

静電気による災害事例と対策

産業安全研究所 山隈瑞樹*

1. はじめに

静電気は異種の物体同士の接触・分離、摩擦、破壊等何らかの物理的作用があったときに発生する。最も一般的な物質の接触・分離による発生過程を模式的に示すと図1のようになる。一般に、静電気のエネルギーは小さい。しかし、可燃性ガス・蒸気、ときには可燃性粉じんに着火するために十分なレベルには達することがある。静電気のエネルギーはJ(ジュール)という単位で表されるが、たとえば、人間が10kVに帯電したとすれば、そのエネルギーはおよそ5~10mJとなる。これは、プロパンガスはもちろん、ガソリンやメタノール等の蒸気の燃焼開始に必要なエネルギーをはるかに上回っているし、一部の敏感な粉じんにも着火するに十分な値である。

周知の通り、静電気による重大な災害は、爆発・火災である。特に、可燃性雰囲気と静電気の発生が同時に起こる工程では注意を払わなければならない。ここでは、静電気による爆発・火災のうち、

最も高い割合を占める粉体の取り扱いに関する災害事例(2例)を取り上げ、原因を検討した結果と再発防止対策について述べる。

2. 粉体の操作に伴う災害事例

2.1 フレキシブルコンテナによる粉体原料投入時の爆発災害(平成7年、傷2)

(1) 災害の概要

災害が発生したのは合成樹脂を製造するための反応工程(バッチプロセス)である。反応容器(ステンレス鋼製、容量15m³)にアルコール系溶剤を適量仕込み、その後、反応容器上部のマンホールから数種の粉体および液体の原材料を順番に仕込んで攪拌し、溶解させながら反応を起こすというものである。

爆発は、図2に示すように、ホイストからつり下げられた容量500kgのフレキシブルコンテナ(以下フレコン)から可燃性の粉体原料を投入中に、マンホール付近で発生した。この爆発で作業員2名が重度の火傷を負った。

* 物理工学安全研究部 労働技官

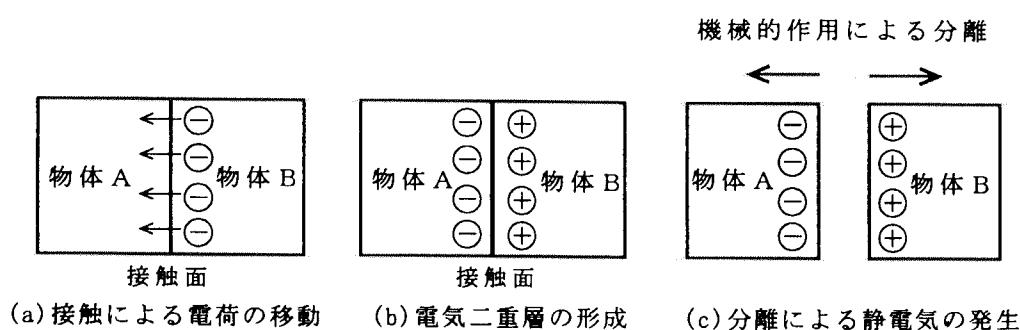


図1 接触・分離による静電気の発生機構

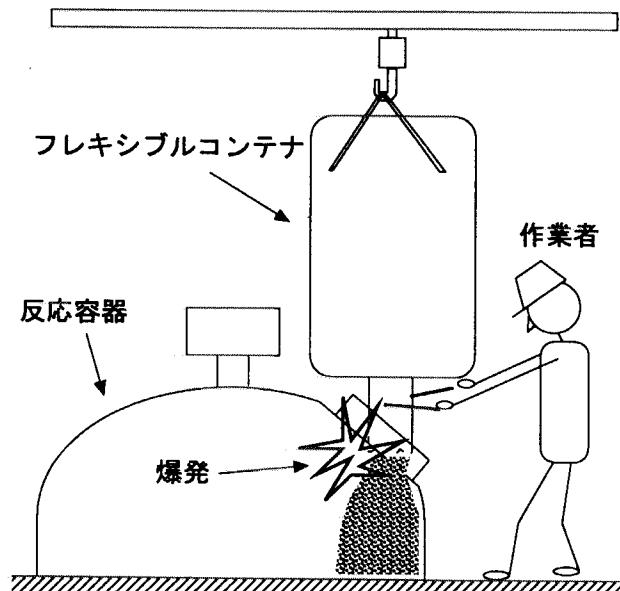


図2 フレコンによる粉体投入時の爆発災害

(2) 災害原因の推定

爆発物は、粉体原料または粉体原料とアルコール蒸気の混合物であった。また、着火源としては、爆発がマンホールの周辺で発生したこと、付近の電気機器の火花やタバコ等の裸火はなかったこと等から、粉体投入時に粉体との摩擦によって帯電したフレコンからの放電が着火源として注目され、以下のような調査が行われた。

本件で使用されたフレコンは、図3に示すような形状のものであり、本体の材質はポリエステルの基布にPVCを表裏にコーティングしたものが、排出口には導電性ゴム引き布が使用されており、また、つり下げ用ロープは合成繊維製で絶縁物であった。

まず、材質の電気抵抗（体積抵抗率）の測定結果は、本体が $10^9\Omega\cdot\text{m}$ 、排出口が $10^3\Omega\cdot\text{m}$ のオーダーであった。すなわち、本体は絶縁物、排出口は導体とみなすことができる。実際の電気的性質を評価するために、フレコンを種々の接地条件のもとで帯電させ、帯電電位の減衰特性を測定した。その結果、どこも接地しない場合はもちろんであるが、本体のみ接地した場合でも1時間以上の半減時間を必要とすることが判明した。これは、原料粉体の排出に数十秒を要すると仮定すると、本体を接地しても排出の間、電位は上昇していくこ

とを意味する。反対に、導体である排出口を接地した場合は、本体の電位も速やかに減衰し、対策上問題ないレベルであることが確認された。ただし、災害発生時には、フレコンはどの部分も接地されていなかった。

排出口とその直下に設置した金属板の間の静電容量は60pFであった。したがって、かりに帯電電位を10kVとし、火花放電が発生したとすれば、そのエネルギーは3mJ程度となる。この値はほと

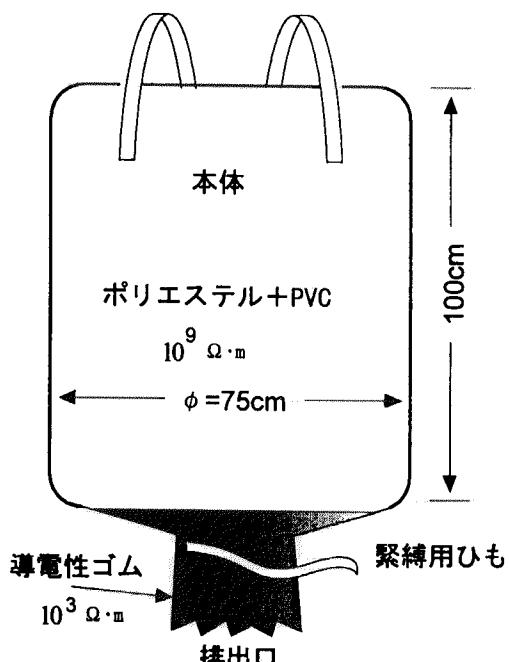


図3 被災したフレコンの構造

んどの可燃性ガス・蒸気を着火させるに十分なものである。

以上の実験結果から、フレコンから粉体原料を排出する際に、フレコンが帯電し、排出口(導体)とマンホール(導体)との間で火花放電が発生して、アルコールの蒸気に着火した可能性が高い。さらに、アルコール蒸気が燃焼するときの熱エネルギーによって可燃性の粉体原料にも引火し、粉じん爆発となつたと考えられる。

2.2 タンタル粉回収作業中の爆燃災害(平成9年、死1傷1)¹⁾

(1) 災害の概要

鉱石からコンデンサ原料用のタンタル粉体を製造する工場において発生した爆発災害である。タンタルは、近年、小型電子機器用のコンデンサの原料として需要が増加している物質である。事故は、工場屋外に設置してある局所排気設備のステンレス製集じん機で発生した。集じん機は、高さ約5m、幅及び横各1.5mのバグフィルタで下部は角錐形のホッパになっており、ホッパ下部にスライドダンパ(ステンレス製の板)を介して回収口がある。捕集量が約40kgとなったときに回収作業を行うこととなつたので、図4に示すように、二人の作業者が、粉を収納する導電性ポリ袋を用意して、回収作業を開始した。一袋目の回収を終え(推定回収量20kg)、二袋目の回収中、落下した粉が突然発火して両名の衣服に燃え移り被災した。フィルタバグは完全に焼損したが、発火地点が集じん機内なのか外部であるのか不明である。また、集じん機内部で高い圧力が発生した形跡はなかつた。

(2) 灾害原因の推定

タンタルは、真比重が 16.7g/cm^3 で、燃焼熱は $1,023\text{kJ/mol}$ である。すなわち、極めて重く燃焼熱が大きい。回収粉の純度は97.6~98.2%で、主な不純物は酸素であった。これは、粉の表面が酸化されていることを示している。粒度測定器による平均粒径は $31\mu\text{m}$ であったが、電子顕微鏡で観察したところ数 μm 以下の小さい粒子が多数凝集し、多くの気相を有する集合体であり、この形態が燃

焼危険性及び電気的特性に大きな影響を与えていると考えられる。

浮遊粉じんの最小発火エネルギー(以下MIEという)の実測値は、当該タンタル粉では $10\text{mJ} \sim 30\text{mJ}$ の範囲であった。従来の文献値²⁾では 120mJ であるので、事故を起こした粉体の粉じんはその1/4程度のエネルギーで着火することになる。

また、堆積粉のMIEの文献値は 3.2mJ であるが、実測の結果、回収粉体(かさ比重2.2、平均粒径 $31\mu\text{m}$)は 0.2mJ で着火した。比較のため、製品2種類についても最小着火エネルギーを測定したところ、一方(かさ比重2.2、平均粒径 $77\mu\text{m}$)は 1.3mJ 、他方(同4.5、 $47\mu\text{m}$)は 30mJ であり、回収粉体のMIEは製品に比べ1~2桁低いことが判明した。回収粉体が平均粒径が小さいにもかかわらずかさ比重が小さいところから見て、堆積状態における気相部分の多寡がMIEに影響しているものと考えられる。

上記のように、実測の結果、非常に小さいエネルギーで着火することが判明したことから、本件事故と静電気との関連を検討するために、タンタル粉およびバグフィルタ等の資材について静電気的特性を測定した。

まず、タンタル粉の体積抵抗率は約 $8 \times 10^{10}\Omega \cdot \text{m}$ であり、これは帶電性不導体として扱うべき数値であった。集じん機はステンレス製であるので、同じステンレス製のスパウトでタンタル粉を滑落させて静電気の発生量を測定したところ、 $-0.12 \sim -0.49\mu\text{C/kg}$ の帶電量が得られた。この値も危険なレベルであった。

バグフィルタ(帶電防止品)および導電性ポリ袋の抵抗率および摩擦帶電量を調査したところ、バグフィルタは帶電防止効果を有するが、ポリ袋は、導電性処理が施されているとはいえ抵抗率は十分小さいとはいはず、接地の効果はほとんど期待できないものであった。

静電気放電を着火源と仮定した場合、バグフィルタは適切に使用されていたと考えられるので、ここでのはく離帶電および放電の発生は否定できる。他方、ポリ袋に回収されたタンタル粉につい

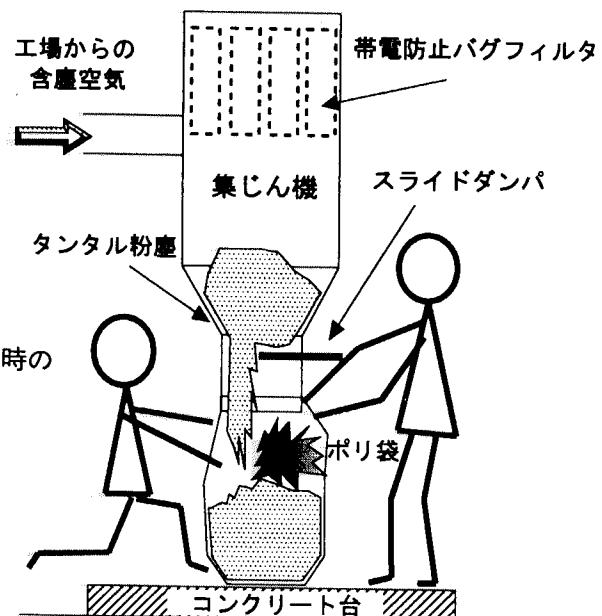


図4 タンタル粉回収作業時の爆燃災害

ては、ステンレスとの摩擦によって大量の静電気が発生することが実験によって確かめられているので、事故当時も同様の帯電状態にあったと推定できる。ここで、タンタル粉が $0.1 \mu\text{C}/\text{kg}$ の電荷密度であったと仮定すると、理論上は、回収量20kgのとき、 $2 \mu\text{C}$ の電荷が蓄えられ、かつ、部分的には数十 kV の電位になる可能性があり、粉体表面、ポリ袋内面、または作業者と粉体間等で放電が発生する可能性は否定できない。堆積されたタンタル粉の MIE は 0.2mJ 程度と非常に小さい値があるので、人間が知覚できない程に弱い放電でも着火する確率は高いと考えられる。

3. 災害の防止対策

(1) 容器の帯電防止

フレコン、ポリ袋等の容器は導電性材料を用いて導電性を高めることにより、接地して静電気を緩和することができる。ただし、この場合、接地しないで使用すると、最初の事例に示したように、蓄積した電荷によってエネルギーの大きな火花放電を発生する危険性が高まるので、接地を確実に実施されるよう作業手順上の工夫を行うことが望ましい。

(2) 人体の帯電防止

作業者は移動、他の物質との接触等の動作の際に帯電するので、静電気放電が懸念される作業場所では、静電靴、静電防止作業服の着用等の対策

が必要である。この場合、同時に床も帯電防止仕様とする。

(3) 可燃性霧用気の除去

静電気放電等の着火源が存在しても、可燃性雰囲気がなければ爆発・火災は発生しない。静電気の発生が不可避な場合には、不活性ガスを供給して可燃性雰囲気の酸素濃度を規定値³⁾まで低下させる。また、局所排気装置等を用いて気流を発生させることにより蒸気が希薄となり着火の危険性が軽減されるので、開放空間での作業では有効な方法である。

4. む す び

粉体を例にして、災害の発生機構および防止対策について概説した。この種の災害防止の要点は、静電気の発生防止と可燃性雰囲気の除去に尽きる。必ずしも両者が満足される必要はないので、状況に応じて、どちらか一方が確実に実行できるようすればよい。拙稿が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 松田東栄, 山隈瑞樹, タンタル粉じんの発火事故原因について, 安全工学研究発表会, (1997)
 - 2) M.Jacobson, A.R.Cooper and J.Nagy, US Bureau of Mines, RI 6516, p.1 (1964)
 - 3) 静電気安全指針, 労働省産業安全研究所(RIIS-TR-87-1), (1988)