

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2021年2月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.176) http://sce-net.jp/main/group/anzen/</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 牛山 啓)</p>
--	--	---

静電気はしばしば着火源になっている

(PSB 翻訳担当: 三平忠宏)

司会: 今回は静電気による2件の事例が取り上げられましたが、最初にこの事故の補足やご意見がありましたらお願いします。

牛山: 今回の2件の事故は、米国の Barton Solvents という会社の二つの工場が発生したもので、最初の例はカンザス州ウィチタの北部にある Valley Center という町で起こった VM&P (Varnish Makers' and Painters') ナフサの爆発事故です。槽内空間部に爆発性混合気が出ており、間歇使用のため配管内の空気や同伴水・沈殿物などにより管内送油中に急速に帯電し、レベル計用フロートのボンディングが不完全であったことによって放電着火爆発を起こしたとみられています。ナフサタンクは空中に吹き飛び、隣接タンク数基も破壊し、流出した液体に延焼し被害が拡大したようです。後の例はアイオワ州デモインの化学品輸送所で、酢酸エチルを 300 ガロン(約 1120ℓ) SUS 製トートに充填中に起こった火災爆発事故ですが、ホースは導電性ワイヤの入った合成ゴム製でしたが、充填ノズルや鋼製重りの接地ができていなかったため発生した静電気の放電により着火爆発したとみられています。充填所に隣接した主貯蔵倉庫が防火構造でなく、それに延焼し被害が拡大したもののようです。

金原: 最初の事例について、下に示した参考情報を見ました。ローリーからの受け入れ時、ローリーの最後の第4セクションに切り替えた時にジョイント部分にある空気が同伴し、それがタンク内に入った時に液面を揺らし、フロートが振動した為にゆるんでいた接続部でスパークが発生したことが着火源になったとのこと。一方、文献ではローリーからの受け入れ速度が 4.6m/秒で注入されていたとの記載があり、静電気発生可能性があります。原則として初期速度は1m/秒位にする必要があります。ジョイント部分の空気量など少量でしょうから、仮に混入しても液面計を揺らすほどのことはなく、液面計のスパークではなく、むしろ流動帯電じゃないかと考えます。また、文献では気相部には不活性ガスを充てんすること、と記載あるので、同伴空気では酸素濃度を上げるほどではないので、何かの形で窒素シールが悪かったのか、されていなかった可能性があります。いずれにせよ防災の基本に基づく管理が脆弱であると思います。

タンク: http://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/accident_case/barton_solvents_20_8_8.pdf

同ビデオ: Static Sparks Explosion in Kansas, June 26, 2008

牛山: このタンクは実際には窒素シールはされていなかったですね。

金原: そのようですね。この酢酸エチルは導電性があるとはいえ、非常に引火点が低く、沸点も混合物のため 30~70℃ と危険性の高い物質ですから、危険性雰囲気を作らず着火源を排除するための対策が必要だったと思われます。

司会: 2番目の事例についていかがですか。

金原: 下に示した参考情報ではゴムホースを使い、注入ノズルの部分に非導電性プラスチックにステンレス製のボールコックが組み込まれており、落下防止の重りを含めて接地していなかった。しかも上から噴霧するような形で注入しており、様々な静電気発生要因があり、静電気発生モデルのようなやり方をしています。まずは、ディップパイプかドロップパイプのようなものを使って、静かに底部に供給するようしなければいけません。そして反対側に排気用のダクトをつけてタンクから排気されるガスを滞留させない対応が必要です。先に大きな事故を起こしているのに、その三か月後に、同じ静電気の事故を起こしており、会社の体質にも問題があるのかもしれない。

ローリー: http://www.khk-syoubou.or.jp/pdf/accident_case/barton_solvents_%2021_3_10.pdf

山本: 静電気の一般的な性質を考えると、浮き導体(絶縁された金属や人も含む)があると、発生した静電気を蓄積したり、帯電した流体からの影響で電荷を帯びたりして(静電誘導)、放電の原因となります。最初の事例では、金属フロートが断続的に浮き導体になり、2番目の事例では金属ボール弁とそのハンドルから金属ワイヤで吊り下げられた金属の重りが浮き導体となっていたようです。

竹内: この Beacon の二番目の事例は、2008年12月号と2009年1月号の Beacon にも取り上げられ、安全研究会が

CCPS と共著で出した「事例に学ぶ化学プロセス安全」(丸善出版)の128ページからの静電気に関する解説の一部にもなっています。また、CSB ビデオの” Static Sparks Explosion in Kansas”でもアニメーションが公開されているので興味のある方にはお勧めですね。

木村: CSB の事故再現映像に関しては、経済産業省委託令和元年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業の成果物として KHK に下記の資料が整理されていますので、静電気には限りませんが一般的な事故に対して活用できると思います。(https://www.khk.or.jp/public_information/incident_investigation/hpg_incident/av.html)

高圧ガス保安協会(KHK)は米国の CSB(The U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board)の了解を得て、CSB で作成、公開されている事故再現映像を活用し、石油精製・石油化学事業所、液化石油ガス等の事業所に従事している方々に参考となる視聴覚資料を作成しています。今回公開した視聴覚資料は下記の3タイトルであり、それぞれ日本語字幕版と吹き替え版を作成しています。

- ①悲劇までの 30 分-Half an hour of tragedy(日本語字幕・吹き替え)
- ②火気使用工事の危険-Dangers of Hot Work(日本語字幕・吹き替え)
- ③システムへの衝撃-Shock to the System(日本語字幕・吹き替え)

竹内: この資料は無料で見られるのですか。

木村: 無料で見られます。

牛山: 今回気になったのは金属の重りをつけて放電の原因にもなったことですが、通常このようなことはするでしょうか。事故を誘発するようなことはすべきではないと思います。

今出: この事例ではホースノズルが外れないように重りを付けたのかもしれませんが。

竹内: ホースが暴れるから抑えようとして付けたのかもしれませんがね。

司会: いろいろご意見いただきましたが、静電気にかかる事故など皆さんが経験されたことがありましたらお話しいただけますか。

金原: ある設備の排ガス系に設置されているフィルターを開放したら、濾布がボロボロになっていることが分かりました。このフィルターは同伴するオイルミストを除去するために設置されていたのですが、フィルターエレメントとミストによる摩擦による静電気を除去するために、除電用にパンチングメタルやフィルターの蓋を金属製にしてかつボンディングをしていました。テスターで測定したところふらつきがあり、除電不良になっていることが分かりました。さらに調査すると、蓋の締め付けボルトが緩んでいることが分かりました。フィルターの締め付けを定期的に監視すると共に、各所に導線を張り、接地するように致しました。

山岡: エチレンプラントで、原料のナフサを熱分解して得られるガソリン留分中のオレフィン類を水素添加する設備があり、シャットダウンをしている途中でその反応器の上部フランジから高温の水素リッチガスが漏洩して火災となる事故を経験しました。付近に明確な着火源が見当たらなかったことから、事故調査委員会は水素が漏出したときの静電気放電が原因と判定しました。フランジに若干の片締めがあったこと、定修ストップ・スタートの温度変化でボルトに若干の緩みが認められたことに加え、高温高圧の水素のため発火エネルギーが極めて小さかったことが着火を容易にしました。なお、通常はガスには静電気が帯電しませんが、流体の中に何か夾雑物が含まれていて、それが静電気を帯電させたと推定されました。事故後の対策として、高温や高圧のフランジは径、ボルトの数に応じてトルク管理など適切な方法で適正に締め付け、高温の場合は昇温の過程でホットボルティングなどにより緩みのないことを確認するようにしました。

牛山: 私も古い水添脱硫設備でフランジから水素が良く漏れ、着火した経験があります。フランジ部の保温材が赤くなっていて火災事故に気づき、直ちにプラントを停止しましたが、水素漏れの場合、火を消すとかえって爆発する危険もあるため減圧・設備停止の措置を行ったものです。

山岡: 水素の場合は着火しても屋間は火が見えませんか。この事故では偶々夜 9 時頃だったので、運転員が見回りの際青白い炎が上がっているのを発見でき、火災が小さい内に対応できました。

金原: 私も多くの火災・爆発の経験と原因調査を行いました。一番苦労するのが着火源でした。事実として火が着いた、あるいは爆発したというのですが、実験で再現しようとしてもなかなか着火しない。一方、水素になると着火エネルギーが 0.02mJ と極めて小さいので至る所に着火源があり、特定するのが易いようで難しいです。ボルトの片締めは様々な事故の原因に繋がります。トルクレンチなどを使って偏った閉め方にならないようにする必要があります。ホットボルティングは保温工事前にやるので、熱放散に気を付けなければなりません。

塩谷： 蒸気配管にピンホールができ高圧蒸気が噴出したのですが、その際静電気を発生・放電したということがありました。周辺に可燃性ガスがなかったので火災などの事故は起きませんでした。蒸気という不活性なもので静電気を発生しトラブルを起こし得ることに驚きました。

三平： プラスチックの粉粒体を扱っている際に、例えば乾燥、気体による輸送、篩分けなどで静電気の放電によるトラブルや事故を起こした例は多いと思います。私が長く従事した PVC でも帯電場所でしばしば電撃を受けました。もともと難燃性のために発火したことはありません。直接は従事していませんでしたが、静電気が原因で着火したポリオレフィンプラントの火災を自衛消火活動に参加したことから知っています。乾燥器の排気系の最終処理にバッグフィルターを使っていて、開放してクリーニングする際に静電気によりフィルターに残留していた溶剤に着火したのです。直後は接地線をつけた SUS の棒で慎重に除電していましたが、その後導電性繊維を織り込んだフィルターの採用で問題は解決しました。

牛山： 粉体では結構静電気の事故は多いですね。私もアントラセンを気相酸化してできるアントラキノンにバッグフィルターで捕集するプロセスでの事故を経験しています。捕集したアントラキノン定期的に振動させて下部に落とすのですが、静電気によって着火爆発し工場が全焼してしまい、設備を廃棄しました。S40 年頃の当時はまだバッグの帯電防止が完全にはできず、再建を諦めたものです。

金原： 導電性繊維といえば、フレコンバッグに採用されたのが帯電防止に貢献しました。それまでは窒素シールなどで対応していましたが、静電気に対しては不十分で運転員も怖がっていました。技術の進歩による対策技術はどんどん採用すべきですね。

竹内： プラスチックの粉粒体を扱っていると静電気が発生しますので、特に空気輸送の場合は配管や機器類の接地・ボンディングを確実にするよう気を使いました。1990 年代の頃だったのでバッグフィルターも導電性の濾布があり、危ない目にも合わずに済みました。技術の進歩はありがたいですね。

牛山： 2010 年までの 50 年間に日本で起こった静電気事故について、労働安全衛生総合研究所の方がまとめられています。それによるとこの間 153 件の事故が起こっており、帯電の原因は液流動が 37%と最大で、摩擦が 26%、漏れによるものが 21%となっており、放電はスパークが 71%と最大の着火要因です。事故となった作業は、保全が 35%、液充填 16%、粉体作業 17%と各種作業で起こっているのが分かります。(A.Ohsawa, J.Phys.:Conf.Ser.301 012033(2011))

司会： この静電気事故防止の対策について Beacon にも挙げられておりますが、他にもいろいろ必要な対策があるかと思えます。これについてもお話いただけますか。

山本： 今年の化学装置 2 月号に安全警句集(安全に関する注意事項を警句にしたもの)の紹介をしていますが、その中で小分け作業中の事例を挙げています。帯電防止には設備、容器の接地だけでなく、人体の除電のため、帯電防止用の衣服や通電靴着用と作業床の導電化が必要としております。一方、タンクなどへの流体の流入には自由落下ではなく、長いノズルや配管で底部に供給する必要があります。更に静置時間をとることも重要で、流体の電導度やタンクの大きさによりどのくらいの静置時間が必要かも示しています。また、タンクからサンプリングする際の事故も多いようですので、それについても解説を入れました。

金原： 大切なのは通電靴を着用することです。これは工場見学者にも徹底してもらおうようにしていました。今から 20 年ほど前に、ある会社に見学に行った時、通電靴に履き替えることをしなかったのが、やらなくてもいいのですか？と聞いたら、そんなのオーバーですよ、と言われました。ところが、その数か月後、そこで火災が発生しました。発火原因は、ボルテックスフランジがずれていたため流体によって浸食され、そこから有機酸が噴出し、静電気で着火したものです。先の件は直接の因果関係はないですが、全般的に管理が緩んでいたと言えると思っています。

春山： 金原さんが述べられている通電靴の工場内での使用は極めて重要です。私も協力会社の作業員の方が通電靴を使用せずに普通の安全靴を使用していたために重大な火災事故につながってしまった経験があります。静電気は非常に恐ろしい現象でその事故もわずかに数百グラムの可燃性ミストを作業服に浴び通電靴を使用していなかったことからその方自身が帯電してしまい、そのことに気づいていませんでした。その方がスタートアップのためにバルブに入れていた閉止板を抜こうとした際、その閉止板が鋼鉄製架構からナイロンスリングで吊っていた為絶縁状態にあったため、その方との間で放電しその火花で着火火災事故に至った事例です。

金原： 配管同士のアースボンディングですが、工務系の方たちに集まってもらって必要性を議論してもらった結果、ボルトの SUS 化を進めており、SUSの箇所は錆びる心配がなく通電しているのだから不要との答えを得ました。その後

に改訂された当社内技術指針でも「ステンレスボルトナットのように抵抗が1000Ω以下の電氣的接続がある場合は導線による接続は不要であると定められました。

牛山：私のところでは、昔はそうしていた時期もありましたが、塗料やグリースを塗ったりして、ボルトとフランジの密着が不完全だということもあって、ボルトでボンディングの代用をすることはしていませんでした。配管にはボンディング用のプレートを取り付けることもあります。

竹内：私のところもボンディングはボルトナットでは駄目ということになっていました。

今出：ボルトナットはボンディングを目的としたものではないという考えだったと思います。個人的にはボルトナットで、ボンディング状態を確認されているのであれば、それでも良いのではと思いますが。

金原：火花を出さない工具も重要です。ベリリウム銅製工具の使用ですが、ある水素を使う工場では現場に姿置きで設置してありましたが、別の同じく水素を使う工場に行くとなかったのです。理由を聞いてみると、オペレーターが重いというので使いたがらないのです、と返答がありました。着火エネルギーの小さな水素を扱うのだから、火花の発生を防がなければいけない、重いというのは理由にならない、と言って使うようにしてもらいました。

山本：出口にボール弁が付いた配管から、酢酸エチルをペール缶(18リットル)に小分けしていて着火したことがありました。運転者が冷静に即座にボール弁を閉めたので延焼には至りませんでした。ボール弁は接地していましたが、ボール弁本体内の金属ボールが浮き導体となっていて、静電気を蓄積して放電し、それが着火源となりました。その後は、ボール弁本体とが導通がある静電対策をしたボール弁に、開度を大きくできないような部品を取り付けて使用するようになりました。

金原：ディップパイプかドロップパイプのようなものを使って、静かに底部に供給するようにはされなかったのですか？

山本：少量の小分けだったので油断しました。ディップパイプを使用して、静かに小分けしていたら大丈夫だったと思います。推測ですが、ボール弁のところで気相部ができ、酢酸エチルの液滴が発生して、金属ボールにたまる帯電量が多くなったのだと思います。酢酸エチルは、導電率が高いので、通常の流動帯電による帯電量は低いのですが、液滴になる噴霧帯電の帯電量は極めて高くなるという報告(Ref)があります。酢酸エチルの小分け時の着火はよくあるそうです。(Ref:労働安全衛生総合研究所特別研究報告, 化学プラントにおける静電気災害・障害の発生機構の解明と対策—有機溶剤の小分け作業時における静電気危険性と対策—, JNIOOSH-SRR-No.47, 2017)

金原：予め教えていただいた文献を拝見すると、導電率によって比電荷が変わり、酢酸エチルが最も比電荷が高く着火しやすくなっているようですね。引火点が-2℃で、さらに低引火点物質がある中で、比電荷率という指標でみると着火しやすい性質である、ということと、ノズルを工夫することによって、液滴発生が抑えられ噴出帯電が抑えられるとのことですが、この辺りは大変いい勉強になりました。産業技術研究所には、引火点測定などで大変お世話になり、丁寧にご指導いただいたことがあります。当社の防災評価技術力向上に大変貢献致しました。

山本：元いた会社でも種々の溶剤を使用しており、静電気の問題がありました。社内で静電気対策委員会を設置し、産業技術研究所に指導をお願いし、技術規定を設けたり、全社で対策したりして、静電気の問題が激減しました。

林：ボール弁の樹脂製シートが絶縁体で、ボールとステムがフローティング状態となり弁体との接地が不完全でボールが帯電し、問題が起こる可能性があります。帯電防止をした弁を使用するようにと消防から指導されました。

山本：静電気対策したボール弁は、シャフトとボール、シャフトと本体の2ヶ所に導通を取り、弁内の浮き導体をなくしています。ボール弁を購入するときは、仕様書にしっかりと「静電気対策品」と指定しなければいけません。2番目の事例の対策では、この静電気対策をしたボール弁も使用しなくてははいけませんね。

林：今回の例のようなテンポラリーの場合や臨時のサンプリングでは、樹脂製弁やテフロンシートを使用している場合がありますので、注意が必要です。サンプリング中に火が付いたこともあり、通常サンプリングするところには、接地に注意したサンプリング専用装置を使用していましたが、皆様のところではどのようにされていましたか。

金原：私のところでも専用のサンプリングボックスをつけて接地していましたね。サンプリングボックスができない箇所については技術指針で、サンプリングノズルをインターナルにすることとアースボンディングの取り付け箇所など図解して細かく決めています。

林：臨時にサンプリングが必要となった場所に対してはどうですか。接地された専用のサンプリングボックスなどを取り付けたのでしょうか。プラントによってはアース端子を各所に取り付けておいて対応していました。

金原：通常のサンプリング場所以外は特に接地場所は作っていなかったですね。

牛山：サンプリング装置は専用の可搬式のものを使用していましたが、臨時のサンプリング用に接地場所を用意してはいなかったと思います。JISK2251に原油石油製品の試料サンプリングについての規定があり、6.3項に静電気対策

がありますが、あまり具体的には記載がありません。

金原：確かにサンプリングの接地が重要で、昭和 40 年代にはタンクのサンプリング中の事故が良く起こりましたね。最近ほとんどありませんので、技術がきちんと伝承されているのかわかりませんが、起こらないから対策を忘れていることもあります。時々そのような事例を紹介して意識を喚起しておくことも重要です。

司会：これまでお話しいただいたこと以外にも法令・(M)SDS なども含め静電気に関係した事項がありましたらお話いただけませんか。

金原：当社には、技術指針というのがあって、静電気に関する注意事項がきっちりと整理されています。ただ問題はそれを技術系社員にどれだけ教育しているかです。それを徹底するために、教育体系を構築し、技術者には全社技術研修の中で、オペレーターには工場内年次研修で教育するようにしました。

竹内：CSB ビデオの受け売りですが、事故を起こした VM&P ナフサは、常温では容器内で爆発限界内に入りやすい蒸気圧を持っているそうです。むしろ蒸気圧の高いガソリンの方が爆発限界の上限を超えるので爆発しづらいとのこと。この他にも、ヘキサン、ヘプタン、ベンゼン、トルエン、キシレンなどが要注意とのことでした。アメリカの法律面では NFPA77 に可燃物の充填の場合注入口先端がつかまるまでは1m/秒に流速を抑える規定があります。またスイッチローディングの問題は気が付きにくい点ですが注意しなければなりません。私自身はそれについてあまり経験がなかったので、こんなことがあるのかと驚きました。

牛山：スイッチローディングの事故が昔はよく起こりましたね。タンクローリーの積み荷を変更する場合に後の物が混合物などの場合洗浄せずに積み込み、静電気によって爆発したものです。その後荷の積み替えの場合必ず洗浄することを要請されました。

金原：(M)SDSを見るとVM&P ナフサの爆発限界は1.1～5.9vol%と非常に狭い範囲です。ところが、飽和蒸気圧の関係から常温では丁度爆発限界に入ってくる油断できない例ですね。こういう物質は気をつけておく必要がありますね。

竹内：蒸気圧が高い方が危険なように思えますが、タンク内では却ってこういう物質が危ないのですね。設計段階からよく注意しておく必要があります。

牛山：BTX などは物質の固有抵抗が高いので、流動による帯電を起こし易いので、接地ボンディングをしっかりとする必要がありますし、配管内流速を最高でも3m/秒以下にする必要があります。

金原：セルフスタンドで給油する時に、給油前に静電気除去シートにタッチするようにとのメッセージが出ています。幸いにもスタンドで火災事故が発生していないのですが、一般の方々も注意を喚起するといいですね。

竹内：給油所で静電気によって着火したビデオがありました。最初に除去シートにタッチして給油開始するのですが、その後車内に戻って給油終了後また出てきて給油ノズルに触れた途端に火が着いたという事例です。

金原：先にも言いました通り水素は 0.02 ミリジュールで着火します。最近、クリーンエネルギーとして注目されていますが、ガソリンとはけた違いであり、少しの摩擦で発火するので水素を取り扱う時のための対策構築が必要と考えます。

竹内：最近燃料電池車の普及もあって水素ステーションができていますが、事故が起きた場合、車やステーションの水素タンクは大丈夫かなと気になります。

今出：車のタンクは衝突事故では壊れないように、実験を重ねているとは思いますが、2019 年でしたかノルウェーや韓国で水素ステーションの爆発事故が起こったと聞いています。

金原：これからだんだん取扱いに慣れて来ると初期の注意を忘れてしまう可能性もあり怖いですね。

司会：静電気の問題は過去からも良く取り上げられていますが、頻繁に事故が発生していますし身近な問題でもありますので、今日はあらためて皆様から多くの貴重なご意見や経験談をいただきどうもありがとうございました。

キーワード：静電気、接地、ボンディング、帯電(流動、噴霧)、スパーク、着火源、浮き導体、導電性繊維、バッグフィルター、通電靴、ベリリウム銅、比電荷、ディップパイプ、ナフサ、酢酸エチル、水素(リッチガス)、粉粒体、窒素シール

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、齋藤興司、塩谷 寛、澁谷 徹、
竹内 亮、春山 豊、林 和弘、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己