

セルフスタンドにおける顧客の静電気除電対策に関する研究

江口 真*, 鈴木 健司*, 黒田 裕司*, 山内 一弘*,

野田 哲也*, 鶴見 文雄**, 荻野 恭久***

概 要

セルフスタンドにおいて、静電気が原因と思われる火災が発生している。このことから、本研究では火災実験、乗用車の調査及び給油作業時における人体の静電電位変化測定等を行い、静電気による火災の起こる要因と対策について検証を行った。本研究で得た主な結果については、次のとおりである。

- 1 乗用車を降りた後、直接給油口に向かって給油口のキャップを開けた場合、相対湿度が高い場合でも火災を発生させる危険がある。
- 2 給油者が履いている靴によって、電荷の緩和に大きな違いがみられる。
- 3 車両の調査を行ったところ、給油口付近に非接地導体がみられた。
- 4 セルフスタンドにおける静電気火災を防止するには、静電気除去シートに触れる等の方法で、給油者に静電気を除電するよう促す必要があるが、抜本的対策のためには、車両やセルフスタンドにおいてハードウェア対策を施す必要がある。

1 はじめに

平成 10 年 4 月に、危険物の規制に関する政令の一部が改正され、「顧客に自ら給油等をさせる給油取扱所」の設置が認められた。これは、ドライバー自らが給油等を行ういわゆるセルフサービス方式の給油取扱所で、セルフスタンドと一般的に呼ばれている。

セルフスタンド設置数は、図 1 のように大きな伸びを示しており、当庁管内において平成 15 年 3 月末現在 69 件で、全体のガソリンスタンドに占める割合は 4 % 弱となっている。この増加に伴って、セルフスタンドにおける静電気が原因と考えられる火災が増加している。総務省消防庁に報告があった全国のセルフスタンドにおける火災のうち、静電気が原因と考えられるものは、平成 14 年 12 月末までで、13 件発生している。事故の概要を表 1 に示す。これを火災発生原因について分類すると、①給油口キャップを開けたときに火出したもの（以下、「ガスキャップファイアー」という。）が 7 件、②給油を行った後、一旦給油を停止して他の作業をし、再びノズルに触れたときに火出したものが 1 件、③給油を行っているとき、または給油を終えてノズルを給油口から抜き出す際に火出したもの（以下、「給油中出火」という。）が 5 件ある。

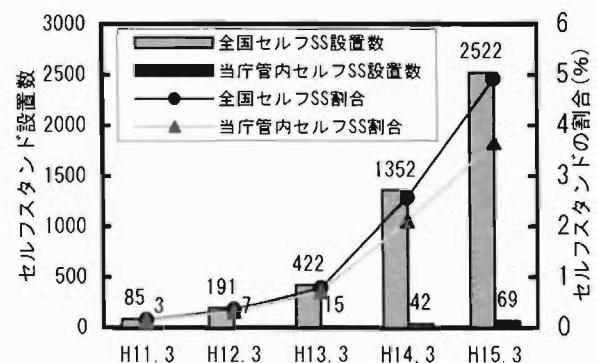


図 1 セルフスタンド設置数及びガソリンスタンドにおけるセルフスタンドの割合の経緯

表 1 静電気が主因と考えられるセルフスタンドの火災における関係者の行動状況

年月	関係者の行動概要
平成 13 年 4 月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④助手席の人が車を降りた（ドアは閉めていない）。 ⑤助手席の人が給油口カバーを大きく開いた。 ⑥助手席の人ではキャップが回らないため、運転手が車を降りた（ドアは閉めていない）。

	⑦運転手がキャップを途中まで回したところで出火した。
平成13年4月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④運転手が車を降りた（ドアは閉めている）。 ⑤ガソリンスタンドの従業員が給油口カバーを大きく開いた。 ⑥運転手がキャップを4分の1ほど回したところで出火した。
平成14年2月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車を降りた（ドアの金属部には触れていない）。 ⑤給油口キャップに触れ、キャップを緩めた瞬間に給油口付近で出火した。
平成14年3月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車を降りた（ドアをどのようにして閉めたかは覚えていないが、普段肘でドアを押して閉めることが多い）。 ⑤給油口キャップを回した（給油口カバーは運転席での操作で完全にオープン）。 ⑥給油口キャップを外したところで出火した。
平成14年3月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車を降りた（ドアは閉めた）。 ⑤給油場所にある取扱説明の内容を確認した。 ⑥給油口キャップに触れ、キャップを緩めた瞬間に給油口付近で出火した。
平成14年3月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けると同時に、ドアを開けた。 ④車から降り、ドアを開めた（ハードトップ車のため、ドアの金属部がガラスに触れて閉めたかは不明）。 ⑤給油口キャップに触れ、キャップを緩めた瞬間に給油口付近で出火した。
平成14年4月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車から降り、ドアを開めた（ドアの金属部がガラスに触れて閉めたかは不明）。 ⑤給油口キャップに触れ、キャップを緩めた瞬間に給油口付近で出火した。
平成14年5月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンは切っていない。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車から降りた。 ⑤半開きになっている給油口のカバーを手で開けた。 ⑥給油口キャップを開け、給油を開始した。 ⑦14リットル程度給油した時点で出火した。
平成14年7月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンは切っていない。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車から降り、ドアを開めた。 ⑤静電気除去シートには触れなかった。 ⑥給油口キャップを開け、給油を開始した。 ⑦約26リットルを給油したとき、ノズルレバーから手を離し、給油ノズルを差し込んだ状態で給油を中断した。 ⑧運転席に戻り灰皿を取り出し清掃した後、灰皿を元に戻し、ドアを開めた（この間、歩行距離約8～10m）。

	⑨給油を再開しようとノズルのレバーを握ったところ、給油口付近から炎が上がり、慌ててノズルを給油口から引き抜いて放り投げた。
平成14年8月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けたと思われる。 ④車から降り、ドアを開めたがどこをさわったか不明。 ⑤静電気除去シートに触れたかは不明。 ⑥給油口キャップを開け、給油を開始した。 ⑦約5～6リットルを給油したとき、給油口付近で出火し、慌ててノズルを戻したとき数滴こぼれて燃えだした。
平成14年10月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③運転席のスイッチで給油口カバーを開けた。 ④車から降りてドアを開めた。 ⑤タッチパネルでハイオクを選択した。 ⑥給油口付近に移動し、給油口キャップをはずし後部トランク上にキャップを置いた。 ⑦計量機のハイオクのノズルを右手で持って給油口に差し込んでトリガーを引き給油を開始した。 ⑧約50秒給油を継続（給油量約24リットル）したところで給油口付近から40～50cmの高さの炎が上がり、驚いて右手を離してノズルを落とした。
平成14年12月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③給油口は運転席のスイッチで開けた。 ④車を降りドアを開めた。 ⑤静電気除去シートには触れていない。 ⑥給油のオーダーをし、給油口キャップを開け、給油ノズルを差し込み、給油を開始した。 ⑦ハイオクガソリンを自ら22.7リットル給油したときに「ボン」と音がし、給油口付近から炎が出たので、あわてて給油ノズルを引き抜き放り出し、直ちに給油口のふたを開めた。
平成14年12月	①所定の位置に車を止めた。 ②エンジンを切った。 ③車から降り、ドアを開めた。 ④給油口カバーを両手で開いた（手袋はしていない）。 ⑤給油口キャップを外し、給油を開始した（静電気除去シートには触れていない）。 ⑥57.08リットルを給油した（給油中は両手でノズル（非ラッチオープン式）を握っていた）。 ⑦ノズルを給油口から抜くとき、ノズル先端部分が給油口から離れる瞬間に出火した。

2 ガスキャップファイアの要因分析

ガスキャップファイアの主要因及びその内訳と考えられるものを表2に示す。

表2 ガスキャップファイアの主要因と内訳

主要因	内 訳
セルフスタンド利用者	①利用者の降車による剥離帯電 ②降車後の歩行による帯電 ③靴、服装の材質 ④静電気除去シート等による人体除電の有無
セルフスタンド	①コンクリート地面への散水の有無 ②コンクリート地面の接地抵抗の有無 ③静電気除去シートの効果の有無

車両	①座席シートの材質 ②ドアの材質及び塗装による絶縁抵抗 ③給油口付近の形状、材質及び絶縁抵抗 ④給油口カバーの材質と絶縁抵抗 ⑤給油口開放スイッチを入れたときの給油口カバーの開口度 ⑥給油口キャップの材質と絶縁抵抗 ⑦タイヤの絶縁抵抗
気象条件	①湿度の高低（車両内も含む） ②気温の高低（車両内も含む）

3 実験方法

本研究では、ガスキャップファイアー及び給油中出火の実証実験を行った。実験を複数回行う都合上、ガソリンペーパーを何度も給油口から噴出させるのは困難なので、模擬的にプロパンガスを用いた。次に、給油口からのガソリンペーパー噴出について検証するため、運転による燃料タンク中のガソリンの温度変化を調べた。併せて、車両室内で冷房、除湿等を行ったときの温湿度変化を調べた。また、給油作業における人体電位の変化を調査するため、人体電位計による計測を行うとともに、静電容量の測定を行った。さらに、車両の給油口等の性状を検証するため、乗用車 13 台について絶縁抵抗計を用いて調査を行った。なお、実証実験においてプロパンガスをを用いたのは、プロパンガスとガソリンペーパーの着火エネルギー、燃焼範囲及び比重が似ていることからである。

(1) ガスキャップファイアー及び給油中出火の実証実験

ア 実験資器材

車両：平成 3 年製普通乗用車、燃料タンクは金属製で、タイヤは導電性あり

バンデグラーフ装置：島津理科器械㈱製 VG-250

給油ノズル、給油ホース

イ 方法

(ア) ガスキャップファイアー再現実験

最初に、バンデグラーフ装置を用いて被験者を帯電させ、車両の給油口キャップを開けようとしたとき放電するかを確認した。次に、車両の燃料タンクから給油口へ至る配管をバイパスし（写真 1）、配管内をプロパンガスで加圧できるようにした。次に、バンデグラーフ装置を用いて給油口付近に火花放電を連続的に発生させた（写真 2）。その後、プロパンガスで燃料タンク及び配管を加圧し、給油口キャップを開放した。なお、加圧圧力（差圧）は、500Pa、1000Pa、2100Pa、3100Pa、及び 4100Pa とした。そして、これら一連の操作を撮影した。

(イ) 給油中出火再現実験

車両のタイヤの下に絶縁性のゴム板を敷き、車両を地面から絶縁した。また、車両の燃料タンク部分とバンデグラーフ装置を接続した。給油ノズルについては、計量機より先の部分のみを用い、元をアースした。給油口キ

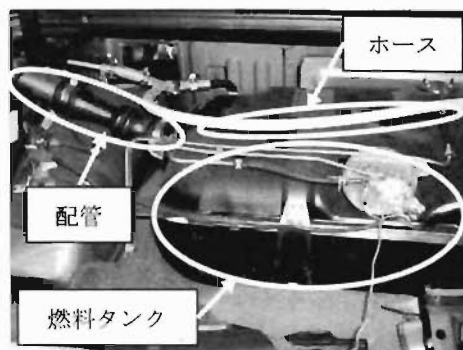


写真 1 配管のバイパス状況
(ホースの先はプロパンガスボンベ)



写真 2 放電電極の設置状況

ャップについては、実験開始時から開放してある状態とした。

セルフスタンド利用者に見立てた被験者が給油ノズルを持ち、給油口にノズルを差し込んだ。この状態でバンデグラーフ装置を用いて燃料タンクを帯電させ、配管中に、写真 1 と同様の装置でプロパンガスを流した。プロパンガスを流し始めた直後に、ノズルを給油口からゆっくりと抜いて、ノズルと車体との間で放電させた。そして、これら一連の操作を撮影した。

(2) 燃料タンクの温度変化及び室内の温湿度変化

ア 実験資器材

車両：平成 3 年製普通乗用車、燃料タンクは金属製で、タイヤは導電性あり

温湿度計：㈱ティアンドディ製 TR-72S

温度計：㈱佐藤計量器製作所製 SK-L200T

イ 方法

燃料タンク下部の金属部分に温度計のプローブを設置した。温湿度計は、車両室内運転席座席シートの背面に設置した。車両のエンジンをかける前に測定を開始し、その後車両を運転し、車両の窓開けやエンジン停止、除湿、冷房等の操作を行った。この実験は、2 回行った。

(3) 人体電位の計測

ア 被測定者

被測定者は被験者 A～D の 4 名として、被験者 A につ

いては①及び②の2種類の服装で計測した。

被験者A (①帯電防止衣上下、導電靴、②綿シャツ、綿製ジーパン、運動靴)

被験者B (ポリエステル製ジャージ上下、運動靴)

被験者C (カーディガン、スカート、ウール製ロングコート、運動靴)

被験者D (ウール製セーター、綿製チノパン、運動靴)

イ 実験資器材

人体電位計：春日電機㈱製 NK-3002 (測定レンジは $0 \sim \pm 10\text{kV}$ 、ただし瞬間的であればそれ以上の電位も測定可能)

データロガー：横河電機㈱製 MV112

車両：平成3年製普通乗用車、燃料タンクは金属製で、タイヤは導電性あり

静電気除去シート：セルフスタンドに設置されているものと同様のもの

ウ 実験条件

気温 10°C 、湿度 $60\%\text{RH}$

エ 方法

人体電位計をデータロガーに接続し、人体電位の継続測定を行った。静電気除去シートについては、裏面に導電性ペーストを塗布し、これを $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 3\text{mm}$ の鉄板の中央に貼付した。そして、この鉄板を接地した。

被験者は、人体電位の計測開始前に、乗用車の運転席に乗り込んだ状態で人体電位計を用いて接地して除電し、人体電位計の値が 0V であることを確認した後計測を行った。計測は、各被験者につき次に示す各行動をそれぞれ3回ずつ行った。

- ①金属部分に触れないように降車し、その後車両の周囲を何も触らずに歩行
- ②降車してから金属製ドアノブを触りながらドアを閉鎖 (金属製ドアノブを瞬間的に触って閉めた)
- ③降車してから肘を使ってドアを閉鎖 (肘で瞬間的に触って閉めた)
- ④降車してからドアの塗装部分を触りながらドアを閉鎖 (塗装部分を瞬間的に触って閉めた)
- ⑤降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、静電気除去シートに素手で継続的に接触
- ⑥降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、半開となっている給油口カバーを全開操作
- ⑦既に給油口カバーが全開となっている状態で、降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、給油口キャップに接触

(4) 静電容量の測定

(3)の人体電位の計測で行った被験者について、同様の服装で静電容量の測定を行った。なお、被験者Aについては、綿シャツ、綿製ジーパン及び運動靴の服装でのみ行った。

ア 実験資器材

人体電位計：春日電機㈱製 NK-3002

クーロンメータ：春日電機㈱製 NK-1002

データロガー：横河電機㈱製 MV112

バンデグラーフ装置：島津理科器械㈱製 VG-250

イ 実験条件

気温 20°C 、湿度 $45\%\text{RH}$

ウ 方法

人体電位計及びクーロンメータをデータロガーに接続した。被験者は接地された鉄板の上に乗り、右手で人体電位計を握り、左手でバンデグラーフ装置を用いて帯電させた。ある程度帯電させたらバンデグラーフ装置を止めて左手を離した。人体電位計で 2kV 以下となり、ほぼ一定となったところで人体電位計を離し、クーロンメータに素早く接触した。ただし、被験者Aについては静電電位の降下速度が速すぎたため、鉄板の上に厚さ 5mm のテフロン板を置き、この上に乗って測定した。そして、 $C = Q/V$

(C ：静電容量[F]、 Q ：クーロンメータ指示値[C]、 V ：人体電位計指示値[V])

の式により人体の静電容量を算出した。

(5) 車両の給油口等の調査

ア 実験資器材

絶縁抵抗計：横河 M&C(株)製 MY-40 (測定レンジ $0 \sim 2\text{G}\Omega$)

イ 実験方法

絶縁抵抗計を用いて、給油口の絶縁抵抗と接地抵抗、給油口周辺の絶縁抵抗と接地抵抗、給油口キャップの絶縁抵抗を測定した。また、車両から外されていたタイヤについて、ホイールの非塗装金属部分とタイヤゴム部分の絶縁抵抗を測定した。これは、車両の金属部分に導通があっても、タイヤに導通がなければ車両全体が非接地導体となるためである。タイヤゴム部分については、タイヤ接地面の一部分しか導電性のないものもあった。そのため、絶縁抵抗計での測定は、一方の電極をホイールの非塗装金属部分に固定し、タイヤ接地面の溝部分、端及び中央等、様々な部分にもう一方の電極を当てて測定した。これらの測定結果のうち、一箇所でも絶縁抵抗計の測定レンジに入れば導体、全てオーバーレンジであれば不導体とした。

絶縁抵抗計を用いない実験として、運転席の給油口開放スイッチを入れた場合に、給油口カバーが全開となるか半開となるかを調査した。また、給油口キャップを開放したときに、ガソリンベーパーが給油口から噴出するかどうかについて調査した。

4 結果

(1) ガスキャップファイアー及び給油中出火の実証実験

ア 給油口キャップ開放

写真3のように、被験者の小指の第二関節あたりと給油口付近の塗装部分との間で火花放電を起こしている。

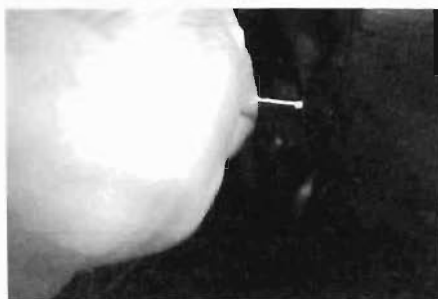


写真3 給油口キャップ開放時の火花放電

イ ガスキャップファイアー再現実験

写真4、写真5に示すように、給油口キャップを開放すると、給油口から噴出するプロパンガスに静電気火花で引火した。圧力によって炎の立ち上がり方に差は見られるものの、全て出火した。出火するまでの時間は圧力によらずまちまちで、早いときで開放直後、遅いときで開放後3秒程度を要した。



写真4 引火した瞬間の給油口



写真5 引火後最も激しく燃焼しているときの給油口

ウ 給油中出火再現実験

バンデグラーフ装置で車両を帯電させて給油ノズルをゆっくり抜き出すと、給油口から給油ノズルが離れたときに火花放電が起こった。この火花放電が最初に起こったときには、プロパンガスに引火しなかった。しかし、何度か火花放電を起こすと数回から10回程度で出火した。写真6に、出火したときのような様子を示す。



写真6 給油中出火の再現実験で出火したところ

(2) 燃料タンクの温度変化及び室内の温湿度変化

図2及び表3に、第1回目の測定データ及び時間経過を、図3及び表4に第2回目の測定データ及び時間経過を示す。

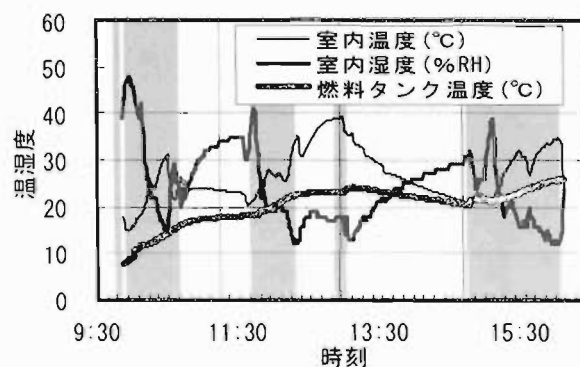


図2 第1回目の車両の温湿度測定データ
(網掛け部分は運転中)

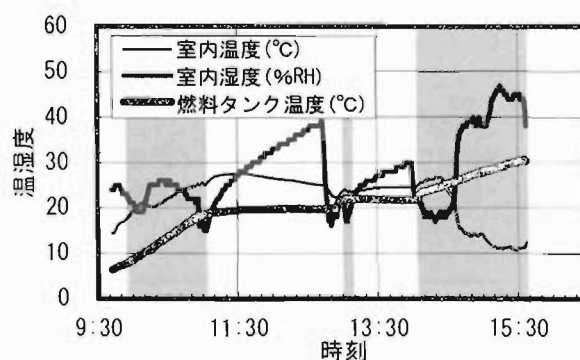


図3 第2回目の車両の温湿度測定データ
(網掛け部分は運転中)

(3) 人体電位の計測結果

人体電位の計測は、同じ服装で同じ行動を繰り返し3回行ったが、これらのうち1回分のみを示す。各行動毎の静電電位変化を図4～図10に示す。

表3 第1回目の車両の時間経過

9:56	エンジン始動、運転開始	12:04	エンジン始動、運転開始
10:00	エンジン停止	12:50	エンジン停止
10:05	給油開始	13:25	エンジン始動、運転開始
10:10	エンジン始動、運転開始	13:40	エンジン停止
10:39	車両運転席及び助手席窓開放	15:35	エンジン始動、運転開始
10:56	エンジン停止	17:10	エンジン停止

表4 第2回目の車両の時間経過

9:42	エンジン始動、運転開始	13:02	エンジン停止
10:07	除湿開始	14:00	エンジン始動、運転開始(除湿中)
10:56	エンジン停止	14:24	冷房開始
12:55	エンジン始動、運転開始(除湿中)	15:36	エンジン停止

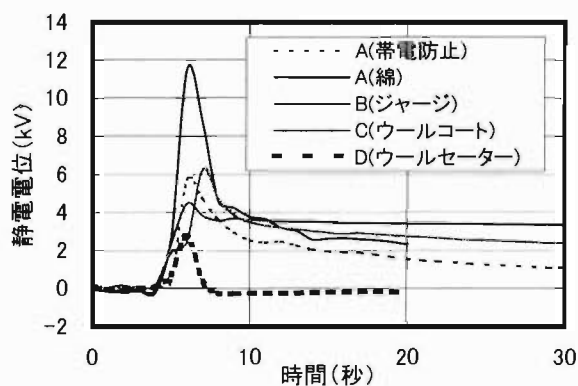


図4 金属部分に触れないように降車し、その後車両の周囲を何も触らずに歩行したときの人体静電電位変化

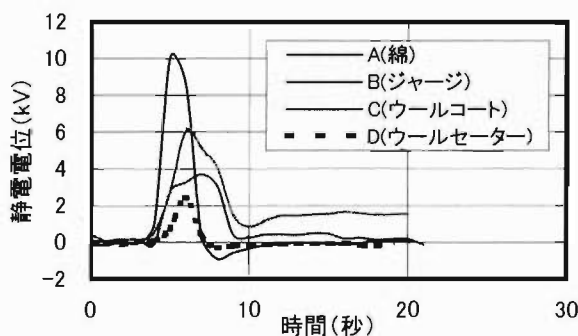


図5 降車してから金属製ドアノブを触りながらドアを閉鎖したときの人体静電電位変化

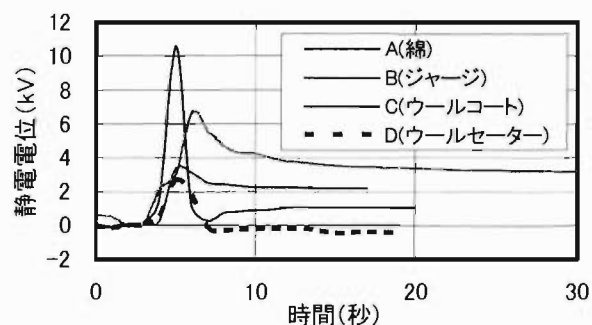


図6 降車してから肘を使ってドアを閉鎖したときの人体静電電位変化

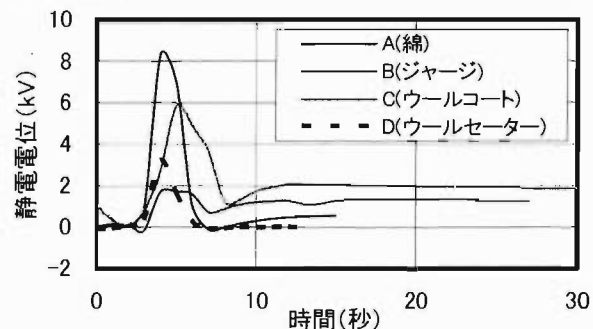


図7 降車してからドアの塗装部分を触りながらドアを閉鎖したときの人体静電電位変化

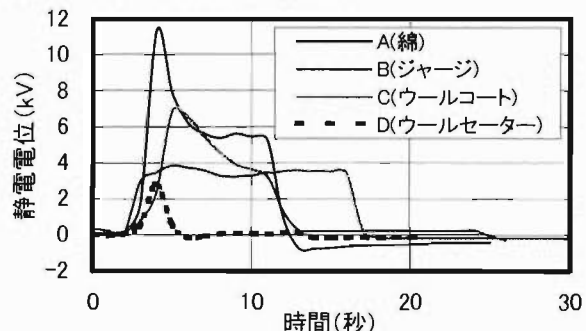


図8 降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、静電気除去シートに素手で継続的に接触したときの人体静電電位変化

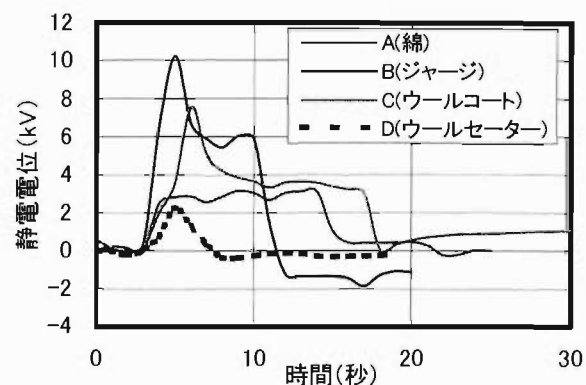


図9 降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、半開となっている給油口カバーを全開操作したときの人体静電電位変化

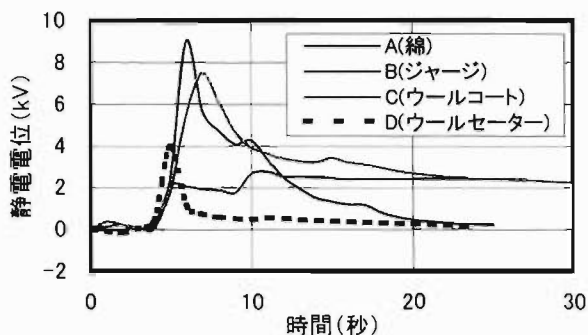


図 10 既に給油口カバーが全開となっている状態で、降車してからドアを閉めずに車両の後ろを回って歩行し、給油口キャップに接触したときの人体静電電位変化

(4) 静電容量の測定

各被験者、服装毎の測定結果を一部示す。なお、図 14 については、電荷の緩和が非常に速かったため、電荷量の測定はできなかった。これらの結果から、各被験者の静電容量を求めると、表 5 のようになった。

表 5 各被験者の静電容量測定結果

被験者 (服装)	1 回目 (pF)	2 回目 (pF)	3 回目 (pF)	平均 (pF)
被験者 A (綿シャツ、綿製ジーパン、運動靴)	145	230	130	168
被験者 B (ポリエステル製ジャージ上下、運動靴)	124	131	126	127
被験者 C (カーディガン、スカート、ウール製ロングコート、運動靴)	354	362	300	340
被験者 D (ウール製セーター、綿製チノパン、運動靴)	93	103	108	101

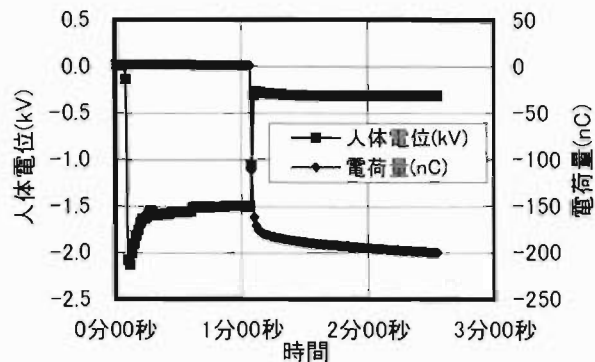


図 11 被験者 A (綿シャツ、綿製ジーパン、運動靴) の静電容量測定結果 (厚さ 5mm のテフロン板使用)

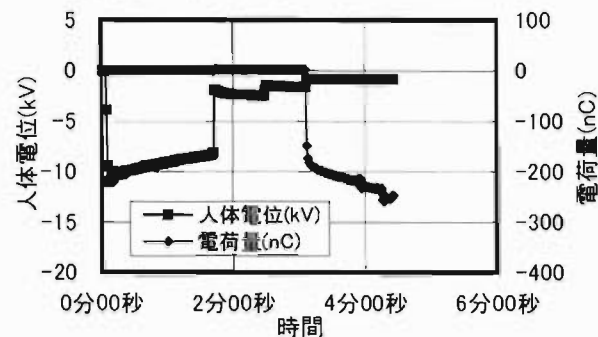


図 12 被験者 A (綿シャツ、綿製ジーパン) が被験者 B の靴を履いたときの静電容量測定結果

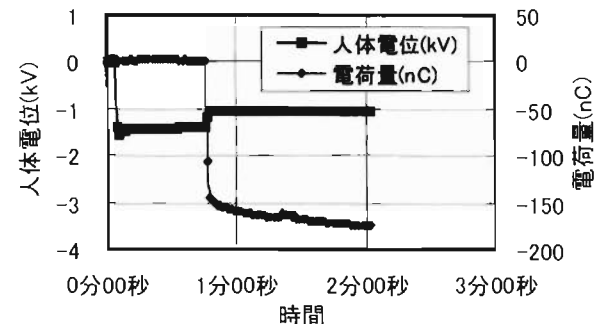


図 13 被験者 B (ポリエステル製ジャージ上下、運動靴) の静電容量測定結果

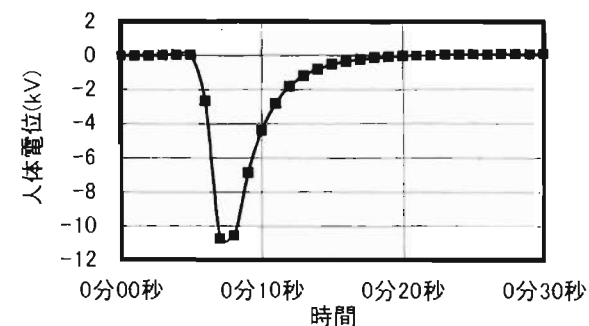


図 14 被験者 B (ポリエステル製ジャージ上下) が被験者 A の靴を履いたときの静電電位変化

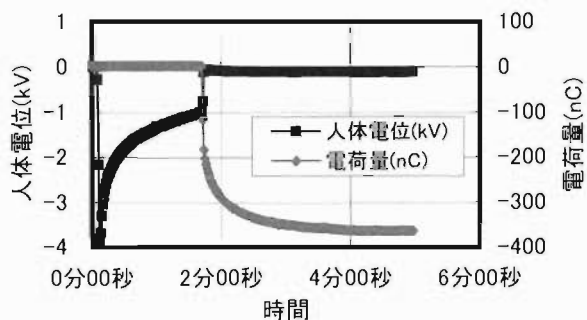


図 15 被験者 C (カーディガン、スカート、ウール製ロングコート、運動靴) の静電容量測定結果

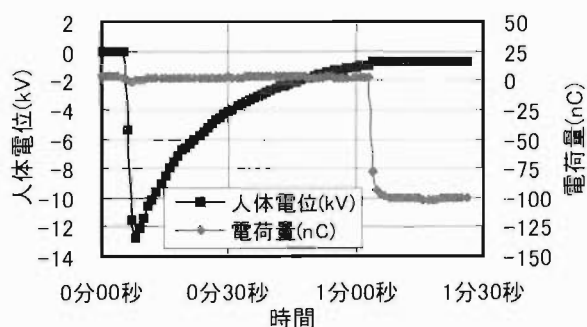


図 16 被験者 D (ウール製セーター、綿製チノパン、運動靴) の静電容量測定結果

(5) 車両の給油口等の調査

13 台調査した各車両のうちで、給油口付近の写真の一部を写真 7～写真 11 に示す。また、各車両の調査結果を表 6 に示す。また、車両から外されていたタイヤ 30 本のうち、絶縁抵抗の測定レンジを超えていたものは、4 本あった。

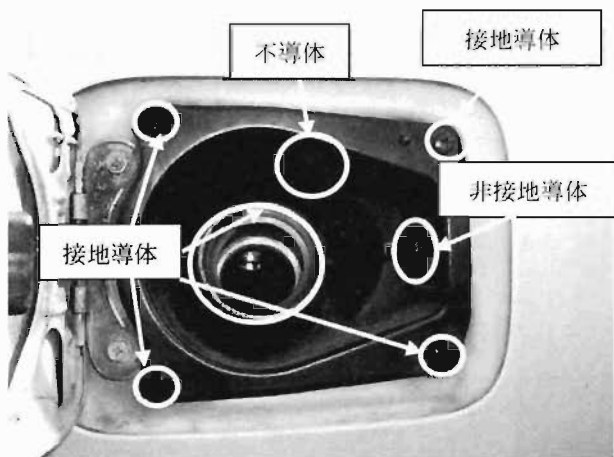


写真 7 車両 A の給油口付近

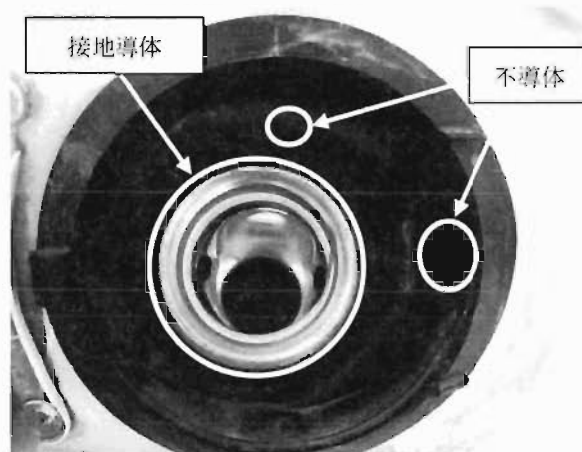


写真 8 車両 C の給油口付近

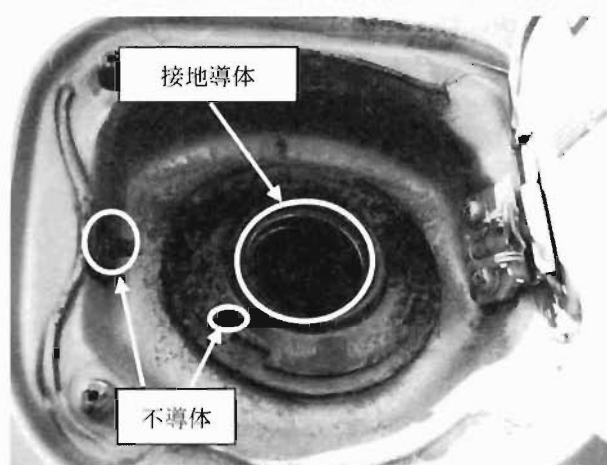


写真 9 車両 E の給油口付近

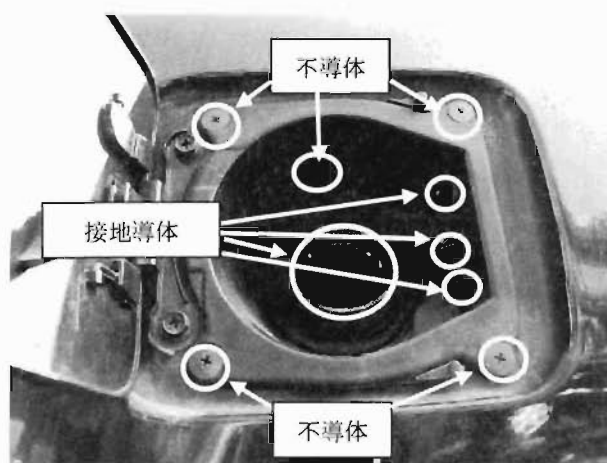


写真 10 車両 G の給油口付近



写真11 車両Mの給油口付近

ウ 車両運転中における燃料タンク中のガソリンの温度変化については、図2、図3から分かるとおり、運転を開始するとエンジンを停止しているときと比べて、温度が上昇する。図3の、冷房操作時において、車両室内温度が降下しているにもかかわらず、燃料タンク中のガソリンの温度が上昇しているのは、エンジンで燃焼した高温の排気ガス等が燃料タンク付近を通っているからと考えられる。よって、車両をセルフスタンドに駐車して給油口キャップを開放すれば、ほとんどの場合は給油口からガソリンベーパーが噴出すると考えられる。また、車両の調査において、運転していない車両でも給油口を開けるとガソリンベーパーが噴出したことから、車両の給油口からガソリンベーパーが噴出するといえる。

帯電した人体と給油口付近で火花放電が起こり、放電の起こった場所がガソリンベーパーの燃焼範囲に入ると、着火する可能性がある。ガソリンの最小着火エネルギーは 0.25mJ と言われており¹⁾、人体の静電容量は履いている靴等で変化するものの、100~300pF と言われている²⁾。よって 200pF の静電容量をもつ人体が約 1.4kV に帯電すれば、ガソリンベーパーに着火する可能性がある（放電で全てのエネルギーが消費されると仮定）。

表6 車両調査結果まとめ

	給油口の絶縁抵抗 及び接地抵抗	給油口キャップ	給油口開放スイッチ 操作時の給油口 カバー開口度	給油口キャップ開 放時のガソリンベ ーパー
車両A	接地導体	不導体	半開	噴出
車両B	接地導体	不導体	半開	噴出
車両C	接地導体	不導体	半開	噴出
車両D	接地導体	不導体	半開	噴出
車両E	接地導体	不導体 (一部導体)	半開	噴出
車両F	接地導体	不導体	半開	噴出
車両G	接地導体	不導体	半開	噴出
車両H	接地導体	不導体	半開	噴出
車両I	接地導体	不導体	半開	噴出
車両J	接地導体	不導体	半開	噴出
車両K	接地導体	不導体	全開	噴出
車両L	接地導体	不導体	半開	噴出
車両M	接地導体	接地導体	測定不能	噴出

5 考察

(1) ガスキャップファイアの発生危険

ガスキャップファイアの発生危険を考えたとき、以下のとおりとなる。

ア 人体が帯電すると給油口キャップを開けた際に、手と給油口の間に火花放電が起こることが確認された（写真3）。

イ 給油口キャップを開けた際に給油口からガソリンベーパーが噴出し、このとき火花放電が起これば、火災に至る（写真4、5）。写真4、5ではプロパンガスを用いているが、プロパンガスとガソリンベーパーの着火エネルギーや燃焼範囲、比重が似ていることから、ガソリンベーパーが給油口から噴出した場合でも同様の結果となったと考えられる。

(2) 一連の給油作業時における人体の静電電位変化測定

図4から図10をみると、被験者及び服装によって、帯電に大きな違いが見られる。これは、車両からの降り方や、着衣の素材と吸湿度合、履いていた靴の湿り具合等の影響が考えられる。

ア 車両からの降り方

一般的に剥離帯電の場合、急激に剥離した方がゆっくりと剥離するよりも強く帯電するといわれている²⁾。被験者によって車両からの降り方に違いがあり、被験者Aは急に車両の座席シートから立ち上がる傾向があった。被験者C及び被験者Dについては、ゆっくりと車両の座席シートから立ち上がっていた。また、被験者Bは、それらの中間程度であった。

イ 電荷の緩和

図4から図10より、降車すると人体電位の上昇がみられるものの、その後の静電気の降下速度（電荷の緩和）は大きく異なっていた。綿素材のシャツとジーパンを着た被験者Aと、ポリエステル製の衣服を着た被験者Bの差がはっきりと出ている。静電容量の測定結果である、図12をみると、被験者Aが被験者Bの靴を履くとほとんど電荷が緩和されず、また図14のように、被験者Bが被験者Aの靴を履くと3秒程度でほぼ電位がゼロとなった。このことから、衣服の差よりも靴の絶縁性の差が電荷の緩和に大きな影響を及ぼすと考えられる。

ウ 履いていた靴の湿り具合

図には掲載していないが、被験者によって、実験場所において雨で濡れた靴で測定したため、ほとんど降車時に帯電しなかった場合があった。また、被験者Aや被験者Bが雨の当たる屋外で測定しても、それによって静電電位に大きな変化はみられなかったものの、深さ1cm程度の水溜りに足を踏み入れると、瞬時に静電電位が0kVになった。これは、靴が湿ったことにより靴の表面に水の被膜が形成されて導電性が大きくなり、足と地面の間に導電性が確保されることによると考えられる。

(3) 車両の調査

車両13台の調査の結果、表6に示すとおりとなったが、これらのうち1台のみ給油口開放スイッチを入れると給油口カバーが全開となった。また、給油口キャップは1台の軽自動車（車両M）を除き、全て不導体だった。当庁管内で起きた火災も（表1参照）、入手した監視カメラによる映像から、給油口カバーが全開となっていたことが確認されている。給油口カバーが全開だったとすると、運転席を降りたセルフスタンド利用者が除電されないまま、直接不導体の給油口キャップに触って開放できてしまう。この場合、図9に示すような給油口カバーとの接触による除電効果が期待できないため、ガスカップファイアーの起こる可能性が大きいと考えられる。

(4) 静電気除去シートの効果

セルフスタンドに実際に設置されている静電気除去シートと同型のものを今回の実験で用いた。この静電気除去シートに触ることにより、帯電していた人体がほぼ瞬時に除電された（図8参照）。しかしながら、一部の被験者では、静電気除去シートに触れることにより逆極性に帯電してしまう例もあった。逆極性であっても、車両の給油口との電位差があれば放電する可能性があるため、静電気除去シートに触れた後給油口キャップを開放すれ

ばガスカップファイアーが起こらないとは言い切れない。よって、人体と給油口付近の電位を同じにすれば放電を防ぐことができるので、再度給油口付近に触れてから給油口キャップを開放するのがより安全と考えられる。

(5) ドア開めの方法

今回の実験では、人体電位の計測において降車後のドア開めを行ったが、ドア開めの方法によって違いがみられた。図5から金属製ドアノブを触ってドアを閉めた場合、被験者によって異なるものの、概ね図4の何も触れないときと比べれば除電効果がみられた。

図6から、肘を使ってドアを閉めた場合、被験者Aは肘とドアの金属部分との間で火花放電を起こして除電された。しかし、被験者Cのように人体電位にほとんど変化がみられない場合もあった。これは、着衣の厚みによるもので、着衣の厚みと車両の金属に施された塗装部分の厚みの合計が大きいことから人体―車両金属間の絶縁破壊強度に達しないため、放電しなかったものと考えられる。

車両の塗装部分を触ってドアを閉めた場合、概ね金属製ドアノブを触って閉めた場合と近似した結果となったものの、金属製ドアノブを触って閉めた場合と比較すると、除電の度合いが小さかった。これは、車両の塗装部分の絶縁抵抗が2GΩ以上あるため、人体に蓄積された電荷が放電により放出されにくいからと考えられる。

(6) 給油中出火

給油中出火の要因については未だ定かではないが、可能性として考えられるものについて以下に示す。

ア 給油口の接地抵抗

車両から外されたタイヤのホイールとタイヤ接地部分の絶縁抵抗は、ほとんどは導電性があったものの、一部に2GΩ以上となっているものがあった。この不導体と考えられるタイヤを車両に装着した場合、給油中に車両が帯電する可能性がある。昭和55年に自治省消防研究所と当庁合同で行われた実験³⁾によると、タイヤの下に絶縁板を敷いた状態で、給油ノズルを浮かせて車両にガソリンを40リットル給油した場合、車両からの漏洩電流より求めたエネルギーは1.32mJに達していた。これはガソリンの最小着火エネルギーよりずっと大きい。このことから、給油方法によっては車両が帯電して給油ノズルとの間で放電が起こり、給油口から出るガソリンペーパーに着火して火災に至る可能性がある。

給油ノズルを浮かせる行為であるが、セルフスタンド利用者には滴量自動停止装置が給油ノズルに付いていることを知らない者もあるため、給油口を覗き込みながら給油ノズルを給油口から浮かせた状態で給油することもありうる。

イ 給油口付近の非接地導体

今回調査した13台のうち、2台に、給油口付近に非接地導体が存在することが判明した。非接地導体は誘導帯電等で放電する可能性がある。たとえば、給油ノズル

による給油で帯電したガソリンによる誘導帯電、燃料タンク中に入ったガソリンによる誘導帯電、先述した給油口がタイヤを通じて接地できない場合に車両が帯電するときの誘導帯電等が考えられる。給油ノズルとこの非接地導体あるいは給油口と非接地導体の距離等の状況によっては、放電して火災に至る可能性も考えられる。

(7) ガスキャップファイアーの防止方策

これまでの実験結果から、接地導体である金属製ドアノブや静電気除去シートに触れたとしても、完全に人体を静電気除去できるとは限らないことが分かった。この原因は、実際に帯電しているのは着衣の方であり、人体は誘導帯電しているからであると考えられる。着衣はほとんどの場合不導体で、不導体が帯電した場合の除電を短時間に行うためには、接地ではあまり効果がない。このため、人体を接地したとしても着衣の除電は難しいということになる。しかし、不導体の着衣と給油口付近との間で放電したとしても通常はガソリンベーパーに着火する程のエネルギーはもたないので、人体と給油口付近との間の放電を防止すればよいことになる。タイヤが不導体だった場合は車両の給油口付近も帯電している可能性が考えられるため、最終的には人体と給油口付近の電位を等しくする必要があると考えられる。すなわちセルフスタンド利用者は、静電気除去シート等の接地導体に触れてある程度電荷を緩和してから、再度給油口付近の金属部分等に触れれば、より安全性が高まると考えられる。

しかしながら、ガスキャップファイアーを完全に防止するためには、セルフスタンド利用者が掲示等を読むことなく降車した後、給油口キャップを開放したとしても出火しないようにする必要がある。ガスキャップファイアーを防止するための短期的な方策としては、次のようなものが挙げられる。

ア 利用者が降車して給油口キャップを開放するまでの間に除電できるようにする。例えば、以下のようなものが考えられる。

①計量機付近に除電器を設置し、降車場所と給油口キャップの場所との間において人体及び車両を除電できるようにする。

②利用者が車両を運転してセルフスタンドに入ってきたら、給油口キャップを開放する前に、除電シート等に触れるように促すアナウンスを流す。

③のれんのような接地導体を、計量機をまたがって設置し、降車してからのれんをくぐらなければ給油口へたどり着けないようにする。のれんと車両が接触するようにすれば、車両も除電できる。

イ 給油口キャップに導電性を付与する。導電性をもたない給油口キャップには、導電性スプレー等を塗布して、表面に導電性を持たせる。これにより給油口キャップを開けるときに人体と給油口の電位を等しくして、放電を防止できる。なお、導電性スプレー等の持続性の確認と、

これにより完全にガスキャップファイアーを防止できるかは検証していない。

これらの短期的な方策でもガスキャップファイアーは減少すると考えられるものの、抜本的対策のためには、車両やセルフスタンド等、ハードウェア的対策をとる必要があると考えられる。例えば、以下のようなものが考えられる。

① 給油口カバーを接地導体として、給油口開放スイッチを入れると必ず半開となるような構造とし、さらに給油口キャップに導電性をもたせる。

② 給油口を車両のより内側にもっていき、給油口キャップに触れる前に給油口周辺の接地導体により除電されるようにする。もしくは給油口周辺を全て不導体とする。

③ 給油口開放スイッチを入れたときに、給油口から燃料タンクに至る配管内のガソリンベーパーを安全なところへ逃がすことができるようにする。

6 まとめ

(1) 降雨時の湿度が高いときでも、セルフスタンドの利用者が車から降りる際に、強く帯電する場合がある。

(2) 靴によって、人体及び服に帯電した後の電位の下がり方に大きな違いが認められる。

(3) セルフスタンドに設置されている静電気除去シートに触れることにより、除電効果はみられるものの、完全に静電気が除電されない場合がある。

(4) 今回調査した車両のうち、ほとんどの給油口キャップは、絶縁体だった。

(5) ガスキャップファイアーを防止するためには、静電気除去シート等接地導体に触れた後、再度給油口付近の金属部分等に触れる必要がある。

[参考文献]

- 1) 浅野和俊：火災学会誌 268, 54, No. 1 (2004)
- 2) 村田雄司：静電気の基礎と帯電防止技術、日刊工業新聞社(2003)
- 3) 全国危険物安全協会連合会、東京消防庁監修：危険物火災と静電気、全国危険物安全協会連合会(1982)

STUDY ON MEASURES FOR ELIMINATION OF STATIC ELECTRICITY FROM CUSTOMERS AT SELF-SERVICE GAS STATIONS

Makoto EGUCHI*, Kenji SUZUKI*[†], Yuji KURODA*, Kazuhiro YAMAUCHI*,
Tetsuya NODA*, Fumio TSURUMI***, Yasuhisa OGINO***

Abstract

A number of fires, which are considered to have been caused by static electricity, occur in self-service gas stations. We studied on the factors and countermeasures of those fires by conducting fire tests, investigating cars, measuring electrostatic potential gradation of the human body at refueling work, etc.

The major results were as follows:

- (1) Even when relative humidity is high, a fire may occur if a customer walks directly to the tank opening of the car after getting off, and opens the cap.
- (2) Relaxation time of electrostatic potential differs greatly depending on the shoes the customer is wearing.
- (3) When the car was examined, non-grounding conductors were observed around the tank opening.
- (4) Specific physical measures must be taken to solve the radical problem of cars and self-service gas stations, and prevent the static fire in self-service gas stations. For example, static elimination seats should be placed at the stations for clients to let static out of their bodies.

* Second Laboratory ** Oi Fire Station *** Tamagawa Fire Station