

論 文

帯電防止材料の電荷緩和時間の一評価法

有本 匡男*, 大橋 朝夫**

(1992年4月23日受理)

A Method for Evaluating Charge Relaxation Time of Antistatic Materials by Two Sensing Electrodes

Masao ARIMOTO* and Asao OHASHI**

(Received April 23, 1992)

A new method and apparatus for evaluating charge relaxation time of antistatic materials are described. The main units of the apparatus are a corona charging device, a grounded turntable which acts as a sample holder, and two sensing electrodes whose outputs are connected in parallel through an amplifier to the input circuit of an oscilloscope. A sample, mounted on the turntable, passes first under the corona unit where the sample gets some charges, and then the sample passes under the first and the second electrodes for charge measurement. The amplified output voltage of the sensing unit is displayed on the screen of the oscilloscope for direct viewing. The respective maximum values V_1 , V_2 of the voltages induced on the first and the second electrodes and the time difference T_{12} between the respective times when V_1 and V_2 appear are determined on the voltage wave form displayed. The charge relaxation time T is given as $T = T_{12}/\ln(V_1/V_2)$ if it is assumed that the charge relaxes exponentially. The sensitivity of the measurement made by the apparatus is about 1 millisecond. This result is very satisfactory for evaluating the charge relaxation time of antistatic materials.

1. はじめに

半導体デバイスは高密度化、高集積化の方向に進んでいるが、その微細化とともに、それらの製品は静電気に極めて敏感になってきている。したがって、ICの製造から電子機器の製作までの作業環境と、IC部品等の取扱いにおける静電気対策の研究は重要である。静電気対策をその状況に応じて実施することによって製品の歩留まり、信頼性の向上を実現することができる¹⁾。このような環境に使用される材料は静電気を低減させるための工夫が施されている。それらを帯電防止材料あるいは制電性材料といい、その用途によって多くの種類がある^{2,3)}。

キーワード： 帯電防止材料、電荷緩和時間、電荷半減期、帶電性評価、除電

* 長岡工業高等専門学校電気工学科 (940 長岡市西片貝町 888)

Department of Electrical Engineering, Nagaoka College of Technology, 888 Nisikatakai-machi, Nagaoka, 940 Japan

** 愛知工業大学電気工学科 (471 豊田市八草町八千草 1247)
Department of Electrical Engineering, Aichi Institute of Technology, 1247 Yachigusa, Yagusa-cho, Toyota, 471 Japan

一般的な帯電防止材料において、その電荷緩和時間は 1 s 程度以下である。したがって、これらの材料の電荷緩和時間を測定するとき、フラディカッブを用いる方法などの基本的測定法⁴⁾では、帯電させたのち測定しようとする時には既に電荷が漏洩によって消滅しているので、電荷緩和時間の測定が極めて困難である。また、織物および編物の帯電性試験方法が JIS L 1094⁵⁾に規定されている。この試験法の基礎となっているものは、丸茂⁶⁾や Friend ら⁷⁾の装置である。この方法でも、電荷緩和時間 200 ms 程度が測定の限度である。そこで、この装置に検出電極をもう一つ追加し、二検出電極による新しい測定方法を考案した。この方法によれば、帯電防止材料の電荷緩和時間の測定が極めて容易になることがわかった。試作した装置では、電荷緩和時間 1 ms 程度までの測定が可能である。この程度であれば、導電性床材やシールドバッグなどの比較的導電性の高い材料の緩和時間の測定が可能である。

2. 電荷減衰時間の測定法および装置

まず、最初に装置について説明する。なお、この装置は文献 5) を参考にするとわかりやすい。図 1 に、2つ

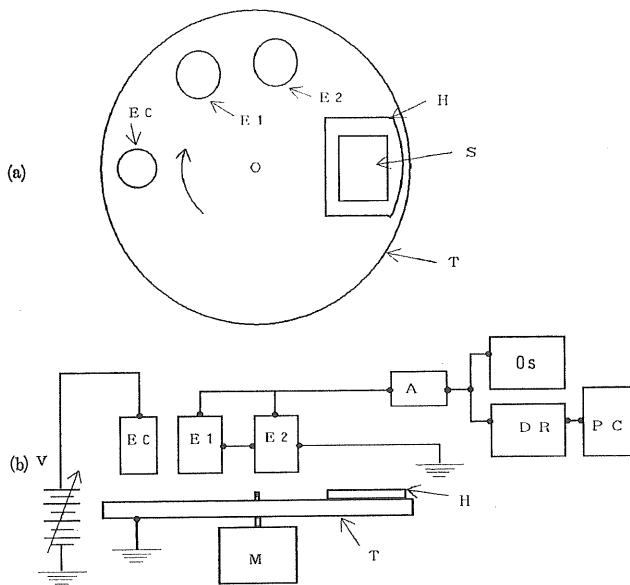


図1 実験装置

(a) 電極の配置, (b) 装置の構成

Ec : 荷電電極, E1 : 第1検出電極, E2 : 第2検出電極,
H : 試料取り付け枠, S : 試料, T : ターンテーブル,
V : 直流電源, M : モータ, A : 増幅器, Os : オシロスコープ,
DR : デジタルレコーダ, PC : パーソナルコンピュータ

Fig. 1 Experimental setup.

(a) Arrangement of electrodes. (b) Arrangement of equipments.

Ec : Corona charging device, E1 : The first sensing electrode, E2 : The second sensing electrode, H : Sample holder, S : Sample, T : Turn table, V : DC power supply, M : Motor, A : Amplifier, Os : Oscilloscope, DR : Digital recorder, PC : Personal computer

の検出電極を取り付けた装置の構成を示す。ターンテーブル（直径 200 mm, 回転数 1,500 rpm）上に試験片取り付け枠（試料窓寸法 32×32 mm）があり、試験片を固定することができる。荷電電極は針状電極に高電圧を印加しコロナ放電を発生させて試験片を任意に帯電させるための電極である。2つの検出電極は試験片上の電荷を誘導電圧として検出するための電極である。検出電極は、試験片が通過する順に、それぞれ第1検出電極、第2検出電極と名付けた。2つの検出電極を電気的に並列に接続して検出電極系を構成した。その誘導電圧は増幅器を通じてオシロスコープおよびデジタルレコーダに導かれる。デジタルレコーダに記録した波形をパーソナルコンピュータに導入して解析することも可能である。検出電極の構造を図2に示す。検出電極の形状や試料に向ける面の面積は電荷を検出するに十分なものであればよい。従って、ターンテーブル上の試験片が一瞬に横切る

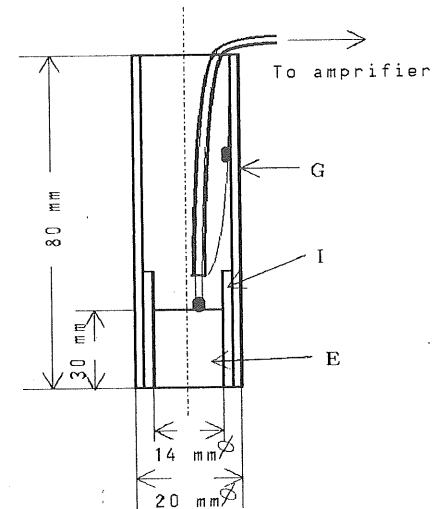


図2 検出電極

G : 外側電極 (シールド), I : 絶縁物,
E : 内側電極

Fig. 2 Sensing electrode.

G : Grounded outer electrode (For shielding), I : Insulator, E : Inner electrode

ような細い電極でもよい。そのような電極を多数並列にして電極系を構成し電荷の減衰過程を調べる方法も考えられる。しかし、電極の数が多くなるほど電極の設定がより困難になること、各電極からの誘導電圧の処理が複雑になるなどを考慮すると、検出電極は2つがよいと考えられる。電極が2つであれば、JISで規定した方法に帰着することも容易であり、絶縁材料のような長い電荷緩和時間をもつ材料の評価もこの装置で可能となる。なお、JISで規定する方法は、1つの検出電極を用いて試験片の表面電位を測定する方法で、荷電電極から電荷の供給を停止した時の表面電位を起点として、1回転ごとに電位の減衰状態をレコーダで記録し、最初の値の36.8%に低下するまでの時間を緩和時間とする。

次に、測定法について説明する。試料から切り出した試験片を取り付け枠に固定し、しばらく静止させ、ある

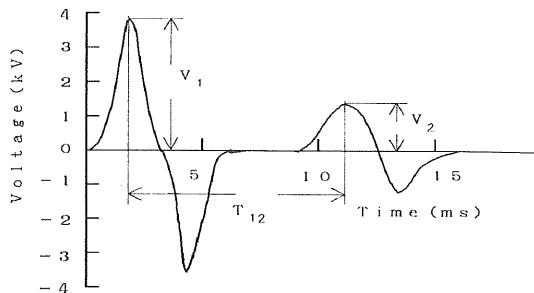


図3 出力電圧の波形

 V_1 : 第1電極からの電圧の最大値 V_2 : 第2電極からの電圧の最大値 T_{12} : V_1 と V_2 との間の時間差

Fig. 3 The wave form of output voltage.

 V_1 : Maximum value of voltage induced the first sensing electrode. V_2 : Maximum value of voltage induced the second sensing electrode. T_{12} : Time difference between the times when V_1 and V_2 appear.

いは除電器を用いて除電してから、ターンテーブルを回転させる。帯電防止材料の場合は除電器を用いる必要はない。第1検出電極は試験片の特性に応じて荷電電極に近づけたり、遠ざけたり任意の位置に設定できるようにした。また、第1検出電極と第2検出電極のお互いの位置関係も相対的に任意の設定ができるようにした。検出電極系の位置の設定は電荷の逃げやすい材料ほど荷電電極に近づけて設置する。その理由は試験片上の電荷が減衰しないうちに検出電極系を通して試験片の帯電電圧を測定するためである。帯電防止材料では数 ms 以内に検出電極間を通過するようにした。

波形測定は、それぞれの検出電極の下を通る時に試験片上の電荷量に関係した誘導電圧が2つの検出電極に誘導される。第1検出電極と第2検出電極はお互いに電気的に並列になっているので、オシロスコープの同じ時間軸上に、2つの誘導電圧波形が描かれる。誘導電圧波形の一例を図3に示す。この図は、デジタルレコーダで記録しコンピュータを通して描いた波形である。図3において、第1検出電極に誘導される電圧の最大値 V_1 、第2検出電極に誘導される電圧の最大値 V_2 と2つの最大値 V_1 , V_2 の出現する時間の差 T_{12} から、(1)式により電荷緩和時間 T が求められる。

$$T = T_{12} / \ln(V_1/V_2) \quad (1)$$

この式は減衰過程を指数関数と仮定して導いたものである。(1)式は両電極の特性がほぼ同じ場合に適用される。

しかし、検出電極に誘導される電圧は試験片上の電荷量が同じであっても電極の特性および設定によっては影

響を受けるので、精度の高い測定を行うためには測定値の校正を行う必要がある。その校正方法は試験片の測定を始める前に試験片の位置に校正用の電極を置き、それに適当な一定電圧を印加した状態で検出電極系の誘導電圧を測定する。この時、第1検出電極に誘導された電圧の最大値を V_{10} 、第2検出電極に誘導された電圧の最大値を V_{20} とすると、校正された後の電荷緩和時間 T は

$$T = T_{12} / \ln(V_1 V_{20} / V_2 V_{10}) \quad (2)$$

となる。

また、試料の表面電位は、校正電極に印加した電圧と第1検出電極に誘導された電圧との関係から校正曲線を得ることによって知ることができる。なお、荷電電極は試料表面への電荷供給ができるだけ均一になるような構造となっている。しかし、材料測定の場合は校正電極(導体板)に電圧を印加したときのような均一性は得られないでの、注意する必要がある。

また、この装置で電荷緩和時間の長い材料の測定をする場合には、2つの電極を最接近させて設置すればよい。こうすれば、電荷の緩和が緩やかな場合には2つの電極で検出される誘導電圧はほとんど同じである。したがって、1つの電極を置いたことと等価となり、JIS で規定した方法に帰着することができる。すなわち、ここで考案された装置によれば、絶縁性材料から帯電防止材料まで広い範囲の電荷緩和時間の測定が可能である。

3. 実験結果および考察

測定結果を図4、図5、図6に示す。この結果は試験片寸法が $32 \times 32 \text{ mm}$ のときのものである。電荷緩和時間は寸法(試験片の大きさ)により影響を受けると考えられるが、ここでは比較のため一定とした。

図4は、導電性架橋ポリエチレンフォームの電荷緩和時間の測定結果である。図4の○印はここで提案した方法(以下、これを二電極法という)による結果であり、△印はJISで規定された方法(以下、これをJIS法といいう)による結果である。

図4の特性はJIS法と二電極法ともに顕著な電圧依存性を示していない。また、表面電位が $+0.5 \text{ kV}$ 付近で少し差が見られるものの全体的に良い一致を示している。これは導電性架橋ポリエチレンフォームの電荷減衰特性が指數関数で表現できることの証拠である。

図5は、導電性塩化ビニルシート(住友スリーエム製床材)の測定結果である。緩和時間は4 ms程度を示している。JIS法で測定できる限界は200 ms程度であるが、二電極法では、この程度の緩和時間を持つ材料の電荷減衰特性でも十分評価できる。この材料も顕著な電圧依存性を示していない。

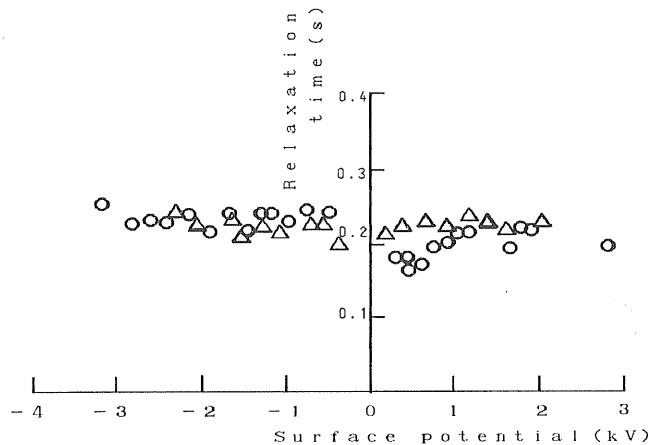


図4 導電性ポリエチレンフォームの電荷緩和時間

○：二電極法, △：JIS法

周囲条件：室温 25°C, 湿度 58%

Fig. 4 Charge relaxation times of conductive polyethylene foam.

○：By two sensing electrodes method.

△：By Japanese Industrial Standard method.

Conditions : Temperature 25°C, Humidity 58%

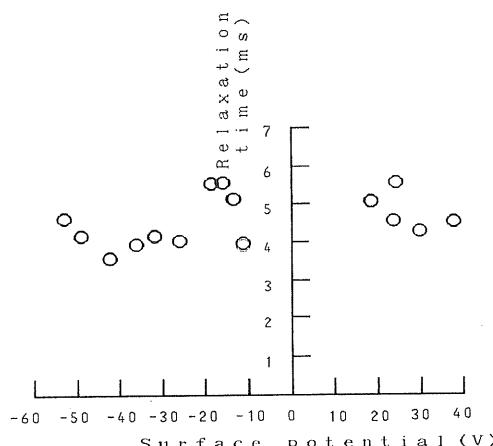


図5 導電性塗化ビニルシート(床材)の電荷緩和時間

周囲条件：室温 22°C, 湿度 58%

Fig. 5 Charge relaxation times of conductive polyvinylchloride sheet.

Conditions : Temperature 25°C, Humidity 58%

図6は、印刷用不織布（日本バイリーン製印刷資材）の電荷緩和時間の測定結果である。この特性は電圧依存性を示しており、また、JIS法による結果と二電極法による結果との間に明らかな差がある。これは電荷緩和時間の評価の方法が異なるために違いが生じているものである。すなわち、二電極法は帶電電荷の減衰初期における短時間経過した2点（それらの電圧の値とその間の時間）から減衰過程を指數関数と仮定して評価している。

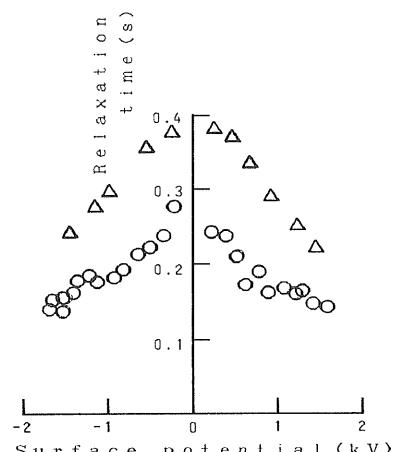


図6 印刷用不織布の電荷緩和時間

○：二電極法, △：JIS法

周囲条件：室温 22°C, 湿度 58%

Fig. 6 Charge relaxation times of unwoven cloth for printing.

○：By two sensing electrodes method.

△：By Japanese Industrial Standard method.

Conditions : Temperature 22°C, Humidity 58 %

が、JIS法は電圧の大きさが最初の36.8%に減少するまでの時間という広い電圧減衰幅を基にして緩和時間を求めている。したがって、電圧依存性が大きい材料ほどJIS法と二電極法による測定結果の差が大きくなると考えられる。電荷減衰特性が電圧依存性を持つことはその特性が指數関数で表現できないことの証拠である。家

田ら⁸⁾は電圧依存性の説明で、高分子材料の電荷減衰特性は低電界では通常の指数関数的であるが、高電界領域では正負電荷の極性効果が顕著になり、また減衰特性が初期電界に強く依存するようになると報告している。すなわち、絶縁材料の電荷緩和時間は帶電電圧依存性を持ち、帶電電圧が大きいほど小さい緩和時間を持つと言っている。図6によれば、印刷用不織布の電荷緩和時間は0.2~0.4s程度であり、この材料は、電荷緩和時間でみると、帶電防止材料に属すると言うことができる。帶電防止材料においても、電荷減衰特性に電圧依存性が存在することは以前より指摘されているが、同じ緩和時間の材料であっても、帶電防止性の付与方法により、および物質の構成により電圧依存性を持つようになると考えられる。帶電防止性の付与方法や物質の構成と電荷減衰機構との関連については、今後の研究が必要であるが、ここで開発した方法は、その電圧依存性を解明する1つの有効な手法となるであろう。

4. ま と め

本論文をまとめると以下のようになる。

(1) 帯電防止性能の評価方法において、広く使用されてきた従来の測定方法に比較的簡便な手法を追加することで、その測定法の弱点とされてきた短い緩和時間の測定が可能となった。ここで提案した方法および装置によれば、1ms程度までの電荷緩和時間を持つ材料の評価が可能になった。この程度であれば導電性床材やシール

ドバッグなどの極めて導電性の高い材料の電荷緩和時間の測定が可能である。

(2) 帯電防止材料において、電荷減衰特性に電圧依存性が存在することは以前より指摘されていたが、本論文ではその電圧依存性を解明する1つの有効な手法を提案した。

(3) ここで提案した方法によって、帯電防止材料の正確な静電的評価や比較が容易になり、さらに新しい機能性材料の開発あるいは静電気災害や障害の防止などに応用されるならば、快適な生活空間の実現など社会的に寄与するところが大きい。

最後に、平成4年電気学会全国大会において御討論を頂いた東京大学小田哲治先生、愛知工業大学渡辺茂男先生、東京農工大学松井満先生に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 浅田敏勝：静電気学会誌，12 (1988) 136
- 2) 東 鼎、大塚一衛：静電気学会誌，5 (1981) 129
- 3) 平川 薫：静電気学会誌，4 (1980) 14
- 4) 静電気学会(編)：静電気ハンドブック，pp. 358-378，オーム社 (1981)
- 5) 日本工業標準調査会：織物及び編物の帯電性試験方法，pp. 1-24，日本規格協会 (1988)
- 6) 丸茂秀雄：帯電防止剤，p. 147，幸書房 (1968)
- 7) R.A. Friend and P. Krause: Photographic Science and Engineering, 6 (1962) 141
- 8) 家田正之、沢 五郎、篠原卯吉：電気学会誌，88-6, 957 (1968) 1107