

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2016年8月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.122) http://www.sce-net.jp/anzen.html</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:長安 敏夫)</p>
--	--	---

わずかな静電気が大火災を引き起こす!

(PSB 翻訳担当:松井悦郎、長安敏夫、竹内 亮、小谷卓也(纏め))

- 司会: 今月のテーマは目に見えない静電気が思わぬ時に大火災の原因になり得ることへの注意喚起ですね。
- 牛山: 過去の PSB でも静電気に関する記事が3件あります。1 番目の 2006 年 8 月号は接地してない缶にガソリンを充填していた時の発火、2 番目の 2008 年 12 月号は重量計に載せた運搬用タンクにポンプで酢酸エチルを供給していた時の発火で、重量計、タンク、ポンプは正しく接地していたが注入用のホースは接地されず、しかも放出端は液挿入でなかったためです。ホースは接地とボンディングを実施すべきですが、この場合酢酸エチルは導電性物質なので液中に注入すれば着火は防げたとも考えられます。3 番目の 2007 年 12 月号はガソリンを抜き取ったタンクにディーゼル油を注入する際に、早い流入速度で空間に放出したために静電気放電し、空間部のガソリン蒸気が着火爆発したものです。
- 司会: 皆さんの経験した静電気放電による事故やヒヤリ体験、或は予想もしなかった静電気に気付いたなどの例についてお話しいただけますか。
- 三平: 昔 PVC プラントに従事していた時の経験です。船輸送で受けた塩ビモノマーを本プラントへ送る配管系のストレーナーが、自然重合で詰まったために掃除することになりました。前後弁を締め切り、ストレーナーの底部についていた小型ストップ弁のノズルからゴムホースを使って、ストレーナー内のモノマーを離れた草むらへ放出しました。弁を絞っての少量放出のために終了まで時間が掛かるので、一旦事務所で休憩しました。戻ってみると排出は終わり、草むらがホースの先端を中心に直径 2m ほど焼け焦げていました。冬季でしたので草は枯れていて燃えやすい状況でしたが、付近に着火源はありませんでした。現場の状況から静電気による着火と推論しました。液モノマーが抜け終わってストレーナー内のガスモノマーが噴出する瞬間に流速が大きくなって、ゴムホースの先端部に帯電と放電が起こり着火したのではないかと推定しました。この事例はその後社内の安全教育に利用しました。
- 牛山: 二つの体験事例を紹介します。
- ひとつはタンクの上に登ってタンク上板のハンドホールよりサンプリングする際に放電スパークを発生したことで、何回か起きました。対策を考えてこの作業を行う際には素手でタンク階段脇に設置した接地棒に触れることを手順化し、その後は放電スパークが起きなくなりました。タンクや階段などは塗装されているため、それに触れても接地が不完全であると判断して接地棒を取り付けたものです。
- もう一つは、缶にゴムホースで液を注入する時に放電スパークを発生したことです。これもホースをボンディングすることにより防止しました。
- 渡辺: 三つの体験事例を紹介します。
- その1は、実験室でのことです。ポリマー溶液から溶剤を飛ばすためにスチームをポリマー溶液の入った容器に吹き込む作業中に発火したことがあります。水滴の混じったスチームは静電気を生じにくいですが、ドライなスチームは静電気を生じると考えられます。
- その2は、目詰まりを起こしたストレーナーをキシレンに浸けておき、容器から外(空気中)に取り出した時に発火したものです。再現実験をしても同じことは起きませんでした。これも静電気放電によるものと考えられます。
- その3は、粉体の静電気放電です。フレコン入りの粒子状の製品を出荷しておりましたが、出荷先でフレコンから直接溶剤入りタンクに投入する際に発火しました。フレコンの除電操作を十分行っていなかったようです。その後は除電し、タンク内を窒素シールすることにより、再発防止されました。
- 三平: プラスチックの粉粒体を扱っている際に静電気放電に遭った例は多く、私も PVC で経験があります。ただし PVC は難燃性のために帯電個所で電撃を受けたことはあっても、発火した例はありません。自身では運転等

を直接担当していませんでしたが、静電気が原因で火災が発生したポリプロピレンプラントの火災を消火活動に参加したことから知っています。ポリプロピレン粉体用乾燥器の排気系の最終処理にバグフィルターを使っていました。バグフィルターを掃除する際には窒素置換した上で開けていましたが、それでも開放後に静電気放電で火災を起こしたのです。その事故の後にはバグフィルター解放時に接地線を付けたステンレスの棒を使って慎重に除電していました。現在はバグフィルターの一部に導電性繊維を織り込んで除電することで、静電気の問題は解決したと思います。

澤： 二つの変った体験があります。いずれも国外での経験です。

ひとつはブタジエンを運搬するタンク車での事故です。この液移送時にベーパーリターン配管を付けておりました。この配管をパージしたりするためにボンベ窒素を使用しておりましたが、ある時にこのための窒素ボンベが無くなって発注すべきところ担当者が間違えて空気を発注し、更に受注業者が注文を聞き違えて酸素ボンベを納入してしまいました。その納入カードルを使って配管に純酸素を通した結果配管内爆発を起こし、更にその影響で漏れたブタジエンが燃焼して作業員が犠牲になりました。着火源は配管内の酸素の流れにより配管出口で飛ばされた液に発生した静電気と考えられました。酸素中の着火エネルギーは空気中に比べて百分の一くらいです。

もう一つは、ポリカーボネート樹脂製造のためのビスフェノールの粉体による事故です。粉塵爆発を避けるためには 2~3mm のフリル(粒体)にすることが多いのですが、出荷元ではフリル化する設備(フリルタワー)がなくて粉体のままで出荷しており、これを韓国のプラントで受け入れておりました。1 トンフレコンで入荷したものを設定操作の間違いで窒素置換しないままホッパーに流し込んでおりました。ここの作業員は気が短くて 15 秒くらいで荷卸しており、またこのフレコンが導電性のものでなかったということもあって静電気が発生し、粉塵爆発を起こして作業員は火傷を負いました。ビスフェノール自体は固体にマッチで火をつけても容易には燃えないものですが、粉塵になって更に静電気を発生する条件に対しては十分に気を付けなければならぬということを実感しました。

山本： ある時期に設備の静電気による障災害を防ぐために、社内で静電気対策委員会を発足させ、社外の静電気の専門家の支援も借りて、工場内で徹底的に対策を実施しました。そのため、静電気による障災害は少なくなりました。しかし、今月の Beacon の「わずかな静電気が大火災を引き起こす！」にあるように、小さな金属部分が絶縁(浮き導体という)されていると、そこに静電気が蓄積されていき、ついにはスパークにより大火災をも引き起こします。小さな浮き導体は見逃されがちなので注意が必要です。その例として、ボール弁内の金属ボールがある角度(開度)で浮き導体になって、可燃雰囲気中のスパーク発生の原因になったことがあります。幸いにオペレータが冷静に、直ぐにボール弁を閉めて大事には到りませんでした。現在では既存のボール弁ではボール弁本体とボールの軸とを金属ワイヤーで繋ぎ、新規のものは静電気対策したボール弁を使用しています。ボール弁は溶剤を取り出すホースの先端に付いていましたが、ボール弁をホースの先端からかなり離れた上流に取り付け、更に、その上流に溶剤の流速を制限するバルブ(開度を制限)を設置しました。

三平： ボール弁の中でボールは前後の 2 枚のテフロン製弁シートとの間で弁本体と絶縁されていますが、さらに開閉用にボールを 90 度回す軸も構造的にシール用パッキンで絶縁状態になっていたのでしょうか。

山本： そうですね。金属ボールを回すステム(軸)とボール弁本体との導通が無くなっていたということです。その他の思いがけない静電気の経験は、配管工事後の試運転で使用したフランジの間に挿入してあったテンポラリーストレーナーを外し忘れていたための現象です。フランジのパッキンで絶縁されていたテンポラリーストレーナー(浮き導体)に電気伝導度が低い溶剤を流していたため、テンポラリーストレーナーの金属フィルターで発生した静電気がテンポラリーストレーナーに蓄積されていき、テンポラリーストレーナーとフランジとの間にスパークが連続して発生していました。気がついたのは、スパークのパチパチという音だったと思います。幸いにして、スパークが発生した周囲が可燃性雰囲気ではなかったのが大事には到りませんでした。テンポラリーストレーナーは直ぐに取り外しました。静電気の障災害を防ぐには、そのメカニズムを理論的に理解することが重要です。静電気学会編集の「静電気ハンドブック」や労働安全衛生総合研究所が発行している「静電気安全指針」などが役に立つと思います。

山岡： プラント内の水添反応器のフランジから水素ガスが漏れて着火したことがありました。周りに着火源となるものはなく、第三者の事故調での検討の結果、着火源は静電気でした。通常ガスの流れでは静電気の発生は起こりにくいのですが、ガス中にミストや塵などの異物を含んでいると静電気が発生、帯電し、放出時の放電

により着火するとのことでした。特に、水素は着火エネルギーが小さく着火が容易だったようです。

長安： PSB 記事の「知っていますか？」の 2 番目の文に「静電気は・・・空気の流れでさえも発生する」と書かれていますが、これもガスの流れだけで静電気が発生するというのではなく、気流中に混じった粉塵なども関係して発生すると考えられますね。

司会： 皆さんから実に多くの経験談や知見を聞かせていただき有難うございました。お互いに参考になったと思います。

以上の他に静電気に関して、このことは知っておいた方が良いということなどをお聞かせください。

牛山： フィルターの静電気発生による事故は多いですね。そのためにある時にバグフィルターを導電性に変えたことを覚えています。

竹内： 私の記憶ではかなり前からバグフィルターのエレメントは導電性のものを使用しておりました。プラスチックのペレットやフレークを空気輸送する場合は、配管、バクフィルター、サイクロンなどでの静電気に特に気を使っていました。

井内： 先ほど牛山さんよりタンク上でのサンプリングの時の静電気放電の話がありましたが、石油化学関係ではタンク検尺時の静電気による事故が多かったようです。私も入社して石油化学で務めた時にはタンク検尺前には必ずタンクの一部を掴んで除電するよう強く注意されました。

山岡： 例えばガソリンスタンドでセルフで給油するとき、除電器で除電しても、給油のために移動したりするとまた帯電するので給油する時にこのことも考慮する必要があります。

井内： 先ほどの渡辺さんの事例紹介でもありましたが、スチームホースでスチームを放出する時に放電火花が発生することがあり、驚きました。最初は水滴交じりのウェットなスチームが出ますがドライになった時に起きるようです。また一般的に発火するかどうかは湿度の影響が非常に大きいということも実感してきました。

山本： 溶剤等の可燃液体が入った攪拌槽のマンホールから、直接、人が固形物を投入することは極めて危険な作業です。静電気が原因ですが、条件が揃えばマンホール付近で着火します。かなり昔は、よくされていた作業だと思いますが、現在では攪拌槽の上部にホッパーを設置し、攪拌槽とホッパーとの間のバルブで縁を切った状態で、ホッパーに一旦固形物を仕込み、攪拌槽とホッパー内を窒素パージして空気を追い出した後に、ホッパーから固形物を落として仕込むようにしています。

牛山： 静電気爆発事故事例の調査報告があり、これによりますと 1952 年から 2004 年の 52 年間に日本で起きた静電気による爆発事故が 186 件はあったこととなります。

司会： PSB の「あなたにできること」にホースの使用前点検や定期的な導通検査をすること、とされていますが実際にどのような方法、基準で実施していましたか。

牛山： ローリー車に使うホースなんかは特に気を付けていました。やはり中の金属線が断線していないか検査していました。

三平： 私が最初の方で話した塩ビモノマーの排出でを使用したものは、ユーティリティ用のゴムホースでしたので静電気が起きやすい条件でした。

渡辺： 一般に石油関係などのプラント内では金属線入りのホースを使いますね。最も導通性が確実なのは金属のフレキシブルホースです。ホースではありませんが、内側が導通性のないテフロンなどのプラスチックやガラスなどでライニング、コーティングされている金属管は、フランジ部では必ずボンディングすることです。

司会： ワイヤ入りホースの導通テスト実施の頻度は基準化されていましたか。

牛山： 年に 1 回は実施していました。

山岡： 高圧ガスを対象とした場合ですが、高圧ガス保安法の一般則及びコンビ則に、同じ文面ですが、「可燃性ガスの製造設備には、当該製造設備に生ずる静電気を除去する措置を講ずること」という規定があり、その例示規準に具体的な措置方法が示されています（注 1）。また高圧ガス保安協会編「定期自主検査指針」には静電気除去措置の目視検査と接地抵抗値測定を 1 年に 1 回以上実施することとされています（注 2）。

牛山： 配管に導電性があり、フランジ部もボルト繋ぎであればボンディングの役割も果たします。

山岡： その通りですが、エチレンプラントでは大量の可燃性ガス・液体を保有しているので、多くのフランジで別途

ボンディングしていました。

司会： 静電気以外で気が付きにくい着火源としてはどのようなものがあるでしょうか。

井内： ブリジストン栃木工場で溶接火花によりゴムが長時間にわたって燃焼した事故がありました。これはフランジからゴムが漏れ出して燃えていたのですが、無炎燃焼で炎が見えなかったために気づかず、そのうちに大火災になったものです。

澤： この事故の一番の原因は火気使用工事をする際に工事側がちゃんと手続きをしなかったことですね。

井内： そうではありますが、無炎燃焼のために工事終了時に発見されず火事が拡大したようです。無炎燃焼する物質については、着火は炭火のような状態ですが、放置すると拡大してついにはフランジが開口、大火災になる経過となります。炭火の時にチェックし消火する必要があることをよく認識しておくことが大事だと思います。また、清掃工事などで発生した含油ウエスや廃ゴム等の保管は、水浸しにすることが大切です。怠ると、空気酸化で埋め火のようになり火事になることがあります。

さらに、無炎燃焼ではありませんが、炎が見えづらいのが水素ですね。屋間は見えず、夜になると青白い炎を発するので、水素配管や取扱機器には常に注意が必要です。

山岡： 他の着火源としては高熱体があり、また断熱圧縮による高温化もあります。

長安： PSB の 2009 年 10 月号で内燃機関であるエンジンの表面温度は多くの引火性蒸気の発火温度を超えていることが多いということ、及びディーゼルエンジンは圧縮加熱で燃料に着火する仕組みであることが書かれています。

竹内： 紙くずを吸い上げるシステムのサイクロンでの経験ですが、テーパー部に点検口が付いていて、内面は面一になっていたのに隙間に紙片が挟まって一箇所に停滞し、激しく擦られ続けたことで、焼け焦げたことがあります。

中村： ポンプの締め切り運転で高温になり、実際の着火源にはなりませんでしたが危ないかなと思ったことがありますので、閉め切り運転には注意が必要です。この場合、ポンプの吐出側から吸込み側への配管にジャケットを取付け、冷却できるようにして温度を下げたことがあります。

澤： 私の勤めていたところでは、ポンプ内の高温化にはかなり気を付けており、ポンプサクシオンから温度スイッチを取り付け、温度上昇時にシャットダウンするインターロックで保護するのが基準になっておりました。また 2013 年 8 月号 PSB で水輸送ポンプが吸入弁、吐出弁共に閉のままで回転を続けると爆発することが示されています。

飯濱： その方法については日本ではあまり実施されていないようですが、API 規格(アメリカ石油協会が定めたエンジンオイルの規格)ではそれが標準化されています。

牛山： ミニマムフローを確保して完全な締め切り運転を避けている例もあります。

竹内： スイッチローディングとして知られていますが、タンクの中にある流体が残っているところに別の流体を入れると流体間の摩擦で静電気が発生することがあります。実際に石油貯蔵施設で、この静電気が原因で発生した爆発事故もあります。

小谷： 余談ですが、1950 年代のアメリカでは loading point での火災事故の 9 割が switch loading に関わるもので、石油業界の頭痛の種だったようです。American Oil Company(AMOCO; 旧 Standard Oil Company(Indiana)の子会社)が 1961 年に従業員用に作成した' Hazard of Electricity' という 80 ページほどの小冊子の中で、タンク・タンクトラック・タンカー・バージなどの内容物積替えに関する注意事項(Do's and Don'ts)に 10 ページほど割いていました。

要は、引火点が高く引火性混合物を形成しそうな物質…ケロシン・ディーゼル油・潤滑油など…は油断しがちだが、一度空にした容器は大小を問わず容器内部をしっかりとパージし浮遊物や遺物をなくしておかないと、その前に存在していた引火点の低い物質(たとえばガソリン)が後から注入したものの蒸気を吸収し、着火しやすい蒸気相に変わる」と説明し、積込もうとする物質だけでなく、その前に存在していた物質にも注意することを求めています。

タンクトラックの事故例が多いので、事故のスケールは小さいと思われるかもしれませんが、そうとは限りません。2003 年 4 月の Glenpool South Tank Farm では、15,000 バレル程焼失し、235 万ドルほどの損害をもたら

していました。

司会： 本日は静電気の発生とその放電による着火事故に関して議論いただきましたが、実に多くの経験談が出て、静電気は気を付け過ぎることはないということを改めて認識できました。また静電気以外でも気が付きにくく意外な着火源があることもお互いに認識できました。有難うございました。

注1) 高圧ガス保安法・一般則第6条第1項38及びコンビ則第5条第1項47に係わる例示規準(抜粋)

1. 可燃性ガスの製造設備等について静電気を除去する措置は次の各項の基準によるものとする。

1.1 塔、槽、熱交換器、回転機械、ベントスタック等は単独に接地しておくこと。ただし、機器が複雑に連結している場合及び配管等で連続している場合にあつては、ボンディング用接続線により接続して接地しておくこと。

1.2 ボンディング用接続線及び接地接続線は、通常の使用状態で容易に腐食や断線しないものを用い、ろう付け、溶接、接続金具を使用する方法等によって確実に接続すること。

2. 可燃性ガスを容器、貯槽又は製造設備(以下「容器等」という。)に充てんし、または可燃性ガスを容器等から充てんするとき、当該容器等について静電気を除去する措置は、次の各号の基準によるものとする。

2.1 充てん用に供する貯槽または製造設備は接地しておくこと。

2.2 タンクローリー(ガードル類を含む)、タンク車及び充てん用に供する配管は、必ず充てんする前に設置すること。この場合の接地線は、接続金具を使用して確実に接続するとともに、容器等から離れた安全な位置に接地すること。

3. 1. 又は 2. の静電気除去設備を正常な状態に維持するため、次の各号について検査を行い、機能を確認するものとする。

3.1 地上における接地抵抗値

3.2 地上における各接続部の接続状況

3.3 地上における断線、その他の損傷箇所の有無

注2) 高圧ガス保安協会編 定期自主検査指針

可燃性ガスの製造設備に設けられた静電気除去措置に係わる検査は目視及び接地抵抗値測定とし、(1)及び(2)による。

(1)目視検査

外観に腐食、破損、変形その他の異常がないことを1年に1回以上目視により確認する。

<解説>

静電気除去装置としての接地極、配管や塔槽類の接地ピース、避雷針、ボンディング用接続線等及びそこに接続する接地線等について、取付け忘れ、接続の状態並びに締付部での割れや破断がないことを確認する。

(2)接地抵抗値測定

接地抵抗値について、1年に1回以上接地抵抗測定器具を用いた測定により確認する。

注3) 消防法関連

静電気に関する、位置・構造及び設備の技術上の基準および取り扱いの基準は、「危険物の規制に関する政令」の下記条項で規定されている。

第9条第1項18号(製造所)、第11条第1項10号二(屋外貯蔵タンク)、第15条第1項14号および16号(移動タンク貯蔵所)、第17条第1項10号(給油取扱所)、第27条第6項ハ、ホ、ヘ(移動タンク貯蔵所取り扱い基準)

(キーワード) 着火源、静電気、接地、ボンディング

【談話室メンバー】

飯濱 慶、井内謙輔、牛山 啓、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、澁谷 徹、竹内 亮、
中村喜久男、長安敏夫、日置 敬、松井 悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本 一己、渡辺紘一

以 上