

| | | |
|---|--|---|
| PSB (Process Safety Beacon) 2024年1月号 の内容に対応 | SCE・Net の 安全談話室 (No.211) https://sce-net.jp/main/group/anzen/ | 化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 竹内 亮) |
| エラートラップ(陥り易い罠)が大事故につながる (PSB 翻訳担当: 澁谷 徹) | | |
| <p>司会 : 今月号の Beacon は、2009年10月23日にプエルトリコ Bayamon(バヤモン)の CAPECO 社(Caribbean Petroleum Corporation)の油槽所で発生した事故を取り上げています。事故の原因として二つの異なるタイプのゲート弁を同じエリアで使用していた為にオペレータが、バルブが開状態になっていたことに気付かず、タンクから溢れ出た大量のガソリンが防油堤の外に流出して蒸気雲爆発と火災が発生したというものでした。Beacon の主題はエラートラップに陥ることが事故原因となり得るので注意しようというものです。まず、この事故について、もう少し説明して頂けますか。</p> <p>竹内 : この事故はプエルトリコがアメリカの自治連邦区に該当しているので、CSB が調査を行っています。CSB の事故報告書では Beacon の説明とは少し趣が異なります。タンクからガソリンが漏洩した時点でガソリンの蒸気雲が形成されていて、開いていた防油堤のバルブを通して蒸気雲が廃水処理エリアに流出したとしています。少し疑問が残ります。廃水処理エリアの着火源は複数存在して特定できなかったとのこと。事故の要因はいくつも指摘されていますが、エラートラップに関連する人的要因の中では「バルブが開いていたことに気付かなかったこと」と、「照明が暗かったこと」が挙げられています。この Beacon は、エラートラップが事故に繋がることを説明するために、少し無理にこの事例を選んだ感じがします。</p> <p>頼 : CSB Report NO. 2010.02.IPR をざっと眺めてみました。今月号の Beacon ではタンクがオーバーフローした後、防油堤内に溜まったガソリンの流出に焦点を当てていますが、事故の本質原因はタンクの液面管理ミス(受け入れ弁の易操作性から、複数のタンクに同時に受入れていた時のタンク切り替えのミス)と思います。液を払い出す港湾側の力が強く、受け入れる油槽所側は無理を聞かざるを得ない状況だったようです。加えて液面計の表示(計器室の液面計及び現場の指示計の両方共)が故障していた為、運転員も手計算で液面の上昇時間を予測せざるを得なかったようです。その際、運転員の予想を上回る速度で液面が上昇した事がタンクオーバーした理由のようですが、今月の Beacon では上述の様にタンクがオーバーした後の対応に焦点が当てられています。</p> <p>竹内 : 報告書によるとタンカーから全量を受け入れられる大きなタンクが1基あったが、空になっていなかった為に小さなタンク3基に分割して受入れようとしていたとのことですね。</p> <p>頼 : 最後はその大きなタンクをバッファとして使用する予定だったようです。</p> <p>竹内 : それから、先にも少し触れましたが、バンスフィールド事故の時と同様にタンクから流れ落ちる過程でガソリンが蒸発して蒸気雲を発生していたでしょうから、着火源があればどこでも火が着いたと考えるのが妥当だと思います。</p> <p>頼 : そうですね。防油堤の弁が開いていなくても蒸気雲は流れ出ていたのでしょうか。</p> <p>司会 : この事故について皆様の感想、ご意見等がありましたお願いします。</p> <p>三平 : この事故の原因として防油堤からの雨水の排出に二種類のゲート弁が使われていて錯誤が起こりやすかったことと、照明の不十分が指摘されていて、それらはもっともなことだと思います。他にバルブの開閉表示がこの種の事故の防止に有効だと思います。日本では各社が実施していると思いますが、手動操作を行うバルブのハンドルに開閉状況を示す札を掛けていて、多少暗くても判別ができていたので、このような事故は起こり難いと思います。私の出身会社ではバルブ開の札は赤色の地に「開」、閉の札は緑色の地に「締」と書いていました。</p> <p>竹内 : 閉の札に「締」と書くのは良いアイデアですね。「開」と「閉」は遠目には似ているので実際は札の色で判断していたと思います。</p> <p>頼 : 前月号のアンモニアのローリーへの受入れもそうですが、タンクへ目一杯受け入れようとしていた可能性が感じられます。私の経験ではタンクの受け量を90%程度で止めておけば、少々受け入れ量に誤差が出てオーバーフローする事は考えられません。この辺りは安全に対する文化の違いかもしれませんが、設備を目一杯使うなら</p> | | |

それなりの準備が必要(液面計の信頼性向上等)なのに、それがなされていなかったと言う感想を持ちました。経済的基盤の弱い発展途上国の宿命かなとも感じました。日本ではその様な対策は取られていますが、それでもタンクのオーバーフローと言う現象は皆無ではありませんので、その様な工場の為には、今月号のエラートラップは参考になると思います。

竹内 : 90%で止めるというお話が出て来ましたが、これは100%を超えたたとんに溢れるということでは無いですよ。頼 : 無いですね。13時に満タンになると計算していたのに12時ころにはオーバーフローしていたのですから、11時ころには100%に達していたのでしょう。実際には現地の液面計もトランスミッタも当てにできない状況であった上に、タンカーからの払い出し側の流量計は1個ですから、3個のタンク個々に流入する量を予測するのは難しかったらうと思います。

竹内 : 今回、現場で使用されていた液面計はリボンで巻き上げるタイプで一度よじれると動かなくなり、ただ撚れを戻しても癖になって、そこをカットしないと直ぐにまた引っかかってしまうタイプでした。修理もしっかりと行わなければ、同じ故障が繰り返されることとなります。

山本 : 今回の Beacon はヒューマンエラーに関係するエラートラップがテーマになっています。一般的に、ヒューマンエラーについては、人間は元々知覚(今回は視覚)から判断するときに錯覚や勘違い、思い込みをする特性があることを前提にして説明されています。人間を囲む環境にエラートラップがあると、それが誘因となり、それらから誘発される思い込みなどが原因となり、間違った判断からヒューマンエラーが起こるとされています。だから、ヒューマンエラーを防止するためには、エラートラップのようなエラーの誘因となるようなものを排除することや、それが徹底出来なければ、間違った判断をしないように、教育訓練や現場での明確な表示などが必要と思います。また、ヒューマンエラーが重大事故に至るようなものは、人間の判断だけではなく、多重の物理的なエラー防止対策が必要と考えます。

竹内 : そうですね。CCPS の提唱しているリスクに基づくプロセス安全でも、重大事故が想定されるリスクに対する対策は管理的対策、つまり人間の判断と行動による対策だけではダメで、設備的な対策が必須だと説明しています。その様な設備は、安全上重要な機器(Critical equipment)として、必要なときに必ず機能してくれるようにメンテナンスを怠らない様にするのが求められています。

山岡 : 着火し易いガソリンが漏えいした時の危険性を認識していたか、複数の貯槽に送り込む際の数量あるいは時間による切り替えるタイミングを送り側と受け側で確認し合ったか、見た目がほとんど同じで機構が異なるバルブを同じ目的、場所で使用したのはなぜか、など疑問が残ります。今月号の事例は現場の安全教育の恰好の材料になると思いました。

司会 : 今回の事故と同様な異なるタイプのゲート弁について知見がありましたらお聞かせください。

竹内 : Beacon の原文には”Rising Stem valves”と” Fixed Stem valves”と表記されていますが、これらを区別して使用した経験はありませんでした。ネットで色々調べていたら「株式会社昭和バルブ製作所」の[技術情報]に[バルブの種類と構造]のページがあり、「外ねじ式ゲートバルブ」と「内ねじ式ゲートバルブ」という名称で紹介されていました。それぞれの特徴が書かれていますので、参考にして頂ければと思います。

<https://www.showavalve.co.jp/kouzou/>

澁谷 : 私も北村バルブを調べたら同様に「外ねじ式ゲートバルブ」と「内ねじ式ゲートバルブ」という名称が使われていました。

三平 : ゲート弁は工業用水の受け入れ、冷水塔と冷却水循環、消火用水、排水処理など水のラインで使っていました。ディスクの歪みや沈積物の噛みこみなどで漏れが起こりやすく、多少の漏れが我慢できる水関係に使われるのが一般的だと思います。ゲート弁に外ネジ式と内ネジ式があることは教えられて知っていましたが、オペレータとして外ネジ式しか使用経験がなく、後に設計、建設に関与したプラントの水回りのゲート弁は全て外ネジ式を使用しました。このバルブは全開か全閉で使われるのが原則で、遠くからでもステムの状態を見て開閉状態を判断できる点で外ネジ式が優れた特性を持っていると判断していました。当時は「ステム」を「スピンドル(軸、心棒 紡錘用語)」と呼んでいました。バルブメーカーのカタログ図面では現在「ステム(弁軸)」になっています。

山本 : バルブの操作方法にも注意する必要があります。多くのバルブでは、ハンドルを時計方向(右方向)に回せば閉まるという認識があります。ちなみに調べてみますと、図1の外ねじ式バルブでは、ハンドルを時計方向に回せば

ほぼバルブが閉まりますが、図2の内ねじ式では、時計方向でバルブが開くものがあるようです。そのようなバルブでは、閉めたつもりでも実は開いていたということがあるかもしれません。ゲート弁ではありませんが、反応管の底排弁には内弁式と外弁式とがあって、内弁式底排弁はハンドルを右に回すと閉まりますが、外弁式底排弁は右に回わすと開いてしまいます。うっかりすると逆に回してしまう危険性があります。ただし、外弁式でもメカによっては時計方向で閉まる構造のものがありますので、開閉方向の表示をしっかりと明示することが重要です。

牛山 : 私も内ネジ式は使った経験は無いのですが、プラント内にはありました。ただ、内ネジ式にはゲージを付けて、必ず開度が分かるようにしていました。私の所では水だけでなく、オイル関係も閉止弁としてゲート弁を使っており、全開全閉が基本でした。但し、鋳鉄製は割れやすいので、初期に導入していた鋳鉄製のものは鋳鋼バルブに変更していました。

三平 : なるほど、貴社では水以外のプロセス流体にもゲート弁を使用していたのですね。私が入社して最初から長く関わったのは PVC プラントで、規模の大きいバッチ式プラントでした。先輩たちは液化高圧ガスのモノマーの仕込みラインにゲート弁の漏洩を怖れてストップ弁を採用していましたが、全開でも流路抵抗が大きく、仕込みに時間が掛かっていました。その後ボール弁が普及し始め、閉止能力も優れていることが確認されました。ボール弁を初めて使ったプラントに私はオペレータとして従事し、その後のプラント設計、建設でも各所にボール弁を多用していました。

司会 : Beacon には今回の事故のもう一つの要因として、照明が不十分であったことが挙げられています。この点について、ご経験やご意見がありましたら、お願いします。

塩谷 : 私の元いた会社で 50 年前に発生した事故をご紹介します。夜間の停電によるポリプロピレン重合プラントの緊急停止操作中、現場の操作パネルにて 4 号重合器のポンプ吸入遮断弁を開放しようとしたところ、誤って、6 号器の吸入遮断弁を開放してしまいました。この時、6 号器は詰まり掃除のためポンプ周りの配管を開放中で、配管開放部は閉止板を取り付けなまま、遮断弁一つで原料の入った重合器を止めていた状態でした。この状態で遮断弁を開放したため、大量のプロピレンが放出され、大爆発を起こす事故となってしまいました。遮断弁誤操作の要因として、夜間の停電で現場の照明は消え、大変暗い中での作業であったこと、現場操作パネルは縦 50 cm 横 30 cm のパネル内に、4 つの重合器の計 8 個の遮断弁操作スイッチが設置され、誤操作を起こしやすい設計であったことが挙げられます。照明に関する対策として事故後、操作室と現場の非常灯は倍近くに増強し、常用照明の電源を買電系と自家発系の 2 分割とし、片線停電で常用照明がゼロとにならないようにして誤操作リスクの低減を図りました。

頼 : 私の経験ではタンクヤードの照明はどうしても後回しになっていました。面積が広く、作業の頻度も少ないので手持ちの照明の強化で工夫・対応する様に運転員には頼んでいましたが、その際管理職も一緒になって悩み・考える必要性を痛感しました。この事例では、タンクのオーバーフローに気が付いて港湾側の送り出しを止めた後 爆発までに 20~30 分掛かっています。管理者とオペレータが何処から漏れているのかを調べている内に 30 分が経ち、火が着いてしまったとのこと。照明が明るかったら早く見つけられたかは分かりませんが、やはり明るくしておくべきだったと思います。ただ、漏れている場所が分かっても何が出来たのかなども思います。蒸気雲が立ち込める中、防油堤の排水弁を閉めに行けたのか、疑問ですね。

竹内 : タンクヤードの照明は防爆仕様ですよ。コストが掛かるので照明の数が少なくなりがちだと思います。

頼 : タンクヤードはプロセスエリアと比べると暗くなりがちですね。この事例の場合、タンクからの漏れに気付いたらどうするのか(暗い中で防液堤内に溜まったガソリンの処理方法等)が決められていたのかが、問題だと思います。

竹内 : 防油堤の排水バルブは雨水が溜まったら開けるとするのは当然ですが、閉めなさいという指示は出しているのでしょうか。

頼 : 防油堤の排水バルブは常時閉が前提ですから、私の経験では排水が終わったら開けた人がすぐに閉めることになっていました。

安喜 : 我々のプラントでは特に危険性のあるものをタンクに受け入れる作業は、夜は禁止というルールで日中に行っています。雨天などの場合には受け入れ作業を順延しても良い様に運転を調整しています。

頼 : 製造プラントなどでの受入れでは、その様な対応も可能だと思いますが、この事例の場合は大型タンカーからのガソリン受け入れ作業で、2日~3日は掛るケースもある(本件も24H以上)のでどうしても夜間も受入れ作業を

続けていたと思います。船の方は1日滞船延期すると巨額のペナルティーになるので、ゆっくりやらせてくれませんか。タンクヤード側としては港湾側の要求を受けざるを得ないと思います。

牛山 : 日本の港湾法・港則法では港湾の使用条件を港長が決定することになっているようですので、港湾毎に異なるかもしれませんが、私の働いていた港湾では、危険物の夜間受け入れは出来ないことになっていて、日の出から日没の間に作業を終わらせなければならなかったと思います。このため、船からの受け入れ配管も最大10時間で受け入れ可能な様にサイズ設計しておりました。この事例の場合は、夜間受け入れしていて暗かったかもしれませんが、懐中電灯で開閉確認はできるわけですから、暗かったことよりも、事前にバルブの開閉確認をしていなかったことの方が問題だと思えます。尚、私のいたプラントではタンクヤードにガス検知器が設置されていて、万一漏洩があった場合は、警報が鳴りますので、どのラインでの漏洩かを判断して、そのラインを閉止するというのが、最初の操作でした。

竹内 : この事例では、大きなタンクが受け入れられない状態だったとありますが、船であればいつ来るのかが分かりますので、事前に大きな受け入れタンクを空にしておくべきだったのではないかと思います。

頼 : 私だったらそうしますが、出来ない事情があったのだと思います。

牛山 : 油の受入れ速度は決まっており、通常、可燃性の液体の送液速度は 3m/s 以下に抑えないといけないので、送液時間は計算できた筈ですね。このため、送液時間を短縮するために、複数のタンクに同時送液したものと思われるのですが、これは非常に送液量のコントロールが難しく危険です。必ず 1 基が満タンになったら次に切り替えるという方法が必要だと思います。

司会 : Beacon の英語版では、エラートラップに陥ると言っていますが、この様な勘違いを起こしやすい物やことについて、ご意見を頂けますか。

澁谷 : 工場勤務を始めた頃の事ですが、寒波対策を実施するよにとの指示が工場全体に発せられました。常時水を流していない機器のドレインバルブを開けて水抜きをするよう現場に伝えました。しかし翌日の昼になり、間欠的に使用する小型空気圧縮機のジャケットから水漏れすることが見つかりました。水抜きコックは開となっていましたが、錆などによりコックが詰まっていた水が抜けていなかったため、凍結してジャケットにヒビが入ってしまったと判りました。「水抜きバルブを開ければ、水は流れ出るはず」という「思い込みの罠」に陥ったため、水が抜かれているか確認していなかったミスでした。

竹内 : 消防設備の末端試験弁にボールバルブが使用される場合、ハンドルの開閉方向が一般とは逆になっています。これは、通常閉止位置になっている末端試験弁が人や物の接触により間違っ開にならないようにハンドルを配管に沿わせているのですが、このことを知らないと間違っ操作をする可能性があります。私も初めて見た時は、「あれっ」と思いました。仕様書には「逆ハンドル仕様」と書いてありました。

牛山 : 計装用空気とプラントの作業用空気の弁が並んで配置されていて、間違っ計装用空気のバルブを閉めてしまったという経験をしたことがありました。幸い大事に至らず済みましたが、バルブの場所はかなり離れていたのに、勘違いによって計装用空気の弁を閉めた為に制御が難しくなり、一旦停止作業に入ったところ気がついて計装用空気の弁を開けたことで、更に制御不能に陥り大事故になった事例として 1973 年に起きた徳山の製油所の事故があります。重要な弁は必ず開閉の状況を示した札を掛け、簡単に開閉できないようにカーシールすることが大切です。

竹内 : 言葉の聞き違いで起きた事故の事例を聞いたことがあります。タンク内をエアプローブしていた時にエアの勢が強すぎたのでタンク内の人、外の人に「小そうして」(流れを絞ってくださいの意味)と言ったのが、外の人には「窒素にして」と聞こえて窒素に切り替えてしまっ、その為にタンク内が酸欠状態になり内部の人が危険にさらされたというものです。

司会 : 「知っていますか」、「あなたにできること」に記載されている事項やその他で、ご意見や更に追加すべき事項がありますでしょうか。

竹内 : プロセスの状態を誤認する大きな要因としては計器類の誤指示があると思えます。どのような計装機器が使用されていて、故障するとどうなるかを知っておくことも大切だと思えます。有名なテキサス州 BP 社での事故では液面計のセンシング部分が完全に液に浸かってしまっ、浮力を検知していたセンサーが液面の高さを実際よりも低

く表示していたこともオペレータを騙したと報告されていました。

頼 : 照明や弁のタイプの統一の前にやらねばならない優先課題が事故を起こした油槽所には一杯あったと思います。運転員は港湾側の指示に従い短時間で出来るだけ多くのガソリンを受け容れるのに精一杯だったと思います。その中で計器室でのタンク液面の表示が不正確で、且つ複数のタンクに同時受入れをしなければならず、その際現場の液面計が故障して運転員はその修理に追われていたようです。その中で最後の失念の防液堤の排出弁の締め忘れが重大事故に繋がってしまいました。対外的な対策としては照明の強化、弁のタイプの統一は分かり易いですが、運転員の負荷を下げる根本対策(会社の体質改善)まで掘り下げないと、この様な事故は無くならないと思いました。

竹内 : そういう意味では、プロセス安全というのは、管理部門もリスクを理解して、現場に無理をさせてはいけないということですね。

頼 : 言われる通り、現場の実態を知った上で計画を立ててもらふ事の重要性を管理部門に示唆した事例と思います。日本なら運転側は実態を説明すると同時に自分達で考えた改善案も示すと思います(日本ではこの事を現場力と言って日本の製造業の強みになっています)。この事例を見て現場力の弱さを感じました。

牛山 : 水抜きバルブでの漏洩事故は日本でも結構発生しています。総務省消防庁などの事例を調べて見たところ、水抜きバルブが開いていたための流出事故は 1991 年～2015 年の間に判ったものだけで 9 件ありました。その中で、1994 年 6 月の液面計リミットスイッチ故障によるボイラーサービスタンクからの灯油オーバーフロー事故では農業用水路へ流出(4.2KL)、1995 年 5 月重油タンク側板の腐食による漏洩事故では構外用水路に流出(8.5KL)、2015 年 1 月積雪による A 重油配管破損により信濃川に流出(5KL)など、大量の油流出事故が発生しています。

山岡 : 現場の安全確保や作業員の安全を守る上で、危険あるいは危険な状態に気づく、安全上の問題点を見つけるという習慣をもつことが大事です。時々当研究会で編集した「事例に学ぶ化学プロセス安全」を読み返していますが、同誌 149 ページ「あなたは安全上の問題点を見つけることができますか」のタイトルで、7つの写真でそれぞれの写真にある問題点を見つけるという質問の記事です。皆さん改めてチャレンジしてはいかがでしょうか。

(解答例は同誌 234 ページにあります)

竹内 : なるほど、現状を正しく認識できなければ正しい行動を起こせないですから事故に繋がる可能性があります。エラー・トラップに陥った場合も、正しい現状認識が出来ていないということですから論理的に繋がっていると思います。

山本 : 外見は同じように見えますが、間違えたら大変なものに、同じような容器(ドラムなど)に入った中身が異なる化学物質があります。Beacon(2022 年 5 月)では、反応缶に仕込まれていた化学物質に、ドラムのラベルを確認しないで禁忌物質を反応缶に投入して、異常反応を起こした事故事例が述べられています。この Beacon では、「企業は、潜在的なヒューマンエラーやエラー・トラップの 評価など、プロセスハザードレビューを徹底的に実施しなければならない」としています。

司会 : 皆さん、本日は色々なご意見をありがとうございました。エラー・トラップという言葉は日本ではあまり使われていないと思いますが、見間違い、聞き間違い、思い違いなど、広い意味で使われているのだと感じました。エラー・トラップにはまっていると自分では気づけません。他人が気付いていない危険は積極的に教えてあげ、自分が気付いていない危険は周りの人から教えて貰える企業風土であることも大切です。危険を指摘されると気分を害するのではないかと気にされる方もいると思いますが、読者の皆様の職場が「指摘してくれてありがとう」と皆が素直に言える雰囲気になると良いと思います。

キーワード: エラー・トラップ、外ねじ式ゲートバルブ、内ねじ式ゲートバルブ、末端試験弁、ドレインバルブ、液面計、蒸気雲爆発、バルブの開閉表示、ステム、スピンドル、可燃性液体の送液速度、逆ハンドル

【談話室メンバー】

安喜 稔、今出 善久、上田 健夫、牛山 啓、木村 雄二、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、頼 昭一郎、