

論 文

静電粉体塗装における逆電離の開始条件について

増田 閃一\*, 水野 彰\*, 阿久津 顕右\*

(1977年7月2日受理)

Initiation Condition of Back Discharge in Electrostatic Powder Coating

S. MASUDA,\* A. MIZUNO\* and K. AKUTSU\*

(Received July 2, 1977)

Initiation condition of back discharge occurring in case of extremely high resistivity powders, including the case of electrostatic powder coating, is calculated, considering space charge field inside the deposited powder layer. The maximum field strength occurs at the layer-electrode interface, and its value rises with the increase in the layer thickness. When it exceeds the breakdown value, back discharge starts to occur and the growth of thickness stops, resulting in the so-called "thickness limiting phenomena." The theoretical initiation condition provides the estimation of the limiting thickness, which agrees fairly well with the measured value.

1. はじめに

逆電離は電気集じん分野において古くから知られた現象で、集じん率の著しい低下をもたらす重大な障害原因となっている<sup>1,2)</sup>。一方近年 J. D. Bassett らは逆電離が静電粉体塗装においても発生し、これが膜厚の成長がある値(限界膜厚)で停止するという奇異な現象の原因となっており、さらに“クレータ”あるいは“オレンジピール”と呼ばれる膜面の放電孔発生の原因ともなっていることを実験的に明らかにした<sup>3)</sup>。

逆電離は電極面に堆積した粉体層の絶縁破壊によって引き起こされる層表面の気中放電現象である。したがって層内に生ずる電界  $E_d$  が層の絶縁破壊強度  $E_{ds}$  を越えることが逆電離開始の前提条件となることは明らかである。電気集じん問題となる粉体では堆積層の見掛抵抗率  $\rho_d$  は比較的低く、たかだか  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  以下である。この場合の逆電離開始条件は従来、

$$E_d = i_d \rho_d \geq E_{ds} \quad (1)$$

と考えられてきた。ここで  $i_d$  は堆積層内の電流密度で

ある。筆者らは上記のように比較的低い見掛抵抗率の試料における逆電離開始条件を種々の条件下で調べた結果、 $\rho_d < 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  の範囲では条件(1)が成立していることを確認した<sup>4,5)</sup>。しかしながら静電粉体塗装において問題となる粉体では  $\rho_d$  は電気集じん問題となる粉体に比べて著しく高く、通常  $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  以上となっている。したがってこの場合には逆電離開始条件は(1)式とはまったく異なったものになるであろうと予想される。事実限界膜厚の存在は、換言すれば  $\rho_d$  が非常に大きいにもかかわらず逆電離はある膜厚以下では発生しないことを意味しており、層の厚みもまた逆電離開始条件の重要なパラメータの一つであることを示している。また筆者らは  $\rho_d$  がこのように高い場合には、もし外部から電界が加わっていればイオン電流  $i_d$  の供給がなくても膜厚がある程度以上になると逆電離が発生することを確認した(後述)。そこで今回  $\rho_d$  がきわめて高い場合を含めた、より一般的な場合について静電粉体塗装の過程における逆電離開始条件を、堆積層内の空間電荷電界をも考慮して導出し、その実験検証を行なった。以下にその結果を報告する。

2. 予備実験

まず最初に  $\rho_d$  がきわめて高い場合、イオン電流を供

\* 東京大学工学部電気工学科 (113 東京都文京区本郷 7-3-1) Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

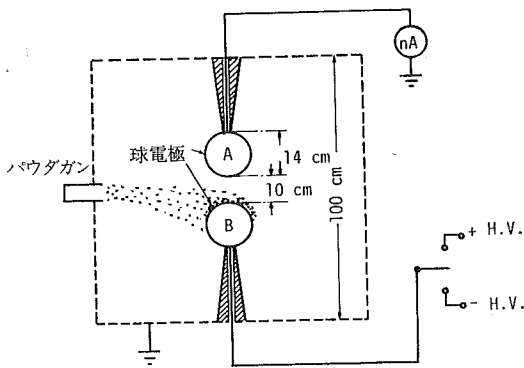


図 1 予備実験装置 (1)  
Fig. 1 Experimental apparatus (I) for preliminary observation.

給しなくても逆電離が発生しうるかどうかを調べた<sup>6)</sup>。  
図 1 に用いた実験装置を示す。イオン電流を排除するために、二つの球電極 (直径 14 cm) を用い、これを一辺が 1 m の接地された立方形の金網箱の中に入れて実験を行なった。これにより電極間電圧を 50 kV とするときの全電極間電流値を 0.1~0.3 nA まで抑えることができた。試料用粉体としては  $\rho_d \approx 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  のポリエチレンパウダを用い、これを電動ミキサ中で流動させ、かつ接触帯電により負極性に荷電のうえ、気流と同搬させプラスチック製ノズルを介して電極 B の上面に供給堆積させた。そしてパウダの供給を止めた直後に電極 B に正あるいは負の高電圧を加えた。正の高電圧を加えた場合には、堆積粉体層は電極 B の表面によく付着する。そしてある電圧値において逆電離が発生することが、イメージインテンシファイア (EMI, type 9912) を用いて確認された。そして +40 kV において火花閃路に移行した。

次に電極 B に負の高電圧を加えると、付着していたパウダが対向電極 A に向かって飛び上がる現象が見られた。これらの現象はパウダの堆積後数時間を経た後も同様に現われるが、40 時間後には発生しなくなることが確認された。

この現象をさらに調べるため図 2 に示す装置を用いて別の実験を行なった。この場合にもポリエチレンパウダを用い、上述の方法で接触帯電により負に荷電し気流と同搬してプラスチックノズルからあらかじめ直流高電圧を加えた平行平板電極の中間部に供給した。パウダは全体としては負に帯電しているが、一部は正に帯電している。したがって大部分は正電極上に、一部は負電極上に分離されて付着する。10 秒程度経過すると、堆積層厚の最も大きい正電極の上部において逆電離が発生し、その直後に負電極面それに対向した位置に逆電離が発生することが認められた。これはいったん正電極上に逆電離が生ずると、そこから多量の正極性イオンが放出され、こ

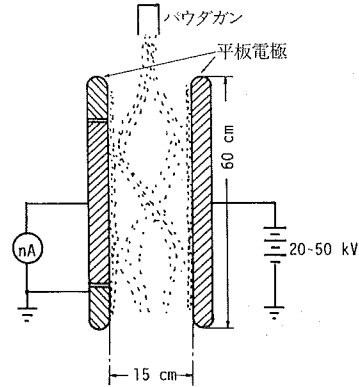


図 2 予備実験装置 (2)  
Fig. 2 Experimental apparatus (II) for preliminary observation.

れが負電極面の逆電離を誘発するためと考えられる。また電極板上部で発生した逆電離は徐々に両電極とも下部に向かって伝搬してゆくのが見られた。このような現象を逆電離の伝搬現象と呼ぶことにする。

以上の二つの実験はいずれも外部からのイオン電流を断って行なったものであるが、いずれの場合も両電極間には電圧が印加され、これによって外部電界が加わっている。そして逆電離開始時の膜厚は、いずれもイオン電流を供給しつつ行なう通常の静電粉体塗装における逆電離開始膜厚に比べて相当大きくなることが認められた。

上記の二つの実験は、イオン電流の供給がなくとも、十分な外部電界が存在し、膜厚が十分大きくなれば層内の空間電荷電界が外部電界と共同して逆電離を引き起こしうることを示している。このモデルに従って以下に一般的な逆電離開始条件を導くことにする。

### 3. 層内の電界分布

静電粉体塗着過程を単純化して、いま図 3 に示すような一次元モデルを考える。ガンと被塗着物体を無限に広い平行平板電極でおきかえ、前者は一樣なイオンと帯電粉体の供給源とし、後者は接地されているものとする。両電極間には、これに垂直な方向に一樣連続な帯電粉体とイオンの流れが存在し、接地電極表面に飛来してここに一樣な成長速度で堆積層が形成されてゆくものとする。イオンは堆積層表面で帯電粉体と合体し、両者の電荷が加わって粉体層内の空間電荷を形成する。このとき次の基本式をもとにして、粉体層内の電界分布を計算する。

i) 電流連続の条件

$$-\text{div } \vec{i}_d = \partial i_{dx} / \partial x = \partial q_d / \partial t \quad (2)$$

ii) Poisson の式

$$\text{div } \epsilon_d E_d = -\epsilon_d \partial E_{dx} / \partial x = q_d \quad (3)$$

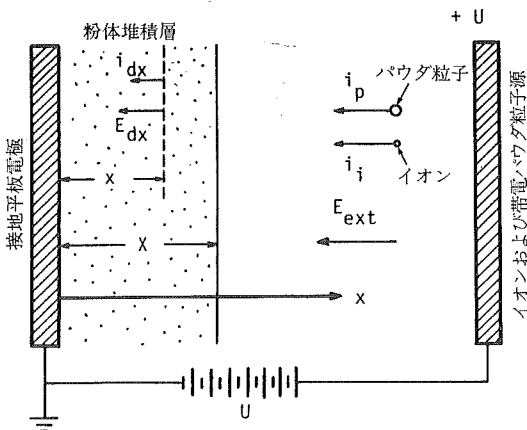


図3 静電粉体塗着過程の一次元モデル  
Fig. 3 One-dimensional model of powder deposition.

iii) Ohm の法則

$$i_{dx} = E_{dx} / \rho_d \quad (4)$$

ここで、 $t$  = 時間 [s],  $q_d$  = 粉体層内の空間電荷密度 [C/m<sup>3</sup>],  $\epsilon_d$  = 粉体層の誘電率 [F/m],  $\rho_d$  = 粉体層の見掛抵抗率 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ],  $i_{dx}$  および  $E_{dx}$  はそれぞれ層内電流密度  $\vec{i}_d$  および層内電界強度  $\vec{E}_d$  の  $x$  方向成分であり、その向きは簡単のため図3に示すとおり  $x$  と逆向きの方向を正にとる。

境界条件としては

(I) 層表面と空間との境界

(a) 境界面の位置:

$$X = bt \quad [\text{m}] \quad (5)$$

(b) 境界での電流密度:

(層外部)

$$i_0 = i_i + i_p \\ = i_i + 3\phi b q_p / 4\pi a^3 = \text{一定} \quad [\text{A/m}^2] \quad (6)$$

(層内部)

$$i_{dx}(X) = E_{dx}(X) / \rho_d \quad [\text{A/m}^2] \quad (7)$$

(c) 境界における電界強度:

$$\frac{\epsilon_d}{\epsilon_0} E_{dx}(X) = E_{ext} = \text{一定} \quad [\text{V/m}] \quad (8)$$

(II) 層と平板電極との境界

(d) 境界における電位:

$$U_d(0) = 0 \quad [\text{V}] \quad (9)$$

ここで、 $b$  = 層厚の成長速度 [m/s],  $i_i$  = イオン電流密度 [A/m<sup>2</sup>],  $i_p$  = 荷電粉体による電流密度 [A/m<sup>2</sup>],  $i_0$  = 全電流密度 [A/m<sup>2</sup>],  $q_p$  = 粉体粒子1個当りの電荷量 [C],  $a$  = 粒子径 [m],  $\phi$  = 層の充てん率,  $E_{ext}$  = 外部電界強度 [V/m],  $\epsilon_0$  = 真空の誘電率,  $U_d(x)$  = 層内の電位 [V], である。

条件(5)は堆積粉体層が一定の速度  $b$  で成長してゆくことを表す。また条件(8)は粉体層の厚さが電極間隔

に比して十分に小さいので近似的によく成り立つものと考えられる。

粉体層の表面では電流連続の条件(2)を次のように書きかえることができる。

$$i_0 - E_{dx}(X) / \rho_d = q_d(X) b \quad (10)$$

または

$$q_d(X) = (i_0 - E_{dx}(X) / \rho_d) / b \\ = q_0 - E'_{ext} / b \rho_d \\ = q_{d0} \quad (\text{一定}) \quad (11)$$

ここで

$$E'_{ext} = (\epsilon_0 / \epsilon_d) E_{ext} \quad (12)$$

$$q_0 = i_0 / b = (i_i + i_p) / b \\ = (i_i + 3\phi b q_p / 4\pi a^3) / b \quad [\text{C/m}^3] \quad (13)$$

式(2)~(4)より次式を得る。

$$\partial q_d / \partial t = -q_d / \tau_d \quad (14)$$

ここで

$$\tau_d = \epsilon_d \rho_d = \text{緩和時間} \quad [\text{s}] \quad (15)$$

(14)式を  $t = X/b$  において

$$q_d(x, t) = q_{d0} \quad (16)$$

という条件のもとで  $x \leq bt$ , あるいは  $x \leq X$  の範囲で積分すると

$$q_d(x, t) = q_{d0} \exp\{-(t-x/b) / \tau_d\} \\ = q_{d0} \exp\{-(X-x) / L_d\} \quad (17)$$

となる。ここで

$$L_d = b\tau_d = \text{緩和長} \quad [\text{m}] \quad (18)$$

(17)式を(3)式に代入し、 $x$  から  $X$  まで積分すると次式を得る。

$$-\epsilon_0 E_{ext} + \epsilon_d E_{dx}(x, t) \\ = q_{d0} L_d [1 - \exp\{-(X-x) / L_d\}] \quad (19)$$

(12)式を代入して層内の電界分布は次のように表わすことができる。

$$E_{dx}(x, t) = E'_{ext} + (i_0 \rho_d \\ - E'_{ext}) [1 - \exp\{-(X-x) / L_d\}] \quad (20)$$

$$= E'_{ext} + (i_0 \rho_d \\ - E'_{ext}) [1 - \exp\{-(t-x/b) / \tau_d\}] \quad (21)$$

$$= E'_{ext} \exp\{-(X-x) / L_d\} + (i_0 \rho_d \\ - E'_{ext}) [1 - \exp\{-(X-x) / L_d\}] \quad (22)$$

(22)式において緩和長  $L_d$  は外部電界の層内への侵入深さを示していることがわかる。図4は時間  $t = \tau_d$ ,  $t = 2\tau_d$  および  $t = 3\tau_d$  における層内の電界分布を示したものである。これらより層内の電界分布は  $x$  方向に速度  $b$  で進行する指数関数であり、電界最大の点は  $x=0$ , すなわち層と接地電極との境界に生ずることがわかる。したがって、この境界における電界値  $E_{max}$  が層の絶縁破壊強度  $E_{ds}$  を越えることによって逆電離が開始するものと考えられる。それゆえ、逆電離開始条件は一般に次の

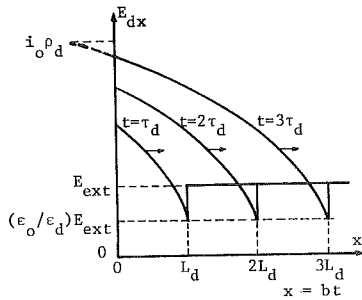


図4 層内電界分布1 ( $X_0 \sim L_d, t_0 \sim \tau_d$ )  
Fig. 4 Field distribution inside a deposited layer. (General case;  $X_0 \sim L_d, t_0 \sim \tau_d$ )

ように書きあらわすことができる。

$$E_{max} = E'_{ext} + (i_0 \rho_d - E'_{ext}) \{1 - \exp(-X_0/L_d)\} \geq E_{ds} \quad (23)$$

または

$$E_{max} = E'_{ext} + (i_0 \rho_d - E'_{ext}) \{1 - \exp(-t_0/\tau_d)\} \geq E_{ds} \quad (24)$$

これらの条件式は、逆電離開始のためには層の膜厚が  $X_0$  以上となる必要があること、換言すれば膜厚が  $X_0$  に達するまでの時間  $t_0$  が必要であることを示している。なおこの膜厚  $X_0$  を限界膜厚と考えることができる。この限界膜厚  $X_0$  および逆電離開始までの時間  $t_0$  は(23)、(24)式を用いることにより

$$X_0/L_d = t_0/\tau_d = \ln\{(i_0 \rho_d - E'_{ext}) / (i_0 \rho_d - E_{ds})\} \quad (25)$$

で与えられる。

ここで実用上とくに重要な、(I)電気集じん装置で問題となるような、粉体の見掛抵抗率  $\rho_d$  が比較的小さい場合、(II)静電粉体塗装で問題となるような、 $\rho_d$  の値がきわめて大きい場合の二つについてとくに考察を進める。

(I)の場合： $\rho_d$  が比較的小さいこの場合には緩和長  $L_d$  の値は非常に小さくなり、 $X_0 \gg L_d, t_0 \gg \tau_d$  となる。

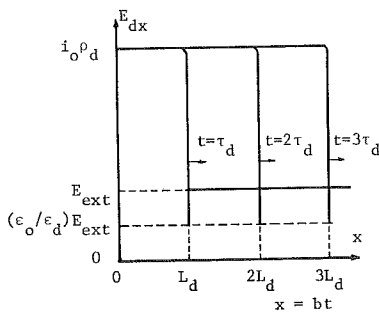


図5 層内電界分布2 ( $X_0 \gg L_d, t_0 \gg \tau_d$ )  
Fig. 5 Field distribution inside a deposited layer. (Low resistivity case;  $X_0 \gg L_d, t_0 \gg \tau_d$ )

したがって(23)式および(24)式は(1)式に帰着し、逆電離開始条件におよぼす膜厚の効果は無視できるようになる。この場合の電界分布を図5に示す。このときには層内空間電荷電界および外部電界の効果は、層内電流により生じる電界  $i_0 \rho_d$  に比し十分小さくなっていることがわかる。

(II)の場合： $\rho_d$  がきわめて大きいこの場合には  $X_0 \ll L_d, t_0 \ll \tau_d$  となり、(23)式および(24)式は次のように表わすことができる。

$$E_{max} = E'_{ext} + (i_0 \rho_d - E'_{ext}) (X_0/L_d) = E'_{ext} + (i_0 \rho_d - E'_{ext}) (t_0/\tau_d) \geq E_{ds} \quad (26)$$

$$X_0/L_d = t_0/\tau_d = (E_{ds} - E'_{ext}) / (i_0 \rho_d - E'_{ext}) \quad (27)$$

なお、通常  $i_0 \rho_d \gg E_{ext}$  であるので(26)式および(27)式はさらに次のように簡単化できる。

$$E_{max} = E'_{ext} + (i_0/\epsilon_d) t_0 \geq E_{ds} \quad (28)$$

$$X_0 = b t_0 = \epsilon_d b (E_{ds} - E'_{ext}) / i_0 \quad (29)$$

仮定に反して、全電流密度  $i_0$  が時間的に変化する場合には(28)式は次のように書きかえねばならない。

$$E_{max} = E'_{ext} + \int_0^{t_0} \{i_0(t)/\epsilon_d\} dt \geq E_{ds} \quad (30)$$

(25)式および(27)式は層の膜厚が十分大きい場合にはイオン電流  $i_i$  が存在しなくても逆電離が発生しうること示している。しかしこのときは一般に層内電荷密度  $q_0$  が小さくなるので、粉体層の被塗着物への付着力が小さくなるものと考えられる。また(29)式より、限界膜厚  $X_0$  は全電流密度  $i_0$  あるいは層内の空間電荷密度  $q_0 = i_0/b$  ((13)式より)に反比例することがわかる。したがって限界膜厚  $X_0$  の値は全電流密度  $i_0$  を変えることによって制御することが可能であり、 $i_0, q_0$  を下げるほど  $X_0$  を大きくすることができる。しかし  $q_0$  の値は、付着力を大きくし丈夫な塗着層を得るために、できるだけ大きくすることが望ましい。したがって塗着膜厚を大きくすることと、塗着層の付着力を大きくすることは本質的

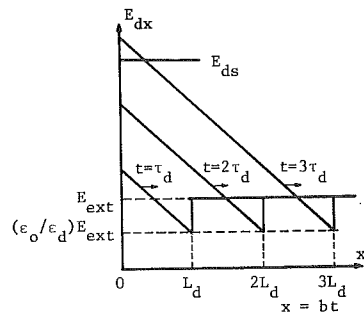


図6 層内電界分布3 ( $X_0 \ll L_d, t_0 \ll \tau_d$ )  
Fig. 6 Field distribution inside a deposited layer. (High resistivity case;  $X_0 \ll L_d, t_0 \ll \tau_d$ )

に両立しないことがわかる。

図6は以上のように  $\rho_d$  がきわめて大きい場合の電界分布であり、分布は直線で近似できる。その傾きは全電流密度  $i_0$  が大きいほど大きくなり、小さな膜厚で逆電離が始まることわかる。 $i_0\rho_d \gg E_{ext}$  の場合直線の傾きは  $i_0/\epsilon_0 ab$  となる。

4. 逆電離開始条件の実験的検証

$\rho_d$  が比較的小さい場合 ( $5 \times 10^{10} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ )、逆電離開始条件は(1)式で与えられることを、筆者らは実験的に確認した<sup>4)</sup>。そこでここでは  $\rho_d$  がきわめて大きい場合 ( $\rho_d > 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ ) について前節に導いた逆電離開始条件の実験的検証を行なった。

検証実験は(30)式を用いて実験的に求めた逆電離開始時の最大電界強度 ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> を、平行平板電極を用いて別に測定した絶縁破壊強度  $\overline{E_{ds}}$  と比較することにより行なった。ただしイオン電流  $i_i$  はパウダ粉体によって運ばれる電流  $i_p$  に比べて十分小さく抑え、 $i_0 \approx i_p$  の条件下で実験を行なった。図7は実験装置を示す。

この装置では外部電界  $E_{ext}$  と全電流密度  $i_0 (\approx i_p)$  を独立に変化させることができる。すなわち  $E_{ext}$  はグリッド電極電圧  $V_g$  を変えることにより、 $i_0$  は放電電極電圧  $V_a$  および粉体供給量  $W_p$  を変えることにより、それぞれ変化させることができる。 $i_0(t)$  は接地平板電極の単位面積当りに流入する電流に等しく、平板電極と大地間に挿入されたコンデンサCの電圧を  $V_C$  とすると、

$$V_C = S \int_0^{t_0} i_0(t) dt / C \quad (31)$$

である。したがって  $V_C$  の値から(30)式の右辺第2項が求まり、 $E_{max}$  を知ることができる。ここで  $C$  はコンデンサの容量 ( $10^{-8}\text{F}$ )、 $S$  は測定電極の面積 ( $3.14\text{cm}^2$ ) である。試料粉体としてエポキシパウダを用いた。これは  $\rho_d = 2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 、見掛比誘電率  $\epsilon_s = 2.5$  であり、粒径は  $0.01 \sim 0.05 \text{mm}$  の範囲にあった。この場合  $\tau_d \approx 5 \times 10^3 \text{s}$  となるので  $\tau_d \gg t_0$  が満たされている。逆電離開始時点は、逆電離に伴う発光をイメージインテンシファイア (EMI, type 9912, 最高ゲイン  $10^6$ ) を用いて観測することにより決定した。 $i_0$  を変え、層内空間電荷密度  $q_0$  の広い範囲にわたって逆電離開始時のコンデンサ電圧 ( $V_C$ )<sub>0</sub> および膜厚  $X_0$  を測定した。そして得られた ( $V_C$ )<sub>0</sub> より逆電離開始時の最大電界強度 ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> を上記の方法で求めた。膜厚  $X_0$  の測定は堆積層をカットし、顕微鏡を用いてその断面を観測して求めた。

$i_0 = 10^{-10} \sim 10^{-8} \text{A/m}^2$ 、 $W_p = 10 \sim 80 \text{g/min}$  の範囲において求めた ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> と  $X_0$  の関係を図8に示す。平行平板電極を用いて測定した絶縁破壊強度  $\overline{E_{ds}}$  と膜厚との関係も同図に示す。この結果  $q_0$  の広い範囲に対応する限界膜厚  $X_0 = 0.3 \sim 1.0 \text{mm}$  において ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> はほぼ一定値をとることが判明した。一方  $\overline{E_{ds}}$  は膜厚が大きくなるに従って減少する傾向を示した。 $X_0 = 0.3 \sim 1.0 \text{mm}$  の範囲における ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> の値は膜厚  $0.1 \text{mm}$  における  $\overline{E_{ds}}$  の値とほぼ一致している。このことは前項に

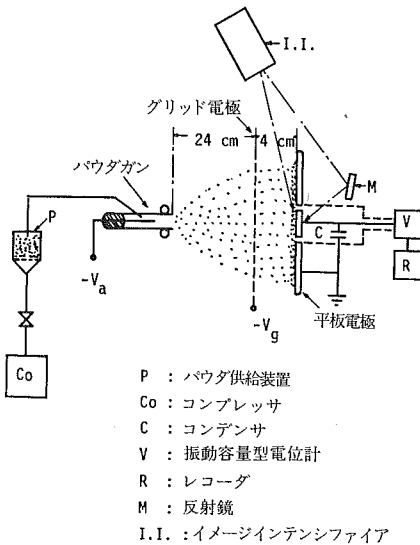


図7 検証実験装置

Fig. 7 Electrostatic powder deposition apparatus for experimental verification of back discharge initiation condition.

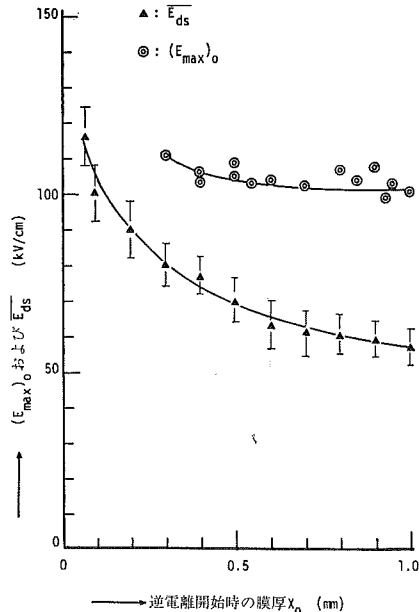


図8 ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> および  $\overline{E_{ds}}$  と層膜厚との関係  
Fig. 8 Comparison between ( $E_{max}$ )<sub>0</sub> and  $\overline{E_{ds}}$ .

述べたように、逆電離は接地電極近傍の電界強度が最大となる部分における絶縁破壊から始まることを支持しているものと考えられる。

膜厚 0.3 mm 以下における検証実験は困難であったため、信頼できる結果が得られなかった。すなわちこの実験条件下 (イオン電流が  $10^{-12}$  A/m<sup>2</sup> 以下) では膜厚 0.25 mm 以下では逆電離は発生しなかった。一方  $X_0$  を小さくするため積極的にイオン電流を供給した場合には、パウダ供給開始時点と  $V_0$  の測定開始時点とを正確に一致させることが困難なこと、パウダ堆積開始直後には粒子の付着はまばらでその間隙をイオン電流が流れること、またこの場合逆電離開始時間  $t_0$  も小さくなることから、 $(E_{max})_0$  の測定誤差が非常に大きくなった。

しかしながら膜厚 0.3 mm 以上において得られた図 8 の実験結果により、前節に導いた逆電離開始条件の妥当性は十分検証できたものと思われる。

### 5. 考 察

図 8 の結果は  $(E_{max})_0$  と  $\overline{E_{ds}}$  の膜厚との関係がかなり異なっていることを示している。この理由は粉体層の絶縁破壊を引き起こす層内の弱点の数の相違によるものと考えられる。 $(E_{max})_0$  の場合には絶縁破壊に寄与する弱点は、電界の強い接地電極近傍領域に存在するものだけに限られるはずで、その領域の等価的な厚みは粉体粒径の最大値 (0.05 mm) の程度と考えられるので、 $(E_{max})_0$  の値が 0.1 mm 程度の膜厚に対する  $\overline{E_{ds}}$  の値と一致することはきわめて正当である。一方  $\overline{E_{ds}}$  の場合には層内に様な電界が加わるため、層内全体に存在する弱点すべてが絶縁破壊に寄与するはずである。したがってその数は膜厚が 0.1 mm 以上では  $\overline{E_{ds}}$  の場合のほうが多くなるであろう。膜厚の増加に伴って急激に  $\overline{E_{ds}}$  が低下する現象は、絶縁破壊強度の期待値は弱点の数が増加するほど減少するという統計理論 (最弱リンク説\*) から説明することができる。

\* 最弱リンク説は試料全体の強度が試料内に存在する弱点のうち、最弱点の強度に規定されるような場合の強度理論で、これによれば試料の強度すなわち最弱点強度の最頻値は弱点の標本数が増加するほど減少する。

### 6. 結 論

以上に外部電界と層内空間電荷を考慮した一般性のある逆電離開始条件を導出し、その検証実験結果を記述した。これを要約すると

(1) 堆積ダスト層内の電界強度は層内に空間電荷が存在するため、接地平板電極との境界において最大となる。そしてこの最大電界強度  $E_{max}$  が層の絶縁破壊強度  $\overline{E_{ds}}$  を越すことによって逆電離が発生する。

(2) 計算により求めた逆電離開始時の最大電界強度  $(E_{max})_0$  はほぼ一定であり、平行平板電極を用いて別に測定した絶縁破壊強度  $\overline{E_{ds}}$  の小さい膜厚 (0.1 mm) での値とよく一致した。

(3) 逆電離の開始時点および限界膜厚の値は、導出した条件式をもとに平行平板電極により求めた  $\overline{E_{ds}}$  の値から予測することができる。

なお、 $\rho_d$  がきわめて大きい場合の逆電離放電様態については別に報告する<sup>7)</sup>。

本研究の開始にあたり、英国 Southampton 大学の A. W. Bright 教授より有益な討論を得た。また実験の一部には三協電業株式会社の斉藤俊行氏が参加した。これらに対し深甚の謝意を表明する次第である。

### 参 考 文 献

- 1) H. J. White: *Industrial Electrostatic Precipitation*, p. 319, Addison Wesley (1963).
- 2) S. Masuda: *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **27** (1975), 154.
- 3) J. D. Bassett, R. P. Corbett and J. Cross: *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **27** (1975), 221.
- 4) 増田閃一, 水野 彰, 阿久津頭右: 静電気学会誌投稿中.
- 5) 増田閃一, 水野 彰: 静電気学会誌投稿中.
- 6) 増田閃一, 阿久津頭右, 斉藤俊行: 1976年電気学会全国大会講演集, No. 470.
- 7) S. Masuda, A. Mizuno and K. Akutsu: *Initiation Condition and Mode of Back Discharge for Extremely High Resistivity Powders, to be presented to 1977 Annual Conf. of IAS. IEEE, Los Angeles.*