

機関番号：11501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560257

研究課題名（和文）

型構造電極を用いる非接触型表面抵抗測定法の開発

研究課題名（英文）

Non-contacting surface resistivity tester using phi-type electrodes

研究代表者

杉本 俊之（SUGIMOTO TOSHIYUKI）

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10282237

研究成果の概要（和文）：

静電気拡散領域における表面抵抗率を非接触で測定する装置を開発した。測定原理は、型構造電極と呼ばれる特殊なコロナ帯電電極を用い、試料の一部をコロナ帯電させつつ、その外側の領域に拡散する表面電荷の動きを検知するものである。この測定原理を説明するため、試料と測定器を包含する等価回路を構築した。電極構造を工夫することにより、表面電荷の移動速度が表面抵抗率に依存することを理論と実験から確認した。また、表面電荷の移動速度を検知する方法として $10^6\sim 10^9$ の低抵抗領域では誘導電流測定、 $10^9\sim 10^{12}$ の高抵抗領域では表面電位測定を行うことが有効であることを示した。いずれの領域においても、理論値と実測値とがほぼ一致し、この測定法の有効性が実証された。

研究成果の概要（英文）：

Non-contacting surface resistivity tester has been developed using phi type corona electrode. The tester includes corona charger partly charge up the test material and surface charge sensor to obtain the motion of the surface charge. The equivalent circuit including the sensor and the test material indicates the relationship between the surface resistivity and the time variation of the surface potential. Experimental results shows the measurement of the surface potential and induction current can predict the surface resistivity for $10^6\sim 10^9$ and $10^9\sim 10^{12}$, respectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：電気

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：表面抵抗率、静電気拡散性、静電気対策

1. 研究開始当初の背景

静電気対策に使用される表面処理は、絶縁体の表面に導電性を付与することによって、静電気の危険性を回避するものである。静電気に敏感な機器に対しては、静電気の蓄積が問題となることが多いため、 $10^6 \sim 10^{12}$ 程度の表面抵抗率に調整する必要がある。これらの表面は、気温や湿度、経時変化で抵抗率が変わることがあるため、定期的に計測することが必要となり、その方法として、接触型の表面抵抗率測定法が IEC の規格等に定められている。しかしながら、試料表面への接触を嫌うもの、例えば、液状、ゲル状、繊維状、凹凸のある表面、柔らかい表面等は、測定ができないという問題があった。

2. 研究の目的

非接触で試料の電荷減衰を測る方法は JIS 規格にあったが、表面抵抗率を測定できるものではなかった。型構造電極という特殊なコロナ帯電電極を用いれば、試料に電荷を与えることと、試料の近傍に接地電位を与えることが同時にできることに着目し、コロナイオンを試料の表面に供給しながら、試料表面の電荷の移動状態を測定できると考えた。本研究は、これを具現化するために行われたものである。

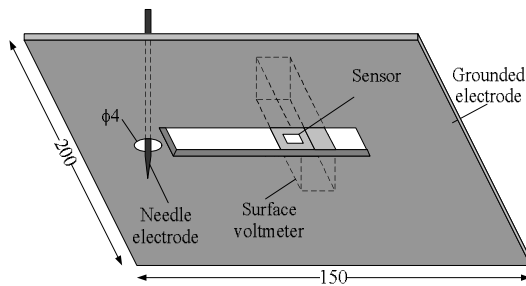
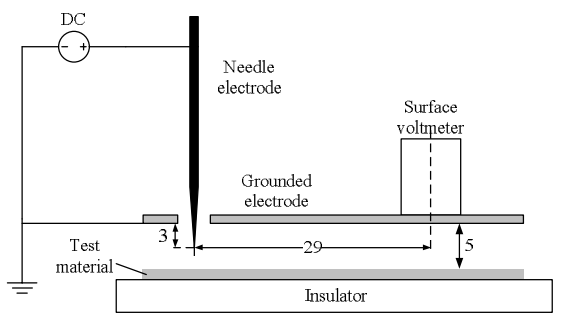
3. 研究の方法

まず、型コロナ帯電電極の特性を把握し、次に、この電極を用いた時の試料と測定器を包含する等価回路を構築した。等価回路を解析し、表面電位の時間変化を測定すれば表面抵抗率に換算できることを理論的に確認した。最後に、実際に装置を試作して試料の表面抵抗率測定を行い、理論と実測との関係を確認した。

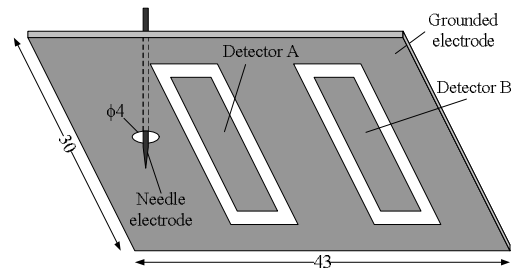
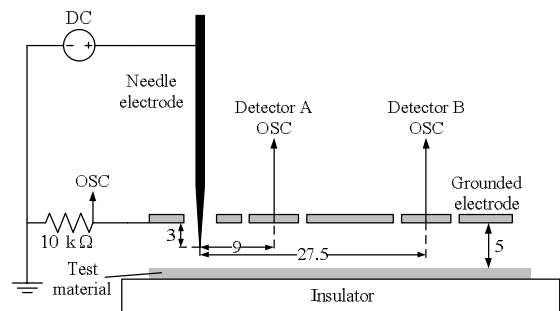
4. 研究成果

(1) 実験装置

構築した測定器を図 1 に示す。高抵抗領域と低抵抗領域とを別の原理で測定する必要があることが分かった。高抵抗領域では、電荷の拡散が緩やかなため、市販の表面電位計で電荷の移動状態が把握できる。これに対し、低抵抗領域では、表面電位計の時間分解能が不足するため、2つの位置での誘導電流の差を測定して比をとる方法を試みた。いずれの測定装置に置いても、型コロナ帯電電極で試料を帯電する。これは、穴開き接地平板電極に高電圧針電極が貫通する構造になっている。針電極直下の静電電位を一定に保ちつつ、その周囲の領域に接地電位を持たせる理想的な電極構造になっている。針電極には正



(a) Model H



(b) Model L

図 1 高抵抗領域および低抵抗領域を測定するための実験装置

極性の直流高電圧を印加した。測定試料を含む測定系の等価回路より、針電極の直下から x 離れた位置での t 秒後の表面電位は式 (1) で表わされることが判明した。

$$V(x, t) = V_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon \rho_s}{4t\delta}} x \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 V_0 は針電極直下での表面電位であり、 ρ_s は試料の表面抵抗率、 δ は接地平板電極と試料との間のギャップである。erf はガウスの誤差関数である。したがって、表面電位が所定の値までに上昇するまでの時間 t を測定すれば、表面抵抗率が測定できる。

試料として塩化ビニル板に帯電防止剤を塗布した試料を用意し、予め、接触式の表面抵抗率計を用いて試料の表面抵抗率を測定した。その後、図 1 に示す装置を用いて非接触式の表面抵抗率測定実験を行った。

(2) 実験結果

図 2 は、高抵抗領域において表面電位計で測定した結果と理論値との関係を示す。表面電位が飽和値の 90% まで上昇するまでの時間と、表面抵抗率との関係を示している。 10^9 以上は、点線で示される理論値とプロットで示される実測値がほぼ一致した。これは、市販の表面電位計の応答時間のレベルで高

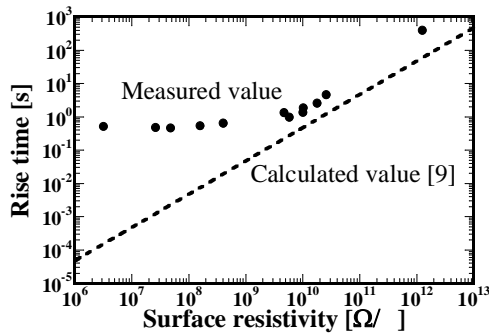


図 2 高抵抗領域における表面抵抗測定結果

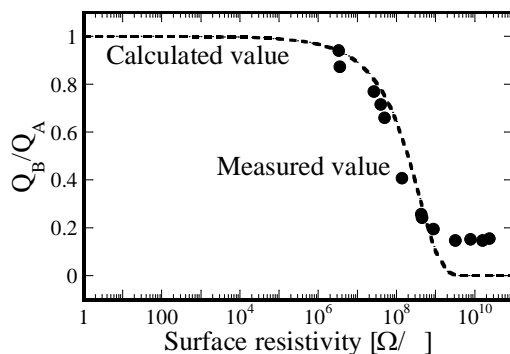


図 3 低抵抗領域における表面抵抗率測定結果

抵抗領域の非接触式表面抵抗率測定が可能であることを示唆している。一方、 10^9 以下の低抵抗領域では、表面電位計の応答速度が追い付かず、正確に測定できていない。

低抵抗領域では、表面電位の時間変化を測定することが困難であることが判明したため、図 1 (b) のような装置により、針電極からの距離が異なる 2 点で誘導電流を測定し、これを積分して誘導電荷を求める方法を試みた。これを表面電荷比と呼び、式 (2) で求める。

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{CV_B}{CV_A} = \frac{1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon \rho_s}{4T\delta}} x_B \right)}{1 - \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon \rho_s}{4T\delta}} x_A \right)} \quad (2)$$

表面電荷比と表面抵抗率の関係を図 3 に示す。表面抵抗率が小さいほど電荷の拡散速度が速いため、電荷比は大きくなる。 10^9 以下の低抵抗領域において点線で書かれた理論値とプロットで示す実測値がよく一致していることが分かる。

以上の結果より、 $10^6 \sim 10^{12}$ の静電気拡散領域における表面抵抗率は、低抵抗領域においては表面電荷比を測定し、高抵抗領域においては表面電位を測定することによって、非接触で測定できることが判明した。

今後は、低抵抗領域と高抵抗領域を一つの測定器で測定できるようにする改良と、電極形状によって、より高抵抗領域を測定できるように改良することが課題として残っている。

加えて、本研究により、表面抵抗率が非接触で測定できるようになったことを踏まえ、導電性の繊維を含む静電気対策用導電服を行ったところ、導電性繊維の方向によって表面抵抗率が桁違いに変わることを初めて測定することができた。

また、これまで測定が困難であった接着剤の表面抵抗率を測定することにより、接着剤が導電性から絶縁性に変化する過程をとらえることができ、硬化状態の非接触検出が可能であることを初めて見出した。これは、接着剤だけでなく、塗料などにも応用できるものであり、従来の表面抵抗率測定の用途に加えて、新たな展開を測る可能性が見出せた。

即ち、これまで直接観測が困難であった化学反応や、物性変化に対しても、表面抵抗率という電気的特性の変化を伴うものであれば数値化が可能となった点で工学的応用が広がるものと期待している。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

T. Sugimoto, H. Ishii, Y. Higashiyama: “Corona Charging and Current Measurement Using Phi-Type Corona Electrodes”, IEEE Transaction on industry applications. 査読有 Vol. 46, No. 3, May/June 2010 pp. 1175-1180

T. Sugimoto, H. Ishii, Y. Higashiyama: “Non Contacting Measurement of Surface Resistivity using Phi Type Electrodes”, IEEE Transaction on industry applications. 査読有 Vol. 45, No. 6, Nov/Dec 2009 pp. 2192-2197

〔学会発表〕(計3件)

杉本、：「非接触型表面抵抗率測定法を用いた静電植毛接着剤の硬化状態検出」, 2010 静電気学会全国大会講演論文集 p.257, 9月14日

阿部、杉本：「導電性繊維を含む布地試料の非接触表面抵抗測定」, H22 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集 p.252, 8月26日

H. Ishi, T. Sugimoto “Surface Potential of Flat Samples Charged by Phi type Corona Electrodes” , 平成20年電気関係学会東北支部連合大会 ,pp.7 8月22日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：表面抵抗測定装置および表面抵抗測定方法

発明者：杉本俊之

権利者：杉本俊之

種類：特許

番号：特開 2010-190815

出願年月日：2009年2月20日

国内外の別：国内

取得状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

杉本 俊之 (SUGIMOTO TOSHIYUKI)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10282237