

論 文

帯電したプラスチックシートからの放電による
アセトン-空気混合気の着火性

藤岡清悟*, 藤井陽三*, 中塚木代春*
澤栗安美*, 増田閃一**

(1977年8月15日受理)

Incendivity of Discharges from Electrostatically Charged
Plastic Sheets to Acetone-Air Mixtures

S. FUJIOKA,* Y. FUJI,* K. NAKATSUKA,*
Y. SAWAGURI* and S. MASUDA**

(Received August 15, 1977)

The maximum electrostatic charge density of 370 nC/cm² was obtained by corona charging over areas of polyethylene sheet contacted with an earthed back conductor. This value is more than 100 times of the theoretical upper limit for an isolated plastic sheet. It was found that energy of discharges from plastic sheets contacted with an earthed back conductor was so high as to ignite very poor acetone-air mixture. For instance, electric discharge from a polyvinyl chloride sheet with charge density of 78 nC/cm² could ignite the mixture of acetone (3.5%) and air (96.5%). However, mixtures of acetone (2.6-2.7%) and air, near the lower limit of explosion, could not be ignited by discharges at the charge density below 79 nC/cm².

1. はじめに

昭和51年7月27日住友化学工業(株)大阪製造所において、合成染料製造工程の反応容器内で原因不明の小爆発事故が発生した。調査の結果、小爆発を起こした物質はアセトンと空気の混合気であることが明らかになった。本工程ではドラム罐入りのポリエチレン袋詰め粉末状原料を反応容器に投入する際に、原料粉末とポリエチレンシート(厚さ 0.08 mm)との摩擦によって明らかに静電気の発生が認められ、着火源としてはその放電以外に考

えられないという推論に到達した。

しかしながら、反応容器内の気相部は、常圧下 2.5°C に冷却された 30% アセトン水溶液と気液平衡にあるアセトン蒸気が拡散した状態にあり、その平均濃度は実測によると上層で 0.3%，下層で 2.6% と上部ほど希薄になっていた。すなわち、原料粉末の投入時、静電気放電の発生確率が大きい反応容器上層の濃度は希薄であることが判明した。したがって、器内がこのような濃度分布になっている混合気に対し、ポリエチレンシートの電荷密度が通常帶電しうる程度であるとすると、その静電気放電では到底着火させることができないかと考えた。

すなわち、アセトン-空気混合気の爆発限界内におけるアセトン濃度と着火エネルギーの関係を明らかにした報告はみられないが、アセトン濃度 4.97% のとき着火エネルギーは最小で 1.15 mJ であるとする文献¹⁾がある。メチルエチルケトンなどの実測例^{2,3)}を参考にして類推すると、アセトン-空気混合気におけるアセトン濃度と着

* 住友化学工業株式会社大阪製造所研究部 (554 大阪市此花区春日出中 3-1-98)

Research Department, Osaka Works, Sumitomo Chemical Co., Ltd., 3-1-98, Kasugade-naka, Konohana-ku, Osaka 554, Japan

** 東京大学工学部電気工学科 (113 東京都文京区本郷 7-3-1)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo, 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

火エネルギーの関係は、アセトン濃度 2.6% (常温常圧下の爆発下限) で着火エネルギーはおよそ 10^3 mJ のオーダーで、3.3% (常圧下、 2.5°C 30% アセトン水溶液と平衡状態にある気相部のアセトン濃度) ではおよそ 10^2 mJ のオーダーと予想される。かりに静電気放電の発生可能な空間のアセトン濃度が、何らかの原因で器内の気液平衡値まで上昇したとしても、 10^2 mJ に匹敵するほど大きなエネルギーの放電を生ずる静電気がポリエチレンシートに帯電する必要があり、このことは通常の条件下での摩擦帶電では考えにくいからである。

ところが Heidelberg⁴⁾ は、1970年に密着した背後導体を有する十分薄い絶縁物シートには、導体が存在しないときに比べて 10~100 倍量の電荷が帯電しすること、およびこれが放電すると着火力がきわめて強い沿面放電を生ずることを示した。彼は塩化ビニル上で発生することの沿面放電によって、4~73% の水素および 1.3~6.5% のヘキサンが着火したと報じているが、この放電の着火性についての詳細な報告はまだ見当たらない。本事故例において、もしドラム罐の内壁に接した原料粉末入りポリエチレン袋を密着背後導体を有する絶縁物シートと見なすと、そこに発生する強力な沿面放電は、前述のように高い着火エネルギーを必要とする希薄なアセトン-空気混合気をも着火しうる可能性があるのではないかかと考えた。

そこで筆者らは、

- (1) 絶縁物シートとして薄いポリエチレン (スミカゼン F 101-1[®])、塩化ビニル (サンロイド A-100[®])、ポリエステル (東洋紡エステルフィルム E-5000)などのプラスチックシートを使い、背後に接地導体を密着したときと密着しないときにおける静電気の帶電量の差異、
- (2) 種々の表面電荷密度に帯電させた上記プラスチックシートからの放電によるアセトン-空気混合気の着火性、

を定量的に明らかにし、これによってアセトン-空気混合気系における静電気放電の着火源としての位置づけを明確にした。また、これによって同種事故の再発防止に有用なデータを得ることができた。

以下にその第1報として、主としてポリエチレンシートを用いて行なった実験の結果を報告する。

2. 実験方法ならびに実験結果

2.1 実験装置

ポリエチレンシートを帯電させ、この帯電電荷の放電によるアセトン-空気混合気の着火性を調べるために図1の装置を製作使用した。爆発容器は直径 300 mm、高

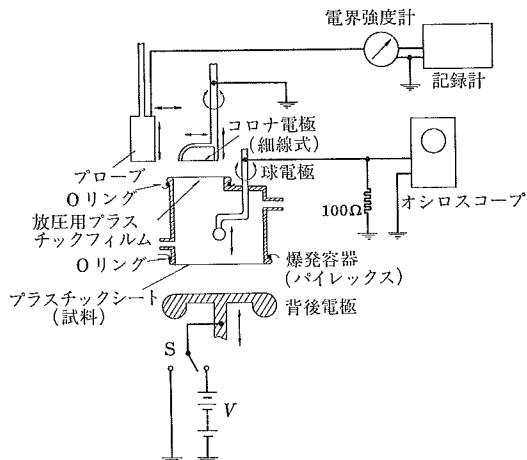


図 1 プラスチックシートからの放電とその着火性を検討する実験装置の模式図

Fig. 1 Schematic diagram of apparatus used to study discharges from plastic sheets and their incendiability.

さ 200 mm のパイレックス製で、底部に試料のポリエチレンシートを O リングで取り付けた。シートが厚いときは O リングの代わりに油粘土で貼り付けた。シートと背後平板電極との間隔を調節してから、平板電極に高電圧を印加し、シートの上から弓型アームで支張した細線コロナ電極を近づけて回転させ、コロナ放電によりシートに帯電させた。次にコロナ電極を爆発容器外へ出し、平板電極の高電圧を断つて接地するとともに、電界強度計のプローブを爆発容器内に降ろし、シートの帶電量を測定した。このときシート上の帶電電荷の減衰を調べるために、電界強度計に記録計を接続した。

この後爆発容器の上部を放電用プラスチックフィルムと O リングで密閉して、アセトン-空気混合気を容器に充填し、退避していた球電極を容器の中心部から試料シートに向かって下降させた。放電が生ずると、オシロスコープの垂直偏向回路に入れたコンパレータで放電を検出し、球電極の下降を停止させて、放電が生じたときの球電極とシートとの距離を測定できるようにした。

電界強度計のプローブ、コロナ電極、および球電極の上下駆動用モータの軸に取り付けた光電式回転数検出器の出力をリバーシブル・カウンタで計数して、プラスチックシートとの距離を 0.1 mm 単位で常時表示できるようにした。また、電界強度計のプローブおよびコロナ電極は、プリセットした距離で停止できるようにした。平板電極と試料シートとの間隔は、ダイアル・ゲージを使用して 0.01 mm 単位で測定可能にした。

また試料シートと平板電極とを密着させるときには、シートの平板電極側に導電性塗料を塗布して、背後接地

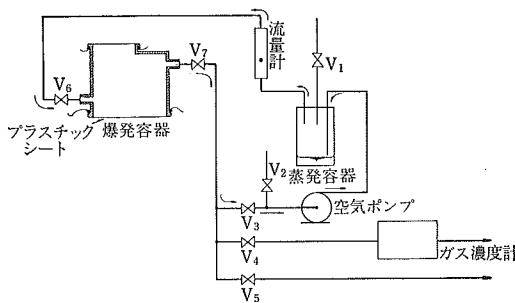


図 2 アセトン-空気混合気を爆発容器に充填する装置の模式図
Fig. 2 Schematic diagram of apparatus used to produce acetone-air mixtures in the explosion chamber.

電極とシートとの間の密着性を確保した。

爆発容器にアセトン-空気混合気を充填するために図2の装置を用いた。バルブ V_1 から蒸発容器に一定量の液体アセトンを注入し、バルブ V_1 , V_2 , および V_4 を閉じ、 V_3 , V_5 , V_6 , および V_7 を開いてポンプを動かし、爆発容器内に希望する濃度のアセトン-空気混合気を作った。バルブ V_5 はアセトンの気化にともなう体積変化を吸収するためのものであり、気化終了後に閉じる。

アセトン-空気混合気の濃度は、標準混合気によって較正した濃度計を用いて毎回測定した。

爆発実験後の爆発容器内の残留気体は、バルブ V_2 から新鮮な空気を取り入れながら V_5 を通じて排気した。

2.2 帯電条件と帶電量

まず試料ポリエチレンシートを帯電させる条件と、帯電量との関係を調べた。とくにシートと平板電極を密着させたときと非密着のときの帯電量の差に主眼を置いた。

実験は次の条件を固定して行なった。

(1) 試料ポリエチレンシートに負電荷を帯電させた(正の場合よりも着火力の強い放電を生ずる^{4,5)}。また粉末原料との摩擦でポリエチレンシートは負に帯電する)。

(2) コロナ電極を1回転させて帯電した(1回転と10回転とで帯電量に差がなかった)。

(3) 帯電操作完了から65秒後の帯電量を測定した(装置の性能上、帯電操作完了後、帯電量測定までに最低65秒要する)。

(4) 帯電量は回転セクタ形電界強度計で測定し、この測定値をシート表面の電荷密度に換算した。

(5) 試料ポリエチレンシートとコロナ電極間の距離は50 mmとした。

一方、次のパラメータは下記のように変動させた。

(1) 試料シートと平板電極間の間隔 d_2 を、0 mm(密

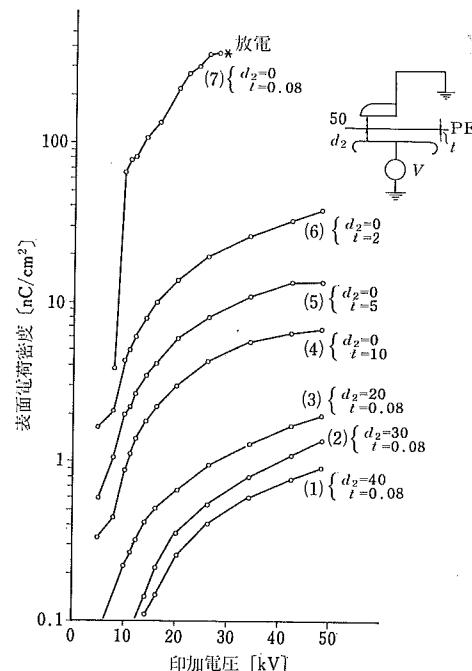


図 3 接地背後導体を密着した場合および密着しない場合のポリエチレンシートの表面電荷密度

Fig. 3 Charge density on polyethylene sheets with and without earthed back electrode.

着) から 40 mm まで変化させた。

(2) 平板電極への印加電圧 V は、5 kV から 48 kV まで変化させた。

(3) 試料シートの厚さ t は、0.08 mm から 10 mm まで変えた。ただし平板電極を非密着のときには 0.08 mm のもののみを使用した。

得られた表面電荷密度と平板電極印加電圧との関係を図3に示す。

平板電極をシートに非密着の場合には、同じ印加電圧ならシートと平板電極との間隔 d_2 が短くなるほど帯電量が増加した(曲線 1, 2, 3)。また平板電極を非密着のとき、実験条件の範囲内で得られた最高の帯電量は 2 nC/cm² であった。この値は、理論的な最高帯電量 2.7 nC/cm²、あるいは N. Gibson ら⁶⁾が摩擦によってポリエチレンに帯電させたときの帯電量 1.1~2.3 nC/cm² の最大値とはほぼ一致している。

次に平板電極をシートに密着した場合、同じ印加電圧のもとではシートが薄いほど帯電量が多くなった(曲線 4, 5, 6, 7)。このときは実験条件の範囲内で最高 370 nC/cm² まで帯電しえたが、荷電 65 秒後のこの値は非密着で得られた最高帯電量 2 nC/cm²、および非密着時の理論限界帯電量 2.7 nC/cm² の 100 倍以上にも達する値である。

曲線 7 の場合に、 370 nC/cm^2 以上の帶電量を得るため平板電極印加電圧を 30 kV に上げたところ、ポリエチレンシート上で沿面放電を生じた。帶電電荷によるシート内の電界で、シートの絶縁破壊が起こってピンホールを生じ、これを中心として沿面放電が生じたものと考えられる。

2.3 帯電電荷の減衰

試料ポリエチレンシートに荷電したのち、爆発容器内にアセトン-空気混合気を充填し、着火操作を行なうのでこの間にシート上の電荷が減衰する。

図 4 に平板電極密着時の空気中での電荷減衰曲線（荷電後65秒以後）の一例を示す。爆発容器内の相対湿度 RH の増加とともに減衰が速くなるが、RH=37~72% の間ではその差はわずかであり、いずれも緩やかな減衰を示した。

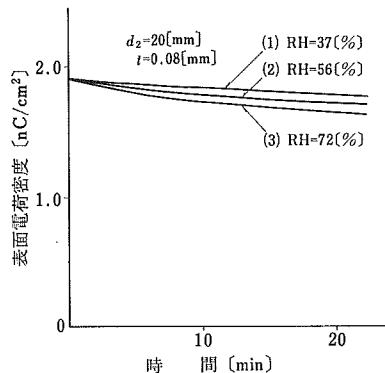


図 4 孤立したポリエチレンシート上の電荷の減衰曲線
Fig. 4 Decay curves of electrostatic charge on isolated polyethylene sheet.

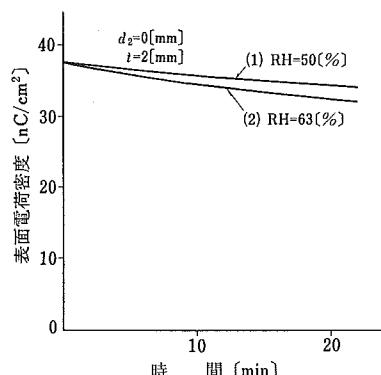


図 5 接地背後導体を有するポリエチレンシート上の電荷の減衰曲線

Fig. 5 Decay curves of electrostatic charge on polyethylene sheet contacted with earthed back electrode.

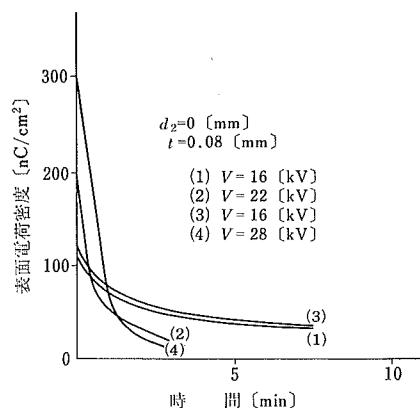


図 6 接地背後導体を有するポリエチレンシート上の電荷の減衰曲線

Fig. 6 Decay curves of electrostatic charge on polyethylene sheet contacted with earthed back electrode.

平板電極を密着した場合の電荷減衰も、図 5 に示すように図 4 と同様の緩やかなものであった。ただし、厚さ 0.08 mm のポリエチレンシートでの電荷減衰は、図 6 に示すようにきわめて特異であり、他と比較して著しく速い。さらに、たとえば曲線 1 と 4 とが測定開始後約 1 分の時点で交差することからわかるように、初期帶電量が多いほど減衰速度が速く、とくに測定開始から 1 分以後の帶電量は初期帶電量が増加すると逆に減少した。

この現象は、多量の帶電によってこのようにとくに薄いポリエチレンシートが絶縁破壊を生じ、ピンホールが発生したためとも考えられる。しかしながら、曲線 1 は新しいシートに平板電極印加電圧 16 kV で荷電したものであり、曲線 3 は 22 kV で帶電させた後のシートに印加電圧を曲線 1 と同じ 16 kV に戻して荷電したものであるが、両者の曲線はよく一致している。したがって、多量の帶電によってポリエチレンシートに絶縁破壊などの不可逆的変化が生じたために、帶電電荷の減衰が速くなったとは考えにくい。

表 1 に各種プラスチック材料の通気性定数を示す⁷⁾。この表より、ポリエチレンは空気の主成分である窒素および酸素に対する通気性が大であることが知られ、ポリエチレンシート上に帶電した電荷は、シートの通気性部分を通じて背後平板電極へ急速に漏洩する可能性を考えられる。

そこで、通気性定数がポリエチレンの $1/100$ 以下であるポリエチレンに背後電極密着下で帶電させて、その電荷の減衰を測定した。ただし、その厚さはポリエチレンとほぼ等しい 0.10 mm 厚とした。なお表面抵抗率はポリエチレンシートが $3.6 \times 10^{15} \Omega$ で、ポリエチレンシート

表 1 各種高分子の 25°C における通気性定数⁷⁾
Table 1 Gas permeability constants of some polymers at 25°C^{7).}

高 分 子	通 気 性 定 数*	
	窒 素	酸 素
ポリエチレン	11.7	55
ポリエステル	0.05	0.3
ポリ塩化ビニル	0.4	1.2
ポリ塩化ビニリデン	0.01	0.05
シリコンゴム	2,000	6,000

* 単位: [cc(STP)·mm/cm²·s·cmHg × 10¹⁰]

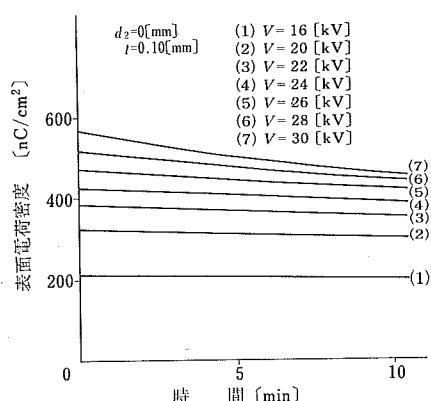


図 7 接地背後導体を有するポリエステルシート上の電荷の減衰曲線

Fig. 7 Decay curves of electrostatic charge on polyester sheet contacted with earthed back electrode.

トが $2.1 \times 10^{16} \Omega$ であった。

測定の結果、ポリエステルの場合は図 7 に示すように帶電電荷の減衰はきわめて遅く、ポリエチレンシートの平板電極非密着のときと同程度となるという興味ある事実を見いだした。

したがって、背後平板電極を密着した薄いポリエチレンシートに帶電した電荷は、おもにシートの通気性部分を通じて平板電極へ漏洩し、その速度はシートの通気性に依存するところが大きいものと考えられる。

したがって、シートの厚さが増加するとシート全体の通気性が減少するので、厚さ 2 mm 以上のポリエチレンシートの場合には、厚さ 0.08 mm の場合のように異常に速い電荷の減衰が生じなかつたのではないかと考えられる。

2.4 放電の着火性

背後平板電極を密着したポリエチレンシートに負電荷を帶電させ、接地した対向球電極との間に放電を発生さ

せて、この放電によるアセトン-空気混合気の着火性を調べた。全実験を通じて、対向電極としては最も高い着火性傾向をもつといわれている直径 20 mm の球電極⁶⁾を使用した。厚さ 0.08 mm のポリエチレンシートを平板電極に密着すると、前述のように 370 nC/cm² まで帶電させえたが、このときには帶電電荷の減衰が著しく速く、爆発容器にアセトン-空気混合気を充填中にシート上の電荷の約 90% が消滅する。このためポリエチレンの場合に着火実験を行ないえた最高の帶電電荷密度は、厚さ 2 mm のシートを使ったときでその値は 35 nC/cm² であった。ポリエチレンの代わりに厚さ 2 mm の塩化ビニルシートを使えば、71~79 nC/cm² の電荷密度で着火実



図 8 負に帶電したポリ塩化ビニルシートと球電極 (20mmφ) 間の放電の写真 (サイドビュー)

Fig. 8 Photograph of discharge between a negatively charged polyvinyl chloride sheet and a 20mmφ sphere (side view).

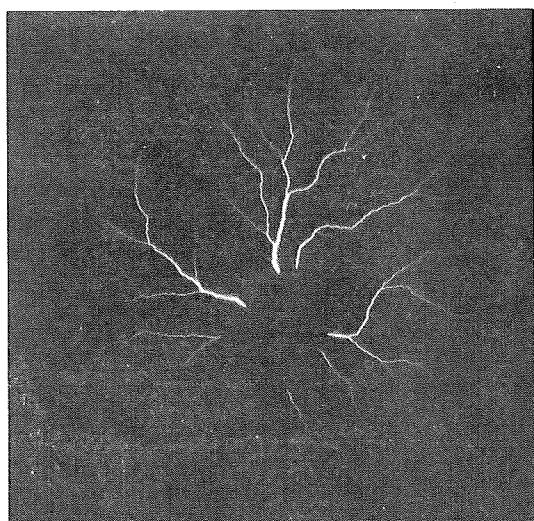


図 9 負に帶電したポリ塩化ビニルシートと球電極 (20mmφ) 間の放電の写真 (トップビュー)

Fig. 9 Photograph of discharge between a negatively charged polyvinyl chloride sheet and a 20mmφ sphere (top view).

表 2 帯電したプラスチックシートからの放電によるアセトン-空気混合気の着火性データ
Table 2 Incendiary data for acetone-air mixture by discharges from charged plastic sheets.

No.	アセトン濃度 [vol %]	電荷密度 [nC/cm ²]	シートと球電極* との間隔 [mm]	着火の有無	試料シート
1	2.6	34	12.4	無	PE**(<i>t</i> =2)
2	2.6	29	4.6	無	PE**(<i>t</i> =2)
3	2.6	29	4.6	無	PE**(<i>t</i> =2)
4	2.7	30	6.2	無	PE**(<i>t</i> =2)
5	2.6	34	9.4	無	PE**(<i>t</i> =2)
6	2.6	35	9.3	無	PE**(<i>t</i> =2)
7	2.6	79	21.0	無	PVC***(<i>t</i> =2)
8	2.7	71	17.5	無	PVC***(<i>t</i> =2)
9	2.7	74	15.0	無	PVC***(<i>t</i> =2)
10	2.7	74	17.9	無	PVC***(<i>t</i> =2)
11	2.7	78	14.4	無	PVC***(<i>t</i> =2)
12	2.6	79	—	無	PVC***(<i>t</i> =2)
13	3.5	78	—	有	PVC***(<i>t</i> =2)
14	4.1	38	—	有	PVC***(<i>t</i> =2)
15	4.2	32	15.1	有	PVC***(<i>t</i> =2)
16	3.3	32	15.2	無	PVC***(<i>t</i> =2)

* 直径 20mm の球電極

** 厚さ 2mm のポリエチレンシート

*** 厚さ 2mm のポリ塩化ビニルシート

験を行ないえたので、以下の実験では塩化ビニルシートも使用した。

着火実験を行なうにあたり、まず放電の様態を調べた。図 8 および図 9 は厚さ 2 mm の塩化ビニルシートを 78 nC/cm² に帯電させ、これに 20 mmφ の球電極を接近させたときに生ずる放電の写真である。写真において、シートと球電極との間に明るい光条が見られ、またこの光条がシート上で拡がっていることから、この放電が強力な沿面放電であることがわかる。この沿面放電は直径 30 cm のシートのほぼ全面に拡がる強力なもので、放出されるエネルギーもきわめて大きいものと予想される。

次に予備的な着火実験を行なった。表 2 の 13~14 に、アセトン-空気混合気のアセトン濃度、シートの電荷密度、球電極とシートとの間隔、および着火の有無についての実験結果を示す。

78 nC/cm² に帯電した背後密着平板電極付きの厚さ 2 mm の塩化ビニルシートからの放電により、濃度 3.5% のアセトン-空気混合気が着火した。したがって接地背後導体に密着したプラスチックシートに帯電した電荷は、きわめて着火性の強い放電を生じうることが明らかとなった。このときの着火の状況を図 10 に示す。

図 10 に見られるように、爆発容器の上蓋のフィルムが破れて、火炎が約 50 cm 立ち昇ったが、実験装置に影響はなかった。さらに 38 nC/cm² に帯電した塩化ビニルシートからの放電により、4.1% のアセトン-空気混合

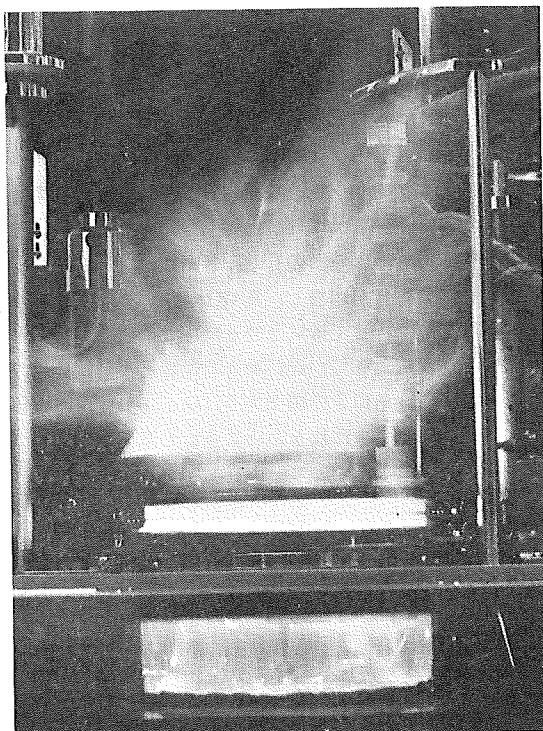


図 10 ポリ塩化ビニルシートと球電極 (20 mmφ) 間の放電によるアセトン-空気混合気の爆発の写真

Fig. 10 Photograph illustrating explosion of acetone-air mixture ignited by discharge between a polyvinyl chloride sheet and a 20mmφ sphere.

気が着火した。また 32 nC/cm^2 の場合には、4.2% のアセトン-空気混合気は着火したが、3.3% の混合気は着火しなかった。したがって、電荷密度 35 nC/cm^2 (本実験で得られたポリエチレンシート上の最大値) 以下に帶電したポリエチレンシートからの放電によっては、3.3% (2.5°C における 30% アセトン水溶液の気相部の平衡濃度) 以下のアセトン-空気混合気が確実に着火するとはいえない。

そこで、 $29 \sim 35 \text{ nC/cm}^2$ に帶電した厚さ 2 mm のポリエチレンシートからの放電による、濃度 2.6~2.7% (爆発下限付近) のアセトン-空気混合気の着火性を調べた。この結果、表 2 の 1~6 に示すように 6 回のうち 1 回も着火は起らなかった。

さらに 2 mm 厚の塩化ビニルシートを使って、この範囲の低濃度混合気につき $71 \sim 79 \text{ nC/cm}^2$ の電荷密度で実験を行なった。しかし、この結果も表 2 の 7~12 に示すように、6 回のうち 1 回も着火しなかった。

したがって、 $29 \sim 79 \text{ nC/cm}^2$ に帶電したプラスチックシートからの放電で、2.6~2.7% の爆発下限付近のアセトン-空気混合気が着火することはないといふ判断できる。

3. 結 論

コロナ荷電法によってポリエチレンシートに帶電しする電荷量を調べた結果、シートが背後平板電極と離れているときには、平板電極をシートに近付けるに従って帶電量は増加し、距離が 20 mm のときには、N. Gibson ら⁶⁾がポリエチレンシートを摩擦して得た最高の帶電量にはほぼ等しい 2 nC/cm^2 の値を得た。ポリエチレンシートと背後平板電極とを密着したときには、シートが薄くなるに従い帶電量が増加し、0.08 mm 厚のシートには最高 370 nC/cm^2 まで帶電させえた。この値は、シートに背後導体が密着していない場合の理論限界帶電量 2.7 nC/cm^2 の 100 倍以上の値であり、シートの背後に導体が密着しているときにはきわめて多量の電荷がシート上に蓄積しうることを示している。

また、厚さ 0.08 mm のポリエチレンシートに背後平板電極を密着して帶電させると、電荷は他の場合と比べて著しく速く減衰した。一方、通気性定数がポリエチレンの約 1/100 のポリエチレンの場合には、厚みが同じでも減衰が非常に遅いといいう興味ある事実を見いたした。ポリエチレンシートにおけるこの速い減衰は、電荷がシートの通気性の部分を通じて背後の密着平板電極へ逃げる可能性を暗示している。

次に密着した接地背後導体の存在する帶電したプラスチックシートと、接地球電極間の放電によるアセトン-空気混合気の着火性を調べた実験からは、 78 nC/cm^2 に

帶電した塩化ビニルシートからの放電によって 3.5% のアセトン-空気混合気が着火した。それゆえ、密着した接地背後導体を有する帶電したプラスチックシートは、接地導体を近づけるとこれとの間に着火性の強い放電を生じうることが明らかとなった。一方、 $29 \sim 79 \text{ nC/cm}^2$ に帶電したプラスチックシートからの放電による爆発下限付近 (2.6~2.7%) のアセトン-空気混合気の着火性を調べた結果、まったく着火しなかった。

いま上記の結果をふまえて、本研究の発端となった事故時の条件を考察する。接地背後導体であるドラム罐に密着した厚さ 0.08 mm のポリエチレンシートは、原料粉末との摩擦で強力に帶電するものと考えられる。そしてこのシートがドラム罐から剥離すると、シートに対向するドラム罐から強力な放電が発生するであろう。このときの電荷密度は、シートが薄いこと、帶電と放電との時間遅れがなく電荷減衰が考えられること等を勘案すると、着火に大きなエネルギーを要す低濃度のアセトン-空気混合気をも着火させうるものであったのではないかと予想される。

今後、接地背後導体が密着したプラスチックシートからの放電による種々の濃度のアセトン-空気混合気への着火実験を行なうとともに、アセトン-空気混合気の各濃度における最小着火エネルギーを測定し、両者の結果を比較検討する予定である。

終りに、本研究の発表を許可された住友化学工業(株)専務取締役・大阪製造所長錦田知純氏に、また実験装置の設計に協力をいただいた大阪製造所坂本祐彦、脇元武徳、田川聞悟、楠延夫の各氏に、さらに、ポリエチレンシートの提供ならびにプラスチックシートの性質について適切な助言をいただいた中央研究所井上真一氏に衷心より感謝するしだいである。

参 考 文 献

- 1) J. B. Fenn: Ind. Eng. Chem., 43, 12 (1951), 2865.
- 2) H. F. Calcote, C. A. Gregory, Jr., C. M. Barnett and R. B. Gilmer: Ind. Eng. Chem., 44, 11 (1952), 2656.
- 3) M. V. Blanc, P. G. Guest, G. von Elbe and B. Lewis: J. Chem. Phys., 15, 11 (1947), 798.
- 4) E. Heiderberg: Proceedings of the 1st International Conference on Static Electricity, p. 351, May (1970).
- 5) 田畠泰幸: 産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-72-1 (1972).
- 6) N. Gibson and F. C. Lloyd: Brit. J. Appl. Phys., 16 (1965), 1619.
- 7) H. F. Mark, N. G. Gaylord and N. M. Bikales: Encyclopedia of Polymer Science and Technology, p. 630, Interscience Publishers (1966).