

PSB (Process Safety Beacon) 2022年11月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.197) http://sce-net.jp/main/group/anzen/	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:金原 聖)
---	--	--

稼働待機中でも安全だとは言えない

(PSB 翻訳担当:澁谷 徹)

司会 : 今月号は、稼働待機中の設備に対し、①在液状態で攪拌を続け、何らかの原因でジャケット入り水蒸気の加熱が継続して引火性溶媒が蒸発して機器から漏れ、②室内の換気設備を停止した為に室内に可燃性蒸気が充満し、何らかの着火源で爆発したため、近隣に大変な迷惑をかける事故になりました。最初に今回の事故に対する追加情報などがあればお願いします。

上田 : 事故について、YouTube で分かり易く説明しており、また事故報告書には工場のレイアウト図や事故写真が記載されているので参考にして下さい。

<https://www.youtube.com/watch?v=zbHNR123ez8>

https://www.gexcon.com/us/image/Danvers_2009_LPS_final_red.pdf

金原 : 参考文献にある調査レポートを読みました。調査で得た知見として以下が挙げられています。

- ①タンク(高さ 10 フィート×直径 8 フィート:約 3m×2.4mφ)の水蒸気弁は不注意にも夜間の間、開いたままになっていた。その為、高温の水蒸気がジャケットに入り、内液を沸点まで加熱した。
 - ②このタンクは、過熱防止の為に自動制御システムがなかった。
 - ③このタンクはシールが不十分で、可燃性ガスを安全に外部に放出させる為の配管もなかった。その為に可燃性蒸気がタンク上部のシール不十分な蓋部分(固形物投入ハンドホール、直径 8 インチ:約 20cmφ)から漏洩した。
 - ④夜間不在になる為、建屋の排気システムを停止した。その結果、引火性のヘプタンとアルコールが爆発混合気を形成し、何らかの原因で着火した。
 - ⑤当該会社は、引火性液体や可燃性固体の保管に関する許可を取得していなかった。
 - ⑥屋内の可燃性液体の保管に関して、OSHAと消防の承認を得ていなかった。
 - ⑦消防当局も屋内可燃物保管に関する査察の頻度を規定せず、4年間、消防からの立ち入り検査がなかった。
 - ⑧このプロセスは、OSHA プロセス安全管理プログラムはカバーされていたが、OSHA の標準に無理解で、プロセスハザード分析(PHA)などを実施しなかった。
 - ⑨近隣住居地域には、機能的な地方緊急計画委員会(LEPC:local emergency planning committee)がなかった。
- その他には、この引火性溶媒について CSB が調査した結果、ヘプタンとアルコールは共沸し、各々の沸点から大きく低下し、低い温度で沸騰することが分かったとのことで、この知見は当該会社にはなかったとのことです。またこの混合物には、引火性液体と樹脂、顔料、そしてニトロセルロースがあったとのことです。また、当該会社は引火性液体を使用するにもかかわらず書面の手順書やチェックリストもなかったとのことです(物質と量を記した処方箋しかなかった)。

竹内 : 8 番目の OSHA PSM についてですが、報告書には「会社は OSHA PSM を知らなかったので、PHA などをしていなかった」とされています。ざっと計算してみましたが、今回のタンクには 2000 ガロンのヘプタン/プロピルアルコールが入っていたとされています。事故の説明ではヘプタンの蒸気が屋内に充満して爆発したとありますので大半はヘプタンだったと想定すると 11348 ポンドに相当します。OSHA PSM 1910.119(a)(1)(ii) には 1 万ポンド以上の引火性液体を含むプロセスに適用する旨が書かれていますので、この法規に違反していたことになりそうですね。

山本 : OSHA PSM は米国労働安全衛生管理局の PSM(プロセス安全管理)ですね。PSM の定義を再確認しましたが「設備に関するプロセスからの化学物質やエネルギーの破局的な漏洩を防止し、備え、緩和し、対応し、復旧することに焦点を置いた管理システム」ですが、設備や管理に色々問題があったようですね。

金原 : レポートには、屋内にある何千ガロンの引火性液体と、近く保管していたニトロセルロースが 51000 ポンドあったので、17 時間に渡って燃え続けたと記述しています。

竹内 : この事故の現場は CAI Inc. と Arnel Company, Inc. が同居していた建屋で発生しています。ニトロセルロースは Arnel が保管していた物質です。爆発性物質ですので、これも OSHA PSM の対象となります。毒性物質と引火性

物質については閾値が決められていますが、爆発性物質については閾値がありません。少量であっても取扱注意とされています。Arnel も PSM を守っていなかった可能性がありますね。これは CAI が起こした事故でしたが、Arnel も壊滅的なダメージを受けて、事業をやめてしまったようです。

司会 : 有難うございました。それでは次に、今回の事例に対する感想や意見ををお願いします。

三平 : 大量の可燃性物質を扱う工場にもかかわらず、規制や監督をする当局の承認や検査をほとんど受けていなかったことに驚かされました。経営者や管理者が関係法令や規制について無知なのか、無視したのか分かりませんが、日本ではちょっと考えられない事故の根本原因だと思いました。溶剤等の引火性物質を製造する側と単に使用する側とでは、従業員の当該物質に対する安全意識に差が出やすいように思います。特に小工場では安全教育をしっかりと行う必要があります。

塩谷 : 運転マネージャーは加熱操作の途中で他の業務の支援のためにその場を離れ、支援作業終了後にその場に戻ってきたものの加熱水蒸気弁を閉め忘れた可能性が高いとしています。これは典型的な「うっかり忘れ」が発生する状況です。私も同様な事例の経験があります。中間タンクに凝縮・分離する水をタンク底部の排出バルブより抜き出す作業がありました。抜き出し作業に時間がかかったため、すぐ戻るつもりでパトロールに出かけ、凝縮水抜き出し作業をすっかり忘れ、抜き出しバルブを開放のままとしたため排水溝が大量の油分で覆われてしまうトラブルでした。今回の事故の場合、業務終了間近で色々な作業を実施する必要があったこと、従業員数が限られ運転マネージャーの立場上、作業指示や支援を行う必要があったと思われること、加熱操作は溶剤量が多く作業にはそれなりの時間を要したと思われる、その場で監視を続けることが難しい環境であったことが想像できます。事故防止の為に温度上昇インターロックやアラームの設置が必要であると思います。また工場は夜間無人となるので安全を確保する為に実施すべき操作を記載したチェックリストは最低でも準備しておくべきであったと思います。

金原 : 塩谷さんが言われる通り、運転マネージャーは帰宅前、確かに水蒸気バルブ閉めたとレポートに記述されています。しかし調査では開いていたという結果を得ています。ここは元々1900年代初頭には、なめし皮を作る工場でしたが、その後、少なくとも1985年には現在のような引火性液体を用いて製造する工場に変わっています。したがって20年以上運転しているわけですが、その間にヒヤリハットや小トラブルが一度もなかったのでしょうか。タンク周りの図を見ると、水蒸気バルブは入りに一つ、出はスチームトラップの後に一つあるだけで、バルブの内漏れ対策や漏れ検知を行っていません。

竹内 : 確かに運転マネージャーは水蒸気バルブを閉めたと言っています。もしかすると、気温が低いので、他の運転員がタンクの温度が下がってはいけないと考えて水蒸気バルブを開けたのかもしれませんが。

金原 : プラントが稼働待機するのに、ボイラーが稼働のままであったというのが疑問です。本来であれば、ボイラーも停止して加熱源を遮断するのが本筋と考えます。また、他の運転員が自分の判断で開けたというのが真実であれば、指示命令系統など管理体制にも疑問があります。

竹内 : マサチューセッツはアメリカでも寒い地域なので、稼働待機でも暖房用に稼働していたのかもしれませんが。

司会 : 今月の事例のように、稼働停止中に在液中のタンクや槽類で過熱あるいは発熱した、あるいはタンクから液漏れしたというような事故やヒヤリハットになったご経験や知見があればご紹介ください。

牛山 : 加熱された引火性蒸気の爆発ではありませんが、思い出すのは1982年8月に起こった大阪府堺市のAS樹脂工場爆発事故です。一次爆発事故の対応中に、40時間以上の長い間放置された、モノマー混合槽の重合開始剤入りモノマーが、徐々に重合することで発熱し、噴出した未反応モノマーが排水溝経由で拡散、着火爆発したものとみられます。放置中に引火性液体が噴出し着火爆発したのは今回の事故と同じ状態で、停止した機器内の状況を確実に把握できるようにしておく必要があります。

山岡 : 運転停止中に発熱し大きな事故になった例として、2012年に山口県の化学工場で発生したレゾルシン製造施設の酸化反応器爆発事故があります。この事故は、レゾルシン製造施設が、水蒸気発生プラントの不具合でインターロックが作動して安全に停止し、反応器への窒素の導入、冷却水の循環水から緊急用冷却水への切り替えなど適切な処置をしたのですが、その後の停止中の状況把握と対応への判断が適切でなかったため、爆発事故に至ったものです。酸化反応のような発熱を伴う反応器などは、たとえ停止中といえども状況の変化を的確に監視、把握し、適切な対応をとることが大切です。

金原 : レポートの中には米国での類似事故について2006年6月に発生した事故が記載されています。同じように溶媒

で固形物を溶解するタンクで、大きさ 2200 ガロンですから今回の Beacon 事例とほぼ同じで、加熱して溶解混合操作を行っています。事故発生時は、誤って沸点まで加熱してしまい、開放した上部開口部から可燃性蒸気が漏れ出し、10-15 分で床を拡散して着火し、一人が犠牲になっています。今回の Beacon 事例との違いは、この温度制御はサーモスタットで行っていたそうです。しかし、そのサーモスタットが適正に取り付けられず、またメンテナンスを行わなかったことから、沸点まで加熱することになったとのこと。これから分かるように Beacon 事例の会社では水蒸気の制御は人が温度計を見ながら監視しており、先進国で未だにこのような化学会社があるのか、と驚きます。小規模であり、簡単な操作であるということから見過ごされるのしょうが、PSM など管理が行き届かない可能性が高く、怖いです。

牛山 : 日本の中小企業にも、事故が起きていないので顕在化していないのですが、このレベルの会社があるのではないしょうか。PSM の実施状況などご存知の方は教えていただけますか。

竹内 : 現実には PSM をやるだけの人材確保が難しく、ゆとりがない会社も多いと思います。運転管理についても属人化しており、中核となる一部の人材の能力に頼って安全が確保されている所もあろうかと思えます。

山本 : 危険物や防災の安全管理者がいて安全衛生委員会などを通じて安全対策などの検討を行っているのだと思えます。PSM のような管理体制が整っていればいいのですが。

木村 : KHK ではリスクアセスメントのガイドラインを作っております。中小の企業では対応が難しいということから、「高圧ガス取扱施設におけるリスクアセスメント及びリスクマネジメントの普及並びに教育の高度化に関する調査研究」を行い、同時により平易なガイドブックである「高圧ガス保安管理システムの導入・運用のためのガイドブック」を付属書として作成しました*).

*https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000251.pdf

しかしながら、全部がきちっとやれている所が多くないという実感を持っています。

竹内 : カリフォルニア州では、中小企業の PSM 導入を援助する為にコンサルタントを派遣する、という取組があります。アメリカでも中小企業では PSM をきちんと導入するのは難しいものだと思います。日本では PSM が法律で定められていないこともあってサポートシステムもなく、どうしても安全管理も含めて属人化しているのは止むを得ないものと感じます。簡単な PSM について動画配信などができれば良いかと思えますね。

林 : 日本では、ヘプタン、アルコールなどの危険物を取扱い製造する設備は、消防法のほか、労働安全衛生法の化学設備の規制を受けます。したがって法に定められた設備の要件、資格者の配置、その他の安全管理は中小の企業でも対応されており事故防止を図っています。また密閉容器のジャケットで沸点以上の過熱の場合、第 1 種圧力容器の規制を受けるので、法により温度計・圧力計など付属設備の設置や点検記録が必須で、年 1 回の性能検査も受検しなければなりません。したがって、日本の中小企業についても法規制により、かなり事故防止が図られてきていると考えます。さらに 2016 年 6 月以降は化学物質のリスクアセスメントの実施が義務付けられ、厚生労働省から以下の支援ツールの公開もされています。ただ罰則はなく、積極的な運用が課題と思えます。

<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/kag/ankgc07.htm>

事故を完全に防止することは法順守だけでは難しく、その中で大企業でも PHA が積極的に為されているとは言えないのが現状で、PSM に対してこのあたりを強化する必要があると考えます。講習会などを通じて浸透させていきたいと考えます。

山本 : 設備についての感想ですが、加熱装置(スチームジャケットなど)を設置した攪拌槽で、開放部(ベント等)が屋内にあることや、還流コンデンサー(蒸気を凝縮させ槽に戻す)が設備されていないのは大きな不備だと思います。開放部は全て配管で接続し、屋外に放出するようにすべきだと思います。このような設備で意外に見落とされるのは、溶剤が沸騰しながら加熱される沸騰伝熱は伝熱量が極めて大きく、還流コンデンサーを設置していても能力が足りなくなり、溶剤が噴き出してしまうことです。バルブを絞り、スチーム流量を制限しなければいけません。事故を起こした設備ですが、スチームラインにボール弁(ON-OFF 弁)を使用しており、ON 状態であったことから、開放部から大量の溶剤蒸気が一気に噴出したと想像できます。

司会 : まず定期修理のような長期間停止する場合の工程内に在液のタンク・槽類があるのか。ある場合は、どのように安全対策を取られていたのか紹介下さい。

三平 : PVC のみの製造を行う小工場の建設から運転に関わりました。定修時には可燃性高圧ガスの VC モノマーをプラント内に無くすようにしていました。回収した VC モノマーガスを液化してタンクに溜め、購入先のモノマーメーカー

一へ受け入れ配管を使って送り返し、預かってもらいました。これで工場内は基本的に全面火気解禁が出来ました。回収モノマーには不純物が含まれることから、後にモノマーメーカーからの要望で、工場の片隅にタンクを設置して定修時に保管するようになりました。片隅の小型タンクであったため、火気は支障なく使用できました。

金原 : 基本的には、すべて槽内の液をタンクヤードにある中間タンクに入れて工程内を空槽化して工事を行っていました。ただ、あるプラントは大型反応槽が6槽あり、毎年2槽ずつ空槽化して内部点検していましたが、残り4槽は在液の状態でした。周辺での火気工事もなく、あった場合でもきっちりシート養生してガス検知を行って安全対策をしっかりとやるようにしていました。ただし、リーマンショック時には生産調整のために1カ月半止めたましたが、その時は時間をかけてすべて空槽化いたしました。

牛山 : 実際に起こった事故ではありませんが、外国に技術輸出したプラントで、アクリロニトリル貯蔵タンクの冷却必要性についてチェックして欲しいと言われ計算したものです。当時 40℃以下で貯蔵すれば冷却はしないで良いと思われていましたが、詳細は覚えていませんが、内液温 30℃で1週間程度経つと徐々に液温が上昇し、10日ほどで40℃程度になり暴走反応が始まる恐れがあるという結果になったことを覚えています。重合性モノマーの長期間保存には特に注意する必要があります。もちろん気温の状況、貯蔵時の重合防止剤有無、タンク材質などいろいろな環境条件で結果は異なるでしょうが、一応タンクに長期間貯蔵する場合は、タンク循環冷却することをリコメンドした記憶があります。

竹内 : かつて姫路で起きたアクリル酸事故も、タンク循環と冷却を十分にしていなかった為にタンク上部で重合が発生し、最終的に爆発に至ったという事例でした。稼働待機中も管理のポイントをきっちり押さえないといけないという意味で参考になる事例です。

金原 : 定修期間中および生産調整時は、中間タンクに各種可燃物を保管して状態であるので、三交代勤務者のうち各組2名を残し、監視体制を維持していました。

三平 : 私が従事した PVC プラントは短期の停止でも長期の定修時でもシフト体制を組んでいて、プラントの安全管理に注意を払っていました。定修時には夕夜勤に各2名のシフトオペレータを配置し、工場内のパトロールをしていました。工事業者の後始末の不備など、運転時とは違った異常の発見と処置があって、有意義だと思いました。パトロール以外に自部署固有の標識や小さな工作物などの作成を割り当てていました。

司会 : 次に一部の工程の修理、あるいは機器洗浄のために数日間、その他の工程が停止しなければならない時の安全対策について紹介下さい。

三平 : バッチ式の PVC プラントでは、特定の重合反応器の故障の際に当該器を運転サイクルから切り離して補修等の作業を行っていました。重合攪拌機のメカニカルシールの解体修理などが該当します。隣接して他の反応器が稼働しているので、火気不使用が条件になります。火気を使う場合は定修と同様に重合設備内の VC モノマーを抜く必要があります。平常時はそのようなことが起きないように設備面で設計し、実際にありませんでした。シフトオペレータには当該作業の内容を周知させ、安全に運転が継続できるように指示を徹底していました。

金原 : 連続運転のプラントでしたが、工事する機器や洗浄する機器以外は、運転を可能な限りスローダウンさせるか、できない場合でも溶媒などをリサイクル、あるいは蒸留塔を全還流させる運転をしていました。

司会 : バッチ反応などで、休日中は止まるようなプラントがあれば、休日前の安全確認体制について紹介下さい。あるいは、年末年始は最大で6連休位にあることがありますが、その場合の事前の管理体制の例があれば紹介下さい。

金原 : 最近開発される事業は小型の生産設備でバッチ生産であり、平日のみ運転し、休日には停止する形態が多いです。週末は後始末はきちっと行った上で停止しますが、何らかの原因でトラブルが発生しないとは限りません。そこで、必要な情報や監視カメラの映像を、隣接する連続操業を行っている生産課に送り、休日中の監視をしてもらっています。監視ポイントと簡単な処置方法を事前に教育し、緊急連絡先を明確にして対応しています。

三平 : 化学品のダウンストリーム事業である PVC の加工(コンパウンド、フィルム・シートの製造)を子会社に出向して経験しました。副原料の可塑剤、液状安定剤、その他液状添加剤は可燃物ですが、いずれも第四石油類で比較的安全な物質でした。親会社の諸規定に従って設備の設置や改造、運転管理を行っていて、大きなトラブルや事故はありませんでした。工場は週末や年末年始に停止して無人にしていました。シフト最後のフォアマンがチェックリ

ストを使って工場内を点検し、各機器の停止や停止時にも稼働させる少数の機器の状態を確認し、戸締りをしていました。

金原 : 年末年始は品質保証関係者が、真ん中で1日出社していました。メンテナンスは協力会社も含め当番で呼び出し体制を組んでおり、当番日は申し訳ないのですが自宅待機してもらうようにしていました。以前紹介しましたが、ゴールデンウィークなどで長期休日に休日出勤までして作業すると、どうしても作業が雑になります。できるだけ工夫して作業することが大切です。

司会 : 図2の写真をみるとお判りの通り、左側は住宅がごく隣接しておりますし、右上にはヨットハーバーがあるような立地です。おそらく工場の近くに後になって、住宅やリゾート地が進出してきたものと想像しますが、日本ではこのような極端な例はまれであると考えます。ただ、古い工場になると、近隣に民家が押し寄せてくるようなこともあろうかと考えますが、そのような例がある場合、何らかの対策が取られていたのかどうか紹介下さい。

金原 : 私の会社では、高度成長期前の1950年代にできた工場は、建設後周辺が住宅地になった所が多い一方、1960年代以降は工場団地やコンビナートに建設され、住宅地からは離れています。前者の工場は長い歴史の中で、高度加工技術をベースにした高付加価値生産設備に移りました。したがって可燃物の取り扱い量が少ない設備になりました。ただ可燃物の取扱量が少なくなったことから、設備設計に対するプロセス安全のセンスが磨かれず注意しておかないとお粗末な設備設計をすることがあります。全社的な支援体制が必要です。また工場の近くに住宅があることから、低周波を含む騒音で苦情があると聞いています。今回の Beacon 事例でも騒音問題で各室のファンのスイッチを切って帰っているようです。一つの対策を取ると別の問題が発生する可能性があります。

竹内 : 大阪のJVに出向した先の会社では、航空写真を見ると建設当初は周りが田んぼに囲まれていたのですが、私が着任した頃は完全に住宅に囲まれていました。やはり騒音で苦情がありました。基準は満足しているのですが、住民にとっては苦痛であり、クレームがありました。

牛山 : 臭気や騒音というのは個人によって感度や好みの違いがあり、なかなか難しいところがありますね。

竹内 : 工場の周りに後から住宅ができたことによって惨事になった例として、ボパールやメキシコシティの事故がありますね。

牛山 : 近隣の住民との間で、公害防止協定を作って騒音などについても、例えば午後6時以降は騒音を出さないという取り決めをやっていました。中にはシビアに管理している住民がいて、時間が過ぎて音を出すとすぐに電話がかかってきてクレームを受けたことがあります。時間が過ぎて工事などを行う場合、事前に連絡するなど、随分気を使っていました。

山岡 : 私が勤務していた工場でも、エチレンプラントが定修に入る時にプラント内の残ガスを全て燃焼放出させますが、その時のフレアースタックのフレアーの騒音について住民から同じようなクレームがありました。黒煙防止のためにスチームを相当量入れるためその排出音が住民にとって大きな騒音になり、それを夜まで続けたからです。スチーム量を極力減らし、排出時間を午後7時までとすることで住民の了解を得たということがありました。

木村 : 和歌山のある事業所で火災が発生した時、念のために住民に避難してもらいましたが、その措置を実施した市長が大変気にされた為、経済産業省のある委員会ではこの措置が正しかった否の議論が行われたことがありました。なお、現在では他の事業所でも避難訓練に際しては、地域住民の避難を想定することがあるようです。必要以上に住民対策に配慮される事業所がありました。

司会 : 今日は皆さんの貴重なご意見や知見をいただき、ありがとうございました。

キーワード: 稼働待機、夜間無人、水蒸気加熱継続、可燃物蒸気漏洩・充満、OSHA、タンク在液、中小企業、属人化、停止期間中の監視体制、低温温度管理、長期休暇、近隣住民苦情

【談話室メンバー】

今出善久、上田 健夫、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、永嶋良一、春山 豊、林 和弘、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、頼昭一郎、

以上