

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2021年5月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.179) 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: 山本一己)</p>
--	--	---

バルブ開閉の間違いは重大事故のもと

(PSB 翻訳担当: 金原 聖)

司会 : 今月の Beacon では、バルブを操作する前のバルブ開閉状態の確認がテーマになっています。まずは、この事故について、追加の情報をお持ちの方は補足説明をお願いします。

山本 : 文献(吉田(2013))によりますと、事故があったのは、インドのジャイプール(Jaipur)シータプル工業地区にあるインディアン石油(Indian Oil Corp.)のタンク施設です。バルブを操作していたオペレーターが亡くなっているのに、ガソリン漏洩の真相は不明ですが、事故後の調査により、閉止板バルブを挟んで上流の MOV (Motor Operated Valve: モーター駆動バルブ(ゲート弁))と下流の手動バルブ(ゲート弁)が開いていたので、それらのバルブが開いた状態で、閉止板バルブを閉から開状態にする操作中に漏洩したようです。あるいは、現場にも MOV の開閉スイッチがあったので、誤って MOV の開スイッチを押した可能性もあります。閉止板バルブというのは、バルブ本体の上部がオープンになっており、その上からくさび型(厚み方向)の穴あき、または穴なしの円形板を挿入して、配管の開閉操作をするものです。開閉操作をするときには、両方の円形板をバルブ本体から引き抜かなくてはならないので、上部に開口部ができます。(これら情報の出典はコメント後の参考資料に記載しています。)

司会 : それでは次に、今月の Beacon について、皆さんからの感想をお聞きたいと思います。

金原 : 閉止板バルブ(Line Blind)というのは私の周りではあまり見ない装置です。ネットで見ても、国内のメーカーには見当たらず、海外のメーカーでは YouTube などで紹介されています。簡単に開閉でき、完全遮断できるというのが謳い文句のようですが、一旦隙間を開けて切り替える操作が不安全のように思えてなりません。

牛山 : 閉止板バルブはハンマーブラインドバルブ(Hammer Blind Valve)と呼ばれていますが、メーカーがインドの会社のバルブみたいですね。日本では見られませんが、インドでは使われているようです。

竹内 : 閉止板バルブと同様の機能のものとして、スペクタクルフランジ(めがねフランジ)があります。閉止板の抜き差しを素早く出来るように常設しておく眼鏡型の板です。眼鏡の片方が開、もう片方が閉になっています。切り替えるときは前後のブロック弁を閉じてフランジのボルトを外し、眼鏡板を中心に180°回転させた後、フランジ止めします。配管スペースが狭くても設置可能です。

金原 : タンクの一次側にある MOV も理解できません。遠隔操作は連絡ミスなどによって閉止板切り替え作業で開閉してしまうことがあります。どうしても遠隔操作が必要なのであれば、閉止板バルブ側と MOV の間に手動バルブを設け、閉止板切り替え時は、両端の手動バルブをチェーンロックなどで絶対に開かないようにすべきと考えます。両側のバルブが開の状態、開閉切り替え時にガソリンが開放部分から噴き出したとのことですが、標準書が不十分であることも問題であるとともに、バルブの設計思想にも問題があると考えます。

山本 : チェーンロックはバルブのハンドルに鎖を掛けて錠をして、バルブ操作をできなくするタイプのロックアウトですね。バルブのハンドルにプラスチックのカバーを付けて、カバーを外せないように錠をかけるロックアウトのタイプもありますね。

牛山 : この MOV について、日本の危険物の規制に関する政令では、「1 万 KL 以上のタンクの抜き出しラインのタンク側直近部に遠隔で操作する緊急遮断弁を設置すること」とあります。Beacon にある MOV は緊急遮断弁ではないでしょうか。

金原 : そうだとしても、緊急遮断弁の後ろには、機械式のバルブが必要だと思いますが、また、MOV はモーター駆動ですが、緊急遮断弁はその他の駆動でも良いのでしょうか。

牛山 : 形式はエア駆動でもモーター駆動でもかまいませんが、通常の作業用としては使用してはいけないとなっていますので、当然、緊急遮断弁の下流には機械式のバルブは必要ですね。

金原 : 閉止板バルブを開放するにあたり、隣接する手動バルブなどの閉止だけで漏洩有無をどのように捉えているの

でしょうか。圧力計やパージ配管などで残圧、残液がないことを確認した上で切り替え操作をしなければ、もしバルブが内漏れしていた場合には大変危険な状態にあると考えます。両側のバルブの内漏れであれ、誤操作であれ、異常を的確に判断できる管理体制、このプロセス設計思想に問題がなかったのかと思います。スペクタクルフランジでも同様でしょうか。

竹内： スペクタクルフランジも閉止板と同様で、ドレン抜きを付けていました。また、漏れこみがないかを確認するための圧力計なども必要です。

塩谷： 閉止板バルブは閉止板を切り替える際は必ず、大気開放の開口部が生じます。たとえ、前後弁を閉止していても、配管内に残存する液体が漏洩、噴出することとなるため、これを十分に配慮して切り替え作業を実施する必要があると思いました。

山岡： 感想ですが、今月号の事故事例は、バルブ操作の順序の間違いが事故の原因とのことですが、払出し配管のバルブ D、E を閉める前にバルブ F を開けたということでしょうか。2人以上で作業を行う場合は、作業員全員で作業内容、作業手順の確認を行います。この石油会社ではそのような決まりはなかったのでしょうか。1995年に川崎市の石油精製工場で硫黄回収ラインのバルブ交換の作業中に硫化水素が漏洩して作業中の3名が中毒死した事故を思い出しました。

山本： 川崎で発生した事故では、硫化水素配管にあるバルブの交換作業中に、上流に閉止板を挿入していなかったために配管に開放部ができ、同ラインにあった空気作動の圧力調節弁が開いて、硫化水素が漏れました。これは、バルブ交換作業と併行して、他のグループが空気配管の補修工事をしていて、空気の元弁を閉めたためです。エアレスオープン式の圧力調節弁だったので開きました。上流に閉止板を挿入することと、関係する作業員全員の作業内容と手順の確認ができていれば起こらなかった事故だと思います。

牛山： インドの会社では閉止板バルブを定常運転で使用するようですが、日本では工事などの非定常作業時しか操作せず、定常作業の中ではこのようなバルブを開閉するという作業は行わないと思います。定常作業の開閉ならば本体ケースが密閉したバルブを使う必要があります。そういう意味では、この閉止板バルブでの開閉はかなり特異な作業だと感じました。

金原： それに関する意見ですが、閉止板バルブをあえて使用したのはバルブの信頼性がないので、完全に閉止するためではないかと思います。私の所では、逆流防止、漏洩検知の為に、バルブをダブルにして、バルブ間にパージ配管とバルブを取り付けて、メインラインのバルブを閉にし、パージバルブを開にする、いわゆる DBB というものを使っています。

竹内： 安全研究会が CCPS と共同出版した「事例に学ぶプロセス安全」に、ダブルブロック・アンド・ブリード(DBB: Double Block & Bleed)の解説がありますが、ブリード弁が間違っても大量漏洩しない様にキャップかプラグをすることが必要だとしています。(添付の DBB の説明と図を参照)

山本： バルブの信頼性がなかったにせよ、おっしゃるように定常作業で、設備の一部を大気開放するのは極めて危険な作業だと私も思います。

塩谷： 閉止板バルブを操作したオペレーターはこのバルブの構造、機構を理解していなかったのではないかと感じました。操作手順の教育は重要ですが、原理原則を理解する教育も合わせて行わないと、今回のような誤操作を行ってしまう可能性があるのではないかと思います。

竹内： 同感です。もう一つ可能性があるのはコミュニケーションのミスとチェックミスです。受け入れ配管のバルブ A と B を閉じたオペレーターが「閉止板バルブの前後のバルブを閉じた」とだけ伝えていたら、間違えたオペレーターは払い出し配管のバルブ D と E が閉じられたと思い込み、確認せずに払い出し配管の閉止板バルブ F を操作した可能性もあると思います。

司会： ところで、Beacon の「あなたにできること」で、「カーシールで封印されたバルブ」について記述がありますが、どなたかカーシールについての説明をお願いします。

竹内： Beacon にカーシールについて書かれていますが、日本では未だ馴染みが無いと思います。通常の運転中には決して操作してはいけないバルブなどはチェーンを掛けたり、ハンドルを外すなどして操作禁止にしていることが多いと思いますが、緊急時には素早く操作したい場合もあります。カーシールはこの様なバルブに取り付けて操作禁止とするものですが、緊急時には操作が可能なツールです。但し、操作をするとワイヤーが破損する仕組みになっているので操作されたことが判ります。操作が必要となって操作した場合は必ず報告するというルール

とセットで使用します。ルールでは、運転開始前にカーシールが破損していないことを確認することも求めていますので、報告しなければルール違反が発覚する仕組みになっています。(添付のカーシールの説明と図を参照)

司会 : 感想とカーシールの説明をありがとうございます。閉止板バルブの操作について色々と問題があること分かりましたが、重要なところから議論して頂きたいと思います。最初に、閉止板バルブの開閉操作では、大気開放の開閉部ができるので、定常運転でこのような開閉操作をするのは危険すぎるということです。危険作業と位置付けて、事前の安全確保のための手順や手順、対策が必要だと思いましたが、これについて議論をお願いします。通常の工事で使用する閉止板の運用でも構いません。

金原 : 2007年に鹿島で発生した、閉止板抜き作業中のクエンチオイル漏れによる火災発生が代表される事故かと思えます。取り外す閉止板に隣接する機械式のバルブにチェーンロックがされておらず、何らかの原因で開いてしまっただけのことです。

林 : 機械式のバルブ(空気式作動弁:AOV)のチェーンロックの不備は大きな事故要因として挙げられていますが、さらに駆動用空気の元弁が開の状態、本来は閉の措置と開閉禁止のロックがなされているべきでした。定期的に行う運転と工事の安全対策で毎回当該部位への仕切板挿入と戻しの作業が必要でした。大口径で狭所ゆへのスペクトルフランジは、出し入れに仮設の吊り上げ装置(チェーンブロック)の設置が必要でした。何らかの理由でAOVの操作スイッチがOPEN(開)になり、高温油が流出し火災事故に繋がりました。工事の際の安全を確保するロック基準がありますが、その不備も大きな要因です。駆動用空気の元弁を閉にしてロック、AOVはチェーンなどで施錠して関係者で確認、操作スイッチには保護カバーを設置の措置を取るべきでした。また、それらの不備が見逃がされていた企業風土が問題で、以降、安全文化の醸成に傾注されてきています。

金原 : この事故は、当社でも事例研究で何度か扱ったことがあります。工事の事前安全会議で、AOVの操作スイッチ閉やチェーンロック実施などが決められていたということですが、実施する操業担当者がその会議に出席しておらず、実施が徹底できなかったとのこと。

山本 : 「再発防止対策取り組み状況報告書」では、当該グループ内における意思伝達の仕組みが十分に機能していなかったことや、安全措置事項の相互確認の仕組みが十分に機能していなかったことなどにより、結果的には施錠は実行されなかったとあります。

春山 : 2007年の鹿島の事故では、本来非定常作業において製造課が施錠すべきところですが、当該バルブにチェーン施錠はされておりました。本来施錠実施すべき製造課において非定常作業の基準にAOVのチェーン施錠の実施が決められておられず、チェーン施錠実施を明確に決めておくべきでした。

金原 : 今回のBeaconの事例では配管を開放する訳ですから、残圧・残液がないこと、安全な流体に液置換されていることを様々な手段で調査すること、また、接続するバルブにはチェーンロックや「開禁止」などの表示札をつけることかと思えます。液置換というのは、例えば、酸・アルカリをブローした後、洗浄水で洗い流すことを表していますが、管末のドレンバルブを開けてpH試験紙で中性を確認していました。

飯濱 : 金原さんのお話では、会社でちゃんとチェーンロックが使われているということで、とても良いことだと思います。チェーンロックは日本の一部の産業では使われていますが、全般的には、まだ普及していないと思えます。ロック・タグ・クリア・トライ(キーワード参照)の概念とやり方は、米国やカナダでは法律で決められており、配管のバルブで閉止して、開けてはいけないときには、「鎖をかけ南京錠でロックして、開放禁止の札をかける」となっています。日本では法律の整備ができていないので会社によってまちまちです。とても良いやり方なので、ちゃんと普及して欲しいと思います。

金原 : この類は災害につながる経験が多いので、対策も重装備になっています。いずれの工場でも閉止板の取り外しでは痛い思いをしていると思います。

司会 : その他に、仕切板の運用について特に注意することはありますか。

塩谷 : かなり以前に発生した事故ですが、配管の耐圧試験時に、配管の圧力クラスに合っていない板厚の薄い閉止板を使用したため、閉止板が破損し、大惨事となる事故が報道されました。この事故の水平展開として、閉止板を使用する際には刻印されている圧力クラスを確認し、必ず配管の圧力クラスと同じものを使用するように再教育を行いました。

木村 : この事故は2008年に新潟市で起きた事故で、圧力クラス外の閉止板を末端の配管に取り付けるときに、溶接

が不十分なために起きた事故です。

- 金原 : 定期修理では、使用する閉止板が多いので、取り忘れる可能性があります。その為に各閉止板に番号を打ち、回収ボックスを姿置きにして、確実に回収されていることを確認していました。
- 林 : 定期修理後を含めて、工事完了後に運転を稼働させる前の最も大切な事項はラインチェックです。プロセスラインが間違いなくセットされているかを仕切板の有無、バルブの開閉方向、ガスケットの装着ミス、設置機器との流れの方向の合致などチェックリストやフローシートを基にダブルチェックやトリプルチェック、職制の確認などを織り込んで対応されていると思います。
- 司会 : ここまで、閉止板バルブという特殊なバルブの操作に関連して、設備を大気開放するときの危険性について議論して頂きました。ところで、一般的なバルブに関しても、誤操作による事故は起きています。通常のバルブの誤操作に関して、コメントはありませんか。
- 三平 : バッチ式の PVC(塩ビポリマー)製造プラントでは複数の大型重合反応器を使い、運転サイクルタイムと基数から決まる間隔で稼働させるので、各反応器の運転状態が違います。反応終了後に製品を抜き出す段階で、反応器番号を間違えて別の反応中の抜き出し弁を開放したために、VCM(塩ビモノマー)が噴出して大きな爆発事故が2件起きています。出身会社の1件は操作の自動化前の1960年代で、入社後の運転では先輩が構築した鎖錠方式の誤操作防止システムを使っていました。仕込み元弁、抜き出し弁、攪拌機電源に掛けていた錠の開放後は、錠から鍵が外れない特殊な錠前を使うことで、複数の反応器で間違いが少ないように工夫されていました。その後関わった新鋭プラントの建設で自動化を進めてこの種の誤操作を防止しました。しかし大分経ってから米国の台湾プラスチックで同様な事故が起きて驚きました。
- 澁谷 : 台湾プラスチックの事故については、「若い技術者のためのプロセス安全入門、丸善出版(2018)」に詳しく載っていますが、複数ある重合器を間違えて、洗浄していた重合器ではなく運転中の重合器の底部バルブとドレンバルブを開けてしまい、塩ビモノマーが漏洩して爆発した事故ですね。
- 三平 : 台湾プラスチックの事故では、プラントの自動化で抜き出しバルブの手動開放は出来ない状態になっていたのですが、運転員が間違ったバルブのインターロックを解除し、別の作動空気を繋いでバルブを無理やり開けて漏洩させました。
- 金原 : 最近では設備が大型化され、小型の重合器がないのではと思われがちですが、日本では付加価値が高いものを少量多品種で生産しなければならないので、数多いバッチの重合器のバルブの操作ミスの防止は日本でも大切な問題です。今では、設備はDCS管理や、シーケンサーで動いており自動化されているので操作ミスは減ってきていますが、一つ間違えれば大事に至ります。したがって、バルブの誤操作は今でも重要な問題です。
- 山本 : 少量多品種の製品を生産するバッチ運転の重合器では、バルブの切り替えが多いので、確かに自動化をしなければ運転できません。しかし、すべてのバルブ操作を自動化するのは無理なので、手動での操作が介入します。やはり、手動での操作では、ヒューマンエラーによるミスが起こります。たとえば、製品の切り替え時は、前の製品をドレン弁から抜き出して系内を洗浄しますが、ドレン弁を閉め忘れて洗浄溶剤が漏洩するなどの危険があります。ドレン弁の締め忘れなどのヒューマンエラー対策はしっかりとしなければいけません。
- 司会 : 最後に、Beaconのあなたにできることでは、「二人以上でバルブ操作を行う場合は、次に進む前に、すべてのバルブ位置が正しいことを確認すること」とあります。これについて、複数人で作業するときには注意することは何でしょうか。
- 竹内 : 私の知っている事故事例では、2人作業をしていて、一人がプロセス機器に手を突っ込んでいるときに、もう一人の人がそのプロセス機器のスイッチを押してしまった例があります。一人作業では起こらない事故です。
- 金原 : 二人作業をするにしても、事前にどういう作業をするかということをお互いに認識した上で作業をする。必要ならば、今言われたようなチェーンロックをして、回転体が回らないようにするというのが基本だと思います。2人作業のメリットは、一人がうっかりミスしたのを、もう一人が指摘して気付かせることだと思います。
- 飯濱 : そういう事故を防ぐためにも、先ほど話したロック・タグ・クリア・トライのプロセスを行うことを普及させないといけないと思います。可動部に手を突っ込むのであれば、稼働させるエネルギーを遮断して、他の人がエネルギーをONできないように電源ブレーカやバルブハンドルに錠をかけて、操作をできないようにすることですね。

司会：今月の閉止板バルブの事故事例から、設備を開放するときは大きな危険が伴うことと、開放作業では安全を確保するための決められた手順、手順や事前の対策を実施することが重要であることを議論して頂きました。皆さん、今日は貴重な意見と経験談をありがとうございます。

DBB の説明

下流側の設備をプロセス流体と遮断するとき、DBB では(3つの)弁は図1のようにセットする。遮断弁の①と②は 閉、ブリード弁の③は開とする。もし、遮断弁①が漏れるか偶然開いた場合に、2 番目の遮断弁②が下流側の設備に流体が流れないように防ぐ。漏れたり、蓄積した物質は、ブリード弁③を通して“安全な空間”に流れていくために2つの遮断弁の間の圧力は高くはならない。

(出典：CCPS Process Safety Beacon (和訳), ダブルブロック・アンド・ブリード”, Mar. 2021)

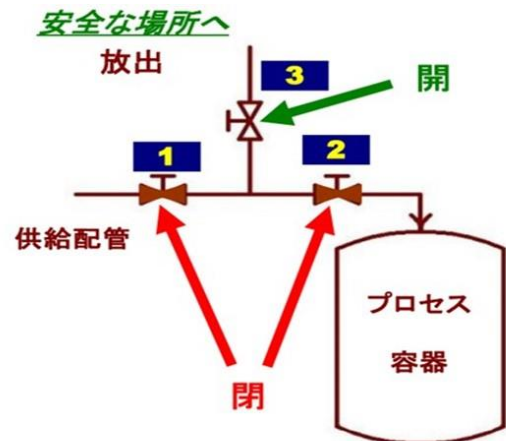


図1 DBBによる流体の隔離状態

カーシールの説明

カーシールは物理的にバルブの開閉をロックするための器具であり、図2のように、バルブを適切な位置に維持して管理するために用いられる。日本では、バルブの開閉制限にタグを吊るす方法が一般的であるが、カーシールの場合は、表示に反する操作をするにはカーシールを壊す必要があるため、安易な操作を防止する効果がある。また、緊急時にバルブの位置を変更する必要がある場合はシールを破壊して行う。配管計装図(P&I)には、カーシールを施工したバルブに、開(CSO: car seal open)、閉(CSC: car seal closed)などを表示する必要がある。物理的に鍵を掛けてロックする場合は、緊急時に鍵を開けなければ操作できないので、カーシールとの使い分けが必要である。ロックする場合は、P&I では開(LO: locked open)、閉(LC: locked close)などと表示する。

(出典：化学工学会 SCE・Net 安全研究会訳, 若い技術者のためのプロセス安全入門(p231), 丸善出版(2018))

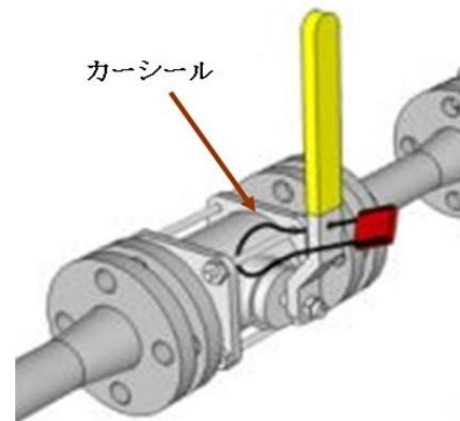


図2 カーシールによるバルブの封印

参考資料

- 1) 世界の貯蔵タンク事故情報: インド・ジャイプールのインディアン石油でタンク火災(2009年) (tank-accident.blogspot.com)
- 2) 吉田 聖一; "インド Jaipur での石油タンクの大規模火災事故", JHPI Vol.51, No.2 (2013)

キーワード： 閉止板バルブ、カーシール、チェーンロック、閉止板(または、仕切板)、MOV(Motor Operated Valve:モーター駆動バルブ)、AOV(Air Operated Valve: エア駆動バルブ)、スペクタクルフランジ、DBB(ダブルロック・アンド・ブリード)、ロック・タグ・クリア・トライ(LTCT: Lock, Tag, Clear, Try) (ロックは駆動空気や電気、有毒ガス、引火性物質などの危険源の進入経路にあるバルブやスイッチを「閉」にしたうえで鍵をかけること。タグは札掛けること。クリアは作業区間の危険源を完全に除去すること。トライは実際に危険源が作業区間から除去されていることを確認すること。)

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、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