

厚生労働科学研究費補助金

労働安全衛生総合研究事業

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

平成14年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 荷福 正治

平成15（2003）年 4月

目 次

I. 総括研究報告

- 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 --- 1
荷福正治

II. 分担研究報告

1. 粉塵の爆発のしやすさの評価・検討 ----- 3
荷福正治、堀口貞茲
2. 沿面放電による粉塵の着火性 ----- 8
児玉勉、山隈瑞樹
3. 粉塵の流送帯電 ----- 13
竹内 学

- III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 19

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

主任研究者 荷福正治 独立行政法人産業技術総合研究所・主任研究員

本研究は、家電製品のリサイクル工場、廃棄物処理工場で近年頻発している粉塵爆発災害を防止することを目的とし、そのための基礎資料を提供しようとするものである。資源の有効利用や環境保全の見地からリサイクルや廃棄物の処理が行われているが、その過程で可燃性の粉塵やガスが発生し、これらが何らかの原因で着火し、爆発災害に至る事例が頻発し、従業員への人的被害や工場施設の損害のみならず、リサイクルや廃棄物処理にも大きな影響がでており、その安全確保は大きな社会的要請となっている。

これらの観点から、本年度は粉塵の爆発性、着火源形成要因等の検討・解明を行い、粉塵爆発災害の防止を目指した。

A. 研究目的

粉塵の爆発性、着火源形成要因等の検討・解明。

B. 研究方法

本年度は、粉塵の爆発のしやすさの評価・検討、着火危険性が高いとされる沿面放電による粉塵の着火性、粉塵の空気輸送に伴う帯電を検討した。このため、以下の内容の研究を行った。

①吹上げ式粉塵爆発試験装置と Godbert-Greenwald 型炉（加熱部は内径 60 mm、長さ 526 mm）を用い、粉塵の爆発下限濃度、粉塵の粒度が爆発下限濃度に及ぼす影響、浮遊粉塵雲着火温度等を検討した。

②沿面放電の発生に必要な絶縁性フィルムとして PET を用い、接地背板として金属、導電性細線を織り込んだ絶縁性シート（2 種類）及び帯電防止型ゴムシートを採用した。PET 表面をコロナ放電装置を用いて均一に帯電させ、これに接地金属球を接近させて放電を発生させ、放電パターンの観測、放電電流の測定、ならびに放電エネルギーの推定と粉塵及びガス・蒸気に対する危険性の評価を行った。

③粉塵の流送帯電に関与する因子を詳細に検討

し、得られた結果に基づいて、最終的には流送帯電を制御して、静電気に起因する粉塵の着火、爆発を防止する手段の開発を試みた。はじめに、各種粉体の流送帯電量を測定した。つぎに、パイプの内壁にコーティングを施すことにより、粉体の流送帯電量を減少させることを試みた。コーティング材料の選択に、イオン化ポテンシアルの値とカスケード法による帯電傾向の評価結果を利用した。

（倫理面への配慮）

本研究は研究対象が工業製品であり、人や動物を対象としないので、倫理面の問題はない。

C. 研究結果と考察

①リサイクルで発生する粉塵は爆発下限濃度は約 30 g/m^3 程度、浮遊粉塵雲着火温度は概ね $500 \sim 550^\circ\text{C}$ であり、爆発しやすいことがわかった。

②金属細線を有する絶縁性シートを接地背板にした場合、金属板に匹敵する程度の強力な放電を発生する可能性があること、また、細線または生地抵抗が大きい場合には放電エネルギーが小さくなるが、依然として粉塵への着火性を有しうる事が明らかとなった。

③カスケード法によりコーティング材料の帯電特性の評価が可能であることを確認した。BaO粉体を添加したバインダー膜をコーティングすると粉体は負極性側に帯電がシフトし、V₂O₅では逆の傾向が認められた。イオン化ポテンシャルの測定も、帯電特性の予測に有効である。

Electrostatics 2003 (Institute of Physics, U.K.), Heriot-Watt University, U.K., 2003
年3月25日

D. 結論

①リサイクルや廃棄物処理工程で発生する粉塵は爆発性が大であるので、作業の際にはこれを予測して安全の確保に努める必要がある。

②沿面放電は粉塵の着火性が大であるので、プロセスの静電気発生に注意を払う必要がある。

③リサイクル品・廃棄物処理工場でハンドリングが必要になると予想されるポリマー、金属など各種粉塵の流送帯電を検討した結果、粉体の空気輸送を行うパイプの内壁にコーティングを施すことにより、粉塵の流送帯電量の抑制が可能である。

E. 健康危険情報

(特になし)

F. 研究発表

1. 論文発表

(1) M. Yamaguma and T. Kodama : Observation of Propagating Brush Discharge on Insulative Film with Anti-Static Materials, IEEE Transactions on Industry Applications

(2) K. Choi, M. Yamaguma, T. Kodama, J. H. Jung, T. Y. Kim, M. Nifuku and M. Takeuchi : An Influence of Discharge Conditions on the Ignitability of Lycopodium Streams due to a Single Spark of Capacitance Discharge, KIEE International Transactions on Electro-Physical and Application

2. 学会発表

(1) M. Nifuku, J. Gatineau, C. Barre, S. Horiguchi, H. Katoh : Explosibility of Shredder Dusts for Electrical Appliances,

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)

粉塵の爆発しやすさの評価・検討

主任研究者 荷福正治 独立行政法人産業技術総合研究所・主任研究員

分担研究者 堀口貞茲 独立行政法人産業技術総合研究所・チームリーダー

リサイクル品・廃棄物処理工場で発生する粉塵(ポリウレタン、プラスチック、油分を含む粉碎粉塵、トナー等)につき粉塵爆発のしやすさ(爆発下限濃度、粉塵の粒度が爆発下限濃度に及ぼす影響、種々の粉塵の爆発下限濃度および浮遊粉塵雲の着火温度)の評価・検討を行った。ポリウレタン粉塵とプラスチック粉塵の爆発下限濃度は、各々、約 30 g/m³、これらの未分級試料の爆発下限濃度は各々、約 50 および 40g/m³であった。粉塵の粒度が爆発下限濃度に及ぼす影響は粒子帯電による粉塵の凝集、粉塵への金属分(異物)の混入などのため、明確な差異が現れなかった。種々の粉塵の爆発下限濃度は、油分を含む家電製品の粉碎粉塵、トナー(黒)、トナー(カラー)について調べたが、各々、約 1,000、70、100 g/m³であった。浮遊粉塵雲の着火温度は、ポリウレタン、プラスチック、金属やプラスチック分を含むシュレッダー粉塵が概ね 500~550 °Cであった。

A. 研究目的

産業や生活様式の高度化・多様化などのため、多量の産業廃棄物(年間約4億トン)や都市ゴミ(年間約 5,000 万トン)が排出されている。これらは、再利用(リサイクル)、焼却、埋め立て等により処分されているが、環境汚染などの問題を引き起こしている。これらの処理過程では廃棄物を破碎や粉碎することが通常行われ、それに伴い、粉塵爆発災害が頻発している。一度、粉塵爆発災害が発生すると、人身や財産に被害が及び大きな損失となる。

本分担研究では、このような粉塵爆発災害を防ぐため、平成 14 年度はリサイクル品や廃棄物処理過程で発生する粉塵につきその爆発性の評価・検討を行った。

粉塵の爆発性は浮遊粉塵濃度、粒子の大きさ(粒度)、着火源の大きさなど種々の要因に影響される。粉塵爆発災害を防止するためには、リサイクルや廃棄物処理過程で発生する粉塵の爆発性を知ることが

重要である。この観点から、平成 14 年度は粉塵爆発のしやすさ(爆発下限濃度、粉塵の粒度が爆発下限濃度に及ぼす影響、種々の粉塵の爆発下限濃度および浮遊粉塵雲の着火温度)の評価・検討を行った。

B. 研究方法

B.1 爆発下限濃度

吹上げ式粉塵爆発実験装置を用い、爆発が発生する最小の濃度を求めた。実験では、粉塵濃度を変え、それに対する爆発確率を求め、粉塵濃度と爆発確率の関係を調べた。爆発確率は、同一条件下で連続 10 回の爆発試験を行い、着火に到る確率を求めた。粉塵の粒度が爆発性に及ぼす影響は、B.3 に述べる粒度分布の調整を行ったのち、各粒度について爆発下限濃度を求めた。なお、落下式粉塵爆発実験装置を用いて、吹上げ式粉塵爆発実験装置による結果は、両者概ね同じであることを確認した。

B.2 粉塵試料

粉塵試料は家電製品リサイクル工程で発生するもの(ポリウレタン、プラスチック、トナー等)を用いた。家電製品リサイクル工場で発生する粉塵は可燃性であることが多く、これらの爆発性を検討した結果は他の廃棄物の処理工場でも大きな参考となる。

B.3 粒度分布の調整

粉塵試料は家電製品リサイクル工程で採取したままのもの、これを $63\mu\text{m}$ と $150\mu\text{m}$ の篩で分級したものをを用いた。

B.4 浮遊粉塵雲着火温度

Godbert-Greewald型炉(加熱部は内径 60mm 、長さ 526mm)を用いた。浮遊粉塵雲濃度はこの加熱部に投入した試料の重量を容積で除して求めた。

(倫理面への配慮)

本研究は研究対象が工業製品であり、人や動物を対象としないので、倫理面の問題は無い。

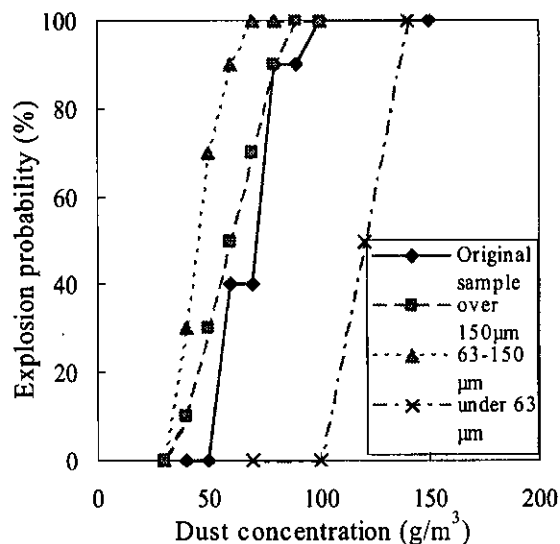


Fig. 1 Explosion probability of polyurethane dust based on particle size distribution.

C. 研究結果

C.1 爆発下限濃度

家電製品のリサイクル過程で発生する可燃性のある主要な粉体はポリウレタン、プラスチックであるが、これらの爆発性をFig.1とFig.2に示す。これらの図から爆発下限濃度は、各々、約 30g/m^3 である。さらに、ポリウレタン、プラスチックともに爆発性を表す爆発勾配が急峻であり、爆発性が大であるといえる。

ポリウレタン、プラスチック、金属分などが混入している粉碎粉塵(シュレッダーダスト)、これまでに用いたものとは別な処理工場でのシュレッダーダストおよびバグフィルターで捕集した粉塵の爆発性をFig.3とFig.4に示す。未分級シュレッダーダストは爆発性がやや小さく(爆発下限濃度が大きく)(爆発下限濃度:約 70g/m^3)なっており、また、バグフィルターによる集塵ダストは爆発性が大きい(爆発下限濃度:約 30g/m^3)ことが示されている。

C.2 粉塵の粒度が爆発下限濃度に及ぼす影響

粉体の粒度が小さくなると、粉体の比表面積が大きくなるので爆発性が大きくなり、通常、爆発下限濃度は小さくなる。破碎・粉碎により発生した粉塵に対する、未分級粉塵、 $150\mu\text{m}$ と $63\mu\text{m}$ の目開きの篩

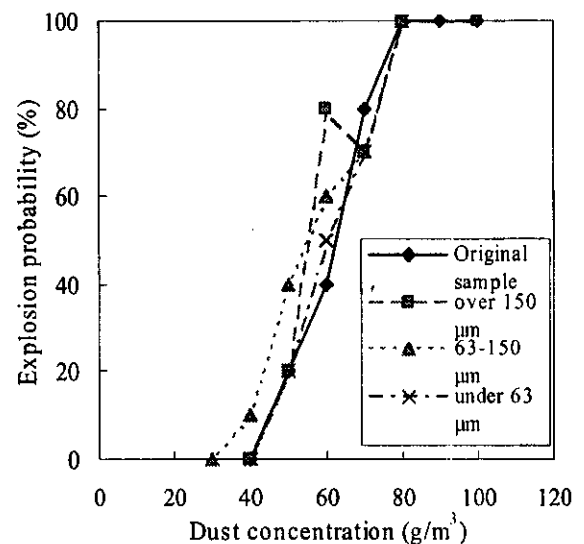


Fig. 2 Explosion probability of plastic dust based on particle size distribution.

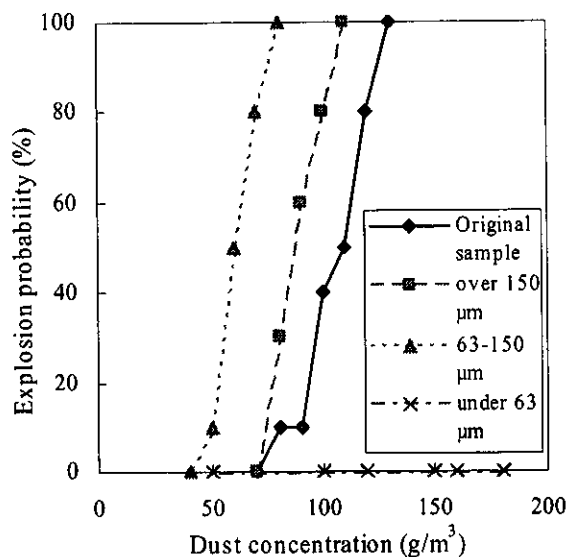


Fig. 3 Explosion probability of shredder dust based on particle size distribution.

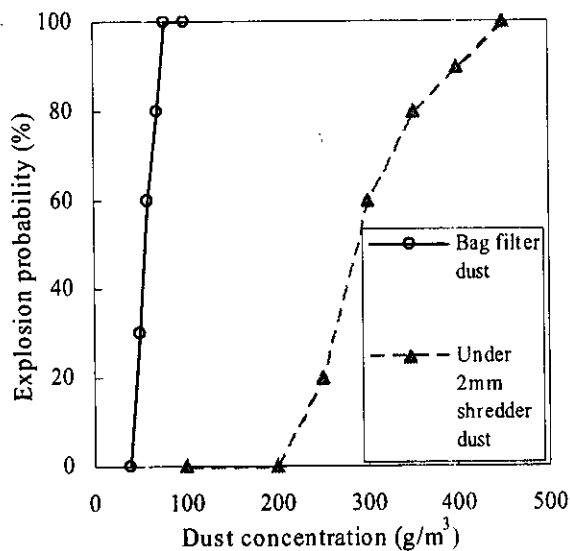


Fig. 4 Explosion probability of the dusts collected at different locations (at a plant N).

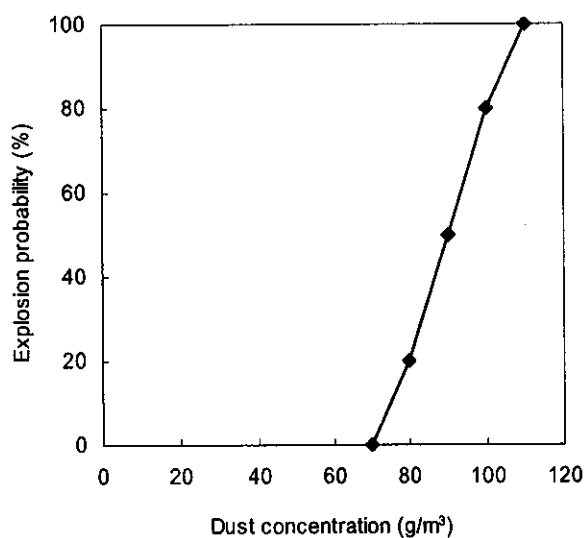


Fig. 5 Explosion probability of black toner (original).

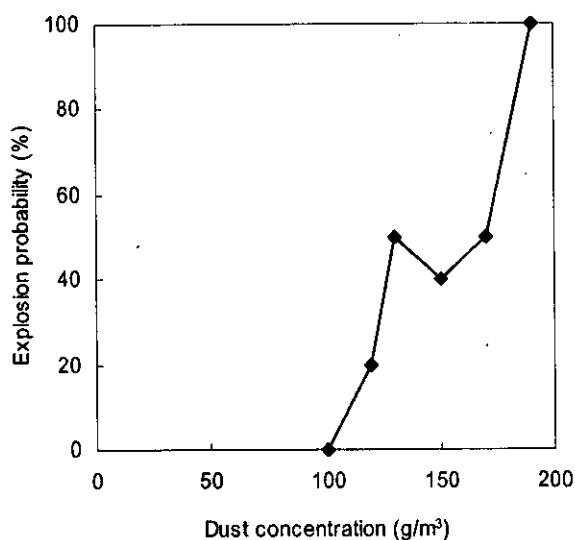


Fig. 6 Explosion probability of colour toner (mixed original).

で分級した試料粉塵の爆発性はFig.1～Fig.3に示すものである。図に示すように、粉塵の粒度が爆発性に与える影響について、明確な差異が現れなかった。これは、粒子帯電による粉塵の凝集、リサイクル現場で採取した粉塵に金属分など異物が混入したなどのためであると考えられる。

C.3 種々の粉塵の爆発下限濃度

油分を含む家電製品の粉砕粉塵、トナー(黒)、ト

ナー(カラー)等の爆発下限濃度を測定した結果は、各々、約1,000、70、100 g/m³であった(Fig.5およびFig.6にトナーの爆発性を示す)。油分を含む家電製品の粉砕粉塵のうち、粒度150 μm以上の粉塵の爆発下限濃度は約800 g/m³、粒度63～150 μmの粉塵の爆発下限濃度は約500 g/m³であった。

トナーは通常、爆発性が大いと言われていたが、これまで述べたポリウレタン、プラスチックの粉塵はこれより爆発性が大い(爆発下限濃度が小さい)。

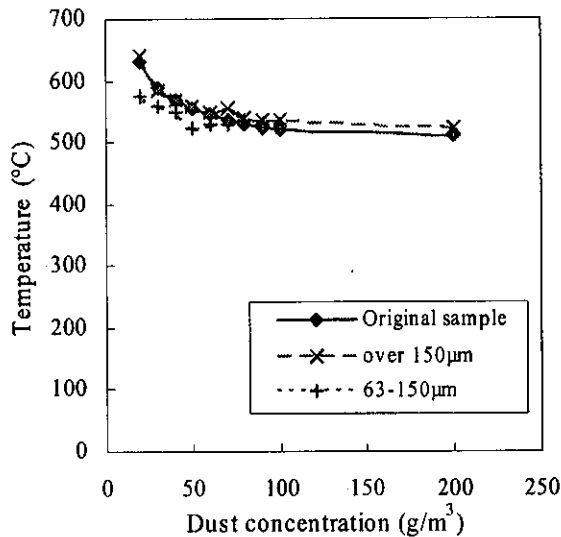


Fig. 7 Ignition temperature of shredder Dust sample.

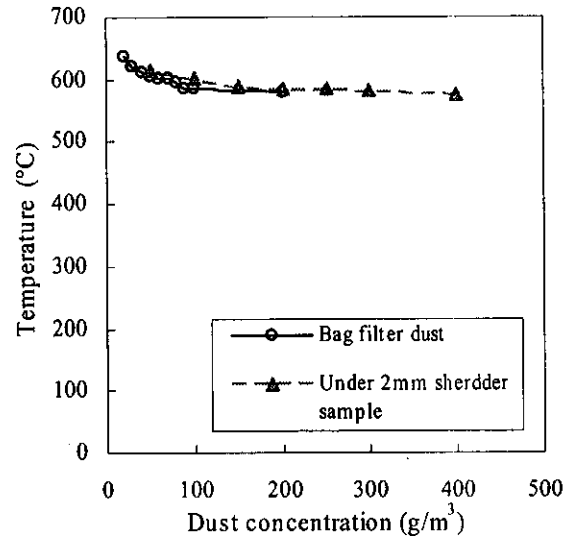


Fig. 8 Ignition temperature of the dusts collected at different locations (at a plant N).

C. 4 浮遊粉塵雲の着火温度

ポリウレタン、プラスチック、金属やプラスチック分を含むシュレッダー粉塵の着火温度はFig.7およびFig.8に示すものである。示されているように試料の浮遊粉塵雲の着火温度は概ね500~550°Cである。またこの場合も、試料の粒度によらず着火温度が概ね同一である(爆発性に及ぼす粒度の影響が明確でない)。

D. 考察

リサイクル品や廃棄物の処理工程では、これらを構成する材料の粉塵が発生し、浮遊粉塵雲が発生する。リサイクル品や廃棄物は有機材料が多量使用されていることもあり、通常、これらの粉塵は可燃性があるので、粉塵爆発の危険がある。本研究で対象とする粉塵の爆発性は産業界でハンドリングされている物質の中でも、比較的爆発性が大であることが本研究結果から示された。このため、今後、さらに爆発性を詳細に検討して、粉塵爆発を防止する対策を立てなければならない。

E. 結論

リサイクル品・廃棄物処理工場での粉塵爆発災害防止のため、家電リサイクル工場で発生する粉塵(ポリウレタン、プラスチック、破碎・粉砕工程からの直接の粉塵、トナー等)は爆発性が比較的大きいことがわかった。冷蔵庫処理工程で発生する主要な粉塵であるポリウレタンおよびプラスチックの粉塵爆発下限濃度は各々約 30 g/m³、浮遊粉塵雲の着火温度は概ね 500~550°Cである。これらのことから、今後、爆発性をさらに検討すれば、リサイクル品・廃棄物処理工場における粉塵爆発災害防止のための有用な知見を提供できると考えられる。

F. 健康危険情報

(特になし)

G. 研究発表

1. 論文発表

(なし)

2. 学会発表

(1) M.Nifuku, J.Gatineau, C.Barre, S.Horiguchi,
H.Katoh : Explosibility of Shredder Dusts for
Electrical Appliances, Electrostatics 2003
(Institute of Physics, U.K.), Heriot-Watt
University, U.K., 2003年3月25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)

（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）

沿面放電による粉塵の着火性

分担研究者	児玉 勉	独立行政法人産業安全研究所・研究部長
分担研究者	山隈瑞樹	独立行政法人産業安全研究所・主任研究官

リサイクル現場で発生し得る着火性放電のうち、シート状の絶縁物と接地背板の組み合わせで生じる沿面放電について、背板に様々な構造の物体を用いて、その放電パターンの観測、放電電荷量の測定及び放電エネルギーの推定・評価を行った。その結果、背板が細い導体線を有する場合には、コロナ放電によって生成されたイオンがシート状絶縁物に付着するために放電電荷量が極めて大きくなる可能性があることが判明した。実験に用いた背板の構造では、少なくとも可燃性ガス・蒸気への着火性があると推定される。

A. 研究目的

リサイクル現場では金属、プラスチック等様々な素材の部品類が破砕処理され、それに伴い大量の可燃性粉塵が発生する。更に、潤滑油、溶媒等の可燃性ガス、蒸気またはミストが同時に含まれることもあり、爆発性の雰囲気形成されやすい状況となっている。この爆発性雰囲気に対して静電気放電によるエネルギーが与えられると発火・爆発を引き起こす可能性があり、現実に災害事例が報告されている。静電気放電には様々な形態があるが、その中でも帯電した導体と接地導体の間で発生する火花放電は既に詳細に研究されており、再現性がよいので、可燃性物質の着火性を評価するために用いられることもある。ところが、プラスチック等の絶縁性の物体が帯電した場合には、帯電面積、周囲の電気的條件、放電用電極の形状等によって放電エネルギーが大きく変化するので着火性の評価が困難である。実際の工程では絶縁物の帯電はよくあることであるから、粉塵等の爆発を防止するためにはその性質を知っておく必要がある。以上の背景の下、本研究では、絶縁物表面で発生する放電のうち、絶縁物が薄く、かつ、

背面に様々な電気的特性を有する接地体が存在する場合に発生する沿面放電(Propagating brush discharge)を取り上げ、その特徴、特に着火性を明らかにすることを目的として実施した。

B. 研究方法

B.1 実験材料

沿面放電は、フィルムのように薄い絶縁物の背面に接地された導体板が存在する場合に、フィルムに大量の電荷が蓄積して発生する強力な放電である。従来、主として金属板を接地背板として選択した場合の放電特性に関する研究がなされてきたが、実際の状態を考慮すると金属板のみでは不十分である。そこで、本研究では次の素材を選定した。

- (1) 金属板（アルミニウム製。以下、MP と略称）
従来と同様の導体板。
- (2) 金属系導電性繊維型（以下、MF と略称）
ポリエチレン製の生地に金属系導電性加工糸（1m 当たりの電気抵抗 $1.0 \times 10^4 \Omega$ ）を 26 mm 間隔で格子状に縫い込んだもの。厚さは 0.53 mm である。
- (3) 炭素系導電性繊維型（以下、CF と略称）

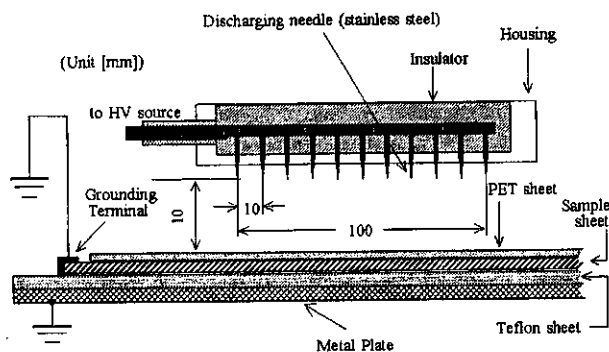


図1 コロナ荷電装置及び試料の配置方法

ポリエチレン製の生地に炭素系導電性加工糸 (1m当たりの電気抵抗 $1.0 \times 10^6 \Omega$) を 45 mm 間隔で格子状に縫い込んだもの。厚さは 0.48 mm である。

(4) 導電性ゴム型(以下、DR と略称)

導電性ゴム引の生地で作られたもの。厚み方向の体積抵抗率及び表面抵抗率は、それぞれ $1.8 \times 10^8 \Omega \cdot m$ 及び $2.8 \times 10^8 \Omega$ である。厚さは 0.85 mm である。

また、帯電用絶縁フィルムとして厚さ 0.10 mm のポリエチレンテレフタレート (PET) フィルムを 35cm×35cm に切り抜いたものを用いた。厚み方向の体積抵抗率及び表面抵抗率は、それぞれ $1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot m$ 及び $7.5 \times 10^{14} \Omega$ である。なお、実験はすべて 22 °C、50 %RH の室内環境で実施した。

B.2 帯電及び放電方法

アルミニウム製プレートを手平に保持し、その上に幅 50cm×50cm、厚さ 5 mm のテフロン製シートを置いた。更にその上に、図1に示すように、サンプル (MF、CF 又は DR)、PET フィルムの順に重ねた。なお、ここでテフロン製シートを用いたのは、アルミニウム製プレートとサンプルを電氣的に絶縁するためである。PET フィルムの帯電は、負極性直流コロナ放電によって発生したイオンを吹き付けることにより行った。コロナ放電用電極は、ステンレス製の針を 10mm 間隔で 11 本を直列に埋め込んだ構造となっており、針先と PET フィルム表面の間隔が 10 mm となるよう水平にホルダーで

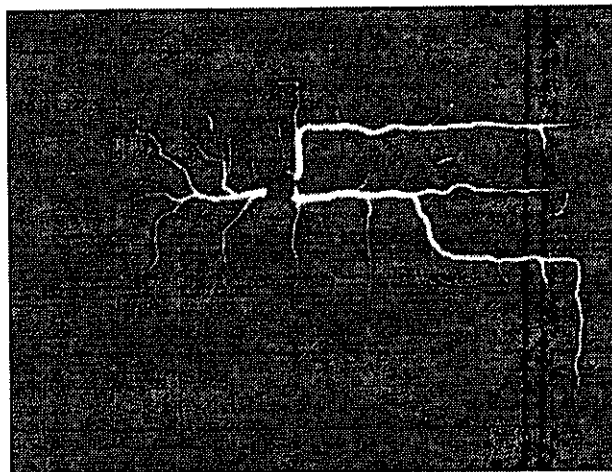


図2 MF+PET における沿面放電の例

固定した。このホルダーは更に水平方向に二次元的な移動が可能な電動ステージに取り付けられており、任意の範囲を任意の時間でスキャンすることができる。本実験では、PET フィルムのほぼ中央部分で 20cm×20cm の領域を約 17sec でスキャンして帯電させた。帯電作業完了後速やかに、接地した金属球電極 (直径 12.7mm) を帯電領域のほぼ中央付近に徐々に接近させ、放電を発生させた。放電前後の PET フィルムの帯電電位は表面電位計を用いて測定した。また、放電時の電流波形をカレントプローブで検出し、これをデジタルオシロスコープに取り込んで観測するとともに、パーソナルコンピュータでデータ処理を行うことにより電荷量等を計算した。

(倫理面への配慮)

本研究は研究対象が工業製品であり、人や動物を対象としないので、倫理面の問題はない。

C. 研究結果

C.1 各サンプルにおける沿面放電の特徴

(1) MP と PET フィルムを組み合わせた場合

サンプルを用いた場合の沿面放電と比較・参照するために、PET フィルムを接地金属板上に直接置いて帯電させ、沿面放電を発生させた。その時の放電光のパターンは、リヒテンベルクフィギュアとして知られているものであり、典型的な沿面放電の発光パターンであるが、十分

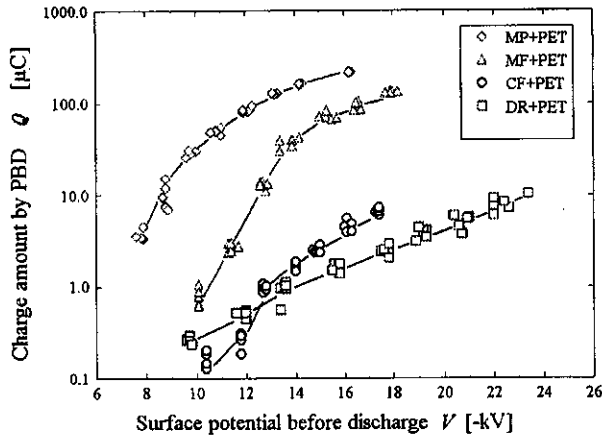


図3 沿面放電によって放出された電荷量

な帯電量であれば、通常の室内光の下であっても肉眼で明瞭に観測でき、かつ、放電に伴い発生する破裂音も体感的に非常に大きい。

(2) MF型とPETフィルムを組合せた場合

MF型のサンプルの上にPETフィルムを乗せた場合に得られた沿面放電の観測例を図2に示す。放電光は放射状ではなく、導電性糸の縫い目に沿うように走った。前述の(1)の場合と同様に、放電は室内光の下でも明瞭に目視可能であり、音響も非常に大きいものであった。

(3) CF型とPETフィルムを組合せた場合

沿面放電パターンは(2)の場合に類似したものであったが、発光は弱く、室内を暗くした場合によりやく目視できる程度であった。また、音響も明瞭だが小さいものであった。放電持続時間は $4.4 \mu\text{s}$ (-10.4 kV) $\sim 55 \mu\text{s}$ (-16 kV) と帯電電位に対する依存性が大きなものであった。

(4) DR型とPETフィルムを組合せた場合

沿面放電パターンは、(1)の場合と同様のリヒテンベルクフィギュアが観測されたが、暗室のように完全に周囲の光を遮断しないと目視できない程度に弱い発光であった。放電音も周囲が静粛なときに聞き取れる程度の大きさであった。

C.2 放電電荷量

放電電流を積分して電荷量 Q [C] を求め、これを放電前の表面電位 V [kV] についてプロットしたグラフが図3である。放電開始電圧を比較するとPETフィルムを接地金属板に直置きした場合(MP+PET)では約-8kVであるのに対し、

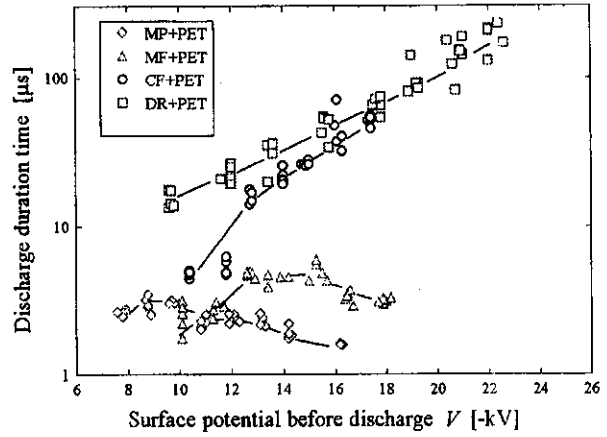


図4 沿面放電の持続時間

MF型とPETフィルムの組合せ(MF+PET)、CF型とPETフィルムの組合せ(CF+PET)及びDR型とPETフィルムの組合せ(DR+PET)では約-10kVであった。この理由として、フィルムの背板への密着性(MP以外のものはたわみがありフィルムとの間に隙間ができやすい)、並びに、特にMF型及びCF型は導電性糸の縫い目以外の場所では絶縁性が高いために電位が上昇しやすいという点が指摘できる。表面電位 V が増加するにつれて、いずれの場合にも放電電荷量は増加するが、ほぼ同様の放電パターンであるMP+PET及びDR+PET、ならびにMF+PET及びCF+PETを比較すると、いずれも接地背板の抵抗が大きな組合せほど放電電荷が小さい。これは、キャパシタンス C と抵抗 R の直列接続回路から成る等価回路をイメージすれば予想される結果である。ところが、 V に対する Q の増加率をみると、導電性糸タイプであるMF+PET及びCF+PETは他のタイプよりも大きい。これは、 V に対して R が非線形に変化することを意味している。この非線形性をもたらすものは、沿面放電の際に発生する導電性糸から発生するコロナ放電であると考えられる。すなわち、 V が高いほど、沿面放電時のコロナ放電が起こりやすくなるので、これが接地背板とアースとの間に良好な導電路を形成するものと思われる。

また、MP+PET及びMF+PETでは V が大きくなるにつれて V に対する Q の増加率が小さくなる傾向が明瞭であるが、これは、放電パターンの写真から判断して、本実験における荷電領

域が 20cm×20cm に限られているために、沿面放電がこの範囲を超えて拡大しないためであると推定される。

C.3 放電持続時間

放電前の帯電電位と沿面放電の放電持続時間 τ の関係を図 4 に示す。ここでも MF+PET における τ は他の型に比のものに比べて非常に短く、オーダー的に MP+PET と同等である。また、帯電電位の変化に対しては放電開始電圧を過ぎてピークを迎えた後また低下するという傾向が見られるが、これも MP+PET と同様である。低電位領域では放電回路の進展に伴い、電荷の移動に要する時間がより多く必要となるが、高電位領域では放電範囲がほぼ定まっており、その範囲内で放電電流のキャリアであるイオンの密度が増加するために放電空間の実効的な電気抵抗が低くなったためと考えられる。

一方、CF 及び DR では、MP 及び MF と比べて τ は非常に大きく、かつ、表面電位が増加するほど τ も増加するという傾向が顕著に現れている。これは、実験の範囲内では、表面電位の増加とともに放電回路が進展し続けるので、電荷移動により長い時間を要するためと考えられる。

C.4 放電開始位置の影響

DR 型のように接地背板の抵抗が大きいものでは、放電場所によって大地間の抵抗が変化する。そこで、DR 型を用いて接地用金属板から距離の異なる 3 点を選択し、表面電位をほぼ一定 (20.4 kV) となるようにして沿面放電を発生させた。その結果、ばらつきは若干あるが、接地用金属板からの距離が大きくなるほど放電電荷量の平均値は小さくなるという傾向が得られた。

D. 考察

D.1 導電性糸のコロナ放電の効果

沿面放電は、等価的な C 及び R の直列閉回路が完成したときに発生すると考えられるが、通

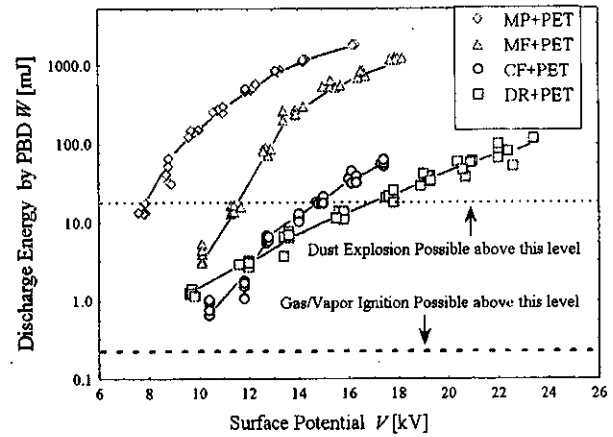


図 5 沿面放電の放電エネルギーの見積値

常の CR 電気回路と異なる点は、 C を形成するフィルムの片側表面が気相に開放されているため、この開放面側では電荷が移動しにくいという点である。開放面で電荷が移動することが、即ち沿面放電を含む放電現象である。沿面放電をより広い領域に進展させるためには、接地背板と大地間及び放電電極と大地間の等価的な R が小さいほどよい (C.3 参照)。ところが、MF 型及び CF 型の場合には、帯電時に繊維からコロナ放電が発生し、これがフィルム表裏間に電気二重層を形成するための電荷の供給源となり、糸の見かけの面積から推定される以上に電荷を蓄積することとなる (MF 型では荷電時のコロナ放電は目視観測可能)。また、放電に際しても、コロナ放電によるイオンの流れが導電回路の一部を形成するために、等価的な R を減少させ、放電の進展を助長するものと考えられる。以上のように、コロナ放電の影響は非常に大きいものがあり、沿面放電を抑制するために導電性糸の太さや抵抗値等十分考慮に入れるべきである。

D.2 沿面放電の着火性

沿面放電によって放電空間を流れる電荷量は図 3 に示されているが、放電エネルギーを求めることは容易ではない。なぜなら、放電エネルギーを求めるためには放電前後のフィルム上の電位分布を正確に知る必要があるが、本研究の測定システムではそれが不可能だからである。

それでも、一応の目安とするために、放電前の平均電位 V と放電電荷量 Q を利用して、 $1/2QV$ という式を用いて計算すると、その値は図5のようになる。実際の放電エネルギーよりも大きめの値であるので、安全側の評価といえよう。

さて、同図には、0.2mJ 及び 20mJ を示すバーが記されているが、前者は可燃性ガス・燃性粉じんを対象とした場合の火花放電での平均的な最小着火エネルギーである。これをもとに判定すると、MF 型では 20mJ ラインを遙かに超えるレベルとなるので、可燃性粉じんへの着火は十分可能と考えられる。しかし、CF 型及び DR 型では、20mJ ラインを超えるものの、これだけでは着火性の判断が下せない。なぜなら、これらの放電は前述のように火花放電と比較して放電領域が広く、かつ、放電持続時間が長いために、エネルギー密度で比較すると火花放電よりもかなり小さくなると推定されるからである。少なくとも現時点では、MF 型よりは、粉じんに対しては着火性が低いと言えるだろう。可燃性ガス・蒸気に対しては、0.2mJ ラインを遙かに凌駕するので、いずれのタイプでも十分着火性があると考えられる。

E. 結論

絶縁性フィルムが帯電した場合における着火性の沿面放電の発生条件を検討するために、様々な構造の物体を背板用サンプルとして実験的に調査を行った。その結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 抵抗が低く、かつ細い導電性糸を格子状に縫い込んだタイプでは、金属板を接地背板とした場合に匹敵するほどの強力な沿面放電が発生した。帯電条件によっては、可燃性ガス・蒸気のみならず可燃性粉じんへの着火も可能と考えられる。
- 2) 抵抗が高く、太い導電性糸を格子状に縫い込んだタイプ並びに比較的高抵抗率のゴム製タイプでは、沿面放電の電荷及びエネルギーは比較的小さいものであった。しかし、可燃

性ガス・粉じんへの着火性は十分にあると思われるので、やはり慎重に取り扱う必要がある。

- 3) 導電性糸を有するタイプは、コロナ放電を発生しやすく、これが沿面放電の発生条件である電気二重層の形成及び放電時の導電路の形成に寄与しているの、見かけの面積から予想される以上に強力な放電となりやすい。

F. 健康危険情報

(特になし)

G. 研究発表

1. 論文発表

(1) M. Yamaguma and T. Kodama : Observation of Propagating Brush Discharge on Insulative Film with Anti-Static Materials, IEEE Transactions on Industry Applications (投稿中)

2. 学会発表

(なし)

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)

(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

分担研究者 竹内 学 茨城大学工学部・教授

リサイクル品・廃棄物処理工場でハンドリングが必要になると予想されるポリマー、金属など各種粉塵の流送帯電と静電気放電に起因する着火、燃焼、爆発の防止の指針を検討した。はじめに各種ポリマー粉体の流送帯電量を吸引式ファラデーケージを用いて測定した結果、ポリマーの帯電量は流送に用いる空気圧の増加につれて増加することを確認した。つぎに、粉体の空気輸送を行うパイプの内壁にコーティングを施すことにより、粉塵の流送帯電量の抑制を試みた。実際に種々の金属酸化物粉体を分散させたポリマー膜をパイプ内壁にコーティングすることにより、粉体の帯電量をある程度コントロールできることを見出した。また、カスケード法によりコーティング膜の電荷付与性を予想できること、および、イオン化ポテンシャルを測定することにより粉塵の帯電傾向を予想できることがわかった。BaO コーティングは、輸送される粉塵の帯電を負極性側にシフトさせ、V₂O₅ コーティングは正極性側にシフトさせる機能を有することを結論した。

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いて、粉塵の空気輸送に伴う帯電に起因する着火、爆発災害を防止することを目的とする。

粉塵を空気輸送した時にパイプ内壁との摩擦により粉塵が帯電する現象(流送帯電)に関しては、従来から多くの研究がなされてきた。その結果、粉塵の帯電量は空気の流速の増加につれて増加し、最終的には飽和すること、空気の湿度を増加させると粉体の帯電量が減少し、80%RH 以上にすると帯電量はほぼゼロになることなどが知られている。

粉塵の帯電に起因する着火、爆発現象を防止するためには、それらを空気輸送した時の帯電量を限界値以下に押さえればよい。限界値は、放電エネルギーがそれぞれの粉塵の最小着火エネルギーに等しくなる値で決められる。

空気輸送される粉塵の帯電量を限界値以下にコントロールするためには、上述のように、空気の流速を遅くすること、および、空気の湿度を高くすることが有

効であることが確認されている。しかし、これらの手段はともに処理速度、生産性を低下させることが多い。そこで本研究では、流送帯電が原理的には接触・摩擦帯電と同じカテゴリーに属する帯電であることに着目して、粉塵とそれが輸送されるパイプ内壁の帯電傾向をなるべく近づけることにより、帯電量を減少させることを試みた。すなわち、帯電列上でほぼ同じ位置にある物質どうしの接触・摩擦帯電量は一般に大きくないことを利用して、パイプ内壁に種々のコーティングを施すことにより粉塵の帯電傾向に近づけ、結果的に粉塵の帯電量を減少させることの可能性を検討した。

B. 研究方法

B.1 研究手順

本研究では、はじめに粉塵の流送帯電に関与する因子を詳細に検討し、得られた結果に基づいて、最終的には流送帯電を制御して、静電気起因する粉塵の着火、爆発を防止する手段の開発を試みた。そ

のため、空気輸送に伴う粉体の帯電(流送帯電)量を、粉体の種類、空気輸送条件を変化させて測定した。そして、空気輸送に使用するパイプの内壁にコーティングを施すことにより、粉体の流送帯電量を減少させることを試みた。また、コーティングによる粉体の帯電量の変化を予想するために、カスケード法による帯電傾向の評価を行った。最後に実際に、パイプの内壁にコーティングを施し、その中を空気流に乗せて粉塵を搬送したときの帯電量を測定し、帯電量が減少することを確認した。

B.2 粉塵の帯電量測定

一般に、物体の帯電量はファラデーケージに帯電している被測定物を投入して測定する。粉塵のようにファラデーケージに入れるのが困難な試料の場合は、吸引式ファラデーケージを使用して粉塵を捕集、電荷量を測定し、結果は粉塵の単位質量当たりの帯電量、 Q/M 、の値で表示する。

本研究でも、吸引式ファラデーケージ(トレック・ジャパン(株)製)を用いて、粉塵の流送帯電量を測定した。流送帯電は、金属(ステンレス)パイプ、その内壁に種々のコーティングを施したものの、ポリマー製パイプ(トリボ帯電式スプレーガン)の中を、試料粉塵を空気流に乗せて搬送し、吐出した粉塵を吸引式ファラデーケージに捕集して帯電量と質量を測定し、 Q/M の値を求めて評価した。流送帯電の測定は、種々の粉塵とパイプ材質およびコーティング材質の組合せにおいて、流送圧力を変化させて行った。流送空気圧力は $1\sim 4\text{ kg/cm}^2$ の範囲で変化させた。

B.3 カスケード法による帯電挙動の評価

本研究においては、空気輸送用パイプの内壁にコーティングを施すことにより、パイプ内部を空気流に乗って搬送される粉体の帯電量を制御することを検討した。そのため、カスケード法により、パイプ内壁、コーティング膜として使用する材料の電荷付与特性を測定して、空気輸送される各種粉体の帯電特性を予測することを試みた。

カスケード法は、傾斜させて設置した板の上を重

力により粒子を転がり落下させ、傾斜板の下でその粒子をファラデーケージに捕集して、粒子の帯電量、 Q/M 、を測定する。その結果、落下した粒子の帯電特性、および、傾斜板表面の材料の、粒子を帯電させる能力(電荷付与性)を評価することができる。この方法は、2つの物質の接触・摩擦帯電の特性を簡単に評価したいときによく利用される。

本研究では、金属酸化物粉体を分散させたバインダー膜の電荷付与特性をカスケード法により評価した。バインダー膜をコートしたステンレス板を 60° の角度に設置して、その上をナイロンペレット、フェライト粒子を滑落させ、粒子の得た電荷量をファラデーケージにより測定した。

B.4 イオン化ポテンシャルの測定

粉塵の流送帯電の詳細なメカニズムは現在でも完全には解明されていないが、固体の接触・摩擦帯電と類似の現象と考えられている。固体の接触・摩擦帯電機構も完全には解明されていないが、金属どうしの接触・摩擦帯電は両者の仕事関数で説明できることがわかっている。すなわち、仕事関数の異なる二つの金属を接触させてから引き離すと、仕事関数の小さいほうの金属から仕事関数の大きい金属に電子が移動して、前者が正に、後者が負に帯電する。

仕事関数の考え方の絶縁体と金属、絶縁体どうしの接触・摩擦帯電への拡大も試みられ、成功を収めたケースもあるが、うまく行かないケースも多い。絶縁体では、フェルミ準位には電子は存在しないから、仕事関数による説明が成立しないこともありえるので、エネルギー的には禁制帯中に存在する表面状態を考慮することがよく行われている。

最近、電子写真のトナーの帯電挙動の説明に仕事関数でなくイオン化ポテンシャルを使用することが提案され、かなりの成功を収めた。そこで、本研究でもイオン化ポテンシャルが流送帯電を支配する因子の一つになりうるかどうかを検討した。

本研究では、粉塵、金属類のイオン化ポテンシャルを低エネルギー電子分光装置(理研計器(株)製、AC-1)により測定した。装置は、紫外光源(重水素ラ

ンプ)、モノクロメータ、低エネルギー電子計測装置(検出器)、制御装置、演算表示装置、X-Y ステージからなる。重水素ランプからの紫外光をモノクロメータにより分光し、試料粉塵、あるいは金属片に照射して、外部に放出される電子を低エネルギー電子計測装置により検出、カウントする。照射光の波長を長波長側から短波長側へ走査し、電子放出の始まるエネルギーを求め、その値を試料のイオン化ポテンシャルとする。

試料粉塵としては、ナイロン 11、エポキシポリエステル、ポリ塩化ビニールなどの粉体塗料、リポコデイウム、ポリアクリルニトリル、電子写真現像剤(トナー)、酸化鉄などの粉体を用いた。また、コーティング材料(後述)として使用した各種金属酸化物粉体のイオン化ポテンシャルを測定した。

B.5 粉塵の帯電に及ぼす流送パイプ内壁のコーティングの効果

今述べたように、絶縁体の接触・摩擦帯電はイオン化ポテンシャルと関係することが多いことが最近報告されているため、パイプの内壁に種々のコーティングを施し、イオン化ポテンシャルを変化させ、空気輸送する粉塵の帯電量を制御することを検討した。

コーティング材料としては、イオン化ポテンシャルの値が広い範囲に変化する各種金属酸化物の粉体をバインダー樹脂中に分散させた皮膜を用いた。金属酸化物としては、BaO、V₂O₅、Y₂O₃、Fe₃O₄などの粉体を使用した。バインダー樹脂としてはポリカーボネート、スチレンアクリル共重合体、ポリふっ化ビニリデン(PVdF)を用いた。

バインダーのポリマー粉末をジメチルアセトアミド(DMA)に溶解し、それに金属酸化物の粉体を分散させた溶液をステンレス板に塗布した。金属酸化物の濃度は 0~80wt%の範囲で変化させた。また、ステンレス板に接着剤を用いて酸化物粒子を全面にはりつめた試料も作製した。

はじめに、金属酸化物粉体を分散させたバインダー膜のイオン化ポテンシャルを測定した。つぎに、金属酸化物粉体を分散させたバインダー膜の電荷付

与特性をカスケード法により評価した。最後に、バインダー膜をコートしたステンレス板をパイプ状に加工して、内部を空気流に乗せて試料粉塵を通過させ、流送帯電に相当する帯電量を吸引式ファラデーケージで測定した。なおこの場合には、密着強度と機械的強度を考慮して、バインダー樹脂としてはポリカーボネートだけを使用した。

(倫理面への配慮)

本研究は研究対象が工業製品であり、人や動物を対象としないので、倫理面の問題はない。

C. 研究結果

C.1 カスケード法による帯電特性の評価

C.1.1 帯電量に対する滑落距離の影響

カスケード法において、ステンレス板上をフェライト粒子を滑落させたときのフェライト粒子の帯電量を滑落距離の関数として測定した。その結果、フェライト粒子は正極性に帯電し、30cm までの範囲では、滑落距離が長くなるほどフェライト粒子の帯電量と測定ごとの変動が増加することがわかった。流送帯電における粒子のパイプ内壁との摩擦、衝突が確率的なものであることと類似の結果と考えられる。

C.1.2 バインダー樹脂の比較

ステンレス板にバインダー樹脂のみをコーティングして、カスケード法によりフェライト粒子に対する電荷付与特性をしらべた。フェライト粒子はすべて正極性に帯電し、帯電量は、スチレンアクリル:0.55 $\mu\text{C/g}$ 、ポリカーボネート:0.60 $\mu\text{C/g}$ 、ポリふっ化ビニリデン:1.1 $\mu\text{C/g}$ 、であった。

C.1.3 金属酸化物粉体を分散させたバインダー膜の電荷付与特性

スチレンアクリル、ポリカーボネート、ポリふっ化ビニリデンのバインダー樹脂に、正帯電性の強い BaO 粉体を添加すると、フェライト粒子の帯電量は減少し、スチレンアクリルとポリカーボネートをバインダーに使用

した膜では、BaO 粉体の添加を増加させるとフェライト粒子の帯電は負極性に变化した。

つぎに、ポリカーボネートに、ZnO、V₂O₅、Fe₂O₃ 粉体を分散させた膜の電荷付与特性を調べた。これらの膜はすべて酸化物濃度によらずフェライト粒子を正に帯電させた。酸化物濃度を 80wt%まで増加させると、フェライト粒子の帯電量は、ZnO では減少、V₂O₅と Fe₂O₃では増加する傾向が認められた。

一方、フェライト粒子に代えて粒径約 2mmのナイロンペレットを滑落させてその帯電を測定したところ、すべての皮膜に対してナイロンペレットが正に帯電した。この結果は、ナイロンが正帯電性が非常に強いポリマーであることとつじつまが合う。

バインダー樹脂を使用せず、接着剤を用いて酸化物粉体をステンレス板にはりつめたシートがフェライト粒子与える電荷は、バインダー樹脂を使用した場合(酸化物濃度:50wt%)より大きいケース、小さいケースいろいろであった。

C.2 粉塵の帯電に及ぼす流送空気圧の影響

粉体の帯電を評価するには単位質量当たりの帯電量、Q/M、の値を用いるのが普通である。粉体の空気輸送においては、一般に、粉体の帯電量は搬送速度の増加につれて増加し、最終的には飽和値に達する。本研究の測定結果においても全体として同様の傾向が得られた。

ポリ塩化ビニール(PVC)粉体をふっ素系ポリマー製パイプ内を空気流に乗せて搬送した時、空気圧力を 1、2、3、4 kg/cm²と増加させると、帯電量は 0.33、0.41、0.85、1.2 μC/g と増加することが確認できた。ナイロン(カーボンブラック添加)粉体(正帯電)、エポキシポリエステル粉体(負帯電)でも同様の傾向が認められた。

同様に、BaO 粉体を 80wt%分散させたポリカーボネート皮膜をコーティングしたパイプでは、空気圧力が 1 kg/cm²、4 kg/cm²のとき PVC 粉体の帯電量は、それぞれ、-0.075 μC/g、-0.15 μC/g であった。

C.3 粉塵の帯電に及ぼすイオン化ポテンシャルの影響

低エネルギー電子分光装置を用いて測定した試料粉塵のイオン化ポテンシャルの値はつぎの通りであった。

ナイロン 11: 3.98 eV、ナイロン(カーボンブラック添加): 4.42 eV、ナイロン(酸化チタン添加): 4.72 eV、エポキシポリエステル: 5.86 eV、ポリ塩化ビニール: 4.62 eV、リコポディウム: 4.40 eV、ポリアクリルニトリル: 4.54 eV、酸化鉄: 4.34 eV

また、各種金属のイオン化ポテンシャルの値は、酸化状態により多少変化するが、全体としては、仕事関数の値にほぼ一致することを確認した。

一方、各種粉塵の帯電量はつぎのようであった。

ナイロン 11: 2.4 μC/g、ナイロン(カーボンブラック): 1.6 μC/g、エポキシポリエステル: -1.0 μC/g、ポリ塩化ビニール: 1.2 μC/g、ポリアクリルニトリル: 1.8 μC/g

これらの値は、ふっ素系ポリマー製のパイプの中を空気流に乗せて粉塵を搬送し、その時のパイプ内壁との摩擦による帯電を測定した結果である。搬送圧力は 4 kg/cm²である。上述のように、搬送圧力を小さくすると帯電量は減少する。

これらの結果は、粉塵のイオン化ポテンシャルの値と帯電量が密接に関係していることを示している。粒径が同一でないため単純には比較できないが、全体としては、イオン化ポテンシャルの値の小さい粉塵ほど正に帯電する傾向が認められ、その帯電量も大きい。

以上の結果を総合して、粉塵の空気輸送に際してつぎのような指針が与えられる。すなわち、輸送する粉塵のイオン化ポテンシャルと輸送に用いるパイプ内壁の材質のイオン化ポテンシャルの値がなるべく近い組み合わせになるようにすれば、粉塵に発生する電荷量を小さくできる。そのためには、パイプの材質を選択できれば一番よいが、それが困難な場合でも、パイプ内壁に適当なコーティングを施してイオン化ポテンシャルの値を調整することで、粉塵の帯電

量の減少が可能である。

C.4 粉塵の帯電に及ぼす流送パイプ内壁のコーティング

はじめにイオン化ポテンシアルの測定結果を記述する。本研究で使用した酸化物粉体のイオン化ポテンシアルの値は、BaO: 4.78eV、V₂O₅: 5.72 eV、Y₂O₃: 4.63 eV、Fe₃O₄: 4.40 eV であった。また、バインダー樹脂のイオン化ポテンシアルの値は、ポリカーボネート: 4.73 eV、スチレンアクリル共重合体: 5.82 eV、ポリふっ化ビニリデン: 5.15 eV であった。

以上の結果より、バインダー樹脂としてポリカーボネートを使用したバインダー膜をパイプ内壁にコーティングする場合、分散させる Fe₃O₄、Y₂O₃ の濃度を増加させると、中を空気輸送される粉体は正に帯電しやすくなると予想される。また、V₂O₅ を分散させた膜をコーティングすると、輸送される粉体は強く正に帯電するはずである。一方、BaO のイオン化ポテンシアルはバインダーのポリカーボネートとほとんど同じなので、濃度を増加させても粉体の帯電特性はあまり変化しないと考えられる。

内壁に酸化物を分散させたポリカーボネート皮膜のコーティングを施したパイプによるナイロン(カーボンブラック添加)粉体の帯電量は、MoO₃: 1.1 μC/g、TiO₂: 1.1 μC/g、V₂O₅: 1.2 μC/g、Fe₂O₃: 1.2 μC/g、BaO: 1.0 μC/g、ZnO: 1.3 μC/g であった。また、コーティングを施していないパイプ(ステンレス製)では、2.2 μC/g であった。空気圧力はともに 4 kg/cm²である。このように、ステンレスパイプ内壁に適切なコーティングを施すことにより、ナイロン粉体の帯電量を減少させられることが確認できた。ただし、これらの結果は、カスケード法による帯電特性、イオン化ポテンシアルの測定結果と厳密には一致していないが、原因は不明である。コーティングに伴って空気輸送の挙動が変化している可能性が考えられるが、今後の検討課題としたい。

D. 考察

D.1 カスケード法による帯電特性の評価

カスケード法による帯電特性の測定結果を総合すると、酸化物粉体の帯電列が

$$\begin{array}{l} \text{正} \quad \text{BaO} > \text{ZnO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \\ \text{MoO}_3 > \text{V}_2\text{O}_5 \quad \text{負} \end{array}$$

のように得られる。この結果を参考に、空気輸送する粉塵の種類に応じて、帯電傾向が似ている酸化物粉体を分散させたバインダー皮膜でパイプ内面にコーティングを施せば、粉塵の流送帯電量を減少させることが可能である。とくに、BaO は相手を強く負極性に帯電させ、V₂O₅ は相手を強く正極性に帯電させる酸化物であり、利用価値が高いと考えられる。

D.2 イオン化ポテンシアルの測定結果

本研究で使用した試料のカスケード法による帯電傾向と、イオン化ポテンシアルの測定結果は厳密には一致しないが、イオン化ポテンシアルの値が、BaO: 4.78eV、V₂O₅: 5.72 eV であることは特筆すべきである。BaO はイオン化ポテンシアルの値が小さく、自分自身の正帯電性が強い。逆に V₂O₅ はイオン化ポテンシアルの値が大きく、自分自身の負帯電性が強い。

D.3 粉塵の帯電に及ぼす流送パイプ内壁のコーティング

上述のように、内壁に酸化物を分散させたポリカーボネート皮膜のコーティングを施したパイプによるナイロン(カーボンブラック添加)粉体の帯電量は、MoO₃: 1.1 μC/g、TiO₂: 1.1 μC/g、V₂O₅: 1.2 μC/g、Fe₂O₃: 1.2 μC/g、BaO: 1.0 μC/g、ZnO: 1.3 μC/g であった。また、コーティングを施していないパイプ(ステンレス製)では、2.2 μC/g であった。空気圧力はともに 4 kg/cm²である。

自分自身の正帯電性が強いナイロン粉体を空気輸送する場合、パイプ内壁が鉄、ステンレスのように比較的負帯電性の強い物質で出来ていると、ナイロン粉

体は強く正に帯電するので放電に伴って着火、爆発が生じる可能性が十分考えられる。しかし、パイプ内壁に自分自身正帯電性の強いBaOのコーティングを施すと、ともに正帯電性が強いのでナイロン粉体の帯電量は大きくなり、着火、爆発の可能性が減少する。逆に、ポリエチレン、ふっ素系樹脂のように自分自身の負帯電性が強い粉体の場合は、鉄製のパイプなら内壁になにもコーティングしないか、V₂O₅をのように自分自身も負帯電性の強い酸化物のコーティングを施すことにより、空気輸送に伴う帯電量を抑制できると考えられる。

D.4 リサイクル品・廃棄物処理工場での流送帯電に起因する粉塵爆発災害の防止に関する指針

粉塵の流送帯電に起因する静電気放電による着火、燃焼、爆発を防止するためには、粉塵の帯電量を限界値以下に制御することが必要である。そのために、流送速度を遅くする、搬送空気の湿度を高めることに何の制約もないのであれば問題はない。

処理速度、生産性の面から、流送速度、搬送空気の湿度をある範囲にしか設定できない場合、空気輸送パイプの材質を選択する、あるいは、内面にコーティングを施すことにより、粉塵の帯電量を抑制することが可能であると考えられる。パイプの材質、コーティング膜の材質の選定にあたってはイオン化ポテンシャルの測定とカスケード法による測定により、その有効性がある程度予測することが可能である。

E. 結論

リサイクル品・廃棄物処理工場でハンドリングが必要になると予想されるポリマー、金属など各種粉塵の流送帯電を検討した結果、以下のような結論が得られた。

1. 各種ポリマー粉体の流送帯電量は流送の空気圧の増加につれて増加する。
2. 粉体の空気輸送を行うパイプの内壁にコーティングを施すことにより、粉塵の流送帯電量の抑制が可能である。

3. カスケード法によりコーティング膜の電荷付与性がある程度予想できる。
4. イオン化ポテンシャルを測定することにより粉塵の帯電傾向を予想できる。
5. BaOコーティングは輸送される粉塵の帯電を負極性側にシフトさせ、V₂O₅コーティングは正極性側にシフトさせる。

F. 健康危険情報 (特になし)

G. 研究発表

1. 論文発表

- (1) K. Choi, M. Yamaguma, T. Kodama, J. H. Joung, T. Y. Kim, M. Nifuku and M. Takeuchi : An Influence of Discharge Conditions on the Ignitability of Lycopodium Streams due to a Single Spark of Capacitance Discharge, KIEE International Transactions on Electro-Physical and Application (投稿中)

2. 学会発表 (なし)

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)