

図 5 ハグフィルタの外観 ((a)標準型, (b)縞型, (c)混合型)

表 1 試験粉体 (名称, 略称, 見掛けの抵抗率, 中央径, 形状)

Name of dust samples	Abbreviation	Apparent volume resistivity [ $\Omega$ m]	Median particle diameter [ $\mu$ m]	Particle shape
Polystyrene(black)(*waste)	PS-BW	$1.3 \times 10^{14}$ (**500V)	59.4	irregular
Polystyrene (waste)	PS-W	$1.2 \times 10^{16}$ (1000V)	87.7	irregular
High-density Polyethylene	PE	$3.0 \times 10^{14}$ (100V)	145	round
High-density Polyethylene(waste)	PE-W	$1.5 \times 10^{15}$ (1000V)	87.7	irregular
Methacrylic Resin	PMMA	$6.0 \times 10^{14}$ (1000V)	345	round
Aluminum (P2000)	AI -P2	$2.5 \times 10^{12}$ (10V)	8.8	irregular
Aluminum (atomized)	AL-A	$1.2 \times 10^9$ (10V)	32.8	mostly round
Aluminum flake (waste)	AL-W	$1.3 \times 10^6$ (10V)	288	irregular

\*waste samples taken from industrial sites, \*\* voltage used in the measurement

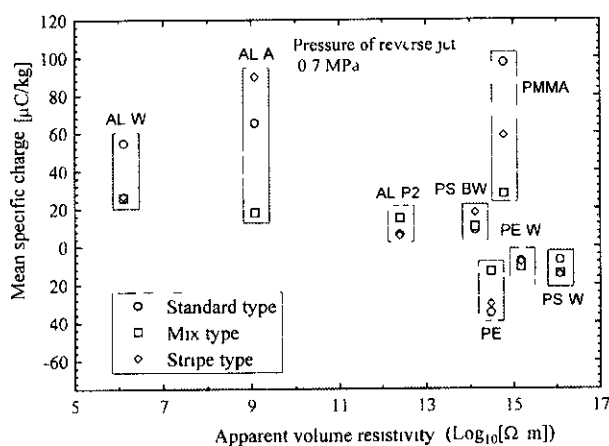


図 6 逆洗により剥離した粉体の電荷密度

逆洗によって剥離した粉体の帯電量と抵抗率の関係を図6に示す。抵抗率と帯電量の間には特に相関は見られなかった。標準型フィルタと比較すると、帯電電荷密度が $\pm 20 \sim 90 \mu\text{C}/\text{kg}$ 程度と大きい「高帯電グループ」(AL-W、AL-A、PMMA 及び PE) と $\pm 5 \sim 20 \mu\text{C}/\text{kg}$ 程度と小さい「低帯電グループ」(AL-P2、PS-BW、PE-W 及び PS-W) に区分することかてきる。即ち、高帯電グループに属する粉体は比較的大きなメティアン粒径と角の取れた丸い形状 (AL-W は角張った形状であるが粒径は最も大きい) を有

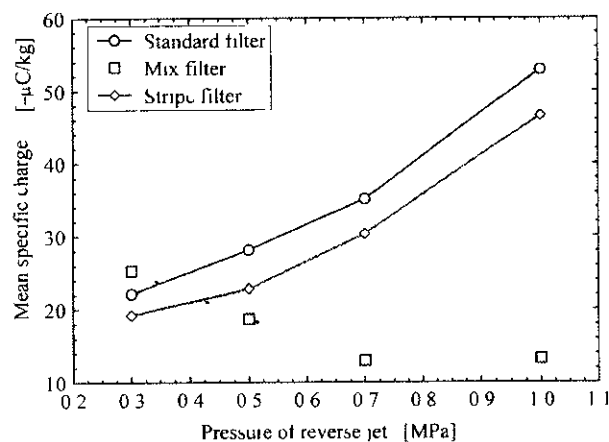


図 7 逆洗圧力に対する PE 粉体の電荷密度の変化

しており、逆洗等の物理的衝撃によって簡単に払い落とすことかてきる。一方、低帯電グループに属する粉体は、いずれも形状が不規則かつ粒径が小さく付着しやすい性質を持つ。

同じ粉体同士で比較すると、例外はあるか、標準型の方が帯電防止型 (混合型及び縞型) よりも剥離時の電荷密度か大きい。また、混合型よりも縞型の電荷密度か大きいという傾向か見られる。この点を更に明確にするために、PE を対象に、逆洗圧力を変化させて電荷密度を測定したところ、図7に示すように、標準型及び縞

型では逆洗圧力が大きくなるにつれて電荷密度も増加したか、混合型では逆に小さくなった。

逆洗回数が増えるたびに剥離する粉体の量は減少し、粉体の電荷密度は大きくなる傾向にあった。初回の逆洗では繊維付近を含め比較的弱く付着している粉体が剥離するか、2回目以降は、フィルタ繊維により強く蓄積した粉体が剥離するので、剥離帯電する粉体粒子の割合が増加するためと考えられる。

### C 3 帯電したバクフィルタでの放電現象

表1に示したようにアルミニウム粉の抵抗率は大きいのか、これは粒子の表面に絶縁性の酸化膜が形成されているためである。一般にこの絶縁膜は数ホルトの電位差で破壊されるので、粉体層に絶縁破壊を引き起こすほどの高電界が加われば急激に抵抗が低下する。したがって、全属粉塵が付着したフィルタは、接地不良であると、帯電した場合に絶縁された金属物体と同様に火花放電等の着火性放電を発生する可能性がある。この点を調べるため、新品フィルタ、及びアルミニウム粉 (AL-P2、AL-A) の払い落とし実験に使用し、表面に薄く粉体が残留している状態のフィルタをリテーナから取り外してテフロン製治具で空間に保持して絶縁し、所定の電位に帯電させて放電実験を行った。

まずクリーンな状態では最高16kVに帯電させた場合、標準型、混合型ともに放電は発生しなかったか、綿型は導電性繊維筋に接地した球電極 (直径10mm) を接近させた場合に3kV以上では全属物体からのものと同等の火花放電を生じた。

次に、払い落とし実験に使用後のフィルタを用いた場合について述べる。AL-Aが付着したものの場合、標準型、混合型では最大16kVまで帯電させても放電は発生しなかった。

最後に、AL-P2が付着したものの場合、8kV以上で、図8に示すように、標準型、混合型ともに放電が認められた。放電前後の電荷量をファラデーケープで測定したところ、放電によってほぼ全量の電荷が消失していた。全属と同等と仮定すると静電エネルギーは、例えば16kVのとき0.2μCであったので、 $1/2QV$ を用いて計算すれば16mJである。

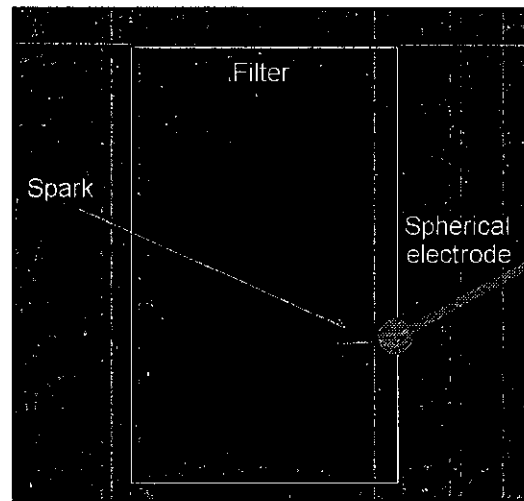


図8 帯電したフィルタ (標準型) からの放電発光例

### D 考察

全属粉塵に対しては、特に放電回路に数MΩの抵抗が含まれてクロー放電状態となった場合には着火性が著しく高まること指摘されており、これまでに災害事例として報告されているマクネンウム・アルミニウム合全属粉塵について実験した結果、1MΩの抵抗が含まれる場合には3mJ程度以下で着火することを確認している。本研究で発生させたフィルタからの放電をみると、抵抗が含まれた放電特徴を有していたので、更に調査を要するか、現時点においては着火性があると認識すべきであろう。

### E 結論

粉塵がタクトを通して移送される過程では、タクト内面における付面放電及び集塵機内で帯電及び放電が生じ得る。付面放電においては、堆積粉塵さえも、着火に必要なエネルギーが与えられると爆発を起こすことが確認された。

また、バクフィルタ式集じん機内部では、逆洗によって粉体が剥離されると、抵抗率に関係なく非常に大きな帯電量を示すことがあった。特に、全属粉塵が付着したフィルタでは、もし、リテーナが絶縁された場合には、着火性の高い放電が生じる可能性があることが分かった。

### F 健康危険情報

(特になし)

## G 研究発表

### 1 論文発表

- (1)山隈 瑞樹、児手 勉 ハクフィルタでの粉塵の刺離帯電特性、静電気学会誌、Vol 28、 No 1 (2004)、 pp 65-70
- (2)M Yamaguma, T Kodama Observation of Propagating Brush Discharge on Insulating Film with Grounded Anti-Static Materials, IEEE-IAS (in press)

### 2 学会発表

- (1)M Yamaguma, T Kodama Properties and incendivity for dusts of discharges from electrostatically charged insulating materials Asia Pacific Symposium on Safety 2003 (Taipei)

## H 知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む)

### 1 特許取得

(なし)

### 2 実用新案登録

(なし)

### 3 その他

(なし)

厚生労働省研究費補助金(労働安全衛生総合研究事業)  
分担研究報告書

(リサイクル品 廃棄物処理工場での粉塵爆発災害の防止に関する研究)  
粉塵の流送帯電、粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測および  
破碎 粉砕工程における粉塵爆発災害防止対策の検討

分担研究者 竹内 亨 茨城大学工学部教授

本年度は、粉塵の流送帯電、粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測、および破碎 粉砕工程における粉塵爆発災害防止対策の検討に関する研究を遂行した。

粉塵の流送帯電量の測定は、静電粉体塗装で使用されているトリホ帯電式静電スプレーガンを用いて行った。流送帯電量はスプレーガンに供給する粉塵の種類と量、流送速度など多くの因子に影響されるか、代表的な流送帯電量は、供給量が1g のとき、ナイロン11、 $1.5\mu\text{C/g}$ 、リコポテューム、 $1.9\mu\text{C/g}$ 、酸化鉄、 $2.5\mu\text{C/g}$ 、ポリアクリロニトリル、 $0.75\mu\text{C/g}$ であった。また、粉塵の流送帯電量は粉塵とパイプのオン化ポテンシャルの差に依存することを確認した。

粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測は、従来のハルトマン式着火試験装置に代えて超音波振動を利用して粉塵雲を形成する装置を用いて行った。超音波振動式粉塵着火試験装置は一樣かつ定常的な粉塵雲の形成が可能であり、ハルトマン式着火試験装置とほぼ同等の最小着火エネルギーの値が得られた。具体的には、リコポテューム、 $25\text{--}32\text{mJ}$ 、ポリアクリロニトリル、 $29\text{--}34\text{mJ}$ 、アントラキノ、 $9\text{--}15\text{mJ}$ であった。また本装置により、リコポテューム粉末の着火、燃焼の様子を観察することができた。

破碎 粉砕工程における粉塵爆発災害防止 対策の検討に関しては、本年度は円筒容器に粒径の異なる二種類の粉体を投入し、円筒容器を回転させることにより互いに攪拌、摩擦帯電を施し、試料粉体の帯電量をフローオフ法により測定した。小粒径粉体として正帯電性トナー、負帯電性トナー、アクリル、ポリエチレン、ホリプロピレンを試料として使用した。一方、大粒径粒子としてポリスチレン、ポリエチレン、ホリふっ化フッ化ビニリテンのペレット(いずれも粒径 $2\text{--}3\text{mm}$ )を用いた。攪拌 摩擦時間の増加につれて粉体の帯電量は増加し、飽和値に達するという結果が得られた。粉体の帯電量は粉体の材質、容器に投入する大粒径粒子と小粒径粒子の比、攪拌時間、湿度などに依存する。代表的な帯電量は、摩擦相手かポリスチレンペレット、相対湿度  $50\%RH$  のとき、アクリル、 $1.6\mu\text{C/g}$ 、ポリエチレン、 $-3.0\mu\text{C/g}$ 、ホリプロピレン、 $-1.6\mu\text{C/g}$ であった。なお、粉体の単位質量あたりの帯電量の値は粒径に依存するか、粉体の単位表面積あたりの値にすると粒径に依存しないことを確認した。リサイクル品、廃棄物の粉砕工程における粉塵爆発災害の防止には、流送帯電のときと同じように、湿度を高くすることか有効であることを結論した。

## A 研究目的

本研究は、リサイクル品・廃棄物処理工場のプロセスにおける粉塵爆発災害を防止することを目的とする。そのために、本年度は、粉塵の流送帯電、粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測、破碎 粉砕工程におけ

る粉塵爆発災害防止 対策の検討の研究を遂行した。

具体的には、粉塵の流送帯電に関して、種々の粉体、粉塵の流送帯電を条件を変化させて測定し、流送帯電に関与する因子を把握した。得られた結果より、粉体、粉塵を空気輸送する場合、流送帯電量を粉塵爆発の危険のない安全な基準値以下に抑制するための指針

を確立する。

つきに、粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測に関して、静電気放電に起因する粉塵の着火、燃焼爆発を観測するためのシステムを構成し、粉塵の着火試験を行い、最小着火エネルギーの測定、および着火、燃焼の状況を観測する。

最後に、破砕・粉砕工程における粉塵爆発災害防止対策を検討する。粉砕工程における粉塵爆発は、粉砕に伴う粉塵、粉塵の帯電が原因であるため、今年度は、粉砕(攪拌・摩擦)工程における種々の粉塵の帯電量の測定を行った。そして粉塵の摩擦帯電に関する因子を解明し、粉砕に伴う粉塵爆発の防止策に関する知見を得ることを目的とした。

## B 研究方法

### B 1 粉塵の流送帯電

粉塵の流送帯電量の測定はトリホ帯電方式の静電スプレーガンを使用して行った。トリホ帯電式静電スプレーガンは粉塵に電荷を付与する目的で作られているため、通常のパイプ内を空気輸送される粉塵の流送帯電の現象が強調されて、粉塵の流送帯電量の評価には好都合である。

図1にトリホ帯電式静電スプレーガンを使用する粉塵の流送帯電測定システムを示す。パイプの内径は30mm、長さは1mである。スプレーガンから吐出される帯電した粉塵を吸引式ファラデーケーン(内径14cm、長さ18cm)に捕集して帯電量を測定した。スプレーガンへの粉塵の供給は、エアコンプレッサー、圧力コントローラ、粉塵供給システムを用いて行った。スプレーガンに10秒間試料粉塵を供給して、帯電されて吐出される粉塵の帯電量を測定した。測定は、 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 、 $55 \pm 5\% \text{RH}$ の雰囲気で行った。

実験に使用した試料粉塵を表1に示す。リコホテューム、ポリアクリロニトリルは着火試験用標準試料、ナイロン11は粉塵塗料、酸化鉄粉は鉄パイプの内壁から採取したものである。これらの試料粉塵のイオン化ポテンシャルも測定した。

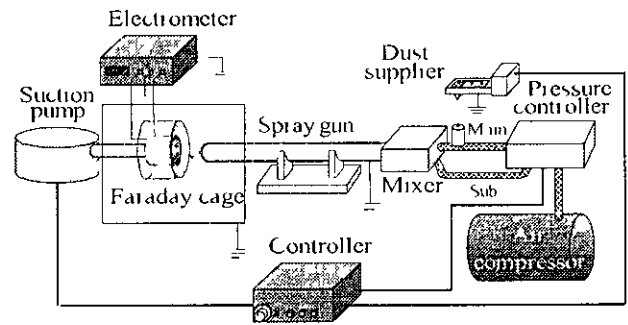


図1 粉塵の流送帯電測定システム

表1 流送帯電の測定に使用した試料粉塵

Specimen	Median diameter [ $\mu\text{m}$ ]	Shape
Lycopodium	28	nearly spherical
Polyacrylonitrile	20	spherical
Nylon 11	16	nearly spherical
iron oxide	2	irregular

### B 2 粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測

通常、粉塵の着火試験はハルトマン式試験装置を用いて行われる(図2)。装置下部から試料粉塵を空気流により吹き上げ、試験空間に試料粉塵を一様に分布させる。粉塵が一様に分布した状態で電極間に高電圧パルスを印加し、火花放電を発生させる。発生した火花により試料粉塵が着火するかどうかを観測する。放電エネルギーを変化させて放電、着火試験を繰り返し、試料粉塵の最小着火エネルギーを求める。

今述べたように、粉塵の着火試験には現在のところハルトマン式試験装置が広く使用されているが、装置の値段が高いことや欠点である。そこで、本研究では簡易型の装置を使用した。その構成を図3に示す。特徴は、ハルトマン式では下から空気によって試料粉塵を吹き上げるのに対して、本装置では上から試料粉塵を重力により落下させる点である。粉塵をてきたり一一定速度で落下させ、かつ、試験空間内で試料粉塵をてきたり一様に分布させるため、試料粉塵のホッパーに超音波振動を与えた。ホッパーからメッシュを通過して落下した試料粉塵は、試験空間の電極間を層状になって落下し、その密度は一様である。そしてハルトマン式と同様に、電極間に高電圧パルスを印加し、火花放電を発生させる。発生した火花による試料粉塵の着火

を視測し、放電条件を変化させることにより、最小着火エネルギーを測定した。また、正面から着火の様子、火炎の伝播の様子を視測した。

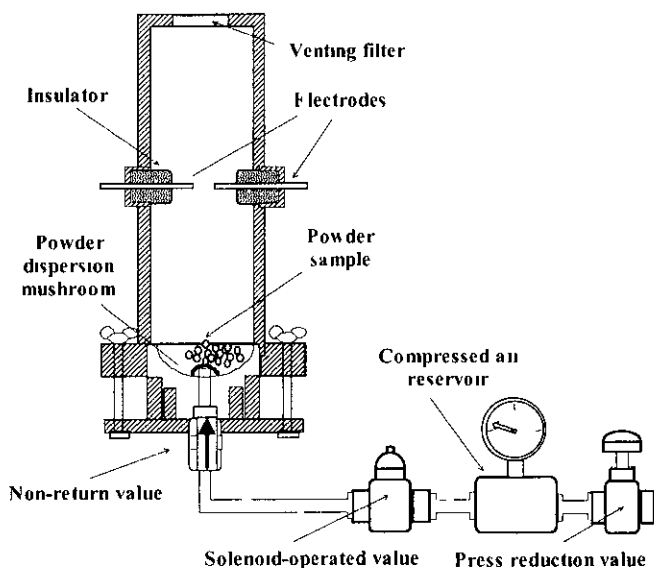


図2 ハルトマン式粉塵着火試験装置(最小着火エネルギー測定)

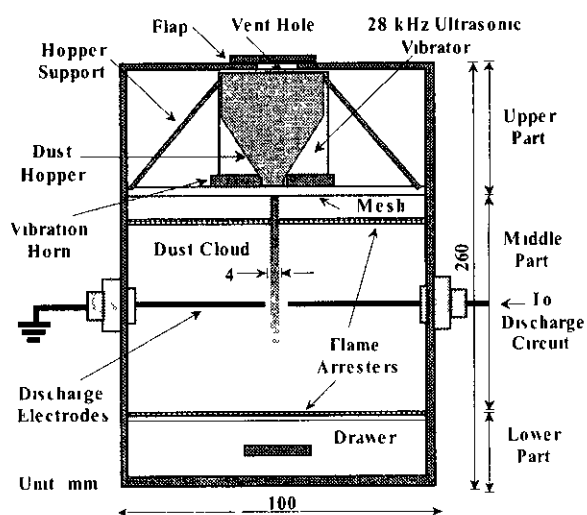


図3 超音波振動式最小着火エネルギー測定装置

### B 3 破碎 粉砕工程における粉塵爆発災害防止対策

破碎 粉砕工程では、物体の破断、物体片とうしの激しい摩擦が行われるため摩擦帯電が生じ、その結果、

静電気放電の発生が原因となって粉塵の着火、爆発が起こる危険性がある。

破碎 粉砕工程に伴う粉塵爆発を防止するには、静電気放電の際放出されるエネルギーが破碎 粉砕される物体の最小着火エネルギーを超えないようにすればよい。そのためには発生する摩擦帯電量を規定値以下に抑制する必要がある。

以上の事柄を背景に、本年度は物体の破碎・粉砕工程において発生する静電気量の測定を行った。単一物体の破碎 粉砕においては正帯電する破片と負帯電する破片が生じると考えられる。通常のアラケーケーン法では、両者の代数和が測定されることになるため、今回は二種類の粒子の混合系を攪拌、摩擦したときに発生する電荷量をフローオフ法により測定した。

フローオフ法の原理は以下のようにある。粒径の異なる二種類の粉体を円筒状容器に入れて回転させることにより、二種類の粉体を互いに摩擦帯電させる。通常、一方の粉体が正に帯電し、もう一方の粉体が負に帯電する。このとき粉体の種類によっては一部破碎 粉砕が生じる。攪拌時間の関数として粉体の帯電量を測定する。所定の時間攪拌操作を行った後、少量のサンプルを採取してフローオフケーンに入れる。フローオフケーンは通常のアラケーケーンと異なり、全金属製円筒の一方の端は開放、もう一方の端は金属メッシュになっている。ここで、攪拌・摩擦により大きい粒子が正に、小さい粒子が負に帯電するとする。互いに摩擦帯電した両粒子はクーロン力により引き合い、大きい粒子の表面に小さい粒子が付着する。このとき、全電荷量はゼロであるため、フローオフケーンに正負に帯電して付着しあったサンプル粉体を入れただけではエレクトロメータの針は振れない。そこで、フローオフケーンの開放端から乾燥空気を吹き込む。フローオフケーンの方の端の金属メッシュの目開きは、粒径の小さいほうの粉体は通過するか、粒径の大きいほうの粉体は通過しないように選んであるため、粒径の小さいほうの粉体はフローオフケーンから吹き飛ば(フローオフ)されるか、粒径の大きいほうの粉体はフローオフケーン内に残る。その結果、粒径の大きいほうの粉体の帯電量を測定して

きることになる。フローオフされた粒径の小さいほうの粉体は粒径の大きいほうの粉体の電荷量と絶対値は等しく、極性が逆の電荷を有していたと考える。通常、フローオフ前後の粉体の質量を測定して、単位質量あたりの電荷量として表示する。

試材としては、大粒子としてポリスチレンペレット、ポリエチレンペレット、ポリふっ化ビニリテンペレット(いずれも粒径、2-3mm)を選んだ。一方小粒子としては、正帯電トナー、負帯電トナー、アクリル、ポリエチレン、ポリプロピレンの粉体を用いた。

物体の帯電は一般に水分の影響を強く受けるため、本研究では各種ポリマー粉体の帯電量の相対湿度依存性も調べた。また、粉体の帯電量は粒径にも依存するため、帯電量の平均粒径依存性も測定した。

(倫理面への配慮)

本研究では、人はまったく関与しないので、倫理面への配慮は不要である。

C 研究結果

C 1 粉塵の流送帯電

C 1 1 試料粉体の帯電量の供給量依存性

上述のように10秒間試料粉体を吐出して帯電量を測定した。スプレーカンへの試料粉体の供給量を変化させたときの試料粉体の全帯電量を図4に示す。スプレーカンの内壁はフッ素系樹脂製であるため、全試材が正極性に帯電した。また、試料粉体の供給量の増加につれて全帯電量は増加した。粉体の量が多ければ全帯電量が多いのは当然であるので、試料粉体の単位質量あたりの帯電量にフロントしなおした結果を図5に示す。試料粉体の供給量が増加すると、単位質量あたりの帯電量(比電荷)は減少することが確認できた。

C 1 2 試料粉体の種類による帯電量の違い

試料粉体の帯電量(比電荷)は、

酸化鉄 > リコホテューム > ナイロン 11 > ホリアクリル ニトリル

であった。これらの違いの理由を調べるため、試料粉体の比容積、イオン化ポテンシャル、見かけの抵抗率を測定した。結果を表2に示す。

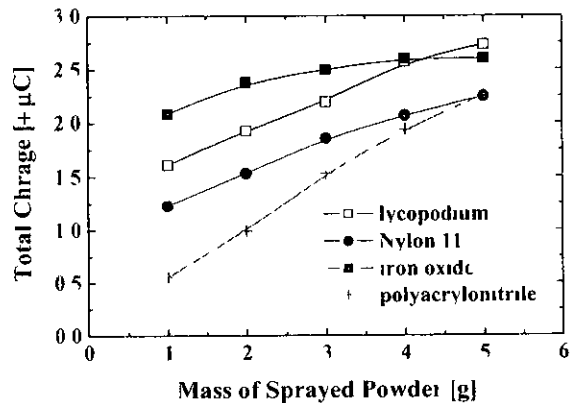


図4 静電スプレーカンによる試料粉体の全帯電量の粉体供給量依存性

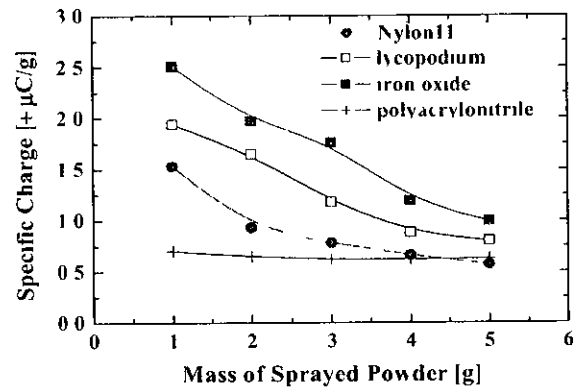


図5 静電スプレーカンによる試料粉体の帯電量(比電荷)の粉体供給量依存性

一般に、粉体の比容積が増加すると粒子の接触、衝突の確率が増加するため、比電荷は増加することが多いが、本測定の結果もその傾向を確認した。また、固体の接触摩擦帯電においては、帯電量は接触電位差の増加につれて増加する事が知られている。本研究で測定したイオン化ポテンシャルの差は、接触電位差に対応する。スプレーカン内壁の材質であるフッ素系樹脂のイオン化ポテンシャル(6.72eV)との差が大きくなるにつれて、試料粉体の帯電量が増加していることが確認できた。

表2 試料粉体の比容積、イオン化ポテンシャル 見かけの抵抗率

Specimen	Specific volume [cm <sup>3</sup> /g]	Ionization potential [eV]	*Apparent resistivity [ $\Omega$ m]
lycopodium	3.2	4.40	$3.0 \times 10^{11}$
polyacrylonitrile	1.1	4.54	$6.0 \times 10^{13}$
Nylon 11	1.8	4.45	$7.8 \times 10^{12}$
iron oxide	3.5	4.34	$3.5 \times 10^8$

\* 見かけの抵抗率は 300 V を印加して測定。

一方、粉体の見かけの抵抗率に関しては、一般に抵抗率の高いほど帯電量が多いことか多いか、今回の測定結果はこの傾向には完全には合致しなかった。

### C 1 3 流送速度か粉体の帯電量に与える影響

スプレーカンに供給する空気の圧力を変化させて粉体の全帯電量を測定した結果を図6に示す。

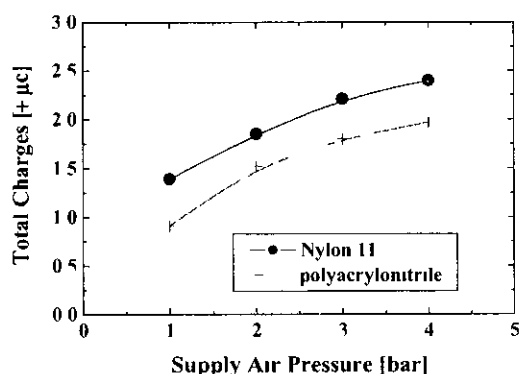


図6 静電スプレーカンによる粉体の帯電量の供給空気圧依存性

スプレーカンへの空気の供給圧力を大きくするほど、すなわち粉体の流送速度が大きくなるほど帯電量が増加することかわかった。流送速度か大きいほど、粉体はスプレーカン内壁と強く摩擦されて、帯電量か増加する。

## C 2 粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測

### C 2 1 粉塵の最小着火エネルギー

図3に示した超音波振動式着火試験装置を用いて測定された最小着火エネルギーは、リコポテューム、25

–32mJ、ポリアクリロニトリル、29–34mJ、アントラキノン、9–15mJであった。これらの値は、従来のはルトマン式装置を用いた結果とほぼ同してあり、超音波振動式着火試験装置の信頼性を確認てきた。

### C 2 2 粉塵の帯電に起因する着火状況の観測

はじめに、粉塵の着火の様子を観測するシステムのパフォーマンスをチェクするためワイヤー電極表面におけるコロナ放電の様子を確認した。負極性の電圧を印加した結果を図7に、正極性の結果を図8に示す。ともに、5kV程度からコロナ放電か始まり、7kVではかなりかなり明るい発光か伴うことかわかった。また、本観測システムのか着火源の観測に有効であることを確認てきた。

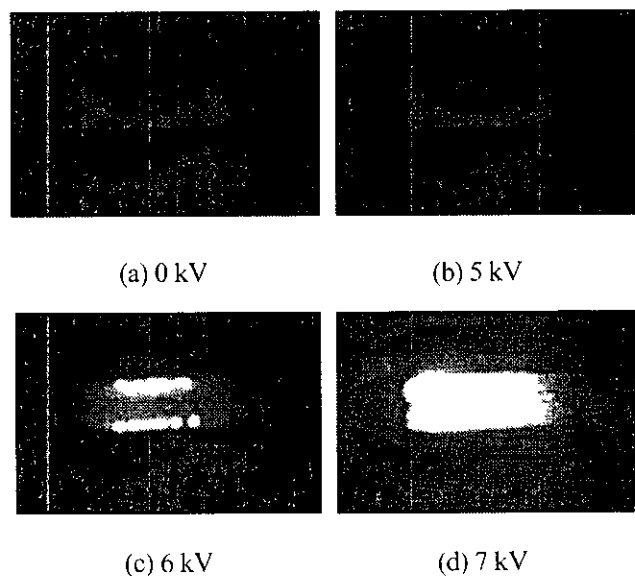


図7 コロナ放電電極表面の発光。負コロナ放電



つきに、本装置を用いて観測したリコポテウム粉末の着火、燃焼の様子を図9に示す。まず、上から超音波振動の助けを借りて落下するリコポテウム粉末が、放電電極間を明確な層になって通過していることがわかる。ついて、電極間のスパークによりリコポテウム粉末が着火し、燃焼、爆発が生じる。火炎は上方に伝播し、フレームアレスターに遮られて、燃焼が停止することが確認できた。

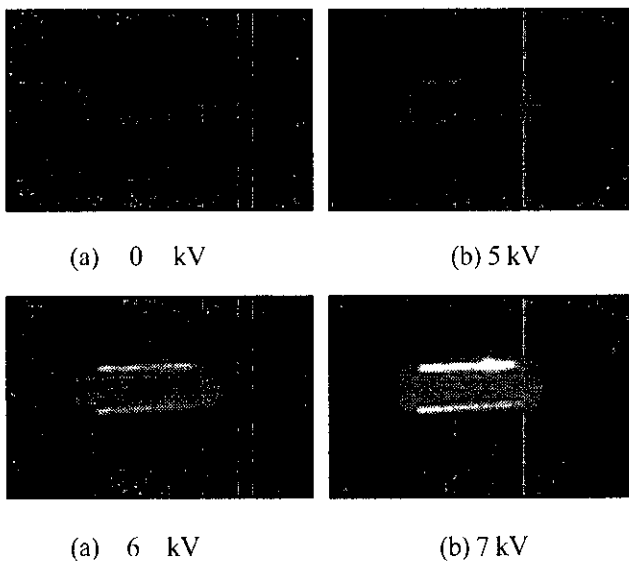


図8 コロナ放電電極表面の発光。正コロナ放電

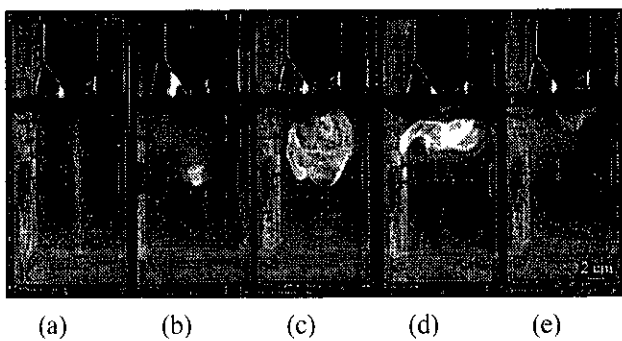


図9 リコポテウム粉末の着火と火炎の伝播過程。(a) 定常状態にあるリコポテウム粉塵雲(着火前) (b) 着火、(c) リコポテウム粉塵中の火炎の進展、(d) フレームアレスターによる燃焼の停止(停止開始)、(e) フレームアレスターによる燃焼の停止(完全停止直前)

### C 3 破砕・粉碎工程における粉塵爆発災害防止対策の検討

#### C 3 1 粉体の帯電量の攪拌時間依存性

容器に二種類の粉体を投入し、容器を回転することにより互いに攪拌、摩擦を行うと、両者は互いに帯電する。通常 帯電量は攪拌時間の増加につれて徐々に増加し、最終的に飽和値に達する。

負帯電トナーを、ポリスチレンペレット、ポリエチレンペレット、ポリふっ化ビニリテン(PVdF)ペレットと攪拌摩擦したときの、フローオフ法により測定したトナーの帯電量の摩擦時間依存性を図10、図11、図12に示す。全体としてトナーは負に帯電した、PVdFペレットによる摩擦のときは、はじめ正に帯電し、摩擦時間の増加につれて負極性に変化した。一方、正帯電トナーは一貫して正帯電性を示した。

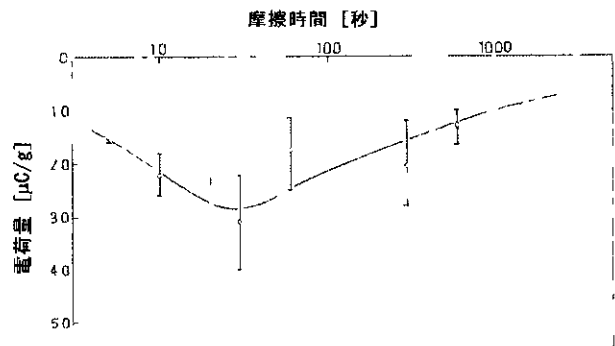


図10 ポリスチレンペレットと攪拌摩擦したときの負帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

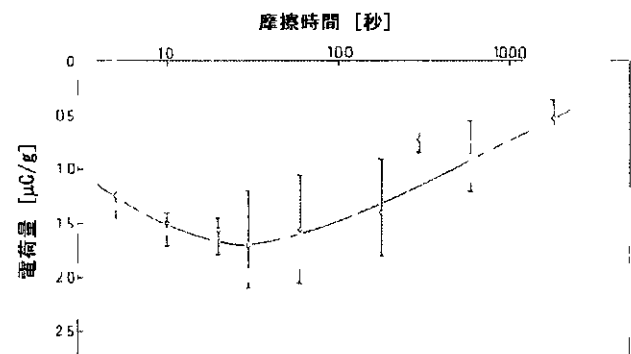


図11 ポリエチレンペレットと攪拌・摩擦したときの負帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

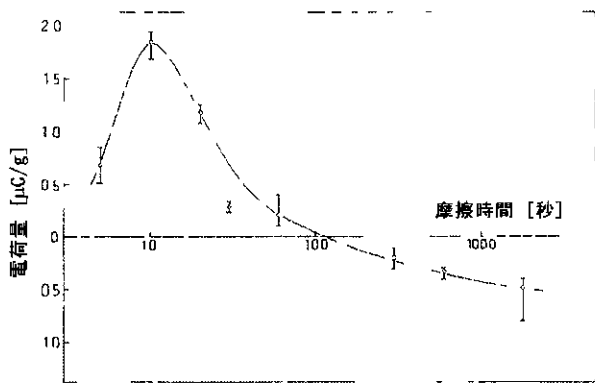


図12 ポリふっ化ビニリテン(PVdF)ペレットと攪拌・摩擦したときの負帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

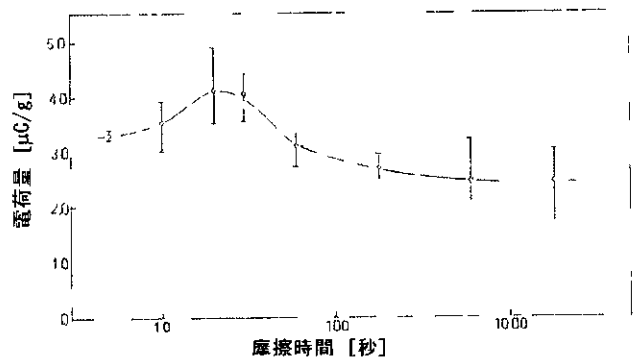


図15 ポリふっ化ビニリテン(PVdF)ペレットと攪拌・摩擦したときの正帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

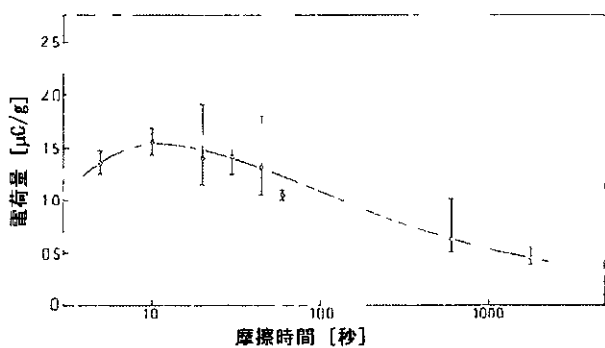


図13 ポリスチレンペレットと攪拌・摩擦したときの正帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

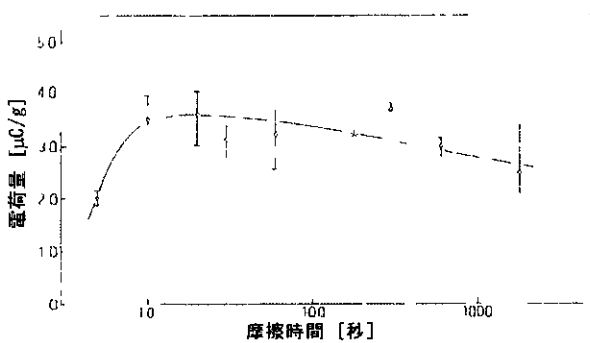


図14 ポリエチレンペレットと攪拌・摩擦したときの正帯電トナーの帯電量の攪拌時間依存性

因みに、これらのトナーを本来のシステムである電子写真現像機スリーブ上に保持して帯電を施した結果を図16、図17に示す。典型的な帯電特性を示すことかわかる。

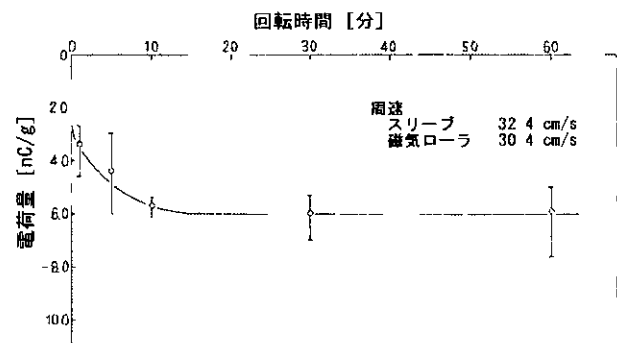


図16 電子写真現像機による負帯電トナー帯電特性

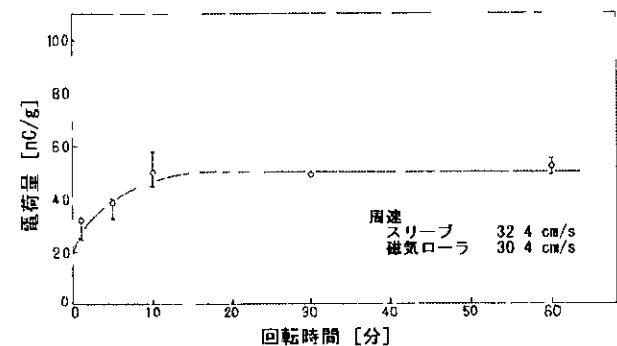


図17 電子写真現像機による正帯電トナー帯電特性

### C 3 2 粉体の帯電量の相対湿度依存性

アクリル、ポリエチレン、ポリプロピレン粉体のポリスチレンペレットに対する摩擦帯電量特性を、相対湿度を変化させて測定した結果を、それぞれ、図18、図19、図20に示す。全体としては相対湿度の増加につれて粉体の摩擦帯電量は減少する。高湿度では、粒子表面の水分吸着層を通して電荷が散逸することが原因である。

実際の破碎・粉砕工程においてプロセス雰囲気内の相対湿度を高くすることか可能であれば、できるだけ高くしたほうが発生電荷量が減少して、粉塵爆発の危険性を少なくすることかできる。

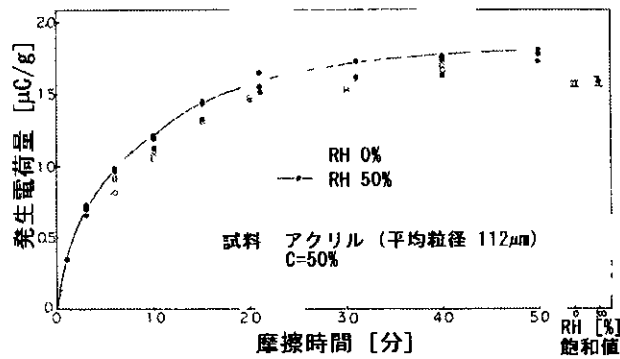


図18 ポリスチレンペレットと撹拌・摩擦したときのアクリル粉体の帯電量の撹拌時間依存性

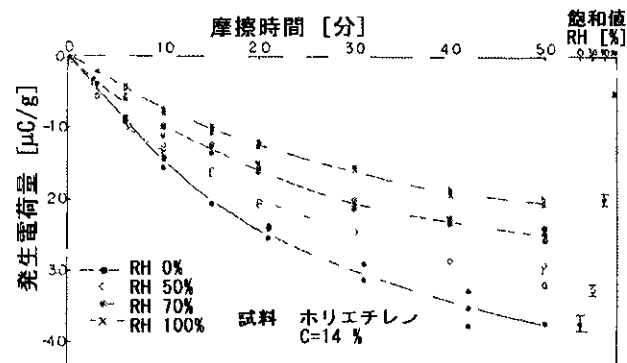


図19 ポリスチレンペレットと撹拌・摩擦したときのポリエチレン粉体の帯電量の撹拌時間依存性

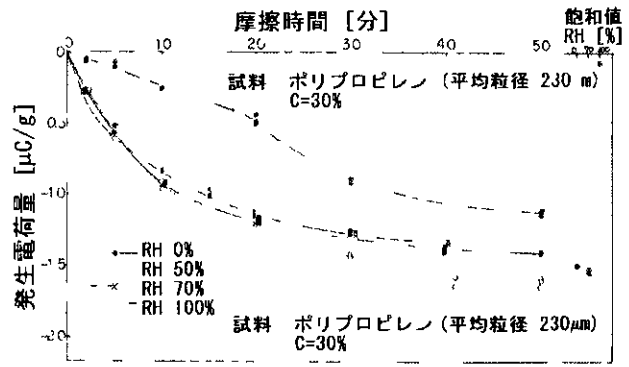


図20 ポリスチレンペレットと撹拌・摩擦したときのポリプロピレン粉体の帯電量の撹拌時間依存性

### C 3 3 粉体の帯電量の粒径依存性

アクリル粉体を平均粒径の異なるグループに篩い分けして、それぞれのグループごとにポリスチレンペレットに対する摩擦帯電特性を測定した結果を図21に示す。粉体の単位質量あたりの電荷は粒径の減少にもなって増加することかわかった。

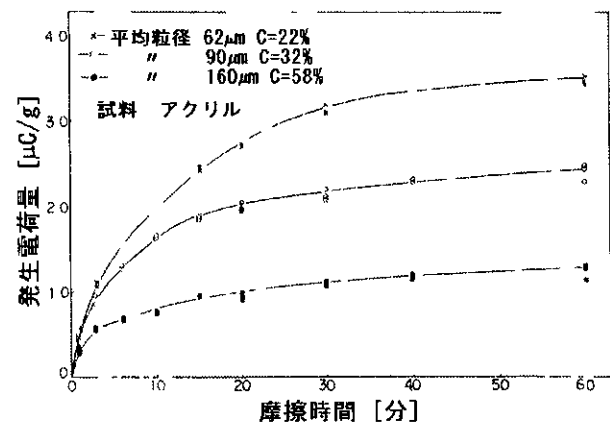


図21 平均粒径の異なるアクリル粒子のポリスチレンペレットに対する単位質量あたりの摩擦帯電量

## D 考察

### D 1 粉塵の流送帯電

粉体の流送帯電は、空気輸送される粉体の種類、輸送パイプ内壁の材質、輸送空気の流速、単位時間当たりの輸送量、空気輸送される粉体の粒径、抵抗率など

非常に多くの因子の影響を受ける。

今回の測定においても、粉体の供給量を増加させると単位質量あたりの帯電量は減少するか、全帯電量は増加することか確認できた。粉塵の着火に、単位質量あたりの帯電量が関係するのか、全帯電量が関係するのかは今後の研究課題である。また、輸送に使用する空気の流速を大きくすると、粉体の種類を問わず帯電量が増加した。粉体の流送帯電における粉塵爆発災害を防止するためには、生産性を考慮しながら、各因子を最適化することか必要である。

本研究で得られた重要な成果の一つは、粉塵の流送帯電が粉体とパイプのイオン化ポテンシャルに強く依存することである。輸送する粉体と同一の材料からきているパイプを使用できれば、流送帯電量は大幅に減少させることか可能である。同一材料のパイプの使用が困難なときでも、輸送粉体とイオン化ポテンシャルの値がそれほど違わない材料を使用するか、パイプ内壁に表面処理を施して粉体のイオン化ポテンシャルに近づける工夫は検討に値すると考えられる。

## D 2 粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測

超音波振動を利用して一様な粉塵を形成する着火試験装置を用いて種々の粉体の着火を観測した結果、最小着火エネルギーに関しては従来のハルトマン式試験装置とほぼ同じ値が得られることか確認できた。粉塵の着火性の観測に関しては、粉塵の凝集を極力避けることと、できるだけ一様な粉塵雲を形成することか重要である。

## D 3 破碎 粉碎工程における粉塵爆発災害防止対策の検討

一般に物体の帯電量は水分量の増加につれて減少する。今回の測定においてもアクリル(図18)、ポリエチレン(図19)ではこの傾向が確認できたか、ポリプロピレンでは0%RH のときより 50%RH のほうが帯電量が大きいという結果が得られた。すなわち、粉体の帯電量がある水分量のとき最大なるという結果である。乾燥しすぎると粉体の帯電量が減少するという結果は、最近いく

つか報告されているかその機構は不明である。非常に乾燥した粉体を全気輸送する場合、少しでも流送帯電を抑制するため空気の湿度を増加させるときは注意が必要である。多くの場合、物体の帯電量が最大になる湿度(水分量)はかなりの乾燥領域にあるか、全気的水分を多少増加させた結果、粉体の帯電量が増加する可能性を考えておく必要がある。

上述のように粉体の帯電量は粒径に依存するか、粉体の帯電は粒子表面に電荷がトラップされる現象と考えられるため、粉体の単位質量あたりの電荷量で表示されている図21を、粉体の単位表面積あたりの電荷量にプロットしなおすと、それぞれ、図22が得られる。すなわち単位質量あたり粉体の帯電量は粒径に依存するか、粉体の単位表面積あたりの電荷は粒径に依存しないことかわかる。破碎・粉碎工程が進行して、粉体の粒径が小さくなると単位質量あたりの帯電量が増加し、加えて最小着荷エネルギーも減少するため、粉塵爆発の危険性が増加する。

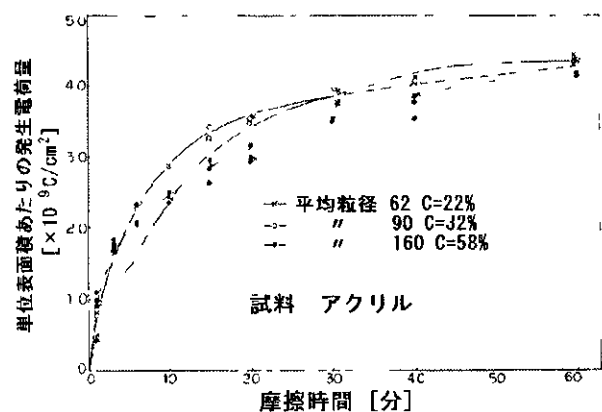


図22 平均粒径の異なるアクリル粒子のポリスチレンペレットに対する単位表面積あたりの摩擦帯電量

## E 結論

粉体の流送帯電は多くの因子の影響を受ける。流送帯電が原因となって生じる粉塵爆発の防止には帯電量を基準値以下に抑制することか必要である。そのためには、流送速度をできるだけ小さくする、輸送に使用する空気の湿度を高くするなどの対策に加えて、輸送す

る粉体と輸込に用いるパイプ内壁のイオン化ホテノンアルをなるべく近づけることが有効である。実現には、パイプ内壁のコーティング、表面改質などが考えられる。

粉塵の帯電に起因する着火源の形成 観測を従来のハルトマン式装置に代えて超音波振動を利用する簡易型着火試験装置を用いて行った結果、両者の結果はほぼ一致することを確認した。

破碎 粉砕工程における粉塵爆発災害防止対策の検討に関しては、円筒容器に二種類の粉体試料を投入し、攪拌・摩擦を行ったときの粉体の帯電量をフローオフ法により測定した。粉体の帯電量は粉体の種類、粒径、湿度など多くの因子の影響を受けるか、粉体の単位表面積あたりの帯電量は粒径に依存しないことを確認した。帯電に起因する粉塵爆発の防止策を考えるとき、粉体の帯電量を評価、推定するとき重要である。

## F 健康危険情報

(特になし)

## G 研究発表

### 1 論文発表

1) K S Choi, M Yamaguma, T Kodama, J H Joung, T Y Kim, M Nifuku, M Takeuchi Influence of Discharge Conditions on the Ignitability of Lycopodium Streams Due to a Single Capacitance Discharge Spark, KIEE Int'l Trans on EA, Vol 3-C, No 3 (2003), pp 99-105

2) K S Choi, M Yamaguma, T Kodama, J H Joung, M Nifuku M Takeuchi Effects of Corona Charging of Polymer on their Minimum Ignition Energies, J Loss Prevention in Process Industries, (印刷中)

3) 内田博樹、和田達明、竹内 宇 電界法に基づく粒子個々の付着力測定装置の開発、静電気学会誌、Vol 27, No 4, pp 194-198 (2003) 2003年7月31日

### 2 学会発表

1) 水谷 洋、竹内 宇 高分子粉体の電荷保持能力、第64回応用物理学会学術講演会講演予稿集、No 1,

p 147, 2003年9月11日

2) 沓掛健一、竹内 宇 アクリル粒の帯電に関する因子、静電気学会講演論文集'03, pp 77-78, 2003年9月11日

3) T Suzuki, T Kodama, T Mogami, K S Choi, J H Joung, M Takeuchi A New Electrostatic Eliminator Using High Voltage Usable in Explosive Atmosphere, Pre-prints IFAC Symp on Power Plants and Power Systems Control 2003, Vol III, pp 1161-1164, 2003年9月15-19日

4) Tatsuya Tada, Yoshinobu Baba, Manabu Takeuchi Influence of Properties of Magnetite on Tribocharging Characteristics of Mono-component Magnetic Toner, Proc IS&T's NIP19 Int'l Conf Digital Printing Technologies, pp 180-185, 2003年9月30日

5) Manabu Takeuchi Tribocharging Polarity of Ferrite Carrier Beads, Proc 4th Korea-Japan Joint Symp Imaging Materials Technol, pp 28-31, 2003年11月14-15日

6) 沓掛健一、荷福正治、竹内 宇 高分子粉体の帯電に関する因子、2004年度静電気学会春季講演会論文集、pp 11-12、2004年3月5日

7) 杉原鷹男、荷福正治、竹内 宇 表面コーティングか接触電位差、摩擦帯電に及ぼす影響、2004年度静電気学会春季講演会論文集、pp 19-20, 2004年3月5日

8) 松本大輔、竹内 宇 粉体塗料の帯電量測定、表面技術協会第109回講演大会講演要旨集、pp 254-255, 2004年3月15日

## H 知的財産権の出願 登録状況

(予定を含む)

### 1 特許取得

なし

### 2 実用新案登録

なし

### 3 その他

なし

## 研究成果の刊行に関する一覧表

## 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	へー／

## 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
荷福正治、 J Gatineau、 C Barre 堀口貞茲、 加藤裕美	Explosibility of Shredder Dusts for Electrical Appliances	Proceedings of Electrostatics 2003	印刷中		
山隈瑞樹、 児王勉	ハクフィルタでの 粉塵の剥離帯電特性	静電気学会誌	Vol 28, No 1	pp 65-70	2004
M Yamaguma, T Kodama	Observation of Propagating Brush Discharge on Insulating Film with Grounded Anti-Static Materials	IECE Transactions on Industry Applications	印刷中		
K S Choi, M Yamaguma, T Kodama, J H Jung, T Y Kim, M Nifuku, M Takeuchi	Influence of Discharge Conditions on the Ignitability of Lycopodium Streams Due to a Single Capacitance Discharge Spark	KILE International Transactions on EA	Vol 3-C, No 3	pp 99-105	2003
内田博樹、 和田達明、 竹内 子	電界法に基づく粒子 個々の付着力測定装置 の開発	静電気学会誌	Vol 27, No 4,	pp 194-198	2003
K S Choi, M Yamaguma, I Kodama, J H Jung, M Nifuku, M Takeuchi	Effects of Corona Charging of Polymer on their Minimum Ignition Energies	J Loss Prevention in Process Industries	印刷中		

20031162

以降は雑誌/図書等に掲載された論文となりますので、  
「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。