

論 文

## 油の激突帶電について

鳥取 孝太郎\*, 藤 井 求\*

(1978年11月17日受理)

### On the Impact Electrification of Oil Jet

K. TOTTORI\* and M. FUJII\*

(Received November 17, 1978)

A large fire occurred in a tank lorry loaded with naphtha in 1975 near Fukui Station, and its ignition source was considered to be an electric spark due to static electrification of splashing oil. An experiment was made to examine the occurrence of such electrification and to measure the static charge produced in both oil mists and a metal damper to which the oil jet collided. Instead of naphtha, kerosin oil was used for considering safety. After 60 seconds of oil collision the damper isolated from earth acquired a potential as high as 3 kV, and the current flowing into the damper was 8 nA. It was considered from other evidence that in case of naphtha these values could be 5 times higher. Considering the results obtained it could be assumed that the damper having a high contact resistance ( $>3 \times 10^{10} \Omega$ ) and a high static capacity ( $>142 \text{ pF}$ ) could result in a spark.

### 1. まえがき

石油系における不測の流出帶電は油タンクの爆発をはじめとして重大な災害事故となる公算が大きい。この種の重大事故例として、1954年西ドイツの Bitburgで発生した燃料（ガソリン）タンク爆発事故があり多数の死傷者を出した。これは消防用 CO<sub>2</sub> の試験的大量放出に際してパイプラインの途中、大量のドライアイス粒子または氷滴が発生しパイプ壁との摩擦で強力に帶電し、油面上に放出されて空間電荷雲を形成したことによる。この空間電荷雲が接地導体の突起部にストリーマコロナを引き起こし、可燃性混合気体に着火させたものとされている<sup>1)</sup>。

また障壁に液体が激突するときは、強力に帶電した飛沫となって帶電ミスト雲を形成することがある。この現象は水については Lenard 効果（1892年）として知られている。海水についても 1969年12月大西洋上航行中の 20万トン大型油タンカー 3隻がその空タンク内壁を海水ジェットで洗浄中、この現象によって爆発し大損傷を被り、そのうち1隻は沈没するという大事故を引き起こした。その原因は壁との激突によって強力に帶電した海水ミスト雲が発生し、空タンク内に充満していると

ころにその天井壁から細長い水柱（スラグ）が落下し、この空間電荷雲によって強力に静電分極されて接地物近傍を通過し、スラグとノズル（接地物）とのあいだに火花放電を発生し、これが爆発性混合ガスに着火したものと考えられている<sup>2,3)</sup>。

ところで、1975年1月、福井市でナフサ満載タンクローリー（以下たんにローリーと呼ぶ）の後方コック（3 in<sup>4</sup>）からナフサが流出して障壁に激突し、火災爆発を生ずるという重大事故が発生した。その着火源が静電気火花であるか否かについてその究明に関係し、この種の帶電（以下油の激突帶電<sup>5)</sup>と呼ぶ）でも着火が発生しうることを実験的に一応確かめた。そこで本論文ではその解明過程について報告する。

### 2. 油の激突帶電にもとづく火災事故

#### 2.1 事故の概要

1975年1月16日午後2時20分ごろ、福井市ガス事業所構内でナフサ 10,000 l を満載したローリーが火災炎上した。図1の写真はその初期消火活動を示す。この写真はローリー後部周辺から強大な火炎と煙が立ちのぼり、その周辺の地上にも拡がりゆく火炎が点在し、ローリー自体へはもちろん、ナフサ貯蔵タンクへも引火爆発防止のための放水が行なわれていることを示している。

ところで、同事業所は国鉄福井駅の近くにあり、一時は大混乱となつたが、幸いにも積雪も少なく適切な消防活動によって、約40分で消火し、損失はローリーの焼失

\* 福井工業大学工学部電気工学科 (910 福井市学園 3-618)  
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Fukui Institute of Technology, 3-618, Gakuen, Fukui 910, Japan



図 1 タンクローリの火災と初期消火状況

Fig. 1 The scene of the accident to the tank lorry and the ensuing fire showing the initial fire-fighting.

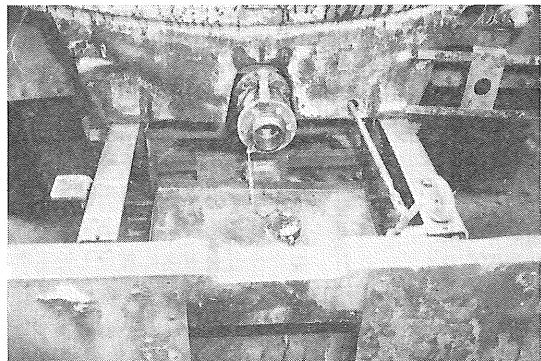


図 2 発火点と推定される後方コック (3 in<sup>ø</sup>) 周辺の実態  
Fig. 2 View of the back cock assumed to be the firing point (pipe diameter=3 in).

にとどまるという事故で終わった。しかし、同事業所の立地条件、取扱い物がナフサという第四種危険物第一種石油類であるため、福井県警察本部は重大事故と認定し、ローリーの発火原因の探究に同鑑識課では多岐多様にわたる調査を実施したが、結局ナフサの流出に伴う帶電にもとづく着火のみが唯一の事故原因と想定されるに至った。そこで、上記当局より静電気発生の有無と引火の可能性について筆頭者に研究調査の依頼となった。

## 2.2 依頼研究までの調査結果

火元と認められるローリーの後方コック (3 in<sup>ø</sup>) 周辺の消火後の状態を図 2 の写真で示す。初期消火活動のとき、この写真の後方コックよりナフサが流出しているのが発見され、猛炎・猛火のなかで果敢にもこのコックを締め大事故となる惨事が防ぎえられたという。とにかく火災を引き起こした直接原因は取扱い運転者がこの後方コックを締め忘れたというまったく初歩的なミスをおか

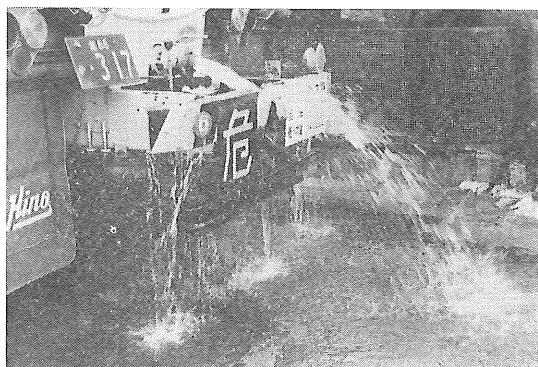


図 3 ローリーの底弁を開いて最初の 30 秒間での流出実態

Fig. 3 The state of the water colliding for the first 30 seconds after opening the base valve.

したことによる。

取扱い運転者は約 90 km はなれた金沢市よりローリーの上記後方コックを開放したまま福井市ガス事業所に到着した。したがって底弁を開いてローリーから事業所側ナフサタンクに送油を開始すると、この後方コックからもナフサが流出したはずで、送油開始後約 1 分後にそのローリーの出火に気づいたという。その間の取扱い者の行動はローリーの底弁を開いてナフサタンクへの事業所側送油ポンプで流送運転を開始するまでの時間が約 30 秒、さらに納入伝票を同事務所に届けるまでの時間が約 30 秒であった。さて、火元はローリー後方コック周辺とほぼ断定されたが、ナフサの流出状態を確認する必要があった。しかし、ナフサ自体は第四種石油類に属する危険物であるから、一応水をその代替とし、その流出状態を把握するための模擬実験、すなわち同型のローリーに同量の水を満載し、上記した取扱い運転者の行動再現が試みられた。図 3 は底弁を開いての最初の 30 秒間の流出状況で、その間の流出量は約 100 l であった。図 4 は送油ポンプを運転開始してから 30 秒間の流出状況で、その間の流出量は約 50 l と流出量は半減している。

これらの写真を眺めると、流出する水は車両後部にある複雑な角形状のフレームおよびその下部にある角形油受皿（以下これら一群の金属部分をダンパーと呼ぶ）にいったん激突し飛沫となって分散し、さらに地上に激突し、浅い水だまりとなって流れ去る状態がうかがわれる。水よりも軽いナフサの場合は分散の規模も大きく、そのうえ油滴は微粒化し、顕著に可燃性ガスを発生するはずである。したがって、車両後部ダンパーの周辺および地上とのあいだの空間には可燃性ガスとミスト雲が充満する状態になるものと予想される。

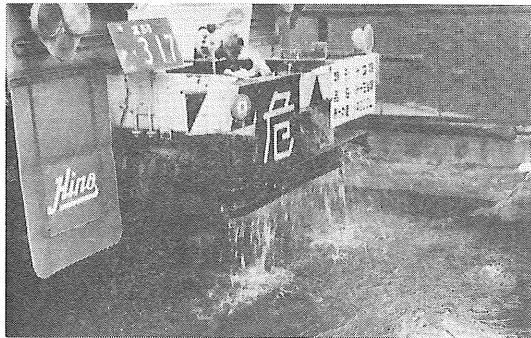


図 4 送油ポンプ運転開始して 30 秒間での流出実態  
Fig. 4 The state of the water colliding during the 30 seconds after the operation of the feeding pump.

### 3. 関連する諸測定とその結果

#### 3.1 激突帶電としての測定

##### 3.1.1 測定方法

前記 2.2 の調査結果から、もしローリーの炎上原因が静電気による着火であるとすれば、静電気の発生箇所としては、まず第一に後方コック流出口までの油の流動するパイプ部分が考えられる。この場合、パイプの長さは 5 m 程度と短く、平均流速は 0.64 m/s であり、問題となる時間を 60 秒以内と限定すると、流出する油中の静電エネルギーは着火の原因としては無視しうるほど小さいはずであり、後掲する測定結果からも明らかである。

つぎに第二の静電気発生箇所としては、油の激突するダンパ部分が考えられる。この部分では油の激突によって強力に帶電した油滴雲が生じ、さらにダンパがタイヤ等で絶縁されていればこれにも電荷蓄積していくであろう。なお、ダンパ部分には予備タイヤの取付け、塗装、鍛などの絶縁部分も存在する。したがって、このダンパへの油の激突帶電は事故原因につながる顕著な尺度となりうる。この予想を実証するには模擬再現実験を行なうことが好ましい。この場合、油自体は空間に分散し、その帶電測定が困難であるが、一方ダンパ側には油が激突中油の持ち去る電荷と反対符号の電荷が残るから、その検出は比較的容易である。すなわちダンパを絶縁すると電位の経時過程が測定され、接地すると漏れ電流の経時過程が測定されて、これから静電エネルギーの経時過程も推定されるであろう。

##### 3.1.2 模擬再現実験

以上の想定にもとづいて、火元をローリーのダンパ周辺とし、図 5 の実験装置で再現実験を行なった。ただし、試料油としては安全性の点から問題のナフサと類似性が

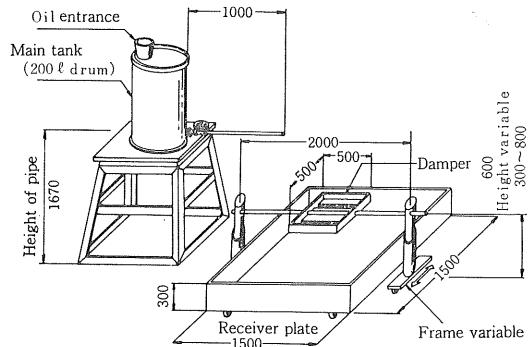


図 5 模擬再現方式による実験装置

Fig. 5 Experimental equipment utilizing the simulated method.

あり、常温で可燃性ガスの発生のない同一製油所製軽油を使用した。元タンクは 200 l かんとし軽油約 190 l を蓄え、そのかんの底で床面上約 1.7 m の位置（ローリーの油面を考慮）になるように支持してある。元タンクの下部に実験規模の関係上、径 1 in<sup>φ</sup>、長さ 1 m（あとで帶電傾向の比較上径 2 in<sup>φ</sup> を使用）の金属パイプを取り付けてあり、流出後 60 秒の流速がほぼ一定となるようになる。このパイプ流出口から油が自然流下する途中で、油が激突する金属角型へり付きダンパ（50×50×10cm）を設けてある。このダンパの高さおよび角度（激突面に対する）は可変とし、またダンパの底には適当な間隔で隙間を作つてある。さらにダンパの下方床上に、油がダンパに激突して生ずる飛沫、油滴とダンパから流れ落ちる油を捕集するための大型の金属角型へり付き受皿（1.5×1.5×0.3m）を置いた。

このような装置での電気的測定系の概要を図 6 に示す。主要な測定対象はダンパと平型受皿の 2 部分で、これらを絶縁した場合の電位を集電式電位計（春日電機製）⑦で測定する。⑧は微小電流計（東亜電波製）で、測定対象を接地した場合の漏れ電流を測定する。また絶縁状態での静電容量はダンパが約 100 pF、平型受皿が約 185 pF であった。なお、油がダンパに激突する際、生ずる飛沫、空間的飛散が著しいため図 7 で示すように平型受皿の周辺を木製薄板で囲んで実験を行なった。

##### 3.1.3 測定結果<sup>3)</sup>

あとでも付記するが、油の帶電現象では測定結果の再現性を得ることは著しく困難である。しかし、同一製油所系統の製品であれば、傾向的にはその測定結果についてある程度の信頼性はありうる。以下に図 6 による模擬実験の結果について若干例示する。ただし、ダンパ位置の上下は静電気の発生への影響が少なかったので、床上

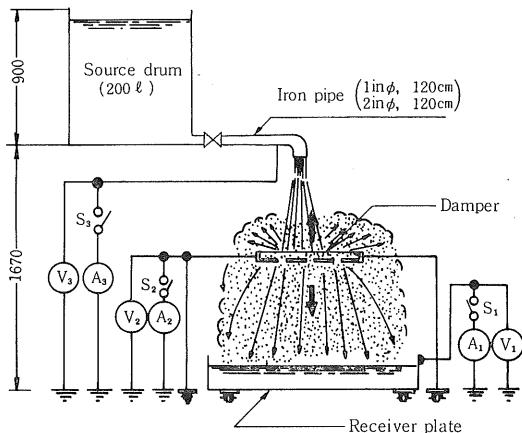


図 6 再現実験装置での電気的測定方法

Fig. 6 Schema of the electrical measurement in the experimental set.

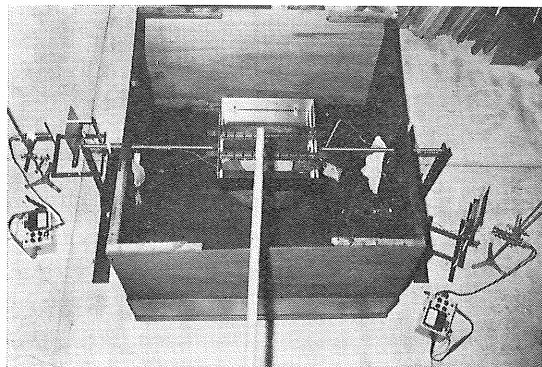


図 7 囲みをした測定方法の実態（電位測定の場合）

Fig. 7 State of the especially devised experimental set for measurement method (in the case of potential measurement).

0.6m の高さとした。

図 8 の実験はダンパおよび受皿を絶縁し、元タンクより流出する油をダンパに激突させる際の両者の発生電位の経時過程（約 3 分間）を示す。また、これらの電位による静電エネルギーの計算を破線で示す。とにかくダンパは負に、受皿（試料油）は正に帯電し、帯電エネルギーは前者が後者よりも 2 倍程度大きい。なお、この場合問題の 60 秒経過後のダンパ電位は約 -1 kV、エネルギーは約 0.04 mJ である。

ところで、本実験での静電気発生源にはダンパ部分と元タンク底の流出口のパイプ部分がある。これらの部分の帯電傾向を明らかにするため実施した測定の結果を図 9 に示す。同図はダンパおよび元タンクの流出口のパイプを絶縁したときの電位の経時過程と、またこれらを

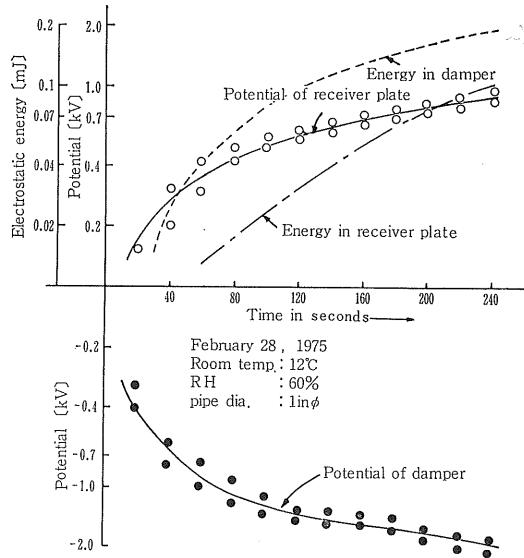


図 8 ダンパおよび受皿の電位について同時測定による経時過程（普通の帯電傾向）

Fig. 8 Potential curves of the damper and the receiver plate (average charging rate).

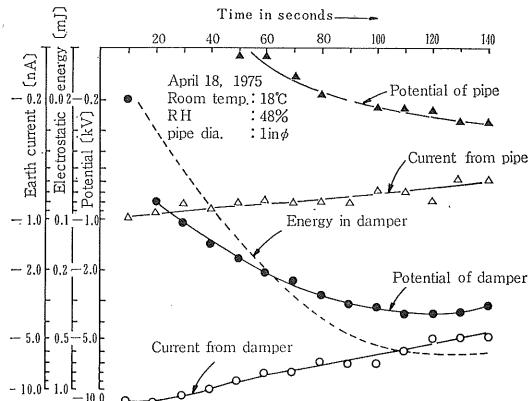


図 9 ダンパおよびパイプ（流出口）の電位および漏れ電流について同時測定による経時過程（最高の帯電傾向）

Fig. 9 Potential and earth current curves of the damper and the outflowing pipe (max. charging rate).

接地したときの漏れ電流の経時過程とを併示した。また、これら電位による静電エネルギーの計算値も示した。これらの測定値は最高の値を指示する日時の場合であり、問題の 60 秒経過後のダンパ電位は -2 kV、漏れ電流は -10 nA、静電エネルギーは 0.2 mJ に達した。しかし、パイプでは 60 秒経過して電位の上昇が始まり、漏れ電流も -1 nA 程度にすぎなかった。なお、流出油

とダンパ面との角度によるダンパ電位の変化を図 10 に示す。垂直  $\theta=90^\circ$  の場合と  $\theta=45^\circ$  の場合とで格段の相違は認められないので、上記図 8, 9 ではいずれもダンパに対し垂直に油が自然流下する場合で示した。

とにかく、これら図 8~10 の測定諸量を眺めて、障壁に激突する油の静電気発生源はほとんどダンパ部分（障壁）であることは明らかで、電荷の保存性の理により、前記したようにダンパ部分に発生した電荷と等量反対符号の電荷が激突飛散する油中に存在するはずである。

なお、図 9 のダンパ部分の漏れ電流を眺めると、60 秒間で 10 nA から 8 nA の変化程度で油の激突帶電は一種の定電流の発生源と推定される。パイプの流動帶電についても、微小の電流ではあるが同様に推定しうる。また、問題の 3 in $\phi$  パイプでの測定は実験スケールの関係上困難であったので、一応口径上記の 1 in $\phi$  と 2 in $\phi$  のパイプを用いて、口径のダンパ電位に与える影響を調べた。その結果を図 11 (a), (b) に示す。問題の 60 秒という短時間での過程を眺めると、ダンパ電位は同図 (b) のように直線的に上昇し、2 in $\phi$  パイプでは 1 in $\phi$  パイプの場合に比べて約 2 倍も大きい。

さらに、上記激突帶電による火花放電の有無を確かめるため、ダンパ電位と共に並列に接続された針対平板間隙装置による火花放電の同時観測を試み、その結果を図 12 (a), (b) で示す。放電間隙 1 mm では電位が 2 kV 内外に達すると肉眼で確認できる火花を生じた。間隙が 1.5 mm では小さい放電が数回発生したのち大きい火花放電が起り、その後はコロナ放電が持続した。間隙が 2 mm となると小さいコロナ放電が持続した。

### 3.2 試料油（軽油）とナフサの流動帶電の比較

元来、油の流動帶電に寄与するものはわずかな不純物イオンである。高度に精製し、不純物イオンがほとんど含まれない  $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$  という高抵抗率の油、抵抗率が  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$  程度の原油に近い油では帶電傾向が認められないが、それらの中間製品でわずかなイオン不純物を含む  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  内外の油では帶電傾向が最大となる。ただし、同じ抵抗率でも帶電傾向には大きなばらつきがあるのが普通で、測定の再現性はよくない<sup>6)</sup>。ところで、軽油、ガソリン、ナフサは  $10^{12} \sim 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$  の抵抗率を有するので、問題の軽油、ナフサは帶電傾向のきわめて高い範囲の油といえる。

なお、帶電測定の再現性が困難な一例を図 13 に示す。同図は同メーカ製計量装置を使用する A 社、B 社系列の

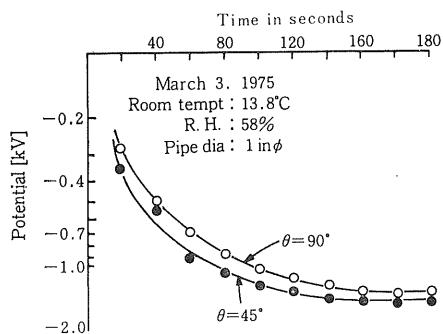


図 10 油と激突する壁面との角度  $\theta$  によるダンパ電位の影響

Fig. 10 Dependence of potentials on angle between the damper and the impacting oil.

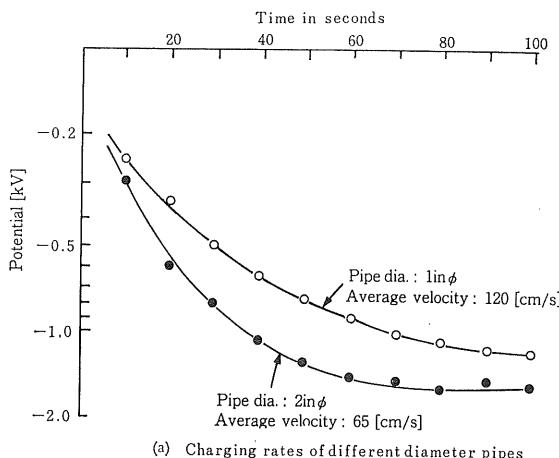
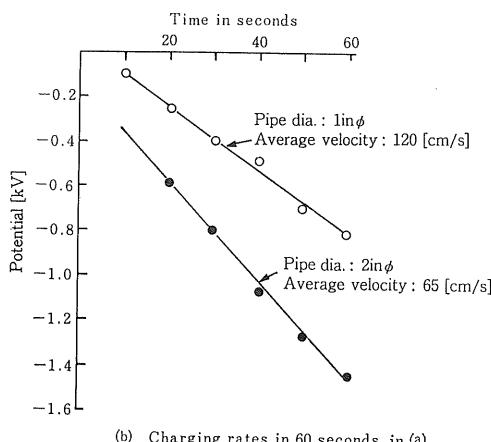


図 11 流出口口径 (1 in $\phi$  と 2 in $\phi$ ) によるダンパ電位の比較

Fig. 11 Comparison of the damper potentials between 1 in and 2 in diameter pipes for oil flowing out.



(b) Charging rates in 60 seconds in (a)

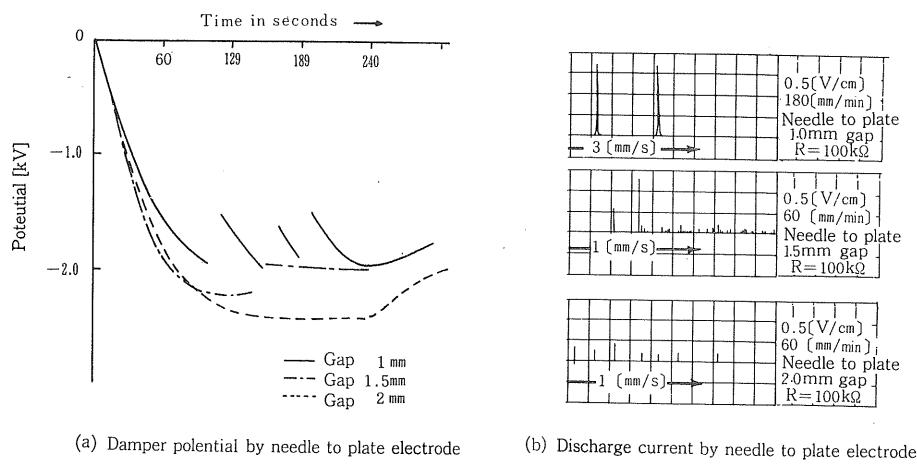
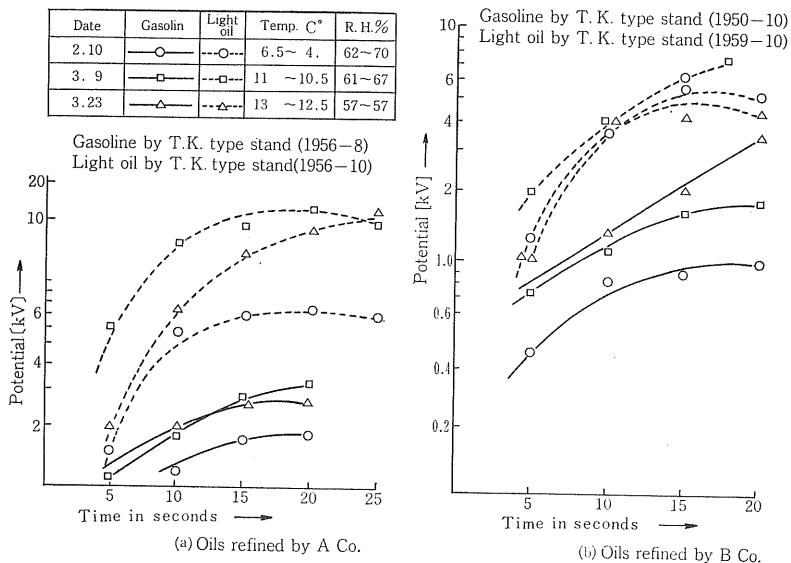
図 12 ダンパーの発生電位と火花放電 (1 in<sup>φ</sup> パイプ)

Fig. 12 Relation between damper potential and its spark discharge (pipe diameter=1 in.).

図 13 ガソリンスタンドにおける各社製品の帶電傾向  
Fig. 13 Charging rate of fuels in different refineries.

各市販営業所ガソリンスタンドで、軽油またはガソリンを絶縁した受タンク (18 l 方形金属かん) に流入し、そのタンク電位の時間的上昇を集電式電位計により比較したものである。各メーカー、測定日時によって帶電傾向に大きな差異がみられるが、同一製油所製品についてはある範囲におさまっている。

激突帶電実験に用いた軽油と問題のナフサの帶電傾向の関連づけを行なうため、流動電流による電位上昇を実測比較した。ただし、引火による安全性も考慮し、図 14 に示すような小規模実験を行なった。床上約 2.2 m の

高さに設置した試料油約 36 l を蓄えた 50 cm<sup>φ</sup> × 50 cm の金属製元タンクの下底に 16 mm<sup>φ</sup> × 2 m の金属パイプを図 14 のように取り付け、パイプ中を流下する試料油 (流動電流) を絶縁された受タンク (18 l 方形金属かん) に流入せしめて、受タンクの電位を集電式電位計で測定した。なお、3.1 の再現実験の場合と同様に、流出しあじめて 60 秒間は流速がほぼ一定となるよう元タンクの断面積/出口の断面積 = 0.001 としてある。

試料油としては、ナフサ、軽油のほかにガソリンおよび燈油を使用した。これらは問題のナフサと同一メーカー

の製品である。その測定結果の一例を図 15 (a), (b) に示す。ナフサおよび軽油は正に、ガソリンおよび燈油は負に帯電するが、電荷の絶対値の大きさはナフサ、ガソリン、軽油、燈油の順となった。流下しあじめて 60 秒間の電位は各油種とも直線的上昇傾向にあり、とくにナフサと軽油について比較すると、帶電傾向は前者は後者よりも 5 倍程度も大きい。

### 3.3 ダンパ部分の電気的諸定数について

帶電したダンパの放電の可能性について、この部分の電気的諸定数（絶縁抵抗および静電容量）を一應測定する必要がある。

元来、事故車と同型のローリーのダンパは金属製のリヤバンパ、ローバンパ、受皿、シェーン、ボルト、ナットなどで組み立てられ、その下底に予備ゴムタイヤが取り付けてあり、不平等電界の生じやすい刃状、突起状の箇所も多く、塗装の剥脱、錆付きも目立つ。

そこで、類似の 14 台の現用ローリーのダンパ部分について絶縁抵抗は図 16 で示す 6 か所の測定点で測定し、

その結果は表 1 で示すとおりで、また静電容量は同図の各部で測定し、その結果は表 2 で示すとおりであった。

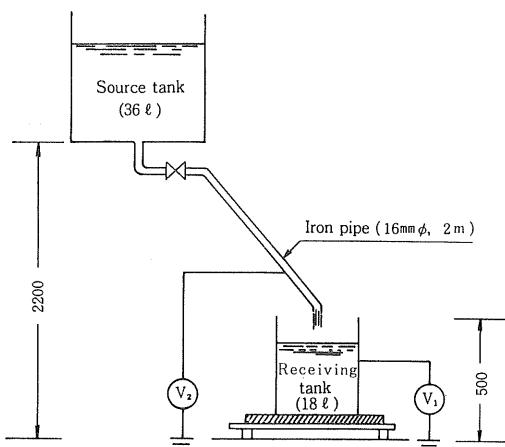
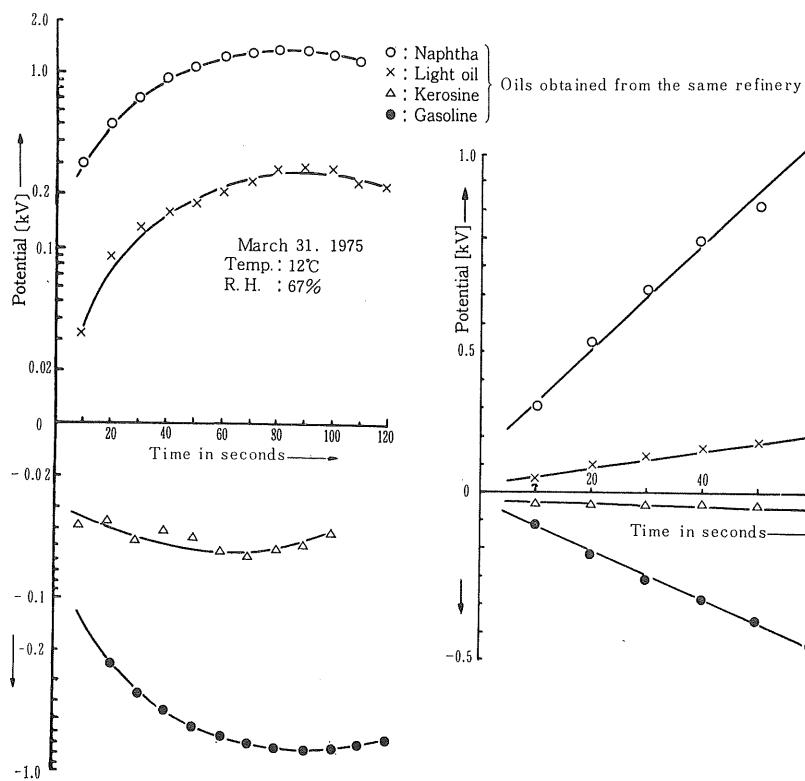


図 14 油の帶電傾向の比較実験装置

Fig. 14 Comparison testing set for charging rate.



(a) Charging rates for oils

(b) Charging rates for 60 seconds in (a)

図 15 油種による帶電傾向

Fig. 15 Charging rates for different kinds of oil.

表1 同型タンクローリ各部の絶縁抵抗測定値  
Table 1 Insulation resistance values in the each part of tank lorry.

Car Number		Part						Note
		1	2	3	4	5	6	
Fukui 88 Ka 18	Fuso	$1.9 \times 10^9$	$10^9$	$7 \times 10^9$	$10^7 <$	$10^7 <$	$6 \times 10^8$	Brush on socket $1.6 \times 10^{10}$
Fukui 8 U 348	Hino	$10^{10}$	$2.5 \times 10^8$	$9 \times 10^7$			$2 \times 10^8$	Light on rear bumper Inside in rear bumper $10^7 <$ $1.3 \times 10^{10}$
Fukui 88 Ka 246	Nissan UD	$10^9$	$1.5 \times 10^{10}$	$1.5 \times 10^9$	$2 \times 10^{10}$	$10^7 <$	$1.3 \times 10^8$	
Fukui 88 Ka 252	Hino	$2 \times 10^{10}$	$1.5 \times 10^8$	$10^7 <$	$3 \times 10^{10}$	$10^7 <$	$1.5 \times 10^8$	Just below the feed port $9 \times 10^6$
Fukui 88 Ka 313	Hino	$6 \times 10^9$	$10^7 <$	$4 \times 10^7$ ( $2.5 \times 10^7$ )	$10^7 <$		$10^7 <$	Upper and right side of bumper Tire (upper and lower sides) $10^7 <$
Fukui 88 Ka 124	Hino	$10^7 <$				$1.3 \times 10^7$	$3 \times 10^8$	Bumper support (right side) $1.8 \times 10^6$
Fukui 8 U 278	Fuso	$10^7 <$ ( $10^7 <$ )	$5 \times 10^9$	$10^{10}$ ( $2.4 \times 10^9$ )	$3.6 \times 10^7$ ( $4 \times 10^8$ )	$10^7 <$	$10^7 <$	Bumper support (left side) $3 \times 10^{10}$
Fukui 8 U 302	Isuzu	$3 \times 10^8$	$6 \times 10^9$	$4 \times 10^9$	$5 \times 10^9$		$2.3 \times 10^8$	Receiver plate rear extremity $8 \times 10^8$
Fukui 88 Ka 243	Fuso	$10^7 <$	$10^7 <$	$10^7 <$	$3 \times 10^9$	$10^7 <$	$10^7 <$	
Fukui 88 Ka 227	Isuzu	$4 \times 10^9$	$10^7 <$	$2.7 \times 10^9$	$5 \times 10^9$	$10^7 <$	$10^7 <$	
Fukui 88 Ka 40	Isuzu	$10^7 <$	$(2 \times 10^8)$	$(2 \times 10^9)$	$(1.5 \times 10^{10})$ ( $10^7 <$ )	$10^7 <$ ( $2.5 \times 10^9$ )		
Fukui 88 Ka 157	Nissan UD	$10^7 <$	$1.8 \times 10^{10}$	$10^{10}$		$2.3 \times 10^8$	Lower part of tire $10^8$	
Fukui 88 Ka 301	Hino	$7 \times 10^9$	$4 \times 10^8$	$10^7 <$	$8 \times 10^9$	$1.5 \times 10^8$	Foil Left side of lower bumper $2.5 \times 10^{10}$ $7 \times 10^9$	
Fukui 88 So 551	Nissan UD	$8 \times 10^9$	$4 \times 10^9$	$5.5 \times 10^9$	$2 \times 10^{10}$	$10^7 <$	Light on rear bumper Earth terminal $10^7 <$	

(Notice) 1. Unit : Ohm ( $\Omega$ ).  
2. When pipe earth measuring values are used ; values in brackets are normal earth.

絶縁抵抗の最高は  $3 \times 10^{10} \Omega$  程度で、静電容量のそれはリヤバンパーで平均  $142 \text{ pF}$  という大きな値が見られた。

したがって、いまダンパに図 9 に見られるように  $10 \text{ nA}$  の電流に相当する電荷蓄積が起こると、約  $300 \text{ V}$  程度のダンパ電位が生ずるはずである。問題の流出パイプは実験に用いたパイプの約 3 倍の口径を有するので、図 11 (b) から類推する軽油の場合でも約  $1 \text{ kV}$  程度の電圧が発生するものと予想される。この値は大気中において近似的な平等電界では  $0.13 \text{ mm}$  程度の間隙で<sup>4)</sup>、不平等電界では  $0.5 \text{ mm}$  程度の針対平板間隙で<sup>5)</sup> 十分放電破壊が生ずると推定される。

#### 4. 試料油をナフサとした激突帶電の類推考察

軽油を試料油とする前記 3 節の模擬実験で、油のダンパへの激突によって強力な静電気の発生が確認され、さらに軽油とナフサとの帶電傾向を比較すると、少なくとも流動帶電に関する限り後者は前者の約 5 倍もの大きな帶電を生ずることが明らかとなった。

ごく大ざっぱではあるが、軽油による実験結果から、一応問題のナフサで流出口パイプ直径が  $2 \text{ in}^{\phi}$  の場合の带電傾向を図 17 で示す。同図では流出口  $2 \text{ in}^{\phi}$  と  $1 \text{ in}^{\phi}$  の換算に図 11 (b) を用いる。また軽油のナフサへの換算には図 15 (b) を用いる。そして図 8 および図 9 のダンパ電位に着目し、この二つの帶電傾向の 60 秒間にについてナフサで代替した  $2 \text{ in}^{\phi}$  パイプの場合の図 5 の装置でのダンパ帶電電位を概算する。するとダンパを完全絶縁としての  $2 \text{ in}^{\phi}$  パイプの場合では、60 秒後に  $-20 \text{ kV}$  の高いダンパ電位となり、これに表 1~2 のローリーのダンパの電気的諸条件（最高の絶縁抵抗および静電容量）を適用すれば、ダンパの電位は  $-3 \text{ kV}$ 、エネルギーは  $0.63 \text{ mJ}$  となりうる場合もあると推定される。事故車における流出口のパイプ直径は  $3 \text{ in}^{\phi}$  であるから、ダンパ部分での油の激突帶電による発生電位および静電エネルギーは上記の値よりもさらに増加するはずである。なお、このダンパ部分周辺は帶電ミスト雲および最低着火エネルギー  $0.26 \text{ mJ}$  というプロパン系空気混合ガスで充満しており、また、上記の静電エネルギーは実験条件下で模擬ダンパでの値であって、このような強力な静電気が発生している以上、ナフサの着火は十分に可能性のあることと考えられる。

具体的にはナフサの着火は

- (1) ダンパの一部分が車体からある程度の絶縁状態にあり、これが油の激突により高い電位となり、車体と接合するダンパの接地部分で強力な火花放電を生じた、
- (2) 発生した強力な帶電ミスト雲のなかで、空間電荷

表 2 同型タンクローリ各部の静電容量（各車種の平均）  
Table 2 Static capacity values in the each part of tank lorry.

Part	Receiver plate	Rear bumper	Chain
Value (pF)	117	142	68

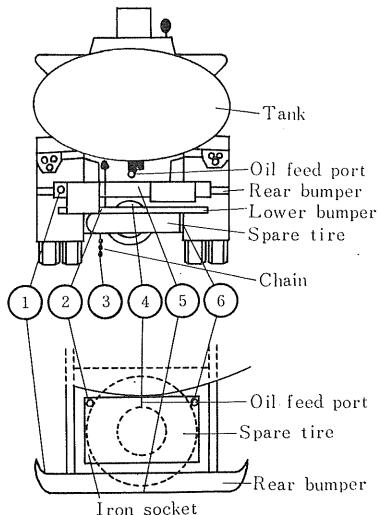


図 16 タンクローリ後部の測定位置  
Fig. 16 Measuring points and parts at the rear of the tank lorry.

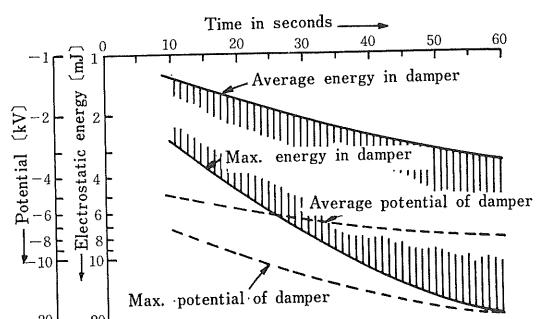


図 17 ナフサとして類推するダンパの電位と静電エネルギー（流出口  $2 \text{ in}^{\phi}$ ）

Fig. 17 Extrapolation curves of the damper potentials and the electrostatic energies in the case of naphtha (pipe diameter=2 in.).

電界により分極したナフサまたは金属スラグが接地突起物の付近を通るととき、強力な火花放電を発生した<sup>8)</sup>、

の二つが考えられるが、その実態については把握が不可能である。

### 5. あとがき

以上油の激突帶電について模擬実験を行なった結果、予想どおり強力な静電気の発生が認められた。ただし、この種激突帶電に関しては、なお幾多の物理的究明の諸点があり、今後の研究に期待するところが大きい。

本文に報告した研究の発端はローリー取扱い運転者の初步的ミスという稀有な火災事故によるものであるが、現在大型化する石油基地、石油系プラント施設での予期しない不十分な設計および老朽化、ふくそうするタンカーまたはローリー相互間の激突、地盤沈下、地震などの天変地異などが原因で、タンクまたはパイプラインなどにき裂が生じ、そのき裂口より油が大量に流出して噴出帶電し、場合によって上記のごとき激突帶電を生ずることはたんなる杞憂であろうか。

おわりに、本研究に関し、福井県警本部鑑識課からは幅広くかつ綿密な実地検証結果が提供され、さらに再現実験については同課の布施田広義、山室亢、宇野格士、

黒原彰の各技師から多大の協力を賜わったことを付記して深甚なる謝意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 増田閃一：最近の静電気工学，p. 51，高圧ガス保安協会（1974）。
- 2) 増田閃一：最近の静電気工学，p. 64，高圧ガス保安協会（1974）。
- 3) 鳥取孝太郎、藤井 求：第20回静電気研究発表会講演要旨集，p. 13，高分子学会（1975）。
- 4) 電気学会編：放電ハンドブック，p. 199，オーム社（1975）。
- 5) 電気学会編：電気工学ハンドブック，p. 543，電気学会（1978）。
- 6) D.T. Rogers, J.P. McDermott and T.C. Munday: Proc. API, Division of Refining, 37, III (1957), 44.
- 7) 鳥取孝太郎：富山大学工学部紀要，12 (1961), 19.
- 8) J.F. Hughes, A.W. Bright, B. Markin and J.F. Parker: J. Phys. D: Appl. Phys., 6 (1973), 966.
- 9) K. Tottori: International Workshop on Electrical Charges in Dielectrics (Electrostatics-1), Kyoto (1978).