

論 文

直流コロナ放電による帯電制御装置

磯田 清之*, 村田 雄司**, 横山 成昭***, 高橋 清***

(1984年12月28日受理)

Electrostatic Charge Controller by DC Corona Discharge

K. ISODA,* Y. MURATA,** S. YOKOYAMA*** and K. TAKAHASHI***

(Received December 28, 1984)

A new charge eliminating system controlled by a microcomputer was developed to eliminate the static charge on the running polymer films by using the DC corona discharge. The feature of the present control system is in its "self-studying ability": by monitoring the surface potential of the charged running film after elimination, the optimum voltage applied to the corona electrode of the eliminator is determined automatically in compliance with the variation of the eliminating conditions. After a short while for "studying," the surface charge on a one-side metalized polyester film which changes sinusoidally from 0 to 550 V in surface potential reduced below 50 V without any manual adjustments of the parameters.

1. 緒 言

一般にフィルム, 紙, 布等が他物体に接触しながら移動する場合に発生する静電気の除去には, 適用範囲の広い交流コロナ放電式除電器がしばしば用いられている。しかし, 除電に必要な電荷は除電器の放電電極に印加される電圧(以下除電電極電圧と称する)が物体の帯電極性と逆極性になる半周期の一部の時間においてしか生成されないため, 効率がよくない。これに対し, 直流コロナ放電式除電器は除電に要する極性の電荷を連続的に生成できる。しかし, この除電器は, 帯電物体の初期帯電電位および移動速度に応じて除電電極電圧, または除電電極と帯電物体との距離を最適に調節する必要がある。

筆者らは, 先に直流コロナ放電を用いて, 裏面をメタライズ加工したフィルム表面の帯電を除去するために, 初期帯電電位を検出し, その値をもとに除電電極電圧を

制御する実験を行なった¹⁾。この方法では, 初期帯電電位とこれをゼロにするために必要な除電電極電圧(以下除電電圧と称する)の関係を線形近似していた。近似のためのパラメータは, フィルム移動速度, 除電電極の経時変化などの条件の変動に応じ, 人間が除電結果をモニタしながら手動調節する必要があった。この欠点を除くための一手法として制御用コンピュータを用い, オンラインで除電特性表を得て除電電極電圧を制御する装置を試作し除電を行なった。実験の結果, コンピュータを導入した新しい手法による本装置は, 良好な除電特性が得られるとともに, 除電の自動化が図られたので, それらについて報告する。

2. 帯電制御実験装置

実験に使用した帯電制御実験装置の構成を図1に示す。この装置は, 走行中の高分子フィルム表面に発生する静電気の除電実験を行なうためのものである。図1において, フィルムは接地された金属製の走行支持板6の上を, 右から左へ定速で走行させる。実験に用いたフィルムは, 片面がアルミニウム蒸着されたコンデンサ用ポリエステルフィルムで, 厚さ 12 μm , 幅 20 mm である。実験装置上で, フィルムの蒸着面は下側にしてあり, 接地されている。コロナ放電電極は C_1 , C_2 の2台で, 前者は帯電用, 後者は除電用として用いる。また, 接触帯電用電極 SC は, フィルムに不均一な初期帯電状態を与えるための電極である。この電極はフィルムの上と接触しており, 電極に電圧を印加することによって

* 日本ビクター株式会社 (221 横浜市 神奈川区 守屋町 3-12)

Victor, of Japan Ltd., 3-12, Moriya-cho, Kanagawa-ku, Yokohama, 221 Japan

** 東京理科大学理工学部電気工学科 (278 野田市山崎東亀山 2641)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, 2641, Higashi-Kameyama, Yamazaki, Noda, 278 Japan

*** 芝浦工業大学電子工学科 (108 東京都港区芝浦 3-9-14)

Department of Electronic Engineering, Shibaura Institute of Technology, 9-14, Shibaura 3-chome, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

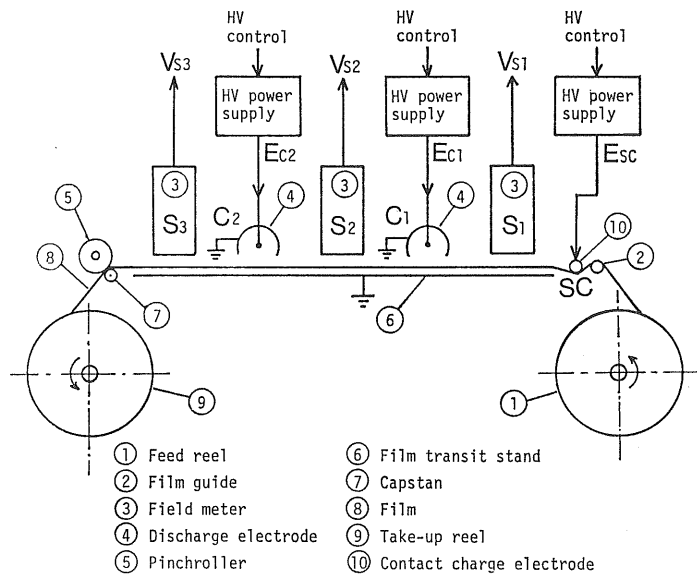


図 1 帯電制御実験装置

Fig. 1 Experimental equipment of charge control.

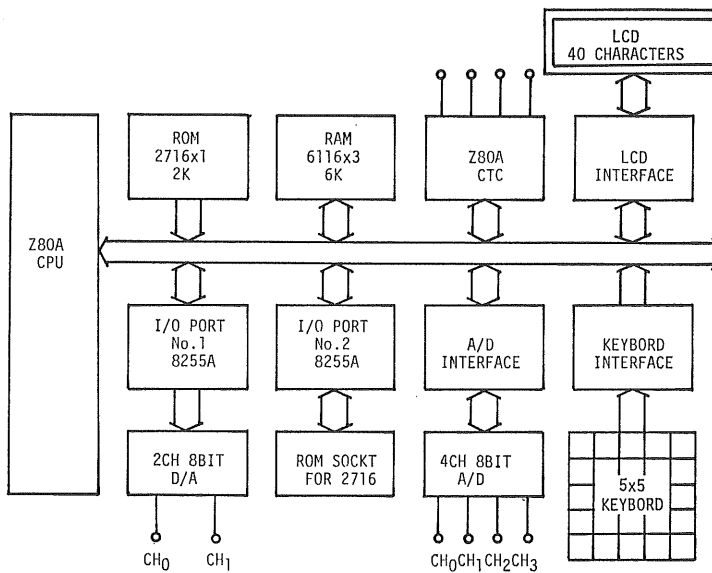


図 2 制御用コンピュータ

Fig. 2 Control computer.

この面のフィルムを帯電させる。フィルムの表面電位の計測には、試作した回転セクタ型電位計を用いた。各部の電位を3台の電位計で計測している。また、キャプスタン7の回転はタイミングベルトを介してロータリエンコーダに伝達されている。このロータリエンコーダからフィルム走行速度に比例した周波数のパルスが出力される。この信号は除電制御のタイミングパルスとしても用

いる。図2に制御に用いたコンピュータの構成を示す。

3. 除電電極の特性

帯電制御装置の除電電極 C_2 の除電特性の例を図3および図4に示す。これは、電極 C_1 により初期帯電されたフィルムが、除電電極 C_2 の下を通過したときの除電電極の電圧と、通過後のフィルム帯電電位 V_{S3} との関係

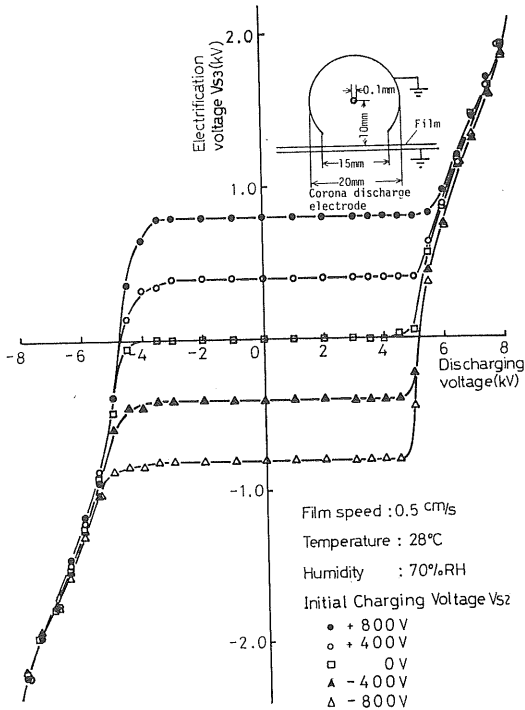


図3 除電電極の特性(1)(フィルム速度=0.5 cm/s)

Fig. 3 Characteristics of charge elimination electrode (Film speed : 0.5 cm/s).

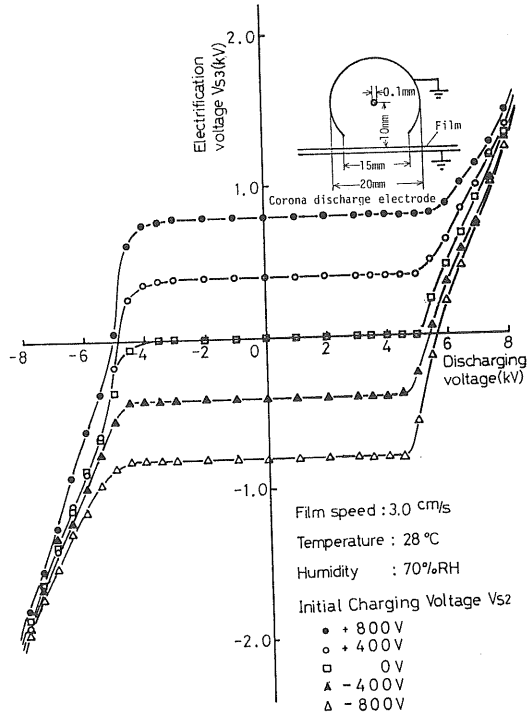


図4 除電電極の特性(2)(フィルム速度=3.0 cm/s)

Fig. 4 Characteristics of charge elimination electrode (Film speed : 3.0 cm/s).

を示す。フィルムの初期帯電電位 V_{s2} は+800V, +400, 0V, -400V, -800Vである。図3, 図4はフィルムの走行速度がそれぞれ0.5 cm/sと3 cm/sの場合である。図3, 4の結果より, フィルムの初期帯電がどのような状態であっても, コロナ放電電極 C_2 の除電電極電圧の大きさおよび極性を変えることにより, 任意の帯電(除電)状態にすることができることがわかる。また, 除電制御においては, 初期帯電電位, フィルム走行速度に応じておのおのの特性曲線の横軸との交点の電圧を除電電圧として正確に電極 C_2 に印加する必要がある。

4. 制御方法

直流コロナ放電を用いてフィルムの除電を行なうには, 除電電極下のフィルムの電位を検出し, その値をもとに除電電極電圧を制御するのが, 最も簡単な構成として考えられる。しかし, フィルムの電位を除電電極下で検出することは困難である。そこでフィルムの除電電極下通過後の帯電電位を検出し, その値をもとに除電電極電圧を制御することになる。しかし, この方法では除電電極と電位検出部までのフィルム移動時間を必要とし, その時間内で変動する帯電電位に対しては除電できな

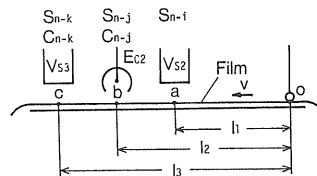


図5 除電制御の方法

Fig. 5 Method of charge elimination control.

い。そこで, このような場合でも除電制御するために, 図5のように除電電極下のフィルム上のb点の前方aおよび後方cに電位検出器を設置する。 Ec_2 は除電電極電圧である。前方の帯電電位検出器の出力 V_{s2} で除電電極電圧を制御し, 後方の検出器の出力 V_{s3} で制御特性の修正を行なう。この場合, フィルムは速度 v で移動しており, その移動時間を考慮し制御を行なう必要がある。その制御方式を図6に示すブロック図で説明する。図6は, 本実験の制御プログラムをブロック図に書き換えたものである。図6において, 除電電極電圧の制御は V_{s2} の入力側電位から除電特性表による印加電圧予測系をメインループとし, V_{s3} の出力側電位から除電特性表を更新するモニタ系をサブループとしている。フィルム移動時間 T_1, T_2 と同時間の遅延を得る D_1, D_2 および D_3

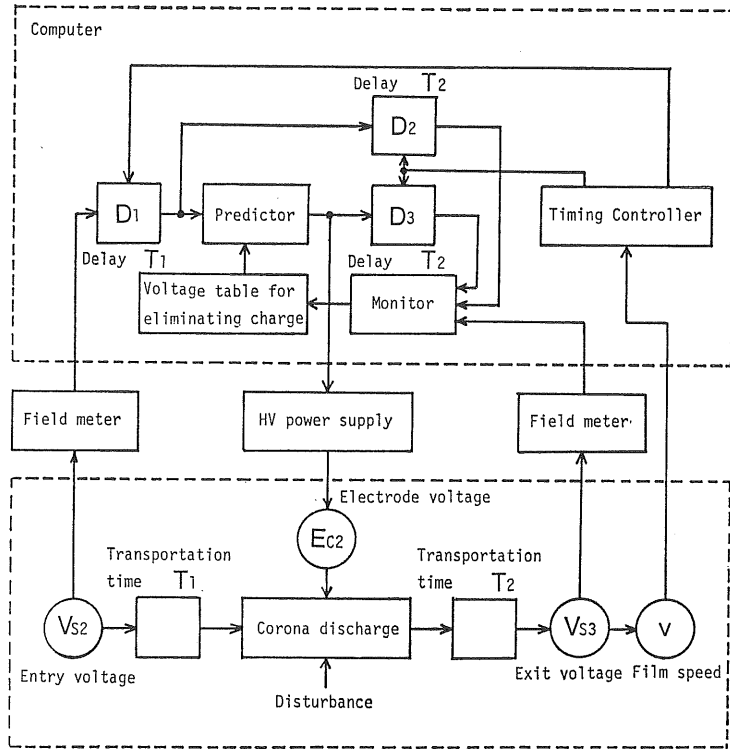


図 6 新制御方法のブロック図

Fig. 6 Block diagram for the new control method.

は、フィルム走行速度 v に周波数が比例するロータリエンコーダの出力パルスによって決定する。このロータリエンコーダは、フィルムの速度制御のためキャプスタンと接続されているものである。フィルム帯電電位のサンプリングは、ロータリエンコーダの出力を分周したパルスを用いて行なっている。このため、サンプリング周波数は、フィルム走行速度に比例する。すなわち、一定距離フィルムが移動するごとに、サンプリングが行なわれる。プログラムでは、フィルムが 0.7mm 移動するごとに電位のサンプリングを行なっている。除電特性は図 7 に示すように、制御用コンピュータのメモリ内に、帯電電圧に対応した除電電圧 $E_0, E_1, E_2, \dots, E_{M-1}$ としてデジタル的に配列されている。この配列は、除電特性曲線 \textcircled{A} を近似させたものになる。本装置では、実験のプログラムにおいて 8 ビットの A/D 変換器、D/A 変換器を用いているため、横軸、縦軸ともに 256 分割している。除電特性表の更新は、配列 $E_0, E_1, E_2, \dots, E_{M-1}$ の値をそれぞれ真の値に近づける動作を行なうことである。また、横軸、縦軸の分割の数を多くとれば量子化誤差を小さくし、真の除電特性に近づけることができる。図 5 において、時刻 $t = n \cdot T_s$ (T_s はサンプリング周期) で点 O のフィルムに電荷を与えたとき、その点 O で

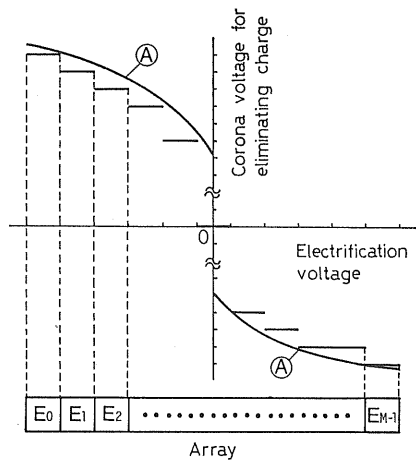


図 7 除電のデジタル近似

Fig. 7 Digital approximation of the charge elimination.

の帯電電位を S_n とする。除電電極に電圧を印加しない場合、移動中に電荷がフィルム上から逃げないと仮定すると、 a, b, c 各点におけるフィルムの電位は $S_{n-i}, S_{n-j}, S_{n-k}$ となる。ただし、 i, j, k は整数で、点 O から l_1, l_2, l_3 離れた a, b, c 各点までのフィルムの

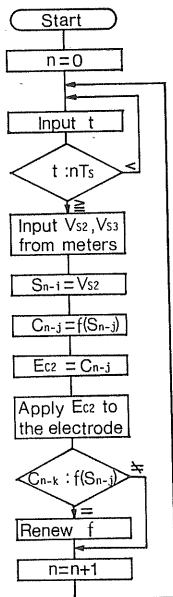


図8 新制御方法のフローチャート

Fig. 8 Flow chart of the new control method.

移動時間を、それぞれ T_a , T_b , T_c とするとき、 i , j , k は次式を満足するものとする。

$$i = T_a / T_s, \quad j = T_b / T_s, \quad k = T_c / T_s \quad (1)$$

すなわち、 l_1, l_2, l_3 を次のように定めるものとする。

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= v \cdot T_s \cdot i, \quad l_2 = v \cdot T_s \cdot j, \quad l_3 = v \cdot T_s \cdot k \\ (i < j < k, \quad i, j, k \text{ は整数}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

このときの制御のアルゴリズムを図8に示す。図5のa点の検出電圧 V_{s2} をもとに決められる $f(S_{n-j})$ は、フィルムの帯電電位が S_{n-j} のときの除電電圧を示す関数であり、除電特性表に対応する。その除電電圧の配列をデジタル量 $E_0 \sim E_{M-1}$ で示すと、図8の $f(S_{n-j})$ は次式で表わされる。ただし、除電電圧 E の範囲を M 分割し、 j レベルの電圧を $E(j/M)$ で示す。

$$\left. \begin{aligned} f(S_{n-j}) &= E(j/M) \\ j/M &= \text{INT} \left(\frac{S_{n-j} - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \cdot M \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし、 S_{\max} ; S の最大値, S_{\min} ; S の最小値, M ; 帯電電位を等区間で分割した数

$\text{INT}(x)$ は x を越えない x に最も近い整数を示す。また、除電電圧 $E(k/M)$ の更新 $E(k/M)_N$ は、図5のc点の検出電圧 V_{s3} をもとに、次式のように行なわれる。

$$\left. \begin{aligned} E(k/M)_N &= E(k/M) - K \cdot V_{s3} \\ k/M &= \text{INT} \left(\frac{S_{n-k} - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \cdot M \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

なお、 K は実験的に定める定数である。この K の大きさに依存して、除電特性表の真の除電特性に近づくまでの過渡特性は変化する。また、 K の値が大きすぎても発散し、収束しない。

5. 実験方法

実験は、帯電電位が大きく変動するフィルムの除電について行なった。フィルムの帯電電位の変動は、図1の

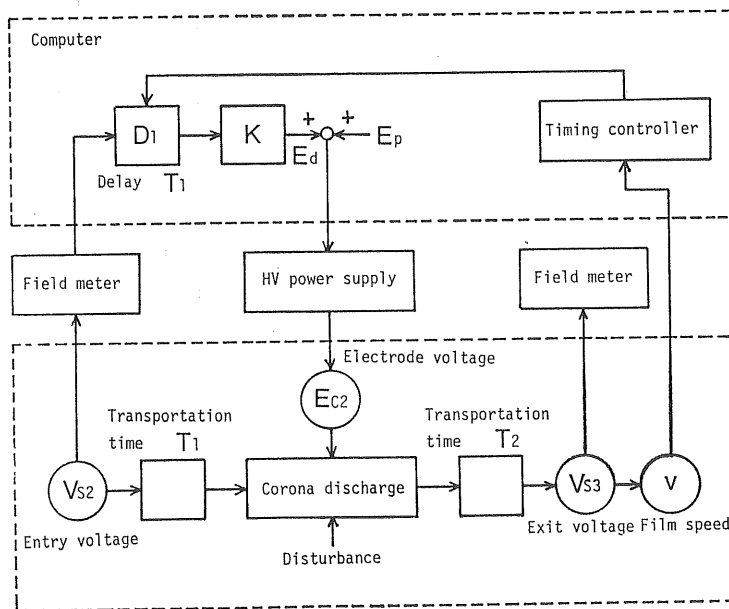


図9 旧制御方法のブロック図

Fig. 9 Block diagram for the previous control method.

帯電電極 C_1 の電圧を変化させることによって得る。この電極電圧の変動は帯電電極用電源のコントロール入力端子に低周波発振器の出力を加えることによって得られた。本試作装置による除電効果および特性を除電電極の電圧制御の有無について調べるとともに、前報¹⁾発表の制御方法とも比較した。ここで制御しない場合は本装置において、変動する帯電電位の平均電位を除電するために、除電電極電圧を一定にしておく状態である。前報¹⁾の制御方法を、本研究では、制御用コンピュータで実現している。そのブロック図を図9に示す。図9に示すように、入力側電位 V_{S2} を時間遅れ T_1 と同時間の遅延動作をする D_1 に入力し、その出力 E_d とプリセット電圧 E_P との和の電圧を、除電電極用高圧電源のコントロール入力に加えている。このことは、除電特性を線形近似していることになる。近似のためのパラメータ K および E_P は、除電後のフィルムの電位の変動がゼロになるように除電結果をモニタしながら最適の値に合わせる。 K と E_P の最適値を求めるため、図1の帯電電極 C_1 には正の高圧電源、除電電極 C_2 には負の高圧電源を使用した。フィルムの帯電電位は除電前と除電後の電位を示す V_{S2} と V_{S3} とをペンレコーダによってそれぞれ記録し実験を行なった。なお、フィルムの走行速度は 3 cm/s とした。

6. 実験結果および考察

帯電電極 C_1 の電圧を正弦波状に変化させて、フィルムの初期帯電電位が正弦波状に変化した場合について、無制御、前報¹⁾の制御方法、および本実験による制御方法による除電結果を図10、11、12にそれぞれ示す。これらの図より明らかなように、制御を行なわない場合より制御を施した場合のほうが除電結果が良好であることがわかる。図12で、最初に制御偏差が見られるのは、最初に除電特性表を示しているメモリの内容をクリアしているための除電特性の不適合によるものである。しかし、時間が経過するとともに徐々に除電特性表を更新し、真の除電特性に近づくため、良好な除電結果が得られ、本装置の除電効果の良さが認められる。前報¹⁾の制御方法による除電結果に変動が認められるのは、除電特性を線形近似したことによる誤差から生ずるものと思われる。

以上の実験結果に示されるように、前報の制御方法でも除電の目的は達せられる。しかし、前報の制御方法で最適な制御状態にするには、 K および E_P をフィルムの走行速度ならびに、電極の放電状態をも考慮し、最適に手動調整しなければならない。これに対し、本装置による制御方法は、手動調整の必要性を省き、前報の制御方法

に比べ自動化されている。本装置の制御方法において、予測系のための除電特性表の更新は、図1の電位計 S_2 、 S_3 の間をフィルムが移動する時間を待たねばならない。そのため、除電が安定した状態、すなわち“適応状態”になるまでには時間を要する。この時間を短くするには、制御プログラムに真の除電特性の関数を予測する動

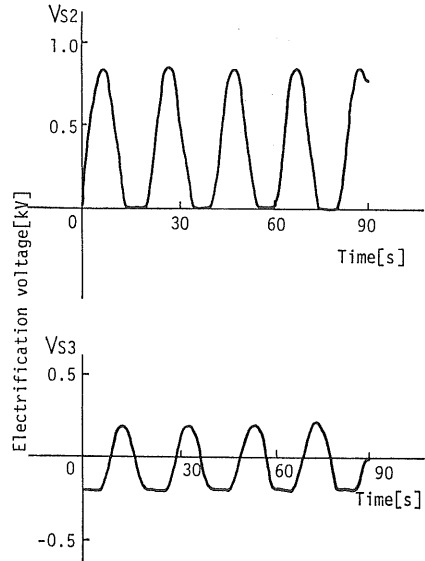


図10 制御しない場合の除電結果(除電電極電圧=-5 kV)
Fig. 10 Results of the charge elimination without automatic control (Eliminating electrode voltage : -5 kV).

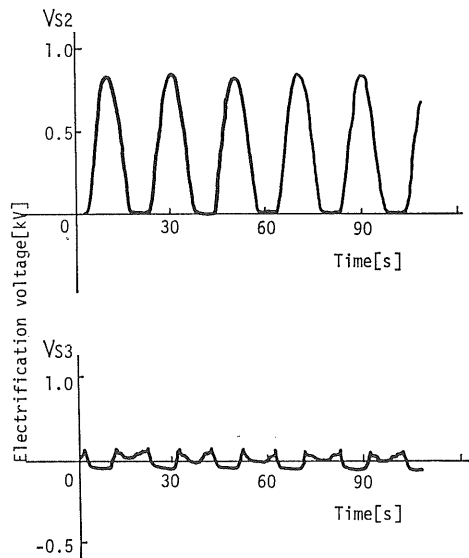


図11 旧制御方法による除電結果
Fig. 11 Results of the charge elimination by the previous method.

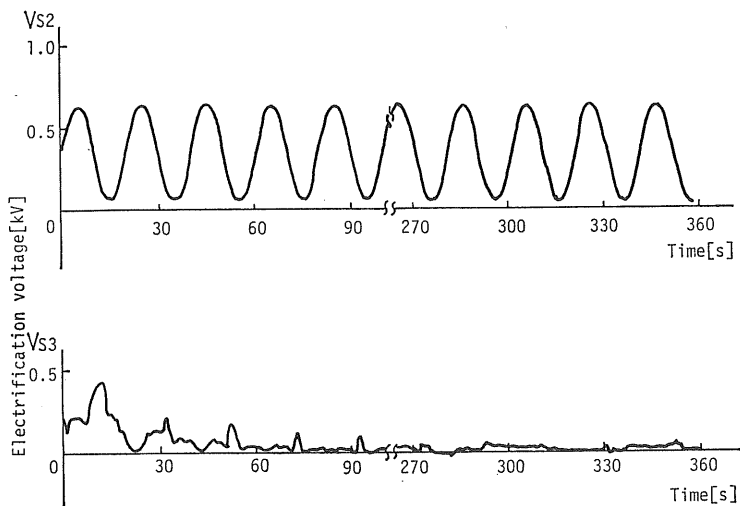


図 12 新制御方法による除電結果

Fig. 12 Results of the charge elimination by the new method.

作を加えることが考えられる。また、除電特性表にノイズが重ならないような対策を施すことも必要である。

7. 結 言

以上、走行フィルム除電の一手法として、その初期帯電電位と除電後の電位をもとに、除電器の除電電極電圧を制御用コンピュータを用いて制御する実験方法につい

て述べた。制御用コンピュータを本装置に導入することによって、複雑な除電制御をも実行することができ、最適な制御を施すことが可能となった。

参 考 文 献

- 1) 横山成昭, 村田雄司, 高橋 清, 橋本秀雄, 磯田清之:
静電気学会誌, 7 (1983) 50