

## 論 文

## 石油タンク内清掃作業による静電気帯電に関する事例研究

田 村 裕 之<sup>\*,1</sup>

(2007年8月31日受付; 2008年1月30日受理)

Case Study on Electrostatic Charging during Cleaning Work  
in an Oil Storage TankHiroyuki TAMURA<sup>\*,1</sup>

(Received August 31, 2007; Accepted January 30, 2008)

While seven workers were cleaning to eliminate sludge in an oil storage tank with floating roof, a fire occurred and five workers out of them died. It is thought one of the fire causes is ignition by electrostatic discharge. We investigated into the risk of electrostatic discharge. Taking up some works which were likely to cause electrostatic electrification during cleaning works in the tank, we measured the electrostatic potential of a human body or tools, and verified the risk of electrostatic discharge. We carried out operations which simulated the cleaning works in the tank. The electrostatic potential of a human body and clothes at that time were measured. The electrostatic potential did not rise greatly only by the cleaning work operations. The metal tool with resin coating had a possibility that the resin portion was charged with electricity highly. There was a possibility that high electrostatic potential appeared in a metal part by this electrification and an electrostatic discharge was generated. Moreover this electrostatic discharge energy could exceed the minimum ignition energy of inflammable fuel-air mixture. When working in an oil storage tank, it is not recommended to use the metal tool with resin coating for fire safety.

## 1. はじめに

浮屋根式原油タンクにおいて原油スラッジを除去する清掃作業のために、換気用のファンを運転させながら複数人が入槽して作業をしていた。浮屋根は着底した状態で、作業者は浮屋根と床の間の高さ2 mほどの空間で作業をしていた。作業者は、ホースで受け入れた軽油とスラッジを攪拌し、スラッジをトンボで掻き集め、ポンプで吸い出していた。この作業中にタンク内で火災が発生し、5名が亡くなった。この火災の幾つか想定される出火原因のうちのひとつとして、静電気放電による着火も考えられる。石油タンク内で作業する際の人命安全を図るため出火危険を排除する必要があると考え、我々はタンク内の作業中に静電気帯電を起こしそうな作業をいくつか取り上げ、人体や着衣、道具等の帯電電位を計測し、放電の危険性について検証した。また、その結果分かったことをもとに安全対策の提言を行う。

## 2. 被災タンク構造と発災時の状況

タンク構造の概要を図1に示す。タンクは縦置き円筒型浮屋根式タンクで、インナーポンツーン付きのシングルデッキ型のタンクである。大きさは、内径約75.5 m、高さ24.2 mで、容量は100,000 kLである。このタンク内のヒーティングパイプ（鋼鉄製）とタンク外大地との接地抵抗は0.3  $\Omega$ であり、良好であった。また、図2のように底板と、ヒーティングパイプ支柱の床から5 cmまではガラスフレイクによる防食被覆がされていた。被覆部分の抵抗値は竣工時の検査では無限大で、発災後は不明である。

タンクを開放するために内容物の原油を払い出す作業をしていた。浮屋根は支柱に支えられ着底した状態で、底板と浮屋根の間は2 mほどの空間であった。粘度の高い原油スラッジが底板上に図2のように30~40 cm残っていたため、作業者がこの2 mの空間に入り軽油を受け入れてスラッジと攪拌し、スラッジの流動性を高めポンプで汲み出していた。7人がタンク内で作業中に何らかの原因で火災が発生した。

作業者の服装は、綿の靴下、綿の下着、綿のTシャツ、綿のつなぎ、長靴、静電合羽、ゴム手袋、綿の軍手、エアラインホース付きの面体、ヘルメットを身に付けていた。上着とゴム手袋の隙間やズボンと長靴の隙間などはガムテープを貼り、油の侵入がないよう隙間を塞いでいた。長靴、上下の合

キーワード：石油タンク、タンク火災、スラッジ、樹脂被覆、帯電

\* 総務省消防庁消防大学校消防研究センター(182-8508 東京都調布市深大寺東町 4-35-3)

National Research Institute of Fire and Disaster Japan, 4-35-3, Jindaiji-higashimachi, Chofu, Tokyo 1828508, Japan

<sup>1</sup> tamura@fri.go.jp

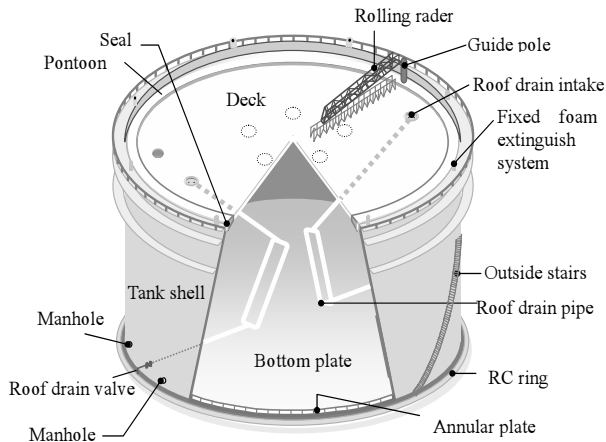


図1 石油タンク構造の概要

Fig. 1 Outline of the tank structure

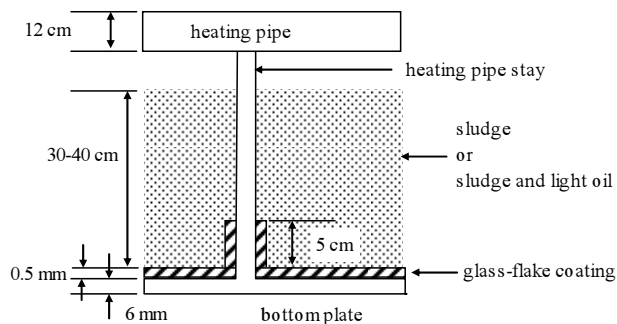


図2 タンク底板，ガラスフレーク被覆，スラッジ，ヒーティングパイプ支柱の状況

Fig. 2 The structure of bottom plate, glass-flake coating, sludge and heating pipe stay

羽は帯電防止機能のあるものを着用することになっていたが、7人のうち数人は帯電防止機能のない胴付長靴を着用していた。ゴム手袋、エアラインホース付き面体、ヘルメットは帯電防止ではなかった。作業者は面体を装着しエアラインホースから空気の手供給を受けていた。

被災時の気象条件は、気温 11℃、相対湿度 48%、北東の風 4 m/s であった。

### 3. 放電シナリオ

今回の検証では、実際に火災が起こったため、底板に溜まったスラッジや軽油から可燃性ガスが発生し、可燃性混合気は形成されていたと仮定し、着火源に関する考察を実施した。

我々は、原油タンク内での清掃作業について聞き取り等を行い、どのような作業をしていたかの情報を得た。この情報をもとに、タンク内で何らかの物が帯電して、それが原因で放電を起こすシナリオを以下の4パターンで考えた。

(シナリオ1：人体帯電)

人体が帯電し、タンク内の導体部分へ放電する。人体の帯

電としては以下の2つを想定した。

ア. スラッジの攪拌や掻き出し作業により、人体が帯電する。

イ. 歩くなどの移動動作により、人体が帯電する。

(シナリオ2：人体帯電による誘導帯電)

人体が帯電することで、トンボなどの道具が誘導帯電し、その導体部分からタンク内の導体部分へ放電する。

ア. 人体帯電による誘導帯電で、トンボ等の道具の導体部分に高い電位が現れる。

(シナリオ3：人体以外の導体の帯電)

人体以外の導体が帯電し、その導体部分からタンク内の導体部分へ放電する。

ア. トンボ水切り部ゴムや着衣とヒーティングパイプとの摩擦によりヒーティングパイプが帯電する。

イ. 着衣と樹脂被覆のない鉄製トンボとの摩擦で鉄製トンボが帯電する。

(シナリオ4：絶縁物の帯電による誘導帯電)

絶縁物が帯電し、それにより誘導帯電した物の導体部分から他の導体部分へ放電する。

ア. 樹脂被覆されたトンボの柄をウエスでこする。

イ. 樹脂被覆されたトンボの柄をウエスでたたく。

ウ. 樹脂被覆されたトンボの柄をゴム手袋で握って離す。

エ. トンボ水切り部分のゴムと底板の被覆層との摩擦でゴムが帯電し、ゴムを固定している金属部品に高い電位が現れる。

## 4. 計測

発災したタンク内に残留していたスラッジや着衣等の抵抗値や静電容量を計測し、帯電や放電のしやすさを検討するために、以下の方法で資料を得た。

### 4.1 計測機器及び被計測物

#### (1) 計測機器

- ・超高抵抗計 R8340A アドバンテス
- ・LCR メータ HP4332A ヒューレットパッカード
- ・静電モニタ M2 島津製作所
- ・静電電位計 スタチロン DZ3 シンド静電気
- ・直流法電極容器<sup>1), 2)</sup> 電極定数 1m

#### (2) 被計測物

以下の被計測物のうちスラッジ1とスラッジ2は現場から採取したものだが、その他は、現場で使用していた物と同じ型番の製品を新規に購入した。塗装した鉄板は、実タンクの底板とできるだけ同じ仕様で作成した。

- ・スラッジ1 原油残渣と溶解用軽油の混じったスラッジ

(発災前に既にタンク内からポンプで汲み出されタンク外の配管の中にあり、そこから発災27日後に採取した。ただし、軽油の混合割合は不明である。)

- ・スラッジ2 軽油や消火水の影響が少ない原油残渣(軽油

との混合作業の前で、放水消火の行われたマンホールの約180° 反対側のマンホール付近より発災3日後に採取した.)

- ・ 静電合羽 charge out coat 49000 TOKEMI INC.
- ・ 胴付長靴 PLB-C2 弘進ゴム
- ・ ゴム手袋 耐油ビニローブ（塩化ビニール） ショーワ
- ・ 軍手 綿 製造メーカ不明
- ・ 綿つなぎ No.888 つなぎ 日本被服連合会
- ・ ヘルメット 118-EPZ-2 型 谷沢製作所
- ・ 面体-ホース サカイ式12型 HV-Y 興研
- ・ トンボ1 業務用トンボ 26520 八ツ矢工業
- ・ トンボ2 コンドルドライワイパー(大) 山崎産業  
(トンボ1と2は柄全体にポリプロピレン被覆がある.)
- ・ 塗装した鉄板（模擬底板） 鉄板材質：SS400  
大きさ：1800 mm×900 mm, 厚さ6 mm  
ガラスフレイク塗装厚 0.5 mm

## 4.2 方法と結果

抵抗率や抵抗値，静電容量の測定の方法と結果を示す。

### (1) スラッジ

スラッジの体積抵抗率の測定は，図3のように，直流法電極容器を用いた。電極定数1 mの電極容器にスラッジを入れ，印加電圧10 Vにより測定した<sup>1), 2)</sup>。読み取れる範囲で，できるだけ電圧印加直後の値を読んだ。測定は5回繰り返した。数値としては以下の範囲となった。結果は以下のとおり。

ア. スラッジ1 200~300 MΩ・m

イ. スラッジ2 70~90 kΩ・m

試料のスラッジ中には炭化水素系の原油残渣，硫化鉄など雑多なものが混入しているため，比誘電率を特定することが

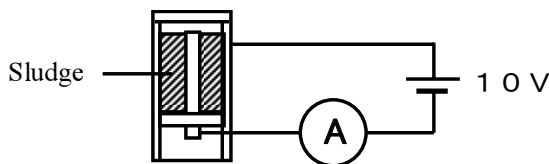


図3 直流法電極容器によるスラッジの抵抗率測定

Fig. 3 Measurement of resistance of the sludge by a cylinder electrode using direct current

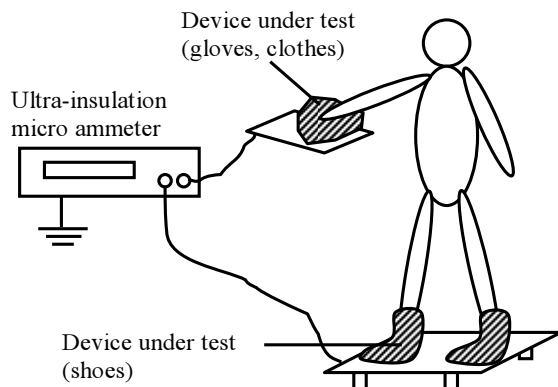


図4 着衣等の抵抗値測定

Fig. 4 Measurement of resistance of clothes

できないが，ここでは炭化水素系の成分が多く含まれると仮定して，スラッジの比誘電率を求める。比誘電率の文献値<sup>3)</sup>としては，灯油が2.1，トルエンが2.38などとなっており，スラッジの比誘電率をおよそ2.2と仮定する。

### (2) 着衣等の抵抗値

人体の帯電や人体からの電荷の逃げ，また，人体からの放電などを考慮して，人体を通しての抵抗値の測定を行った。このときの測定系の概要を図4に示す。足元と手元の位置にはアルミ板でできた電極を設置した。足元のアルミ板は，高さ5 cmのテフロンブロックで床から浮かした。超高抵抗計の+極を足元電極に，-極を手元電極に接続した。人が両足とも裸足になり足元電極の上に立つ。合羽や手袋，つなぎは，片手の素手に被せるような形にして，その手で手元電極に手のひら全体で触れるようにした。靴の測定は，裸足の両足で靴を履き，両足でアルミ板に乗り，素手で手元電極に触れた。ヘルメットは，裸足の両足で足元電極に乗り，手元電極を5 cm四方のアルミシートに変更しヘルメット表面に貼り付け頭にかぶり測定した。面体-ホースは，面体を顔面に装着し，30 m先のエアラインホースの端部に超高抵抗計の+極を接続し，素手との間の抵抗値を測定した。印加電圧は直流100 Vとした。結果は以下のとおり。

ア. 静電合羽 7 TΩ

イ. 胴付き長靴 620 MΩ

ウ. ゴム手袋 200 MΩ

エ. 軍手 1.8 GΩ

オ. 綿つなぎ 4.0 GΩ

カ. ヘルメット 10 TΩ

キ. 面体-ホース 1.2 TΩ

### (3) トンボ

トンボの水切り部は，ウレタンゴムを金属部品で挟むように固定している。LCRメータを用い，トンボ水切り部の固定用金属部分と足元電極(アルミ板)との間の静電容量を1 kHzの電源信号で測定した。また，超高抵抗計を用い直流100 Vの印加電圧でウレタンゴムの抵抗値を測定した。図5のように足元電極のアルミ板に水切り部を置き，ゴム手袋をはめた片手指先2本でトンボの柄の先端を支え，水切り部の固定用金属とアルミ板の電極との間の静電容量と抵抗値を測定した。人は模擬底板に乗った。なお，手で支えた部分はポリプロピレン（文献による抵抗率は $10^{14} \sim 10^{15} \Omega \cdot m$ <sup>3)</sup>）で被覆されていて，絶縁性は高かった。結果は以下のとおり。

ア. トンボ1の静電容量 34 pF

イ. トンボ2の静電容量 33 pF

ウ. トンボ1の抵抗値 1.8 TΩ

エ. トンボ2の抵抗値 2.1 TΩ

### (4) 塗装した鉄板の抵抗値

ガラスフレイクで塗装した模擬底板の裏にアルミ電極(+極)を置き，裸足の両足で塗装した鉄板に乗った人が素手で

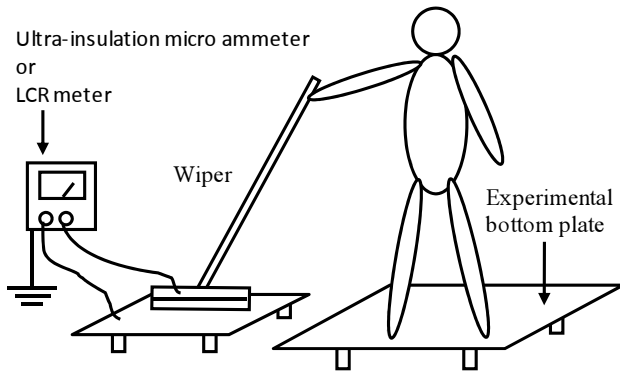


図5 トンボの静電容量及び抵抗値の測定

Fig. 5 Measurement of capacitance or resistance of a wiper

一電極に触れた。表面から裏面への抵抗値を測定した。結果は以下のとおり。

100 GΩ以上

## 5. 緩和時間

### (1) スラッジ

抵抗率の高いほうのスラッジ1(原油残渣と軽油の混合物)は最大で  $300 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}$  の抵抗率を示した。4.2の(1)で仮定した比誘電率2.2を用い、スラッジにおける電荷の緩和時間を求めてみると0.0058秒となり、この抵抗率は電荷の緩和に寄与する値と考える。タンクの接地状態はヒーティングパイプ支柱を通して良好なため、支柱のガラスフレークで塗装されている下部5 cmよりもスラッジの高さが高い場合は、スラッジを経由して、長靴やトンボ導体の電荷は緩和される。また、溶解用の軽油の混入が少ないと考えられるスラッジ2については、 $70 \sim 90 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$  の抵抗率であるので、スラッジ1以上に電荷はすみやかに緩和される。

### (2) 人体

人体の帯電防止に有効と考えられる靴の抵抗値は、胴付き長靴の場合で  $620 \text{ M}\Omega$  であった。胴付き長靴は帯電防止の機能は付加されていない。人体の静電容量は  $100 \sim 200 \text{ pF}$  と言われている<sup>4), 5)</sup> ので、ここでは  $150 \text{ pF}$  と仮定する。人体を通しての電荷の緩和についてみると、人体からの緩和時間は約0.1秒となる。十分とは言えないが電荷は、足元のスラッジを通じ逃げ出すため、人体が高電位になることは少ないと考えられる。ゴム手袋の抵抗値は胴付き長靴より小さい  $200 \text{ M}\Omega$  であり、これも電荷の緩和に寄与する値である。樹脂被覆のない鉄製トンボを使用した場合には、ゴム手袋からトンボを通しスラッジへと電荷の緩和が行われる。

底板上にスラッジがない場合、4.2の(4)のようにガラスフレークで塗装した鉄板は裏面への抵抗値が  $100 \text{ G}\Omega$  以上と、スラッジよりも3桁大きいので、緩和時間は数十秒以上となる。人の動作に比しても十分長い時間と言え、帯電した状態

を保持してしまう。

### (3) トンボ

トンボの柄部分のパイプと水切り部のウレタンゴムを固定している板とネジ類は鉄製である。これらパイプと固定板はネジを通じて電気的には導通の状態にある。柄の部分全体はポリプロピレンの樹脂被覆がされている。

トンボの水切り部ゴムの抵抗値は  $1.8 \text{ T}\Omega$  と  $2.1 \text{ T}\Omega$ 、静電容量は  $34 \text{ pF}$  と  $33 \text{ pF}$  であったので、緩和時間は61秒と69秒になる。底板上にスラッジがない場合や水切り部ゴムがスラッジに汚れていない場合、絶縁性の高い油(溶解用に受け入れた軽油: 抵抗率  $10 \text{ T}\Omega \cdot \text{m}$ 、比誘電率  $2^{3)}$  のみが底板上にある場合には緩慢な緩和となる。人の動作に比しても十分長い時間と言える。

スラッジがある場合には(1)スラッジで示したように、トンボの金属部分に現れた電荷はスラッジを経由してヒーティングパイプ支柱より緩和される。

## 6. 帯電実験

タンク内の清掃作業を想定したときの動作により帯電が起こるかを検証した。

### (1) 清掃模擬作業での帯電

発災現場で着用していたと思われる服装でトンボでの掻き出し作業を模擬して乾いたガラスフレーク塗装した鉄板の上で、トンボで鉄板の上をこする動作を繰り返した。動作者は、「2. 被災タンクと被災時の状況」で示した服装のうち、静電気が溜まりやすいと思われる胴付長靴をはいて実施した。人体帯電電位、着衣等の帯電電位を1分、5分、10分、20分と作業した後に計測した。人体帯電電位は手のひらに電極を貼り付けケーブルで円形電極と結び円形電極の電位を静電電位計で測定した。着衣などは静電電位計を規定の5 cmの距離まで手動で近づけ測定した。計測箇所は、人の手のひら、ヘルメット頂部、面体の頬部、合羽の脇と上腕部、胴付長靴の膝部、靴のつま先部、トンボの柄の握っていた部分、トンボの水切り部のウレタンゴムである。また、鉄板の上を小走りする動作も行った。実験当日の気温は  $12^\circ\text{C}$ 、相対湿度は56%である。

実験開始時ほぼ0 kVであった各部位は、20分間動作し測定した結果、人体の帯電電位は0.1 kV程度、よく擦れていた合羽の脇と上腕部の帯電電位は0.5 kV以下であった。その他、ヘルメット頂部、面体の頬部、胴付長靴の膝部、靴のつま先部、トンボの柄の握っていた部分、トンボの水切り部のゴムについては0.4 kV以下の上昇であった。この結果、清掃作業を模擬した動作をしているだけでは、人体や着衣等の帯電電位は放電に至るような上昇はしない。作業を模擬した動作以外に小走りや腕と脇のこすれなどを激しく行っても、帯電電位の変化は0.5 kV以下であった。

掻き出し動作をした後、合羽を脱ぐと人体の帯電電位は絶対値で4～5kVに上昇した。合羽に溜まった電荷が人体から引き離されるため人体に高電位が現れる。しかし、タンク内での作業中は、前述したように着衣の隙間をガムテープで塞ぐため上着を脱ぐことはない。スラッグの攪拌や掻き出しの作業だけで、人体の帯電電位が上昇することは考えにくい。

## (2) トンボの誘導帯電

帯電する道具としてトンボを考えた。5の(3)のように柄の金属パイプと水切り部の金属部品は導通状態にある。柄の樹脂被覆が帯電すると、誘導帯電により水切り部金属部品に電位が現れる。この金属部分の電位を計測した。アとイは図6、ウは図7の様に柄の部分で帯電させながら、トンボ水切り部の金属部品の帯電電位を測定した。服装は(1)清掃模擬作業での帯電のときと同じで、模擬底板の上で行った。トンボ水切り部のゴムを床につけた状態で測定した。

ア. トンボの柄を綿のウエスで10回こすったときの水切り部金属部分の電位は、-4.5～-5 kVになった。こする回数により電位はマイナス側に増えていく。

イ. 柄の部分でウエスで10回たたくと、-2.5～-4 kVに帯電した。たたく回数により、電位はマイナス側に増えていく。

ウ. 柄の部分でゴム手袋をした両手で強く握り両手を急に放す動作を1回行くと、-2.5～-3.9 kVの電位を計測した。柄を

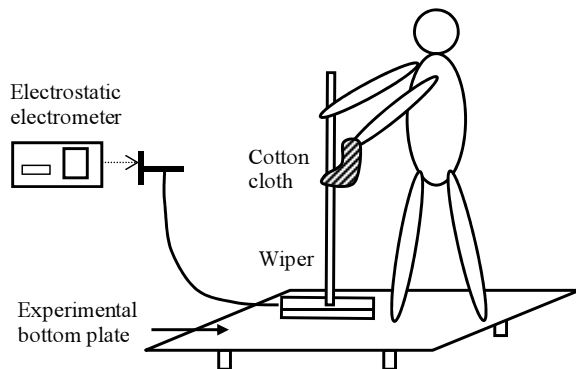


図6 綿布でこすることによるトンボの柄の帯電

Fig.6 Measurement of electrification by rubbing the handle of a wiper with cloth

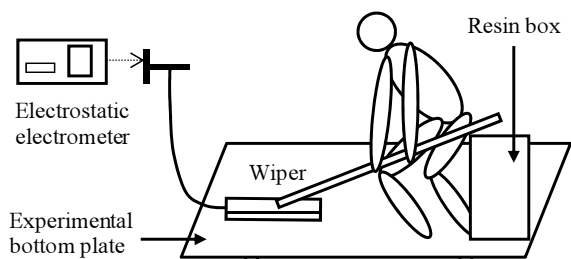


図7 トンボの柄をビニル手袋で握って放すことによる帯電

Fig.7 Measurement of electrification by grasping and releasing the handle of a wiper by the hand put on the latex gloves

握った握力は35～40 kg程度である。トンボの柄の下にはポリプロピレンの箱(大きさ約500×350×300mm)を置き、離れた柄はこの箱の上に乗るようにした。その時のトンボ水切り部の固定金具の帯電電位を計測した結果を図8と図9に示す。握っていた手を離したときに電位が0付近からマイナスへ急に下がっていく。手を離した直後に最大の絶対値を示し、その後、漏洩によって帯電電位は徐々に0に近づく。図8では約1分30秒過ぎに、図9では約55秒過ぎにトンボを再び握ると電位は0付近に戻る。そこで測定を終了した。図8はトンボ1の場合で-3.2 kVを、図9はトンボ2の場合で-3.4 kVを示した。この帯電は、塩化ビニールの手袋とトンボの柄のポリプロピレン被覆との剥離帯電によるものと考えられる。

## 7. 静電気放電の考察

### (1) シナリオ1 (人体帯電)

清掃模擬作業を実施しているだけでは、人体の帯電電位は0.5 kV程度の変化にしかならず、放電の危険はないと考えられる。作業後に合羽を脱ぐと人体の帯電電位が上がるこ

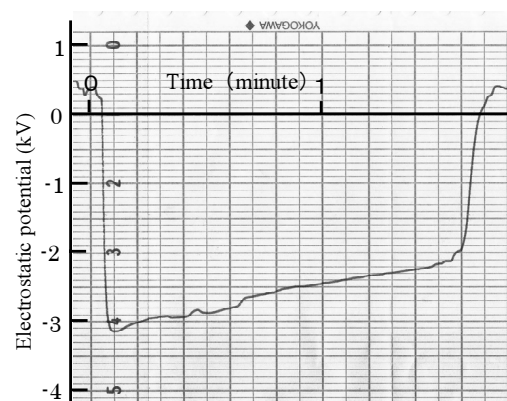


図8 トンボ1の水切り部金属部品の電位変化  
Fig.8 Electrostatic potential for a metal part at the tip of the wiper No.1

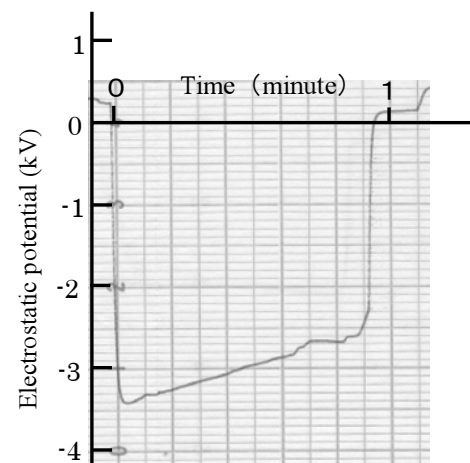


図9 トンボ2の水切り部金属部品の電位変化  
Fig.9 Electrostatic potential for a metal part at the tip of the wiper No.2

あるので、タンク内で着衣の脱ぎ着を実施しないことが安全である。また、スラッジの除去が進みガラスフレーク塗装で絶縁性が高い底板の上に立つ場合や足元に絶縁性の高い油のみの状況になると人体は非接地の状態に近くなるため、安全のためには人体の接地対策が必要である。

#### (2) シナリオ2 (人体帯電による誘導帯電)

シナリオ1のように人体が帯電する可能性は低い、人体帯電による誘導帯電が放電の原因となる可能性も低い。しかし、(1)シナリオ1と同様、足元が絶縁性の高い底板や絶縁性の高い油のみになる場合が考えられるので、人体の接地対策は必要である。

#### (3) シナリオ3 (人体以外の導体の帯電)

タンク内の導体としては、ヒータリングパイプとその支柱、樹脂被覆のない鉄製トンボ、鋼鉄製の足場板(50×169×4 cm)が考えられる。ヒータリングパイプ支柱の床から5 cmの高さまでと底板表面はガラスフレーク塗装があり絶縁された状態であるが、ヒータリングパイプ自体は、溶接された支柱と底板を通じ接地状態にあるため、ヒータリングパイプ及びその支柱は帯電で高電位になることはない。鋼鉄製の足場板は2本のヒータリングパイプ上に乗せて物置台として使用していたが、どちらも鋼鉄製なので足場板も接地されていると考えられる。よってヒータリングパイプやその支柱、足場板が帯電する可能性は少ない。また、鉄製トンボは、帯電したとしても深さにして30~40 cmあったスラッジの導電性のため、電荷は大地に逃げたと考えるが、絶縁性の高いガラスフレーク塗装の底板上や絶縁性の高い油のみが底面にある場合は鉄製トンボも非接地の状態に近くなるので、接地対策を取る必要がある。今回の石油タンクでは接地が良好であったが、タンク内のこれら導体は確実に接地をとることが重要である。

#### (4) シナリオ4 (絶縁物の帯電による誘導帯電)

トンボの柄の金属パイプを被覆したポリプロピレンは絶縁性が高く帯電しやすい。6. 帯電実験の(2)で示したようなトンボの柄をウエスでたたく行為はあまりないと思われるが、強く握って放すという行為は行われると考える。この実験では、トンボの水切り部分の金属部品の帯電電位が条件により約4 kV程度になることが確認された。帯電電位測定時に電位測定用電極板を取り付けたため静電容量が増加し電位は低く計測される。この帯電電位をVとし、静電容量Cを4.2方法と結果で求めた34 pFとすると、トンボに蓄えられたエネルギーは $CV^2/2$ より、小さく見積もっても約0.27 mJとなる。例えば、ヘキサン可燃性混合気の最小着火エネルギーは0.24 mJ<sup>6)</sup>であるので、トンボ水切り部分の金属部品からの放電火花で着火させることが可能となる。気温、湿度などの環境条件やトンボの扱い方によって、静電気の帯電量が変化することから、条件によってはここでのエネルギー以上になる

ことも考えられる。底板上にスラッジがない場合や絶縁性の高い油のみが底板上にある場合は電荷が逃げず高い帯電電位を維持することになる。

どんな場合でも、最小着火エネルギーを超える放電エネルギーになるというものではないが、人命安全、火災予防という観点からすると、着火の危険性を内在する道具の使用は極力排除するべきものと考ええる。

トンボ水切り部のウレタンゴムについては、乾いた模擬底板の上での清掃模擬作業を実施した際、鉄板との摩擦を20分間継続しても0.4 kV以下の変化であったため、放電の可能性は少ない。

## 8. まとめ

ガラスフレークで被覆された乾いた鉄板の上で、タンク内の清掃作業を模擬した動作を行った場合の人体や着衣、道具等の帯電電位を計測した。清掃作業動作だけでは、人体や着衣等の表面が放電に至るような高い帯電電位になることはなかった。しかし、樹脂被覆された金属道具は、樹脂部が帯電する可能性が高く、この誘導帯電により金属部分に電位が現れ、放電する可能性があることが確認できた。代表的な道具であるトンボを用いた実験では、放電した時のエネルギーが、炭化水素系の可燃性混合気の最小着火エネルギーを超える場合もあることが確認できた。可燃性混合気が形成される可能性のある石油タンク内で作業する必要がある場合には、絶縁性の高い樹脂被覆された金属道具を使用しないことが安全である。また、一般的な対策として、人体や石油タンク内の導体の接地を実施することは言うまでもない。

## 謝辞

帯電実験等を行う際に協力していただいた横浜市安全管理局の栗原政幸氏に、ここで記して感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) N. Radius, C. Douwes, *Advances in Static Electricity*, Vol.1, *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Static Electricity*, pp.240-247(1970)
- 2) 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック, オーム社, pp.486-488(1998)
- 3) 労働安全衛生総合研究所, 静電気安全指針2007, 労働安全衛生総合研究所, pp.161-163(2007)
- 4) 小野他, 静電気学会講演論文集, pp.401-404(1986)
- 5) 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック, オーム社, pp.278-282(1998)
- 6) 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック, オーム社, p.1255(1998)