

PSB (Process Safety Beacon) 2023年2月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.200) 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: 林 和弘)
--	--	---

安全操業に人は欠かせない！

(PSB 翻訳担当: 頼 昭一郎)

司会 : 今月号は、ある会社のタンクファームのハザードとリスクの評価において、タンク液面の HH レベルアラーム(以降、レベルアラームを LA と記す。この場合は LAHH となる)の設定に問題のあることを見つけて対策した事例を基に、様々な問題点を提起してくれています。1992 年に米国労働安全衛生管理局(OSHA)がプロセス安全管理(PSM)を法規制したからかもしれませんが、その効果が感じ取れます。また過去に過充填が発生しなかった理由として、個人すなわち人による管理上の防護層が機能したからと、今回テーマの「安定操業に人は欠かせない！」をよく表しています。まず今回の事例について補足説明戴けませんか。

竹内 : 今回の Beacon ではハザードとリスクの評価(HIRA)の過程でタンクの過充填防止に問題があることに気付いたというストーリーになっています。図 1.に記された資料から、この HIRA は 2009 年 10 月 23 日の CAPECO (Caribbean Petroleum Corporation) の事故を受けて臨時の HIRA として実施されたのだらうと思います。CAPECO の事故報告書は <https://www.csb.gov/caribbean-petroleum-refining-tank-explosion-and-fire/> に掲載されています。CAPECO の事故は、タンクの過充填が発端となって爆発に至ったものですが、引火性物質のタンクの液面監視がきちんと出来ていないのに、会社がこれに対応していなかったことが指摘されています。この HIRA を行った会社の状態は CAPECO ほどひどい物ではありませんでしたが、この様に他社事例を参考に HIRA を実施して、自社の弱点を把握して対応できたことは大変良かったと思います。

金原 : 竹内さんの言われる事故報告書を読みました。プエルトリコにある石油製品受け入れ・配送専用のタンクヤードでガソリンを船からタンクに移送する際に起きた火災爆発事故です。船から 4 つある小型タンクに移送する際、最初は 1 つのタンクに受け入れていたのですが、その後時間短縮を考えて 3 つのタンクに受け入れていました。液面計はあるのですが、伝送器の故障が多いことから DCS データは活用されず、オペレータが毎時液面を監視・記録し、満杯になる時間を推定しながら手動バルブを調整していました。あるタンクで満杯推定時刻より早く液面が到達し、パトロール時間の合間に発生した為に 26 分間、20 万ガロンのガソリンがオーバーフローして照明の熱で着火・爆発したとのことです(右下図:CSB 報告書より)。Beacon の図1にある LAH や過充填防止の機能が生かされていなかったようで、CSB は以下の問題点を指摘しています。

- ①タンク充填に対する制約時間が厳しく、それが安全軽視に繋がった。
- ②機械面、電気計装面いずれも保全が不十分である。
- ③操作手順が文書化されていない。
- ④1992-1999 年に 8 回もオーバーフローのトラブルがあったが反映されていない。

PSM の反面教師になりそうな事例です。



牛山 : CAPECO の事故報告書には、2015 年までの直近 50 年間のタンクオーバーフロー事故事例が 22 件記載されていて、有名な 2005 年のイギリスバンスフィールドの事故も含まれていますので参考になると思います。この他、Beacon2009 年 9/10 月号で取り上げられたクウェートのオーバーフロー事故の事例なども「事例に学ぶプロセス安全 p89」に詳細な解説がありますので参照下さい。

塩谷 : 以前の安全研究会で竹内さんからご紹介して戴いた『世界の貯蔵タンク事故情報』というサイトも参考になります。(<http://tank-accident.blogspot.com/>) オーバーフロー事故をはじめ様々な原因によるタンク事故を解説しています。

山本 : Beacon の図1は、液受け入れタンクに必要な液面制御について説明している図です。タンク内の液高を示す液面計(LI)があり、人がこの液面計を見ながら液を充填しますが、液が所定の液面以上となった場合は LAH が作動して、人にアラームで知らせます。さらに LAHH は、人のミスや LI や LAH の故障などで充填が続けられたときに、過充填にならないように設置するもので、アラームが発生するとともに液充填ラインの充填ポンプを停止させたり、バルブを閉じたりする安全装置です。話題に出ている CAPECO の漏洩事故では LAHH が設置されていま

せんでした。注意することは、日常的に使用する LI や LAH と安全装置である LAHH は共通原因故障(一方が故障すると他方も作動しない)を避けるために、それぞれ独立した計器とします。そうしないと、LAHH が独立した安全の防護層になりません。

司会 : おかげで理解が深まりました。今月号の記事について皆様からご感想や意見がありましたらお聞かせください。

金原 : 他社事例から自社の問題点を見出すことは大切なことです。事故事例がいかに貧弱な例であったからといって、自分の所はこんなにひどくない、で終わらせてしまてはいけません。幅広く見て問題点を考える姿勢が大切です。気づいた問題点に対しては速やかに対策を講じることが望ましいのですが拙速にならない範囲で期限を決めて進めることが大切です。その中で適正なレベルに設定するまで放置するのではなく、暫定的な処置方法を設けたことは適切な処置であったと考えます。一方で過充填が発生しなかった 1 つの理由が、85%レベルまで充填量を調節して発注していたとのことですが、2009 年の CAPECO の事故事例では、充填量を調整していたもののそれが間違っていたためにオーバーフローしたもので、今までオーバーフローがなかったのはたまたまであって、手順書もないような操作であり、いつ事故が起きてもおかしくない状況であったと思います。

竹内 : 他社の事例をきっかけとして自社の安全管理を見直すことは極めて有効なことです、実際にはあまり実施されていないようです。事故が起きてから「調べてみたら同じような事故が過去に起きていました」と事故報告書に記されているケースが少なくありません。全ての他社事例を調べる時間は無いので、どの事故が自社に起こり得るかを判断する能力も必要だと思います。

山岡 : 感想ですが、タンク液面の表面積によって液面上昇する速度が違うので何とも言えませんが、私の認識では、LAH が設置されているので、LAH が発せられた時点(警告)で LAHH までの間にフローを止めるなど適切な処置をとって、万が一できない場合に LAHH で流入を自動停止するシステムであれば、LAHH の 99% 設定は大きな問題ではないような気がします。それよりも、先ほど金原さんが指摘された①～④の是正の方が重要だと思いますがいかがでしょうか。

司会 : ハザードとリスクの評価ですが、このような HIRA (Hazard Identification and Risk Analysis) を実施して効果があったご経験や知見をお持ちでしたらお聞かせください。今回のように他社事例を参考にした場合や評価実施のきっかけなどもご紹介ください。

金原 : HAZOP などは積極的に行うように指導しました。ただ、それを行って得られた知見に基づき様々な対策を取り入れましたが、結果的に何も起こらないことが当たり前であり、効果のほどは分かりませんが、やっただけの効果はあったものと考えます。いつも言う通り、リスク評価を行う技術者のレベルが大切で、知識面だけでなく深く考える力を持った人が一人でも加わらないと表面的に終わります。他社事例研究も上位の者がある程度中味を咀嚼して、オペレータに分かり易くして上げる工夫、努力が必要です。

竹内 : 私のいた工場は米国の子会社であったため、米国などにも姉妹工場があり、そこで問題が発生するとこちらにも問題がないかを確認する様に指示がありました。見直した結果、改善を実施したことも少なからずありました。

司会 : タンクの LAHH の設定が 99% で過充填の可能性が指摘されていますが、液面制御や監視で確認すべき事項の他、オーバーフローや過充填のトラブル、ヒヤリなど、皆様のご経験や参考となる事例がありましたらお話しください。

林 : LAHH の設定は一般的には液面計ノズル上下を 100-0% とすると、手動でポンプ停止にかかる時間にもよりますが 90%、80% で LAH というところでしょうか。99% は余裕がないという評価になりますね。

金原 : LALL が 10%、LAL が 20% で LAH と LAHH は林さんのところと同じでしたね。上下 10%、20% が基準になっていたと考えます。99% の LAHH というのは違和感がありますが、何らかの理由で設定したものと考えます。そのところをきっちりと解明しておく必要があると考えます。

三平 : タンクのレベル計のアラーム設定について、昔私が関わったプラントではレベル最上限 LAHH を 95% にしていました。この数字は社内で統一されていたのではなく、そのプラントの特性とタンクレベルの変化を考慮して決めました。LAHH はインターロックでこの値に達すると警報と同時にタンクへの液の送りを止めました。通常管理の LAH は 70~90% 程度でプラントの状況によりオペレータが動かすことを認めていました。

- 牛山 : 日本では消防法(危険物の規制に関する政令)で少し分かり難い表現ですが、タンクの最大容量について規定(政令第5条&省令第3条)があります。これによると液面の上部に最低5%の空間が必要となっていますので、満液でもタンク高さの95%以下になりますから、LAHHを99%に設定してもオーバーフローまでの時間は多少ありますが、やはりLAHHの設定は90%位に抑えておく必要があるでしょう。なお、1万kL以上の危険物タンクには自動の流入遮断装置(予備動力源付)が義務づけられています。(政令11条1項12号の3)。
- 竹内 : LAHH99%を液面計測定範囲の99%と考えれば、液面計の100%がタンクのどのレベルに設定されているかで、実際の猶予時間が決まります。液面計にどのタイプの物が使用されているのか、どのレベルまで正しく測定できるのかを把握し、LAHHからの猶予の時間がどれだけあるかを計算して設定することが大切だと思います。
- 金原 : 工場に確認しましたが、その法的制約と運転管理の両面で、先に言った数字としているとのこと。原料の受け入れは港に隣接しているタンクで行っていましたが、1基か2基でした。ただ、当社は原料、製品共にSWAP取引(双方の近接するユーザーに玉を等価交換する方式。物流費削減に貢献)を行っていたことと客先が近かった関係で、小ロットずつきめ細かに受け入れ、そして払い出していたので定常的に在庫は適正量で定期修理に向けて在庫調整していました。定期修理の時は原料を空にして、製品は満杯にして向かえていました。毎月一度、各タンク、サイロの検量をしていたので、大きな誤差なく在庫管理ができました。
- 上田 : 2019年1月21日に千葉京葉で発生した液面制御のLIと確認用の直視監視のLGに誤差が生じた際の対応不備がトリガーとなった「塩化ビニルモノマー及び塩化水素漏えい事故」を参考事例として紹介します。
<https://www.khk.or.jp/Portals/0/khk/hpg/accident/jikogaiyouhoukoku/2019-067.pdf>
この事業所では液位管理の信頼性を確保するために、複数の液面計が設置されていましたが、事故の経験により液面計は二重化から三重化になりました。教訓として、液面計を多重化する場合、それぞれの液面計の設置の目的と機能に加えて、複数の液面計の指示が異なる場合の運転管理の対処を運転マニュアルに明記し、予め運転員に教育すること、液面計を含め安全計装の機器は明確な点検基準を定め、確実に点検を実施することとなっています。三重化について皆さんの知見を補足戴けますか。
- 牛山 : 二重化は一般に現地視認用(LG)と計器室の指示(LI)を設置していますが、この両者に違いが出ることもありトラブルの要因と成り得ます。特にLIは伝送系の問題も起こる可能性がありますので、予備として確認用に設置し、三重化していると思います。
- 竹内 : 二重化では内一つが誤作動した場合にどちらが故障したかが分からないので、三重化にして2つが一致なら残った一つが故障だと分かります。計器の誤作動が危機的状況を起こす可能性のある計装システムの場合は、三重化することが一般的になっていると思います。
- 塩谷 : BPテキサスシティ製油所の蒸留塔オーバーフローによる爆発事故の勉強会を実施したことがあります。その内容の一つとしてBPで使用していたディスプレイメント式液面計の問題点を再教育しました。通常、ディスプレイメント式液面計はフロート長=測定範囲としているため、フロートの上端まで液面が上昇すると100%を指示しますが、更に液面が上昇してもフロートの浮力は変わらないため、指示値は振り切れることなく、100%のままとなります。同じことは0%以下についても発生し、ここに判断を誤るリスクがあります。ディスプレイメント式液面計は4mA以下や20mA以上の連続出力が必要な場合には適さない方式といえます。プラントには様々な計器が使用されており、計器の測定原理を正しく理解することも事故防止には重要です。
- 山本 : 廃液タンクのLAHHに、中心軸の棒を上下する穴の開いたフロートの液面スイッチを用いたところ、液面近傍で棒に固形物が付着したまま乾燥しました。そのため、フロートの作動が不良になり、過充填を起こしたことがあります。液面計や液面スイッチの形式にはフロート式の他に静電容量式や差圧式、超音波式など色々ありますので、取り扱う液性状や使用環境に適したものを選定しないとトラブルが発生します。選定には適用条件からの十分な検討が必要です。
- 金原 : 外部から技術導入したプロセスの中に抽出塔があり、そのスタート時のトラブルを紹介します。抽出塔の重液/軽液の界面が塔の上部にあり、界面計とLGで確認していました。スタート時、界面計の位置は正常なのですが、LGの視界から界面が下に消えてしまいました。直ちに運転を停止して調査したところ、界面計が浮力式であり、組成や温度によって大きな誤差が出るのが分かりました。差圧式に変更すると共にスタート時、通常運転時にLGと比較することとしました。先ほどの二重化を三重化の対策も、液面計が誤作動した原因をしっかりと解明しないと操作を誤ることになりますね。
- 三平 : レベル計を使わずに容器内の容量を適正に管理して過充填防止を図る必要のあるケースとして、ポリマー製造

用のバッチ式重合反応器があります。私に関わった PVC 設備では、反応器に分散媒の水とモノマー及び助剤を仕込み後に反応温度への昇温過程で、過充填を引き起こした経験があります。仕込み後と反応温度では水の密度はそれほど変わりませんが、モノマー密度はかなり大きく変わるので、それを見越して仕込み時に上部空間容積を確保する必要があります。重合物による閉塞トラブルが必至なのでレベル計は使えず、精密な計量と仕込みが必要です。モノマーは容積式流量計とタンク計量のダブルで確認してトラブルはありませんでした。水は当初容積式流量計 1 台だけで仕込んでいましたが、ある時故障で過計量のトラブルを引き起こしました。上部空間容積が不足に昇温過程で反応器圧力が急上昇したのです。オペレータが早く気付いて冷却に切り替え、安全弁の作動はまぬがれました。対策として流量計をダブル化しました。

金原：重要なタンクは、2つの液面計を設置し、1つで制御し、もう一つは確認用として使っていました。また最近では、プラント情報管理システム(PIMS:Plant Information Management System)で、系の各液面、流量とタンク液面の整合性をチェックして誤差が大きくなると警報を出すシステムもあり、多面的に管理できています。ただ、日頃の保全管理が十分になされていることが前提です。

司会：工学的あるいは管理上の安全防護層の記載もあり、人による管理を適用する場合の要件として手順の文書化、教育と訓練、実証が述べられています。また、いずれの適用においても回避か最小化する機能が迅速でなければならないとあります。人による管理の失敗で、皆様のご経験や事例などをご紹介頂けませんか。

金原：プロセス安全の基本は、①異常事象を起こさせないこと、②異常事象を早期に発見すること、③発見した異常事象に対し速やかに適切な処置を行うこと、であると考えます。いずれもシステム面の充実で構築できる部分が多いと考えますが、それでカバーできないところは人の判断、特に②、③はそれに頼る部分が多いと考えます。パトロール時にタンクの底に潜り込んで異常を早期に発見してくれた事例や、震える手で緊急ボタンを押してくれたおかげで事故を最小限に止めてくれた事例など多く経験しています。一方で 2012 年の岩国の事故は、インターロックを外し、攪拌用の窒素を止めてしまったことが事故原因の一つです。インターロックが作動した状態のままにしておけば事故が起きなかった可能性があります。どこまでインターロックの中味を知っているかが分かれ道かと思えます。

林：類似の失敗ではありませんが、ガスケットの交換で材質・サイズなど仕様の間違いやボルトナットの締め付け不良、結線の間違いや端子の締め付け不良など、人の管理でなければ対応できない案件が多々あります。関係者への教育や該当作業の自社による認定制度、閉蓋前に写真撮影などを適用していました。

金原：結線などは電気工事会社の問題で、そのミスへの対応は難しいと思いますが、どのように対応されましたか。経験では入場停止などの罰則で効果があったが難しい問題であると考えます。

林：罰則も適用しましたが、作業する責任者を認定する自社の作業員認定制度で効果を発揮しました。結線作業は解線時に写真を撮影し、結線後の写真と比較することで誤結線を防止する手段としました。

木村：先日鹿島のある事業所で伺った失敗事例ですが、建設工事完了検収時に確認せず仮ガスケットのまま運転開始したことによる精留塔からの漏洩事故発生を経験し、納入仕様条件書を新設していますが、この事象に対する対応のためには、コミュニケーションエラーの改善から進めてノンテクニカルスキルの教育の必要性が認められると思われれます。

竹内：水のタンクを新設して初めて水を張った時、フロート式液面計が途中まで動いていたのに動きが止まったことに気付きました。目視では動きを感じることは出来ず、ある一定の時間が経っても動いていないことに気付いたものです。調べてみたら、フロートを巻き上げるテープがよじれて巻き上げ部に引っかかっていたことが分かりました。空のタンクを早く満タンにしようとして、水の流入を速くしすぎて水面が暴れたのが原因だろうと思えます。

牛山：米国の事例だったと思いますが、タンクへの流入ラインに緊急遮断弁が設置されていて、満液時手動弁での閉止が面倒なため、その緊急遮断弁を運転用で使用しており、ある時それが作動せずオーバーフロー事故を起こしたことがありました。緊急遮断弁を運転用には絶対使用してはならないという教訓の事例です。

司会：さらに Beacon の「知っていますか」や「あなたにできること」の内容に付け加えることがあればお話しください。

金原：本来なら、設計面やシステム面できちりと防護層を構築し、標準書などに頼るのは最小限にすべきですが、二次処置などで人に頼るところもあると考えます。その為にも、日頃から原理・原則をしっかりと教育し、かつ計装シ

ステムなどもよく頭に入れるように指導しておく必要があります。以前、韓国に技術移転した時、プラントスタート前にオペレータ達にテストしたことがあります。ある異常現象が発生した時に、どのような計装システムが作動し、人として何を処置すべきかという課題をいくつか与え、グループディスカッションさせました。よく勉強しており、各グループとも見事な回答を得ていました。日頃の勉強量が違います。毎晩遅くまで、各人とも勉強していたそうです。「あなたにできること」が確実にできるためにも、その基盤となるものがしっかりしておかなければいけません。その為にもよく勉強することが大切と考えます。

竹内：液面の LAHH はオーバーフロー防止の最後の防護層です。取り扱っている液が危険なものであれば、重要機器(Critical Equipment)として、保守・点検を確実に実施する必要があります。ハンスフィールド油槽所では LAHH で送液を自動停止させる設計になっていたのに、機能しない状態のまままで放置されていたとのこと。

司会：その他にも触れられていない点などありましたらご紹介ください。

上田：安全の勉強会にて LOPA (Layer of Protection Analysis: 防護層解析) のテキストで液面計の異常によるオーバーフローが取り上げられていました。それだけ事例として一般的なのだと思いますが、LOPA についても触れておきたいと思います。

竹内：米国化学プロセス安全センター(CCPS)が 2014 年に出版した LOPA の書籍の完訳本「重大ハザードのリスクを下げる LOPA—防護層解析—簡素化したプロセスリスクアセスメント」(丸善出版)を紹介しておきます。

<https://scejanzen.org/main/information/syoseki/syoseki202205/>

司会：今回は、人を基点として RBPS (Risk-Based Process Safety) の「ハザードとリスクの理解」と「リスクを管理する」のピラーが主題だったと思いますが、皆さんの経験からの貴重なご意見や知見を頂きありがとうございました。これを機会に CCPS の RBPS の理解が広がれば良いと願っています。

キーワード：HIRA、HH レベルアラーム、液面計、ディスプレイメント式液面計、液面制御、界面計、アラーム設定、タンク過充填、オーバーフロー、タンク最大容量、貯液管理、安全防護層、人の管理、ガスケット、LOPA

【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、