

PSB (Process Safety Beacon) 2020年4月号 の内容に対応	<b>SCE・Net の</b> <b>安全談話室 (No.166)</b>	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 今出善久)
	<a href="http://www.sce-net.jp/anzen.html">http://www.sce-net.jp/anzen.html</a>	

### 隠れたハザードの連鎖

(PSB 翻訳担当: 春山豊)

司会: 今月号は隠れたハザードの連鎖ということで、逆止弁の不具合によるスタートアップ時の事故例です。今回の内容は日本での事例として竹内さんが CCPS に報告されました。補足事項などありましたらお願いいたします。

竹内: この事故は 10 年以上前に経験した事例です。同じシステムが 4~5 個ならんでいたのですが、そのうちの 1 つのシステムのルーツブロワーが割れる事象がありました。当初その理由がわからずメーカーに調査してもらおうとブロワーに水が入ったことが直接原因ということでしたが、その根本原因はわかりませんでした。ブロワーを新品に交換して試運転してみたところ排水ラインから空気を引いていることがわかり、逆止弁がきいていないのだと気づきました。目に見えない故障が原因だったということで隠れたハザードの事例として CCPS に紹介しました。

司会: 今月の記事や竹内さんのご説明につきましてご感想やご意見がありましたらお願いします。

牛山: この事故でよくわからないのですが、最初ラインは水封されていた訳ですね。その後水が溜まってきてその水を逆止弁から入ってきた空気が飛ばしたということでしょうか。

竹内: 通常はセパレータの下に水が溜まっている状態で水封されていて、逆止弁から空気が流れてくるということはありません。このときはたまたま水を抜いてラインを空にしていました。そのために水封はない状態でした。水封がない状態でスタートしてもよいように逆止弁が付いていたのだと思われます。ところが逆止弁がきいておらず下から空気を吸っていました。そのためセパレータの上部から水がベントラインに流れ、水平部分に水が溜まり、ある時一気にブロワーに流れ込んだと思われます。

澤: ルーツブロワーがついている真空系では、逆止弁など付けず水のヘッドで水封を保つのが一般的ではないかと思います。逆止弁がついているとなぜ水封が保てるのかがよくわからないのですが。

竹内: 逆止弁を付けたのは水封がきいていなくてもスタートできるようにするためです。逆止弁がきいていて逆流しなければセパレータは機能して下のホールド部に水が溜ってきて水封されます。

澤: 普通下にドレーンポットのようなものが付くはずですよ。そのドレーンポットに水がちゃんと入っていれば水封状態になって空でスタートすることは起こらないのじゃないかと思います。

金原: 逆止弁以降の下流の状況がよくわからないのですが、例えば良く使われるのがシールポットです。プロセスの繊維質の物が入っているということは、逆止弁が詰まる危険性が十分あるのになぜこのような構造になっているのかが不思議に思われます。繊維状物など閉塞の危険性があるのなら、サイフォン防止用の逆止弁ではなく、ミストセパレーターの下部からテールパイプを繋ぎ、シールポットにするのが良かったと考えます。

竹内: おそらく設計時には繊維質のものが入ってくることを想定していないと思います。

金原: このトラブルはスタートしてすぐ起こったのですか。

竹内: スタートして、数時間がたってからでした。

金原: 空気がミストとして引っ張っていったというよりも、下に水が流れなくなってどんどんミストセパレーター内に溜まってオーバーフローしたのではないのでしょうか。

澤: 私も同感です。

金原: セパレータに水が溜まるくらいですからブロワーに行くのはあっという間だと思います。

澤: 以前の PSB の記事にもあったと思いますが、消火ポンプの出口と入口を両方締切ったままにして長時間運転した時、液体膨張でケーシングが割れて爆発状態になった事例を見たことがあります。DOW にいたときは密封状態で鋳物のポンプを回し続けると熱膨張で爆発的にポンプが壊れることがよく起こると教育を受けていました。多分今回も全体が液封状態になってブロワーのロータが破損したのではないかという気がしま

す。

竹内：考え方はいくつかあると思いますが、残念ながら再現実験はしませんでした。

山岡：私も今月号の記事を読んでいくつか疑問をもちましたが、みなさんから出された疑問や意見と、それに対する竹内さんの説明でだいたいは理解できました。ただ、シャットダウン前の運転中、逆止弁はどういう状態だったかという疑問として残りました。停止中に新たに設置して確認を忘れたのでしょうか。

竹内：シャットダウン前の運転中に逆止弁に繊維が詰まって閉まらなくなっていたのに誰もそれに気づかず、シャットダウン中の清掃の対象に逆止弁が入っていなかったものです。

三平：私はルーツブロワーをPVCの空気輸送系や有機物質の真空蒸留系(ナッシュポンプとの組み合わせ)で使って多くの経験があります。ルーツブロワーはケーシングとロータとのクリアランスが小さいために、物を噛みこんでの停止トラブルをしばしば経験しました。一般的にはまずモータの保護回路が働いて停止するのではないのでしょうか。このPSBの事故では駆動機側のプーリーのひどい破壊が起きて飛散し、危険な状態になったわけですが、特殊な事例ではないかと思いました。電氣的な保護回路の関係はどのようにされていたのでしょうか。

竹内：このケースはブロワーに一瞬にして水が入ってロータが物理的に破壊されたもので、モータ負荷にその兆候は無かったと思います。

司会：今回の事故では逆止弁の不具合が要因になっていますが、逆止弁に関しての類似のご経験などありましたらお話しください。

春山：今回のようにガス系で、ルーツブロワーで吸引して逆止弁が働かなかった経験があります。スタートアップの時に確認したときに逆止弁が逆に付いていたので、機能が十分働かなくなっていたことがありました。外からではわからないのできっちりチェックしないといけません。逆止弁が付いているというだけで安心してはいけませんね。

金原：スラリー系で逆止弁を使ったことがあります。弁部で詰まったり、いざという時に逆流が防止できなかったりしたので、最終的に逆止弁を取り外し、バルブを2段にしたことがあります。一方、逆止弁から水素が逆流してトラブルを起こしたこともあります。特に分子量の低い物質に関しては、信頼性が極めて低いと考えた方がよいと言えます。最近では様々な逆止弁が開発されているようですから、流体の性状を良く考慮して逆止弁の種類を選択するとよいですね。

塩谷：スイング式逆止弁はヒンジ機構の摩耗により、かなりのトラブルが発生した経験があります。逆流したということはないのですが、はずれたコマが流路を塞いで流量が規定値流れなかったことがあります。重要配管に設置されている逆止弁は点検周期を決めて定期的に検査を実施していました。また、条件の許すところはスイング式を使わないでリフト式を使うようにしていました。皆様のところではタイプの使い分けはどのようにされているのでしょうか。

金原：先ほど申し上げた例では、両方ともリフト式でした。

塩谷：スラリー系はどのタイプの逆止弁でもなかなか難しいですね。

金原：スイング式は構造が簡単ですが、おっしゃるような問題があるかと思います。

春山：スイング式は使いやすいので、逆流防止の目的で使うことが結構ありました。水平式、垂直式があつてよく確認しないと痛目に遭うことがあります。あそこに逆止弁があるからドレーンを切ってしまうと、逆止弁が漏れていたという怖さがあります。逆止弁が働くからと思い込むと危険です。

山本：逆止弁は気密性を保てないですね。私の経験ですが、地下タンクからポンプで吸い上げるラインに呼び水をしなくてもよいように逆止弁を使っていたのですが、数日でラインが空になっていることが結構ありました。他の経験ですが、反応缶のジャケット上部に逆止弁を取り付け、ジャケットへ通水するときは閉まり、排水するときは逆止弁から系外の空気が入り、下部から排出できるようにしていましたが、逆止弁から水が系外へジャジャ漏れになったことがあります。逆止弁は、漏れてもすぐにわかるようにしていなければいけませんね。

牛山：逆止弁は閉止バルブではないので漏れるということは当たり前と考えています。ポンプを止めたときに逆流してくる水撃を防止するためにポンプの吐出側に逆止弁をつけていました。基本的には漏れてもかまわないというところにしか付けませんでした。

金原：今回の事例のようなプロセスに逆止弁を使って、それにのみ頼るのは好ましくなかったと思われます。シー

ルポットのような簡単なことで済む話だと思います。ただ誤解のないようにしておきますが、逆止弁をすべて否定しているのではなく、機能として優れたものであります。ただ、100%信頼することは避けた方が良くと言っているのです。

司会： 続きまして今回の事例の要因のひとつと考えられる定修後などのスタートアップ時の事故やトラブルについてのご経験や知見などありましたらお願いします。

金原： 最近は少なくなりましたが、今から30年ぐらい前にはポンプを起動したときにタンクや缶を減圧によって凹ませることがよくありました。ベント配管が細かったり、シール系が詰まったりしたのが原因でした。シールポットも減圧防止だけでなく、加圧防止の機能もあります。加圧防止ものきちっと管理しておかないとシール不良になり、思わぬところからタンクのガスが出ることがあります。

竹内： 定常状態よりもスタートアップ時の事故の方が多いと思います。BP テキサスの事故などもスタートアップ時の事故です。悪いことが重なって大事故になっているのですが、スタートアップ時の手順がきちりしていなかったようです。スタートアップやシャットダウンは定常状態でなく非定常状態でのオペレーションであり、何かを間違えると事故が起きます。そういうことがきちっと考慮された設計になっているかどうかを考えると今回の事故は良かれと思って逆止弁を付けたことが仇になってしまったと考えられます。水封ラインに自ら水を張っておけば事故にはならなかったですね。スタートアップを十分考慮した設計をすることが重要であるとともに、もしかするとスタートアップの手順が十分に書かれていなかった可能性もあると思います。

金原： スタートアップ時の事例として、定期修理中に挿入していた閉止板を取り忘れて流体が流れないという経験がありました。そこで閉止板一つ一つに番号を付けて、それがすべて揃うまでスタートしないということをしています。また、定期修理で開放する機器や配管にゴミが入ることを防止するためにアルミ箔で開放部を覆います。これを取り忘れると、閉止板の取り忘れと同じことになるので、事前に図面に使用箇所を記入し、チェックするようにしています。

春山： 弊社でも閉止板の抜き忘れは痛いほど経験しています。エチレンプラントの場合、閉止板の数が半端なく多く、しかもサイズが4分から24インチぐらいまであります。特に小さいサイズの抜き忘れがよくあるので台帳を作り管理するのですが、協力会社だけに任せるのではなく自分自身の目で確認することが重要です。

金原： 閉止板を入れる箱を作って、員数管理を行いすべてそろわないとスタートしないというようなことをやっています。一方で配管や機器へのゴミ侵入防止のためにポリエチの大きな袋を使って封をしてビニールテープで巻いておくこともやっています。それも取り忘れて、流れなかったり、ポンプに詰まったりしたことがありました。工事業者が請け負う作業ですが、責任を明確にして取り外しの忘れないようにさせました。

塩谷： 私の職場では配管開放部のフランジ部にはガムテープ用いて養生を行っていましたが、配管組み立て時にガムテープを取り外さないまま復旧してしまうトラブルが散発しました。そこで、ガムテープの使用を禁止し、金原さんのお話と同様のポリエチ袋による養生に変更したところ、このようなトラブルの発生はなくなりました。

竹内： ただそれで事故になったケースもあります。PSB(2007年2月号)にビニールシートを外すのを忘れてタンクを潰した事例がありましたね。

金原： スタートアップではないのですが、定期修理中の類似事故を紹介します。重合槽上部に付設したスクラバーではミスト同伴したポリマーを重合溶媒で洗い落とします。系を真空に保つためにスクラバーをジャケットにして外部から水冷しています。定期修理では、スクラバーの内部に付着した同伴ポリマーを重合溶媒の蒸気を使って洗浄します。その時にはジャケットの水を抜いているのですが、ドレンバルブが詰まっていた為、冷却水が残り、沸点を越えて加熱されました。誤って冷却水の出口バルブを閉めてしまった為に高圧になり、ドレンバルブの詰まりが取れて、一気に蒸気が噴出しました。幸いにも付近に人がいなくて災害にはならなかったのですが、大きな音がして気づきました。クーリングタワーのポンプが止まっていなければ、ジャケット冷却ができるのですが、定期修理で停止しているために発生した事故です。冷却水出口に流出水ポットを設置して、封じ込めにならないように対策を取りました。

牛山： 私の経験ですが高沸点の液体を定修時に配管から抜かないで入れたままで停止しました。このときバルブが漏れていて配管内に液体が残っていました。本来固まるときには体積が減るので再溶解しても圧力がかかることはないのですが、2重管から蒸気過熱したところ、中の固体が溶解して液体膨張したために配管が

破損し、液が噴出してしまいました。バルブが漏れていることに気づかなかった事例になります。

もう一つは、機械の故障なのですが、定修時に実施した増速ブロワーのアライメントがずれているのに気づかず、スタートアップした際ブロワーのインペラが破損しケーシングを破って飛散してしまいました。定修時にチェックが十分できていなかった事例です。

春山： 些細なことかもしれませんが品質管理で失敗したことがあります。例えばコックバルブは中に少し溜まる構造になっているので、シャットダウンの時に全部抜いておけば良かったのですが閉のままにしておいたので液が溜まっており、スタートアップの時に開閉したときに液が本流に流れ込み品質不良を出してしまいました。最初その原因がわからず苦労しました。それからプロセスにはいろいろな種類のバルブのパッキンがあるのですがパッキンの仕様を間違え、パッキンの硬化剤が配管内に少しずつ溶出し品質トラブルを起こしたことがあります。チェックシートは在りましたがそれをすり抜けたパッキンの材質違いはちょっと怖い思いをしました。

司会： お話いただいたバルブの故障や機器内部の不具合など目に見えない隠れた危険をどのように見つけ対処することができるのかについて知見などありましたらお願いします。

竹内： 一般に機器の内部で何が起きているかわかりにくいことがあると思います。蒸留塔のなかでトレイが外れているとかパブルキャップが飛んでいるとかに気づかないと、いつまでたっても性能が出ないことが起こりえます。また、熱交換器の場合、多管式だとチューブの中にだんだんスラリーが溜まってきて流路が狭くなり偏流して性能が出なくなりえます。それがファーンエスの場合だと液が流れないと部分過熱が起きてチューブが破損に至ることも考えられます。外から見てわかりにくいという危険は決して少なくないと思います。

金原： プロセス安全ではなく、労働安全の例ですが、「力を入れた時に勢い余って(スカを食らって)手や腕をぶつけて骨折する」という災害が数多く起きます。それで「スカを食らうような類似作業」がないか、ということで調査してもなかなか出てこない。そしてケガが起きると「あっ、ここにこんな危険な作業があった」と気づきます。そこで、「無理な力を入れてする作業」ということで調査させたら次々として出てきました。「スカを食らう」という結果だけでなく、スカを食らう原因となる「無理な力を入れる」という原点まで戻ると危険ポイントが見つかると考えます。視点を変えて危険作業を見直してみるのも大事なことだと思います。

竹内： 人間は何か認識をしないと判断につながらないし、それが行動につながらず、改善もできません。こんなことがあるのかということや他社事例も含めていろんな人から話を聞いたりして、何に注意すべきかということや学んでいくことが大事だと思います。また、そういうことを知恵として我々が提供できれば役に立つのではないかという気がします。

春山： 10年、20年と時間が経つともなるとプラントは安定化し、スタートアップ、シャットダウンの回数も少しずつ減ってきています。過去のスタートアップやシャットダウン時の事故事例をリストし、スタートアップ、シャットダウン時の事前教育時に運転員だけでなくスタッフも入れてしっかりやり、情報を共有することを繰り返しています。でないとやはり忘れてしまいます。

山岡： 同感です。私のところのエチレンプラントでも操業初期のころ、先ほど出ました定修時に入れた閉止板の取り忘れなど、スタートアップ時の確認ミスによる不手際が続いたので、ストップ・スタート時のマニュアルの整備とその遵守を徹底して行いました。しかし年数が経過し、人が変わるとだんだんルーズになってきたので、変更工事や開放点検を行う場合は、工事前に工事内容と工事完了後の確認事項の教育を実施し、工事終了時には運転担当と工事担当双方でラインチェックをするようにしました。

金原： 過去に災害のあった現場にその概要を掲示していますが、ベテランの人に危険性を再認識させるだけでなく、新人にとっては、これは一体何だろうと思い、それを教えてもらうことによって危険を知ることができるようになります。話を聞くだけよりも、掲示しておくことで臨場感がありますね。

竹内： 大切だと思うのはプロセスハザード分析(PHA)です。OSHAでは少なくとも5年ごとにPHAを再評価することが要求されています。PHAに運転員やあまり経験のない人たちも参加してもらい一緒に討議していくことによって、どこにどのような危険があるかを皆が理解できるようになっていきます。

金原： ハザード分析は大事なことだと思います。ただ、指導者といいますがよく知っている人がそこに入って分析しないと考えが浅いところで止まってしまう可能性があります。それを理解する意味でも原理原則に基づいた教育をやっておく必要があると思います。

澤： ハザード分析をやるときには、ガイドワードのなかに大事なことを組み込んでいく必要があります。例えばスタートアップやシャットダウンという言葉を入れるというように何らかの事故やトラブルがあったことを思い出すようなガイドワードを、HAZOPなどをやり直すときに組み込んでおくとよいと思います。

竹内： すべての会社ではないと思いますが、HAZOPをやったといっても定常運転時のみしかできていないところが多いと聞いています。今回のようにスタートアップ時のHAZOPもできているか、ということも自分たちのハザードをきちんと理解できているかのどうかの目安のひとつになると思います。

木村： 最近の認定のプロセスの中では非定常の状況におけるHAZOPについてもかなりの認定事業所で取組まれてきていると思われます。認定事業所というのは高圧ガスを取り扱うレベルの高い化学コンビナート事業所のことで、下記の2要件のいずれかあるいは両者を満たしている事業所の総称です。その中身である、認定完成検査実施者とは完成検査を自ら行うことができる者として経済産業大臣に認定された者です。また、認定保安検査実施者とは、運転を停止することなく自ら保安検査を行うことができる者又は運転を停止して自ら保安検査を行うことができる者として、経済産業大臣に認定された者です。近年、さらに新しい制度としてスーパー認定事業者制度ならびに自主保安高度化事業者制度が発足し、前者として3社7事業所が、後者として2事業所(2社)が認定されています。それから先ほど過去の事例ということがあったのですが、防災カレンダーなどを参照しながら運転員の方に確認していただくプロセスを引継ぎで行っている事業所もあるようです。

春山： 確かに防災カレンダーは計器室にありました。朝や終わりのミーティングなどで過去に今日はどういうことがあったのかを必ず確認していました。スタッフも立ち会っているので情報の共有ができていました。見える形でどんなことがあったのかを知ることは重要ですね。

金原： 引継ぎでいうと、管理監督者の引継ぎも重要です。安全・品質・防災に関して重要5項目をピックアップし、きちっと説明しておく取組みをしていました。理解力テストというほどではありませんが、レポートを書いてもらい引継ぎ完了書を完成していました。

司会： 最後に全体的なことでご意見などありましたらお願いします。

金原： 隠れた危険をどのように見つけるかということですが、最近ではIT技術が進歩していますので、トレンドの監視やマテバラ・エネバラを計算させて、通常とは異なる状況を見いだすことが重要かと思われます。ベテランの運転員であれば異常に気づく力量を持っているのですが、トラブルが減っていることや若返りが進んでいることもあって補完する必要があります。

司会： 今回は隠れたハザードによる災害をテーマに逆止弁の故障を中心に事例やその対応方法などについて多くの有意義な経験や知見をお話しいただきました。長時間のご討議ありがとうございました。

キーワード： 逆止弁、ルーツブロー、水封、スイング式、リフト式、スタートアップ、非定常、閉止板、事故事例、プロセスハザード分析、HAZOP、ガイドワード、認定事業所、防災カレンダー、引継ぎ

#### 【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、中村喜久男、春山 豊、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己