

Specific Research Reports of the National Institute  
of Industrial Safety, NIIS-SRR-NO.17 (1999)  
UDC 537.24 : 621.6.04 : 621.64 : 614.83

## 7. 粉体空気輸送における静電気帯電に関する安全評価\*

児玉 勉\*\*, 西村浩次郎\*\*\*, 田畠泰幸\*\*\*\*

## 7. Electrostatic Safety Evaluation for Pneumatic Powder Transport\*

by Tsutomu KODAMA\*\*, Koujirou NISHIMURA\*\*\* and Yasuyuki TABATA\*\*\*\*

**Abstract :** Recently many kinds of materials and raw materials are being handled in powder form in industries by means of pneumatic transportation because of handling advantage. However, a large amount of electrostatic charge generated by friction within pipe walls and collisions with other components within the system accumulate on powders with a high electric resistivity. Loading powders that carry large amounts of static charge into a silo from the top raises electric field strength inside the silo and may generate electrostatic discharges and cause ignition of flammable dusts in case small particle powders present with higher concentration than the low explosion limit. In order to prevent such a dust explosion from occurring during powder handling, proper safety evaluations applied to real facility are required in industries. So, for the purpose of considering evaluation methods for electrostatic safety during pneumatic powder transport, experiments measuring both static field strength and static charge on powder inside the pneumatic system using full scale experimental facility were carried out.

Experimental facility consists of a stainless steel cylindrical silo of capacity measured 3.5 m<sup>3</sup> (diameter of 1.5 m and height of 2 m), stainless steel pipeline of 4 inch in diameter, a pressure type air blower driven by an inverter motor, bag filter equipment and air conditioning unit controlling the temperature and humidity of blowing. Electrostatic field strength inside the silo was also measured with an electrostatic field meter. The sensor was mounted on the outside wall which consisted of an opening for measurement. The sensor was a vibrating electrode being driven by a electric tuning fork and the probe was provided with an air blow mechanism for preventing the sensor from being coated by powder particles. Such a kind of field sensor was also mounted on the pneumatic pipe to measure the field strength inside the pipe and electrostatic charge on powder during transportation was calculated from field strength.

In the experiment, the air blow type field sensors could be applicable for the measurements of both field strength within a silo and specific charge of powder within a pipe. Field strength inside a silo could be estimated from the specific charge and concentration of incoming powder and powder cloud in the silo. As the result, the air blow type field sensor was found to be applicable for safety evaluations during a pneumatic powder transportation. Furthermore, it was suggested that field strength inside a silo concerning the occurrence of incendiary discharge related to the specific charge and concentration of powder including the powder cloud.

---

\*1998年6月25日ESA-IEJ Symposium on Electrostatics 1998において成果の一部を発表。

\*\*物理工学安全研究部 Physical Engineering Safety Research Division

\*\*\*春日電機株式会社 Kasuga Denki Co., Ltd.

\*\*\*\*所長 Director-General

**Keywords** ; Static electricity, Electrostatic charging, Pneumatic powder transport, Dust explosion, Safety evaluation, Electrostatic field sensor

## 1. 緒言

最近の生産の場では、トナー、粉体塗料、プラスチック・その添加剤、化学薬品・医薬品の中間体・半製品等の新原材料を含む多くの原材料・製品が粉体の形で取り扱われ、その輸送には空気輸送が用いられている。粉体の空気輸送では、配管内壁との摩擦あるいは粉体同士の衝突等によって粉体に多量の静電気が発生し、粉体の抵抗率が高い場合は、これに静電気が蓄積する。この粉体をサイロ内の上部から落とし込むと、サイロ内の静電界強度が高まった気相空間で静電気放電を発生し、粒径の細かい粉じんの濃度が爆発下限界以上である場合は、着火源となって粉じん爆発を引き起こす危険性がある<sup>1,2)</sup>。

サイロ内における粉じん爆発の着火源となる着火性放電としては、雷状放電と粉体沿面放電の2種類が考えられる<sup>3,4)</sup>。前者はサイロ内の粉じん雲の規模及び帯電電荷密度がともに大きくなったときに、雷の稲光に似た樹枝状の発光を伴う空間放電である。ただし、この放電は実験的には未だ観測されていない<sup>3)</sup>。後者は堆積粉体の表面における粉体の帯電量が極めて高くなったときに、その表面に沿って強い発光を伴って発生する放電であり、この種の放電が穀物サイロやプラスチック粉体の粉じん爆発災害の有力な着火源であるといわれている。ただし、この放電は、静電気による粉じん爆発を起こさない、粒径が1~10 mmの場合に発生するので、この放電によって粉じん爆発を起こすのは、粒径が約100  $\mu\text{m}$ 以下の粉体が混在し、その粉じん濃度が爆発下限界以上に達する場合といわれている<sup>3)</sup>。

工場・事業場において、粉体の空気輸送時の静電気による粉じん爆発を防止するためには、粉体の粒径や粉じん濃度の管理が重要であるが、これに加えて、着火源管理として着火源となる可能性のある着火性放電を起こさないような静電気の帯電管理もまた重要であり、そのため、実際の設備に適用できる安全評価法が求められている。ここでは、その一つの試みとして、実規模大の粉体空気輸送設備を用いて、エアパージ型の静電界センサによるサイロ内電界強度及び配管内の粉体帯電量の測定に基づく静電気安全評価を行ったので、その結果について述べる。

## 2. 実験装置

実験には Fig. 1 に概要を示すような実規模大の空

気輸送帯電実験設備を使用した。実験設備は、直径1.5 m、胴長2 m、容量1.5 m<sup>3</sup>のSUS製円筒型サイロ、4インチSUS配管、インバータモータで駆動される圧送空気ブロウ、温度及び湿度を調整する空調ユニット、バグフィルタ等からなる。サイロ内上部には、排出空気から粉体を除去するビンマウント型バグフィルタが設けられ、サイロ底部には粉体を底部から空気輸送配管へ排出する回転数可変型のロータリバルブが接続されている。実験では、粉体試料をサイロ底部→ロータリバルブ→空気輸送配管→サイロ上部→サイロ底部の経路で循環させた。この場合、圧送空気は圧送ブロウ→空調ユニット→空気配管→空気輸送配管→サイロ内→ビンマウント型バグフィルタ→リターン空気配管→バグフィルタ→圧送ブロウの経路で循環させた。粉体試料としては、抵抗率が $1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$ 、平均粒径が0.398 mmのPMMA (Polymethyl-methacrylate) 粉体430 kgを用いた。

サイロ及び配管内の粉体試料の帯電量を検出するため、サイロ及び配管系は原則としてそれら相互間及び大地から電氣的に絶縁した。配管系はそのほかそれ自身幾つかに分割して相互間を絶縁した。ここで、装置の接続フランジ部及び固定ボルト部にテフロンガスケット、スリーブを挟んで絶縁を行った。実験では、サイロ及び配管と大地間にエレクトロメータを接続して、それぞれの接地電流を測定した。今回実験では、Fig. 1 に示す1) 6 m長の直管、2) エルボ及び3) 3方切り換え弁を含む12 m長の配管、及び3) サイロの3カ所の接地電流 $I_1$ 、 $I_2$ 及び $I_3$ を測定した。

サイロ内の電界強度を検出するため、送風型の静電界センサ(春日電機、KSD-800 AP)をサイロ側壁に取り付けた。この静電界センサは電子式音叉で駆動する振動電極を検出電極とするもので、電極への粉体の付着を防止するためエアパージノズル型とした。

Fig. 2 にノズル型静電界センサの構造の概要を示す。また、輸送中の配管内粉体の帯電量を検出するため、これと同じ静電界センサを配管に取り付けて配管内壁部の静電界強度を測定した。

サイロ底部に堆積した粉体試料の表面電位は、循環運転終了後速やかに、サイロ側壁の覗き窓を開放して、ハンディタイプの静電気表面電位測定器を用いて測定した。サイロ側壁に付着した粉体による表面電位も同様に測定した。

サイロ底部に堆積した粉体試料の重量比電荷(単位重量当たりの電荷量。以下、単に比電荷と記す。)を

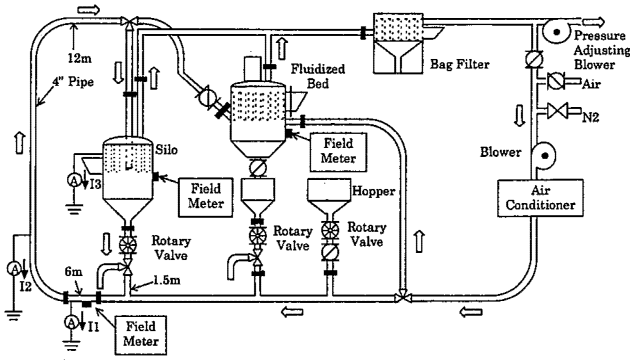


Fig. 1 Schematic diagram of experimental facility.  
粉体空気輸送実験設備の概要

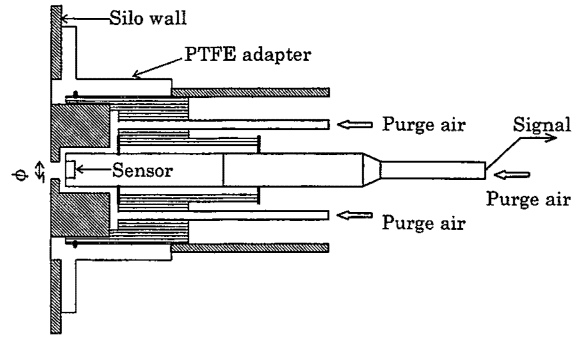


Fig. 2 Construction of air blow type field sensor.  
エアバージ型静電界センサーの構造

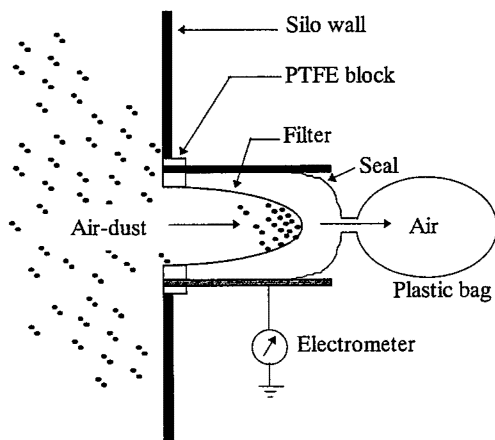


Fig. 3 Faraday cylinder for measuring charge and concentration of dust in a silo.  
サイロ内浮遊粉じん測定用ファラデー円筒

実測するため循環運転中にサイロ底部に接続されたロータリーバルブ出口の三方弁を外部排出側に切り替え、粉体試料を絶縁された金属容器に受け入れ、その電位と静電容量から電荷量を測定した\*。試料の重量も同時に測定し、電荷/重量から比電荷を算出した。

サイロ内気相空間に浮遊した粉じん雲の空間電荷密度を検出するため、サイロ側壁にフィルタ内蔵の吸引式ファラデー円筒を取り付けて、粉じんの一部を吸引してその電荷量と重量を測定し、また、同時に吸入空気量もプラスチックバッグで測定した。これらから浮遊粉じんの比電荷、粉じん濃度及び空間電荷密度を算出した。Fig. 3 にフィルタ付き吸引式ファラデー円筒の概要を示す。

### 3. 実験結果及び検討

PMMA 粉体試料をサイロ底部→配管系→サイロ上部の経路で循環運転を行った際の、運転時間、粉体流

量、空気流量、接地電流、サイロ内電界強度、サイロ内堆積粉体表面電位、側壁付着粉体電位の測定結果を Table 1 に示す。

ここで、サイロ内電界強度は、浮遊粉じんによる電界を測定するため、空気流は停止せず、粉体流を停止した直後の値を読みとった。また、堆積粉体表面電位及び側壁付着粉体表面電位は空気流停止 1 分後に覗き窓を開けて測定した。I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>及び I<sub>3</sub>はそれぞれ 6 m 直管部、12 m 配管部及びサイロの接地電流 (Fig. 1 参照) である。

#### 3.1 粉体の帯電電荷の評価

帯電粉体の流入に伴ってサイロに流入する流動電流を I<sub>si</sub>、反対に帯電粉体の排出に伴う流動電流を I<sub>so</sub> とすると、定常状態においては電流連続の関係から次の (1) 式が成り立つ (Fig. 8 参照)。

$$I_{si} = I_{so} + I_3 \quad (1)$$

I<sub>si</sub>の大きさを概算するため、Table 1 の実験番号 7 と同じ条件の実験において、サイロ底部に接続されたロータリーバルブの三方弁を切り替えて粉体試料を空気輸送系外に排出させて、その比電荷を測定したところ、その値はおおよそ +0.2 μC/kg であった。ここで、流動電流 I<sub>s</sub> と比電荷 ρ<sub>p</sub> 及び粉体流量 V<sub>p</sub> との間には次の (2) 式が成り立つ。

$$I_s = \rho_p V_p \quad (2)$$

実験では V<sub>p</sub> は 0.71 kg/s であったので、(2) 式から I<sub>so</sub> は +0.14 μA となり、I<sub>3</sub> は +9 μA であるので (1) 式から I<sub>si</sub> は +9.14 μA と算出される。

もし I<sub>so</sub> ≪ I<sub>3</sub>、I<sub>si</sub> であれば、(1) 式は次式のようになる。

$$I_{si} \cong I_3 \quad (3)$$

(2) 式と (3) 式からサイロに流入する粉体の比電荷 ρ<sub>p</sub>(s<sub>i</sub>) は次の (4) 式で与えられる。

\*絶縁された金属容器はファラデーケージとして働くので、その電位 V をエレクトロメータで測定すると、粉体の電荷量 Q は、容器と大地間に接続されたキャパシタの静電容量 C と V の積から算出される。

Table 1 Experimental results.  
実験結果

実験 番号	運転 時間 (min)	粉体 流量 (kg/min)	空気 流量 (m <sup>3</sup> /min)	接地電流 (μA)			サイロ側壁 電界強度 (kV/cm)	帯電電位 (kV)	
				6 m Pipe	12 m Pipe	Silo		堆積粉体	壁面付着粉体
1	5	25	6.5	- 3	2	9	0.3	3.8	0.2
2	14	25	6.5	-11	8	8.5	0.6	3.1	1.5
3	40	25	6.5	-11	8.5	9	0.7	4.1	2.3
4	14	25	8.1	-16	8	15	0.45	3.1	0.1
5	14	25	11.8	-30	21	37	0.8	4.2	0.1
6	14	8.6	6.6	- 5	2	10	0.4	3.4	1.8
7	14	42.3	6.6	-11	8	9	1	2.1	0.3

圧送空気温度：50°C，相対湿度：20%

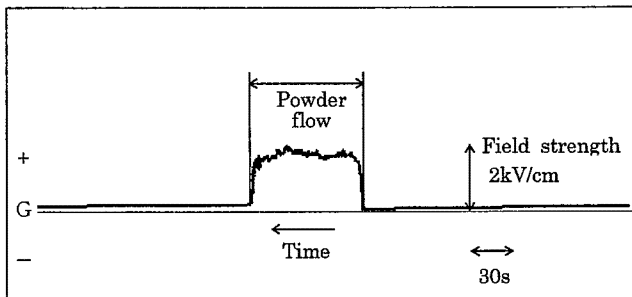


Fig. 4 Computer scanned recording chart of field strength measurement for a pipe.  
配管内電界強度の測定記録

$$\rho_{p(s1)} = \frac{I_3}{V_p} \quad (4)$$

この式より実験番号7におけるサイロ流入粉体の比電荷は+13 μC/kgとなる。この値はサイロから排出される粉体のそれに比べて約2桁大きい。その原因は確認されていないが、気相空間における静電気放電がその一因と推定される。このことは堆積粉体表面電位が+2.1 kV とかなり低いことから裏付けられる。

輸送中の配管内の粉体の比電荷はエアパージ型静電界センサを用いて測定された配管壁の静電界強度から次の(5)式によって算出される。

$$\rho_p = \frac{2 \epsilon V_a E_p}{R_p V_p} \quad (5)$$

(5)式は次の(6)~(8)式から導かれたものである。

$$E_p = \frac{R_p q_p}{2 \epsilon} \quad (6)$$

$$q_p = \rho_p W_p \quad (7)$$

$$V_p = V_a W_p \quad (8)$$

ただし、

$\rho_p$ ：配管内粉体の比電荷 (C/kg)

$V_a$ ：空気流量 (m<sup>3</sup>/s)

$V_p$ ：粉体流量 (kg/s)

$E_p$ ：配管壁面電界強度 (V/m)

$R_p$ ：配管半径 (m)

$\epsilon$ ：空気の誘電率 (8.854×10<sup>-12</sup>F/m)

$W_p$ ：配管内粉体濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

$q_p$ ：配管内電荷密度 (C/m<sup>3</sup>)

実験番号7において6 m直管に静電界センサを取り付けて測定した記録の一例をFig. 4に示す。実験番号7では、 $V_a=0.11$  m<sup>3</sup>/s、 $V_p=0.71$  kg/s、 $R_p=0.05$  m、 $E_p=+2.5 \times 10^5$  V/mであったので、(5)式から比電荷  $\rho_p$  は+13.7 μC/kgと求められる。一方、配管内粉体の比電荷  $\rho_p$  は配管内の流動電流  $I_3$  と粉体流量  $V_p$  から前述の(2)式によっても算出される。

6 m直管入口及び出口の流動電流  $I_{s(p1)}$  及び  $I_{s(p0)}$  は、配管の接地電流  $I_1$ 、 $I_2$  (Fig. 1参照) とサイロ内に流入する粉体の流動電流  $I_{s1}$  からそれぞれ次の(9)及び(10)式で算出される。

$$I_{s(p1)} = I_1 + I_2 + I_{s1} \quad (9)$$

$$I_{s(p0)} = I_2 + I_{s1} \quad (10)$$

実験番号7では、 $I_{s1} \cong I_3 = +9$  μA ((3)式参照)、 $I_2 = +8$  μA、 $I_1 = -11$  μAであるので、(10)及び(11)式から  $I_{s(p0)}$  及び  $I_{s(p1)}$  はそれぞれ+17 μA及び+6 μAとなり、(9)式から6 m直管の入口及び出口の粉体の比電荷はそれぞれ+23.9 μC/kg及び+8.45 μC/kgとなる。前述の(5)式から得られた値+13.7 μC/kgはこれらの値の範囲内にあることから、静電界センサによる測定値が妥当であることが示された。

Table 2 Some calculated values from measurement results.  
サイロ流入配管内の帯電量等の算出結果

実験番号	粉体流量 (kg/min)	空気流量 (m <sup>3</sup> /min)	配管内粉体濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	配管内粉体比電荷 (μC/kg)	配管内空間電荷密度 (μC/m <sup>3</sup> )	サイロ壁面電界強度 (kV/cm)
6	8.6	6.6	1.3	70	91	0.4
2	25	6.5	3.8	20	76	0.6
7	42	6.6	6.4	13	83	1

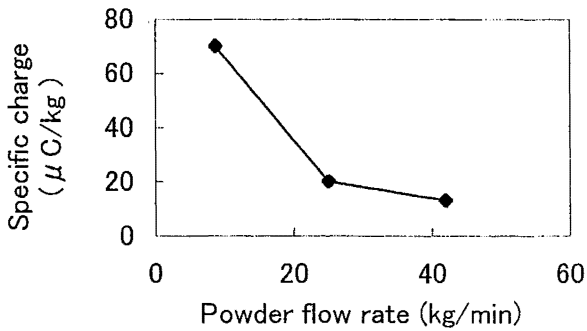


Fig. 5 Relationships between specific charge of powder and powder flow rate.  
粉体流量と配管内粉体比電荷との関係

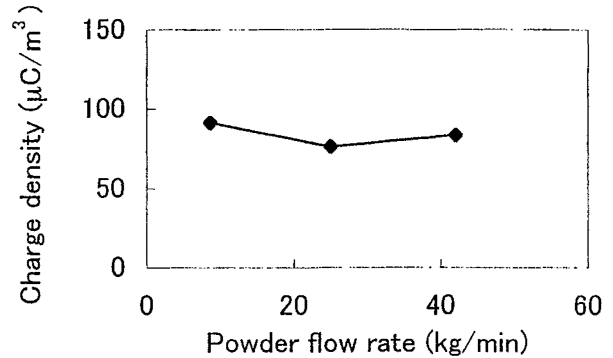


Fig. 6 Relationships between space charge density and powder flow rate  
粉体流量と配管内空間電荷密度との関係

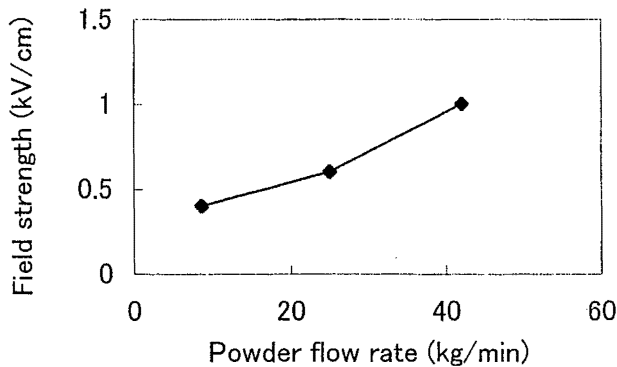


Fig. 7 Relationships between field strength inside silo and powder flow rate.  
粉体流量とサイロ内電界強度との関係

### 3.2 サイロ内浮遊粉じんの帯電評価

実験番号2, 6, 7について, サイロ流入配管内の粉体の濃度, 比電荷, 空間電荷密度を上記と同様に算出した結果を **Table 2** に示す。

これによると, 空気流量が一定の条件では, **Fig. 5** に示すように, 粉体の比電荷は粉体流量の増加とともに減少する。このことは, 空気流量が一定であれば, 粉体流量が変わっても  $I_3$  が変わらないという実験結果から導かれる。このことは, 空気流量が一定の場合, 粉体濃度を変化しても, 単位時間当たり配管壁と衝突・摩擦する粉体の量が変わらないことを意味する。

この場合, 粉体の空間電荷密度  $q_{p(sil)}$  は, 次の (11) 式に示すように, 空気流量と  $I_3$  のみの関数であるので, 粉体流量が増加しても変わらない (**Fig. 6** 参照) が, 粉体流量に比例して粉体濃度が増加するので, (7) 式から比電荷は減少する。

$$I_3 = q_{p(sil)} V_a \quad (11)$$

しかしながら, サイロ内の電界強度は, **Fig. 7** に示すように, 粉体流量の増加とともに増加する傾向を示した。その原因としては, 以下に示すように, サイロ内の浮遊帯電雲の粉じん濃度の増加によるものと推定される。

サイロ内の電界強度は, 次の (12) 式に示すように, サイロ内に流入する帯電粉体に起因する電界成分とサイロ内に浮遊する帯電粉じんに起因する電界成分の和となり, それぞれの電界成分は (13) 及び (14) 式で表される。

$$E_s = E_p + E_d \quad (12)$$

$$E_p = \frac{r_1^2 q_p}{2 r_2 \epsilon} \quad (13)$$

$$E_d = \frac{r_2 q_d}{2 \epsilon} \quad (14)$$

ただし,

$E_s$ : サイロ内の電界強度 (V/m)

$E_p$ : 柱状落下粉体に起因する電界成分 (V/m)

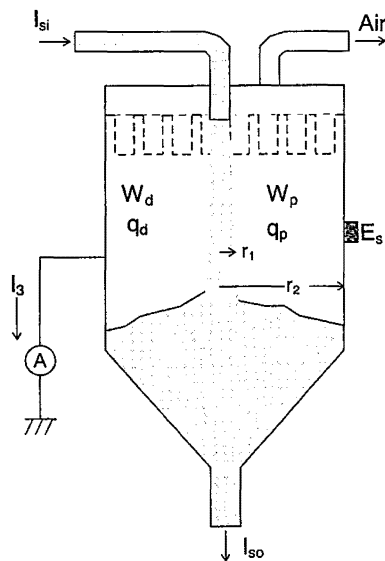


Fig. 8 Schematic diagram of silo regarding safety Evaluation.

サイロ内帯電評価概要図

$E_d$  : 浮遊粉じん起因する電界成分 (V/m)

$r_1$  : 柱状落下粉体の広がり半径 (m)

$r_2$  : サイロの半径 (m)

$q_p$  : 柱状落下粉体の空間電荷密度 (C/m<sup>3</sup>)

$q_d$  : 浮遊粉じんの空間電荷密度 (C/m<sup>3</sup>)

$\epsilon$  : 空気の誘電率 ( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

サイロ内の柱状落下粉体及び浮遊粉じんの概要を

Fig. 8 に示す。実験番号 2 において吸引ファラデー円筒を用いて測定したサイロ側壁付近の浮遊粉じんの濃度  $W_d$  及び比電荷  $\rho_d$  はそれぞれ  $25 \text{ g/m}^3$  及び  $36 \mu\text{C/kg}$  であった。これらを次の (15) 式に代入して浮遊粉じんの空間電荷密度  $q_d$  を求めると、 $0.90 \mu\text{C/m}^3$  となる。

$$q_d = \rho_d W \tag{15}$$

実験番号 2 のこの値  $q_d = +0.9 \mu\text{C/m}^3$  及び  $r_1 \cong 0.05 \text{ m}$ ,  $r_2 = 0.75 \text{ m}$ ,  $q_p = +76 \mu\text{C/m}^3$  (Table 2 参照) を (13) 及び (14) 式に適用すると、 $E_p = +0.143 \text{ kV/cm}$ ,  $E_d = +0.381 \text{ kV/cm}$  となり、(12) 式から  $E_s = +0.524 \text{ kV/cm}$  となる。この値は、エアパーージ型静電界センサによる測定結果  $+0.6 \text{ kV/cm}$  (Table 2 参照) と近い値であることから、この種の静電界センサがサイロ内の電界強度の評価に有用であるといえる。なお、静電気安全指針<sup>2)</sup>では、浮遊粉じんの着火源となる雷状放電を起こさないための限界条件の指標として、壁面の平均的な電界強度が  $3 \text{ kV/cm}$  以下を推奨している。

### 3.3 粉体空気輸送時の安全評価

前節の検討の結果、サイロ内の浮遊粉じんに対する着火性放電に関しては、サイロ壁面における平均的電界強度が安全評価の一つの指標となり、これには、浮遊粉じんの濃度と比電荷が密接に関与することが明らかとなった。今回の実験結果 (Table 1, 2 参照) では、サイロ壁面電界強度の測定結果は、 $0.3 \sim 1 \text{ kV/cm}$  の範囲にあり、いずれも管理指標の一つである  $3 \text{ kV/cm}$  以下であった。一般的に、空気流量及び粉体流量が大きい場合に、電界強度が高くなる傾向が見られたが、これは浮遊粉じんの濃度が高くなるためと推察される。

今回の評価結果を規模が大きい実際の設備に適用する場合、サイロ直径が大きくなると、(12)~(14) 式に示されるように、壁面電界強度は柱状落下粉体よりは浮遊粉じん雲により大きく影響される。したがって、粉体の種類、粒径分布が同じで、配管内粉体の比電荷及びサイロ内粉じんの比電荷が今回とほぼ同程度であるとすると、危険性は主としてサイロ直径と浮遊粉じん濃度に依存する。(14) 及び (15) 式から電界強度は浮遊粉じん濃度とサイロ直径にそれぞれ比例するので、例えば、粉じん濃度が今回と同じ ( $25 \text{ g/m}^3$ ) でサイロ直径が 3 倍であるならば、電界強度は今回の 3 倍の最大  $3 \text{ kV/cm}$  となり、安全とは評価できないことになる。

実際設備の安全評価の方法として、今回実験に使用したようなエアパーージ型静電界センサをサイロ壁面に設置する方法があり、この場合その値が管理指標である  $3 \text{ kV/cm}$  以下であれば安全と評価できる。一方、実際設備に静電界センサが設置できない場合は、当研究所の粉体空気輸送実験装置のようなモデル実験装置を用いて、種類と粒度分布が同じ粉体試料について実験を行い、電界強度、粉体及び浮遊粉じんの濃度や比電荷に関する概値を把握し、これらにサイズ効果、実際設備における粉じん濃度等を考慮して、実際設備における安全評価を行う。なお、安全評価に当たっては、粉体の抵抗率、最小着火エネルギー、下限界濃度、粒径分布が帯電性や着火性に関わる重要な因子となる。

### 4. 結 言

当研究所の実規模実験装置を用いて、PMMA 粉体の空気輸送時における静電気による粉じん爆発に関して安全評価実験を試みた結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 浮遊粉じんの静電気着火に関する安全評価の指標となるサイロ壁面電界強度は浮遊粉じん雲

の濃度と比電荷（単位重量当たりの電荷量）に密接に関係する。

- (2) 今回運転条件での PMMA 粉体の空気輸送では、サイロ内電界強度が 1 kV/cm 以下であり、安全と評価される。ただし、実際の設備に適用する際には、設備のサイズ効果、浮遊粉じん濃度を特に考慮に入れる必要がある
- (3) エアパージ型の静電界センサは安全評価に有用であり、サイロ壁面電界強度及び配管内粉体の比電荷の検出に使用できる。

### 謝 辞

研究の実施に当たって、旭化成工業（株）の川村周行氏には粉体試料の提供及び研究支援に、また同横山憲・渡辺年往・清淳一・和田秀穂各氏には実験にそれ

ぞれ多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 静電気学会編，新版静電気ハンドブック，PP.150～364，オーム社（1998）
- 2) 労働省産業安全研究所編，静電気安全指針，RIIS-TR-87-1（1988）
- 3) M. Glor, Electrostatic Hazards in Powder Handling, pp.59-102, Research Studies Press（1988）
- 4) T.B. Jones and J.L. King, Powder Handling and Electrostatics, pp.4-24, Lewis Publishers（1991）

（平成 10 年 11 月 20 日受理）