安全弁の作動に伴う液体噴出時の静電気測定†

山 隈 瑞 樹*¹ 水 谷 高 彰*² 山 内 章*³ 清 水 康 雄*³

化学反応容器の安全弁が作動したときに、引火性液体の噴出によって生じる静電気が爆発性混合気に着火する可能性を検討するために、多種の液体を用いて実験を行った。その結果、帯電量に対して、容器の内圧と安全弁作動圧の差、気液混合の状態、導管の有効長、液温、液体に含まれる粉体の濃度と粒径、安全弁のサイズなどが顕著な影響を及ぼすことを明らかとした。とりわけ、非導電性液体に粉体が含まれると、液体だけの場合と比較にならないほどの大量の電荷が発生した。また、テトラヒドロフランは比較的大きな電荷を生ずるとともに場合によっては非常に大きな電荷を生じることが示唆された。本実験で得られた電荷量であっても着火性ブラシ放電を生じる程度の空間電荷雲が形成される可能性があり、現場ではブラシ放電対策を施すことが望ましい。

キーワード: 安全弁、静電気、爆発・火災、流動帯電、噴霧帯電

1 はじめに

通常、化学反応容器には、図1に示すように、異常圧力（設定値を超える圧力）が発生した場合に容器が破壊することを防止するために、圧力を低下させる機構としてラプチャーディスクおよび安全弁を取り付ける（ラプチャーディスクと安全弁を並列に、または、どちらか一方だけを取り付ける場合もある）。ラプチャーディスクは、薄い金属板が設定圧力を超えたときに破裂して圧力を開放するものであり、一度作動すると圧力が低下しても復元することはない。一方、安全弁は、図に示すように、バネによって弁体を弁座に押し付けて閉路しているの、流路から弁体に加わる力がバネの力を超えたときだけ弁体が持ち上がって開路する構造となっている。

これらの安全装置によって化学反応容器は異常圧力となっても健全性を維持できるが、容器の内容物に可燃性ガスや引火性液体が含まれていると安全弁作動時にこれらが大気中に噴出して周囲に爆発性混合気を形成する

ことがあり、このとき何らかの着火源があれば爆発や火災となる。着火源としては様々なものが想定されるが、予測が困難なものとしては静電気があり、特に、安全弁から気体や液体が噴出する場合の静電気については知見がほとんどないのが現状である。過去には、高压ジェット洗浄での液体噴射が着火源となった事例もいくつか報告¹⁾されており、筆者らも塗装機²⁾およびスプレー缶³⁾の噴射に伴う静電気を測定したことがあるが、これらは用途に適した液滴をつくることを目的とする装置類であり、安全弁の噴出機構とは異なるものと考えられる。

そこで、本研究では、可燃性液体を含む多種の液体を用いて安全弁から噴出する際の静電気を測定した。その結果、多くの有益な知見が得られた。

2 実験方法

1) 実験装置

実験装置を図2に示す。液体容器（耐圧1 MPa、内容積28 L）に液体試料を封入し、これをボンベ入り気体（窒素）を用いて加圧し、圧力が安全弁の設定作動圧を超えると弁が開放されて液体およびガスが噴出する。液体容器には下部に液体管路（主配管）を、上部（液面よりも上方）に気体管路を設け、途中で気体管路を液体管路にジョイントさせることによって、任意の割合で液体と気体を混合させること（気液混合状態）が可能である。安全弁は、排出口が下向きとなるよう横にして設置し、噴出した液体をストレート管を通じて電荷および重量測定用の金属容器に収容できるようにした。この金属容器には、内部が過剰な圧力とならないように通気性のある焼結金属をフタに取り付けているのでフタを通して気化した蒸気の一部が外部へ散逸するが全体量と比較すれば無視できるほど小さい量である。なお、加圧に窒素を用いたのは液体試料の多くが引火性液体であるので不慮の着火事故を防止するためである。

本研究における測定量は次のとおりである。

- (1) 液体容器の圧力
- (2) 配管で発生する静電気の電流（管電流）
- (3) 安全弁で発生する静電気の電流（弁電流）
- (4) 噴出した液体の電荷

図1 安全弁の取付場所と基本構造

† 原稿受付 2013年04月12日

† 原稿受理 2013年07月09日

*1 (独)労働安全衛生総合研究所 電気安全研究グループ

*2 (独)労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ

*3 株式会社カネカ

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

(独)労働安全衛生総合研究所 電気安全研究グループ 山隈瑞樹*¹

E-mail: yamaguma@s.jniosh.go.jp

図 2 実験装置

図 3 粉体分散用バブリング攪拌機構

(5) 噴出した液体の重量

液体容器の圧力は、電子圧力ゲージ（コパル電子 PG-200）、電流および電荷はエレクトロメータ（Keithley, 6514/J）、噴霧物の重量はデジタル重量計（A&D, GP-100KS）で測定した。導電性液体（ $1 \times 10^{-8} \text{ S/m}$ 以上）の場合には、管電流と弁電流を明確に分離することが困難であること、および、電流計（エレクトロメータ）間の相互作用により正しい測定が困難であったため配管と安全弁を導線で接続し、電氣的に一体とすることで総合的な値を測定した。さらに、粉体を含む液体の噴出実験を行う場合には、図 3 に示すバブリングによる攪拌機構を液体容器に組み込んで極力均一な混合状態となるようにした。これは、底部にリング状のステンレス鋼管を配置し、側部に開けた穴から気泡を出すことによって液体を揺らすものである。

表 1 液体試料とその導電率

試料	導電率 [S/m]	
	液温 8 °C	液温 30 °C
水道水	6.5×10^{-5}	2.2×10^{-4}
イオン交換水	2.0×10^{-5}	4.5×10^{-5}
メチルエチルケトン(MEK)	1.0×10^{-6}	5.9×10^{-6}
テトラヒドロフラン(THF)	4.5×10^{-8}	2.6×10^{-7}
スチレンモノマー	1.6×10^{-11}	1.9×10^{-11}
灯油 a	5.3×10^{-13}	1.1×10^{-12}
灯油 b	4.0×10^{-12}	8.0×10^{-12}
ヘキサン	1.5×10^{-14}	3.2×10^{-14}

表 2 液体試料とその粘度（液温 10 °C）

（静粘度＝比重×動粘度）

名称	比重 [g/cm³]	動粘度 [cSt]	静粘度 [cP]
水道水	1.000	1.31	1.31
メチルエチルケトン(MEK)	0.816	0.58	0.48
テトラヒドロフラン(THF)	0.890	0.63	0.56
スチレンモノマー	0.912	1.03	0.94
灯油 a	0.802	1.85	1.48
ヘキサン	0.655	0.54	0.35

2) 試料

噴出実験に用いた液体試料は、表 1 に示す 8 種類である（灯油は入手した時期によって導電率が異なっていたため、より導電率が低い方を灯油 a、他方を灯油 b とよぶこととする。）。これらの導電率および粘度をそれぞれ液体導電率測定装置⁴⁾およびウベローデ SU 粘度計で測定した値を表 1 および表 2 に示す。

粉体試料としては、液体に対して溶解性がなく、かつ、攪拌時には液中に均等に分散する必要があるため、数種の候補の中から実験の上、株式会社カネカ製 MBS（メタクリルブタジエンスチレン）樹脂（中央径約 200 μm ）を選定した。

3) 安全弁

実験に使用した安全弁は、株式会社ベン製安全逃し弁 Type SL-38D であり、弁座口の径（呼び径）15 mm および 25 mm の 2 種類を用いた。以下、呼び径 15 mm のものを弁(15 A)、25 mm のものを弁(25 A)とよぶ。弁座および弁体の材料はステンレス鋼(SCS)である。

3 結果および考察

以下の実験において、特に記述がない限り、弁(15 A)を用いた結果を示している。

1) 設定圧力と噴出状態の影響

安全弁の動作時と静電気の発生に影響を与えるファクタを知るために、イオン交換水を噴出させて電流および電荷を測定した。この実験では気体管路を全閉に、液体管路を全開にした（液温 22 $^{\circ}\text{C}$ ）。

まず、作動の条件として、液体容器の圧力の初期値（以下、初期圧という。）が弁の作動圧に近い場合と初期圧が弁作動圧よりもかなり高い場合を測定した結果を図 4 (a)および(b)に示す。時間の経過とともに、①液のみの噴出からやがて液面が排出口に達すると気体が混入し、②気液混合状態へと噴出の状態が変化する（これを、気液混合 a という。）。特に図 4 (a)の場合には、最後には③弁が約 3 s 毎にオン・オフを繰り返す、間欠的な噴出をするようになる（これを、気液混合 b という。）。電流および電荷は液のみよりも気液混合 a の状態の方が顕著に大きいものとなる。また、気液混合 b の状態では電流は比較的小さいが、噴出量も少ないため、比電荷量（質量当たりの電荷）は気液混合 a の状態よりも増加するという結果であった。気液混合状態となったときにはより微小な液滴が多量に生成されるため、分裂帯電量が増加したと考えられる。

実験結果をまとめると表 3 のようになる。No.1 と No.2 は、弁の作動圧が等しく、初気圧にもほとんど差はないが、No.1 の方は気液混合 a での噴出が長時間続いたため、電流および比電荷はかなり大きくなった。No.3 と No.4 を比較すると No.4 では気液混合 a のみであり、かつ、初期圧が高いために電流および電荷が極めて大きなものとなった。このように、液滴の状態が帯電性に大きく影響する。

- ①液のみ噴射(0-8 s)
電流小(10 nA), 圧力: 初期圧維持
電荷=0.16 μC /1.2 kg=0.027 $\mu\text{C/kg}$
- ②気液混合 a(8-18 s)
電流大(>20 nA), 圧力: 作動圧まで低下
電荷=0.16 μC /1.2 kg=0.13 $\mu\text{C/kg}$
- ③気液混合 b(18 s-)
安全弁が 3 s 毎に開閉を繰り返す,
電流: 中 (15 nA), 圧力: 作動圧付近で変動
電荷=0.22 μC /0.7 kg=0.3 $\mu\text{C/kg}$

(a) 内圧が弁作動圧に近い場合

- ①液のみ噴射(0-5 s)
電流小(20 nA), 圧力: 初期圧維持
電荷=0.12 μC /3 kg=0.04 $\mu\text{C/kg}$
- ②気液混合(5s -)
電流大(>60 nA), 弁は開放のまま
電荷=1.1 μC /2 kg=0.55 $\mu\text{C/kg}$

(b) 内圧が弁作動圧よりかなり高い場合

図 4 噴出時の圧力の影響

表 3 イオン交換水噴出実験結果

No.	弁作動圧 [kPa]	初期圧 [kPa]	比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]	最大弁電 流 [nA]
1	390	395	0.21	50
2	390	425	0.094	22
3	260	270	0.062	10
4	260	385	0.25	65

2) 安全弁の排出口へ取り付けた導管の影響

安全弁の排出口から直接大気へ放出されることは通常はなく、安全と考えられる場所へ導くためにパイプやダクトが取り付けられることが多い。これを想定し、排出口にストレート管(長さ 100 mm, 内径 19.5 mm)または T 字管(長さ 200 mm + 55 mm, 内径 19.5 mm)を接続して測定を行った。これらの結果を表 4 に示す。

これによると、導管の有効長が長くなるほど水道水(導電性液体)では電荷の発生量は小さくなるが、灯油(非導電性液体)では逆に増加するという結果が得られた。これは、導電性液体では弁で発生した電荷が導管を通過する際に電気伝導によって緩和すること、また、非導電性液体では、液体が導管を通過するときに再度流動および分裂帯電することを意味している。したがって、導管の影響は液体の導電性によって異なることに注意を要する。

表 4 排出口に取り付けた導管の影響

導管	水道水 (8 °C)		灯油 a (22 °C)		
	比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]	弁電流 [nA]	比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]	管電流 [nA]	弁電流 [nA]
なし	0.19	38	0.014	3	2
短管	0.057	16	0.050	3	11
T 字管	0.032	10	0.095	3	17

3) 圧力および気体混合量の影響

安全弁の作動圧と液体容器の初期圧、導管(長さ 50 mm, 内径 19.5 mm)の有無、気体の供給量を変化させてこれらの影響について調べた。液体試料は水道水とした。その結果を表 5 に示す。

これによれば、ガス流量が増加するとともに比電荷も増加することがわかる。これは、液滴の分裂がより活発となり分裂帯電量が増加することによると考えられる。また、導管は 50 mm と短いものであっても、導管を取り付けることによって比電荷は約 1/2 となった。また、弁作動圧の増加は電荷に顕著な影響を与えなかった。

なお、本実験においては、電荷測定のためには何らかの導管を使用して測定用容器に導く必要があったため、以下の実験においては、特に明記しない限り、導管(50 mm)を使用し、かつ、気体のみのときのガス流量を 200 kL/min に設定した。液体との混合時の実ガス流量はばらつきが多いが平均的には設定値の約 1/2 であった。

表 5 水道水噴出実験結果

導管	作動圧 (初期圧) [kPa]	ガス流量 [kL/min]		比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]
		設定値	実測値	
なし	260 (440)	100	50	0.19
あり	260 (440)	100	50	0.08
あり	260 (440)	200	100	0.12
あり	420 (580)	200	100	0.11
なし	420 (580)	200	100	0.26

4) 可燃性液体の噴出実験

液温 7 ~ 10 °C、弁の作動圧 420 kPa、容器の初期圧 630 kPa とし、THF、MEK、灯油 a、ヘキサンおよびスチレンモノマーを噴出させたときの測定例を図 5~9 に示す。また、比電荷を表 6 に示す。

表 6 の結果から、導電性液体 (THF、MEK) は、非導電性液体 (スチレンモノマー、灯油 a、ヘキサン) よりも帯電量が大きく、また、帯電極性は前者が正、後者が負という特徴が見られた。特に、非導電性液体では、導電率が低いほど弁電流も小さくなる傾向が見られるが、これは導電率が低いほど液中のイオン濃度が低いので液滴に含まれる電荷が減少するためと考えられる⁵⁾。

導電性液体は一般に噴霧帯電量が多いことが知られているが、本実験結果を見る限り、必ずしも帯電量は導電率と相関があるわけではなかった。特に、THF は他の液体に比べて電荷発生量が多いものであった。実は、この表には反映されていないが、最初の噴出実験では、比電荷 1.6 $\mu\text{C}/\text{kg}$ 以上、平均電流 300 nA 以上という極めて大きな発生量を示した。現時点では再現することができていないが、THF の噴出に伴う火災事例⁶⁾もあることから、今後詳細な解明を要するものと考えられる。

非導電性液体のなかで、灯油とヘキサンでは、管電流の方が弁電流よりも大きくなっているが、スチレンモノマーでは逆に安全弁電流の方が大きい。スチレンモノマーは他よりも 1 桁~3 桁ほど導電率が大きく、したがって緩和時定数も小さいことから、管内での流動帯電電荷は中和して減少し、弁での分裂帯電は増加したものと考えられる。

非導電性液体 (特に、灯油、ヘキサン) は流動帯電によっても帯電するので、反応容器から安全弁までの距離および流速によっては安全弁での分裂帯電量を超える電荷となり、結果的に大きな噴霧電荷を示す可能性がある。

図5 THFの帯電測定例

図8 スチレンモノマーの帯電測定例

図6 MEKの帯電測定例

図9 ヘキサンの帯電測定例

図7 灯油aの帯電測定例

表6 可燃性液体噴出実験結果 (液温 < 10 °C)

液体	比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]	平均管電 流 [nA]	平均弁電 流 [nA]
水道水 (参考)	0.11	-	-22
MEK	0.07 ~ 0.09	-	-15
THF	0.17 ~ 0.25	-	-44
スチレン モノマー	-0.009 ~ -0.06	-0.11	7.4
灯油 a	-0.019	3.4	2.4
ヘキサン	-0.0028	0.096	0.029

表 7 粉体を混入した場合の比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$] (液温 30 °C)

液体	粉体(MBS 樹脂)の濃度 (質量比) [%]					
	なし	0.2	1.0	5.0	1.0 ($<150\ \mu\text{m}$)	1.0 ($>150\ \mu\text{m}$)
水道水	0.46	0.38	0.49	0.66		
灯油 b	-0.33	-0.26	-1.7	-2.4	-1.7	-0.96

図 10 水道水に MBS(5.0%)を混ぜた場合

図 11 灯油 b に MBS(5.0%)を混ぜた場合

5) 粉体の混入があった場合の影響に関する実験

液体試料として水道水と灯油 b を選定し、これに対して MBS 粉を重量比 0.2~5.0%で混入し噴出させた。実験条件は、液温 30 °C、弁の作動圧 420 kPa とした。

水道水および灯油 b に関する実験結果の例を図 10 および 11 に示す。また、各濃度条件における比電荷の例を表 7 に示す。

濃度 1.0%のものについては、粉体を目開き 150 μm の金網でふるい分けをし、通過したもの($<150\ \mu\text{m}$)としなかったもの($>150\ \mu\text{m}$)をそれぞれ用いて実験を行った。まず、水道水の場合には、MBS の混合率の増加とともに比電荷は微増した。一方、灯油の場合には、MBS の混合比が増加するにつれて比電荷は顕著に増加し、5.0% 混合時には 2.4 $\mu\text{C}/\text{kg}$ に達した。これは、混合しない場合の約 8 倍の電荷量であり、粉体が支配的な影響を及ぼすことが分かる。これらの結果は、導電性液体では粉体の電荷は直ちに中和されるので大きな影響を与えないが、非導電性液体では中和機構が働かないので粉体の電荷がそのまま残って液体の電荷に重畳することを意味する。また、MBS の濃度が 1.0%と 5.0%の場合を比較すると、管電流は濃度が高いほど増加する傾向が見られたが弁電流には大きな違いは見られなかった。このことは、弁体の面積が小さいために 5.0%のときには弁体に衝突しなかった粉の割合が多かったものと考えられる。粒径の影響をみると、" $<150\ \mu\text{m}$ "では" $>150\ \mu\text{m}$ "の 1.5 倍以上の比電荷であり、比表面積が大きいほど電荷の発生量が大きいことがわかる。

なお、このほかに注目すべき結果として温度の影響が挙げられる。液温 10 °C 以下 (表 6) と液温 30 °C (表 7) を比較すると、前者に対して後者は、水では約 4 倍、灯

油では約 17 倍の電荷が得られている。この原因は未だ明瞭ではないが、表 1 に示すように高温になるほど導電率が増加して液中のイオン濃度が増加すること、および高温になるほど粘度が低下するため流速が増加し、かつ、噴霧時により細かい液滴となることが要因と考えられる。

6) 大口径安全弁を用いた実験

弁(15A)よりも口径が大きな弁(25A)を使用して水道水および灯油 a を噴出した場合の実験結果の例を図 12 および 13 に示す。また、比電荷を表 8 に示す。これらによれば、弁(25A)と弁(15A)とでは電荷または電流の発生状況には顕著な違いが見られる。

まず、水道水については、噴出開始直後に負の電流が増加するが、その後は変動があるものの平均的にはやや正の電流となり、終了間際に一気に大きな負の電流となる。これは、弁体が大きいと開口部断面積も増加して流れやすくなり、水が分裂しにくくなったためと考えられる。また、終了間際には気体の量が増加するため、水の分裂が促進されたと考えられる。特に終了間際だけを見るとこの間に約 0.7 $\mu\text{C}/\text{kg}$ の電荷が発生している。

また、灯油 a についても、弁(15A)の場合と比較すると、管電流が増加し、弁電流は減少している。これも、弁体の開口面積が増加したために管内の流速が増加したこと、および液体が分裂しにくくなったことに起因すると考えられる。

図 12 弁(25A)による水噴出実験例

図 13 弁(25A)による灯油 a 噴出実験例

表 8 弁(25A)による噴出実験結果

液体	比電荷 [$\mu\text{C}/\text{kg}$]
水道水	0.033 ~ 0.044
灯油 a	-0.013 ~ -0.015

4 噴出帯電量に関する評価と対策

安全弁から帯電液滴の放出に伴って想定される着火性放電は、(1)接地不良状態の導体に電荷が蓄積した場合に生じる火花放電、および(2)空間に帯電電荷雲を形成した場合に接地導体との間で生じるブラシ放電である。

まず、(1)については、火花放電の場合 100 nC 程度であっても可燃性ガス・蒸気への着火は可能であることから、これを防止するためには安全弁を含め、周辺の導体はすべて接地またはボンディングしなければならない。

一方、(2)については、過去の実験では帯電電荷雲の電界が 0.8 kV/cm で水素・空気混合気に、1.7 kV/cm でプロパン・空気混合気に着火したという報告がある⁷⁾。安全弁から放出される液滴によってどのような帯電電荷雲が生じるかは、噴霧の速度・量、電荷密度、周辺の状況等に依存するので一般的な答えは得られないが、最悪のケースとして、半径 1 m、質量密度 1.0 kg/m³の球状電荷雲を想定すると、ガウスの定理により、この電荷雲表

面での電界 E は、液滴の比電荷 q に比例し、 $q = 2.1 \mu\text{C}/\text{kg}$ のとき $E = 0.8 \text{ kV}/\text{cm}$ 、 $q = 4.5 \mu\text{C}/\text{kg}$ のとき $E = 1.7 \text{ kV}/\text{cm}$ となる。この程度の比電荷は、本実験で得られたように、粉体を含む非導電性液体の噴出時に発生する可能性がある。したがって、着火性ブラシ放電の発生も念頭に置いて対策をすべきであり、たとえば、ブラシ放電を生じるような突起物（曲率半径 5 ~ 50 mm）を除去するか、金網などで遮蔽することが望ましい⁸⁾。

もちろん、爆発性混合気の形成を抑制し、かつ、万一爆発が生じた場合も圧力が上昇しにくいように、開放的かつ通気性が高い場所に放出されるようレイアウトを工夫することが前提である。

なお、本実験では必ずしも十分な検証はできなかったが、液温が高温となるほど電荷発生量が増加する傾向があることは明かであり、一方で、引火性液体であれば、高温であるほど蒸気密度が上昇し、かつ、最小着火エネルギーも小さくなることから⁹⁾、危険性はより高くなると予想される。したがって、設備運転中の温度も考慮に入れたリスクアセスメントを行うことが望ましい。

5 まとめ

安全弁作動時の液体噴射によって発生する静電気を調べるため、小型の実験装置を製作し、引火性液体を含む多種の液体を用いて実験を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

- (1)水を用いた実験において、容器の内圧と安全弁の作動圧の差が大きいほど比電荷は増加した。また、液体だけの噴出よりも、気体が混合している場合の方が顕著に比電荷は増加した。
- (2)安全弁の排出口に導管を取り付けた場合、導電性液体では比電荷は低下したが、非導電性液体では増加した。増加量は導管の有効長が長いほど大きくなった。
- (3)可燃性液体の噴出実験において THF（導電性液体）は比較的大きい比電荷を示した。低温においては、非導電性液体は導電性液体よりも比電荷が小さくなった。
- (4)導電性液体、非導電性液体にかかわらず液温が高いほど比電荷が増加する傾向がみられた。
- (5)液体に粉体(MBS)を混入させた場合、導電性液体では発生する比電荷にほとんど影響を与えないが、非導電性液体では極めて高い比電荷を示した。粉体の混合比が大きくなるほど、かつ、粒径が小さくなるほど比電荷は増加した。
- (6)より大型の弁を用いると単位時間あたりの放出量が増加するが霧化しにくいため、これが流動帯電、分裂帯電双方に影響を与えた。
- (7)実験で得られた電荷量であっても着火性ブラシ放電を生じる程度の空間電荷雲が形成される可能性があるため、ブラシ放電対策を施すことが望ましい。

謝 辞

本研究は、株式会社カネカ殿の委託を受けて実施した

ものであり、同社より研究費および資材を補助いただいた。また、春日電機株式会社最上智史氏上および元理化学研究所中島諄二氏には実験助手として尽力いただいた。その他支援をいただいた関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) Van der Meer, D. Electrostatic charge generation during washing of tanks with water sprays-I: General introduction, Static Electrification 1971. 1971;153-157, Inst. of Phys. and Phys. Soc., London.
- 2) 山隈瑞樹. エアレス塗装機使用時の噴霧帯電量測定. 安全工学., 2005; 44-2:123-127.
- 3) 山隈瑞樹. スプレー缶噴霧時の帯電危険性. 安全工学. 2004; 43-4:229-237.
- 4) 労働安全衛生総合研究所. 静電気安全指針. 2007; JNIOSH-TR-No. 42.
- 5) Baily, A.G.: Electrostatic Spraying of Liquids. 1988; 1-4: Research Studies Press LTD.
- 6) ケミクレア小名浜工場における火災.
<http://labor.tank.jp/wwwnews/soukennews2005.html>
(2013年3月1日アクセス確認)
- 7) Heidelberg, E, Nabert, K. u., Schön, G.; Arbeitsschutz 1958; 11. S.222.
- 8) 増田閃一. 最近の静電気工学. 1974; 高圧ガス保安協会.
- 9) 山隈瑞樹. 有機溶剤蒸気の最小着火エネルギーおよび爆発範囲測定－温度特性－. 安全工学. 2008; 47-2:84-91.

Measurement of Electrification of Liquid Ejected From Safety Valve

by

Mizuki YAMAGUMA,^{*1}, Takaaki MIZUTANI^{*2}, Akira YAMAUCHI^{*2} and Yasuo SHIMIZU^{*3}

The possibility of igniting an explosive atmosphere by an electrostatic discharge occurring upon the activation of a safety valve is a major concern to chemical process industries. In order to investigate this matter, we carried out various experiments using an original experimental apparatus. Conductive liquids (water, methyl ethyl ketone, tetrahydrofuran) produced much higher charges than non-conductive liquids (styrene, hexane, kerosene). In particular, Tetrahydrofuran, is found to produce abnormally large charges if certain conditions are met. A nonconductive liquid, however, generated a huge charge when non-soluble powder was added and dispersed in the liquid. Other factors that affected the charge generation were the inner pressure of the liquid container, the difference between the inner pressure and the popping pressure of the valve, the condition of the gas-liquid mixture, the length of the outlet pipe, the liquid temperature, and the size of the safety valve. Considering the quantity of charge obtained in our experiments, we conclude that a strong space charge sufficient to cause an incendiary brush discharge may be formed when a safety valve is activated and, therefore, appropriate preventive measures for explosion and fire should be planned and executed.

Key Words: explosion and fire, spraying electrification, safety valve, static electricity, streaming electrification

^{*1}Electrical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

^{*2}Chemical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

^{*3}Kaneka corporation Takasago plant