

集じん電極面における帯電粒子の挙動について

足立 宜良*・池田 隆*

On the Behavior of the Charged Particles at the Collecting Plate-Electrode

Takayoshi ADACHI and Yutaka IKEDA

Abstract

The conventional theory for efficiency of electrical precipitation is based on the assumption that particles after reaching the collecting electrode adhere perfectly. Such theory predicts much higher efficiency for precipitation of particles of higher conductivity. By measurements of actual performance, the efficiency is far low.

To study this further, the authors suspended a model particle in electric field and observed the behavior of the charged particles at the collecting plate-electrode.

The result of these experiments may be summarized as follows.

1. In corona discharge field, the particles of lower resistivity said insulator adhere to the collecting plate-electrode as they reach there. But, the behavior of polygonal particle on the electrode depends its attaching state.

2. After the particles of higher resistivity arrived to the collecting plate-electrode, they are attracted there keeping some gap of corona discharge with soft vibration.

(See Fig. 3)

3. The authors call the phenomena "discharge pressure" meaning the action which give the gap of discharge corona. By the photographic measurement, the discharge pressure gap increases proportionally to discharge energy as applied voltage rise.

So, the conventional theory for efficiency must be corrected by these results.

4. The authors could understand that so called "re-entrainment" in electrical precipitation phenomena should be called "jumping phenomena" through these experiments and observations.

は し が き

電気集じん装置の安定運転に影響する因子である煙霧体の電気的固有抵抗について、適当な値、 $10^8 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ を示す煙粒子は容易に円滑かつ連続的に電気集じんできる。しかし、 $10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下または $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の両極端のものは、なんらかの対策を講じないと経済的集じんが困難である。集じん電極表面に堆積した煙霧体層において、前者の場合は跳躍現象¹⁾(いわゆる再飛散現象)が、また、後者の場合は逆電離現象が生じ円滑な集じん動作を妨げる。

後者の逆電離現象の発生による集じん率のいちぢる案されるにいたっていない。しかるに、重油燃焼ある

しい低下は、集じん器入口以前においてガスを調湿して煙粒子のみかけ電気抵抗を下げてやることによって、実質的に改善し得ることが理論的にも実験的にも明らかにされている²⁻⁴⁾。ただし、安定かつ経済的な工業的調湿技術についてはなお研究の余地があると思われる。

前者は重油専焼排ガスのように、高 SO_3 による過電流をもとなう場合と高導電性煙粒子を含むけむりのように粒子の運動自体が過電流を招く場合とが考えられる。高 SO_3 による過電流は、 NH_3 あるいは適当な性質の煙じんの適量を添加するなどの対策が考えられるが、高導電性煙粒子の取扱については、なお良策が提

いはカーボンブラック製造など、この種の煙じん発生を伴う重要工業は、いっそう発展のう勢にある。

ここにおいて、筆者らは先に報告した高導電性および低導電性煙粒子がコロナ放電界中において受ける作用力とその影響⁵⁾の研究につづいて、特に高導電性煙粒子の集じん電極面上での挙動を工学的に解析して、これの電気集じん阻害要因を明らかにすることを目的として、この研究に着手した。

集じん電極面上に到達した模形粒子の挙動については、これまでの文献にはその解析例がみあたらない。したがって、筆者らは、模形粒子の電気的および機械的性質を考慮してその集じん電極面における動静の実験的観察ならびに考察を試みた。

2. 実験装置

実験の対称とした集じん電界は、現象の観察ならびに実験に都合のよい7針からなる多針放電々極 (Needle-electrode) と平板集じん電極 (Plate-electrode) とで構成した。その概要は Fig. 1 に示すようである。

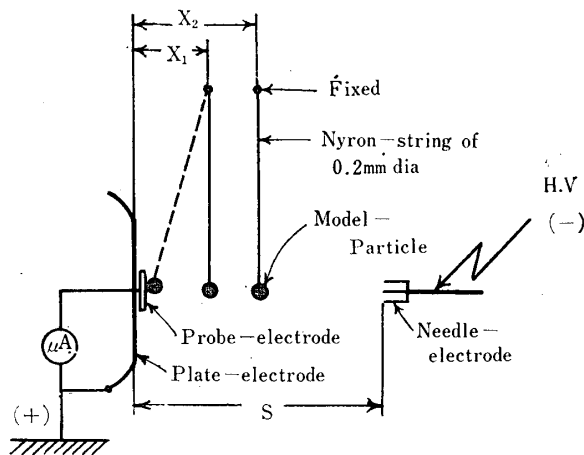


Fig. 1 Showing arrangement of electrode and behavior of suspension in the corona discharge field

集じん電極面上における煙粒子の挙動を観察するにあたり、現象の観察に都合のよい大きさ (直径が cm 級) の模形粒子を用いた。この模形粒子の電気的および機械的性質を種々に選んで、これを Fig. 1 に示す放電々界内にナイロン糸 (0.2mmφ) で吊して、粒子が集じん電極面上に到達する高電圧以上の電圧を加えて実験を行なった。

3. 低導電性帯電粒子の集じん電極面における挙動

3・1 種々の導電性帯電粒子の集じん電極面にお

る挙動の考察 Fig. 1 において電界強度を増してゆくと、模形粒子は集じん電極の方へ移動するが、集じん電極面に近接 (粒子径相当の距離以内) し、クーロン作用力とイメージ作用力との不平衡条件に達すると、すなわち、イメージ作用力が強く働く範囲にいたると、模形粒子は速い速度で瞬間的に集じん電極に到達する。そして、ただちに取得電荷の放電を行ない、電極からいったん放れ、ただちに再充電されてまた放電距離にまで到達する。この振動をくり返したあと電極に吸着される。この現象は、模形粒子の自重による制動力が大きいためかなりの振幅をもって顕著に観察されるが、電気集じん器内の煙粒子の動静においても多小とも同様な挙動が起るものと考えられる。吸着されたあとにおける挙動は、模形粒子の表面漏洩抵抗の如何によって次のように異なる。

1) エボナイトなどの表面抵抗の大きいものは、Fig. 2 (a) のように大きい接触縁面をもって集じん電極に吸着されると密着して静止する。ただし、Fig. 2 (b) のように、点接触のときは密着点周辺にグロー放電を伴ない、かすかに揺動する。

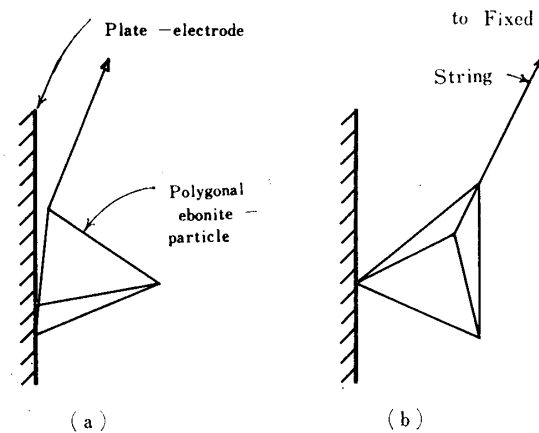


Fig. 2 Behavior of polygonal ebonite-particle due to its attaching state in corona discharge field

2) エナメル塗装などの表面抵抗の適度のものは、吸着されたあと、沿面グロー放電 (暗室内で観察される) を行ないながら、なめるように集じん電極表面を少しずつ左右に移動する。

3) 銀メッキ球および銅球のように、表面抵抗の小さい導電性粒子は集じん電極の表面と微小間隙を保持して充放電を繰返し、不規則な微振動状態 (釣のウキがピクピクする運動に似ている) で放電圧力 $\ominus F_D$ のため Fig. 3 のように空間にとどまる。ここで、Fig. 3 は暗室で3分間開放してコロナ放電を撮影したあ

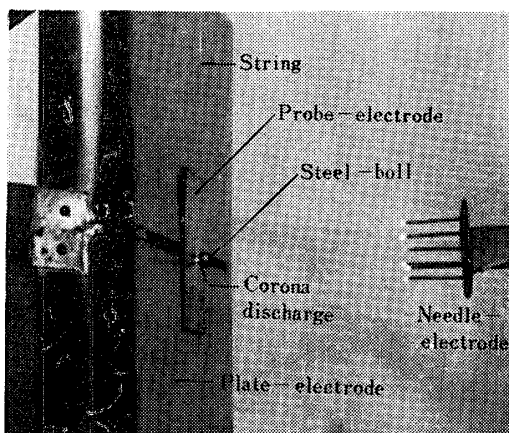


Fig. 3 Photograph of experimental device and corona discharge between probe-electrode and steel ball
Where, $E=75KV$, $S=14cm$, $X=1cm$

と、フラッシュをたいて電極および粒子の関係位置を2重撮影したものである。

ここにおいて、筆者らは高導電性粒子の集じん電極面上の挙動に着目し、さらに考察を進めるため、つぎのように実験を展開した。

3・2 放電圧力の影響 高導電性粒子は集じん極面上において、放電圧力 $\ominus F_D$ と制動力 $\ominus F_g$ の和とイメージ作用力 $\oplus F_I$ とクーロン作用力 $\oplus F_C$ とが平衡した状態、すなわち

$$\oplus F_I + \oplus F_C + \ominus F_D + \ominus F_g = 0 \quad (1)$$

の関係を満足する間隙を保持して、電荷の充放電を持続する。この現象の外観は Fig. 3 の写真に示す。かような動作を持続させる作用力の性質を吟味するため、吊糸の傾斜による模形粒子自体の制動力の影響を考へて、吊糸の支点を集じん電極面から放電極の方へ

種々変化させ、各場合につき印加電圧を変化させて模形粒子と集じん電極間のコロナ輝点の状態を比較観察した。ただし、つり糸の支点の変位を Fig. 1 のように $x(cm)$ とした。

$x=3cm$ における模形粒子が集じん電極面近くに到達して、模形粒子と集じん電極との間にコロナ放電現象が観察される印加電圧以上の電圧について、コロナ放電現象を撮影したのが Fig. 4 である。撮影にあたって、カメラは Canonet, $f=1.9$ およびフィルムは SSS を用い、暗室内で開放3分間露出を行なったものである。Fig. 4 のコロナ放電の写真が不規則にぼけているのは、模形粒子が微小振動したためである。

Fig. 4 から明らかなように、印加電圧によってコロナ放電の大きさに変化がある。この大きさを写真測定し、集じん極面と支点との距離 x をパラメーターとした曲線を Fig. 5 (a) に示す。

Fig. 5 (a) の $x=1cm$ の曲線について、 $25KV < E < 40KV$ では粒子の充電速度が遅く、電荷の受授の周期が大きいため粒子の振動によりコロナ放電間隙が大きくなり、 $40KV < E$ では電荷の受授の平衡量の大きさにしたがって、放電間隙が印加電圧とともに漸次大きくなる。しかし、 $E > 40KV$ の間隙変化は、Fig. 5 (b) の如く両対数グラフを用いると印加電圧と直線の関係を示し、その勾配は 3.89 である。したがって、放電間隙変化は印加電圧の約 4 乗に比例し、また放電電流の約 2 乗に比例 (文献・5 参照) することになり、放電圧力の F_D をもっと考慮する必要があるが次の機会にゆずる。Fig. 5 (a) の制動力が大きく働く他の x 値の曲線にも、同様な特性を示すことは着目に値する。このことは、つぎの章に述べる高導電性粒子の集じん効率に大きな影響を与えるものである。

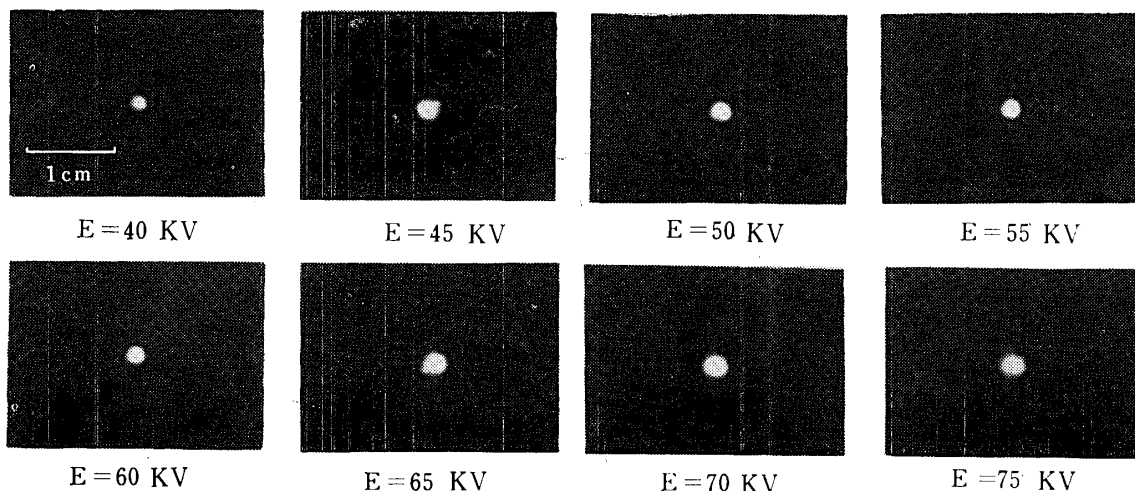


Fig. 4 Photographs of corona discharge between probe-electrode and steel-ball (See Fig. 3)
Where, steel-ball; dia=1.1cm, weight=5,245g : $X=3cm$

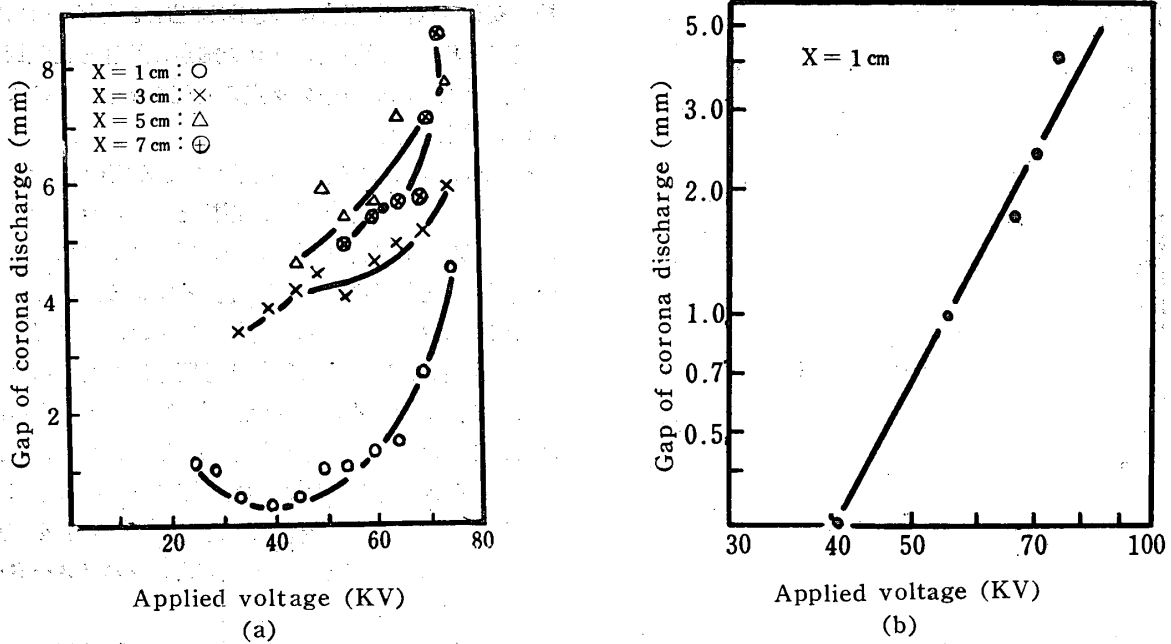


Fig. 5 Gap of corona discharge VS. applied voltage (See Fig. 3 arrangement)

3.3 電極表面における挙動の実験的考察

Fig. 4および Fig. 5の結果は、実際の電気集じん器内における高導電性煙粒子の集じん困難性を示すものとして興味がある。とくに Fig. 5(a)における $x=1\text{ cm}$ の特性は、この種の煙霧の集じんにおいて、集じん阻害作用が最小になる集じん電圧の存在を示して

いる。跳躍現象の影響に関する総合的な実験データは明らかにされているが¹⁰⁾、跳躍現象自体についての考察はあまりなされていない。

筆者らは、上記の実験について、Fig. 6に示すような電気集じん器内観測用実験装置を用いて、固有抵抗の低い黒鉛煙霧体について集じん実験を行ない、

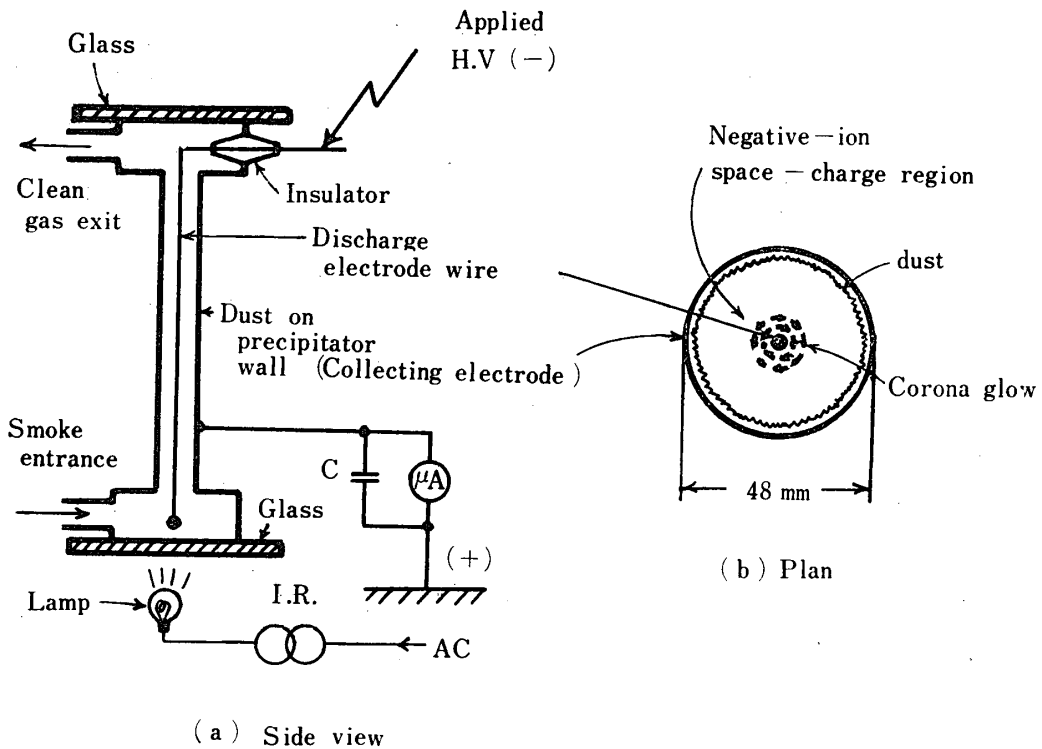


Fig. 6 Schematic diagram of experimental single-stage precipitator for observation of the behavior of re-entrained dust

その電界内における動静を観察した。Fig. 6(a)は実験要領を示したもので、集じん電極面付近におけるダストの動静観察を容易にするため、下方照明の照度は調節されるようにしてある。(b)は上部ガラス窓からの観察例を示したものである。

3・2節およびFig. 6における実験観察結果にもとづいて、つぎのように考察される。集じん電極に粒子が近づくと、 $\oplus F_I$ により急激に速度を上げて電極に達するやいなや、(完全に吸着状態になるわけではない)保有する電荷をただちに放出すると同時に、放電圧力 $\ominus F_D$ により押し出される。もちろん、吸着力は小さくなり、この結果は、粒子はガス流にはいり再び十分な電荷を得て、集じん電極へ向うわけである。かような集じん極表面での繰返し跳躍運動の結果、粒子間の衝突が激しく行なわれ、ある程度の凝集体を形成する。ガス流速が大であればこのような形で電気集じん器外へ出るわけであるが、流速が小であれば、集じん極前面に跳躍粒子層を形成する。しかし、粒子の付着力が静電反発力よりも大であれば、堆積層を形成する。(注：電氣的に集じんされたダストの粘着力を、粒子直径の関数として測定され報告されている⁷⁾)電界強度の変動で堆積層から凝集体が飛び出す現象は、堆積層が完全に密着せず層のある部分から局部放電を行ない、堆積層が波をうっていると考えられる。これらのことは、今までに記した実験をもとにして推論できるわけである。したがって、電界が強められると、いったん付着した堆積層の波打ち現象と吸着力がなくなることにより、大きな凝集体(直径数mm~10mm)が飛び出し自重により落下する。自重により落下する現象はFig. 6における実験観測によって、得られたものである。

橋本清隆教授が文献・1で高導電性煙粒子の挙動を、今まで再飛散現象(Re-entrainment phenomena)と呼ばれていたのを跳躍現象(Jumping phenomena)と改称を提案されたが、以上の実験観察および考察は、この妥当性をうらざるものである。

4. 低導電性帯電粒子の集じん率について

帯電粒子には集じん電極へ向う作用力として、クーロン作用力 $\oplus F_C$ とイメージ作用力 $\ominus F_I$ の合成されたものが作用する⁵⁾。この作用力とストークスの抵抗力

$$\ominus F_S = 3\pi\mu D_p V_d \quad (2)$$

とつりあう速度 V_d をもって、集じん電極に吸引される。ここで μ はガス粘性係数、 D_p は粒子直径、 V_d は粒子速度とする。したがって、集じん速度は($\oplus F_C$

および $\oplus F_I$ は文献・5参照)

$$V_d = \frac{1}{3\pi\mu D_p} (\oplus F_C + \oplus F_I) \\ = \frac{\zeta D_p^2 G^2}{3\pi\mu D_p} \left\{ \frac{1}{4} + \frac{\zeta D_p^2}{64 \left(\frac{S}{2} - \delta \right)} \right\} \quad (3)$$

となる。一般に前者の項しか考慮されていないが、筆者らは、粒子が集じん電極へ飛び込む時の速度は、(3)式のように考えることがよいと考える。

しかし、集じん室内のガス流は通常乱流であるため、そのうず効果による拡散現象がはいつてくると、極微粒子に対しては分子拡散の影響も考えられるので、荷電粒子は直線的に集じん電極に到達することは出来ない。(注：このことはG. W. Seman & G. W. PennyがEP実験装置に高速度写真機を取りつけ、帯電粒子の運動軌跡を撮影し、実験的に証明した⁸⁾)この場合の集じん電極に付着する粒子の量は、ガス中に含まれている未集じん粒子の量に比例するということが経験的に知られている。これによると集じん効率 η は、平板形集じん器の場合、つぎの式で表される。

$$\eta = 1 - e^{-(kV_d/S)t} \quad (4)$$

ただし、 t は荷電集じん作用を受けている時間、 k は定数である。

(4)式において、 η は V_d の大きいほどよくなる。この V_d は、(3)式で与えられるから電界強度 G の自乗に比例(近似的に印加電圧の自乗に比例)する。結局、高い電圧で運転することが集じん効率をよくすることになる。

しかし、筆者らが、3・2および3・3節で考察したように、ある電圧以上になると高導電性煙粒子の集じんにおいては、これらに作用する放電圧力 $\ominus F_D$ が急に大きくなる。すなわち、跳躍現象が急にはげしくなることから集じん率は低下する。したがって、(4)式の近似的に印加電圧の自乗に比例した関係でよくなるという理論式と矛盾することになる。このことは、なんらかの補正をこの式にほどきなくてはならないが、補正式についてはつぎの機会にゆずる。

5. むすび

以上の実験ならびに考察にもとづいて、筆者らが得た結果を要約すると、つぎのようである。

1. 絶縁性粒子は、コロナ電圧が低いときには大きな跳躍運動を行なうが、電圧が高くなると集じん電極に完全に密着する。この場合接触点における放電容量の大小にしたがって、異った動静を示す。接触面が小

さいときは、その接点周辺において、沿面グロー放電を持続し電荷の受授と平衡する。

2. 高導電性粒子は、集じん電極に到着後、それらの中でコロナ放電を行ないながら微小放電間隙を保って微動し、安定に密着しないままの状態電荷の受授の平衡を保つ挙動を示す。

3. 上記微小放電間隙を与える作用力を、筆者らは**放電圧力**と名づけ、その間隙を写真測定した結果、この放電間隙はある電圧以上になると急激に増加する。このことは跳躍現象のはげしさを示し、経験的に示されている集じん率の公式に補正を行わなくてはならない。

4. さらに、電気集じん器内観察用実験装置を用いての観察結果を併せ考察することにより、今まで高導電性煙霧体の集じん電界内における挙動を再飛散現象と呼んでいたが、これを**跳躍現象**と呼ぶことが、妥当であることがわかった。

本報告をまとめるにあたり、終始懇切なご指導を賜った橋本清隆教授のご厚意に深く謝意を表す。また熱心に実験に協力された学生内田、辻、吉田、小沢、藤田の諸君の労を多とする。

参 考 文 献

- 1) 橋本清隆：Carbon Black 捕集用集塵器；化学工学，**25**，11 (1961) pp.852~856
- 2) 増田閃一：高抵抗粉体の見掛導電率におよぼす温度および湿度の影響；電学誌，**80**，867 (1960) pp.1790~1799
- 3) 増田閃一：電気集じん器の入口ガス調湿による集じん性能向上について；電学誌，**81**，873 (1961) pp.968~974
- 4) 増田閃一・大西利夫・齊藤弘：電気集じん器入口ガス調湿装置の実用化について；電学誌，**85**，927 (1965) pp.2086~2077
- 5) 足立宜良：コロナ放電界内の粒子に働く作用力とその解析；本誌，**17**，1 (1966) p.1~10
- 6) 橋本清隆・谷口堯：電気集塵装置の理論と実際；電気書院 (1960) p.64~65
- 7) G. W. Penny & G. W. Seman：Some Effects of large Particles in Electrostatic Precipitation；IEEE International Convention Record **12**，4，(1964) pp.164~167
- 8) G. W. Seman & G. W. Penny：Photographic Records of Particle Trajectories during Electrostatic Precipitation；IEEE International Convention Record **13**，7，(1965) p.69~72

(昭和41年6月15日受理)