

UDC 537.213 : 317.32

誘導型電位計による絶縁物の帯電電位測定に
関する考察

田 畠 泰 幸*

Considerations of Electrostatic Potential of Charged Insulator
Measured by Use of Potentiometer of Induction Type

by Yasuyuki TABATA*

The electrostatic potentiometer of the induction type is often used to assess electrostatic risks caused by the charged material in industry. Although the measurements are carefully carried out, the measured potential, the indicated value of the potentiometer, fluctuates generally whenever the measurements are made. However, the reasons of fluctuations of the potential and the physical meanings obtained from the measurement have hardly been discussed.

Investigations have therefore been made mathematically and experimentally to scrutinize electrostatic potentials of the charged insulator measured by the use of a potentiometer of the induction type. As the result, it has become clear that the measured electrostatic potential of a charged insulator is proportional to the total charges as one in the case of a conductor and that the dispersion of measurements occurs chiefly due to the potential distribution and fluctuation of the real charged area on the insulator even though the total charge is equal. The apparent capacitance of the insulator is also deduced mathematically and experimentally in this paper.

Keywords : Electrostatics, Potential, Measurement, Insulator

1. 緒 言

帯電電位は市販の電位計によって簡便に測定できることから、静電気の一つの指標としてしばしば採用されている。しかし、測定対象が帯電した絶縁物であると、その表面は一般に金属のように等電位面ではないため、測定対象により、あるいは測定のために、指示値が変化することをよく経験する。また、非接触によって測定する電位計では、帯電物体と電位計との設定距離によっても指示値が変化するので、通常は電位計の設定距離が指定されている¹⁾。

このように、静電気測定では、帯電電位一つを取り上げてみても、一般の電位測定とは種々の点で異なる。特に、測定対象が絶縁物の場合は、上述した理由もあって、測定器自身の感度、分解能等の性能については勿論、測定方法についても多くの研究成果が発表されている²⁾。その反面、帯電電位測定によって得られた指示値の物理的意味については、あまりにも自明のことであると解釈され、これについて検討した報告はないようである。しかし、自明のことといえども、指示値の物理的意味が明確であると、帯電電位の測定のみによっても種々の情報を把握することができる³⁾。特に、最近では静電気災害・障害を防止する目的で、帯電電位の測定が従来に増して頻繁に現場で実施されている。この測定は研究室での測定のように、精度、分解能等は高いものではないが、そうであるからといって必ずしも信頼性のない測定ではなく、災害防止の立場からみると貴重な情報が得られている。

以上のような背景から、再確認の目的もあるが、ここでは電位計の一つとして、測定原理が帯電物体からの静電誘導を利用した電位計（以下、誘導型電位計という）を取り上げ、これによって絶縁物の帯電電位を測定したときに得られる指示値の意味等について論じる。また、その内容を検証する目的で、2、3の実験を試みたので、その結果についても述べる。

なお、この論文で使用した物理量の単位は、断らない限りすべて MKS であり、文中での単位は省略して記述されている。

2. 測定原理から導かれる定数

絶縁物の帯電電位測定について論じるに先だち、これに必要な定数を測定原理から導く。

誘導型電位計による測定では、原理的に Fig. 1 に示す

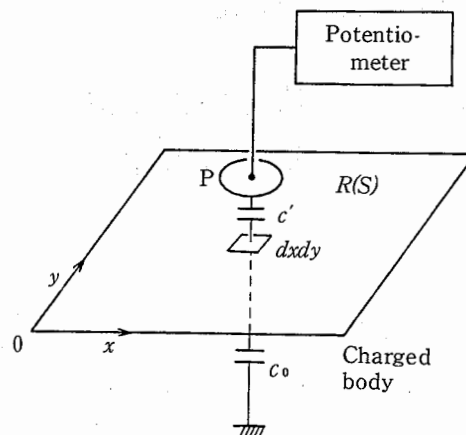


Fig. 1 Principle of measuring electrostatic potential by potentiometer of induction type
静電誘導による帯電電位の測定

ように、通常直流電源によって既知の基準電圧が印加されている面積の十分大きい金属平板^{*1}に、誘導型電位計の検出子 P を対向させ、これに誘導される電荷によって帯電電位の指示値が校正される⁴⁾。この測定原理によると、検出子に誘導される電荷 Q'_m は、検出子と金属平板上の任意の点 (x, y) における単位面積当りの結合容量^{*2}を c'_m 、金属平板に印加されている電位を V_m としたとき（記号の添字 m は金属平板であることを示す）、

$$Q'_m = \int_R V_m c'_m ds \dots\dots\dots (1)$$

となる。ただし、上式は $ds = dx dy$ とおき、金属平板の面積は R とした。

検出子に式 (1) の誘導電荷が現われると、誘導型電位計の指示値は $\langle V_m \rangle$ と目盛り（校正され）る。ここで式 (1) の V_m は点 (x, y) とは独立であることを考慮すると、 Q'_m は V_m に比例するので、目盛り $\langle V_m \rangle$ を Q'_m で目盛ることには矛盾がない。すなわち、目盛り $\langle V_m \rangle$ も次のように

$$\langle V_m \rangle = p Q'_m = p \left(V_m \int_R c'_m ds \right) \dots\dots\dots (2)$$

Q'_m に比例して目盛りばよく、式 (2) の p は比例定数であるとともに、指示値（電圧）に変換される変換係数で

* 1 検出子の面積に比較して十分大きな面積の金属平板。
* 2 単位面積当りの結合容量は検出子及び金属平板の大きさ、形状、それらの距離等、主に幾何学的条件に依存するので、幾何学的条件が異なるとこれも変化するが、誘導型電位計一般の使用条件では、以下の展開でほとんど変化しないものと仮定した。

もある。ただし、その物理的意味は、 $\langle V_m \rangle = V_m$ であるので、式(2)より

$$\begin{aligned} 1/p &= V_m \int_R c'_m ds / \langle V_m \rangle \\ &= \int_R c'_m ds = C'_m \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

となり、 $1/p$ は、自明のことながら、検出子と指示値校正のために用いられた金属平板との結合容量 C'_m に相当する。

このように、帯電物体が金属平板であると、誘導型電位計の指示値は結合容量*3によって定まる。したがって、いま帯電電位が V_{m1} 、その面積が S_m である金属平板の電位を、先に校正した誘導型電位計で測定すると、その指示値 $\langle V_{m1} \rangle$ は

$$\begin{aligned} \langle V_{m1} \rangle &= pQ'_{m1} = \frac{\int_{S_m} V_{m1} c'_m ds}{\int_R c'_m ds} \\ &= V_{m1} \frac{\int_{S_m} c'_m ds}{\int_R c'_m ds} = \alpha_m V_{m1} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

となり、 V_{m1} を指示せず、それが α_m 倍される。すなわち、 α_m は式(4)より

$$\begin{aligned} \alpha_m &= \frac{\int_{S_m} c'_m ds}{\int_R c'_m ds} = \frac{\int_{S_m-R} c'_m ds + \int_R c'_m ds}{\int_R c'_m ds} \\ &= \left(\int_{S_m-R} c'_m ds / \int_R c'_m ds \right) + 1 \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

となるので、一般に $S_m = R$ なら $\alpha_m \doteq 1$ となるが、通常 $S_m > R$ なら $\alpha_m > 1$ 、 $S_m < R$ なら $\alpha_m < 1$ となって、指示値は測定対象の帯電電位 V_{m1} が α_m 倍される。したがって、測定対象が金属平板で、その面積 S_m が校正の時に使用された面積 R に一致しても、厳密には結合容量が一致しない限り、指示値は式(5)の係数倍されることになる。これは、帯電電位を非接触で測定する時、たとえ被測定物体が金属平板で、それと誘導型電位計との設定距離が同じであっても、結合容量の不一致は避けられないことを示唆している。したがって、測定にあたっては、指示値にそれが影響していることを必ず考慮しなければならず、少なくとも面積の小さい帯電物体、形状が棒、球のように曲面をしている場合は、その測定にあたって、指示値を校正しないと測定誤差が大きいことになる。

以上のように、帯電電位を誘導型電位計で測定すると、

* 3 誘導型電位計の検出特性を定める主な要因でもある。

その都度校正をしない限り、少なからず誤差を含むことになる。しかし、測定によって得られる電位 $\langle V_m \rangle$ は、静電気の基本的な物理量である電荷量と独立なものではなく、一般にはそれに比例したものである。したがって、静電気においては、帯電電位の測定が災害・障害防止の面あるいは静電気現象を探究する面においても、しばしば実施され、これは基本的な物理量である電荷量を間接的に把握することになるので、重要な意味をもつ。

3. 絶縁物の帯電電位測定

帯電物体が絶縁物の場合も、Fig. 1に示す微小部分 ds に着目すれば、そこでは帯電電位がほぼ一定と仮定してよい。その結果、この微小部分については式(1)と同様に扱うことができ、そこでの電位を V 、単位面積当りの結合容量を c' 、絶縁物の全表面積を S とすると、検出子に誘導される電荷 Q' は

$$Q' = \int_S Vc' ds \dots \dots \dots (6)$$

となる。ここで、先の金属平板で校正された誘導型電位計を用いると、その指示値 $\langle V \rangle$ は式(3)を用いて

$$\langle V \rangle = pQ' = \frac{1}{C'_m} \int_S Vc' ds \dots \dots \dots (7)$$

となる。ここで上式の V は連続に変化し極性も同じであるとすると、式(7)は平均値の定理を用いて展開され、

$$\langle V \rangle = \frac{1}{C'_m} \left\{ V(\xi, \eta) \int_S c' ds \right\} = \frac{C'}{C'_m} V(\xi, \eta) \quad (8)$$

となる。ただし、上式の点 (ξ, η) は、測定対象である絶縁物の表面上に存在するもので、 $V(\xi, \eta)$ はその点における帯電電位である。また、式(5)と同様に

$$\alpha = \frac{\int_S c' ds}{\int_R c'_m ds} = \frac{C'}{C'_m} \dots \dots \dots (9)^{*4}$$

とおくと、この場合も指示値は電位 $V(\xi, \eta)$ の α 倍を示すことになる。

一方、絶縁物の帯電電位について次のような平均電位 \bar{V}

$$\bar{V} = \frac{\int_S V ds}{\int_S ds} = \frac{V(\xi_0, \eta_0) \int_S ds}{\int_S ds} = V(\xi_0, \eta_0) \quad (10)$$

* 4 C' は数学的に算出される検出子と被測定絶縁物との結合容量で、導体系でないために式(3)で示されている結合容量に必ずしも一致しない。

を定義すると、式(8)で得られた指示値 $\langle V \rangle$ は、 $\xi = \xi_0 + \Delta_1$ 、 $\eta = \eta_0 + \Delta_2$ とおいたとき、 $0 < \theta_1, \theta_2 < 1$ なる θ_1, θ_2 を用いて式(8)の $V(\xi, \eta)$ が展開でき、これは

$$\begin{aligned} \langle V \rangle &= \frac{C'}{C_m} V(\xi, \eta) = \alpha V(\xi_0 + \Delta_1, \eta_0 + \Delta_2) \\ &= \alpha \left[V(\xi_0, \eta_0) + \left\{ \frac{\partial V(\xi_0 + \theta_1 \Delta_1)}{\partial x} \Delta_1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\partial V(\eta_0 + \theta_2 \Delta_2)}{\partial y} \Delta_2 \right\} \right] \\ &= \alpha \left[\bar{V} + \left\{ \frac{\partial V(\xi_0 + \theta_1 \Delta_1)}{\partial x} \Delta_1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\partial V(\eta_0 + \theta_2 \Delta_2)}{\partial y} \Delta_2 \right\} \right] \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

となる。

ここで、帯電物体が金属であると、式(10)から金属の \bar{V} はその帯電電位 V_m であり、また、 $\partial V / \partial x = \partial V / \partial y = 0$ より、上式 [] 内の第二項はない。したがって、誘導型電位計の指示値は2節で述べたとおり、金属の帯電電位を α_m 倍したものになる。しかし、絶縁物の場合は、上式 [] 内の第二項が存在するため、式(10)で平均電位を定義したものの、その α 倍が示されるのではない。すなわち、式(11)から明らかのように、絶縁物の帯電電位が一様でない、絶縁物の表面上に生じている電界が指示値に影響を及ぼすことになる。後者については、絶縁物の表面上に生じたそのみならず、絶縁物では電荷が内部にも存在することがあり、これによって内部に電界が生じると、これも指示値に影響することを式(11)は示唆している。また、式(10)で定義された平均電位 \bar{V} 、ならびに式(9)に示されている C' の全く等しい二つの帯電物体があったとしても、それらの電位分布が同じでないならば、式(11)からその指示値は一致しないことが容易に推察される。

以上のように、誘導型電位計の指示値(測定値の意味)について考察すると、式(11)は数学的に誘導されたもので、この式に示されている物理量の確認は困難であるというものの、従来あいまいであった指示値の意味及びそれに影響する要因が示された。すなわち、被測定物体が絶縁物の場合は、誘導型電位計の校正に係る α を別にいても、これに指示される値は導体系で定義されている電位あるいは絶縁物の平均電位に必ずしも一致するものではなく、これには被測定絶縁物の電位分布の影響が現われる。絶縁物の場合は電荷が等電位となるように移動できないために、電位分布が指示値に少なからず影

響するのは当然であるものの、これは、実際の測定において仮りに平均電位が同じであるものを測定しても、測定値のゆらぎとなって現われることを示唆している。

4. 帯電電位測定から推定される諸量

誘導型電位計は冒頭でも述べたとおり、簡便に使用できることから、災害・障害防止の目的でしばしば使用されている。また、静電気の基本的物理量は電荷量であるが、その測定は簡便に実施できないことから、電荷量の代りに帯電電位が測定される。ここでは帯電電位の測定により、これから推定される静電気の諸量について考察する。

2節でも述べたとおり、帯電物体が導体であると、自明のことながら帯電電位と電荷量とは比例する。したがって、帯電電位の測定から電荷量が半定量的に推定される。絶縁物の場合もこのような比例関係が成立するかどうか、特に誘導型電位計によって測定された電位と電荷量との関係についてまず調べてみる。

いま、絶縁物に帯電している電荷量を Q とすると、これは単位面積当りの対地間静電容量を c_0 としたとき

$$Q = \int_S V(c_0 + c') ds \dots\dots\dots(12)$$

となる。上式も同様に平均値の定理を用いて展開すると

$$\begin{aligned} Q &= V(\xi', \eta') \int_S (c_0 + c') ds \\ &= V(\xi', \eta') \int_S c_0 ds + V(\xi', \eta') \int_S c' ds \quad (13) \end{aligned}$$

となる。ここで、上式の第二項は式(8)と同じ展開であるから、 $V(\xi', \eta') = V(\xi, \eta)$ とおくことができ、式(13)は

$$\begin{aligned} Q &= V(\xi, \eta) \int_S c_0 ds + V(\xi, \eta) \int_S c' ds \\ &= V(\xi, \eta) (C_0 + C') \dots\dots\dots(14) \end{aligned}$$

となる。上式に式(8)、(9)を代入して整理すると

$$Q = \frac{C'_m}{C} (C_0 + C') \langle V \rangle = \frac{C_0 + C'}{\alpha} \langle V \rangle \dots\dots(15)$$

となる。

これより、絶縁物では一般にその表面あるいは内部に電位分布(電界)が形成されるから、それに寄与する電荷があるというものの、この場合も全電荷量と誘導型電位計の指示値との間には、式(15)で示されるように比例関係が成立する。

一方、式(15)において、 Q と $\langle V \rangle$ との比をとると、

$$\frac{Q}{\langle V \rangle} = \frac{C'_m}{C} (C_0 + C') = \frac{1}{\alpha} (C_0 + C') = \frac{C}{\alpha} \quad (16)$$

となり、絶縁物にみかけの静電容量 C を考えることもできる*5。静電容量は一般に等電位となる導体系に限って定義されているが、式(16)のように Q と $\langle V \rangle$ との比をとれば、絶縁物にも導体系と同様な物理量であるみかけの静電容量が考えられなくはない。ただし、式(16)のように誘導されたみかけの静電容量は、数学的に誘導されたものであることと、既知の電圧が印加されている金属平板によって目盛が校正された誘導型電位計による測定電位に関連して導出されたものであり、普遍性のあるものではない。また、式(16)が誘導されるまでの過程を考察すると、この式に示されたみかけの静電容量 C は、電荷が絶縁物の内部に帯電している場合でも、それが表面電荷に換算された場合のもので、いずれにしても物理的には限られた意味をもつものである。

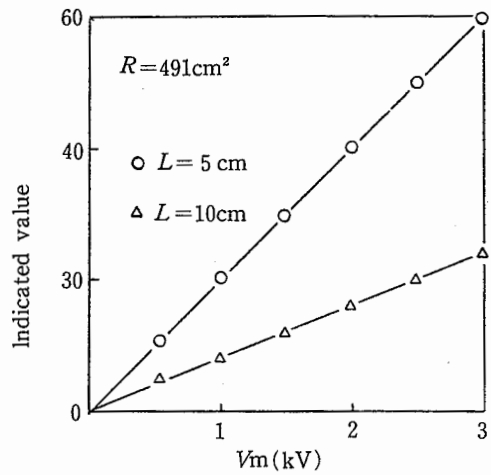
5. 実験による検証

誘導型電位計として、ここでは比較的頻繁に使用されているセクタ型電位型(リオン(株) EA-03型)を用い、以上に述べた事項のいくつかについて実験から検証する。

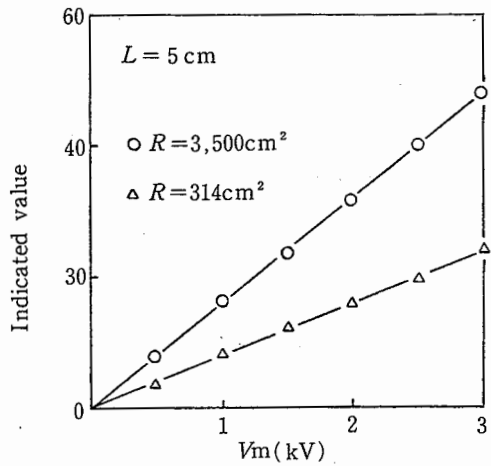
5.1 電位計の指示値

直流電圧が印加されている金属平板に、これと設定距離を一定にして誘導型電位計を対向させ、金属平板に印加された電圧 V_m と指示値との関係(校正曲線)を調べた。その結果は Fig.2 に示されるとおりで、実験に使用した誘導型電位計は設定距離 L 、金属平板(円板)の面積 R に対して、線形性を持っている。したがって、以下の実験においては、誘導型電位計それ自体の特性については指示値も含め、結果の検討にはこれが考慮されていない。

次に、面積、形状がそれぞれ異なる金属平板(直径8, 10, 15, 20, 25, 30 cmの円板, 6.5×8, 13.5×14, 22×22, 36×40, 40×50, 50×70 cm²の平板)に、2 kVの直流電圧を印加し、それらの中心と誘導型電位計を設定距離10 cmで対向させたときの指示値を調べた。Fig.3はその結果で、指示値は金属平板の面積、形状、特に前者に大きく依存している。Fig.3に示された結果は、面積 S_m のそれぞれ異なる金属平板の指示値が、面積 $R=314$,



(a) Area constant



(b) Length constant

Fig. 2 Calibration curves of potentiometer used in experiment
誘導型電位計の校正曲線

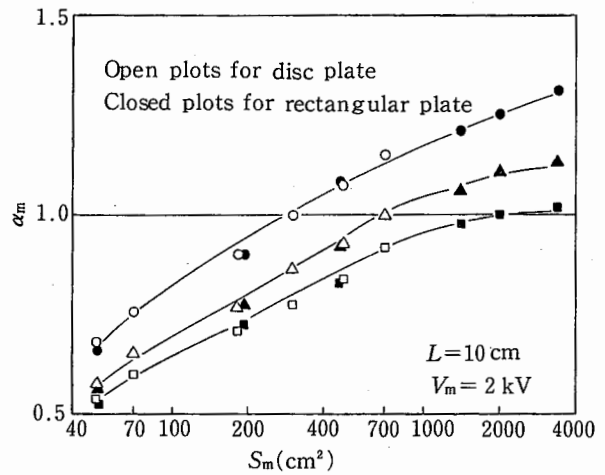


Fig. 3 Relation between various charged conductors and indicated values of potentiometer
被測定物体と誘導型電位計の指示値との関係

*5 一般に帯電物体の静電容量はそれと大地との間の静電容量で、式(16)の C_0 に相当するが、ここでは測定器との結合容量 C' も含めてみかけの静電容量とした。

707, 2,000 cm²である金属平板のそれで、それぞれ正規化されており、この正規化は被測定物体の面積、形状が誘導型電位計の指示値に及ぼす影響の度合である。また、正規化のために基準とした金属平板の指示値は式(3)に関係するもので、Fig. 3にプロットされた結果は指示値への影響度であるとともに式(5)に誘導された α_m でもある。

実験結果によると、この α_m は主として金属平板の面積に依存しており、これは式(5)を裏付ける結果である。すなわち、式(5)が示すように、 α_m が1に近い値となる条件は、 $S_m \approx R$ あるいは $S_m > R$ でしかも R が大きい場合であると推察されるので、半定量的ではあるが、実験結果Fig. 3は式(5)を裏付けるものである。また、この結果を帯電電位測定という立場からみると、正規化の基準指示値とした面積 R の金属平板は、指示値(目盛)の校正をするとき、既知の電圧が印加されている帯電物体であり、この結果は、 $\alpha_m \approx 1$ となる誤差の小さい測定をするために、面積の大きな金属平板によって目盛を校正することが、必ずしも望ましい校正ではないことを示している。

従来、誘導型電位計の指示値の校正は、一般に面積のできるだけ大きな金属平板と一定の設定距離で実施すべきであると指摘されていたが、これは被測定物体の面積が大きい場合に限られる。絶縁物のように、帯電電位が分散し、等電位ではないものの測定には、指示値を面積の小さい金属平板で校正し、むしろ電位分布を測定した方が誤差は小さいと推定される。

5.2 絶縁物の帯電電位

面積35×40 cm²の金属平板を用いて指示値が校正された誘導型電位計によって、フィルム(材質:ポリカーボネイト, 面積36×36 cm², 厚さ70 μ m)の帯電電位を測定した。

フィルムの帯電は摩擦帯電で、摩擦布にはナイロン不織布、その方法は産業安全研究所技術指針に示されたものに準じた⁵⁾。しかし、摩擦回数は実験目的によって変え、一定ではない。また、測定電位はFig. 4に示すようにフィルムを空間に吊るし、その中心により設定距離10 cmにおける誘導型電位計の指示値で、特に電位分布等を測定したものではない。

Fig. 5はフィルムを摩擦布で1回あるいは2回摩擦したときの帯電電位測定結果である。ただし、Fig. 5は、測定値に対する基準がないため、式(15)を根拠に、帯電電位を測定した直後、即座にこれをファラデーケージに

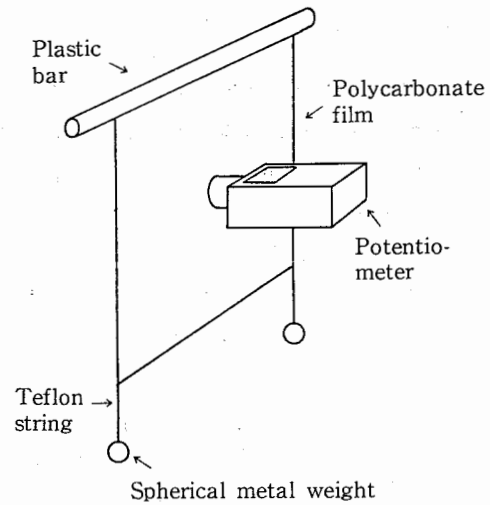


Fig. 4 Arrangement for measuring electrostatic potential of charged film
フィルムの帯電電位測定方法

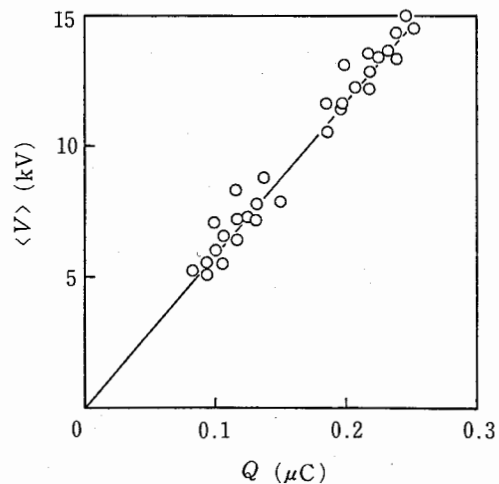


Fig. 5 Dispersion of electrostatic potential obtained from measurements for charged film
フィルム帯電電位のばらつき

入れて全電荷量 Q を測定し、これを基準(横軸)にして帯電電位が示されている。しかし、その結果をみると、帯電電位はばらつきが大きく、導体のそれのように、それと電荷量との間には完全な比例関係が成立していない。Fig. 5に示された結果は、意図して摩擦回数を少なくし、飽和帯電量に達していない帯電電位のかかなり不均一なフィルムのそれを測定した結果で、そうであるからというもの、この結果は帯電電位と電荷量との間に、導体のような一対一の完全な対応がないことを示している。

これより、式(15)の誘導過程を含めて、これをさらに検討するため、フィルムをナイロン布のみならず、テ

フロンシート、綿布、アクリル布等で10回摩擦してほぼ飽和帯電させ、そのときの帯電電位と電荷量を、先と同様な方法で測定した。その結果は、Fig. 6 に示されるとおりで、これには測定誤差を小さくする意味で、同一の摩擦条件で行なった10回の測定値の平均値が示されている。この結果は Fig. 5 に比較するとばらつきが明らかに小さく、帯電電位と電荷量とはほぼ比例関係になっている。すなわち、Fig. 6 のように、式(15)がほぼ成立する場合もあるが、それは一般的ではないということである。たとえば、絶縁物ではその全表面に真電荷、誘導電荷が存在しない場合もあって、表面積一つを取り上げてみても、それが確定できない。これが、電位のばらつきになる一因であることが、式(15)の誘導過程の一式である式(9)に着眼して推定される。3、4節で誘導された式は定量的検討が測定技術を含めて困難であるため、ここでは詳細な検討ができないものの、絶縁物では帯電電位の測定値にばらつきが生じる要因の存在することは、式(9)からも推定され、実験結果 Fig. 5 はこれを裏付ける一例であろう。

以上のように、誘導型電位計で帯電電位を測定すると、ばらつきは避けられないが、電荷量とは相関があるため、災害・障害防止の上で無意味ではない。たとえば、絶縁物の正確な保有静電気エネルギーが求められないものの、それとの関連で着火性放電の発生限界等が概略判断できることもある^{6,7)}。

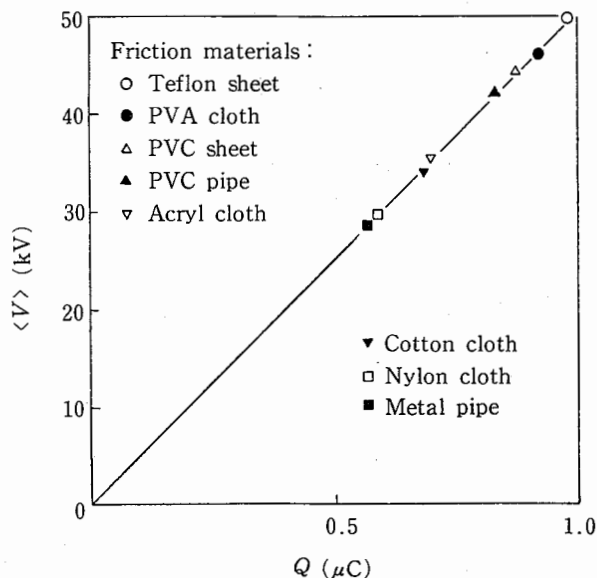


Fig. 6 Relation between electrostatic charge and potential of film saturated with charge
フィルムの電荷量と帯電電位の関係

5.3 みかけの静電容量

式(16)に誘導された絶縁物のみかけの静電容量は、電荷が保存されるとき、静電容量が変化するとそれに伴って電位も変化する。したがって、式(12)に着眼してこれを実験によって検討するため、前項で述べたフィルムをナイロン不織布で摩擦してほぼ飽和帯電させ、その背面に40×40 cm²の接地金属平板をフィルムと平行に接近させたときの帯電電位の変化を測定した。その結果は Fig. 7 に示されるとおりで、その横軸はフィルムと接地金属平板との距離 l の逆数、縦軸は接地金属平板が接近したときの指示値 $\langle V \rangle$ がそれが無いときの指示値 $\langle V_0 \rangle$ で正規化され、その逆数 $\langle V_0 \rangle / \langle V \rangle$ が目盛られている。

実験結果によると、帯電電位の逆数はフィルムと接地金属平板との距離に依存し、距離が小さくなる ($1/l$ が大きくなる) と、直線的に増加している。これは、式(16)で考えたみかけの静電容量 C の C_0 が接地金属平板との距離によって変化するからであり、Fig. 7 は、絶縁物についてもそれが一般の導体系における静電容量と類似していることを示している。ちなみに、Fig. 6 から Q と $\langle V \rangle$ との比をとり、フィルムのみかけの静電容量に関係した $(C_0 + C') / \alpha$ を求めると、19.6 pF となる。また、フィルムと同じ大きさの金属平板の静電容量を測定から求めると、20.0 pF となり、 $\alpha \approx 1$ と仮定すれば、みかけの静電容量にほぼ一致している。すなわち、絶縁物の電位を

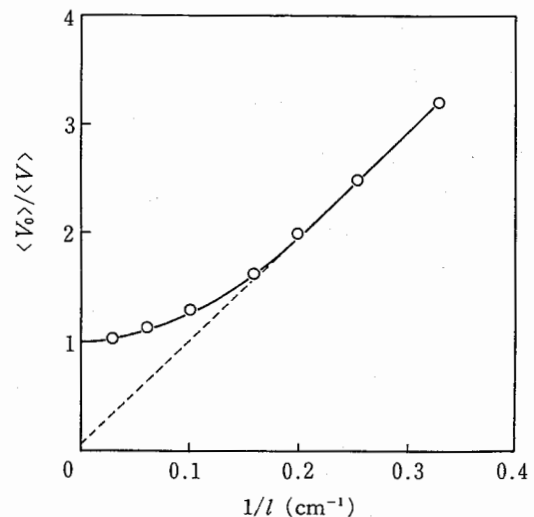


Fig. 7 Effected electrostatic potential of charged film by approach of grounded conductor
接地体の接近による帯電電位の変化

誘導型電位計で測定する場合は、絶縁物にも導体系と同様に、式(16)で考えたみかけの静電容量が存在するのであり、その値は電荷がほぼ全面に帯電しているとき、同じ大きさの金属平板の静電容量に近いと推定される。

以上のみかけの静電容量については、Fig.7から、フィルムに接地金属平板が接近したときのそれを C_0 とし、式(16)から得られる次の関係

$$\frac{\langle V_0 \rangle}{\langle V \rangle} = \frac{C_0}{C_0 + C'} = \frac{C_0' + C'}{C_0' + C'} \dots\dots\dots(17)$$

$$C_0 = C_0' + C'$$

からも検討される。ここで、Fig.7は $1/l \geq 0.18$ で、 $\langle V_0 \rangle / \langle V \rangle$ がほぼ直線的に変化していると見なせば、この直線の縦軸との交点から次の

$$C' / (C_0 + C') = 0.03$$

が得られる。上式に $\alpha = 1$ と仮定した先の関係 $C_0 + C' = 19.6 \text{ pF}$ を代入すると、 $C' = 0.59 \text{ pF}$ となり、 $C_0 = 19.0 \text{ pF}$ となる。このようにフィルムのみかけの対地静電容量 C_0 が求まり、これに対応する金属平板の静電容量は 20.0 pF であったため、フィルムのみかけの静電容量は、これと同じ大きさの金属平板の静電容量にほぼ等しいことになる。ただし、Fig.5から推定されるように、絶縁物の場合は、これに帯電している電荷の実効的な帯電面積、帯電部分にゆらぎが生ずるので、これが電位あるいはみかけの静電容量のばらつきとなって現れ、これは避けることができない。

6. 結 言

誘導型電位計による絶縁物の帯電電位測定について解析し、2, 3の実験によって検証、考察を試みたところ、主として以下の結論が得られた。

- 1) 測定対象である帯電物体が導体の場合は、誘導型電位計の指示値が帯電物体の大きさ、形状等に依存し、その依存性を小さくするには、指示値の校正を、被測定物体の大きさ、形状に近い金属物体に既知の電圧を印加して実施した方がよい。
- 2) 測定対象である帯電物体が絶縁物の場合は、誘導型電位計の指示値が帯電むらに依存し、帯電むらのゆらぎが指示値のばらつきとなって現れる。
- 3) 絶縁物の帯電電位測定には、帯電むらがあるので、誘導型電位計の指示値の校正は、面積の小さい金属物体に既知の電圧を印加して実施し、帯電電位分布を測定した方がよい。
- 4) 帯電むらが小さいと、誘導型電位計の指示値はほぼ

帯電電位の平均値(式(10))に一致する。

- 5) 帯電物体の帯電量と誘導型電位計の指示値との間には相関があり、絶縁物に対しても前者と後者の比からみかけの静電容量を考えるこのができる。
- 6) 絶縁物のみかけの静電容量は、帯電むらが小さいと、絶縁物と同じ大きさ、形状の金属物体の静電容量にほぼ一致する。

以上のように、帯電電位の測定は他の諸量とも密接に関連している。しかし、被測定対象が絶縁物の場合はそのあいまい性も避けられず、これが測定の際のばらつきとなって現れる。したがって、これらについてはより詳細な解析、実験による検証をするため、現在、モデル化の検討を終え実験も進めているので、後日の機会にその結果を報告する。しかし、現状で帯電電位を測定する立場からみると、測定値のばらつきは、帯電のゆらぎ等静電気現象そのもののゆらぎに起因するものなのか、あるいは測定誤差等に起因するものなのか、これらを区別することができない。静電気測定で一般にくり返し測定が行なわれ、その結果が統計処理される理由の一つも、このようなあいまい性があるからである。静電気災害・障害防止の目的で帯電電位を測定する場合も、現状ではくり返し測定が極めて重要なことであり、これなくして、真の静電気現象は把握できないことになる。

なお、この報告にあたっては、春日電機株式会社の鈴木輝夫氏に実験のご協力をいただいた。ここにそのことを記し、謝意を表する。(昭和61年2月5日受理)

参考文献

- 1) たとえば、静電学会編、静電気ハンドブック、359、オーム社(1981)
- 2) たとえば、P.R. Corbett and J.D. Bassett, Static Electrification, 1971, 307, The Institute of Physics (1971)
- 3) 産業安全研究所技術指針 TR-18-1, 静電気安全指針 185 (1978)
- 4) 高分子学会編、静電気ハンドブック、118, 地人書館 (1967)
- 5) 産業安全研究所技術指針 TR-84-1, 静電気用品構造基準、8 (1984)
- 6) H. Kraemer and K. Asano, J. Electrostatics, 6 (1979) 361
- 7) Y. Tabata and S. Masuda, IEEE Transactions on Industry App., IA-20 (1984) 1206