

# 衝撃電圧による放電率の決定法に就いて

笈 川 俊 雄\*

## Determination of Discharge Rate by Impulse Voltage

By Toshio Oikawa

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

For determining the 50% flash-over voltage it has been the common practice to employ the interpolating method. And the repetition of voltage impressing has been around 5~10 times in most cases. However, if the measurement is ended so quickly as above, there is little wonder that the results of the measurement do not agree to each other and it often raises a question whether the difference is caused by a poor accuracy of the measurement or by a fluctuation of the flash-over voltage.

To work out an answer to this problem, the writer has clarified the relation between the number of measuring and the measurement error.

The paper deals with the above, and in addition, introduces an another method of measuring the 50% flash-over voltage termed the up and down method. According to the writer's experiment, the results of measurements by the above two methods showed a general agreement.

### 〔I〕 緒 言

電気機器の衝撃試験の際 50% 閃絡電圧を定めるには、内挿法によるのが普通である。即ち JEC-106 によれば 50% 閃絡電圧は波高値の異なる試験電圧を 5 回以上印加して、それぞれ放電率を定め、これが 20% 乃至 80% の範囲内にある場合には内挿法によつて決定することが規程されている。ところがこの程度の回数で測定した場合には測定結果が一致しないのが普通であつて、この原因がそれぞれの測定時に於て閃絡電圧が変動したためか、或は測定の精度が悪いためか判断に苦しむ場合が多い。そこで若しもその測定回数に対して測定結果がどの程度信頼出来るか、明らかにされておれば、かゝる問題は解決される筈である。

一般に % 放電率なる言葉が存在すると云うことは、一定電圧を印加しても放電する場合もあり放電しない場合もあると云うことであつて、かゝる場合には放電率を決定するための電圧印加回数を増せば増す程精度が向上することは常識的に考えても明らかなことである。しかし

実際問題として被測定物は製品である場合が多いので、あまり多数回の放電を生ぜしめることは望ましいことではないばかりでなく、火花のために表面状況が變つて放電電圧に変化を来す恐れもあり、又手数 of 点から云つてもなるべく少数回で測定をすませることが望ましいわけである。そこで若しも測定回数に対する放電率或は放電電圧測定値の確度が明らかになつておれば、例え少数回で測定したとしても測定結果の価値判断を誤ることはないであろうし、又より高い確度を必要とする場合には、それに依じて必要なだけ測定回数を増せばよい。そこで〔II〕章では先ず内挿法により 50% 閃絡電圧を決定する場合の必要は電圧印加回数及び測定値の信頼限界を推定する方法に就いて述べてある。

次に〔III〕章では内挿法以外の方法として昇降法を紹介した。この方法はなるべく少数回の測定で 50% 値或は任意の % 値を推定する統計的方法として知られているもので筆者等はこれを放電率の測定法に応用してみた。現在までの実験結果では 50% 閃絡電圧の測定結果は内挿法ともよく一致し、測定方法としても若干簡便のように思われる。

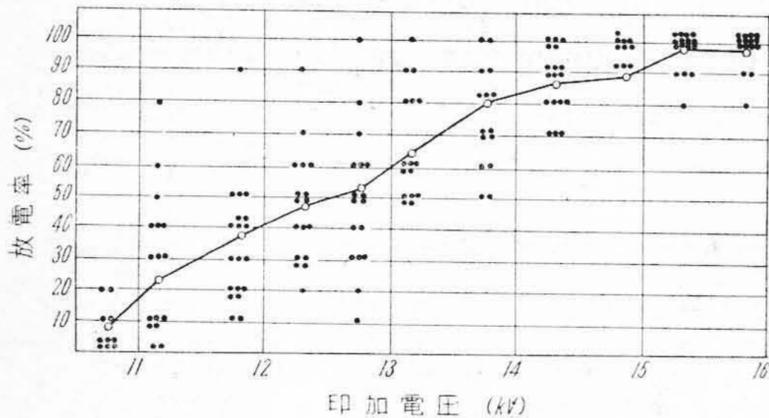
\* 日立製作所日立研究所

〔II〕 内挿法による放電率の決定

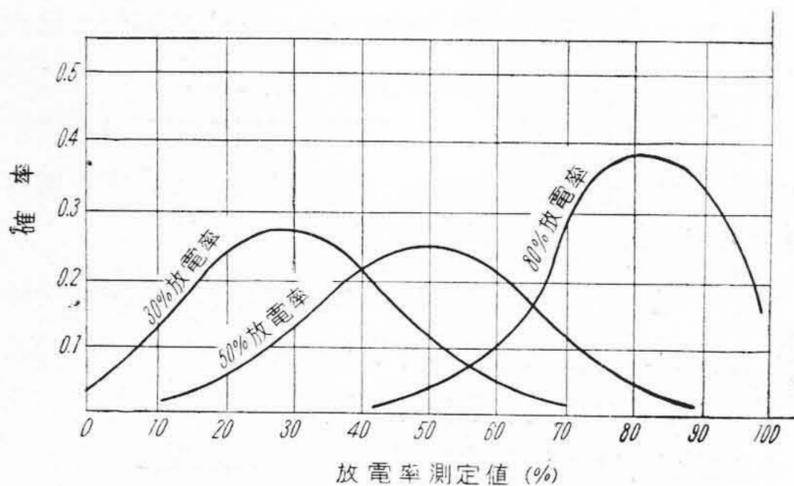
(1) 放電率測定値のばらつき

%放電率が存在する範囲、即ち一定電圧を印加しても放電したり放電しなかつたりする範囲は普通不整範囲と呼ばれており、これは機器の種類によつても異なり、又温度湿度等の周囲条件によつても、ある程度左右されるように思われる。今ある種の多間隙に就いての測定結果の一例をあげると第1図の如くなる。同図中の各点はそれぞれの電圧に於て 10 回の電圧印加の中、放電した回数より定めた放電率で、かかる操作を各電圧に於て 17 回行つたものである。この結果から印加電圧対放電率曲線を明確に画くことは困難である。内挿法は二点の放電率の測定によつて上記曲線を推定し、その曲線から 50% 放電電圧を定めるものであるから、第1図を見れば測定の度毎に 50% 放電電圧測定値は広範囲にばらつくことがわかる。ところが各電圧に於ける放電率の平均値をとると図中の実線のようになつて真の放電曲線に近づいてくる。

そこで今ある一定電圧にのみ着目して、その電圧に於ける放電率測定値のばらつき方について考えると、電圧



第1図 放電率実測例  
Fig. 1. A Measured Example of the Percentage of Breakdown



第2図 放電率測定値とその確率  
Fig. 2. Measured Percentage of Breakdown and its Probability

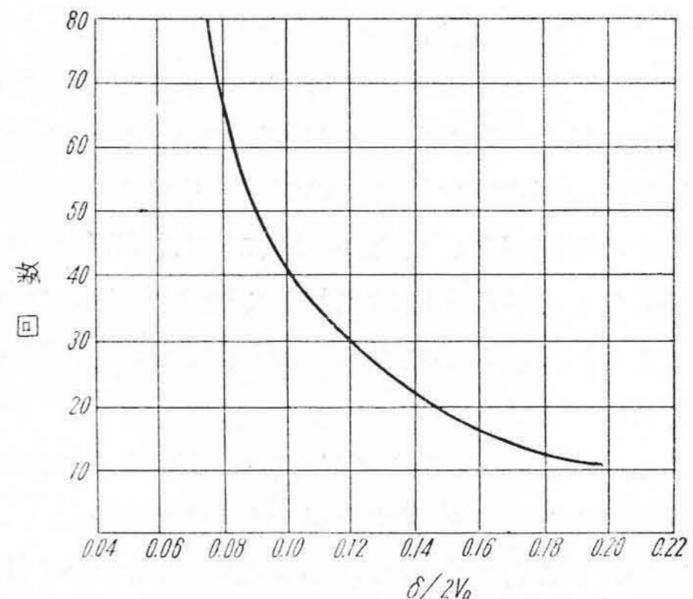
を無限回印加して定めた放電率  $p$  を真の放電率とすれば、この電圧を  $n$  回印加した場合に  $r$  回放電する確率は  $nC_r p^n (1-p)^{n-r}$  なる二項分布であることが数学的に云える。(第1図から頻度曲線を書いてみても二項分布とよく一致する。)

以上のことを更にわかり易く言えば、ある電圧で真の放電率が  $p\%$  である場合には、 $n$  回の電圧印加から放電率を定めると、 $p\%$  と判断する確率は勿論一番多いわけであるが、その他の放電率と判断する機会も必ずしも少くないため、測定値としては第1図の如くばらついた値が出ると云うことになるわけである。二項分布を計算した結果は第2図の如くである。同図は真の放電率がそれぞれ 30%, 50%, 80% の電圧で 10 回の電圧印加から放電率を定めるときに、真の放電率或はそれ以外の放電率の現われる確率を示すもので、真の放電率と異つた値として測定される確率が存外大きいことがよくわかる。

以上のことから一定電圧を一定回数印加して放電率を定めると云う操作を多数回繰返してみると、観測値は二項分布をなすことが明らかになつた。かかる場合に上述の如き操作を一回行つて放電率を定めると、得られた結果がどの程度信頼出来るかと云うことは統計的に明らかにされる。

(2) 内挿法による誤差と測定回数との関係<sup>(1)</sup>

二点の放電率測定値から 50% 放電電圧を求める場合には電圧と放電率との関係が知られておらなければならぬ。厳密に云えばこの関係は箇々の場合に就いて実験的に求める必要があるが、こゝではこれが直線であると仮定する。かかる仮定は従来 JES 規格に於ても行われているもので、50% 点よりあまり離れない範囲では実際とも割合よく一致する。かかる仮定のもとに 50% 放電電圧を所望の誤差の範囲内で測定したい場合には第3図



第3図 許容誤差と測定回数との関係  
Fig. 3. Relation between Allowable Error and Number of Measurement

を使用すればよい。同図の横軸には許容誤差  $\delta$  を不整範囲  $2V_0$  で除したものがとつてあり、縦軸は所要電圧印加回数である。不整範囲  $2V_0$  は測定前にはわからないのが普通であるから、何等かの他の方法で推定する必要がある。即ち普通には5回程度の測定で100%放電電圧及び0%放電電圧を測定して不整範囲を出せばよい。勿論この測定では不整範囲の推定値に相当誤差の入ってくることは覚悟する必要があるが、それでも実用上はあまり差支えないようである。

(3) 放電率測定値の信頼限界

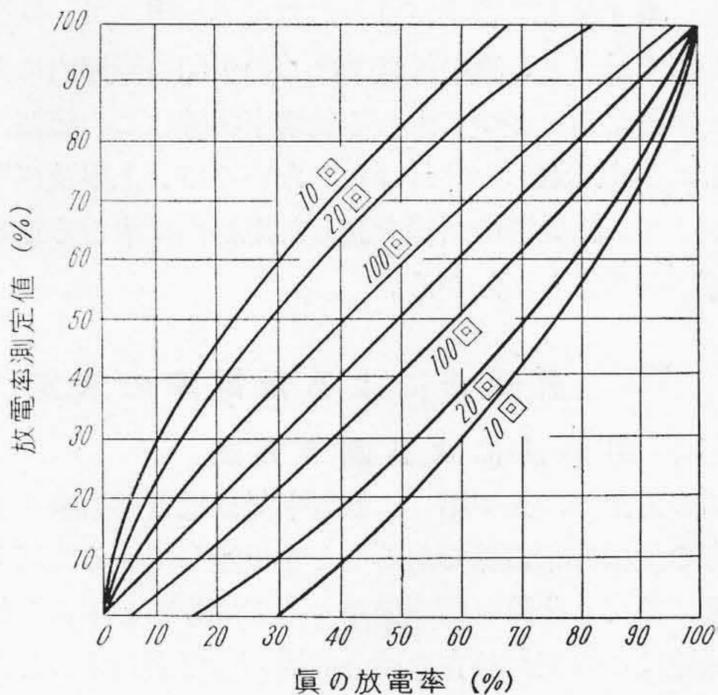
先づ  $n$  回の測定である電圧に於ける放電率を測定した場合得られた測定値の信頼限界は第4図に示されている。例えばある一定電圧を20回印加して16回放電したとすれば放電率の測定値は80%である。そこで第4図の縦軸の80%から引いた水平線とパラメーターに取つてある20回の曲線との交点をとると55%及び92%が得られるので、この電圧に於ける真の放電率は55%と92%との間にあることがわかるわけである。

次に前章の方法で測定回数を定めて50%放電電圧を測定した場合、測定値は前以て希望した誤差範囲内に必ずしも入っていないかも知れない。その理由は不整範囲の推定値に誤差が入っているためであつて、若し不整範囲が正確にわかつていれば実測の誤差は所望の範囲内に必ず入っているわけである。ところが前述のように不整範囲は測定前にはわかつていないのが普通であるから、止むを得ず不整範囲の推定値を用いて電圧印加回数を算出したのである。そこで第3図から求めた回数  $n$  で内挿法を行つた場合には、今度は二点の放電率の測定値が得られるわけであるから、その測定値から不整範囲を推定出来、従つて  $n$  回の測定から出した50%放電電圧の誤差も推定出来るわけである。誤差の推定のために必要な曲線を第5図に示す。

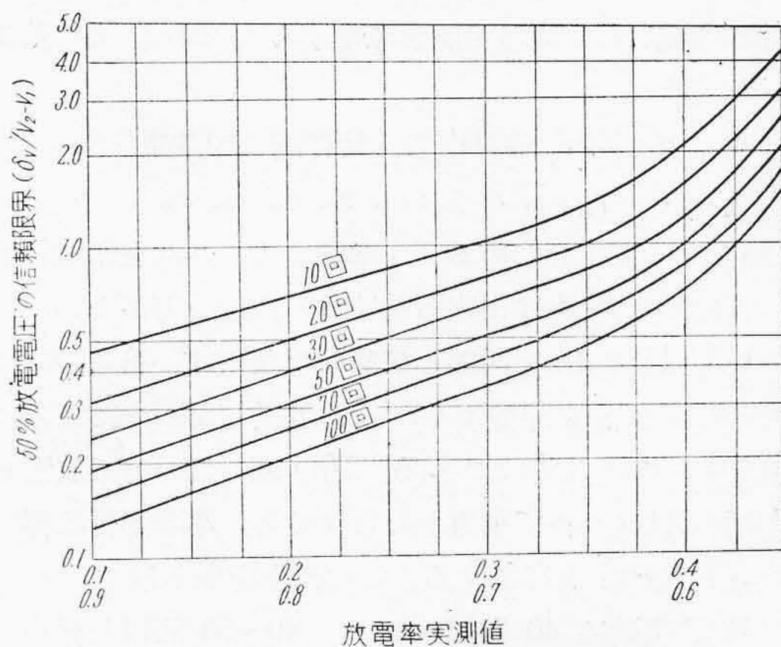
例えば電圧  $V_1$  で  $p_1\%$ 、 $V_2$  で  $p_2\%$  なる測定値を得たときは  $\frac{p_1+p_2}{2}$  なる放電率に対応する縦座標の読みを出し、その値に  $(V_2 - V_1)$  を乗ればこれが50%放電電圧測定値の誤差の範囲となるわけである。

(4) 放電率対放電電圧曲線の測定例

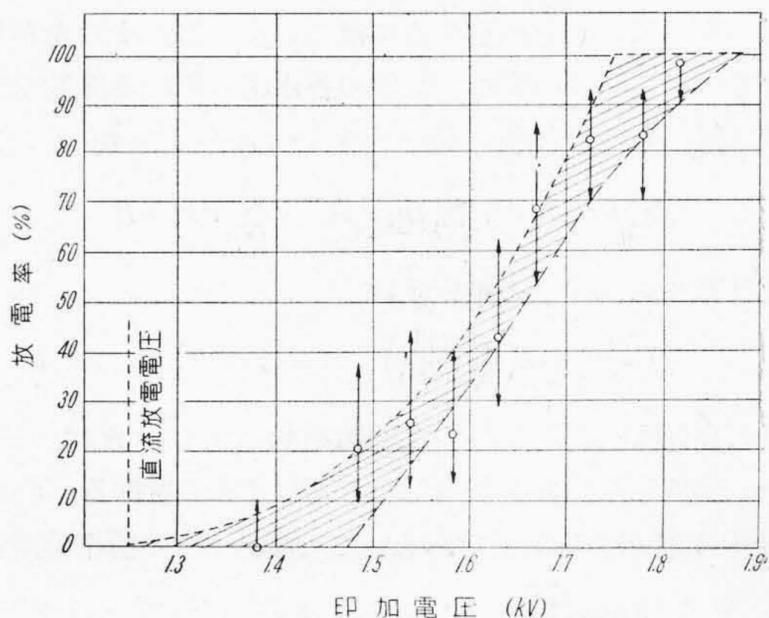
内挿法による50%閃絡電圧の実測例は〔IV〕章に於て述べるが、内挿法も結局は二点の放電率の測定に基いているので、こゝでは数点の放電率を測定して放電率対放電電圧曲線を推定した実例に就いて述べる。測定に使用したのは直径2cmの球間隙で特に不整の多いところを選ぶ意味で間隙長は0.2mmにした。測定結果は第6図の通りで各点の電圧印加回数は30回であるが測定点を直接結んでもあまり滑かな曲線は得られない。そこでこれらの測定値から放電率対放電電圧曲線を推定するに



第4図 放電率測定値の信頼限界  
Fig. 4. Reliable Limit of Measured Percentage of Breakdown



第5図 50%放電電圧の信頼限界  
Fig. 5. Reliable Limit of 50% Breakdown Voltage



第6図 信頼限界の推定  
Fig. 6. Presumption of Reliable Limit

は先づ第 4 図から各測定点の信頼限界を出して、同図中の矢印で示すと、真の放電率はこの矢印の範囲内にあることがわかる。従つて求むる放電率曲線はこの範囲内の一点は必ず通過しなければならないので、上限及び下限が定まり、結局図の斜線を施した範囲内に求むる放電率曲線があることがわかる。

〔III〕 昇降法による放電率の決定<sup>(2)</sup>

(1) 昇降法による測定方法

この方法では先づ第一に放電率対放電電圧曲線を正規分布の累積分布曲線であることを仮定している。即ち第 7 図に於て a 曲線を標準偏差  $\sigma$  の正規分布とすると放電率曲線はこの正規分布の積分曲線 (b) で表わすことが出来る。かゝる場合には 100% 放電電圧と 0% 放電電圧との差即ち不整範囲は大略  $4\sigma \sim 5\sigma$  と考えて大過ない。そこで昇降法は次の如き順序で行う。

(A) 適当な方法で 50% 放電電圧  $V_0$  及び不整範囲の標準偏差  $\sigma$  の大略の値を推定する。これを  $v_0'$  及び  $\sigma'$  とする。

(B)  $d=0.5\sigma' \sim 2.0\sigma'$  の一定間隔で印加電圧を

$$\dots, v_{-3}, v_{-2}, v_{-1}, v_0, v_1, v_2, v_3, \dots$$

と段階的に変化せしめるよう準備する。これを水準と云う。 $(v_0 \sim v_0')$   $d$  は出来るだけ  $1\sigma$  に近い方がよい。

(C) 最初  $v_j$  を印加し放電したならば、第 2 回には  $(v_j - d) = v_{j-1}$  を印加する。もし放電しなかつたならば  $(v_j + d) = v_{j+1}$  を加えてみる。今 1 回目は  $v_j$  で放電せず 2 回目は  $v_{j-1}$  で放電したとすると、第 3 回目は再び  $(v_{j-1} + d) = v_j$  を印加する。この操作を繰り返す。

(D) 実験は 40 回繰り返す。(40~50 回以上行われることが望しく、あまり少いと精度の算定に誤りを生ずる可能性がある。)

(2) 放電率の算定及び誤差の推定

実験終了後放電した回数と放電しなかつた回数とを計算する。 $V_0, \sigma$  を推定するにはこの少い側のものを利用する。即ち回数の少かつた側の各水準に於ける度数を水準の低いものから高いものへ  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_k$  とおき

$$\sum_{i=0}^k n_i = N \quad \sum_{i=0}^k i n_i = A \quad \sum_{i=0}^k i^2 n_i = B$$

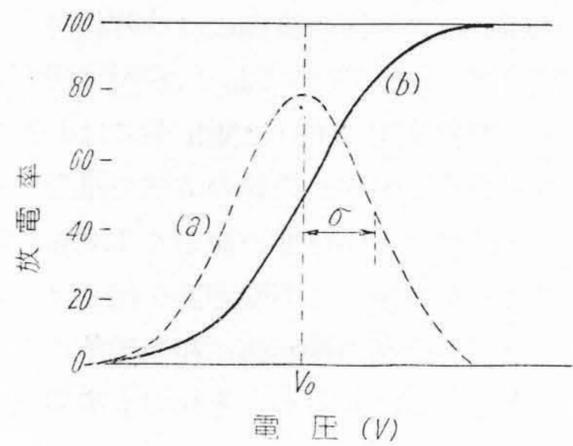
を計算すれば  $V_0$  の推定値は

$$V = v' + d \left( \frac{A}{N} \pm \frac{1}{2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

但し複号は放電しなかつた回数を利用するときは (+) を、放電した回数を利用したときは (-) を採る。 $v'$  は  $i=0$  に対応する電圧である。この場合  $V$  の標準偏差は

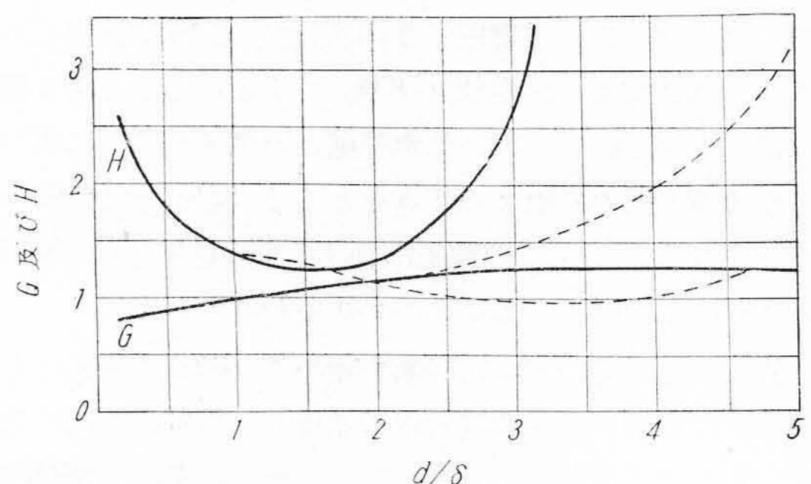
$$\sigma_V = \frac{GS}{\sqrt{N}} \dots \dots \dots (2)$$

で、 $\sigma$  の推定値及びその標準偏差は



第 7 図 放電曲線及びその標準偏差

Fig. 7. Percentage Curve of Breakdown and its Standard Deviation



第 8 図 G, H の曲線

Fig. 8. Curves of G and H

$$S = 1.62d \left( \frac{NB - A^2}{N^2} + 0.029 \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma_S = \frac{HS}{\sqrt{N}} \dots \dots \dots (4)$$

が与えられる。但し  $G, H$  は第 8 図に示される。図中で実線は  $V_0$  が  $v_j$  のどれかと一致した場合で、点線は  $V_0$  が  $v_j, v_{j+1}$  の中間にあるときの曲線であるが、 $\frac{d}{\sigma} < 2$  のときは実用上一致する。

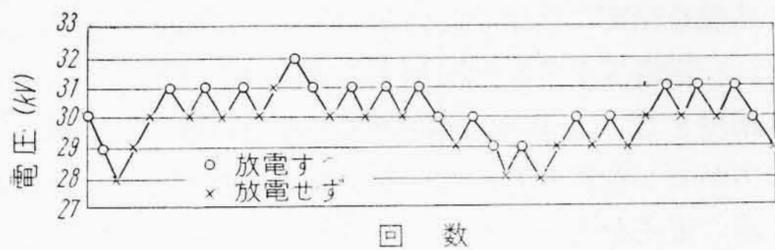
さて (1) (2) により 50% 放電電圧の推定値  $V$  及びその標準偏差  $\sigma_V$  が与えられるが、真の放電電圧が  $V \pm 2\sigma_V$  を超える確率は約 4% しかないから、 $2\sigma_V$  を信頼限界と考えて差支えない。同様に (3) (4) から不整範囲の推定値及びその信頼限界が与えられる。

(例)

今昇降法による結果が第 9 図の如くであつたとする。この場合電圧印加の間隔は  $d=1\text{kV}$  である。而して各水準に於ける放電した回数の和は 20 回、放電しない回数は 19 回であるので放電しなかつた方の結果を利用する。そこで第 1 表の如き方法で計算を行うと  $A=26, B=46$  を得る。

そこで

$$V = 28 + 1 \times \left( \frac{26}{19} + \frac{1}{2} \right) = 29.9$$



第9図 昇降法の一例  
Fig. 9. An Example of Up and Down Method

第1表 昇降法の計算  
Table 1. Calculation for Up and Down Method

$i$	$n_i$	$in_i$	$i^2n_i$
2	10	20	40
1	6	6	6
0	3	0	0
$\Sigma$	19	26	46

$$S = 1.62 \times 1 \times \left( \frac{19 \times 46 - 26^2}{19^2} + 0.029 \right) = 0.94$$

$$\frac{d}{S} = \frac{1}{0.94} = 1.06$$

故に図より  $G=1.0$   $H=1.3$

従つて

$$\sigma_V = \frac{GS}{\sqrt{N}} = \frac{1.0 \times 0.94}{\sqrt{19}} = 0.216$$

$$\sigma_S = \frac{HS}{\sqrt{N}} = \frac{1.3 \times 0.94}{\sqrt{19}} = 0.281$$

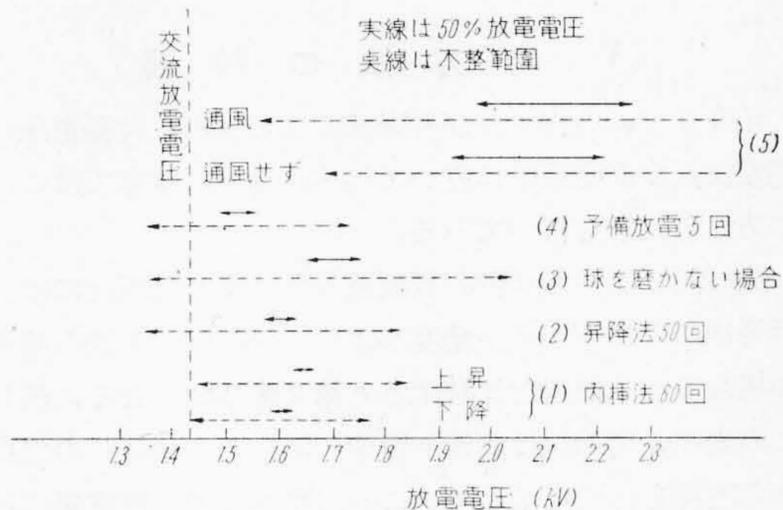
従つて

$$V = 29.90 \pm 0.43 \text{ kV}$$

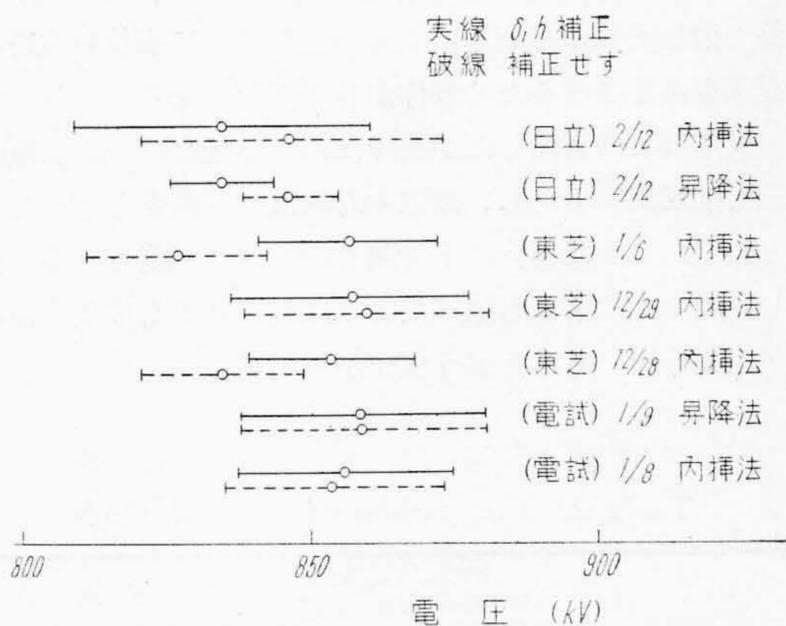
$$S = 0.94 \pm 0.56 \text{ kV}$$

【IV】 内挿法と昇降法の実測例による比較

先づ第10図には内挿法及び昇降法により 20 mmφ, d=0.2 mm の球間隙の 50% 放電電圧及び不整範囲を実測した結果を示してある。図中(1)は内挿法による測定結果であるが、上昇、下降とあるのは放電率の低い方から順次高い方に測定していったもの及びその逆の順序で測定したことを示している。これによると信頼限界が僅かではあるが離れているので、下降の場合の方が上昇の場合よりも 50% 放電電圧をやゝ低目に測定することを示している。次に(2)は同一月日に昇降法で測定したものであるが信頼限界は内挿法の場合と重つているので両測定法による差は認められない。(3)は測定の前に球を磨かなかつた場合で電極の酸化の影響を示しているが、僅か放電電圧は高めに出ているが、あまり甚しい影響は



第10図 50% 放電電圧測定の一例  
Fig. 10. A Measured Example of the 50% Break-down Voltage



第11図 内挿法及び昇降法の比較  
Fig. 11. Comparison of Interpolating Method and Up and Down Method

ない。(4)は昇降法による測定で、それぞれの測定の前に予備放電として5回放電させたもので(放電間隔約40sec)これでは明らかに放電電圧は下つている。即ち予備放電のために次の放電が影響されることを示しており(1)の場合と同じ現象になる。そこで今度は放電の度毎に通風して残留イオンの影響をなくしたのが(5)であるが、これでは差は認められない。又(4)と(5)とは同じ間隙を日を変えて測つたものであるが(5)の方は放電電圧は遙かに高くなり、それと同時に不整範囲も広がっている。このことは0% 放電電圧はあまり変わらず、100% 放電電圧が日によつて変動することを暗示している。

次にピン型支持碍子4箇積みの放電電圧を各所で測つた測定値及びその信頼限界を第11図に示す。同図ではδ, h 補正(空気密度及び湿度補正)を施さないと若干測定値は喰い違つているが、δ, h 補正を施したものは非常によく一致することを示している。

[V] 二 方 法 の 特 長

前章までに内挿法及び昇降法による 50% 閃絡電圧の測定法及び測定誤差に就いて述べたので、本章ではこの二方法の比較を行つてみる。

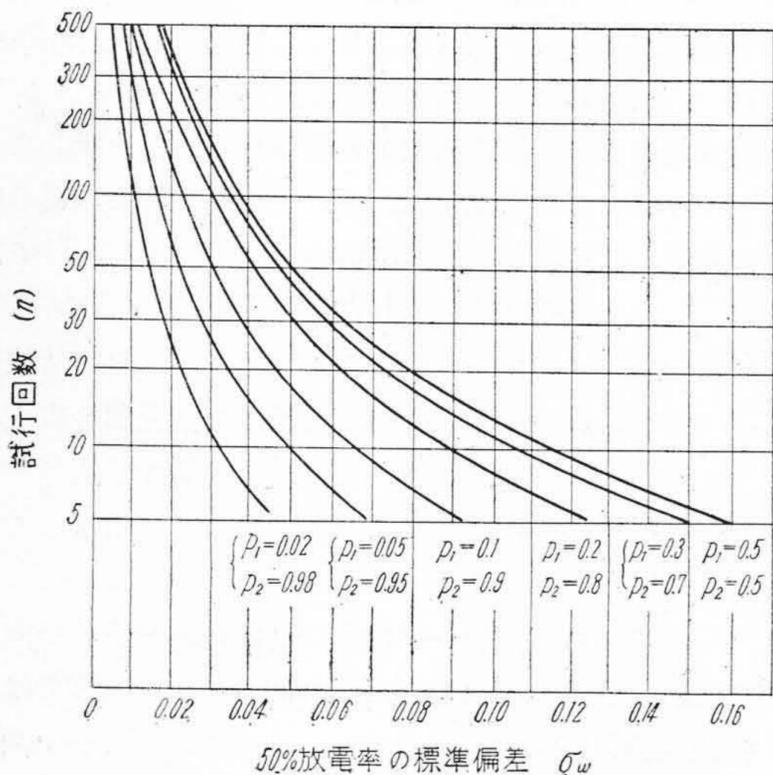
先づ同一回数で 50% 放電電圧を推定した場合には、昇降法による方が多少精度がよい。例えば 40 回の測定の場合の標準偏差を比較すると第 2 表の如くなる。但しこの表中の内挿法は測定放電率 20% 及び 80% の二点から内挿を行つたもので、この二点が 50% 放電率に近い程信頼限界の推定値に大きな誤差が入ってくる。極端な場合は 50% 放電率に二点が一致した場合で、この場合には信頼限界の推定は出来ない。

結局昇降法による方が精度も多少向上し、常に一定誤差で信頼限界の推定も出来るが、一回一回衝撃発生器の電圧を変化させるため操作が若干面倒になる。

又本稿では省略したが昇降法により任意の % 放電電圧も推定出来るから、放電率対放電電圧曲線を求めたいと云つたような場合にも勿論この方法は応用される。但し昇降法では前にも述べたように飽くまでも放電率曲線が正規分布であると云う仮定から出発しているので、こ

第 2 表 50% 二 方 法 の 比 較  
Table 2. Comparison of Two Methods

	50%放電電圧 の標準偏差	放 電 回 数
内 挿 法 (20% 80%)	0.30σ	20 回
昇 降 法	0.22σ	20 回



第 12 図 放 電 率 の 標 準 偏 差  
Fig. 12. Standard Deviation of 50% Breakdown

の曲線を精密に実測したいと云う場合には勿論適當でなく、一定電圧を多数回印加する方法に従うべきである。

結論としては 50% 閃絡電圧の推定の場合には昇降法の方がやゝ有利と考えられる。勿論この場合には衝撃発生器の電圧を上下するための誤差を出来るだけ減ずるよりに注意する必要がある。

[VI] 結 言

内挿法に誤差の観念を導入して定量的の測定を可能ならしめ、又簡便で精度の高い昇降法を紹介した。勿論後者の方法を 50% 閃絡電圧測定の標準方法とするには、なお多くの実験的検討を要する訳で、本法に興味を有せられる各位は昇降法を試みて内挿法との比較をされるようお願いする。

擧筆に当り終始御指導御鞭撻を戴いた当研究所副所長三浦博士及び牧主任研究員並びに御助言を戴いた島博士実験に協力された都築繁彦君及び赤津芳君に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 笈川：電氣三学会連合大会予稿 (昭 27-9)
- (2) Dixon and Massey: Introduction to statistical analysis (1951)

附 録

(1) 内 挿 法 に よ る 誤 差

今ある電圧  $V_1, V_2$  を  $n$  回印加した場合の放電回数をそれぞれ  $y_1, y_2$  とする。この二つの測定値から電圧対放電率の直線を知ることが出来る。それを

$$\frac{y}{n} = a + bV \dots\dots\dots(1)$$

とする。(1) に於て左辺は放電率であり、右辺の  $a, b$  を常数とすれば、これは明らかに求める放電率対電圧の関係を表わす方程式である。但し  $a, b$  は測定値から定つたものであるから真の値とは異つている。それ故  $a, b$  の真の値を  $\alpha, \beta$  とする。又後の計算を簡単にするために、 $V_1, V_2$  が 50% が放電電圧に対して対称であるものと考え、 $V$  の原点を 50% 放電電圧とする。しかるときは

$$\frac{y_i}{n} = \alpha + \beta V_i + Z_i \quad (i=1, 2) \dots\dots\dots(2)$$

なる関係がある。ここに  $Z_i$  は測定毎の偏差をあらわす。しかして仮定により  $V_1$  に於ける放電率を  $p$  とすると、 $V_2$  に於ける放電率は  $(1-p)$  であり、 $y_1, y_2$  の値は二項的に分布するから、測定値  $y_1, y_2$  の標準偏差が  $\sqrt{\frac{np(1-p)}{n}}$  で与えられ、したがつて  $Z_i$  は

$$\frac{\sqrt{np(1-p)}}{n} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = \sigma_{z_i} \dots\dots\dots(3)$$

なる標準偏差  $\sigma_{zi}$  で正規に分布すると考えてよい。 $a, b$  は測定値  $y_1, y_2$  を用うれば簡単な二元一次方程式を解くことにより求めることが出来る。即ち

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2n}(y_1 + y_2) \\ &= \alpha + \frac{1}{2}(Z_1 + Z_2) \quad (2) \text{式を代入} \\ &= \alpha + w \dots\dots\dots(4) \\ b &= \frac{y_1 + y_2}{2nV} \quad (\text{但し } -V_1 = V_2 = V \text{ とする}) \\ &= \beta \frac{Z_2 - Z_1}{2V} \\ &= \beta + z \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$w, z$  の分散はそれぞれ

$$\sigma_w^2 = \frac{\sigma_{zi}^2}{2} = \frac{p(1-p)}{2n} \dots\dots\dots(6)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{\sigma_{zi}^2}{2V^2} = \frac{p(1-p)}{2nV^2} \dots\dots\dots(7)$$

又  $V$  は放電率  $p$  に対応する電圧であり、且つ  $p=0.5$  に対応する電圧が原点にとつてあるから、0% 放電電圧と 100% 放電電圧の差を  $2V_0$  であらわせば

$$V = V_0(2p-1) \dots\dots\dots(8)$$

となる。それ故 (7) 式は

$$\sigma_z^2 = \frac{p(1-p)}{n} \frac{1}{2V_0^2(2p-1)^2} \dots\dots\dots(7)'$$

又 100% 放電電圧の推定値は

$$a + bV_{(100\%)} = 1$$

を解けばよく

$$V_{100\%} = \frac{1-a}{b} \dots\dots\dots(9)$$

(9), (4), (5) より

$$\begin{aligned} \frac{1-a}{b} &= \frac{1-(\alpha+w)}{\beta+z} \\ &= \frac{(1-\alpha)(1-w/1-\alpha)}{\beta(1+z/\beta)} \\ &\doteq \frac{1-\alpha}{\beta} \left(1 - \frac{w}{1-\alpha} - \frac{z}{\beta}\right) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

したがつて 100% 放電電圧の観測値の標準偏差は

$$\sigma_{1-a/b} = \frac{1-\alpha}{\beta} \sqrt{\frac{\sigma_w^2}{(1-\alpha)^2} + \frac{\sigma_z^2}{\beta^2}} \dots\dots\dots(11)$$

しかるに仮設により  $\alpha=0.5$   $\beta=\frac{1}{2V_0}$  で  $\sigma_w, \sigma_z$  は (6), (7) 式で定るから

$$\sigma_{1-a/b} = V_0 \sqrt{\frac{2p(1-p)}{n}} \sqrt{1 + \frac{1}{(2p-1)^2}} \quad (12)$$

さて内挿法により 50% 放電率を求めると、測定値として  $a$  を得るわけである。而して  $a$  の標準偏差  $\sigma_w$  は (6) 式であらわせるから  $p$  の種々な値に対して回数  $n$  と標準偏差との関係を求めると第 12 図の如くなり、これが内挿法による誤差推定の基本となる。

(2) 内挿法による信頼限界の計算

第 4 図は第 11 図より直ちに画くことが出来る。

第 5 図は次の計算式より得られる。

今  $V_1, V_2$  なる電圧でそれぞれ  $n$  回の測定を行つて、 $p_0, q_0$  なる放電率を得たとする。この場合の放電率の信頼限界は第 4 図から求められる。今それを  $(p_0-r)$  及び  $(q_0-\delta)$  とする。

今 50% 放電電圧を  $V, V_1, V_2$  に於ける真の放電率を  $p, q$  とすると次式が得られる。

$$p + \frac{q-p}{V_2-V_1}(V-V_1) = 0.5$$

従つて

$$V = (0.5-p) \frac{V_2-V_1}{q-p} + V_1 \dots\dots\dots(13)$$

こゝに  $V_1, V_2$  は測定の際定まる電圧であるが  $p, q$  は真の放電率であるから

$$\left. \begin{aligned} p &= p_0 + r \\ q &= q_0 + \delta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

但し  $r, \delta$  は偏差である。

(14) を (13) に代すると

$$\begin{aligned} V &= (0.5-p_0-r) \frac{V_2-V_1}{(q_0-p_0)+(\delta-r)} + V_1 \\ &\doteq (0.5-p_0) \frac{V_2-V_1}{q_0-p_0} \left(1 - \frac{r}{0.5-p_0} + \frac{\delta-r}{q_0-p_0}\right) + V_1 \end{aligned}$$

従つて

$$\sigma_V = \frac{V_2-V_1}{q_0-p_0} \sqrt{\sigma_1^2 + \frac{(0.5-p_0)^2}{(q_0-p_0)^2} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}$$



日立製作所社員社外寄稿一覧表 (昭和28年3月受付分)

投稿先	題名	執筆者所属	執筆者
オールム社	台湾の電力事情	本社	柴田万寿太郎
日本機械学会	最近の水力発電所建設工専用機械に就いて	亀有工場	阿部哲義
プラスチック協会	フェノール樹脂製品の機械的性能及び構造強度に就いて(その一)	多賀工場	松井千里
オールム社	交流発電機の冷却方式	日立工場	高橋昭吉
東北七県電力使用合理化協議会	最近の変電用機器	本社	岩田隼
養賢堂	歯車の高周波焼入	亀有工場	安河内春雄
ラジオ電化新聞社	電気記念日の所感	本社	武井忠三
日本能率協会	西独の工場内訓練	本社	児玉寛一
アグネ出版社	工具鋼のオーステナールングに就いて	冶金研究所	小柴定雄
日本化学会	珪酸エステルの研究(第二報) エチルエステルの加水分解生成物に就いて(その2) 二重体及び三重体の加水分解生成物に就いて	中央研究所	高谷通
日本化学会	珪酸エステルの研究(第三報) エチルエステルの加水分解生成物に就いて(その3)	中央研究所	高谷通
日本化学会	珪酸エステルの研究(第四報) エチルシリケート及びその多量体の粘度に就いて	中央研究所	高谷通
日本化学会	珪酸エステルの研究(第五報) 脂肪酸アルコール正珪酸エステル類の物理的性質に就いて	中央研究所	高谷通
照明学会	瞬時点灯型蛍光灯	本社	江川鱗之助
誠文堂新光社	自動車用電装品の話	本社	木邑仁
日本金属学会	鉄中の黒鉛の電子顕微鏡写真	中央研究所	{奥本武臣 土倉秀次
日本電機工業会	カラーダイナミックを実施して	亀戸工場	{山津夫 寺下幸信
日本伸銅協会	電気機関車と伸銅品	本社	河合輝二
アグネ出版社	オーステナイト系耐熱鋼の熔接	日立研究所	{小野健 川浩三
科学新興社	A. Wold 著 逐次解析法(翻訳)	中央研究所	島田正三
自由書房	就職希望者に対する意見と希望	本社	曇秀雄
オールム社	真空を作る原理とその方法	本社	{横山正毅 長谷部卓二
日本金属学会	13Cr不銹鋼に関する二三の実験	冶金研究所	新持喜一郎
電気学会	最近の水車発電機	日立工場	高木正
電気学会	東京電力株式会社潮田火力発電所納水素冷却55,000kWタービン発電機	日立工場	高林乍人
国際技術協力協会	日本技術の海外進出	本社	河野長策
朝日新聞社	日立TA型攪拌式電気洗濯機	本社	香田武夫
朝日新聞社	扇風機	本社	鈴木信一
朝日新聞社	日立KW-4型ドラム式電気洗濯機	本社	香田武夫
朝日新聞社	日立家庭用電気井戸ポンプ	本社	中島文雄
朝日新聞社	日立電気冷蔵庫	本社	綿引一郎