

論 文

粉体の帶電性評価装置の開発

鈴木輝夫^{*,1}, 綿野哲^{**, 沼徹哉^{**}}

黒岡達男^{**}, 宮南啓^{**}, 岡橋良徳^{***}

金星直彦^{***}

(1999年5月10日受付; 2000年12月29日受理)

Development of an Evaluating System for the Charging Characteristics of Powder

Teruo SUZUKI,^{*,1} Satoru WATANO,^{**} Tetsuya NUMA,^{**} Tatsuo KUROOKA,^{**}
Kei MIYANAMI,^{**} Takanori OKAHASHI^{***} and Tadahiko KINBOSHI^{***}

(Received May 10, 1999; Accepted December 29, 2000)

In powder handling processes, the understanding of powder charge characteristics is very important to determine its safety handling conditions. Especially, in a powder pneumatic conveyer, powder is charged remarkably large, ranging from 1 to 100 $\mu\text{C}/\text{kg}$. When the charged powder is fed into a silo or a hopper after the pneumatic transportation, an ignitable electrostatic discharge is frequently observed, which sometimes induces explosion or fire. In this study, a system for evaluating powder charge characteristics, composed of a small pneumatic transportation and charging plate type electrodes for particle colliding and charging, has been developed and its performance has been confirmed. The effects of the operating conditions such as the number of electrodes, powder feed rate, air flow velocity, and powder diameter on the output current, electrostatic field strength, and specific charge have been investigated experimentally. As a result, several useful knowledge for the developed system were obtained and the importance of the evaluation for powder charge characteristics through the system could be pointed out.

1. 緒 言

粉体プロセスにおいて、粉体の帶電性を把握することは、静電気障害を防止する上で極めて重要である。特に、空気輸送による粉体の帶電は非常に大きく、空気輸送された粉体の比電荷は、1~100 $\mu\text{C}/\text{kg}$ 程度にまで達する¹⁾。このような比電荷を持った粉体をサイロやホッパー

キーワード：空気輸送、衝突帶電、飽和帶電、比電荷、帶電列

* 春日電機株式会社 (144-0031 東京都大田区東蒲田2-16-18)

KASUGA DENKI, INC., 2-16-18, Higashi-Kamata, Ohta, Tokyo 144-0031, Japan

** 大阪府立大学工学部化学工学科 (599-8531 大阪府堺市学園町1-1)

Department of Chemical Engineering, Osaka Prefecture University, 1-1, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

*** 住友化学工業株式会社 (554-0022 大阪市此花区春日出中3-1-98)

SUMITOMO CHEMICAL CO., LTD., PROCESS AND PRODUCTION TECHNOLOGY CENTER, 1-98, Kasugade-naka 3-chome, Konohana-ku, Osaka 554-0022, Japan

¹⁾ DZQ01704@nifty.ne.jp (自宅)

等に投入・貯蔵すると帶電粉体に起因した雷状放電、コーン放電²⁾および沿面放電などの極めて着火性の高い静電気放電が発生し、爆発・火災事故を誘発する恐れがある³⁾。このような静電気障害を防止することは、粉体プロセスでの大きな課題となっている。

これまでに提案されている粉体の帶電量測定法には、1回の衝突による粉体の帶電量を測定できる衝突帶電量測定装置がある。この測定装置に関して、粒子の衝突速度、衝突角度、試料と衝突帯電板（以下、単に衝突板という）材質の組み合わせ等の諸条件と帶電量の関係が報告されている⁴⁻⁶⁾が、飽和帶電特性が測定できない。また、繰り返し衝突帶電装置も開発されていて、この装置で飽和帶電量と帶電の立ち上がり特性等が測定され報告されている⁷⁾が、装置が複雑である。この他にもブローオフ方式⁸⁾やカスクード方式⁹⁾、空気輸送方式などが開発されている。ブローオフ方式やカスクード方式の装置は、測定の簡便さや再現性から粉体の帶電特性の評価に用いられている。しかし、これらの方には次のような問題がある。ブローオフ方式には、測定可能な粉体試料の粒子径が0.1~50 μm の範囲

と制限があることに加え、接触させる粉体に比較的大きなものを用いると帶電量が小さくなり、測定精度が低下するという欠点がある¹⁰⁾。また、カスケード方式には、粉体試料が凝集することなく傾斜板を転がることが必要であり、粒子径と粒子形状に対する制約が大きい。さらに、帶電量が小さいという欠点がある¹⁰⁾。

一方、空気輸送に伴う帶電現象についても以前から多くの研究がなされている。例えば、帶電用に塩化ビニール管を用いて、粉体の種類、空気流速、固気混合比の粉体の帶電量への影響を調べたものがある¹¹⁾。また、輸送配管に直管あるいは曲管を用いて、粉体の帶電性の空気流速、solid load 依存性を調べたもの¹²⁾や、直管と曲管からなる輸送管を用いて、粉体の帶電量と輸送距離、空気流速、solid load 依存性を調べたものがある¹³⁾。さらに、粒子径が数十 μm 以下の微粉体を用いた管内固気二相流の帶電現象についても調べられている¹⁴⁾。我々も、粉体の空気輸送プロセスにおける絶縁性輸送管での誘導電流測定や流動する粉体が管壁に形成する電界強度の測定を行い、輸送条件と粉体の比電荷や電界強度の関係を明らかにしてきた¹⁵⁾。このように粉体の帶電性について研究される背景の一つには、粉体の静電気障害防止の有効な技術が確立されていないことが挙げられ、粉体プロセスにおいて粉体を帶電させない取扱いが重要となる。したがって、粉体の帶電特性を実験室規模の簡単な測定装置で評価できると、個々の粉体の安全な取扱い条件を決定する参考データになるものと期待できる。

本研究では、粉体プロセスにおける静電気災障害防止の立場から、空気輸送方式の小型帶電性評価装置の開発を試みた。この装置は、繰り返し衝突による粉体の大きな帶電

量の測定ができるよう、帶電電極に複数の衝突板を有したものである。また、帶電電極での発生電流とファラデーケージ法による全電荷量測定により、粉体試料の初期帶電電荷の帶電特性への影響を把握できるようにした。さらに、流動性が良い結晶セルロースの球形粒子と流動性の悪いポリスチレンペレットの粉碎粒子を用いて、粉体の帶電量を評価すると共に試作した評価装置の有用性を確認した。

2. 実験

2.1 実験装置

図1は試作した帶電性評価装置であり、装置全体（粉体投入金属製ロート部を除く）をシールドボックス内の絶縁性の台の上に設置した。本装置は粉体供給部、帶電部、静電界測定部、さらに電荷量測定部から構成され、これらは全てステンレス製で、配管内径は 27.5mm である。粉体に大きな強制（飽和）帶電をさせるためには、直管を用いた空気輸送方式では長い輸送配管が必要となるため、曲管か衝突板を有した帶電電極を用いる必要がある。今回は帶電性評価装置の小型化を図るために帶電電極を用いることとした。帶電電極は、図2に示すような上下交互に設置された。

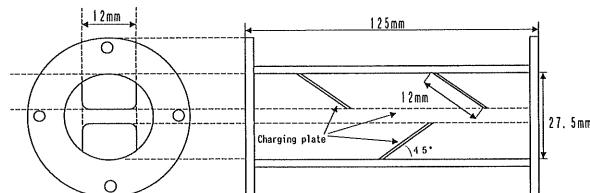


図2 帯電電極の概要図
Fig. 2 Schematic diagram of charging electrode.

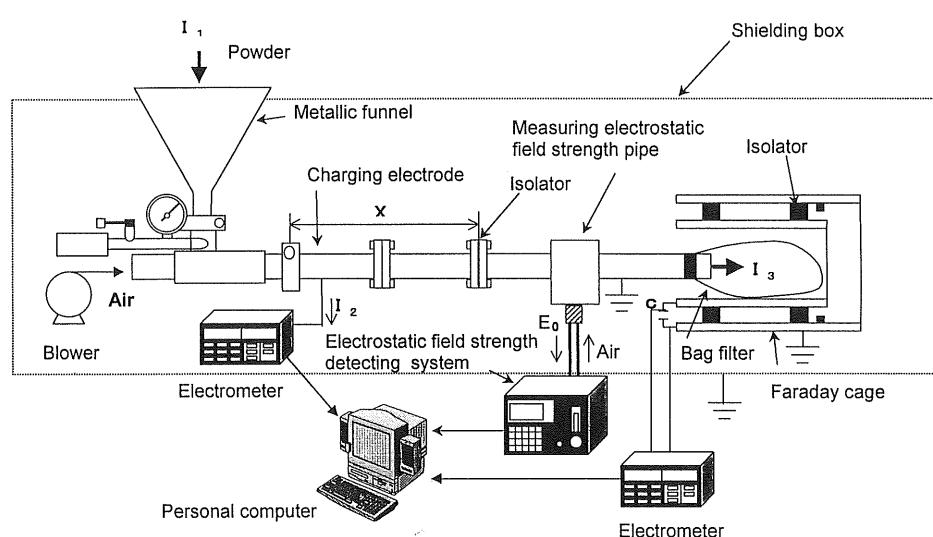


図1 開発した粉体の帶電性評価システムの概要図
Fig. 1 Schematic diagram of developed measuring system for the charging characteristics of powder.

た衝突板（ステンレス製、傾斜角45°、12×12 mm）を有している。この帶電電極はユニット構造になっており、1ユニットの長さは $X=125\text{ mm}$ で3枚の衝突板が設けられている。帶電電極の両端はネジ止めができるコネクタ構造になっており、ユニット数により衝突板の枚数を変えることで、粉体の帶電量（比電荷）を変化させることができる。試料粉体は金属製ロートから供給され、圧送プロワーのエア流により電極内を輸送される。このとき粉体は、帶電電極内の上下に取り付けられた衝突板と繰り返し衝突して帶電する。

本装置の静電気計測方法は以下のとおりである。帶電電極内の衝突板との衝突によって帶電した粉体の電荷量(Q_2)は、金属製ロートと帶電電極をエレクトロメータ(KEITHLEY社製6521)に接続して発生電流(I_2)として計測した。また、全帶電粉体の電荷量(Q_3)は、測定用短管後部に取り付けた粉体捕集用の布製バグ・フィルタをファラデーケージ内に設置して、供給粉体を全て捕集して、ファラデーケージの $C=0.1\mu\text{F}$ のポリプロピレンフィルムコンデンサの端子間電位差 V をエレクトロメータで測定して求めた。静電界測定部の測定用短管長は $L=200\text{ mm}$ で、中央部に平等電界で較正した静電界センサ^{15,16)}を取り付け、輸送粉体が短管内壁に形成する静電界強度(E_0)を測定した。帶電電極と測定用短管の接続は、絶縁性のパッキン、ボルト、ナットを用いて電気的に絶縁した。発生電流測定用のエレクトロメータと静電界検出シ

ステム（春日電機社製KSV-800AP）のアナログ出力は、コンピュータを用いてオンラインで計測を行った。なお、図1の中に示されている I_1 、 I_3 、 Q_1 は、それぞれ投入粉体の単位時間当たりの初期帶電電荷量(I_1)、ファラディケージに単位時間当たりに流入する粉体の電荷量(I_3)、初期帶電電荷量(Q_1)である。このように試作した帶電性評価装置は、帶電粉体の電荷量を測定するのみならず、帶電部での発生電流や輸送中の管内電界強度も同時に測定することが可能である。

2.2 実験方法

実験は、(i) 帯電電極数 X (ii) 粉体の単位時間当たりの供給量(以下、単に供給量という) u (iii) 空気流速 v (iv) 粉体粒子径 D (v) 粉体試料の種類を変更して、表1に示す実験条件下における発生電流 I_2 、静電界強度 E_0 、および電荷量 Q_3 の測定を行った。具体的には、帶電電極数の変更は図2に示す帶電電極ユニットの接続本数を変えることで、粉体の供給速度の変更はロートの内径を変えることにより、さらに空気流速は圧送プロワの出力調整を変更することで行った。試料粉体は予め初期電荷を緩和したもの用い、1回の実験で使用する試料の質量は $m=80\text{ g}$ で一定とし、接地した金属製ビーカーで一気に金属製ロート内に投入した。空気流速は最大 $v=16\text{ m/s}$ まで変化させた。今回の測定においては、測定環境の温湿度のコントロールは特に行っていないが、およそ温度： $22\pm4^\circ\text{C}$ 、湿度： $40\pm5\%$ であった。また、粉体試料の初期電荷の緩和

表1 実験条件
Table 1 Experimental conditions.

Run No.	粒子径 $D[\mu\text{m}]$	帶電電極数 $X[\text{unit}]$	供給量 $U[\text{g/s}]$	空気流速 $V[\text{m/s}]$	試料粉体
1	300～500	1			
		2	20.5	16	結晶セルロース球形粒子
		4			
2	300～500	2	8.5		
			12.5	16	〃
			20.5		
3	300～500	2	20.5	8	
				12	〃
				16	
4	200～300 300～500 500～700	2	20.5	16	〃
5	500～700	4	5.81		
			6.97		
			8.26	10	〃
			11.76		
			15.15		
6	500～700	4	2.13		
			4.17		
			10.20		ポリスチレン粉碎粒子

についても同じ環境で行った。計測は粉体試料が投入される約10s前から開始し、流動終了までの時間、静電界強度、発生電流、および電荷量を測定し、得られた波形は平均化処理を行った。

発生電流 I_2 や電荷量 Q_2 の測定結果は、下記に示す方法で比電荷 \bar{q} として整理し、この比電荷によって粉体試料の帶電特性を評価することにした。質量 M の粉体が投入開始後、全て帶電電極から流出し終えるまでの時間を計測時間 t とすると、帶電電極で帶電した粉体の全電荷量 Q_2 は、オンライン計測した発生電流 I_2 を粉体が帶電電極を流動する時間 t で積分した式(1)で求められる。

$$\int_0^t I_2 \cdot dt = Q_2 \quad (1)$$

この全電荷量 Q_2 を流動粉体の全質量 M で除すと、式(2)から発生電流 I_2 から求めた比電荷 \bar{q}_2 が求まり、これが帶電電極での粉体の帶電量を表すことになる。

$$\bar{q}_2 = Q_2 / M \quad (2)$$

また、電荷量測定部における測定電荷量 Q_3 を用いると、式(3)から同様に比電荷 \bar{q}_3 を求めることができる。

$$\bar{q}_3 = Q_3 / M \quad (3)$$

ここで、評価装置での比電荷の収支について考えると、試料粉体の初期帶電比電荷を \bar{q}_1 とすると、比電荷の収支は式(4)のようになり、発生電流から求めた比電荷量となる。

$$\bar{q}_1 = -\bar{q}_2 + \bar{q}_3 \quad (4)$$

ただし、ここでは測定用短管での電荷の発生・消滅が無視できるものと仮定した。なお、試料粉体の初期帶電がない場合 ($\bar{q}_1=0$) には、 $\bar{q}_2=\bar{q}_3$ となる。

2.3 試料粉体

実験には表2に示す粒子径の異なる3種類の結晶セルロースとポリスチレンペレットを粉碎し、篩い分けをしたものと試料粉体として用いた。これらの粉体は、コロナ放電式除電器で十分に除電した後、接地金属製容器に入れて帶電電荷を緩和させた後に使用した。なお、粉体の初期帶電

比電荷は、ばらつきがあるもののおよそ数百 pC/g であった。

3. 実験結果および考察

3.1 ユニット数の粉体帶電への影響

図3は、粒子径 $D=300\sim500\mu\text{m}$ の結晶セルロース球形粒子を用いて、帶電電極ユニット数の粉体帶電への影響を調べるために、帶電電極数 X と発生電流 I_2 、および静電界強度 E_0 の関係を示したものである。実験条件は供給量 $u=20.5\text{ g/s}$ 、空気流速 $v=16\text{ m/s}$ である。図より、帶電電極での発生電流のピーク値は、帶電電極数の増加に伴い小さくなる傾向を示し、粉体の空間電荷密度と相関のある静電界強度のピーク値は、大きくなる傾向を示した。発生電流と静電界強度の波形の変化は、帶電電極数が増加するにつれて共に波形の幅が広がっていることから、帶電電極数の増加とともに衝突板数の増加により粉体が衝突板に衝突する回数が増加するとともに、帶電電極内では粉体の流れが遅くなっていることが推察される。また、帶電電極数が2 units と4 unitsにおいては、静電界強度のピーク

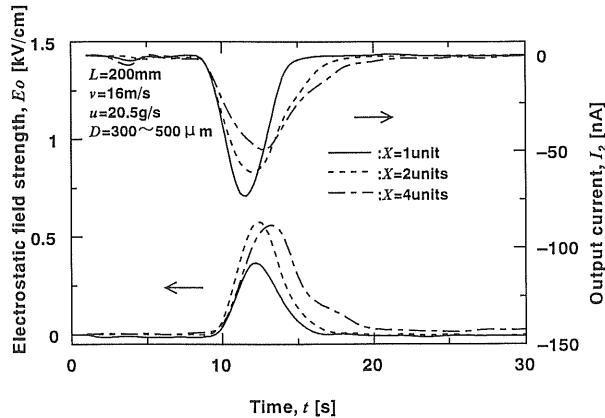


図3 ユニット数を変えたときの静電界強度と発生電流の時間的変化

Fig. 3 Temporal change in electrostatic field strength and output current for various numbers of charging electrode.

表2 試料粉体
Table 2 Powder samples.

粉体試料	製造会社およびグレード	粒子径 $D[\mu\text{m}]$	幾何平均径 $D_{50}[\mu\text{m}]$
結晶セルロース球形粒子	旭化成工業(株) セルフィア CP-203	200~300	266
結晶セルロース球形粒子	旭化成工業(株) セルフィア CP-305	300~500	365
結晶セルロース球形粒子	旭化成工業(株) セルフィア CP-507	500~700	600
ポリスチレン	エーアンドエム スチレン(株) A&M POLYSTYRENE 666	500~700*1	

*1ポリスチレンペレットを粉碎し、500~700 μm に篩い分けを行った粉体。

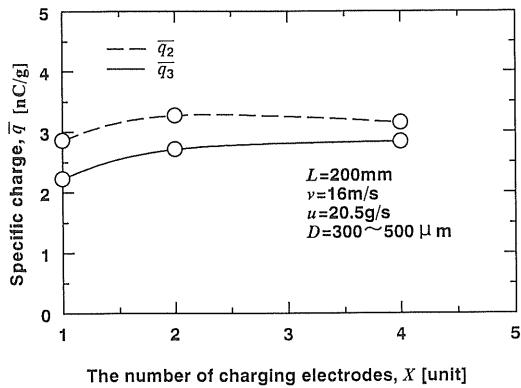


図 4 ユニット数と比電荷の関係
Fig. 4 Relationship between specific charge and the number of charging electrodes.

値にほとんど変化が見られず、結晶セルロースの帶電量が飽和値に達しているものと考えられた。

上記の検討結果を検証するために、帶電電極数 X と比電荷 \bar{q} の関係を調べた。図 4 は発生電流とファラデーケージによる測定結果に式(2), (3)を適用して比電荷 \bar{q} を算出し、これと帶電電極数の関係を示したものである。図より、衝突板を備えた帶電電極では、帶電電極数が 2 units 程度で結晶セルロース球形粒子の比電荷が飽和特性を示すことがわかった。よって、以後の測定では輸送粉体の流れに影響が少ない帶電電極数が $X = 2$ units の帶電電極を用いて行うこととした。また、発生電流から算出した比電荷 \bar{q}_2 とファラデーケージで測定した比電荷 \bar{q}_3 に差が生じるのは、結晶セルロース球形粒子の初期帶電比電荷 q_1 が原因であると考えられる。したがって、輸送中の管内電界強度の変化は、結晶セルロース球形粒子の帶電電極における帶電のみならず、初期帶電の影響も含まれていることが明らかである。

3.2 粉体供給量の粉体帯電への影響

図 5 は、粉体供給量の粉体帯電への影響を調べるために、帶電電極数 $X = 2$ units, 空気流速 $v = 16 \text{ m/s}$ の条件での粒子径 $D = 300 \sim 500 \mu\text{m}$ の結晶セルロース球形粒子の供給量 u と比電荷 \bar{q} の関係を示したものである。図より、供給量が少ないと比電荷が大きくなる傾向を示した。この場合、空気流速は一定に保持されているので、供給量が少なくなると粉体の空間濃度も小さくなり、その結果、個々の粉体粒子が衝突板や管壁と衝突する確率が増加するために比電荷が増加したものと考えられる。また、同一測定条件で、供給量 u と静電界強度 E_0 および比電荷 \bar{q}_2 の関係を調べた図 6 の結果でも、供給量が増加すると比電荷は小さくなるが、静電界強度は逆に強くなる傾向を示した。供給量の増加に伴い静電界強度が強くなるのは、図 5 の結果から供給量が多いほど比電荷は減少するものの、粉

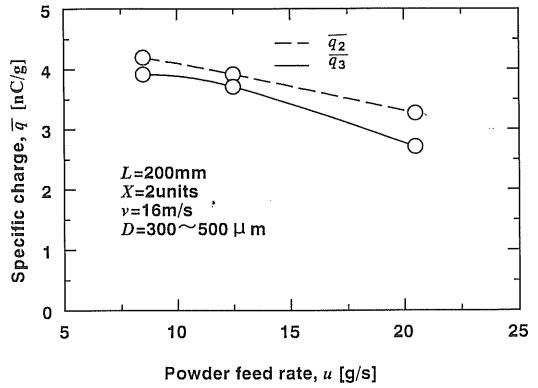


図 5 粉体供給量と比電荷の関係
Fig. 5 Relationship between specific charge and powder feed rate.

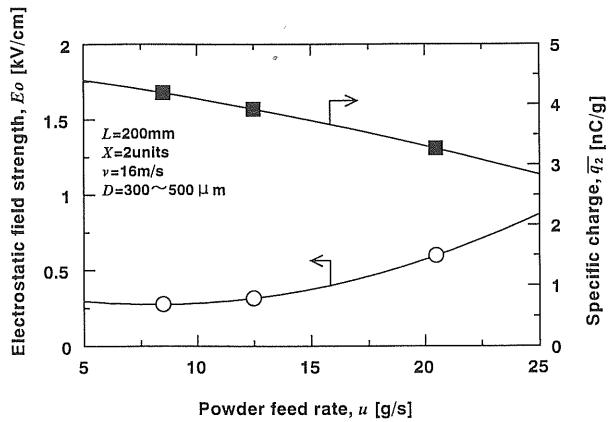


図 6 粉体供給量を変えたときの比電荷と静電界強度の関係
Fig. 6 Relationship between electrostatic field strength and specific charge for various powder feed rates.

表 3 各粉体供給量における空間電荷密度
Table 3 Space charge densities for various powder feed rates.

粉体供給量 u [g/s]	測定条件		
	8.5	12.5	20.5
空間電荷密度 ρ [$\mu\text{C}/\text{m}^3$]	3.75	5.16	7.06
	3.50	4.89	5.85

体の空間濃度の増加効果が大きく、比電荷と空間濃度の積である空間電荷密度が増加したためであると考えられた。実際に空間電荷密度を計算した結果を表 3 に示す。この結果より供給量が多くなるほど空間電荷密度が増加することが確認された。

3.3 空気流速の粉体帯電への影響

図 7 は、粒子径 $D = 300 \sim 500 \mu\text{m}$ の結晶セルロース球形粒子を用いて、帶電電極数 $X = 2$ units, 供給量 $u = 20.5 \text{ g/s}$ の条件で空気流速 v を変えたときの静電界強度 E_0 と

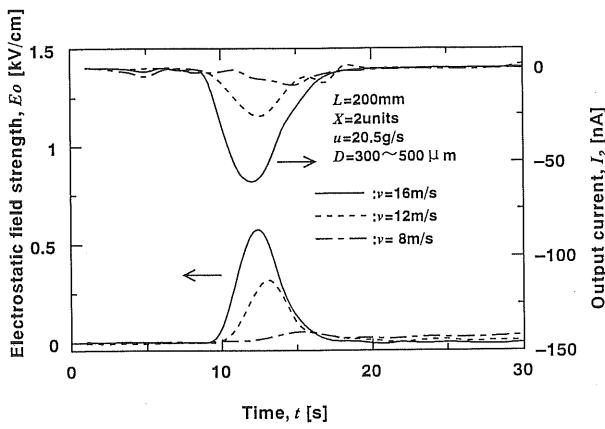


図 7 空気流速を変えたときの発生電流と静電界強度の時間的変化

Fig. 7 Temporal change in electrostatic field strength and output current for various air flow velocities.

発生電流 I_2 を測定した結果である。図より、発生電流と静電界強度のピーク値には相関があり、空気流速が速くなると発生電流および静電界強度のピーク値はともに大きくなることがわかった。これは供給量が一定で空気流速が速くなると粉体の空間濃度が小さくなり、その結果、個々の粉体粒子が衝突板や管壁との衝突確率が増加するのみならず、衝突面積も増加するために比電荷が増加したものと考えられた。この場合でも空気流速が大きいほど比電荷 \bar{q}_2 は増加し、粉体の空間濃度は反対に減少するが比電荷の増加効果が大きく、比電荷と空間濃度の積である空間電荷密度が増加したことにより、発生電流と静電界強度のピーク値が大きくなつたと考えられた。また図 7 の結果は、既往の帶電量測定装置と同様に本帶電性評価装置でも粉体の帶電量が、空気流速に大きく影響されることが確認された。

図 8 は同一測定条件での空気流速 v と比電荷 \bar{q}_2 の関係を示したものである。比電荷に対する空気流速の効果は大きく、流速を 2 倍にすると比電荷は約 6 倍も高くなっている。一方、空気流速を速くすると空間濃度は減少するが、図 7 では静電界強度が逆に強くなる傾向を示している。これは、3.2 と同様の理由によって、空気流速の増加により空間電荷密度が増加することによると考えられた。

3.4 粉体の粒子径が粉体帯電へ及ぼす影響

図 9 は、帶電電極数 $X=2$ units, 供給速度 $u=20.5 \text{ g/s}$, 空気流速 $v=16 \text{ m/s}$ で結晶セルロース製球形粒子の粒子径 D を変化させたときの静電界強度 E_0 および発生電流 I_2 を測定した結果である。粒子径が小さくなるにつれて、静電界強度と発生電流は大きくなる傾向を示した。これは粒子径が小さくなるとトータルとしての粒子の表面積が増加するため、帶電電極の衝突板や管壁との衝突面積が大きくなるためであると考えられた。さらに同一投入量の場合

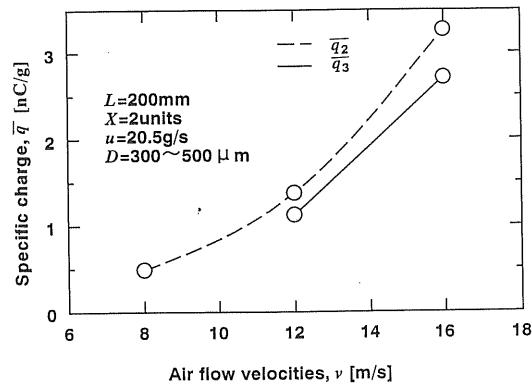


図 8 空気流速と比電荷の関係

Fig. 8 Relationship between specific charge and air flow velocity.

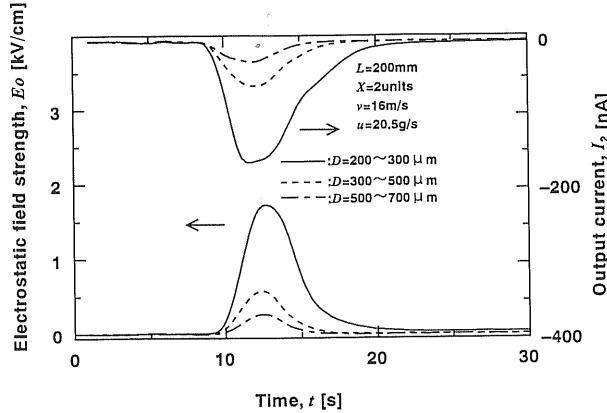


図 9 粒子径を変えたときの発生電流と静電界強度の時間的変化

Fig. 9 Temporal change in electrostatic field strength and output current for various powder diameters.

には、粒子径が小さいほど粒子数が多くなるので帶電電極の帶電板や管壁との衝突回数も増加し、粉体の比電荷も大きくなると推察された。図 10 は、同一測定条件下において、粉体の粒子径 D と比電荷 \bar{q}_2 の関係を示したものである。この結果より平均粒子径 $D_{50}=266 \mu\text{m}$ の CP-203 と $D_{50}=600 \mu\text{m}$ の CP-507 の結晶セルロース製球形粒子を比較すると、粒子径の小さい CP-203 の方が約 12 倍も大きな比電荷となり、粒子径により帶電効率が大きく変化することが確認された。

3.5 発生電流から算出した比電荷 \bar{q}_2 とファラデーケージの比電荷 \bar{q}_3 の比較

表 4 は、各測定で得られた発生電流から算出した比電荷 \bar{q}_2 と、ファラデーケージの電荷量から求めた比電荷 \bar{q}_3 を比較したものである。ここで投入前の粉体の比電荷 \bar{q}_1 は、式 (4) から計算によって求めたものである。今回の測定では初期帯電の比電荷を数百 pC/g まで緩和した粉体を使用したものであり、この初期帯電による比電荷のオーダーが \bar{q}_1 と同程度であったことから、 \bar{q}_2 と \bar{q}_3 の測定値を式

表 4 各操作条件における比電荷
Table 4 Specific charges for various operating conditions.

Run No.	比電荷 \bar{q} [nC/g]			測定条件
	\bar{q}_2	\bar{q}_3	\bar{q}_1	
1	2.863	2.231	-0.632	$X=1$ unit
1	3.157	2.844	-0.313	$X=4$ unit
2	4.197	3.916	-0.281	$u=8.5$ g/s
2	3.925	3.716	-0.209	$u=12.5$ g/s
3	1.380	1.126	-0.254	$v=12$ m/s
4	11.432	12.079	0.647	$D=200 \sim 300 \mu\text{m}$
4	3.272	2.714	-0.558	$D=300 \sim 500 \mu\text{m}$
4	1.388	1.044	-0.344	$D=500 \sim 700 \mu\text{m}$

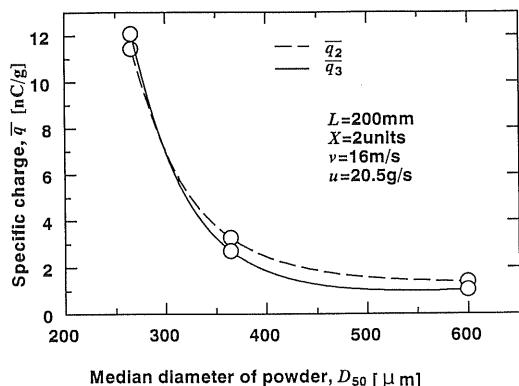


図 10 粒子径と比電荷の関係

Fig. 10 Relationship between specific charge and powder diameter.

(4) に代入することにより、投入前の粉体の初期比電荷 \bar{q}_1 を計算で求めることができることが明らかとなった。また、粉体の衝突帶電では、粉体の初期帶電量の影響を受け、衝突帶電電荷量が変化することはよく知られたことである⁶⁾。そのため \bar{q}_1 を把握することは、粉体の帶電性を評価する上で必要となる。したがって、本評価装置においては、帶電電極での発生電流とファラデーケージによる電荷量測定を行う計測方式が有効であると考えられた。

3.6 異種粉体による帶電性の比較

図 11 は、帶電電極数 $X=4$ units、空気流速 $v=10$ m/sにおいて、粒子径の異なる 3 種類の結晶セルロース製球形粒子とポリスチレン粉碎粉体を用いて、供給量 u とファラデーケージによる比電荷 \bar{q}_3 の関係を調べた結果である。結晶セルロース製球形粒子とポリスチレン粉碎粉体の帶電性を比較すると、同じ粒子径ならばポリスチレン粉碎粉体の方が比電荷が大きく、しかも供給量が小さくなるにつれてポリスチレン粉碎粉体の比電荷の増加率が大きくなる傾向にあった。表 5 は公表されている帶電列^{17,18)}の抜粋であるが、この帶電列では結晶セルロースの方がポリスチレンよりも帶電しやすい結果になっており、本帶電性評価装置を用いた帶電性の測定結果と異なる結果が得られた。これ

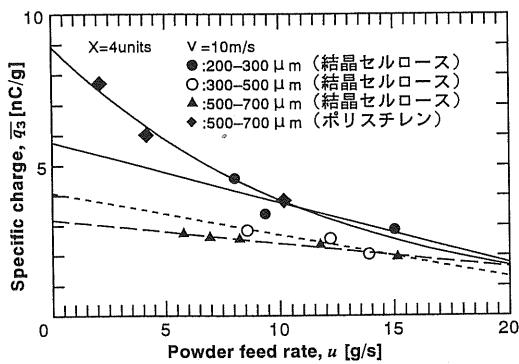


図 11 粉体供給量と比電荷の関係

Fig. 11 Relationship between specific charge and powder feed rate.

表 5 帯電列

Table 5 Charging series.

金 屬 (+)	非金属 (+)
	セルロース
	ナイロン
	レーヨン
	絹
	木綿
	麻
	ガラス繊維
	アセテート
	ポリスチレン
	天然ゴム
	ビニロン
	ポリエステル
	アクリル
金 屬	(-)
(-)	(-)

は公表されている帶電列では、物質固有の仕事関数によって決定される帶電性のみを評価しているが、本装置では、異なる帶電方法を用いていること、粉体試料が未飽和帶電であること、試料の形状が異なること等が考えられた。今後は、異なる種類、粒子径の粉体試料を用いて、本評価装置による帶電列の作成を試みる予定である。

4. 結 言

空気輸送方式を利用した複数の衝突板を有した帶電性評価装置を開発し、表1に示した実験条件で粉体の帶電量の測定を試みた。その結果、試作した帶電性評価装置の性能について以下に示す知見を得た。

1) 帯電性評価装置を用いた粉体の帶電性の測定結果と既往の帶電列とは、異なる結果が得られ、試料形状や帶電方法が異なることにより帶電列が異なると考えられた。故に、本帶電性評価装置を用いた粉体の衝突帶電による帶電列についても検討する必要性が示唆された。

2) 空気流速 $v=16 \text{ m/s}$ では、結晶セルロース製球形粒子の帶電性を評価するには、帶電電極数 $X=2 \text{ units}$ (衝突板数: 6枚) 程度あればよい。

3) 粉体の供給量は少なくした方が粉体の比電荷が大きくなり、粉体の帶電性を評価するには、供給量が少ない条件で測定を行ったほうがよいことがわかった。

4) 粉体の衝突帶電測定では、初期帶電電荷量を把握することが必要となり、本評価装置の帶電電極での発生電流とファラデーケージ法による全電荷量測定を併用する計測方式が有効である。

参考文献

- 1) M. Glor : *Electrostatic Hazards in Powder Handling*, 28, Research Studies Press, Letchworth (1988)
- 2) M. Glor and B. Maurer : J. Electrostat., **30** (1993) 123
- 3) T.B. Jones and J.L. King : *Powder Handling and Electrostatics*, 14, Lewis Publishers, Inc. Chelsea (1991)
- 4) H. Masuda and K. Iinoya : AIChE J., **24** (1978) 950
- 5) N. Masui and Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., **22** (1983) 1057
- 6) N. Masui and Y. Murata : Jpn. J. Appl. Phys., **23** (1984) 550
- 7) J.W. Peterson : J. Appl. Phys., **25** (1954) 907
- 8) 竹内 学 : 粉体と工業, **28** (1996) 352
- 9) 渡辺金之助, 野崎貴弘, 稲垣傳也 : 静電気学会誌, **23** (1999) 74
- 10) 小口寿彦 : 静電気学会誌, **10** (1986) 192
- 11) 増田弘昭, 伊藤義文, 酒井 潔, 井伊谷鋼一 : 粉体工学会誌, **10** (1973) 151
- 12) 増井典明, 村田雄司 : 静電気学会講演論文集 '79, p. 127, 静電気学会 (1979)
- 13) 増井典明, 村田雄司 : 静電気学会講演論文集 '81, p. 244, 静電気学会 (1981)
- 14) 増田弘昭, 松坂修二, 秋葉 聰, 下村裕明 : 粉体工学会誌, **34** (1997) 91
- 15) 鈴木輝夫, 綿野 哲, 沼 徹哉, 平 敏成, 宮南 啓 : 粉体工学会誌, **35** (1998) 846
- 16) 綿野 哲, 伊藤義弘, 鈴木輝夫, 宮南 啓 : 粉体工学会誌, **34** (1997) 778
- 17) 労働省産業安全研究所編 : 静電気安全指針 (RIIS-87-1), 3 (1988)
- 18) 児玉 勉 : 新版 静電気ハンドブック, 静電気学会編, p. 133, オーム社 (1998)