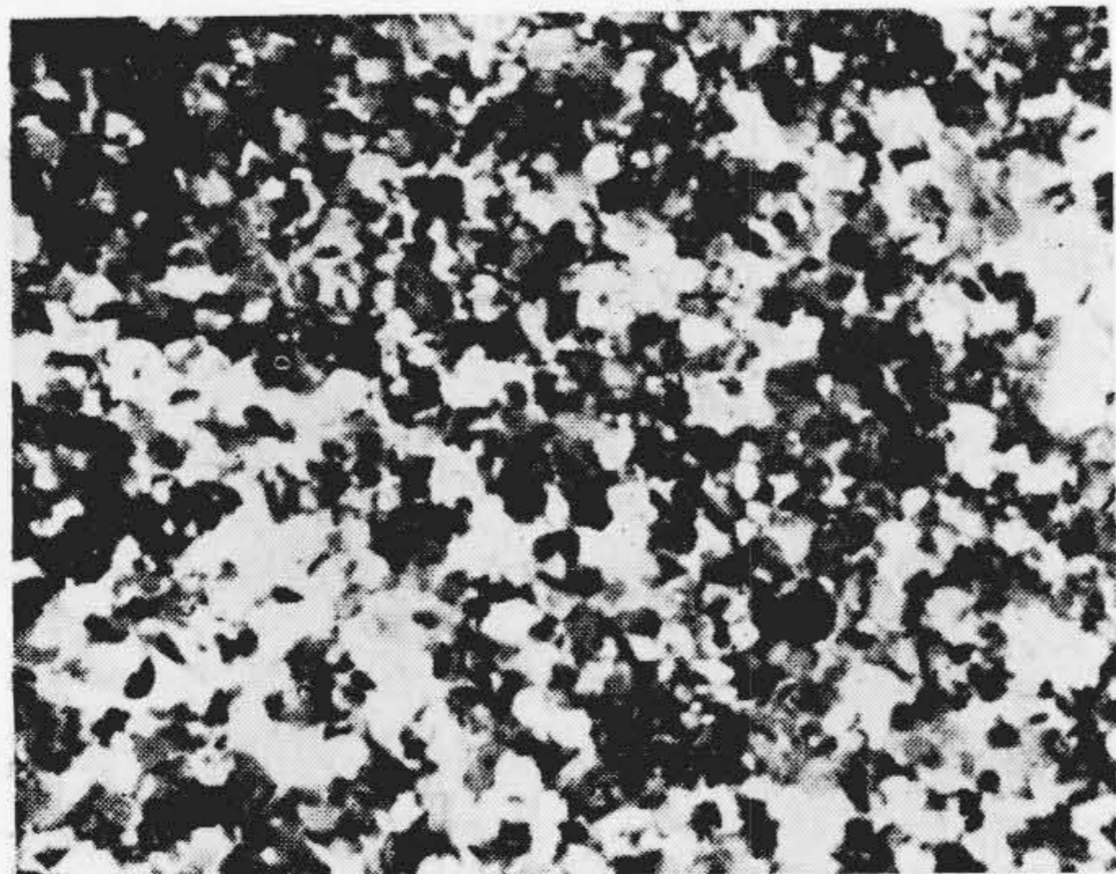
蒸着は真空タンク中で行うので、毎回の操作ごとの出し入れ及び排気に手間を要し、実験室的の研究を工業化のスケールにするのに苦心したが、幸い最近真空技術の急速な進歩によりすべてが楽になつた。

蒸着の速度も大きく、一卷き1,000m前後の絶縁紙も僅か数分で処理出来るので、これらの点は工業化への隘路とはならない。この研究が日立でなされてから米国の文献⁽⁴⁾が輸入されたが、それによると米国では1分間500呎程度で真空蒸着を行つていと報告されている。ほぼ同一の結果を別々に出していたことになる。

(2) 蒸着 Zn 膜の二三の性質



A. 粗大結晶の膜 $\times 10,000$
A. Film by the Large Crystals



B. 細い結晶の膜 $\times 15,000$
B. Film by the Fine Crystals

第3図 蒸着 Zn 膜の電子顕微鏡写真
Fig. 3. Electron Microscope of Evaporated Zinc Film

一般に厚さ数十乃至数百 Å 程度の金属の薄膜は、通常の状態にある金属とは、結晶の方向性、結晶粒の大きさの反射及び通過、電気抵抗、化学的の性質等に於て注目すべき特性を示すことが多い。又これらの性質は蒸着時の諸条件によつても広く変動する。

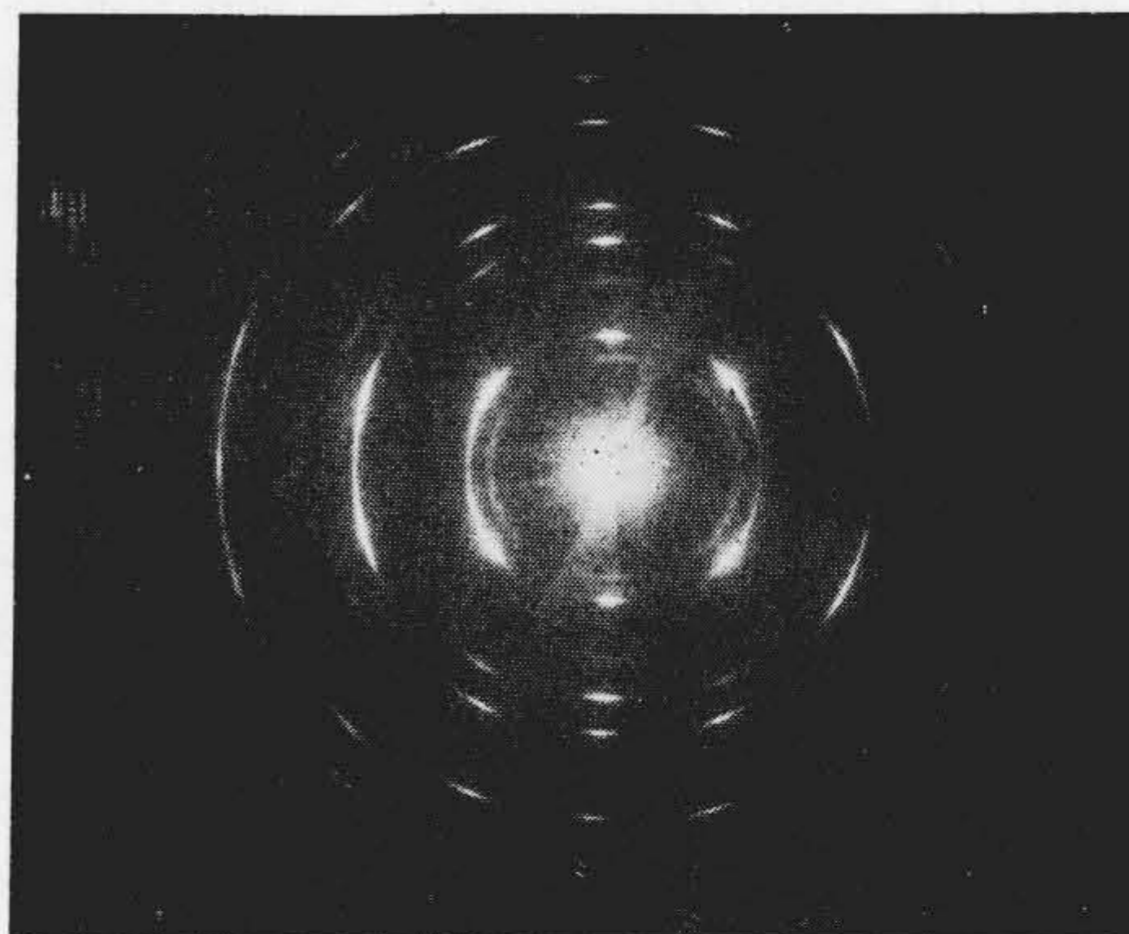
[A] 蒸着 Zn 膜の結晶構造

優れた M.P. 蓄電器とするための蒸着 Zn 膜は、パンクに対する自癒性、力率、耐蝕性、製作上の容易さ等の諸点から、出来るだけ薄く、しかも均一で、膜の比抵抗が出来るだけ小さい等の各種特性が要求せられる。それには、Zn 膜は出来るだけ小さい結晶が均一に数多く並んだものより作られていることが必要である。結晶粒の数が少いと、全体が均一な膜となるまでには、各結晶粒は相当発達せねならず、勢おい出来た膜は厚くなる。これに反して、結晶粒が一度に数多く紙面に発生すれば、その膜は薄くても完全な膜となる。この関係は次の例よりも明かである。第3図A及びBは結晶粒の大きい膜と小さい膜との電子顕微鏡写真であり、A図のものに於ては、 $100\mu^2$ 中の結晶粒の数約 200, 結晶粒の大きさ約 0.8μ で未だ完全な膜となつていないが、B図のものは、 $100\mu^2$ 中の晶粒の数約 5,500, 結晶粒の大きさ約 0.12μ ですでに完全な膜となつている。この二つの Zn 膜の差は、要するに結晶の核の発生の速度とその結晶粒の成長の速さの差によつて生ずるものである。

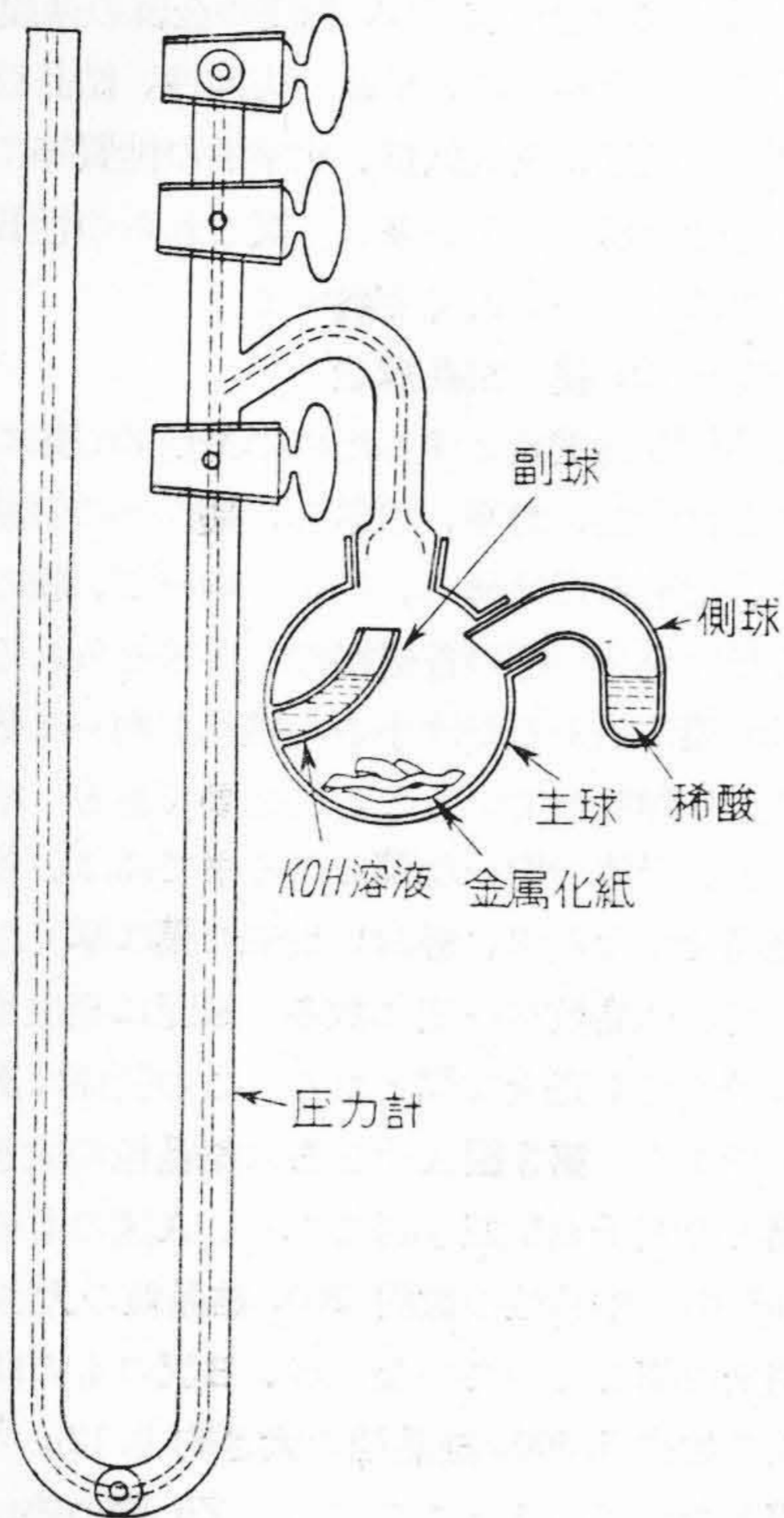
Zn の結晶は六方晶型で六角の柱状をなしているが、蒸着 Zn の結晶の方向は C 軸が紙面に垂直、即ち六角の柱が紙面に垂直に並んでいる。このことは第3図Aによつても見られるが、B図の膜を電子回折によつて験べた結果の第4図よりも明かである。

上記二つの Zn 膜の電気抵抗の比較、及びこれを蓄電器に組立てた場合の自癒性の優劣の比較は後に示す。

(B) Zn 膜厚みの決定 (Zn の微量分析)



第4図 蒸着 Zn 膜の電子回折写真(入射角 60°)
Fig. 4. Electron Diffraction of Evaporated Zinc Film

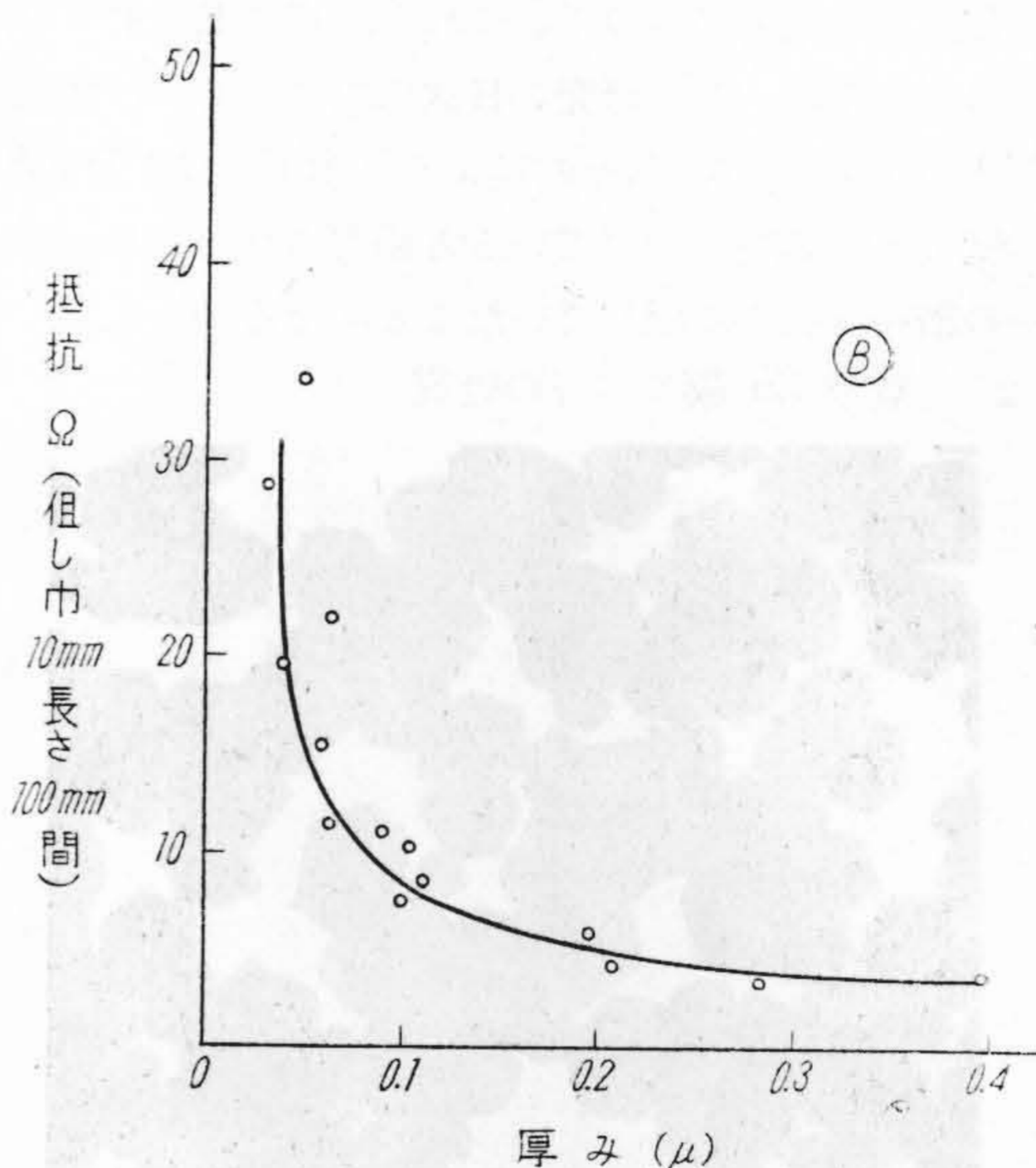
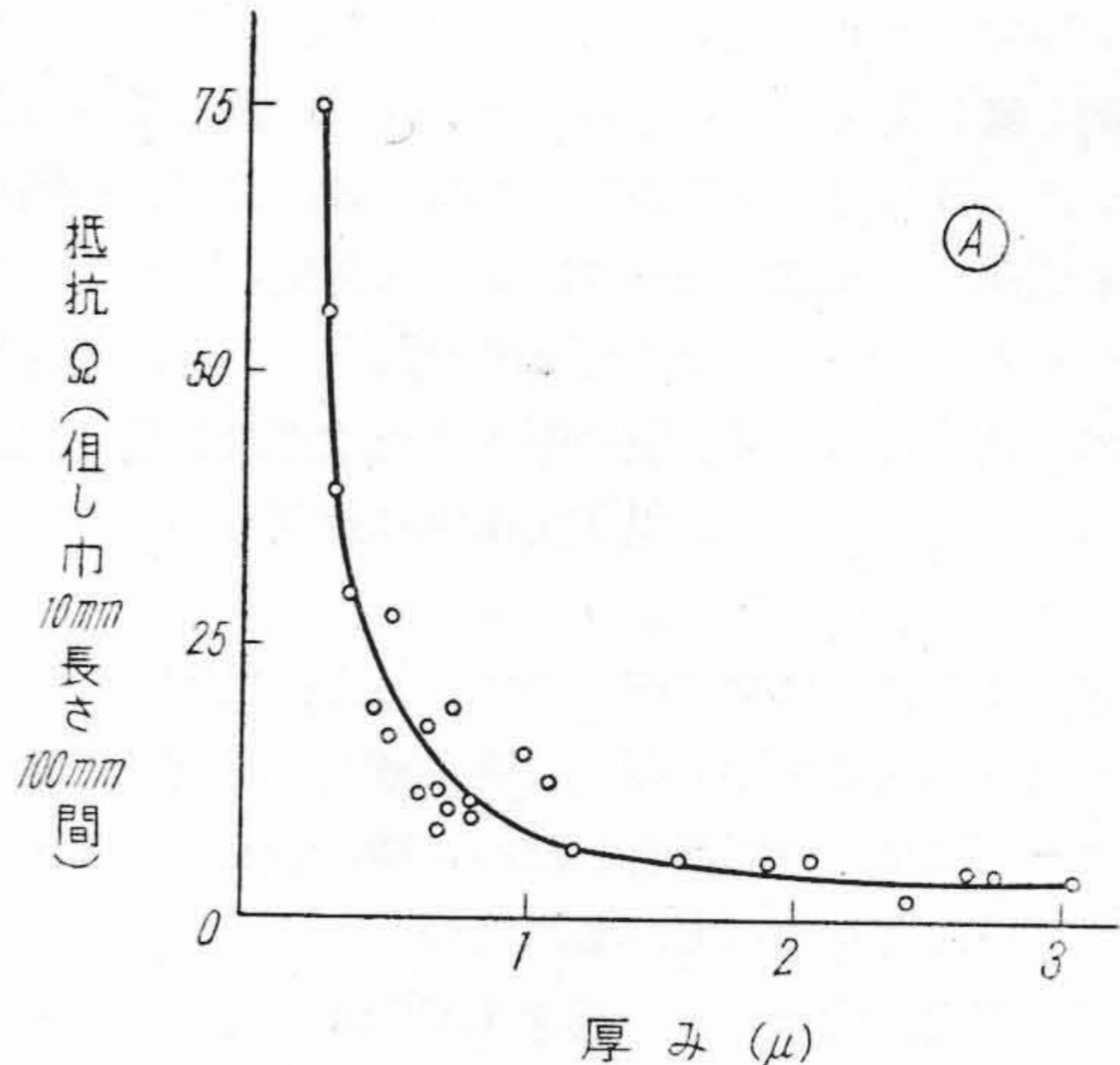


第 5 図 酸化 Zn 金属 Zn 分離定量装置 (Warburg 装置)

Fig. 5. Warburg Apparatus for Zinc Analysis

一定面積の金属化紙を稀酸で処理し Zn 膜を溶解し、この液についてヂチゾン法によつて Zn の定量を行い、その値と Zn の比重 7.1 を用いて膜の厚みを算出する。この分析方法は感度高く、 5×10^{-3} mg までの Zn の分析が可能で、金属化紙の分析に適する。

金属化紙を空气中に放置し劣化した場合には膜の Zn を、遊離 Zn と酸化 Zn とに分けて定量する必要がある。この時には下記の定量法を併用した。第 5 図に示す装置に於て、その反応球中に一定面積の金属化紙を入れ反応球の横に出ている側球に稀酸を入れる。全部を圧力計に取り付け、真空ポンプを用い内部を排気し、水素を満す。全体を $25 \pm 0.02^\circ\text{C}$ の水恒温槽中に入れ、側球を回転し、その中の酸を金属化紙と作用させると、遊離の Zn はこれと当量の H_2 を発生して溶解し、反応容器の圧力を増加せしめる。実験に使用した反応容器系の全内容積 35.02cc、使用した稀酸の容積 5.0cc、圧力計中の液体の比重 1.31。標準状態で (0°C , 760mm Hg) $2,759 \text{ mm}^3$ の H_2 がこの中で発生すれば、圧力計は 1mm の変化を示す。1 mm^3 の H_2 は Zn 0.002917 mg に相当するので、厚み 0.05μ の Zn 膜も 20cm^2 を使用すれば



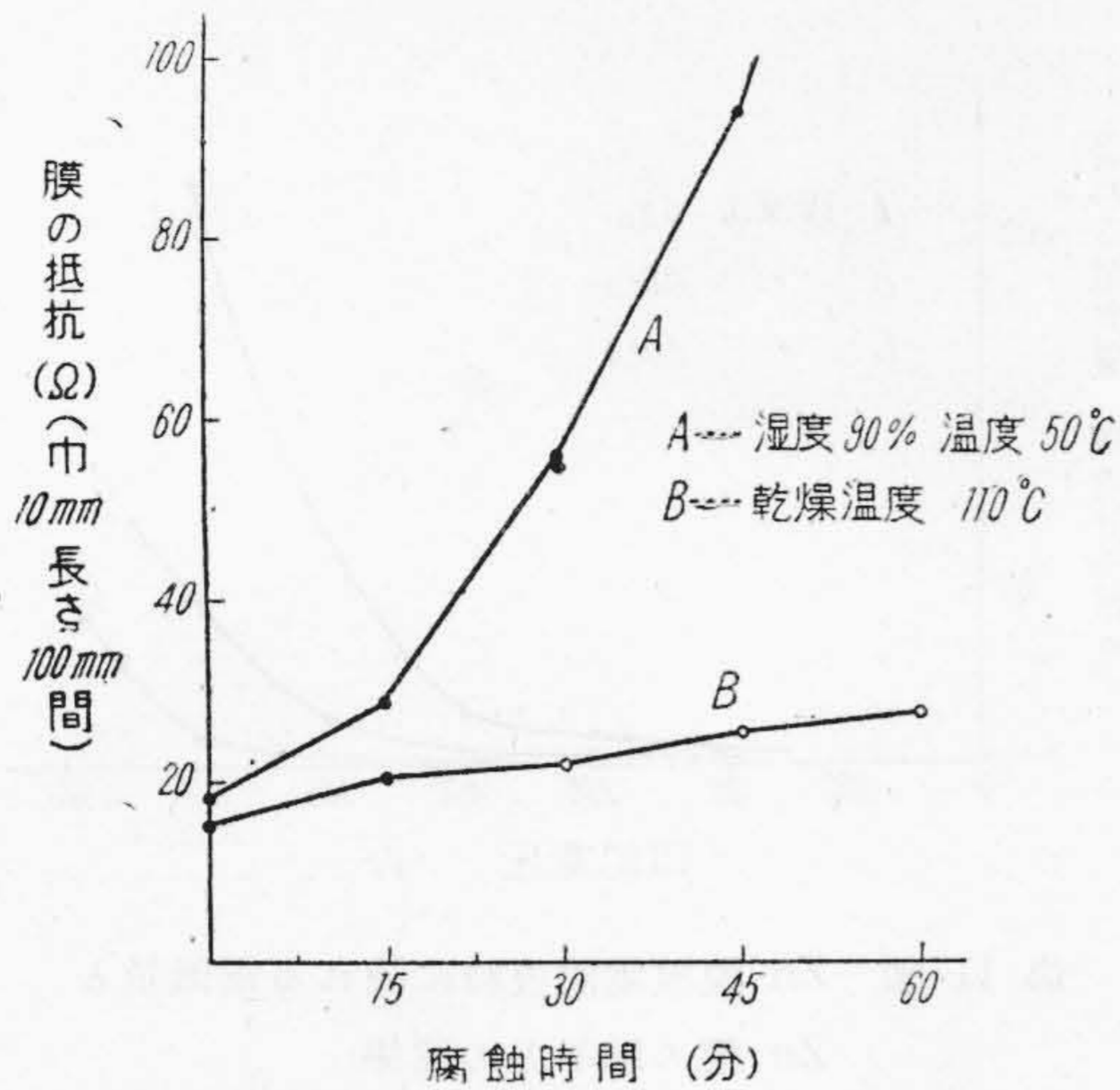
第 6 図 真空蒸着 Zn 膜の電気抵抗
A 粗大細晶の膜
B 細い細晶の膜

Fig. 6. Electric Resistance of Evaporated Zinc Film
A: Large Crystals
B: Fine Crystals

圧力計は 88.6 mm の変動を示す。このとき酸化 Zn は H_2 を発生することなく溶解するので、あとよりその溶液中の全 Zn をヂチゾン法によつて求めると、二つの測定法の差として、酸化 Zn の定量が可能である。図に示した副球中には KOH の溶液を入れておき、発生する心配のある CO_2 を吸収せしめる。この方法は Warburg 検圧法と云われるものを応用したもので他の追従をゆるさぬ特長のある測定方法である。

(C) Zn 膜の電気抵抗

金属薄膜の比抵抗は、通常の場合のものより大きい。



第 7 図 蒸着 Zn 膜の腐蝕による抵抗の増加

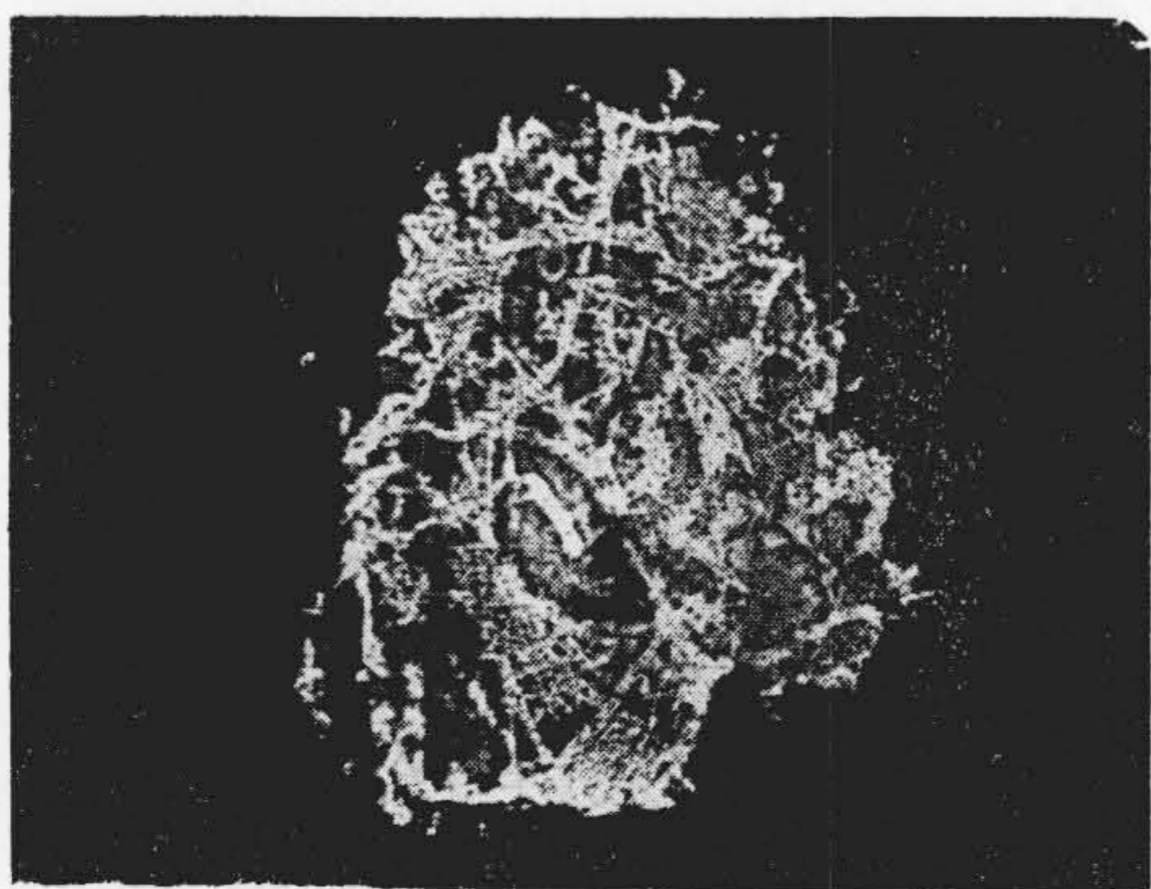
Fig. 7. Change of Electric Resistance of Zinc Film During the Corrosion

A: In Wet Air Humidity 90%(Temp. 50°C)
B: In Dry Air (Temp. 110°C)

金属化紙を幅 10mm に切断し、その 100mm 間の抵抗を測つた結果を第 6 図に示した。横軸には分析によつて求めた Zn 膜の厚みをとつてある。Zn 膜の結晶粒の大きさについてはすでに述べたが、これと膜の電気抵抗との間には深い関係がある。A 図は結晶粒の大きい試料について、B 図は結晶粒の細いものについて測つた結果であり、これは第 3 図に示した電子顕微鏡写真の A 及び B にそれぞれ該当する。

(D) Zn 膜の耐蝕性

金属化紙の Zn 膜の厚みは 0.1μ 以下で、多くの場合 $0.04\sim 0.08\mu$ の間にある。この値は光の波長程度であり極く僅かの酸化によつても膜の電気抵抗は大きく変化し蓄電器の特性に影響を及ぼす。よつて蒸着 Zn 膜の多くの性質中この点について簡単に誌す。



第 8 図 金属化紙放電回復の跡 $\times 25$

Fig. 8. Microphotograph of Self-healing $\times 25$

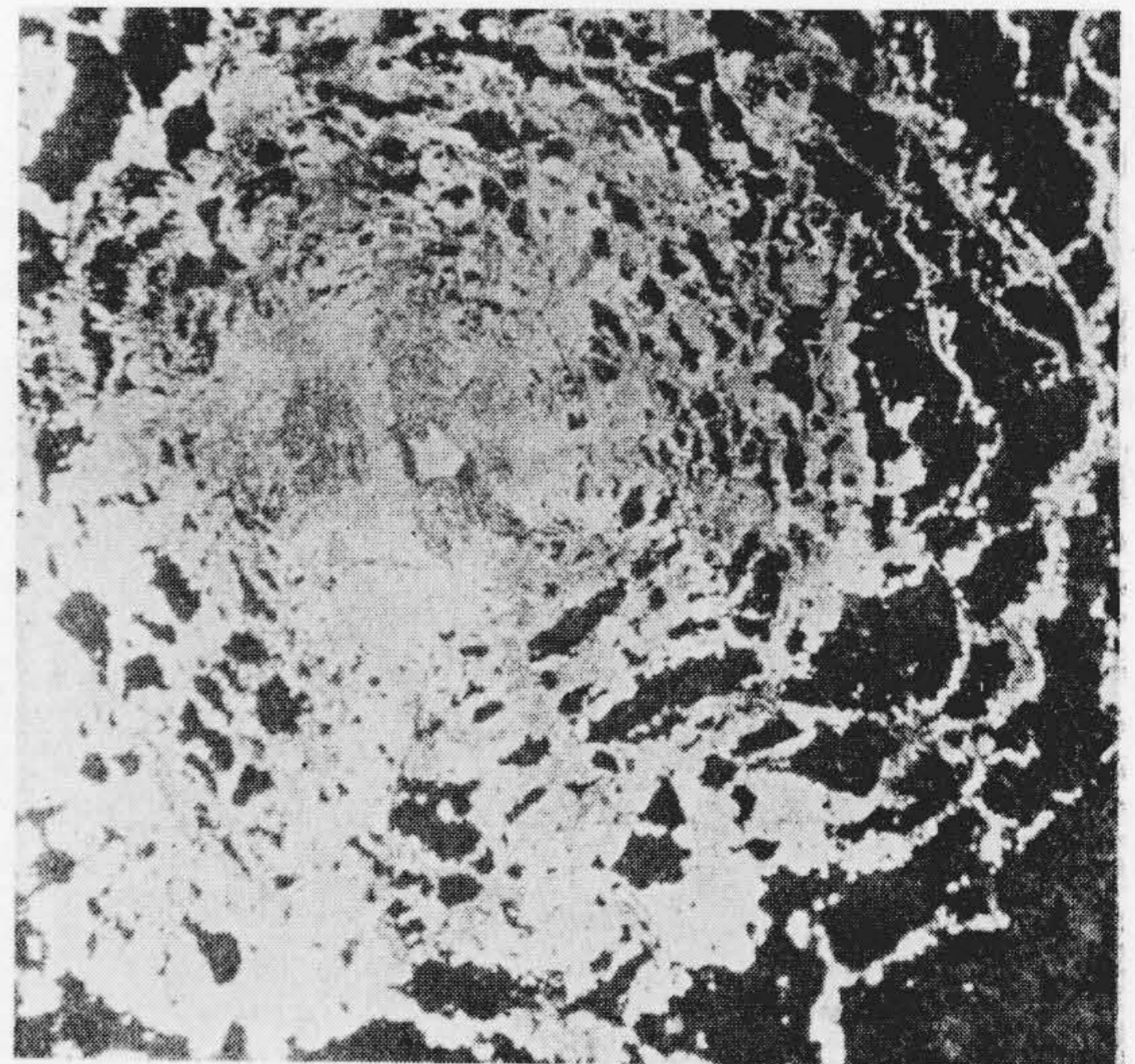
多くの卑金属と等しく、蒸着 Zn 膜も水蒸気の存在によつてその酸化が急激に速められる。第 7 図に温度 50°C 、湿度 90% の雰囲気中と、乾燥した 110°C の空気中に放置された場合の金属化紙の電気抵抗の増加を示した。湿度の影響を受けることの如何に大きいかがよく判る。

(3) 絶縁破壊の自動的回復 (パンクの自癒性)

M. P. 蓄電器がパンクしても直ちにそれが回復するのはパンク点及びその周囲一定面積中の電極膜が瞬間的に消失することによることは既に誌した。又そのためには出来るだけ短時間に、出来るだけ小電流量が流れただけで放電が終り、その跡が十分高い絶縁抵抗を持つことが望ましい。第 8 図にパンクの回復した跡を示す。

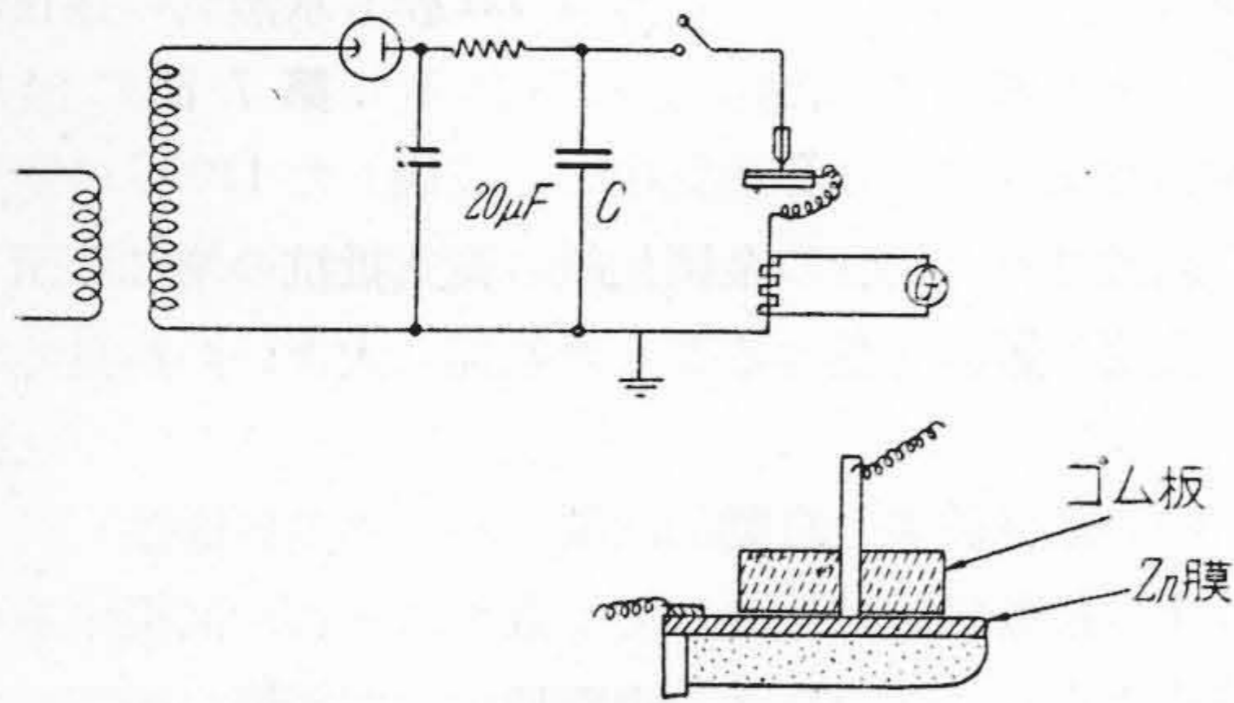
優れた自癒性を持たせるためには、Zn 膜を充分吟味しなくてはならない。極端に Zn 膜が厚い場合には金属箔を用いた通常の紙蓄電器と等しくパンクによつて両電極は完全に短絡し自癒性は無い。その厚みを 2μ 程度にすると一応自癒性らしい性質を示すが、放電時の電流が多過ぎなお不完全である。厚みを 0.05μ 前後にしたものがあらゆる点から見て最適である。なおより薄くして 0.03μ 前後より薄くすると、膜の電気抵抗によつて蓄電器の力率が増加するとともに、再び完全な自癒性が行われにくくなる。このように薄過ぎる膜の放電点を見ると放電点附近の Zn 膜が完全に飛散せず、膜の中に電流が通つた跡が出来、その部の Zn 膜だけが除去されているため、放電点の極く近くまで電極膜の残存するのが見られる。第 9 図にこの如き放電の例を示した。

この型の放電を我々は“くも型放電”と言つて嫌つて



第 9 図 不良金属化紙に見られる“くも型放電”のあと $\times 80$

Fig. 9. Unsuitable Self-healing $\times 80$



第 10 図 Zn 膜放電回復時に流れる電気量測定装置 (弾動検流計による)

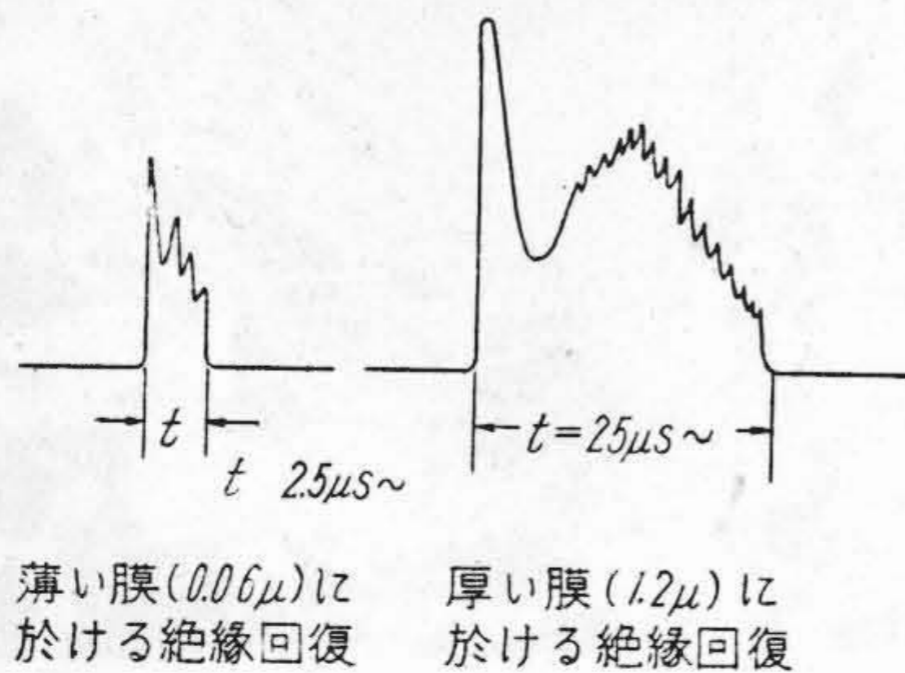
Fig. 10. Measurement of the Discharge Current in Self-healing by Ballistic Galvanometer

来たが、近着の米誌⁽⁵⁾によると、先方では“Dendritic”一樹状放電と云っている。

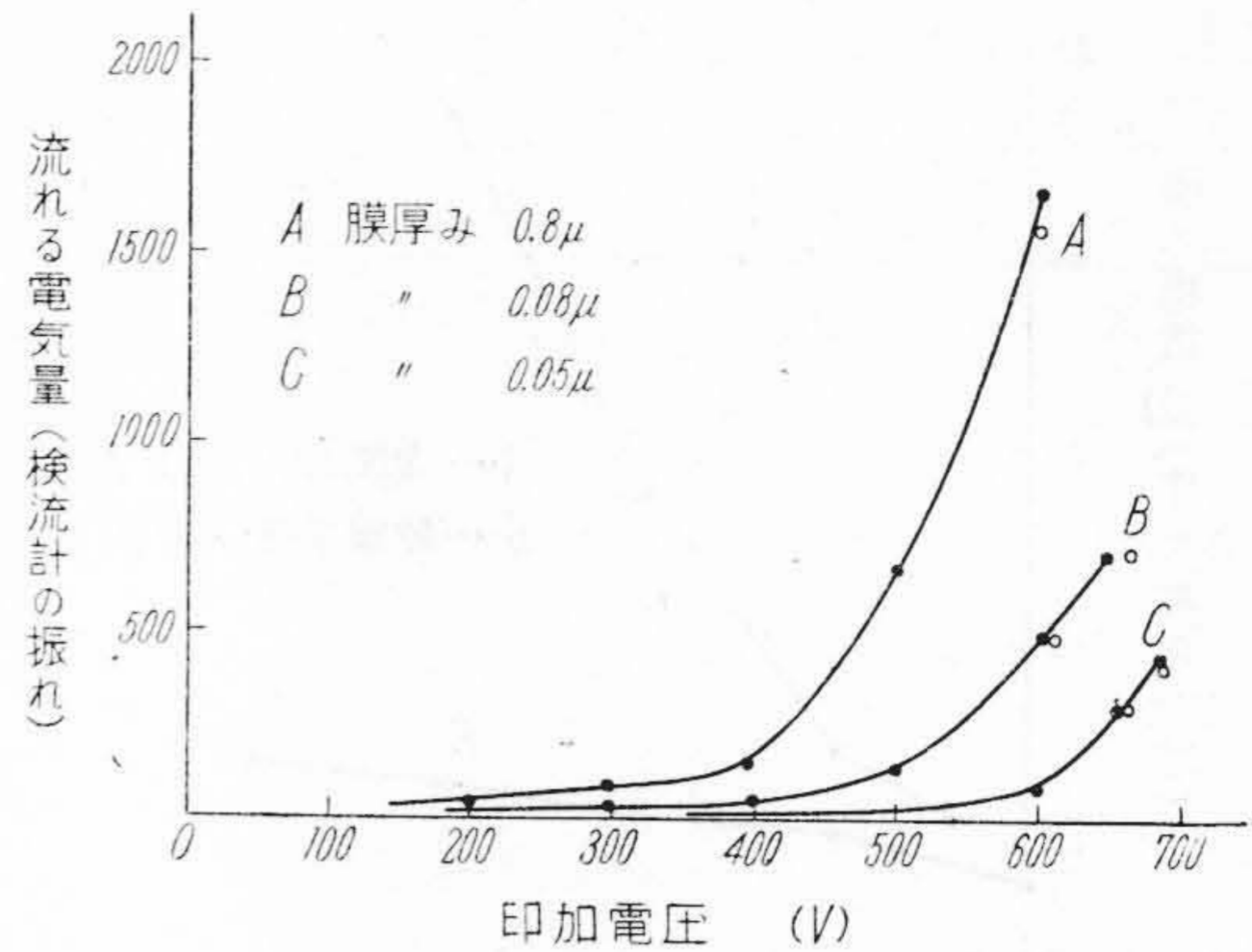
粗大な結晶粒より Zn 膜が出来ていると、その厚みをこれらの値より遙かに大きくしないと膜の連続性が損われることは第 6 図に示したが、このような粗大結晶粒より成る膜では“くも型放電”も又は細い結晶粒より成る膜に比し厚い膜で発生する。

放電時 Zn 薄膜が飛散し去つて再び絶縁が回復するまでに流れる電気量を測つた。第一の方法は間接的ではあるが、第 10 図の装置によつた。金属化紙の金属面にゴム板を密着せしめ、細い針の先をゴム板を通して Zn 面に接触させる。蓄電器 C を希望の電圧に充電し、これを針と金属膜とを通して放電させると、針と接した部分で放電が行われその点の金属膜が飛散し去り絶縁が回復する。この間に流れた電気量を弾動検流計より測つた結果を第 11 図に示した。膜が厚くなり、又電圧が増すと絶縁回復までに流れる電気量が多くなるのが知られる。

第二の方法は第 12 図に示す。容量 20μF の蓄電器を充電し、これを 2 枚の金属化紙を重ねた間を通して放電させ、その電流及び電圧波型をブラウン管オシログラフにより測る。膜の厚み 0.06μ 及び 1.2μ の金属化紙を用いて行つた場合の電流波型を第 12 図中に示した。膜



第 12 図 Zn 膜放電の回復時間及び電気量測定
Fig. 12. Measurement of Self-healing in Metallized Paper



第 11 図 Zn 膜放電回復時に流れる電気量と Zn 膜の厚みとの関係

Fig. 11. Relation between Discharge Current and Film Thickness in Puncture

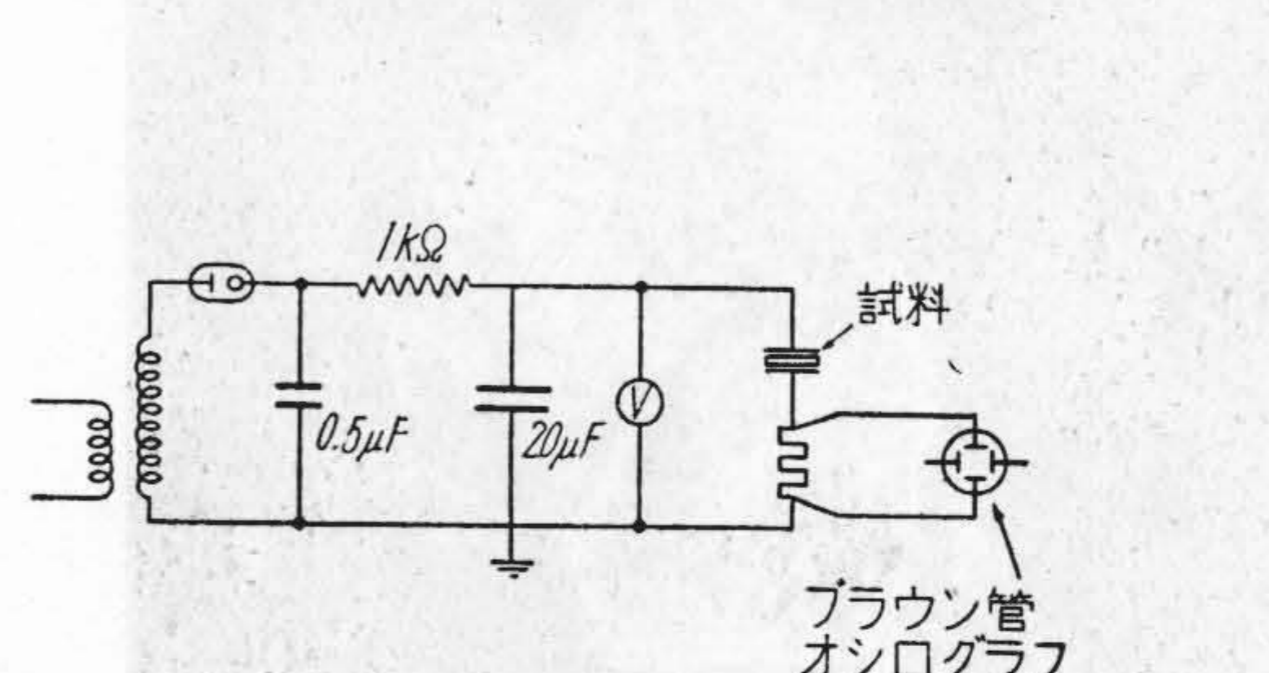
が薄い方は、放電時間も 2.5μS の如く短く、電流も数 A 程度であるが、厚い膜に於ては、放電時間も最短で 25μS 程度、電流は最高 100A に達している。

即ち、Zn 膜の厚いものでは放電時に流れる電気量が大きいので、その部の絶縁紙の破損を来し完全な絶縁の回復が行れにくくなり、勢い電圧の高いところでの使用が出来なくなる。よつて“くも型放電”も行わず、又高い電圧にも耐える金属化紙を得るには、出来るだけ薄く、しかも均一で、出来るだけ電気抵抗の小さいと云う各種条件を満す性能の良い蒸着 Zn 膜を作らねばならぬ。

(4) 金属化紙の前処理

金属化紙を 2 枚そのまま重ねて巻いただけでは、両電極間の絶縁抵抗は紙の中にある導電性微粒子等によつて極度に悪く、耐圧も低い。一例として、某社製の厚み 0.012 mm の蓄電器用絶縁紙を用いて行つた結果を第 2 表に示した。1μF あたりの絶縁抵抗が僅か数十 Ω 程度である。

よつて金属化紙には、大略第 13 図に示す方法によつ



第 2 表 前処理なしの M.P. 蓄電器の絶縁抵抗
Table 2. Insulation Resistance of M.P. Capacitor without Pretreatment

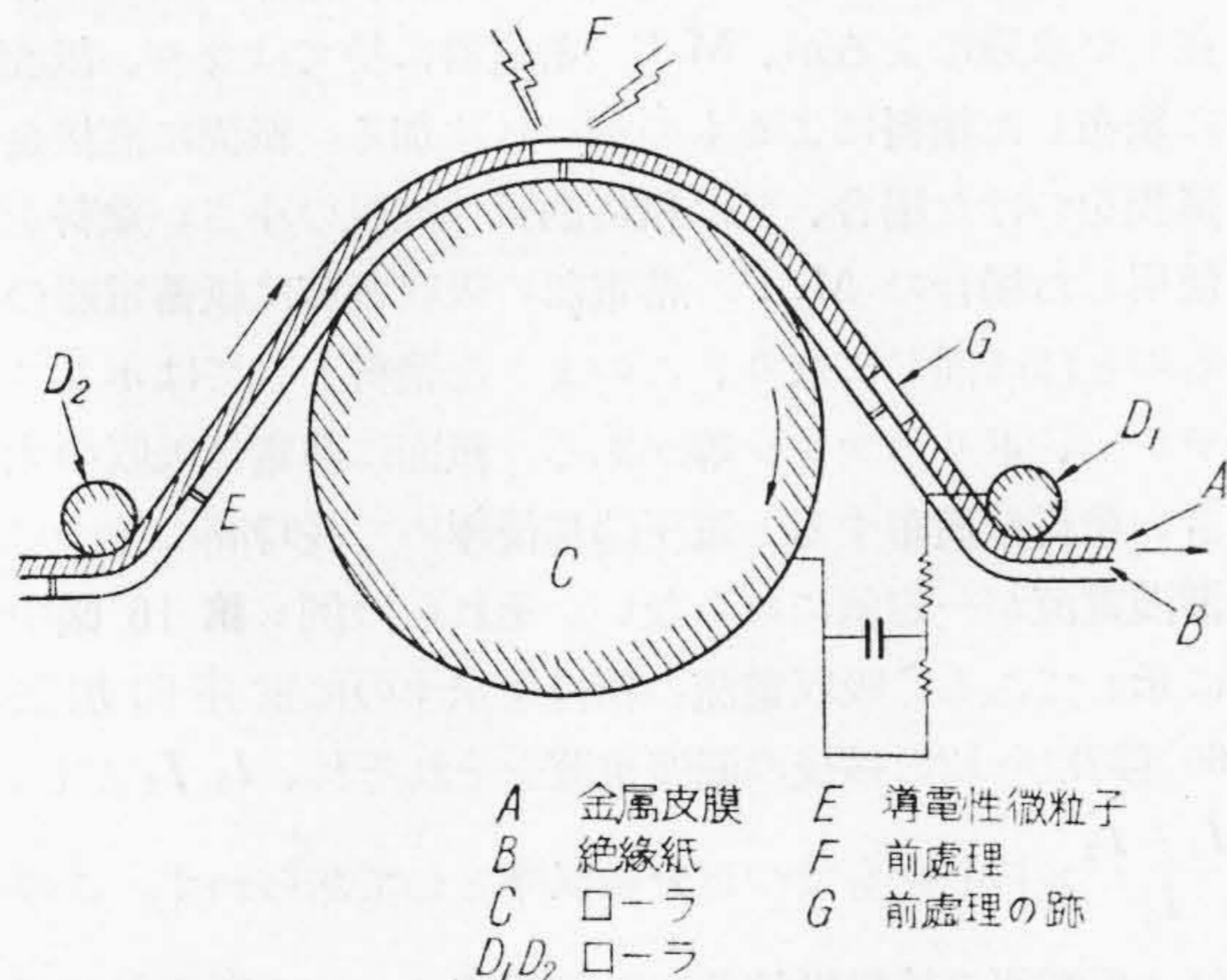
試料番号	絶縁抵抗 ($\Omega\text{-}\mu\text{F}$)
1	68
2	30
3	49
4	450
5	82

て前処理を施す。即ち金属面が外になるようにして金属化紙を金属製のローラの上を通じながら、ローラと金属膜との間に電圧を印加すれば紙中に含まれた導電性微粒子、あるいは耐圧の低い点に於て放電が行われ、その部の Zn 膜が消失し、電極膜は導電性微粒子その他の弱点より分離される。よつてこの処理を施した金属化紙を 2 枚重ねて巻けば性能の良い蓄電器となる。この処理を前処理と云う。これが、両電極間を 2 枚又はそれ以上の絶縁紙を用いて絶縁する紙蓄電器と異り、M.P. 蓄電器に於ては両電極間を単に絶縁紙 1 枚で絶縁出来るゆえんである。

(5) 塗料塗布

絶縁紙は各種植物繊維を砕いたものを絡み合せて作られ、出来るだけ均一に作つてはあるが、ピンホール、表面の凹凸、組織の不均一はまぬかれない。この外抵抗の低い不純物即ち導電性微粒子をも含む。

紙面に直接金属膜を蒸着すると、それは紙の凹部、ピンホールの中にまで入りこむ。依て耐圧の高い蓄電器を作るには特に紙面に塗料を塗布し、その表面を平滑にしその上に金属膜をつける。その関係を第 14 図に示した。塗料の厚みは約 0.001 mm である。



第 13 図 前処理方式
Fig. 13. Scheme of Treatment

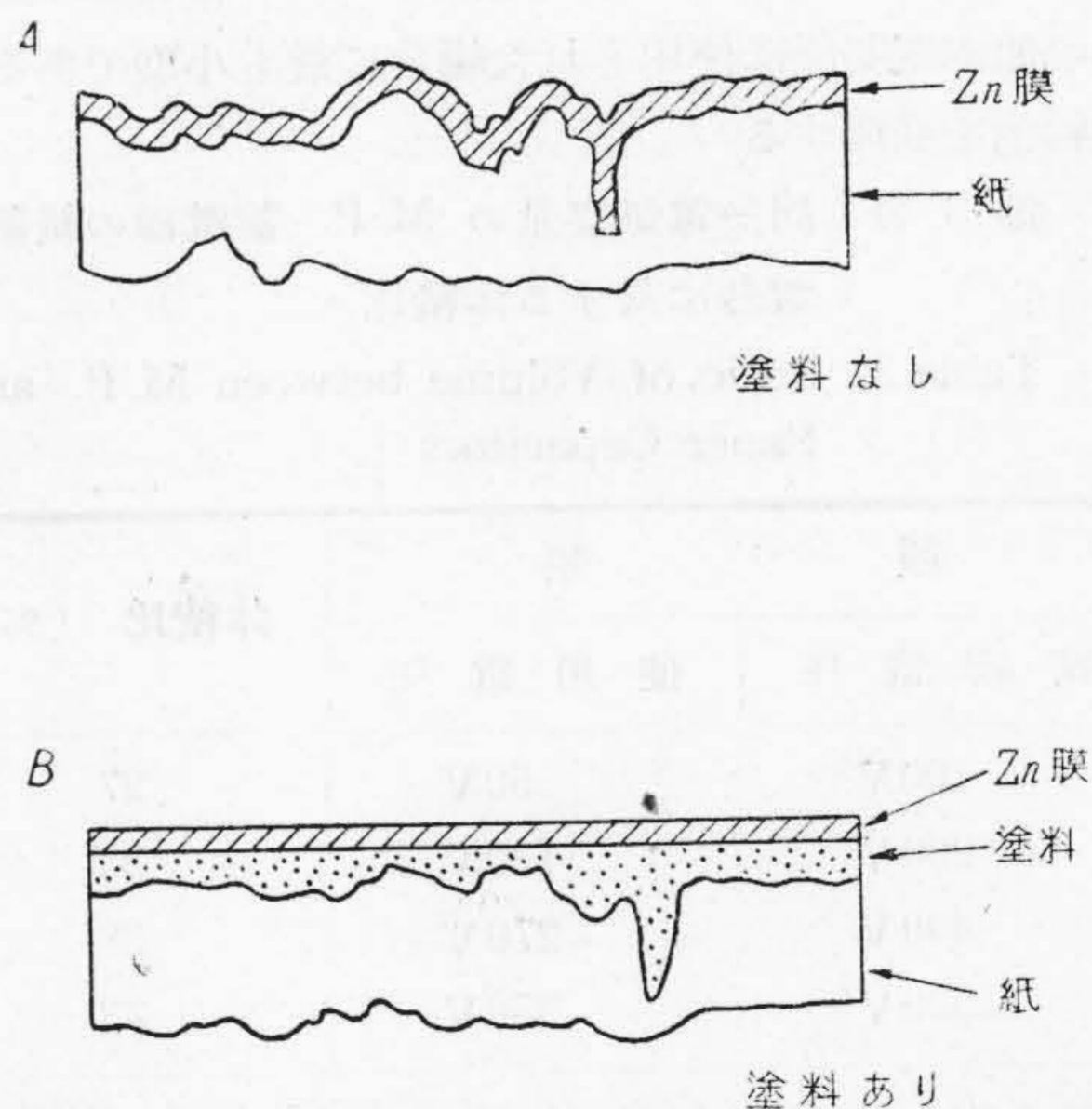
使用塗料としては、電氣的、物理的、化学的に優れたものを希望するが理想的のものはない。

(6) M.P. 蓄電器の巻き方

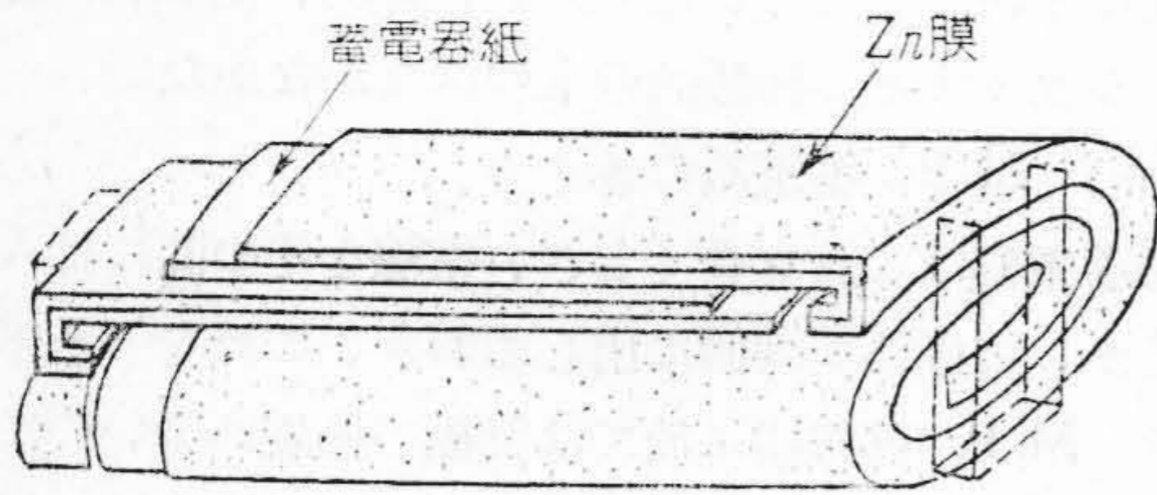
紙蓄電器はこれを巻くとき、電線をその間に挿入しておくか、電極箔を両側に出しておき、これをリード線とする。M.P. 蓄電器に於ては電極が極端に薄いので若しこのようにするとその部の電極膜が充放電電流によつて飛散し去るため一般にはボッシュの組立て方法が用いられる。即ち金属化紙を作るとき、その従つての方向にそつて一方はその端まで金属膜を付け、一方は約 1.5mm 付けないで残す。付けた方の縁を金属膜が外に出るように折り返えし左右に折り返しが出来るように 2 枚を重ねて巻くと、巻いた両方の端に両電極の折り曲げ部が揃つて出る。この部に溶けた金属を吹付けこれに電線を半田づけしリード線とする。その関係を第 15 図に示した。

なお我々は、蒸着時一方の端の裏側にまで 1~2 mm 金属膜を蒸着しておき、折り返しの必要なく単にその 2 枚を重ねて巻くだけで蓄電器素子を組立てることに成功している。

第 15 図の組立方法によつて、幅 43 mm 厚さ 0.012 mm の絶縁紙に塗料の 0.001 mm の膜を塗布した上に Zn 膜を蒸着したものを用い 1 μF の蓄電器を作ると、その両電極の長さは約 6 m づつとなる。蒸着 Zn 膜の抵抗を幅 10mm 長さ 100mm 間で 15 Ω とすると、蓄電器中の膜の電気抵抗は 0.063 Ω となり、この値は 1 μF の蓄電器の 1. kC に於けるリアクタンス 159 Ω の 0.39 % となる。この値は通常の紙蓄電器に於てはほとんど問



第 14 図 金属化紙製造に於ける塗料併用の効果
Fig. 14. Effect of Lacquering in Metallized Paper
A: without Lacquering
B: with Lacquering



第 15 図 M.P. 蓄電器巻き取り方

Fig. 15. Winding Scheme of Metallized Paper Capacitors

題とならない程小さいものであるが、M.P. 蓄電器に於てはこれだけが膜の抵抗による蓄電器の損失分となる。

巻き上げてリード線を付けたものは、ケース中に入れ適当に真空乾燥を行い、パラフィンを注入するか、巻いたものにパラフィン注入を施してからケースに入れる。

最後になお一応電圧を印加し、耐圧不足の点その他で放電を行わせ、その部の電極を除去し完成品とする。

〔Ⅲ〕 M.P. 蓄電器の諸特性

M.P. 蓄電器の最大の特長は小型であることとパンクが自動的に回復することであるが、なお一般の蓄電器と等しく、絶縁抵抗、電気容量、力率、耐圧、寿命等も問題となるのでこれらの諸点につき簡単に誌す。

(1) 単位電気容量あたりの蓄電器の体積

使用する絶縁紙の厚みを薄くすると、蓄電器の容積あたりの電気容量は増すが耐圧は低下する。各種厚みの絶縁紙を使用した M.P. 蓄電器を試作し、その体積あたりの電気容量の関係を紙蓄電器と比較した。結果を第 3 表に示した。表により明かな如く M.P. 蓄電器は通信機その他弱電関係に使用された場合に最も小型であることの特徴を発揮する。

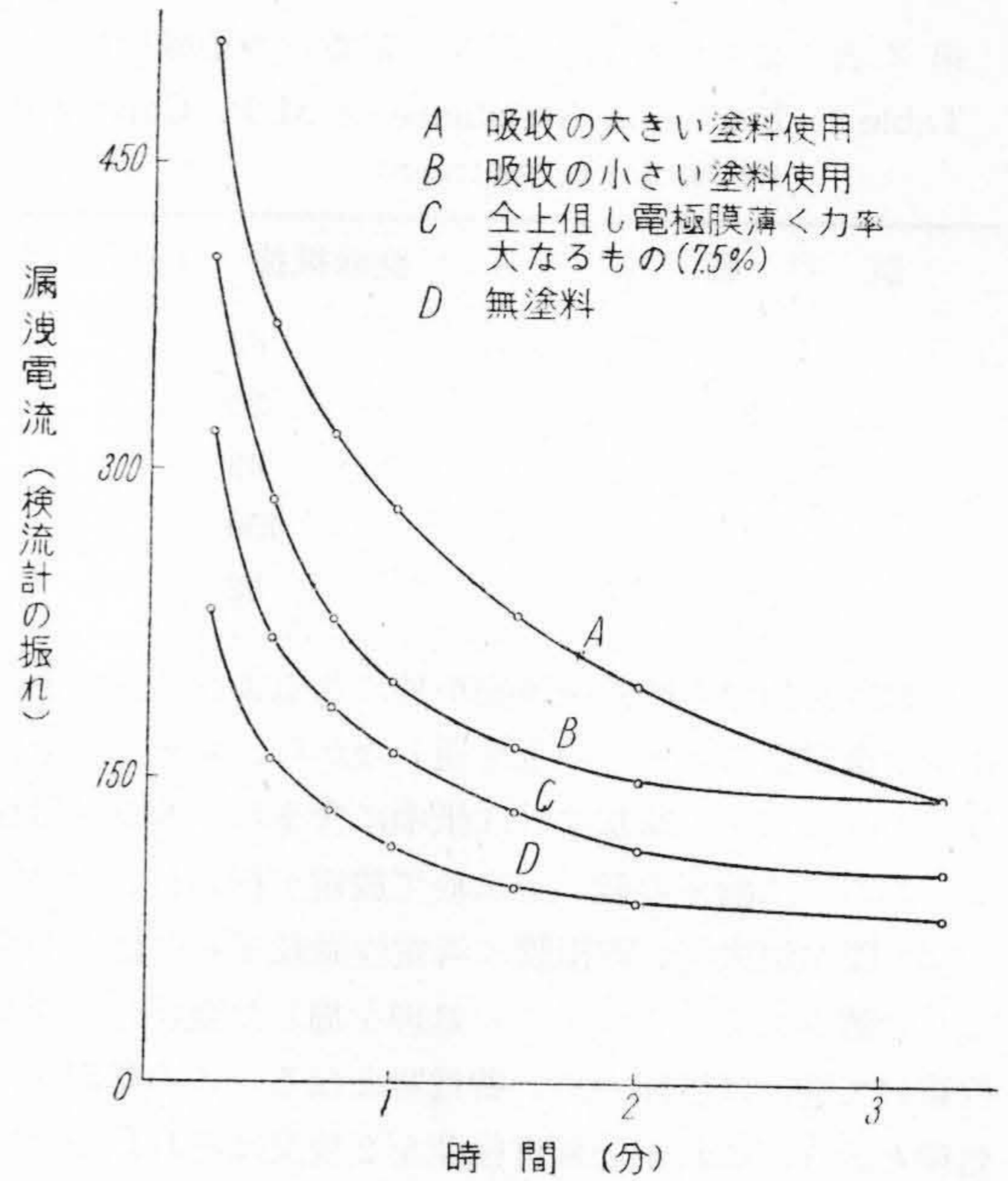
第 3 表 同一電気容量の M.P. 蓄電器の紙蓄電器に対する体積比

Table 3. Ratio of Volume between M.P. and Paper Capacitors

種 類		体積比 (%)
試 験 電 圧	使 用 電 圧	
100V	50V	27
200V	120V	34
400V	270V	58
500V	350V	73

第 3 表の結果は幅 43mm の絶縁紙を用いた場合のものであり、より紙幅の広いものを使用すれば一定容積あたりの電気容量はなお増加する。これは蓄電器素子両側の折り返しし部等の割り合が減るからである。

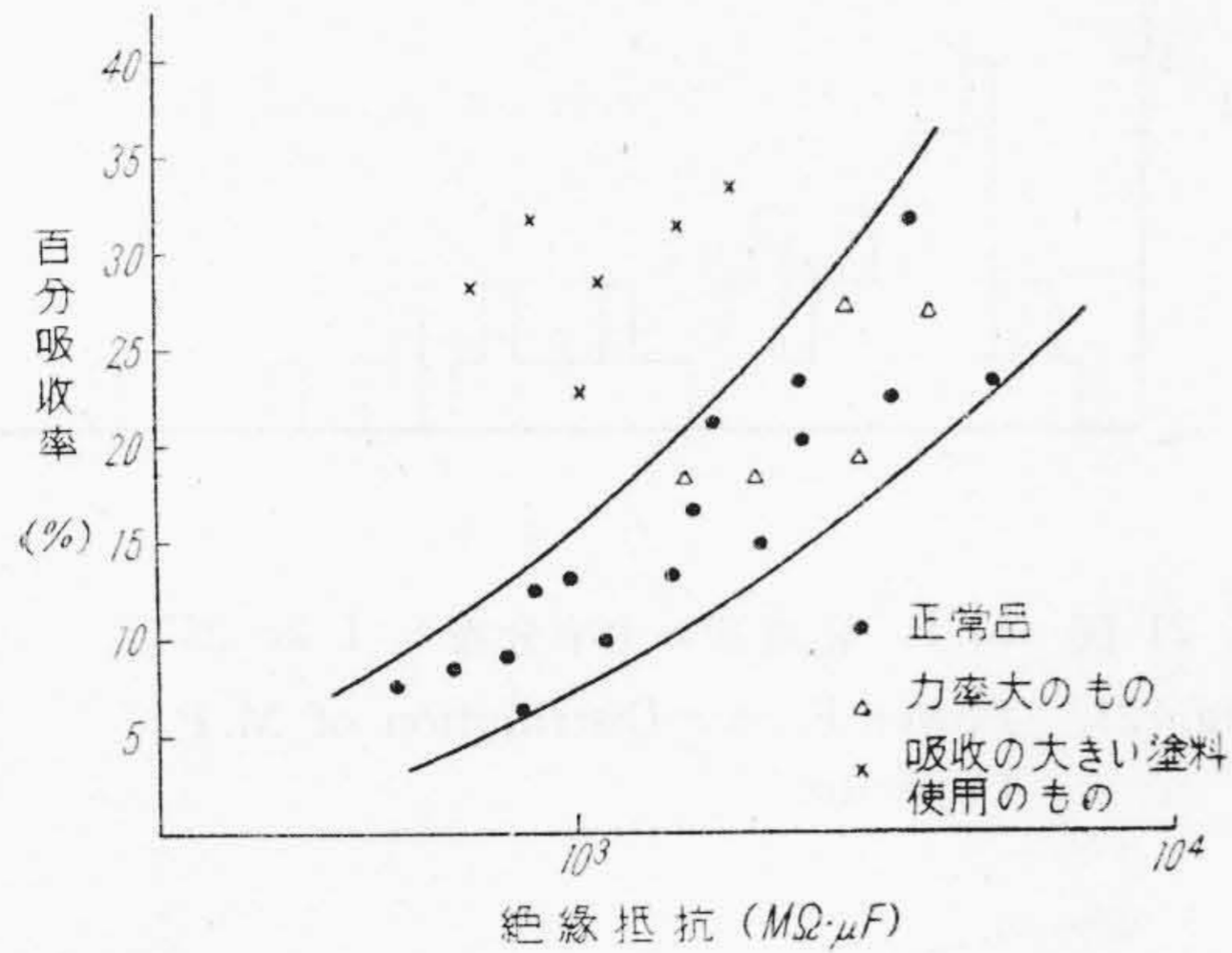
(2) 吸収電流



第 16 図 M.P. 蓄電器の充電電流の変化

Fig. 16. Charging Current of M.P. Capacitors

一般に蓄電器の絶縁抵抗は、試料に一定電圧の直流を印加し流れる電流を検流計を用いて測り、その逆数として算出する。この時初めは急激に電流が流れるが漸次減少して一定となるので、通常は充電 60 秒後の電流値より絶縁抵抗を求める。第 16 図に試作 M.P. 蓄電器に電圧を印加した場合の電流の変化を示した。この電流は、蓄電器の静電容量に相当する充電電流と、絶縁体の吸収による電流と、漏洩電流との和であつて初めの 2 者が時間とともに減るため図の如き変化をするのである。通常の紙蓄電器に於ける絶縁体の吸収は使用する紙、パラフィン又は絶縁油、及び吸湿又は乾燥不十分によつて存在した水分によるが、M.P. 蓄電器に於てはなお、紙面に塗布した塗料によるものがこれに加る。紙面に直接金属膜をつけた場合、又は紙に誘電体吸収の小さい塗料を使用した場合の M.P. 蓄電器の吸収電流は紙蓄電器のものと同様になり、このような塗料としてはポリスチレン、ポリエチレン等がある。紙面に誘電体吸収の大きい塗料を塗布すると電圧印加後極めて長時間に渉つて漏洩電流が一定値にならない。それらの例も第 16 図中に示してある。吸収電流の特性を示すのに電圧印加後 60 秒及び 120 秒後の漏洩電流をそれぞれ、 I_1, I_2 とし、 $\frac{I_1 - I_2}{I_1} \times 100$ をもつて百分吸収率としてあらわす。この値は蓄電器の絶縁抵抗及び吸収電流によつて変るものである。第 17 図に試作 M.P. 蓄電器によつて求めた百分吸収率の関係を示した。



第 17 図 M. P. 蓄電器の百分吸収率と絶縁抵抗との関係 (100 V)
Fig. 17. Adsorption Coefficient of M. P. Capacitors

なお吸収電流は、塗料自体によるもの以外に、塗料中の不純物によると考えられる場合がある。詳しい説明は略すが又温度及び電圧の上昇によつても増加する。

(3) 絶縁抵抗

(A) 紙蓄電器との絶縁抵抗の比較

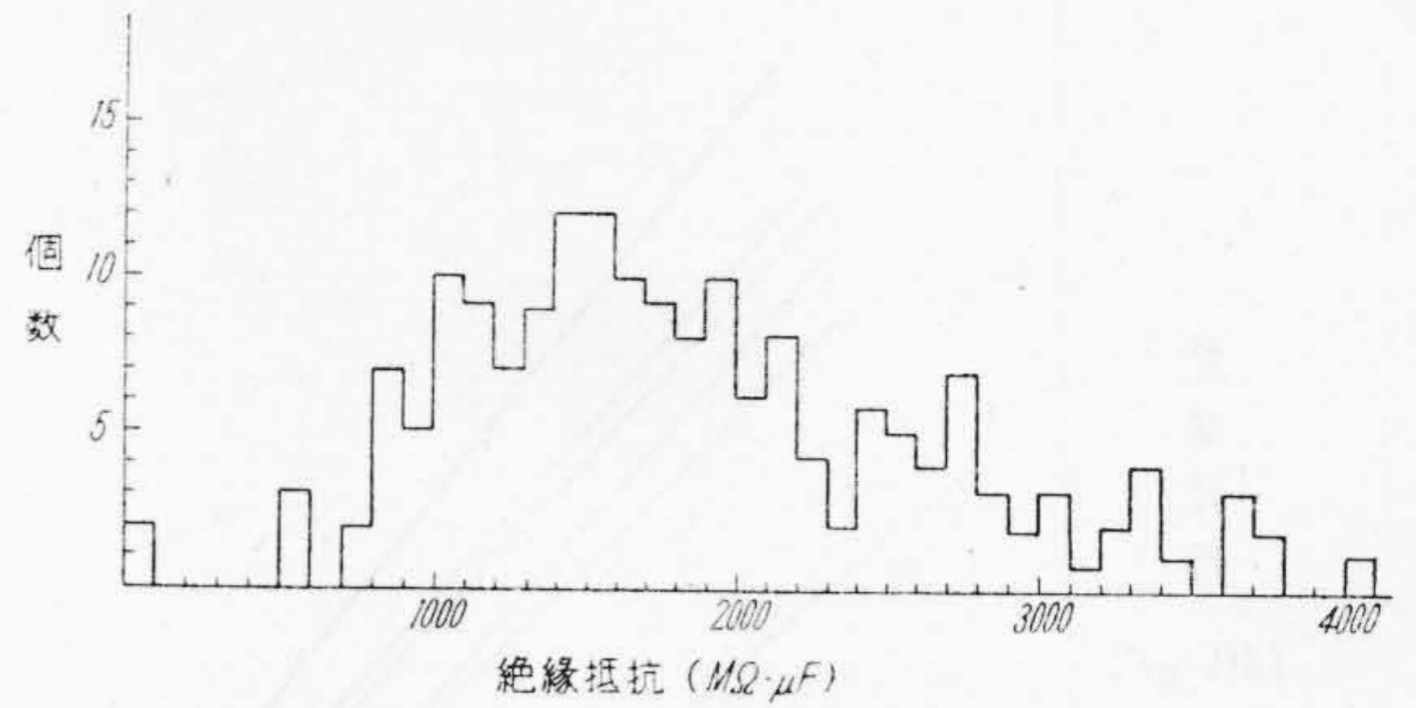
蓄電器用絶縁紙中には導電性微粒子の如き弱点を含むので、紙蓄電器に於ては両電極間に 2 枚以上を入れていることは既に述べた。このようにすることによつて、紙蓄電器の絶縁抵抗は、大体 20°C に於て 5,000~10,000 MΩμF となる。この値は温度の上昇によつて低下する。電気通信省仕様書中、通信機用紙蓄電器仕様書(草案)によると、1μF あたりの絶縁抵抗として、クロールナフタリン又はパラフィン注入品については

$$R = 4,100 \left(\frac{1}{2.05} \right)^{t/10} \text{ M}\Omega \text{ 以上、絶縁油注入品について}$$

$$\text{は、} R = 6,150 \left(\frac{1}{2.05} \right)^{t/10} \text{ M}\Omega \text{ 以上を規定している。}$$

(t: 摂氏温度)。これは大体パラフィン注入品に於ては 20°C で 1,000 MΩ·μF 以上と云うことになる。この値より絶縁抵抗の低い紙蓄電器は、その内部に欠点があることを意味しており、耐圧及び寿命に不安があることを意味している。

M. P. 蓄電器の絶縁抵抗は一般にこれより低いものを含む。それは M. P. 蓄電器に於ては、例へばパンクしても直ちに完全に回復すればよいので、この値にあまり神経質になる必要は無く、又回路の設計条件としても、蓄電器の内部抵抗に数百 MΩ μF 以上を要求することは少ない。戦時中独逸より輸入された M. P. 蓄電器の絶縁抵抗としては、538, 290, 294, 1860, 1190, 8400, 7900 (MΩμF) の如き値が報告されているし、戦後、英国ジュ

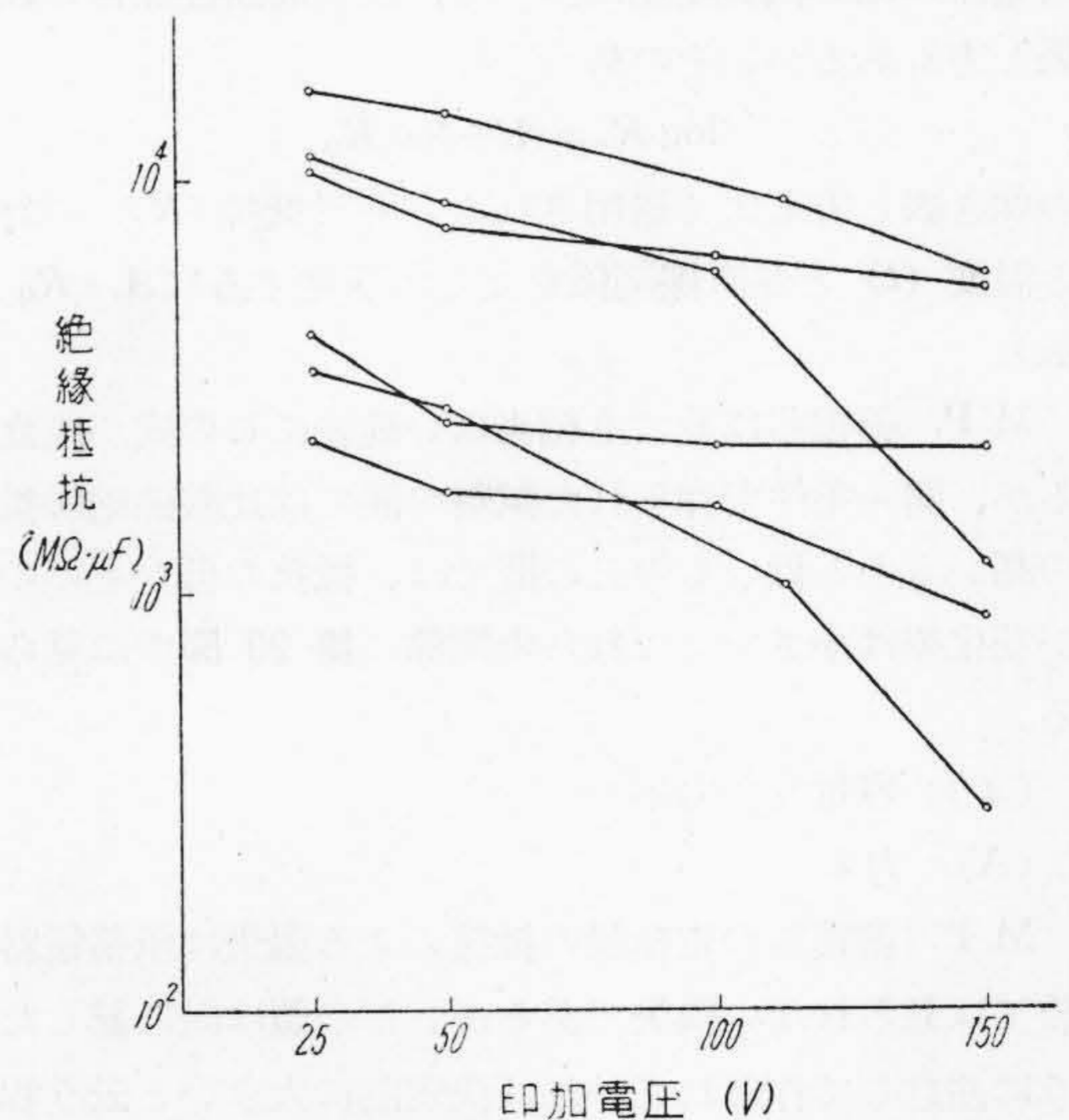


第 18 図 M. P. 蓄電器の絶縁抵抗分布 (計 180 個、温度 21°C, 100 V 直偏法)
Fig. 18. Insulation Distribution of M. P. Capacitors

ベリアより発売された M. P. 蓄電器のカタログによつてもその値としては 100 MΩμF と規定している。米国のものも大体この程度らしい。よつて、M. P. 蓄電器の製作にあつても、一応その絶縁抵抗としては 20°C に於て 1,000 MΩμF 以上を標準として研究を進めた。第 18 図に 1μF の M. P. 蓄電器 180 個の絶縁抵抗の分布を 1 例として示した。この値は、製作方法によつて広く変動するもので図に示したのはその中の 1 つの方式によつた場合のものである。第 18 図の結果はあらゆる点から見て満足出来るものである。

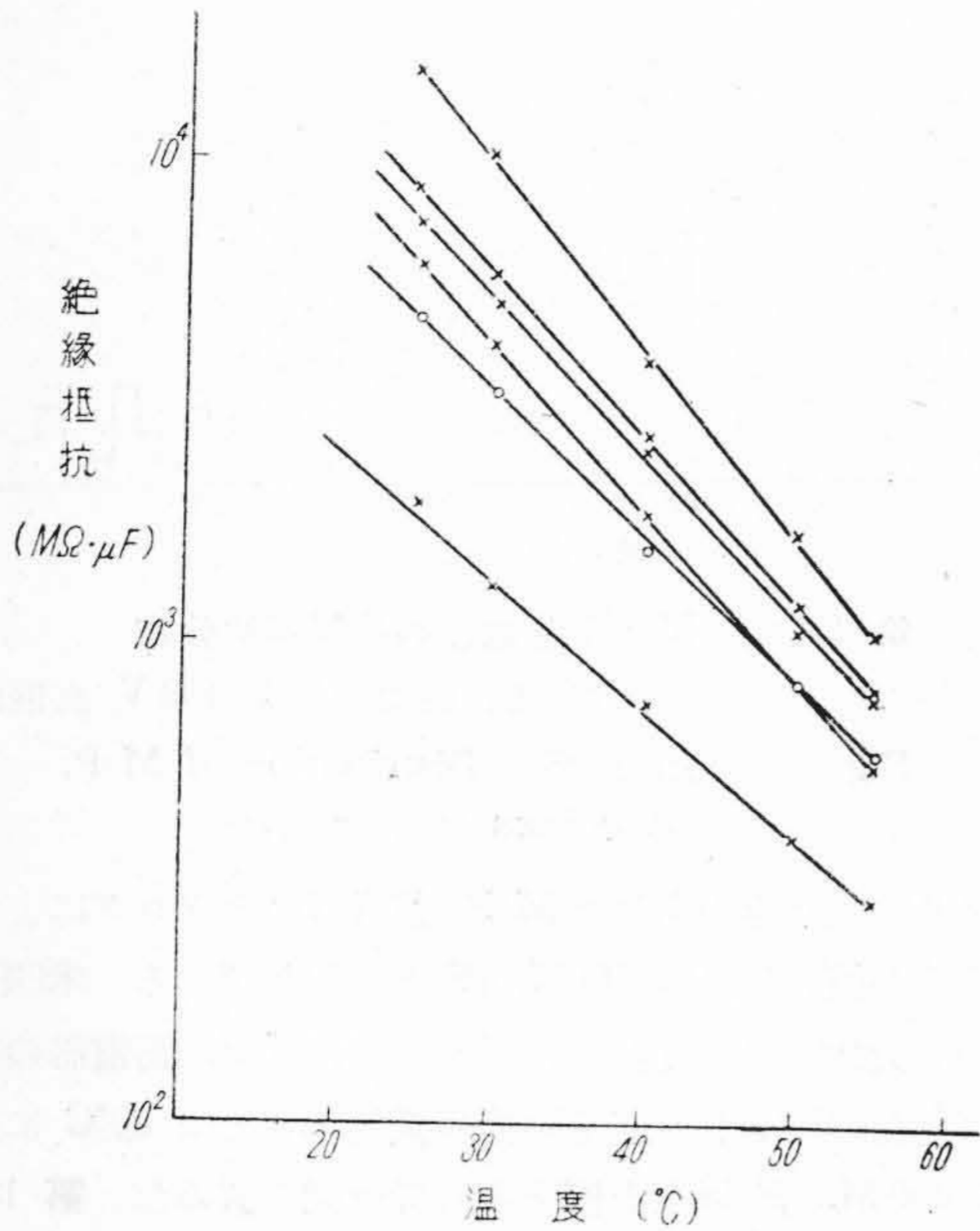
(B) 絶縁抵抗と印加電圧との関係

紙蓄電器と等しく、M. P. 蓄電器に於ても、これに印加される電圧が増すと、漏洩電流はそれ以上に増加する即ち絶縁抵抗が低下するが勿論変化の小さいものの方が



第 19 図 M. P. 蓄電器の印加電圧と絶縁抵抗との関係

Fig. 19. Relation between Applied Potential and Insulation Resistance



第 20 図 M.P. 蓄電器絶縁抵抗の温度特性
 Fig. 20. Temperature Characteristics of Insulation Resistance of M.P. Capacitors

望ましい。この関係の例を第 19 図に示した、実測によると欧米のものもほぼ斯の如くなっている。

(C) 絶縁抵抗と温度との関係

一般に絶縁体の絶縁抵抗は温度の上昇によつて低下し蓄電器の絶縁抵抗変化については前記通研仕様書の如き表し方もあるが、その外

$$\log R_t = At + \log R_0$$

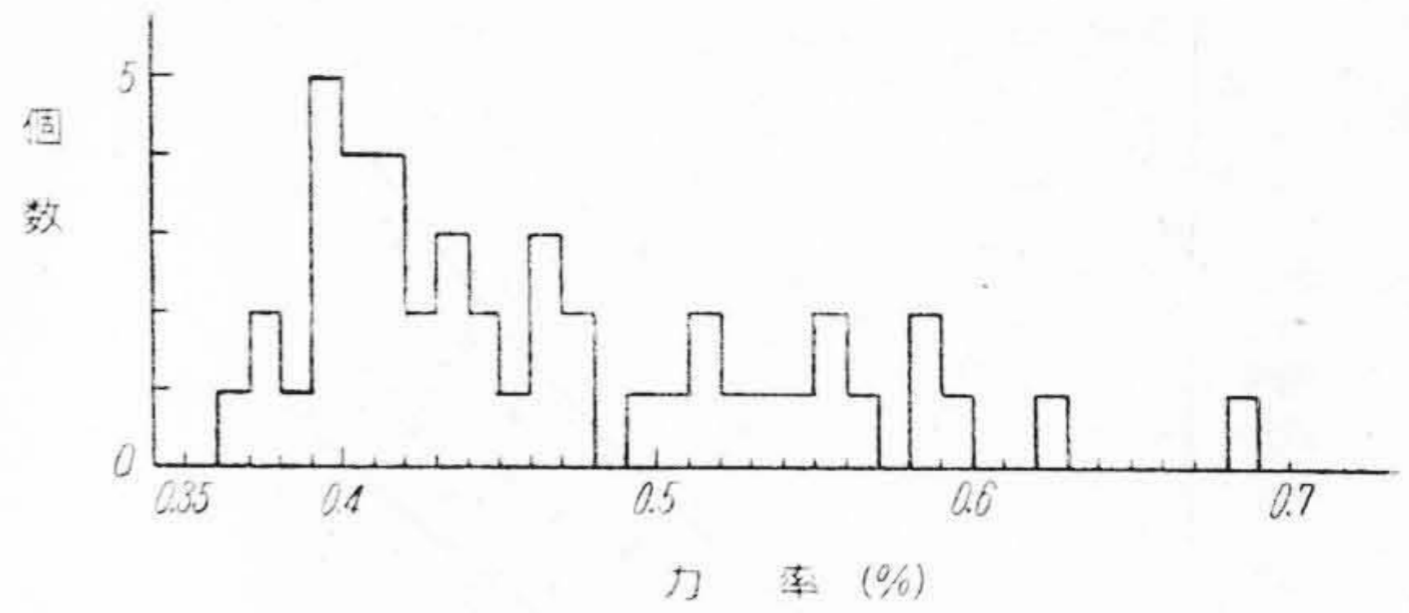
の如き表し方も広く適用される。即ち抵抗 (R_t) の対数と温度 (t) とが直線関係をなして変化する (A, R_0 恒数)。

M.P. 蓄電器に於ても相当広い範囲にこの式が成立するが、同一条件で作られた試料の間では比較的絶縁抵抗の高いものと低いものとの間では、抵抗の低いものの方が変化率は小さい。これらの関係は第 20 図中に見られる。

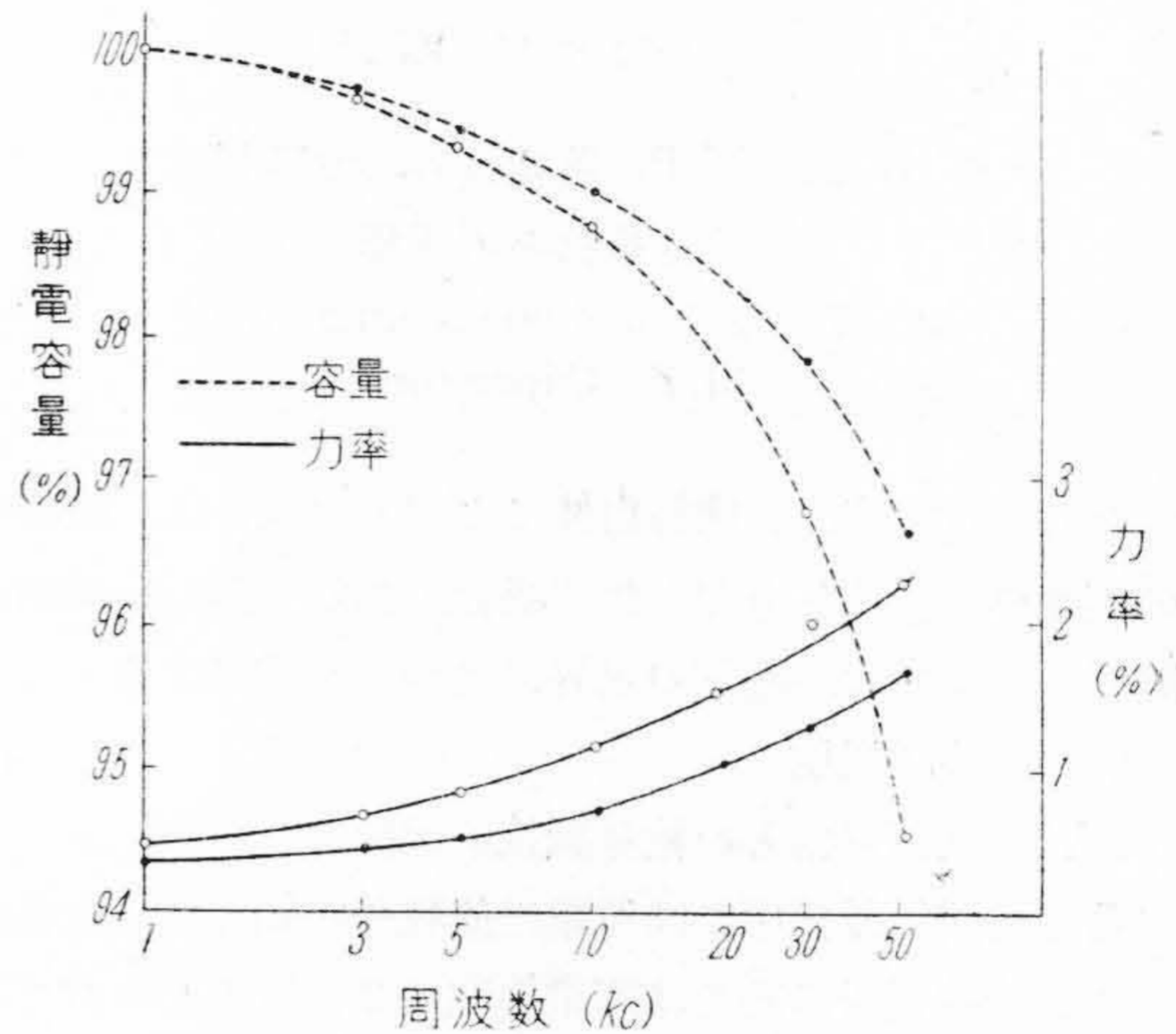
(4) 容量及び力率

(A) 力率

M.P. 蓄電器の電極膜の抵抗による損失は紙蓄電器に於ては見られない損失であるが、この値は既に誌したように注意して作られていれば決定的に大きいと云う程のものでも無く、巻き方は無誘導であり、又同一電気容量あたりの絶縁物の使用割合が小さいこともあつて、その力率は一般に予想されていたものより遙かに小さい。第 21 図に試作品の力率の分布を示した。(25°C 1kC)



第 21 図 M.P. 蓄電器の力率分布 (1 kc 25°C)
 Fig. 21. Power Factor Distribution of M.P. Capacitors



第 22 図 M.P. 蓄電器の容量及び力率の周波数特性の 2 つの例

Fig. 22. Two Examples of Capacity and Power Factor Frequency Characteristics of M.P. Capacitors

(B) 容量及び力率の周波数特性

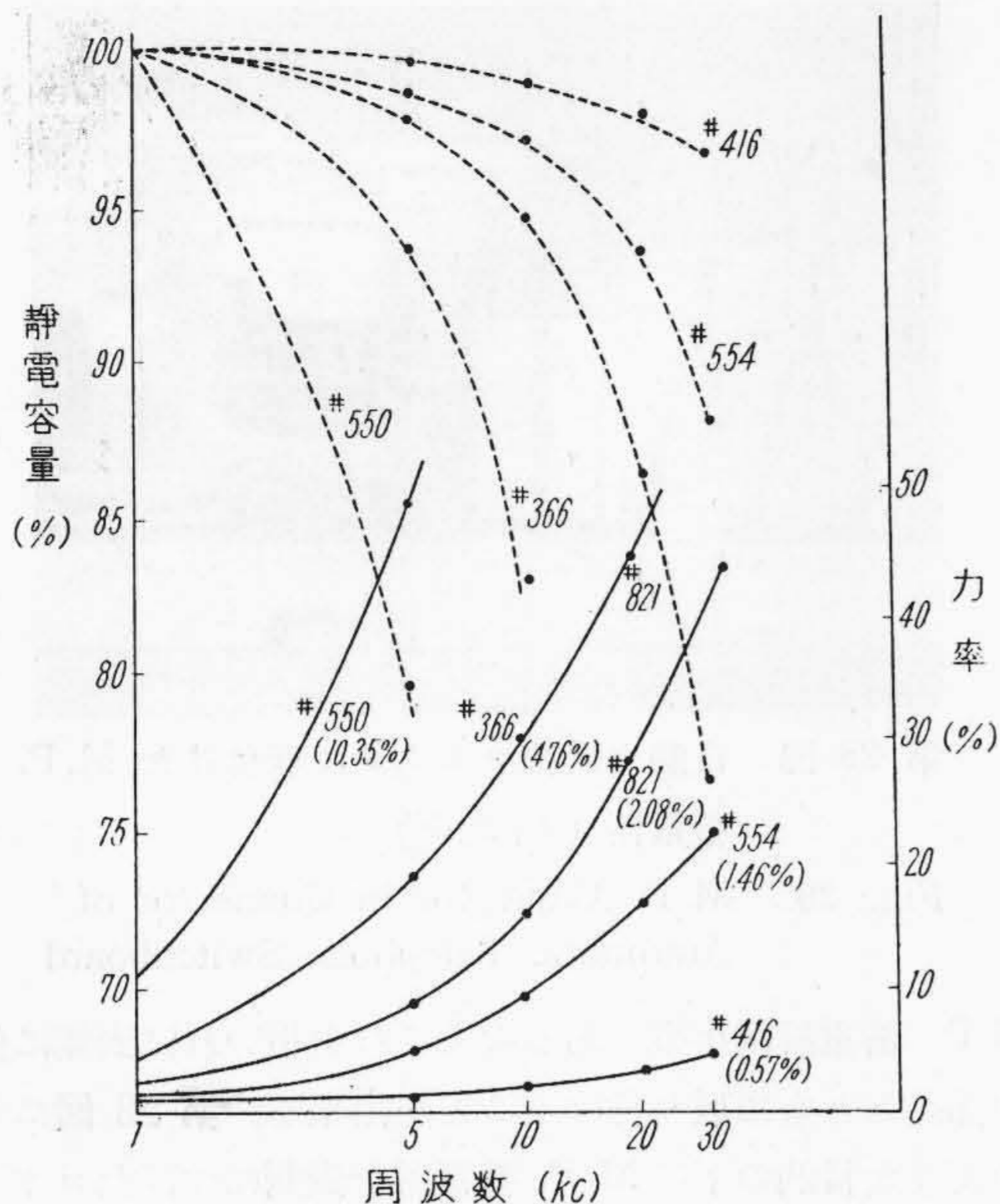
同時にその容量及び力率の周波数特性も良い。数例を第 22 図に示した。

但し、電極薄膜の抵抗が極端に大きくなると、蓄電器の力率並びに力率及び容量の周波数特性は低下する。このような一組の M.P. 蓄電器について測定した結果を参考のため第 23 図に示した。

なお、これら不良試料は、誘電体不良による力率増加のものと異り、その吸収電流特性が正常のものと同様であるのも M.P. 蓄電器に特有のことである。第 16 図中にその例を示した。

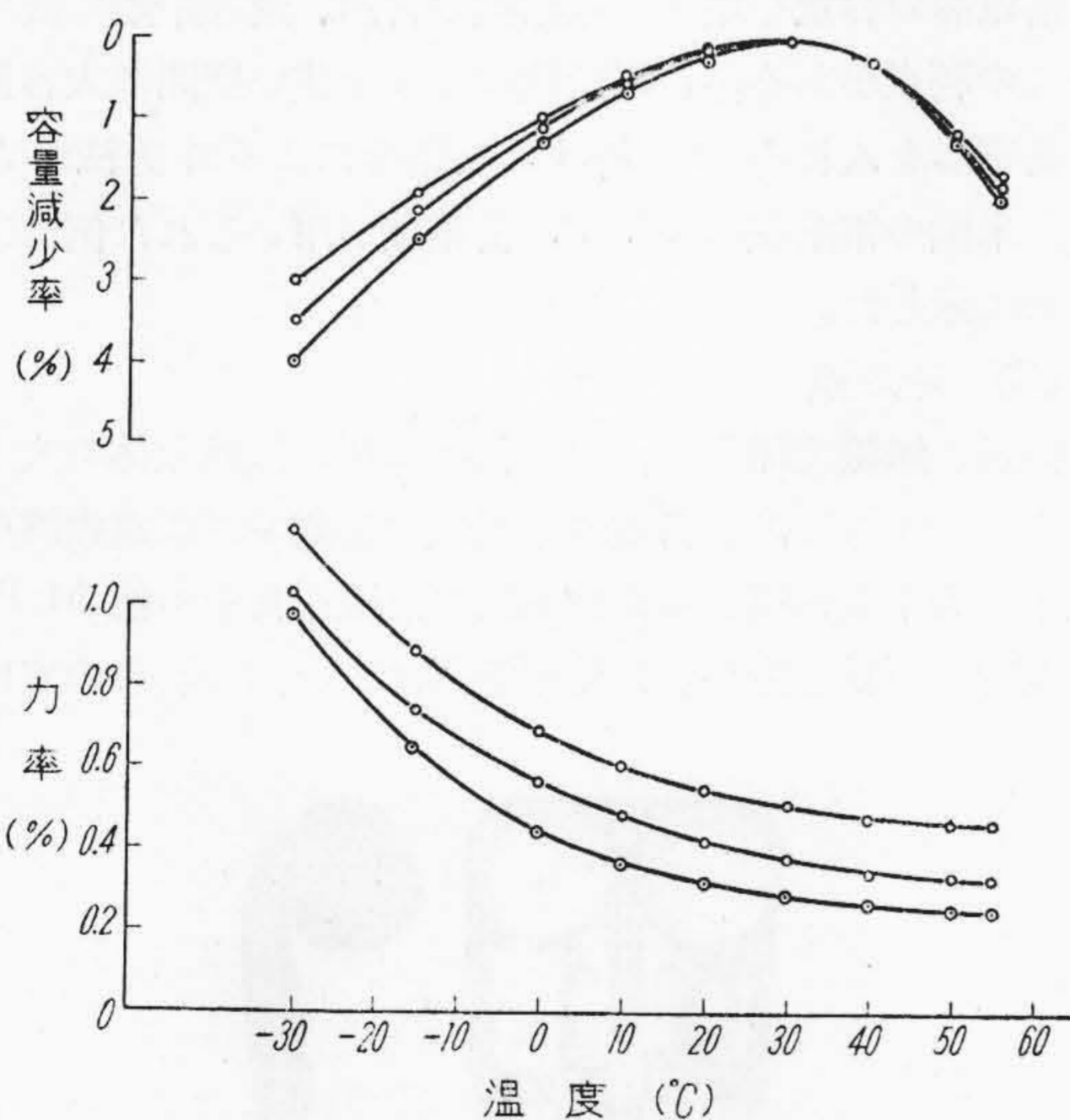
(C) 容量及び力率の温度特性

-30°C より +50°C の間に涉つて、試作品の容量及び力率の変化を周波数 1kC. で測定した。得られた結果は大體紙蓄電器のものと類似しており、第 24 図にその代表的のものを示した。詳細に吟味すると、その力率中金属膜による部分は温度によつて変化せず図に示した 3



第 23 図 不良 M.P. 蓄電器の容量及び力率の周波数特性の数列 ()内の数値は試料の 1kc に於ける力率%

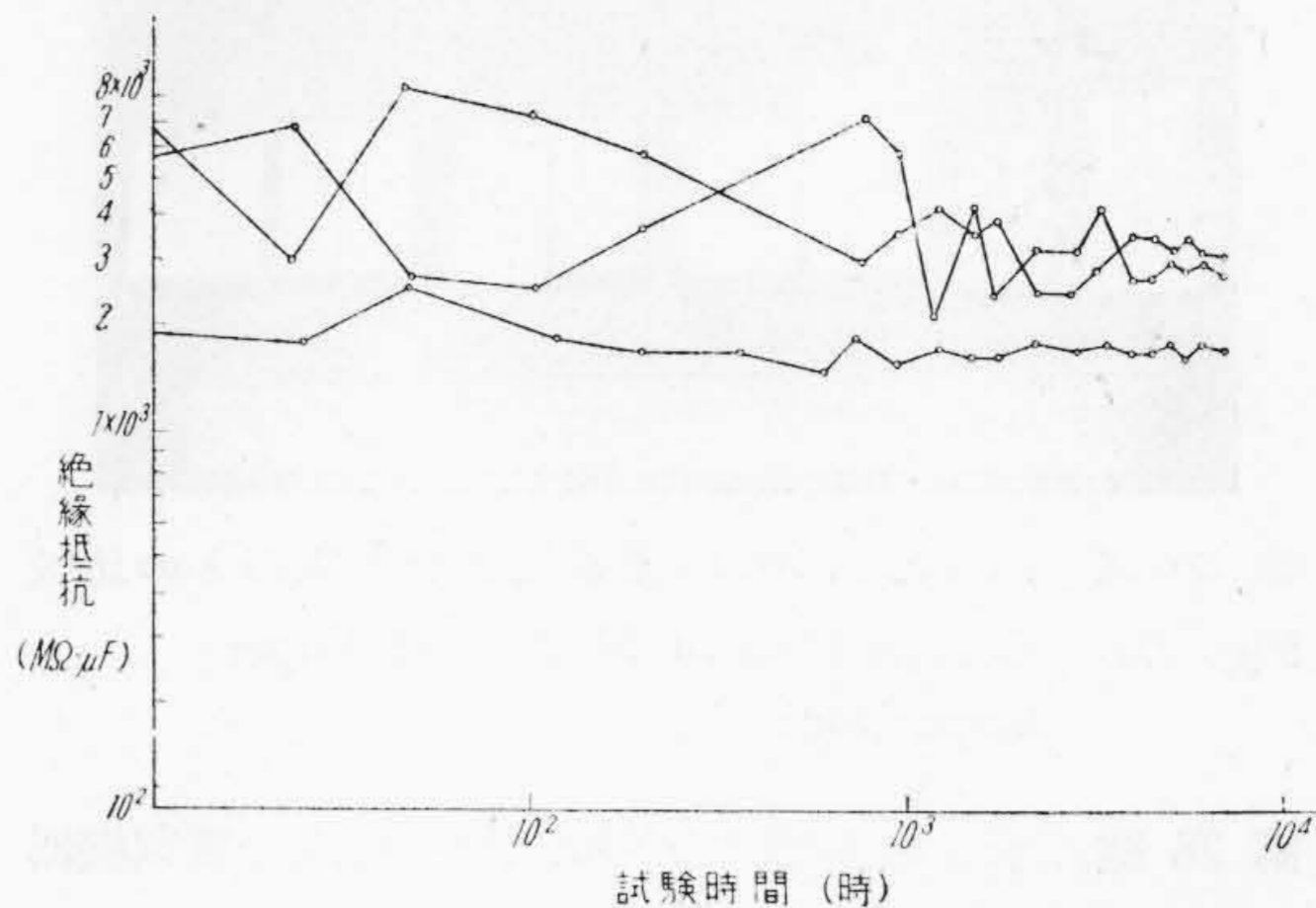
Fig. 23. Some Examples of Capacity and Power Factor Frequency Characteristics of Bad M.P. Capacitors



第 24 図 M.P. 蓄電器の容量及び力率の温度特性(1kc)

Fig. 24. Temperature Characteristics of Capacity and Power Factor of M.P. Capacitor

本の力率の曲線はそのためにほぼ平行に変化している。又誘電体の温度変化による蓄電器の性能の変化も蓄電器の作り方によつて異なる等微妙な点があるが省略する。



第 25 図 M.P. 蓄電器寿命試験に於ける絶縁抵抗の変化 D.C. 300V

Fig. 25. Change of Insulation Resistance During the Life Test

(5) 寿命試験

蓄電器の寿命の中で一番問題となるのはパンクである。紙蓄電器に於ては明確にこれが求められる。高速度寿命試験によれば、試料の温度を昇げ、比較的に高圧を印加しておきパンクするまでの時間を測ることにより 24 時間以内にその等価値を求め得る。M.P. 蓄電器に於てはむしろパンク後の絶縁回復がどの程度まで完全に行れるかが問題である。よつて試料に各種電圧を印加しておき、絶縁抵抗の変化を測つた。第 25 図にその数列を示す。絶縁抵抗がほとんど変化しないものと、凸凹をなしているものとある、ただどちらもある電圧以下では決定的に不良になつていないと云うものは無い。ある電圧以上になると放電後の絶縁回復が不完全となる。以上の結果は皆使用電圧 270V, 試験電圧 400V のものを用いて行つた結果である。

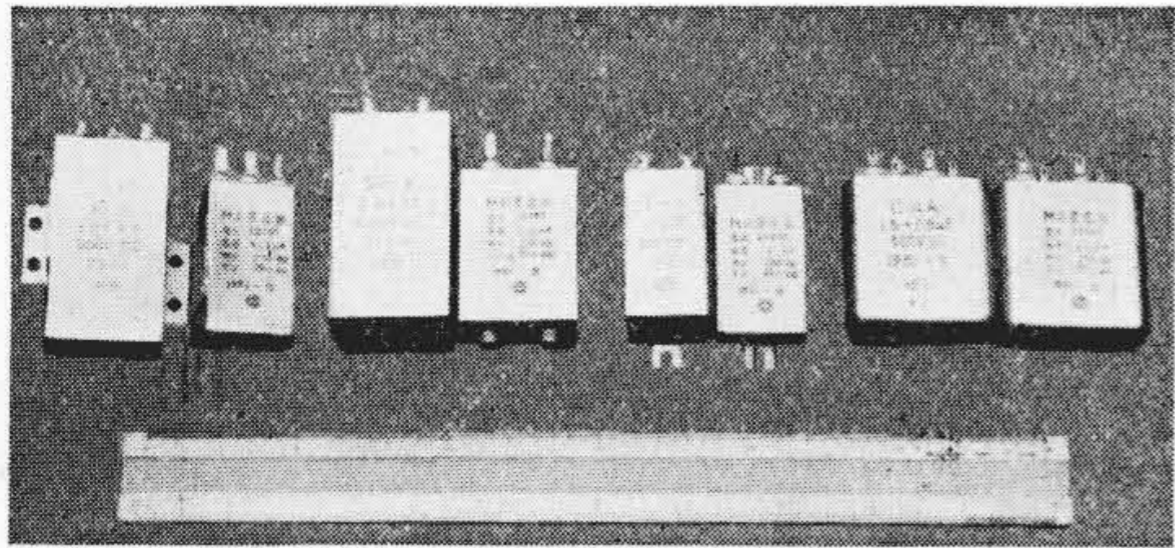
なお、この点については、一層の改善が行われつつあり、より高圧に耐えるものの試作もなされている。

紙蓄電器ではその心配が殆んど無いが、M.P. 蓄電器に於ては両電極間に電圧を印加しておく正の極の電極薄膜が漏洩電流によつて電蝕を受け膜の抵抗が増加し、蓄電器の力率が増すことがある。これは乾燥の不完全、パラフィン及び塗料中の不純物によることが多いので、注意して作られれば致命的と云う程のことは無い。

蓄電器としては、この外なお耐熱試験、耐湿試験、密閉試験等が行れるが、これらは金属ケース、碍子の性能等によることが多く紙蓄電器とほぼ同じである。

[IV] M.P. 蓄電器の応用

紙蓄電器に比して小型であり又パンクの心配がないので、M.P. 蓄電器は広く紙蓄電器におきかわつて行くであろう。



第 26 図 試作した M.P. 蓄電器と紙蓄電器との比較
Fig. 26. Comparison of M.P. and Paper Capacitors

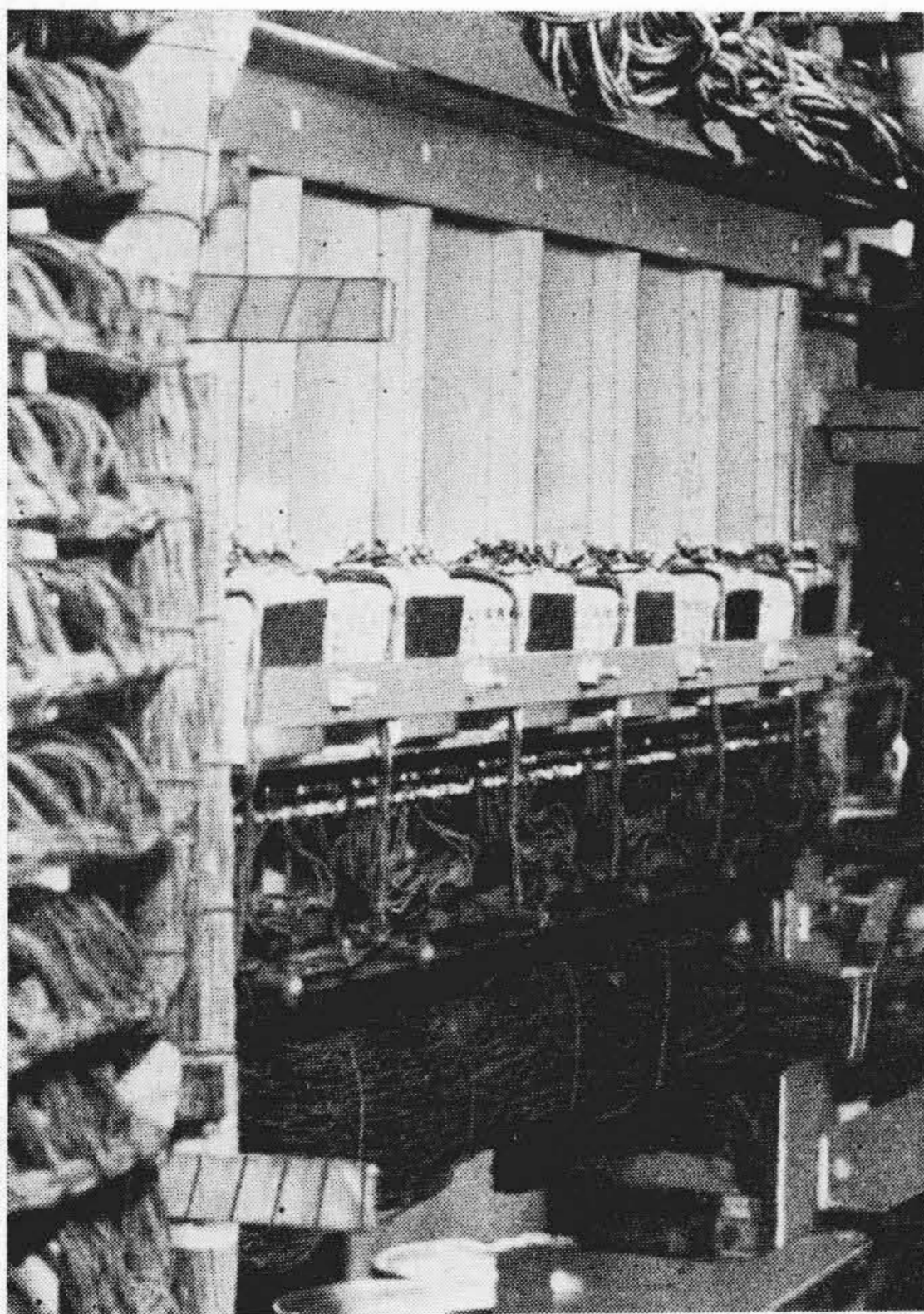
第 26 図に示す如き形状の各種試料を作成し電気機器への応用を試みた。

(A) 電話自動交換機

戸塚工場内 200 回線自動交換機に取り付けてあつた紙蓄電器を全部 M.P. 蓄電器と入れ代えた。電話回路の電圧は 24V であるが、ダイヤルを回転するとき 250V 程度のインパルスが発生して蓄電器にかかる。取り付け後約 1 年経過したが少しの異状もなく満足に動作している。

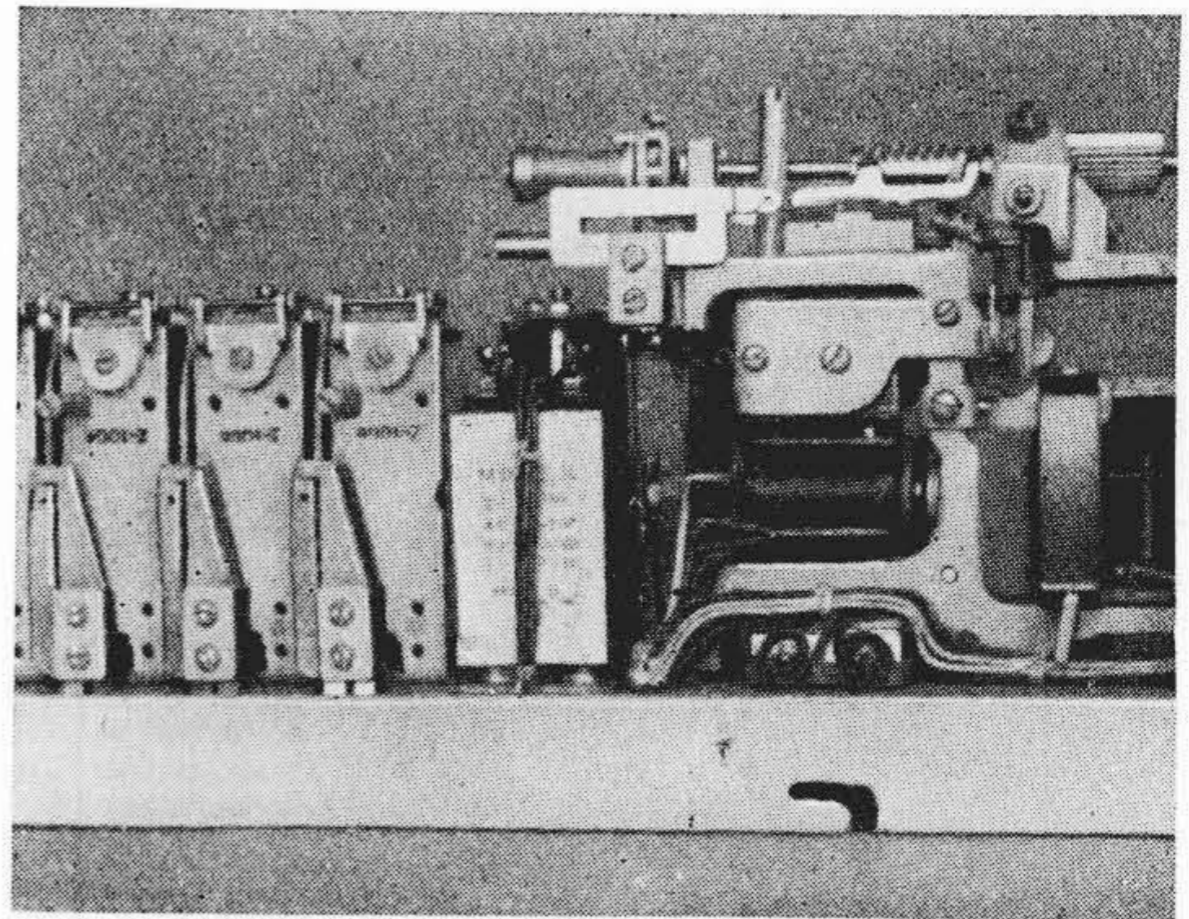
第 27 図はその交換機を示す。

自動交換機はセレクトタ、コネクタその他よりなり、多量の蓄電器を使用する。特にコネクタにつける蓄電器の如きは場所の制約を受けるため、組立て及び保守に多大の不便を感じながらも交換機の裏側にとりつけている。



第 27 図 戸塚工場構内交換機に取り付けた M.P. 蓄電器

Fig. 27. M.P. Capacitors adopted to Automatic Telephone Switchboard in Totsuka Works



第 28 図 自動交換機コネクタに取付けた M.P. 蓄電器 (2+2 μ F)

Fig. 28. M.P. Capacitor in Connector of Automatic Telephone Switchboard

M.P. 蓄電器は小型であるのでこれを用いれば表側に他の部品とともに取り付けることが出来る。第 28 図にそのような目的の下に M.P. 蓄電器を表側につけたコネクタを示す。容量は 2+2 μ F である。図のものよりなお空間利用率の高い便利な形状のものも考究中である。

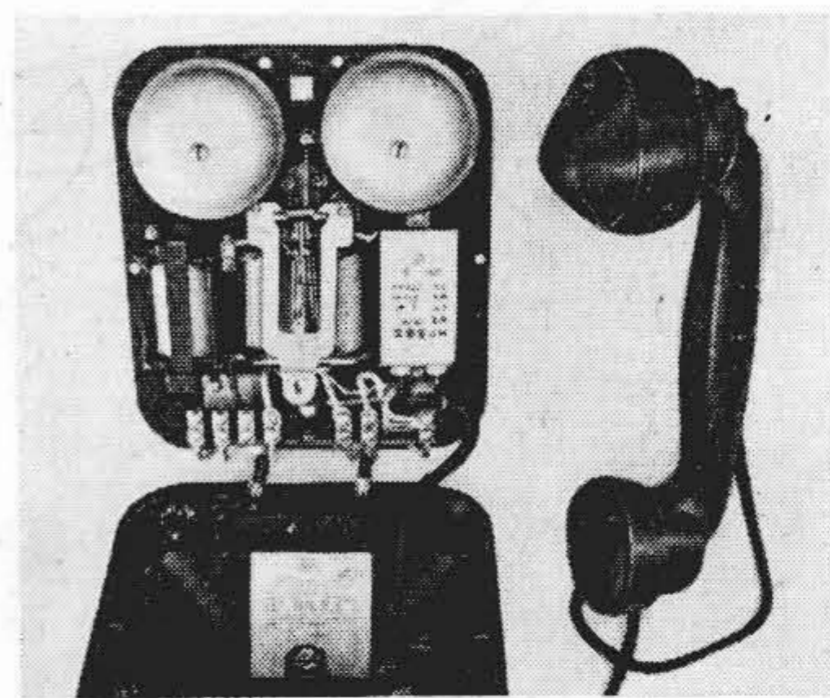
(B) 電話機本体

第 29 図、第 30 図は M.P. 蓄電器を用いた 3 号及び 4 号卓上電話機の内部である。両者とも未だ 1 回の故障もなく工場内で使用している。

蓄電器の容量を増すと電話機の音声、通達距離に於て多くの利点があるが、電話機のような狭い空間に大容量の蓄電器を入れるには M.P. 蓄電器による外方法がない。米国の電話機に M.P. 蓄電器が用いられた例ははじめに示した。

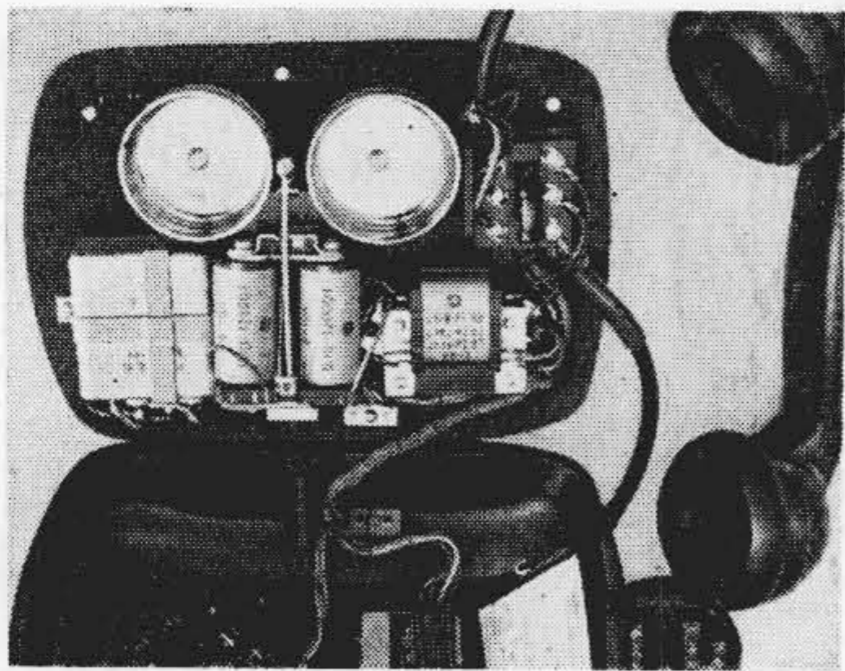
(C) その他

搬送、無線関係その他の通信機に用い機械全体の大きさを小さくすること、蓄電器電動機の起動並びに電動機運転中の力率改善用、蛍光放電燈の点燈用具その他 M.P. 蓄電器の特長を生かした使用箇所は広い。これらの点に



第 29 図 M.P. 蓄電器を取付けた 3 号卓上電話機の内部

Fig. 29. Inside View of No. 3 Automatic Telephone Set with M.P. Capacitor



第 30 図 M. P. 蓄電器を取けた 4 号卓上電話機の内部

Fig. 30. Inside View of No. 4 Automatic Telephone Set with M. P. Capacitor

については各位の御協力を得て応用し、その結果については又稿を改めて報告したい。

本文中では略したが小型化することは必要ないがパンクだけはしてはこまると云う蓄電器としては、金属化紙の裏側になお 1 枚ずつの絶縁紙を入れたものもある。これはパンクの自癒性のみを生かしたものである。

[V] 結 言

M. P. 蓄電器の試作経過及びその完成品の性能の概要を誌した。その研究及び製造方法には未だ残された問題も多い。鋭意努力して一層優れたものとする決意をもつ

ている。又その使用方面の発展には期して待つべきものがある。

終りに臨み種々御教示を賜った電気通信省電気通信研究所堀江、林、工藤の各技官、終始御激励と御指導とを賜った当工場橋本工場長、渡辺副工場長以下各位、中央研究所鳥山前所長以下各位、日立研究所兼先所長三浦副所長以下各位に深謝申し上げるとともに研突に協力され熱心に工業化に努められる桜井氏外 M. P. 関係者各位に厚く謝意を表す。なお研究費の一部は文部省科学試験研究費及び通産省鉱工業技術研究補助金によつたことを誌して感謝の意を表す。

参 考 文 献

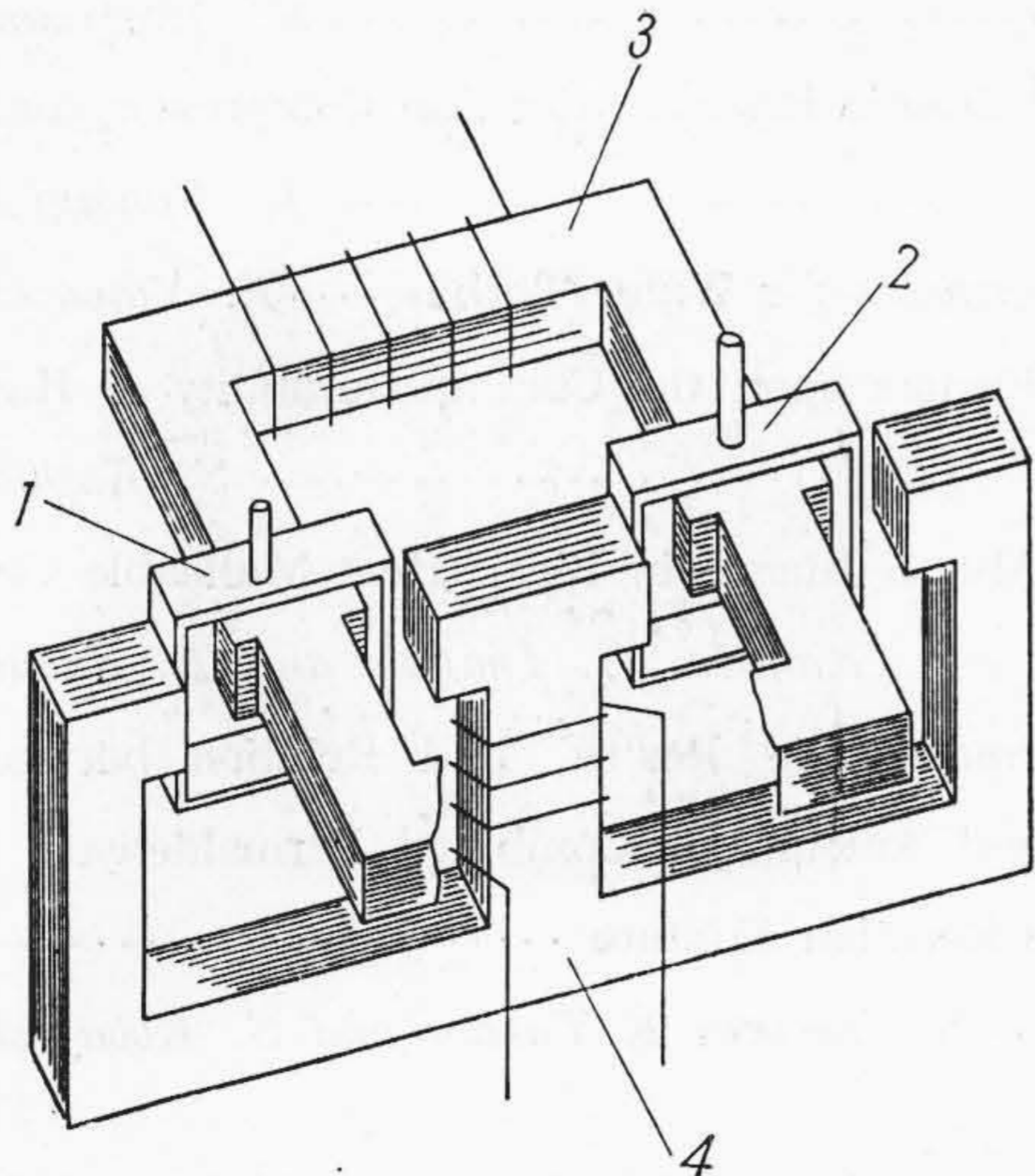
- (1) A. H. Inglis W. L. Tuffnell: Bell System Tech. J. XXX, 239, (1951)
- (2) J. R. Neeks: Proceedings of the I. R. E. 38, 1015, (1950)
- (3) C. H. Maier: J. Am. Chem. Soc. 48, 356, (1936)
- (4) J. L. Beiweis: Am. Machinist 93, 118, (1949)
- (5) D. A. McLean: Proceedings of the I. R. E. 38, 1010, (1950)



登録新案第 383028 号

猿渡 房吉・黒澤 正次

誘導環型指向性継電器



この新案は 2 個の誘導環 1 及び 2 を有する指向性継電器に於て、両誘導環に対する電圧鉄心 3 及び電流鉄心 4 をそれぞれ共用せしめたものである。従来この種継電流に於ては、2 個の誘導環に対してそれぞれ別々の電圧及び電流鉄心を設けたものであるが、上記の如くなすことによつて継電器を小型軽量となし得る実用効果を有するものである。

(田 中)

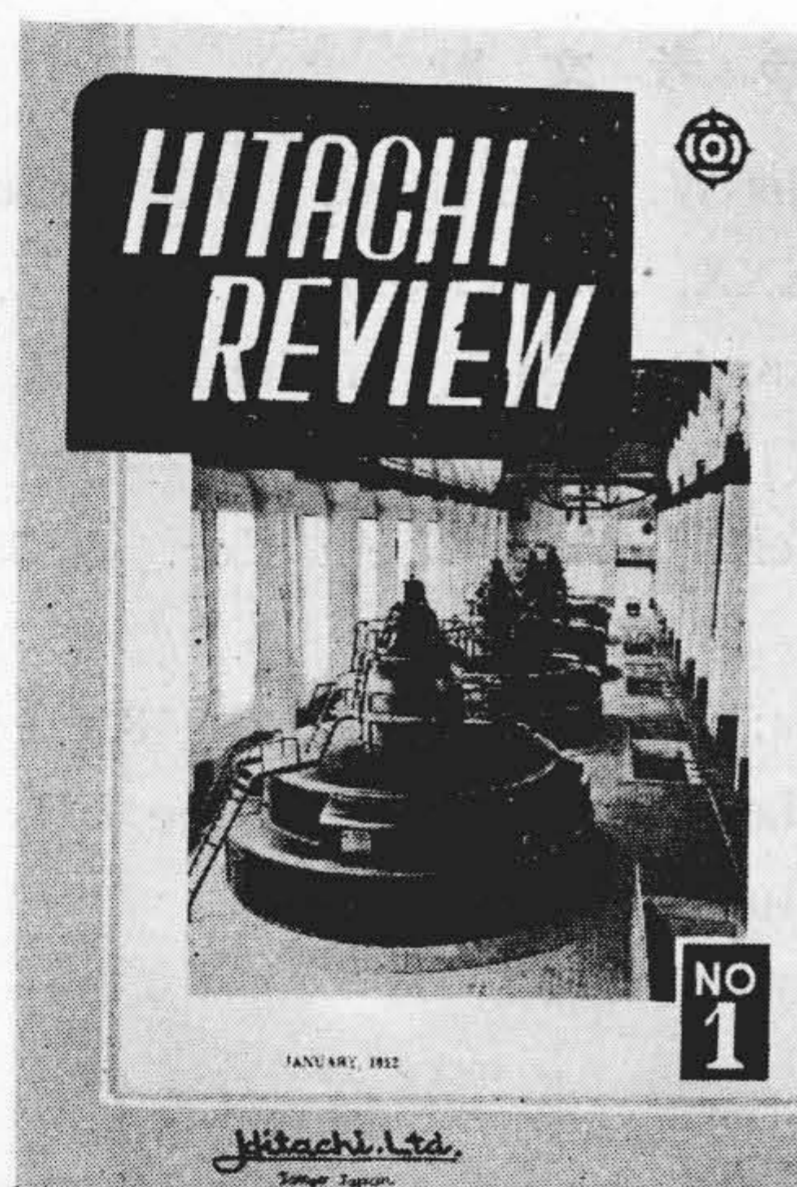
HITACHI REVIEW

VOLUM ONE

JANUARY, 1952

NUMBER ONE

CONTENTS



The Hitachi Review is planned to be issued semi-annually for the time being, but will be increased to four a year in the case of necessity. Price of a single copy is ¥ 200, postage being ¥ 40.

Address all communications to the Public Relation Dept., Hitachi, Ltd., No. 2717, Oi-Sakashita-cho, Shinagawa-Ku, Tokyo, Japan.

PREFACE.....	
Various Problems Concerning the Design of Recent Water Turbines	<i>T. Komoriya and H. Ebisawa</i>
General View of the Latest Water Turbine Generators.....	<i>T. Goto and T. Takagi</i>
Field Test of Carrier Current Protective Relaying Set and High Speed Reclosing Circuit Breakers by Artificial Faults.....	<i>G. Yabuno, Moriyama, S. Morita, H. Kawai, T. Kobayashi and M. Kuwayama</i>
Balancing Rotor of High Speed Electrical Machinery at Operating Speed without Using Phasometer.....	<i>M. Hayashida</i>
Experimental Study on Induction Ring Type High Speed Protective Relay.....	<i>H. Nishibori</i>
DERONI Type Electric Locomotive with Regenerative Braking Le vices.....	<i>T. Kawai</i>
The Starting of Split-Phase Motors.....	<i>M. Yamada</i>
Type PX-21 VHF-FM Police Radio Telephone Equipment.....	<i>T. Hojo, R. Nagahama and K. Imanishi</i>
Speed Control of the Induction Motor for the Hoist of Crane by the "Servolifter Brake".....	<i>K. Moriizumi</i>
Experiments on the Hydraulic Resistance of Air Compressor Auto- matic Valves.....	<i>R. Yamagishi</i>
Efficiency Conversion Formulas for Water Turbine.....	<i>T. Yamazaki</i>
The Effect of Various Factors upon the Cutting Durability of High Speed Steel.....	<i>S. Koshiha</i>
The Positive Study of Mu : S Blance in Black Heat Malleable Cast Iron.....	<i>A. Kaneda, G. Inagaki and T. Suzuki</i>
Studies on Phenol-Formaldehyde Resins, and Relation between Viscosity or Density and Amount of Combined Formaldehyde in Phenol-Formaldehyde Reaction Mixture.....	<i>S. Tsuruta, K. Takano and S. Kobayashi</i>