UDC 621.313.3.045: 621.3.048
621.3.015.5: 621.317.333.4

論 文

49-A 44

回転機コイルのボイド分布推定法

三菱電機株式会社 平 林 庄 司

三菱電機株式会社 長谷川 武 敏

三菱電機株式会社 渋谷 義 一

大 阪 大 学 犬 石 嘉 雄

1. ま え が き

発電機、大形誘導電動機などの高電圧機器の絶縁には、一般にマイカ積層含浸絶縁構造を用いているが、含浸工程の不備あるいは使用中の振動、熱サイクル、化学的変質などにより絶縁組織内部にボイドを生じ、これが絶縁破壊の原因となるおそれがある。ボイド含有状態を知る方法としては次のようなものが提案されている。ボイドの面積に比例した量を見かけの個数とし、それをギャップの長さの関数として求める岡本氏の方法⁽¹⁾およびボイド含有率を交流電流試験法の結果から求め、そのギャップの長さ（印加電圧に対応）に対する特性を調べる寺瀬氏の方法⁽²⁾などがある。

筆者らは絶縁組織内部のボイドに起因する部分放電パルスの発生個数および大きさを多チャンネル波高分析器で測定した結果から、ボイドがどのくらいの放電面積で、どのくらいのギャップの長さのところにどのくらいの個数が分布しているかを推定する方法を見いだしたので、その方法および試験結果について述べる。本推定法では放電開始電圧がパッシェンの法則に従い、部分放電の残留電圧は零であることを仮定している。実際にモデルボイド（単一ボイド）を用いた実験によれば、これらの仮定がほぼ成り立っていることが

わかった。

実際の回転機コイルのボイド分布計算は、コイルの絶縁厚、誘電率、部分放電開始電圧および多チャンネル波高分析器による部分放電パルスの測定値を電子計算機に与えて自動的に処理する方法によった。

回転機モデルコイルについての計算結果ではボイドのギャップの長さは0.3 mm以下、放電面積は数100 mm²以下の範囲に分布していた。本推定法から得られる結果から逆に計算される $\Delta \tan \delta$ は実測値と良く一致する。また寺瀬氏の方法によるボイド含有率⁽²⁾も、筆者らの方法による結果と傾向的に良く合う。このことは本推定法の妥当性を示すものと考えられる。

2. ボイド分布推定法の原理

ボイド放電の際の放電電荷、放電パルスなどの電気的諸量とボイドのディメンションの関係を求めるために、回転機コイル絶縁物中のボイドおよびボイド放電に関して次のような仮定を行なう。

(I) ボイドはすべて扁平な平行ボイドである。

(II) ボイドの放電電圧は金属電極ギャップの1気圧空気のパッシェン曲線に従う。

(III) ボイドが放電した直後の電圧すなわち残留電圧は零である。

(IV) 絶縁物中には数多くのボイドが存在し、その個数はギャップの長さ l および面積 s について連続的に分布する。

(V) ボイドのギャップの長さ l はある値（普通0.2～0.4 mm）以下のところで分布する。

まず簡単のために1個のボイドの部分放電に関する諸量について調べる。まず仮定(I), (II)より部分放

Estimation of Void Dimension Distribution in Insulation of Rotating Machine Coil. By S. HIRABAYASHI, Member, T. HASEGAWA, Non-member, Y. SHIBUYA, Member (Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.) & Y. INUIISHI, Member (Faculty of Engineering, Osaka University).

平林庄司：正員，三菱電機株式会社中央研究所

長谷川武敏：三菱電機株式会社中央研究所

渋谷義一：正員，三菱電機株式会社中央研究所

犬石嘉雄：正員，大阪大学工学部電気工学科教授

電開始電圧 V_s がギャップの長さ t の関数として次のように求められる。

$$V_s(t) = \left(1 - \frac{1}{\epsilon_s} + \frac{d}{\epsilon_s t}\right) v_0(t) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $v_0(t)$ はパッシェン曲線から求まるボイドの放電開始電圧 (rms)、 d は絶縁厚さ、 ϵ_s は絶縁物の比誘電率である。次に (II) の仮定を用いるとギャップの長さ t 、面積 s のボイドが放電することにより検出される見かけの放電電荷 Q が t と s の関数として次のように与えられる。

$$Q(t, s) = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s s}{d-t} \sqrt{2} v_0(t) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率である。また半サイクルあたりの放電回数 N_0 はよく知られているように、残留電圧が零の場合には第 1 図の点線のような対電圧特性を示す⁽³⁾。これを実線すなわち次式で近似する。(次章に述べるように点線より実線のほうが実際に近い。)

$$N_0(V) = (2V/V_s - 1)u(V - V_s) \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 u は単位関数である。

実際の積層絶縁物中にはこのようなボイドが数多く存在する。まず、仮定 (IV) を使うと次のようなボイド分布関数 $M(t, s)$ を定義できる。

$M(t, s)dt ds$: $t \sim t+dt$, $s \sim s+ds$ の範囲にあるボイド個数

次に、(1)式および(2)式を用いればボイドの形状を表わすのに t, s の代わりに V_s, Q を用いることができる。このとき変換が一価的となるために仮定 (V) が必要となる (第 10 図参照)。そして V_s, Q に関するボイド分布関数 $M^*(V_s, Q)$ も同様に定義できる。 $M(t, s)$ と $M^*(V_s, Q)$ の間の関係は Jacobi の関数行列式を用いて、

$$M(t, s) = M^*(V_s, Q) \left| \frac{\partial(V_s, Q)}{\partial(t, s)} \right|$$

第 1 図 単一ボイドの半サイクルあたり放電回数

Fig. 1. Number of partial discharge during half cycle for single void.

$$\frac{\partial(V_s, Q)}{\partial(t, s)} = \left\{ \frac{dv_0(t)}{dt} \left(1 - \frac{1}{\epsilon_s} + \frac{d}{\epsilon_s t}\right) - v_0(t) \frac{d}{\epsilon_s t^2} \right\} \frac{\epsilon_0 \epsilon_s v_0(t)}{d-t} \dots\dots (4)$$

で与えられ、全ボイド数 N_T に関して

$$N_T = \int_0^\infty \int_0^\infty M(t, s) dt ds = \int_0^\infty \int_0^\infty M^*(V_s, Q) dV_s dQ \dots\dots\dots (5)$$

のような関係がある。

このように数多くのボイドを含む絶縁物に電圧 V の交流を印加したときには、 $Q - \Delta Q/2$ から $Q + \Delta Q/2$ の範囲に発生する半サイクルあたりの部分放電パルス数 $N(V, Q)\Delta Q$ はボイドを表わす変数 V_s および Q についての積分として次のように表わされる。

$$N(V, Q)\Delta Q = \int_{Q-\Delta Q/2}^{Q+\Delta Q/2} \int_0^\infty M^*(V_s, Q) N_0(V) dV_s dQ \dots\dots\dots (6)$$

この式に (3) 式を用い、 u が $V_s = V$ 以上では零になることに注意し、かつ ΔQ を小さく選べば次式が得られる。

$$N(V, Q) = \int_{V_{sm}}^V M^*(V_s, Q) \left(\frac{2V}{V_s} - 1 \right) dV_s \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 V_{sm} は最小の部分放電開始電圧を示す。 $(V_{sm}$ は Q の関数である) この式を V について 2 回微分すると、次のような V についての 1 階線形微分方程式が得られる。 $(Q$ はパラメータとして考える)

$$\frac{\partial M^*(V, Q)}{\partial V} + \frac{2}{V} M^*(V, Q) = \frac{\partial^2 N(V, Q)}{\partial V^2} \dots\dots\dots (7')$$

これを $M^*(V, Q)$ について解けば次式を得る。

$$M^*(V_s, Q) = \left\{ \frac{\partial N(V, Q)}{\partial V} - \frac{2}{V^2} \times \int_{V_{sm}}^V V \frac{\partial N(V, Q)}{\partial V} dV \right\}_{V=V_s} \dots\dots (8)$$

(8) 式の右辺中の $N(V, Q)$ を求めるには、第 2 図に示すように多チャネル波高分析器を用いて実際のコイルなどの部分放電パルスを測定するのが便利である。実際には印加電圧 $V_i (i=1, 2, \dots, n)$ に対して

$N_{ij} = (Q_j - \Delta Q/2 \sim Q_j + \Delta Q/2)$ の範囲の半サイクルあたりのパルス個数 $/\Delta Q$ ($j=1, 2, \dots, m$)

を求める。 N_{ij} は $N(V_i, Q_j)$ を表わしているので、(8) 式を次のような階差式に書き改めることができ

第 2 図 部分放電パルス測定回路

Fig. 2. Block diagram of partial discharge pulse measurement.

る。

$$M^*(V_{si}, Q_j) = \frac{N_{i+1j} - N_{i-1j}}{V_{i+1} - V_{i-1}} - \frac{2}{V_i} N_{ij} + \frac{2}{V_i^2} \sum_{i=1}^j N_{ij} \left(\frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{2} \right) \dots (9)$$

この式より生のデータから直接 M^* (従って M) の数値を求めることができる。

3. モデルボイドによる実験

前章の理論には種々の仮定を含んでおり、その妥当性について確かめる必要がある。ここでは第3図に示すようなディメンションのわかっているモデルボイドについて(1),(2)式および(3)式などが成り立っているかどうかを調べる。このボイドの実験では1回目の電圧印加の際に測定される諸量にばらつきが多かったので、2回目以降に測定を行なった。

まず、(1)式の部分放電開始電圧について調べる。印加電圧 V を上昇して行き、部分放電パルスが現われ始める電圧 V_s からボイド内放電開始電圧 v_s を

$$v_s = \frac{V_s}{(1 - 1/\epsilon_s + d/\epsilon_s t)}$$

で推定し、その結果を横軸 pt に対してプロットしたものが第4図である。プロットはパッシェン曲線(実線)に50%以内の誤差で合っている。これは初期電子の不足による放電の時間遅れによる開始電圧の上昇、および前回の放電の際の電荷が残ることによる開

第 3 図 モデルボイド

Fig. 3. Model void.

第 4 図 モデルボイドの放電開始電圧とパッシェン曲線

Fig. 4. Discharge inception voltage of model voids and Paschen curve.

第 5 図 モデルボイドの放電電荷

Fig. 5. Apparent charge observed in model void discharge.

始電圧の低下が原因であると考えられる。これは井関氏⁽⁴⁾の結果とも一致する。

次に(2)式の妥当性を調べたものが第5図である。測定結果は縦軸に観測されたクーロン値の範囲と平均値、横軸に $S\sqrt{2}v_s$ をとって整理した。同時に(2)式の直線を図示してある。測定値は平均値で考えて、(2)式による値より50%程度大きいものもある。 Q が1.5倍程度にもなっている原因としては、やはり放電の時間遅れによる放電開始電圧の上昇が考えられる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

同じ仮定(II),(III)に基づいて得られた部分放電パルスの個数を与える(3)式について検討する。第6図(a),(b)は電圧をゆっくり上昇したときのモデルボイドの放電個数をX-Yレコーダで記録したものであるが、部分放電開始電圧付近で放電個数が単位関数的

(a) $p=760 \text{ mmHg}$, $s=100 \text{ mm}^2$, $t=0.03 \text{ mm}$,
 $\epsilon_s=5.13$, $d=2.03 \text{ mm}$

(b) $p=760 \text{ mmHg}$, $s=50 \text{ mm}^2$, $t=0.3 \text{ mm}$,
 $\epsilon_s=5.13$, $d=2.3 \text{ mm}$

第 6 図 モデルボイドのコロナ発生ひん度対
印加電圧特性

Fig. 6. Partial discharge repetition rate as a function of applied voltage for model void.

に変化するので、(3)式の形でこれを近似することが妥当である。また放電個数の絶対値でみると、(a)図はよく合っているが、(b)図は(3)式で求まるものよりは少ない。他の例についてもパルス発生数は(3)式のものより少ないことが多い。このことは前述したように放電遅れのためのボイド放電電圧がパッシェン曲線で考えるものより高くなっていることを示している。放電がボイド全体で行なわれないで分れて飛ぶ場合には、パルス発生数は(3)式よりも大きくなるはずであるが、この現象はこのモデルボイドでは見られなかった。

このようなモデルボイドの実験では、ボイド個数は唯一個であるが、部分放電パルス個数は Q , V_s に対して連続的に分布しているので、前章で説明した手続きを用いてボイド分布関数 $M^*(V_s, Q)$ および $M(t, s)$ が算出できる。第 6 図 (a), (b) について $M^*(V_s, Q)$ を計算した結果を第 7 図 (a), (b) に示す。これによ

(a) $s=100 \text{ mm}^2$, $t=0.03 \text{ mm}$, $p=760 \text{ mmHg}$,
 $V_s=4.83 \text{ kV}$, $Q=7.85 \times 10^{-10} \text{ C}$

(b) $s=50 \text{ mm}^2$, $t=0.3 \text{ mm}$, $d=2.3 \text{ mm}$,
 $V_s=3.06 \text{ kV}$, $Q=1.5 \times 10^{-9} \text{ C}$

第 7 図 モデルボイドの部分放電パルスから
計算したボイド分布

Fig. 7. Void distribution calculated from partial discharge pulse data of model void.

れば●印で示す実際のボイドに対応する点の近くに M^* の最大の点が存在し、本推定法が有効であることを示している。ここで、(a)図において(5)式で求まる全ボイド数 N_T は 0.95 個であって、実際の値 1 とよく合っている。しかし、(b)図においては 0.54 個であった。このように N_T が 1 より小さくなるのは前記のパルス発生数が仮定より小さくなることに関連している。すなわち、放電の時間遅れが原因であると考えられる。このように求まるボイド分布関数は多少実際とはずれるが、実用上この程度のくい違いは問題はないであろう。

4. 回転機コイルのボイド分布関数の計算

実際の回転機コイルのボイド分布を推定する計算方法について述べる。この場合にも観測データ N_{ij} から(9)式により分布関数を推定することができるが、

データのばらつきが原因となって(9)式の計算値が大きく変動する。筆者らはこの不つごうをなくし、計算を電子計算機により機械化するために次のような関数近似による方法を考えて。

まず $N(V, Q)$ を V に関して

$$N(V, Q_j) = K_j(V - V_{smj})^{B_j} \dots\dots\dots (10)$$

のように関数近似する(第11図参照)。ここで V_{smj} は各 Q における最小の部分放電開始電圧であり、測定により求まるものである。すべての j について $N_{ij} \equiv N(V_i, Q_j)$ が成りたつような K_j および B_j は最小自乗法によって数値的に求めることができる。(10)式を(8)式に代入すれば V_s, Q に関する分布関数が求まる。

$$M^*(V_s, Q_j) = K_j(V_s - V_{smj})^{B_j} \times \left\{ \frac{B_j}{V_s - V_{smj}} - \frac{2(B_j V_s + V_{smj})}{V_s^2(B_j + 1)} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

M^* の $V_s - Q$ 平面における分布を表わすには M^* の等高線を描くのが便利である。この等高線は(11)式=一定の代数方程式を解いて求められる。実際には第8図(a)に示す●印の点を求める。なお、 $M^*=0$ に対応する点は (V_{smj}, Q_j) で与えられる。

(11)式により求まる M^* の値を(1), (2)式の変換式により $t-s$ 平面に移して考えると、第8図(b)に示すように $Q=Q_j$ に相当する破線曲線上で M が定義される。[V_s は考えている範囲で t についての減少関数であるから、第8図(a), (b)では横軸での大小が逆転する。第10図参照] この変換は(4), (11)式で行なわれるが、計算を簡単に行なうために筆者らは $v_0(t)$ に対して次のような近似式を用いた。(この近似式は Olyphant 氏⁽⁷⁾ のパッシュェン曲線に 1% 以内の誤差で合う。)

$$\log_{10} v_0(t) = 0.37 \left(\log_{10} \frac{t}{0.0076} \right)^{1.53} + \log_{10} 235 \dots\dots\dots (12)$$

第8図 ボイド分布関数 $M^*(V_s, Q)$ および $M(t, s)$ の等高線

Fig. 8. Contour lines of void distribution functions $M^*(V_s, Q)$ and $M(t, s)$.

ただし、 $v_0(t)$ および t の単位は V および mm である。そして、 M =一定の等高線は(12)式を含む超越方程式の根を求めることにより求まる。(第8図(b)の破線上の●印の点)

しかしながら、 $M(t, s)$ は第2章で定義されるような t, s についてのボイド分布密度であり、これから実際のコイルに存在するボイドの個数を簡単に知ることとはできない。これを知るにはギャップの長さ t 以上で、面積 s 以上の範囲に存在するボイド個数

$$N_V(t, s) = \int_s^\infty \int_t^\infty M(t, s) dt ds \dots\dots\dots (13)$$

を用いるとよい。実際には $M(t, s)$ がゼロと交わる第8図(b)の斜線内で積分を行なえばよい。

上に述べた手順により、回転機コイルのボイド分布推定の計算を自動的に処理するプログラムを作成した。このプログラムはコイルの絶縁厚 d , 誘電率 ϵ_s , 部分放電開始電圧 V_{smj} , 多チャネル波高分析器による部分放電パルスの測定値 N_{ij} を与えるとボイド分布関数 $M^*(V_s, Q)$, $M(t, s)$ の等高線およびボイド個数 $N_V(t, s)$ を計算するものである。このように本方式のような煩雑な計算も電子計算機を利用することにより迅速かつ正確に行なうことができる。

5. 計算結果とその検討

本章では、実際の回転機コイルを模擬したモデルコイル(テストバー)について前章の方法を適用し、ボイド分布の推定を行なった結果について述べる。さらに $\tan \delta$ の測定および寺瀬氏の方法によるボイド含有率の測定との比較を行なう。使用したモデルコイルの形状および諸元を第9図および第1表に示す。試料のうち試料1は誘導電動機用、試料2,3は発電機用のものである。コイルの諸元が定まれば t, s と V_s, Q との変換式(1), (2)が定まる。第10図は部分放電開始電圧とボイドギャップの長さの関係、すなわち(1)式の関係をこれらのモデルコイルについて求めたものである。部分放電開始電圧が最小となるギャップの長さは 0.3~0.4 mm とかなり大きいから、 t と V_s との関係が一意的となるための条件、第2章仮定(V)が成

第1表 モデルコイルの諸元
Table 1. Dimensions of model coils.

試料	寸法 (mm)				ϵ_s	絶縁構成
	l	a	b	d		
1	150	20	6.5	1.85	4.53	集成マイカ
2	254	50	12	4.26	3.68	集成マイカ
3	100	50	12	4.26	4.35	フレックマイカ

第 9 図 モデルコイルの形状
Fig. 9. Shape of model coil.

りたつと考えられる。

第 11 図 (a), (b), (c) に示すデータ点は試料 1~3 について得られた部分放電パルスのひん度分布である。このデータを前章で説明したプログラムにより処理した結果を次に述べる。まず第 11 図の実線はデータ点を (10) 式の形で関数近似した場合の $N(V, Q_i)$ を示す。次にそれぞれの試料について $M(t, s)$ の等高線図を第 12 図 (a), (b), (c) に示す。また (13) 式によって整理した $N_V(t, s)$ の結果を第 13 図 (a), (b), (c) に示す。

以上の計算結果から、ボイドのギャップの長さ t は 0.3 mm 以下であり、放電面積 s は数 100 mm² 以下

第 10 図 各モデルコイルに対する部分放電開始電圧とボイドのギャップの長さの関係

Fig. 10. Relations between partial discharge starting voltage and void gap spacing for model coils.

の範囲で分布していることがわかる。またボイド個数はいずれもボイドギャップの長さの小さいところに多い。このことはマイカ積層絶縁方式ではマイカのはくりや、含浸が不十分なことが原因で、特にギャップの長さの小さいものほどボイドの数が多いためであると考えられる。

第 11 図 モデルコイルについての部分放電パルスひん度の測定値とそれを近似する (10) 式の定数
Fig. 11. Partial discharge pulse repetition rate for model coil and constants of eq. (10) which approximates the measured values.

第 12 図 モデルコイルについて得られたボイド分布関数 $M(t, s)$

Fig. 12. Void distribution function $M(t, s)$ obtained for model coils.

第 13 図 モデルコイルについて求めたギャップの長さが t 以上で面積が s 以上の範囲に存在するボイド個数 $N_V(t, s)$

Fig. 13. $N_V(t, s)$ obtained for model coils, which is the number of voids whose gap spacing and area are larger than t and s respectively.

個々の試料についてボイド分布を比較すると次のようなことがわかる。まず誘導電動機コイル（試料 1）と発電機コイル（試料 2）は同じように集成マイカテープを用いた構造であるが、誘導機コイルには面積が大きいボイドが多く存在する。このことは両コイルの製造工程が異なることが原因であると考えられる。また同じ発電機コイルでも集成マイカ絶縁のもの（試料 2）とフレックマイカ絶縁のもの（試料 3）とを比較すると、集成マイカ絶縁のもののほうがボイドのギャップの長さおよび面積ともに小さい。このことは集成マイカ絶縁方式が有望であることを示していると考えられる。

このように、本ボイド分布推定法によれば回転機コイル絶縁内に存在するボイドの様子を知ることができ

る。さらに、これを使って製品および製造工程をチェックすることなども考えられる。

通常、回転機コイルでは絶縁試験としてシェーリングブリッジによる $\tan \delta$ および $\Delta \tan \delta$ の測定が行なわれる。 $\Delta \tan \delta$ はボイドの放電が原因であるから、ボイド分布関数 $M^*(V_s, Q)$ から $\Delta \tan \delta$ の値が次のように求められる⁽⁸⁾。

$$\Delta \tan \delta \cong \frac{-\varepsilon_s}{\pi U} \int_{V_{sm}}^V \int_{Q_{min}}^{Q_{max}} M^*(V_s, Q) t \cdot s \times \left\{ 1 - \left(\frac{V_s}{V} - 1 \right)^2 \right\} dQ dV_s \dots (14)$$

ただし、 U は絶縁物の体積である。第 14 図は前章で示した試料 1～3 のモデルコイルについて数値計算した結果をシェーリングブリッジで測定した $\tan \delta$ と比

第 14 図 モデルコイルのボイド分布から計算される $\Delta \tan \delta$ と実測値の比較

Fig. 14. Comparison between $\Delta \tan \delta$ calculated from void distribution and those of direct measurement for model coils.

第 15 図 寺瀬氏の方法により求まるボイド含有率と本方法によるボイド分布から求めたものの比較

Fig. 15. Comparison between void content obtained from Terase's method and that from void distribution of present method.

較したものである。両者は 20% 程度の誤差で良い一致を示している。このことは、ここで提案したボイド分布推定法の有効性を示すと同時に、分布関数を求めるために用いた部分放電の測定も正確で、シェーリングブリッジに測定された $\Delta \tan \delta$ に寄与するような部分放電パルスはほとんど全部測定されていたことを示している。

最近、寺瀬氏は交流電流試験法の原理を応用した自動絶縁特性解析装置⁽⁹⁾ (AIA) を開発し、これを用い

てボイド含有率を求める方法を提案している⁽²⁾。第 15 図はこの方法により前章のモデルコイル試料 1 のボイド含有率を測定した結果である。ただし、横軸には電圧を第 10 図の関係を利用してボイドギャップの長さ t に変換したものをを用いている。なお縦軸のボイド含有率は、ギャップの長さ t 以上のボイドの総体積に対応する。図中の破線は筆者らがボイド分布関数 $M(t, s)$ から次の式に従って求めたボイド含有率を示す。

$$P = \int_0^\infty \int_t^\infty M(t, s) t \cdot s \, dt \, ds / U \quad \dots\dots\dots (15)$$

ギャップの長さ t に対するボイド含有率の傾向は両者良く一致しているが、絶対値では約倍違っている。この原因は寺瀬氏の方法では単一ボイドの総放電荷が V_c 以上になると $V - V_c$ に比例して増大するという仮定が用いられている⁽²⁾のに対し、筆者らの仮定では第 1 図に示すように V_c に達すると不連続的に有限の放電値になるとしたため、寺瀬氏の方法では多数のボイドを仮定してはじめて筆者らの方法と同じ総放電荷を与えることになるためであろう。

6. む す び

以上、回転機コイルのボイド分布状態を部分放電パルスの発生数およびその大きさからボイドのギャップの長さ、放電面積がどの程度の大きさで、どのくらいの数が存在しているかを推定する方法および計算例について述べた。この方法には種々の仮定を含んでいるが、実験的に調べた結果、ほぼ正しいことが確かめられた。また、本推定法による結果は他の方法で推定した結果とよく対応することもチェックできた。

最後に本研究の初期において、多大の貢献をされた現九州大学 山田佳規氏および常に有益な助言と激励の言葉をいただいている中部電力(株)寺瀬齊博士に謝意を表します。

(昭和 48 年 8 月 2 日受付, 同 49 年 5 月 21 日再受付)

文 献

- (1) 岡本: 電学誌 84, 745 (昭 39-5)
- (2) 寺瀬: 電中研主催 34 回絶縁劣化研究懇談会資料 No. 18
- (3) 電気学会技術報告 45 号 (昭 36)
- (4) 井関: 富士時報 34, 3, p. 199 (昭 36)
- (5) 永田・中山・大石: 電気学会論文誌 92-A, 545 (昭 47-12)
- (6) 田中・池田: コロナ劣化委員会資料 47-5
- (7) M. Olyphant: Insulation, 35 (1963-2)
- (8) 平林・長谷川・渋谷: 電中研主催 38 回絶縁劣化研究懇談会資料 No. 18
- (9) 寺瀬: 電気学会論文誌 93-A, 45 (昭 48-1)