

油浸紙絶縁の開閉サージを考慮したコロナ試験

Corona Tests of Oil Impregnated-Paper Insulation in Consideration of Switching Surges

井 上 利 夫* 宮 下 隆 雄*
Toshio Inoue Takao Miyashita

内 容 梗 概

油浸紙を絶縁に使用するコンデンサ、変圧器、ケーブルなどにおいては定格電圧の数倍まではコロナを発生しないので、コロナを発生するのは開閉サージあるいは雷撃などにより進入する中間周波異常電圧が過大になった場合である。したがってこれらの機器の絶縁材料選定、絶縁設計にあたってコロナ問題を考慮するには、実用状態に良く一致するコロナ試験法によって得られた結果を用いなければならない。この目的のためわれわれはこれらのサージ波形を模擬した中間周波の異常電圧を商用周波電圧に重畳するコロナ試験法を開発した。この試験法の紹介とこれによる二、三の実験結果とを報告し、また油浸紙絶縁のコロナ発生機構に対する見解などを述べた。

1. 緒 言

高電圧絶縁に対する研究が進むにつれて、絶縁体内で印加電圧によって起るボイドなどのコロナ放電に対する関心が高まってきた。特に有機物のみで絶縁する場合にはボイド放電が絶縁の寿命を決定するような実例も現われているが、耐コロナ性の異なる材料に対してボイド含有量と寿命との関係を同率に考えることはできない。絶縁材料の耐コロナ性^{(1)~(4)}、コロナ試験法^{(3),(5)~(13)}、ボイド放電電荷量の定量的測定^{(3),(14)}などの研究が進むにつれて、これらの問題も逐次明らかになってきており、絶縁設計上の材料の選定、絶縁厚さの決定などが従来より以上に合理的になされるようになってきた。

たとえば、製作上ボイドの無いものは作りやすいが耐コロナ性が悪く使用中の熱劣化によってボイドを発生すれば短時間に寿命がつかないと考えられる絶縁、逆に製作上、微小なボイドは無くしにくい耐コロナ性は格段に良い絶縁のいずれを選択するかなどである。したがってこれらの選択は機器の実用状態を良く考えて行わなければならない。

油浸紙絶縁に対してコロナ開始電圧、消滅電圧、長時間 V-t 特性⁽¹⁵⁾などを検討した結果、実用状態においてコロナを発生する機会がありうるのは開閉サージ⁽¹⁶⁾、雷サージなどで過酷な過電圧が印加される場合に限られることを知った。したがってこのような場合のコロナ特性を調べ諸現象を検討するには、商用周波の過電圧を用いたのでは実用状態を模擬することができず不適当である。そこでわれわれは、商用周波の運転電圧に中間周波サージを重畳してコロナ試験を行うのがもっとも実状に即したものであると考えるに至った。

本報はこの開閉サージコロナ試験法^{(17),(18)}とそれによるコロナ現象の検討結果とを報告するもので、本試験法の活用により油浸紙絶縁の機器に対し使用する絶縁材料のより合理的な選択、いっそう合理的な絶縁設計などが可能になった。

2. コロナ試験の意義

コロナ試験の重要性は近時盛んに強調されているが、これは絶縁設計、使用絶縁材料の適否が寿命に影響すると考えられるからである。しかし気体中のコロナ、固体中のいわゆるボイドコロナ、油中コロナなどがありそれぞれ同一材料でもコロナ発生条件によって、その材料の消耗量、寿命などは異なってくる。また材料が気中コロナによって消耗してゆき絶縁破壊するまでの寿命はコロナ放電時に

材料にかかる電界強度によって変わり、ある電界強度までは寿命が非常に長い、これをこえると寿命が急激に短くなるような実験結果も得られている。

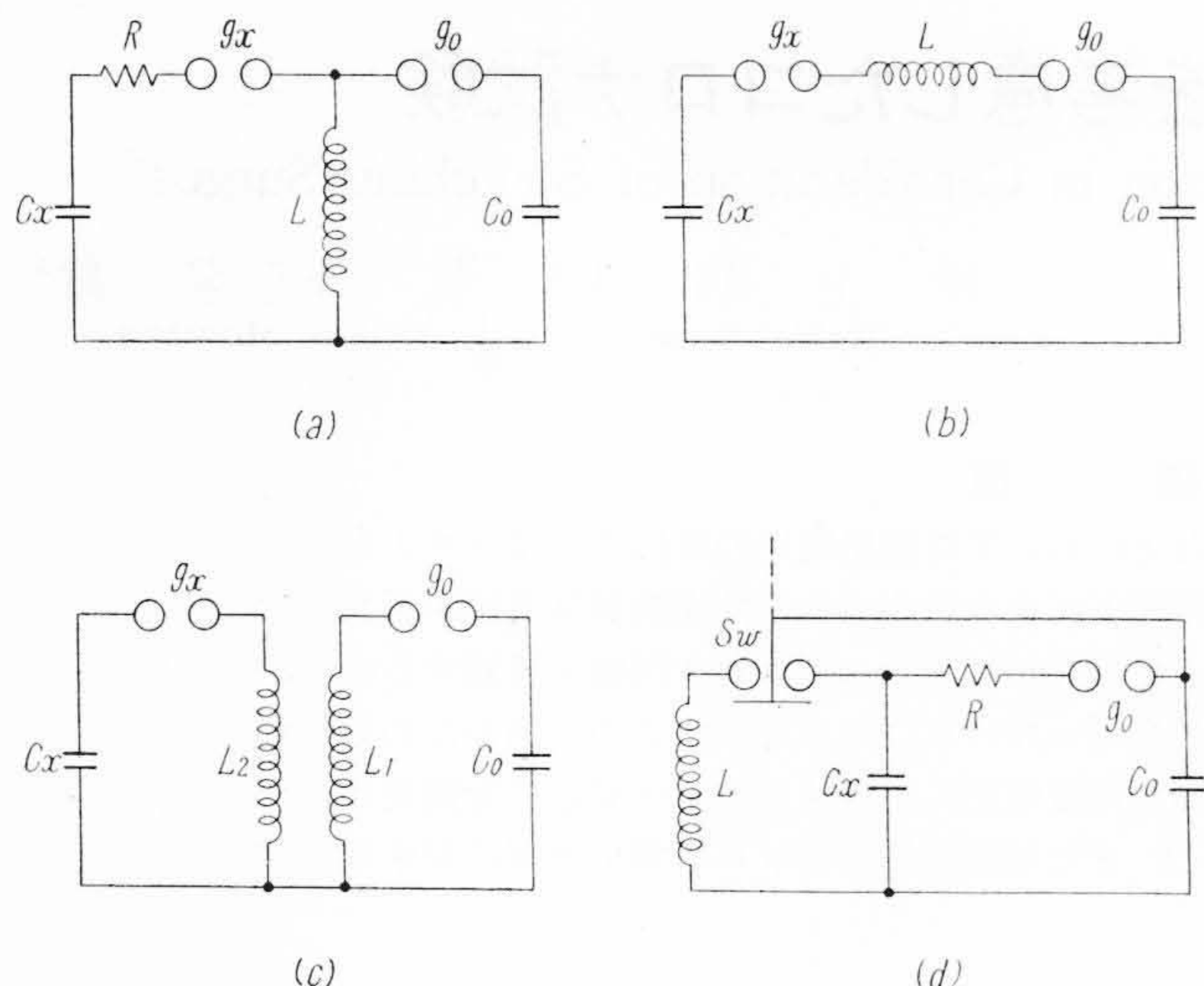
材料の耐コロナ性に関する研究はまだいとぐちについたばかりのところ、今後、各所で研究が進められて逐次明らかになっていくものと考えられる。

I. E. C. においてフランスから提案された絶縁材料の耐コロナ性測定法⁽¹⁾が検討されているが、わが国においてもこの方法を含め種々な試験法ならびにそれによる材料の耐コロナ性の比較^{(2)~(4)}がなされている。機器絶縁のコロナ発生電圧、消滅電圧などの測定法については昭和33年に回転機線輪絶縁試験法委員会から発電機線輪についての推奨法⁽¹²⁾が出され、その後電気学会放電専門委員会でコロナパルスに関する測定法の詳細な検討が続けられており、コロナパルスの放電電荷量、パルス数などの測定については相当精確な測定が可能になった。今後の研究により、この機器絶縁に対してはコロナ放電電荷量は何クーロン以上あると寿命が短くなる、何クーロン以下ならば問題にしないでよろしい、あるいは測定されたパルスのうちこれはどこで発生しているコロナであるから寿命に影響しないが、このパルスは寿命に影響するものであるなどの実用上の問題に結びついた結論が得られるようになると非常にすっきりしたものになると考える。

油浸紙絶縁、特に電力用コンデンサについては現在の設計において定格電圧の数倍まではコロナが発生しない。これをこえるとコロナ放電が起り、超過電圧値にもよるがその電圧に保持すると約数拾時間の比較的短い時間で絶縁破壊する。しかし機器の実際の使用状態ではそのような異常電圧が印加される時間は非常に短時間であって、いったんコロナが発生しても、引続いて印加される運転電圧にもどったのちに、短時間でコロナが消滅すれば、ほとんど寿命に影響することなしに経過することができる。しかし、運転電圧にもどっても、コロナが引続いて起っていれば、コロナ劣化をうけて絶縁破壊に至りうる。したがって、ある油浸紙を用いた絶縁について、いかなる材料を使ったら良いか、いかなる絶縁厚さ、導体構造をとれば良いかなどを検討する場合には、実用状態を考慮したコロナ試験を行わなければならない。

コロナ開始電圧、消滅電圧を測定するのに、印加電圧を30秒ごとに500Vずつ上昇させる場合と500V/秒の定率で上昇させる場合とではコロナ開始電圧は前者のほうが低い値を示す。またコロナ消滅電圧も前者の方法でコロナを発生させたのち500Vずつ電圧を下げる場合と、後者の方法で下げる場合とでは、後者のほうが高い消滅電圧を示す。この原因は鉱物性絶縁油のコロナ放電による分解ガス

* 日立製作所日立研究所



第1図 中間周波異常電圧の発生回路

の発生, そのガス中の放電によりさらに分解ガスが増加する過程と, 油中への分解ガスの溶解, 絶縁油中の芳香族成分などのガス吸収能力⁽¹⁹⁾などとの関連が電圧上昇, 降下の手順, あるいは保持時間などによって変わるためと考えられる。すなわち油浸紙絶縁においては電圧の印加方法によってコロナ開始電圧, 消滅電圧, コロナ放電量などは顕著に影響を受けるのである。異なる材料および絶縁構成の優劣を比較する試験においては, その測定結果が実用状態の寿命と密接な一定関係にあるとき始めて, その試験法の意義がある。

以上のような考察に基づき, 油浸紙絶縁に対して実用状態を忠実に模擬すると考えられるコロナ試験法を開発した⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。以下これについて二, 三の実験結果を含めて記述したいと思う。

3. 開閉サージを重畳したコロナ試験法

油浸紙絶縁は高度に減圧乾燥したのち, 減圧脱気した絶縁油を含浸しているので, 運転電圧ではもちろん, 数倍の過電圧までコロナは発生しない。したがってコロナ発生の機会は開閉サージや雷サージにより入来する中間周波異常電圧がそれ以上の過酷な値に達するような特別の場合に限られる。このような過電圧は普通の場合には発生しないのであるが, もしもこの過電圧によってコロナが発生すると異常電圧が減衰し消滅したあとにおいても, 印加されている商用周波の運転電圧によってコロナがある時間持続するものである。その持続時間は異常電圧の波高値によって異なり, また絶縁油および絶縁紙の種類, 処理ならびに絶縁の構成, 導体構造などによっても異なってくる。また繰返しこのような過大なサージが印加されるような状況下では, このコロナ持続時間は漸増する傾向をもっている。

これまでこのような現象が明らかにされていなかったが, 新着想のもとに模擬異常電圧発生装置とコロナ検出装置とを組合わせて新しい試験法を開発し, これらの関係を明らかにすることができた。

この試験法は任意の周波数, 波高値, 減衰特性をもつ模擬中間周波異常電圧と商用周波電圧とを組合わせ, 後続する商用周波電圧下におけるコロナ発生の有無, 発生状況などを調べることを特長としている。すなわちこの中間周波異常電圧によって発生したコロナが商用周波電圧で持続する時間, コロナ発生量などを異常電圧の波高値, 周波数, あるいは商用周波電圧の波高値などを変えて調べ, またコロナが発生する限界

の異常電圧の波高値, 繰返し異常電圧を印加した場合の印加回数とコロナ持続時間の関係なども調べる。

3.1 中間周波異常電圧発生法

まず模擬異常電圧を発生させるため L, C の共振回路を利用した。その基本回路としては第1図のようなものが考えられ, C_0 を直流で充電し g_0 を放電させて, 試料 C_x に異常電圧を印加するものである。

(a)回路は C_x を試料の静電容量とすると $C_0 \gg C_x$ のとき共振周波数 f_0 は(1)式のようになり C_x によって周波数は変らない。第1波電圧の立ち上りは R によってある程度調整することができるが非常に遅くする場合は第1波の波高値が低くなる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}} \dots\dots\dots (1)$$

(b)回路では $C_0 \gg C_x$ の場合, C_x の静電容量によって異常電圧の周波数が大きく変わり, 周波数を一定にするためには L を可変にせねばならない。また異常電圧が C_x と C_0 に分圧され, 電圧の利用率が悪い。

(c)回路は C_x, C_0, L_1, L_2 を適當の大きさにとって複共振を起すものであるが, L_1, L_2 の調節が困難なので C_x の静電容量が変わったとき共振周波数を一定にしにくい。

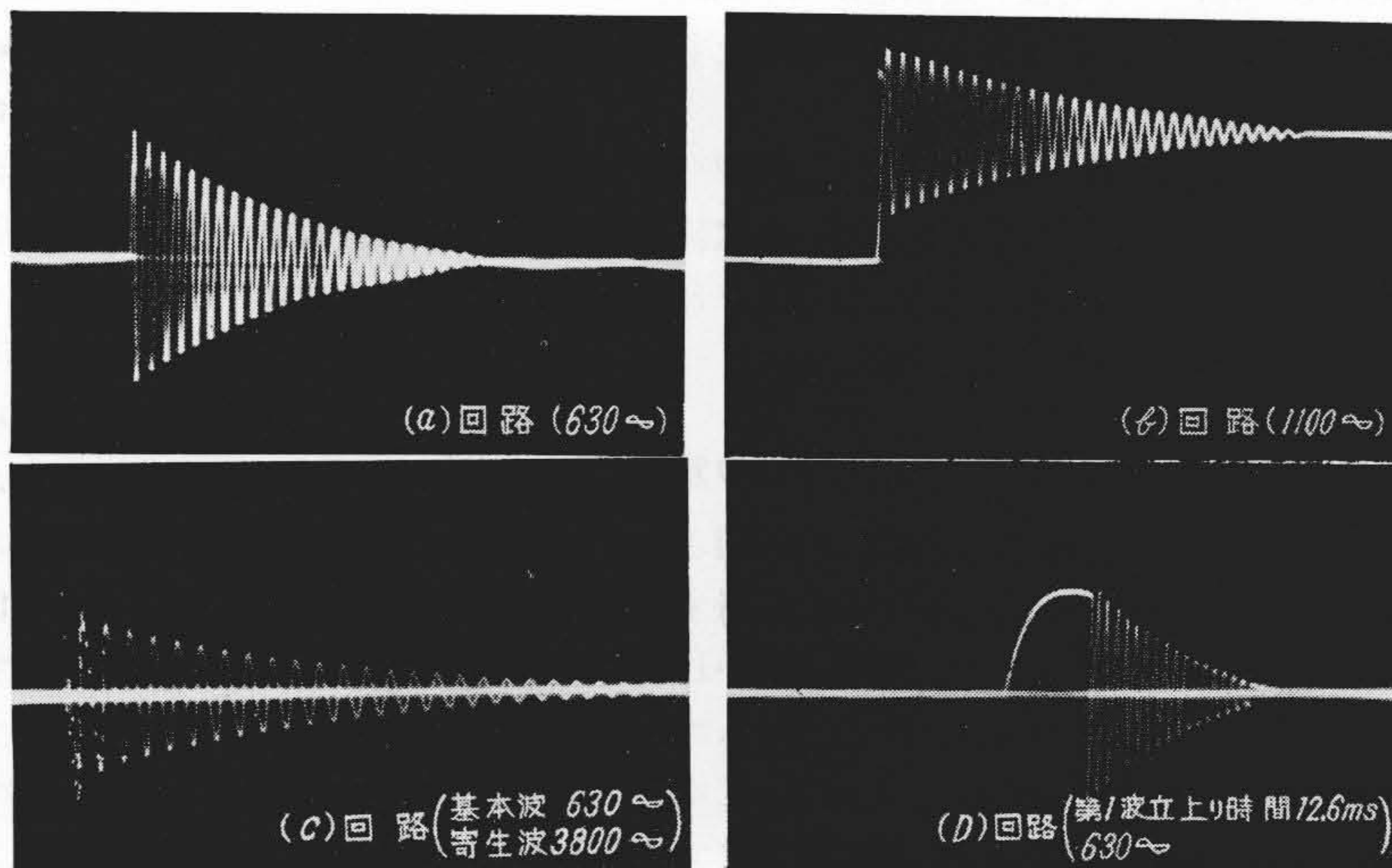
(d)回路では異常電圧の第1波の立ち上りを非常におそくする場合有効である。すなわち g_0 を放電させると試料に印加されるサージは $C_x R$ の時定数で立ち上り, 立ち上った瞬間に SW を入れると最大電圧点から振動電圧に変わる。しかし回路が少し複雑になる。

第2図にこれらの回路により C_x に印加されるそれぞれの電圧波形を示した。このような4種類のそれぞれ特長をもった回路により L や C を変えることにより, かなり実際に近い中間周波異常電圧を発生させることが可能である。しかし第1波の立ち上り時間が少し短かくなってもコロナ特性にそれほど大きな影響はないので, ここでは試料の静電容量によって周波数の変わらない(a)回路を基本にして試験回路を構成することにした。

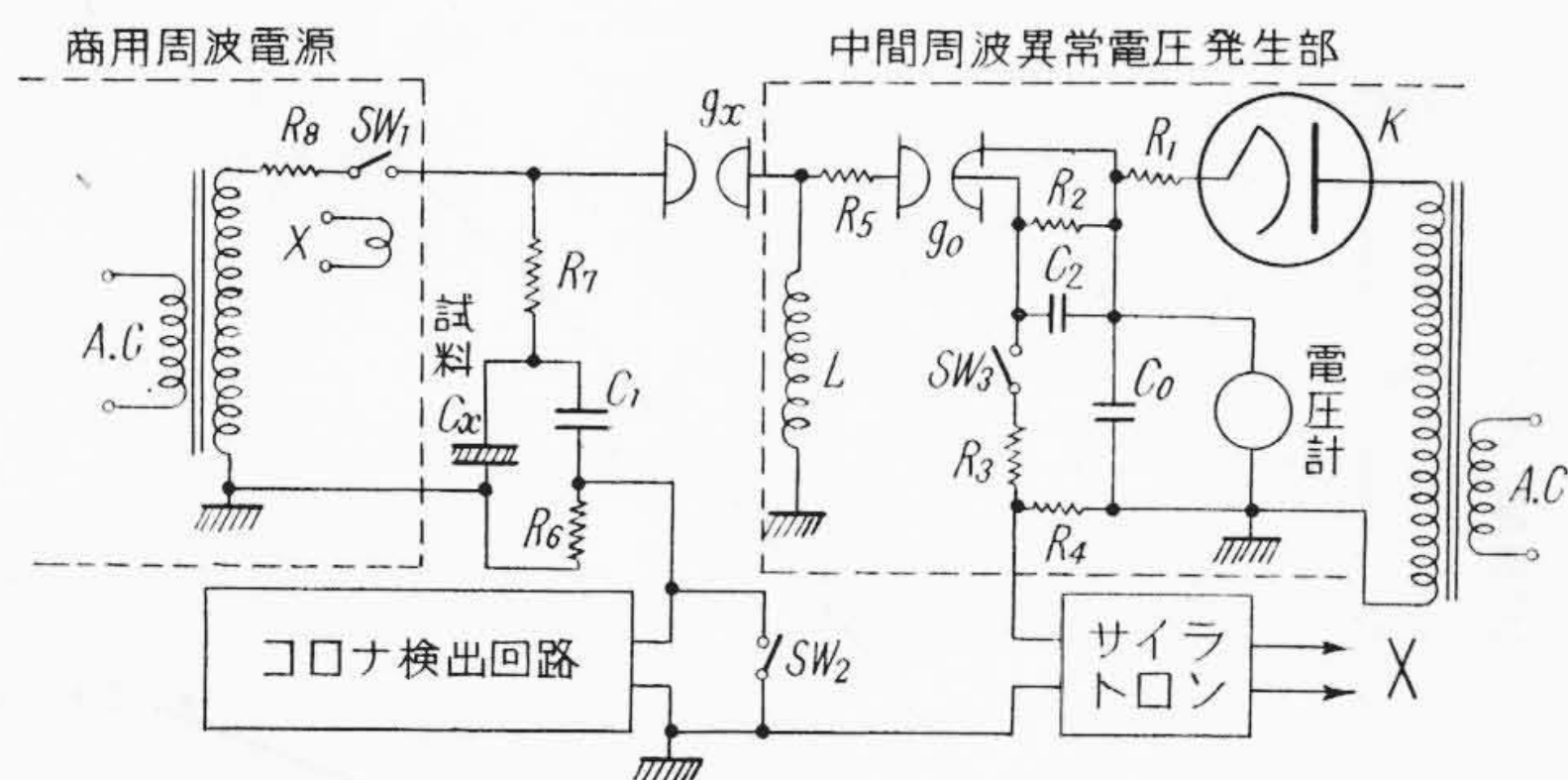
3.2 試験回路

この試験回路を構成する上で特に注意を要する点は次の二つである。

- (1) 共振電圧を繰返し再現性よく発生し, 商用周波電圧に重畳しうること。
- (2) 試料以外の部分でコロナが出ないこと。あるいはほかの部分でコロナが出て測定誤差を生じないようにできること。



第2図 各基本回路により C_x に印加される中間周波異常電圧の波形



第3図 商用周波電圧に中間周波異常電圧を重畳する
コロナ試験回路

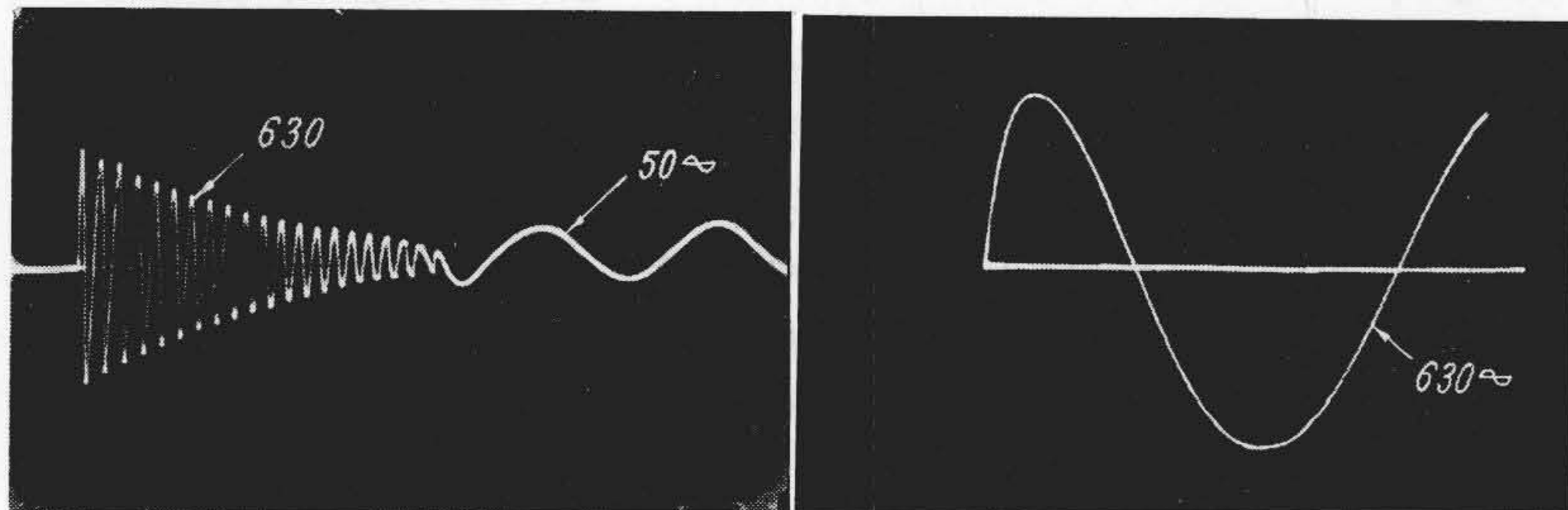
(1)については放電ギャップの放電電圧の変動が問題になるが、サージ電圧が高いこと、開閉をきわめて短時間に行わねばならぬことなどの理由で簡便なギャップを選んだが、十分うまく動作できるように回路の上で考慮を払った。(2)の問題は絶縁に注意すれば解決できるが、コロナ検出時に不要な部分はギャップにより切離すようにした。

試験回路を第3図に示す。簡単に動作を説明すると、ケノトロンを通してC₀に充電し所要の電圧になった時SW₃を閉じ、3点ギャップg₀を放電させLとC₀により中間周波異常電圧を発生させる。同時にg_xが放電して試料に中間周波電圧が印加される。R₅は中間周波電圧の減衰定数を決めるため、R₇は第1波の立ち上がり時間を調節するためのものである。中間周波電圧が試料に印加されてから減衰し終るまでにSW₁を閉じて商用周波電圧を印加する。この時間調節はサイラトロンを利用して行う。中間周波電圧が続いている間はギャップg_xが放電しているので商用周波電圧は低インピーダンスLを通して接地され、試料には中間周波電圧のみが印加される。これが減衰してギャップg_xが切れると試料には商用周波電圧のみが印加されることになる。この際の切換えはg_xの放電特性を利用しているわけであるが、これを円滑に行うにはR₈を適当な大きさに選ぶ必要がある。この回路で、サージ発生前から商用周波電圧を印加していないのは、電圧の位相によって第1波の電圧波高値が若干変化するためである。商用周波電圧が零になった時サージを投入するような同期投入方式を用いれば始めから印加することができるが、これは必要ないと考える。

試料から出たコロナパルスはC₁を通して検出抵抗R₆により取出し、コロナ検出器により観測する。

SW₂はサージ電圧印加時にコロナ検出器を保護するための短絡スイッチである。

第4図はこの装置により試料C_xに印加された模擬中間周波異常電圧および引続いて印加された商用周波バックアップ電圧の波形を示している。この場合異常電圧の周波数は630Hzであり、電圧は波高値で示してある。

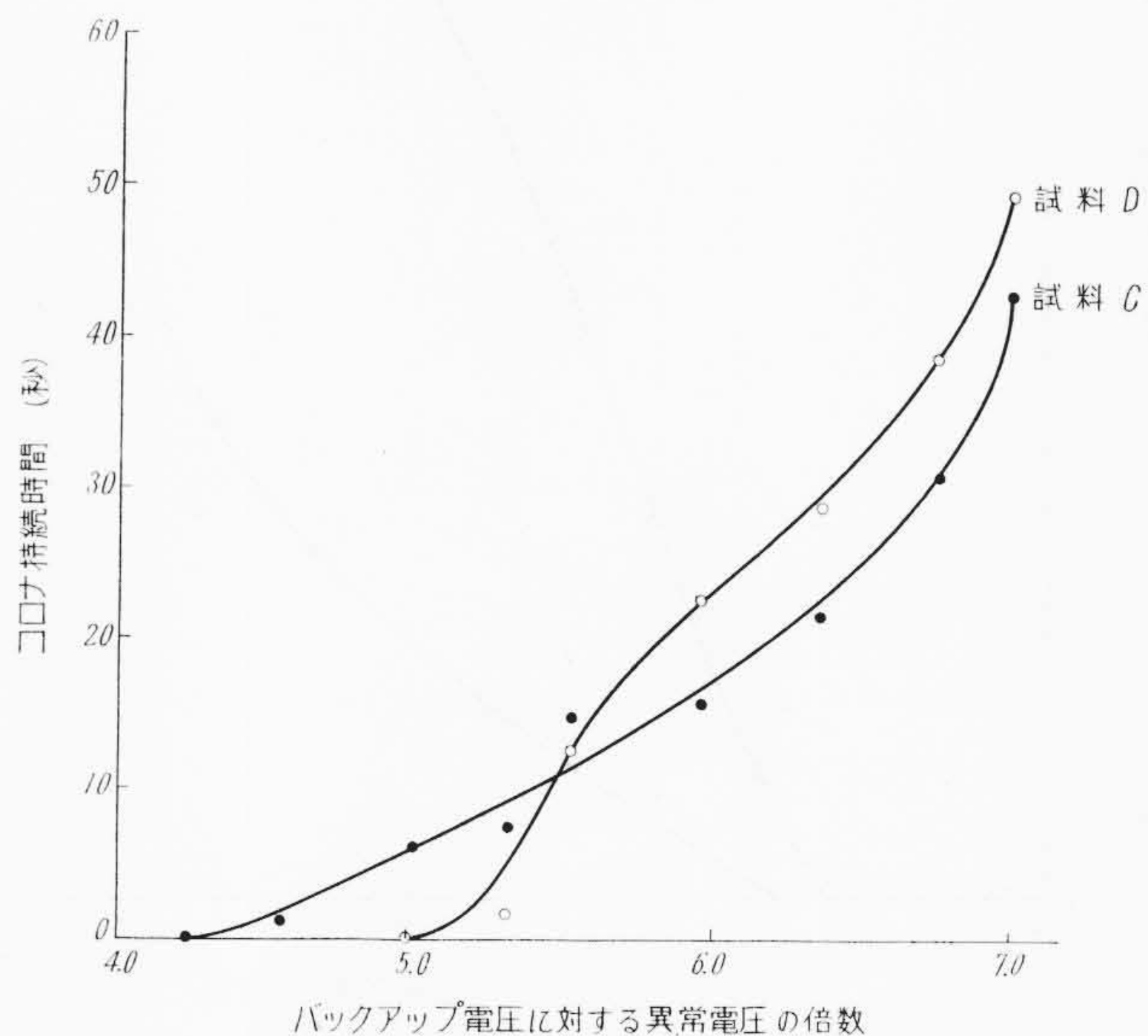


第4図 第3図の回路により試料に印加される電圧波形（左図）
（右図は初期の電圧波形を拡大して示したもの）

第1表 ガス安定度の異なる2種の油を含浸した
油浸紙のコロナ特性

試料	コロナ特性	コロナ* 発生電圧 (%)	コロナ* 消滅電圧 (%)	コロナ** 持続時間 (%)
A		100	100	100
B		102	305	50

注：* 商用周波電圧により500V/30秒ずつ階段状に昇降して測定
** 本方法により測定



第5図 油浸紙の異常電圧—コロナ持続時間特性

4. 開閉サージによるコロナ特性

コンデンサ形のモデル油浸紙絶縁について検討した結果を以下に記述する。

4.1 実験結果

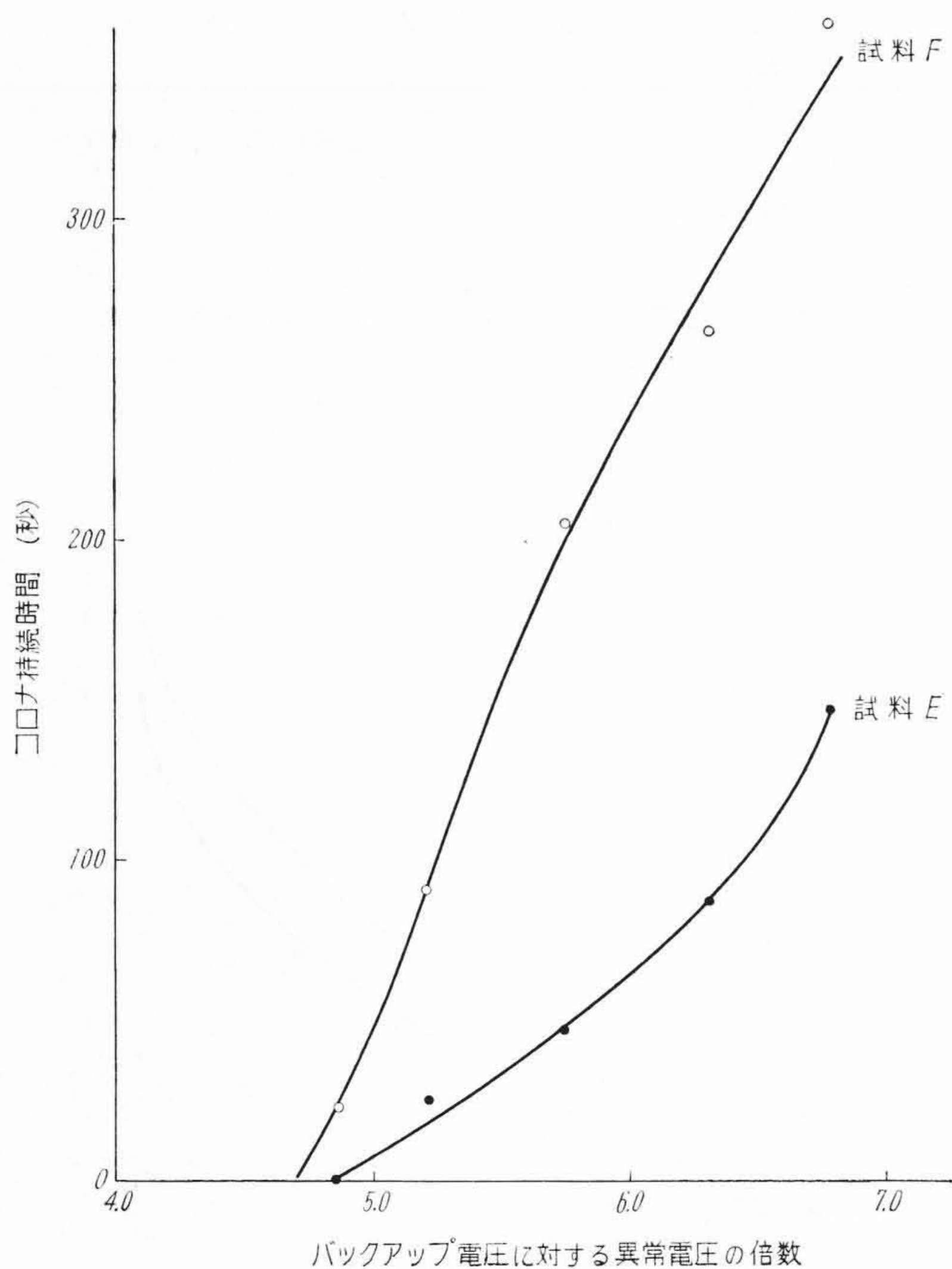
第1表はA、B2種類のガス安定度の異なった油を含浸した油浸紙について商用周波電圧によるコロナ特性と本法によるコロナ特性とを比較して示したものである。コロナ発生電圧、コロナ消滅電圧は商用周波電圧を30秒ごとに500Vずつ昇圧、コロナ発生後は30秒ごとに500Vずつ降圧して測定した結果である。コロナ持続時間は第4図のような試験電圧波形を用い商用周波バックアップ電圧に対し異常電圧を約5.8倍にして得られた結果である。

第5図は異常電圧の波高値によって特性がどのように変わるかを示したものである。この結果から異常電圧の波高値がある値になると持続コロナが発生し、異常電圧の上昇とともに後続する商用周波電圧下でコロナが消滅するまでの時間が長くなることがわかる。試料Cと試料Dでは絶縁構成が異なるもので、試料Dは絶縁厚さをCよりも約3割薄くしてあるが、コロナ特性を改善した構造のもので、異常電圧によりコロナが発生し始める電圧すなわちコロナ発生限界電圧が高くなっていることがわかる。

第6図は紙の種類を変えた油浸紙の異常電圧の波高値とコロナ持続時間の関係で、紙の種類がコロナ特性に大きな影響を与えることを示している。

第7図は繰返し異常電圧を印加した場合のコロナ持続時間を検討したものである。異常電圧を商用周波バックアップ電圧の約5.6倍にし、各回ともコロナ消滅後約30秒経過してから印加した。

以上の実験結果では試料によるばらつきがかなり



第 6 図 紙の種類を変えた油浸紙の異常電圧—コロナ特性

あるが、これらはその代表的な傾向を示したもので、たとえば第 7 図のグラフでも必ずしも直線的な増加を示さずある回数までは増加するがその後コロナ持続時間が飽和するもの、さらに急に増加するものなどがある。したがって異なる材料、構造などによる差を検討するためには数試料についての実験結果よりその有意差を求める必要がある。

4.2 結果の検討

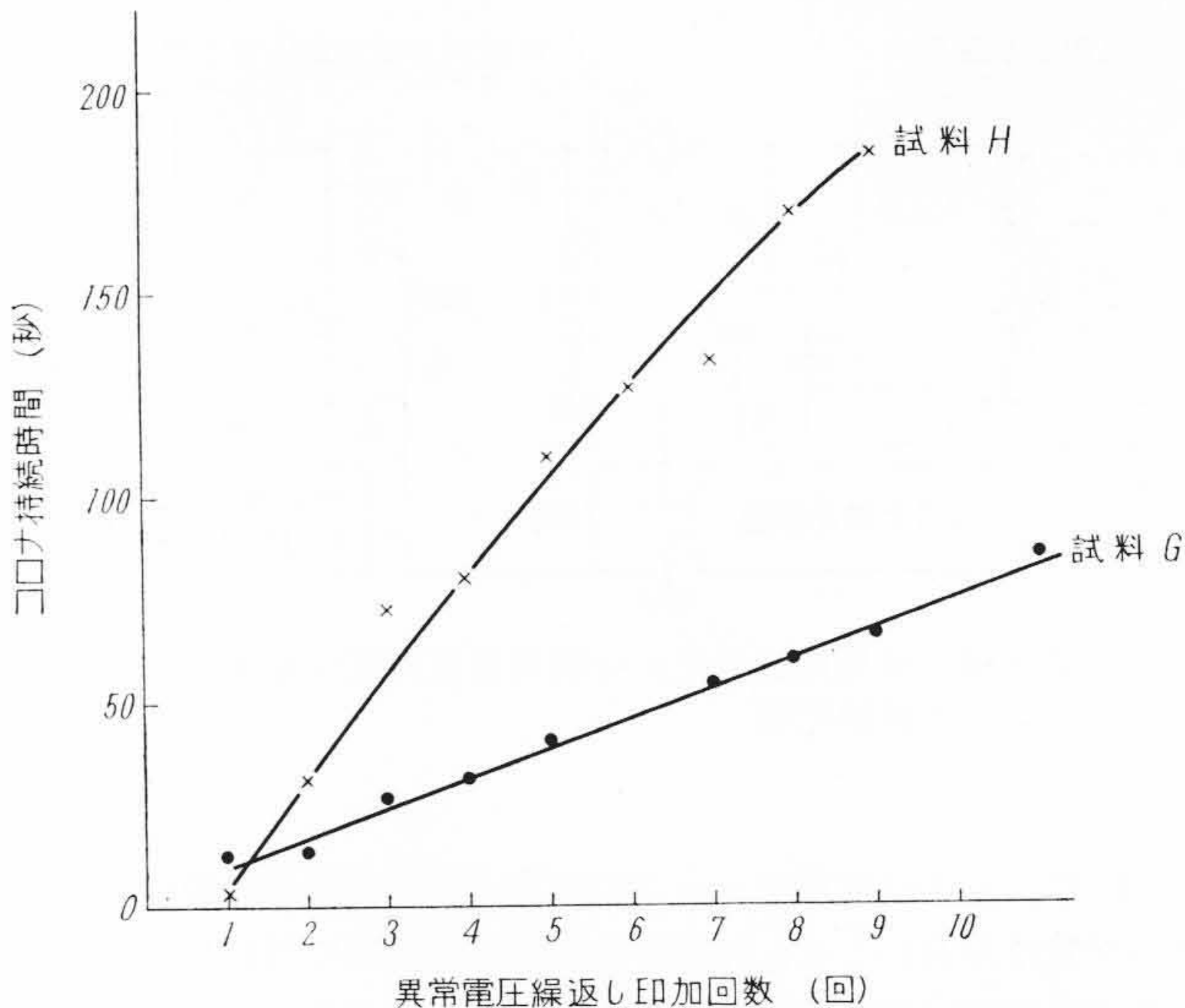
4.2.1 異常電圧による油中ガスの発生

油浸紙は一般にボイドがないと考えられているが、液体中ではボイドが無くても高電界を加えると液体中に微量に溶解しているガスの分離、電極面に吸着している微量ガスの分離などが起ってコロナを発生する。また油浸紙中に微量に存在する水分の気化がコロナの原因になるともいわれている⁽²⁰⁾。したがって油浸紙などの複合絶縁物のコロナ特性は含浸油によって異なり、また同一試料ならば異常電圧の波高値によって異なってくる。異常電圧が低い場合は油浸紙中にガスができず、さらに電圧が上昇してガスが発生しても初期の状態では微量であるため、油中に吸収拡散されてごく短時間に消滅し、引続き加電される商用周波電圧でコロナを発生しない。しかし異常電圧がコロナ発生限界電圧をこすと、商用周波電圧に切換えられても、分解ガスが存在するようになり、コロナが持続する。発生ガス量は含浸油の特性以外に、紙の特性、ガス発生部分の油膜の大きさなどにも関連があるわけである。

4.2.2 コロナ持続時間

ここでいうコロナ持続時間とは、異常電圧印加から引続いて印加される商用周波のバックアップ電圧下にコロナが消滅するまでの時間を意味する。

異常電圧によって発生したガス中に、バックアップ電圧によってコロナ放電が引続き発生し、これによって増加するガス量よりも油中に吸収されるガス量のほうが多いとき、ある時間内にコロ



商用周波バックアップ電圧の 5.6 倍の異常電圧を印加、各回ともコロナが消滅してから 30 秒後次の異常電圧を印加した。試料は紙の種類および絶縁構成の異なる 2 種類

第 7 図 繰返し異常電圧を印加した場合のコロナ持続時間の変化

ナ放電が無くなるわけである。

異常電圧を印加しただけで適当時間（たとえば 60 秒）放置したのち、低いバックアップ電圧を印加しても持続コロナが観察される。すなわちこれは異常電圧直後のバックアップ電圧でコロナが持続されるだけでなく、異常電圧による分解ガスの吸収が完了するまでは、電圧を何時かけても持続コロナが発生しうることを示すもので、コロナが消滅したときは、発生したガスがその電圧でコロナ放電を起さぬ程度まで吸収されたことを意味する。バックアップ電圧を低くすれば、油固有のガス吸収時間に近いコロナ持続時間を示すが、バックアップ電圧が高くなるにつれて、この電圧によるコロナエネルギーが大きくなって油の分解ガス量を増し、コロナ持続時間が長くなり、ついには長時間にわたってコロナが続くようになる。

バックアップ電圧は機器の定格電圧（あるいは実用時の電圧）にとれば良い。第 5 図のごとき実験結果から 4.5 倍までの異常電圧の発生が期待される場合には D 試料を採用すれば安全であるなどのことがわかる。

開閉サージによるコロナ持続時間が、油浸紙のガス吸収能力と密接な関連があることは、第 1 表のガス安定度の異なった油浸紙のコロナ特性でも明らかである。同時に第 6 図に示すように、絶縁紙の選択も重要である。絶縁紙によってコロナ持続時間の差が出るのは、密度の差異による油層にかかる分担電圧の差以外に、発生したガスを吸収するのに有効な周辺の油量の差、ガスの拡散の難易によるものと思われる。

4.2.3 繰返し異常電圧を印加した時のコロナ特性

異常電圧を繰返し印加する場合、分解ガスが吸収されない間に次のサージが印加される場合と、第 6 図の実験のように分解ガスが吸収され、バックアップ電圧におけるコロナが消滅してからサージが再印加される場合とでは、結果に大きな差異を生じる。前者の場合は気泡が残存しているため次の異常電圧でこの部分がはげしく放電を起し分解ガスは著しく増し、絶縁耐力に影響を及ぼすことがある。後者の場合はコロナエネルギーがそれほど大きくならないから、コロナ持続時間が極端に長くなることはないが、異常電圧の回数とともにコロナ特性は悪くなっていく。

以上のとおり、サージが機器に繰返し印加されるとかなりコロナ特性が低下し、寿命に影響を及ぼすことも考えられるので、開閉サ

ージの発生ひん度の大きいものでは、その波高値などを十分考慮して絶縁設計を行い、このような実験に基づき十分な保証をうることが望ましい。

5. 結 言

主として油浸紙絶縁を対象に開閉サージを重畳したコロナ試験法について、試験法の意義、試験回路、コロナ特性の実験結果などを述べたが、要約すると次のとおりである。

(1) 油浸紙を絶縁体に使用した高電圧機器が運転中にコロナを発生するのは開閉サージ、雷撃などに基づく短時間の中間周波異常電圧による以外は考えられない。したがってできるだけ実際に近い条件でコロナ試験を行うことが望まれ、新しく中間周波異常電圧を重畳したコロナ試験法⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾を開発した。

(2) 本法により油浸紙における中間周波異常電圧とコロナ特性の関係を明らかにした。すなわち中間周波異常電圧とコロナ持続時間の関係を紙、油を変えて実験し、コロナを発生し始める限界異常電圧値を求め、また繰返し異常電圧を加えた場合のコロナ持続時間の変化などを調べた。

(3) 異常電圧に基づくコロナ現象の定性的な説明を行い、コロナ特性を向上させるためには油の脱気およびガス吸収能力、絶縁紙の選択、絶縁構成などが重要であることを指摘した。

以上のように中間周波異常電圧を重畳したコロナ試験法を開発して、実用時に近い状態における機器のコロナ特性を知ることができるようになったが、機器の使用条件を考慮に入れてこれらの試験結果を考察し、材料の選択あるいは絶縁設計を行うべきであることを主張した。今後検討すべき問題も多くさらに研究を推進したいと考えているのでご批判をいただければ幸である。

終りに本研究に対しご指導を賜った日立製作所日立研究所三浦所長、牧部長(現山口大学)、橋本部長、本研究の動機を与えご激励をいただいた小川変圧器部長ほか関係諸氏に深謝申し上げる。なお本実験を行うにあたり熱心に協力された、石川栄一、沼田征司両氏に感謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) IEC: TC 15, (France) 4, Proposals from the French Committee for an ionization test of insulating materials, (Jul. 1954)
- (2) 加子, 井上: 電学東京支部大 70 (昭33-11)
- (3) 鳥山ほか: 電学誌 80, 355 (昭35-3)
- (4) 加子: 日立評論 42, 646 (昭35-6)
- (5) R. J. Hopkins, T. R. Walters, M. E. Scoville: AIEE Trans, 70, 1643 (1951)
- (6) J. R. Nye, W. R. Wilson: AIEE Trans, 72 (Aug. 1953)
- (7) T. W. Liao, J. R. Nye, H. H. Brustle, J. G. Anderson: AIEE Trans, 74, 1046 (Oct. 1955)
- (8) C. W. Ross, F. B. Curdts: AIEE Trans, 75, 63 (Apr. 1956)
- (9) J. G. Anderson: AIEE Trans, 75, 1193 (Dec. 1956)
- (10) E. J. Adolphson, F. J. Vogel: AIEE Trans, 76, 797 (Oct. 1957)
- (11) T. W. Dakin, J. Lim: AIEE Trans, 76, 1059 (Dec. 1957)
- (12) 回転機絶縁試験法委員会: 発電機線輪絶縁試験法 78 (昭33, 電気書院)
- (13) E. Schühlein: ETZ 80, 77 (1959)
- (14) T. W. Dakin: AIEE Trans, 78, 790 (Oct. 1959)
- (15) 井上, 宮下: 電気4学会連大 461 (昭34-4)
- (16) H. K. Amchin, R. T. Curts: AIEE Trans, 45, 1443 (Dec. 1959)
- (17) 特許申請中 (昭33-12)
- (18) 井上, 宮下: 電学東京支部大 180 (昭34-11)
- (19) T. Wörner: ETZ 72, 656 (Nov. 1951)
- (20) New Insulation Officer: Insulation 19 (Jun. 1959)

1961 日 立 No. 4

◎猫のどの弁.....サトウ・ハチロー
 ◎完 成 近 い 国 産 1 号 炉
 ◎全 自 動 運 転 の 立 坑 巻
 ◎ハ イ ラ イ ト
 ◎冷 蔵 庫 の あ る 暮 し
 ◎音 の バ ラ ン ス と 使 い 勝 手
 ◎観 世 よ り と よ り 線 の 功 徳

◎明日への道標(超高压送電に活躍する260,000kVA超高压変圧器と15,000kVA負荷時電圧調整器)
 ◎自 動 車 用 エ レ ベ ー タ
 ◎日 立 だ よ り
 ◎函 館一札 幌 マ イ ク ロ 通 信
 ◎J マ ー ク の 電 気 洗 濯 機 と は

Vol. 43 日 立 評 論 No. 5

(次 号 予 告)

揚水発電所小特集

諸 塚 発 電 所 の 建 設 計 画 概 要
 諸 塚 発 電 所 用 水 車 に つ い て
 諸 塚 発 電 所 用 56,500 kW 揚 水 ポンプ に つ い て
 諸 塚 発 電 所 用 58,000 kVA 交 流 発 電 電 動 機
 諸 塚 発 電 所 用 配 電 盤 に つ い て

普 通 論 文

東洋アルミ工業株式会社納四重箔圧延設備
 株式会社神戸製鋼所納高速度線材圧延機電気設備
 防衛庁甲型警備艦用17,500 HPタービンの性能試験結果

日立教育訓練用小形原子炉 H. T. R.
 電 磁 流 量 計 に つ い て
 マ ニ ラ 鉄 道 納 食 堂 車
 ク ラ ッ チ 嵌 入 時 の 油 圧 制 御 に 関 す る 研 究
 唾 鈴 ラ ン ジ バ ン 形 振 動 子 の 設 計 理 論
 赤 外 分 光 計 に よ る 感 光 性 ポ リ ビ ニ ル ア ル コ ー ル 光 化 学 変 化 の 追 求

多 条 列 に よ る 裸 母 線 の 許 容 電 流 低 減
 技 術 者 ノ ー ト

日 立 磁 気 遮 断 器 の 保 守

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
 取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番