

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2020年6月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の <b>安全談話室</b> (No.168) <a href="http://www.sce-net.jp/anzen.html">http://www.sce-net.jp/anzen.html</a></p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:金原 聖)</p>
--	--	--

「FOバルブ」故障で閉じることはあるか?

(PSB 翻訳担当:松井 悦郎)

司会 : 今回の事例では、フェールオープン(FO)のバルブが開かず、かつバイパス弁を開けなかったということによってトラブルになったということですが、この事例について気づいた点や感想などをお願い致します。

まず、ポジションナーのトラブルによってバルブが作動せずに閉の状態が続いたとのこと。本文の説明では少しわかりづらいので、このあたり今出さんにご解説いただけますか。

今出 : 文献に基づいてご説明いたします。このバルブはFOで、圧縮空気がなくなるとバルブが開になる構造です。開度調整の為にポジションナーがあります。そしてポジションナーとバルブが連結して開度調節します。今回の例では4.2PSIで開、9.6PSIで閉になりますが、DCSから送られていた信号は3.0PSIであり4.2PSI以下なので、本来全開であるはずなのですが、ポジションナーとバルブの連結金具が外れていたために、実際は閉まったままとりました。そのことを理解されておらず、気が付かなかった為に冷却水が流れずこのトラブルが発生したものです。コントロールバルブは基本的構造の違いは各社でありあまり差がないのですが、ポジションナーの構造については各社各様なので、同様のトラブルが発生するとは限らないと思います。

司会 : 有難うございました。今のご説明に関してご意見や感想などございましたら、お願いします。

澤 : 一体どこのコントロールバルブなのでしょう。FOのバルブはどんなことがあっても開くべきものであるのに、ちょっとした不具合でこのようなトラブルを起こすような貧弱なバルブは使うべきでないと思います。

今出 : 同感です。これはF社製のようなのですが海外では比較的メジャーな会社です。

三平 : 私もこれは特殊なポジションナーだと思いました。本来、FOのバルブなら金具が外れた時には、閉まらずに開くように設計されたものを採用すべきだと考えます。

今出 : 言われる通りで、故障モードというか、ピンが外れた時にも適正な方向に作動するような設計にすべきと考えます。

三平 : ピンの外れなどバルブの細部をオペレーターに確認させるのは難しいと思います。本来設計面で反映させて堅牢な構造のものをメーカーに作らせるか、あるいは計装保全担当者の留意事項として定期的にチェックさせることが必要です。ピンが外れて大きなトラブルが起こり、オペレーターが戸惑うことは分かっているはずなので、メーカーの設計面での配慮不足であるという感想を持ちました。私自身はプラントの運転、設計、建設、管理に長く関わり、電空変換方式によるバルブポジションナーを使いましたが、個別計器でもDCSでもこの事例のような大きな故障の経験はありません。

司会 : 視点を変えて、プロセス設計の視点での感想をお願い致します。

渋谷 : そもそも緊急事態に現場に行ってバイパス弁を開けなければならないといのはおかしい設計であると思います。反応温度がHHとなった時点で緊急弁として自動的に作動するような設計にすべきと考えます。

金原 : 同感です。さらに言えば、バイパス弁の出口は循環系に供給するのではなく、直接ジャケットに入れて、反応器の温度が速やかに低下するような設計にすべきと考えます。加熱・冷却の方法としても設計面に問題があると考えますが、どうでしょうか。

竹内 : 設計上の大きなミスが2点あると考えます。一つは、DCS画面上にはこのバルブに対して出ている開信号が表示されていて、バルブが開になっていることを示すアンサーではありませんでした。実際には閉になっているバルブがDCS上は開になっていたのでは、DCS画面を見て操作していたオペレーターにとっては騙されたような感覚だったと思います。クリティカルなバルブの開閉はアンサーを表示すべきです。二つ目は、FOバルブだから、何かトラブルが発生した時は必ずバルブは開となるのだ、という先入観でプロセスを設計していたらという事です。私自身もかつてプロセス設計していた時には、確かにFOのバルブは異常時には開くも

のだと思って設計してしまいましたからね。

司会 : 有難うございます。2つご指摘をいただきました。まず、アンサーバックを受けた DCS 表示については、各社  
いかながな取り組みをされていたのか、ご意見をお願い致します。

今出 : プロセス安全を配慮する工程ではアンサーを取る設計を採用すべきですね。

牛山 : スリーマイル島の事故では、本来FOにすべきバルブをFCにしまって問題を起こしたのですが、それに対  
する改善の一つとして、リミットスイッチを付けてバルブが開か閉かを検知する手法を取り入れるように指示し  
たとのことです。重要バルブに対してはリミットスイッチを使って状態をフィードバックさせる必要があると考え  
ます。

山本 : 当社では、自動ボール弁で、シリンダーを駆動させてバルブを開閉するのですが、アンサーバックがシリンダ  
ー側に付いていて、駆動側の軸とバルブ側の軸の接続部が外れてしまうとアンサーバックが正常に働かない  
ということがありました。したがって、きちんと目で見て確認しておかないと、アンサーバックがあるからといっ  
て過信してしまうと大きなトラブルになると考えます。

金原 : それはどなたが管理すべきことでしょうか。

山本 : 保全の方が定期的にチェックしています。過去に自動弁を屋根の上に取り付けたものだからチェックが行き  
届かず、駆動側の軸とバルブ側の軸の接続部が腐食して、DCSで開閉操作をしても実際は開閉しないこと  
がありました。重要なバルブは監視しやすい場所に設置するようにしないといけないと思います。

澤 : アナログ信号やアナログでコントロールするようなものに対して、DCSにフィードバックさせることはなかなか  
難しいと思います。私のいた会社ではオン・オフバルブに対してソレノイドを使って開閉できるようにし、開閉  
はポジショナーを取り付けて確認できるようにしていました。その信号をDCSに送って開閉確認および開閉  
操作ができるようにしておりました。

春山 : お二人が言われた現場での確認が極めて重要であることにつきましては、全く同感です。例として、大型石  
化プラントの定期修理において重要バルブの取り外し解放点検・清掃が多数ある場合、復旧時点で設備・計  
装担当者が電源系統や計装用空気配管の位置を取り違えてしまい、緊急時に誤作動したトラブルを過去に  
経験しています。特に定期修理などの作業が錯綜する場合に、このようなミスを防ぐために復旧時には設  
備担当者、運転担当者立会いの下で一つ一つ疑似信号を入れて作動を確認するといった、手間はかかります  
ますが確実な確認が重要です。

司会 : 先ほど竹内さんの2つ目のご指摘として、FOとして設計した故に異常時にはバルブは開となるものだという  
先入観があって様々な問題発生の可能性が起きると仰いましたが、皆さんの体験やご意見がありましたらお  
願います。

澤 : もう少し突き詰めて考えた時に、FOだFCだといっても、空気圧がないから開閉しないのか、あるいは電氣的  
なトラブルで開閉しないのかを理解しておかないといけないと思います。

竹内 : 基本的にP&IDを見れば、エア駆動なら圧空に繋がっており、また電気駆動なら破線で記載されており、さ  
らにFOやFCと記載されているので、分かると思います。ただ、異常時に開いてくれないと困るバルブがFO  
になっているからと安心しきってしまうと、この事例の様に思いもよらない故障が発生して閉になることもあ  
ることに配慮が必要ですね。プラントを設計するにあたって、どれをFO、どれをFCにすべきというのはしっかり  
と考えていましたが、その先、別のトラブルが発生してFOが閉になるという可能性まで設計時点では考えて  
いなかったです。

飯濱 : 私が工場長をやっていた 7-8 年前の話ですが、3年半の間に2回もユーティリティが喪失するというトラブル  
がありました。1回目は非常に運が良く、工場の中で最も優秀と言われているシフトリーダーがいる時に全ユ  
ーティリティがダウンする事故が発生しました。ユーティリティがダウンした時には反応器からプロセス液をブ  
ローダウンタンクに落とすのですが、このタンクに通じるバルブがエア駆動だったのです。電源が落ちただ  
けであれば、スムーズにブローダウンタンクに落とせる訳ですが、その時は電源だけでなく、エアも蒸気も  
すべてダウンしたために、工場が真っ暗になってしまいました。普通ならブローダウンができないのですが、  
その優秀なシフトリーダーはその状況ではブローダウンできないことに気が付いて、真っ暗な中、手探りでブ  
ローダウンタンクに通じるバルブまで行って、幸いなことに万が一に備えてハンドル回しで開けることが出来

る構造だったので開けることができ、無事落液出来ました。事故というものは起きるものなのですが、そのようなことを理解できておれば、的確に対応できると考えます。

木村 : 教えていただきたいのですが、今のような能力というのは、教育で言えばFOやFCということ念頭に置いてハザードなどを検討するということがされているのでしょうか。

飯濱 : デュポンでは、プロセスを設計する段階からプロセスハザード分析をやるのが義務付けられており、技術職だけでなく、現場の職長クラスや機械、計装などの保全のメンバーを加えた十数人が、何十時間もかけて各設備の課題を分析するという活動を行っていました。しかも一旦出来上がってスタートしたプロセスでも、3年に一度サイクリックにハザード分析することになっていました。繰り返し、繰り返しやっていたので、その参加者は、どこにどのようなキーポイントがあり、どこに弱点があるのかが良く分かるようになっていたと思います。ただ、全ユーティリティ喪失のような事例までは検討対象ではなかったもので、その時のトラブル処置は大変立派であったと思います。

司会 : 先ほど2回のトラブルを経験したと仰いましたが、もう一つの方はいかがでしょうか。

飯濱 : 1回目に起きた事故の3年後に同じような事故が起きました。実は、1回目の事故が起きた翌年の定修期間中に、製造課長の提案で、各4班から2名ずつ選出し、その優秀なシフトリーダーの指導の下、全ユーティリティ喪失の緊急処置訓練をやったのです。そのお蔭で3年後は別の班で事故が起きたのですが、上手く切り抜けることができました。製造課長と「本当にあの訓練はやっておいてよかったね、もう二度と起きることはないと思わずにきちんと訓練をやっておくものだね」と話し合ったことを覚えています。

司会 : 大変すばらしい事例を紹介いただきました。どのような土台があったからでしょうか。

飯濱 : これはプロセスハザード分析を繰り返しやった成果だと思いました。

金原 : それと共に中間層が非常にしっかりしていて、上手く処置ができて被害が最小限で済んで良かった、というだけで終わらせることなく、トラブル対応をきちっと傳承していくことの必要性を考え、実行されたことも素晴らしいと考えます、それらは現在も継続して実行されているのですか。

飯濱 : プロセスハザード分析は制度として継続されていますし、訓練も継続していると考えます。

司会 : 仕事が増えるので大変ですが、今言われたような活動を継続することは本当に大切なことと考えます。プロセスの本質を知り、異常時の実地訓練をすることは、被害を最小限に抑えることから、回りまわって、余計な仕事が削減できるという成果もあると思います、大変参考になる事例を紹介いただきました。有難うございます。それでは次にバックアップという視点で何かご意見がありますか。

竹内 : 以前はIA(計装用空気)が落ちた時に、バックアップとして自動的に窒素が流れるというシステムがありました。エアーの代わりに窒素が流れるというのはある意味非常に危険なことなので、お薦めできるかどうか疑問なところはありますが、IAが落ちるとクリティカルな状態になるプロセスには考えてみる必要があるかもしれません。

飯濱 : 今、竹内さんが言われた通りで、先ほど紹介した事例で言いますと、反応器周りのエアー駆動バルブにはバックアップとして窒素を使っていました。ところがブローダウンタンクに落とし込むバルブにはバックアップされていなかったのです。優秀なシフトリーダーの活躍がなければ大きなトラブルになっていた可能性があります。確かにバックアップに窒素を使うというのは両刃の剣で、酸欠の危険性もあることから反応器室には酸素濃度計などを設置しておく必要がありますね。

牛山 : IAにホルダーがあると、全ユーティリティが喪失するような時でも、ある一定の時間は持ちます。それで緊急時は、予め決めておいた必要な設備にだけは供給するようにして、その他は遮断する。そのようにして対応していました。

澤 : 今のお話しと似たような話ですが、私がいた工場では、4000klのPO(酸化プロピレン)のタンクが3つありました。POは特殊引火物で着火すると大変なことになるので、万が一火災が起きた時に消火できるようにウォーターカーテンが自動で作動するようにしていました。火災が起きると、大変大きなFOのバルブが一挙に空気を放出して大量の消火水が供給される仕組みです。それだけでは、全ユーティリティが喪失してIAが停止した時には、火災でもないのにこのバルブがFOであるために開いてしまって大量の水が流れてしまいます。もしその後火災が発生した場合、その時に必要な水が無くなってしまいます。そこで、一回分の計装用空気を入れるホルダーを設置して、IAが落ちてFOバルブが開かない様に空気圧を保持しておいたのです。

司会 :次に、プロセス設計上の問題についてお話ししたいと考えます。

三平 :PVCは品質確保のために大型の反応器を使ったバッチ式の大量生産を行っていて、昇温・冷却のフローはPSBの掲示図に似ています。バッチ式生産では、反応以外の原料仕込み、昇温、残原料回収、製品抜き出し、機内掃除、待機など製品の出来ない時間を極力短縮する必要があります。PVCでは大量の温水を循環して加熱し、目標温度に達したら大量の冷却水を注入します。図を見て疑問に思ったのは、冷却水の流れがダウンフローになっていることです。本来はこの循環系にポンプがあり、冷却水は下から入れて上から抜き出します。なぜなら水が空気を巻き込んできて、ダウンフローの場合はジャケットの上部に空気だまりができて、そこは伝熱に寄与しなくなるからです。また図中にあるスチーム加熱は冷却水に切り替えた時に、凝縮によってウォーターハンマーを起こします。それを避けるためにPVCでは温水加熱にしています。PVCでは工業用水を直接使った冷却をしていて、当然FOのバルブを使っていますが、私はトラブルの経験がありませんし、他社情報でも聞いたことがありません。

竹内 :図の関係で冷却水の入出が逆になっているのかもしれませんが、いずれにしても循環ポンプがあり、NPSHを確保するためにヘッドを持たせた設計になっていると思います。

司会 :ダウンフローについては、ジャケットのパスの中でガスロックを起こす可能性もあり、私も望ましくはないと思います。それでは次にバイパス弁についてお話を伺いたいと思います。

三平 :入社したての頃は、PVC反応器の冷却水制御弁にバイパス弁が付いていましたが、ほとんど使ったことがなかったこともあって、バイパス弁に対する意識は低かったです。ある時、反応器の温度調節計が故障してバイパス弁で反応温度の維持を試みたことがあります。上手いはずなのに結局冷却・反応停止としてそのバッチは救えませんでした。その後、私が設計したプラントではこのバイパス弁を付けませんでした。今はオペレーターの要員数を減らしていることから、現場操作の弁を極力減らして、本来の自動弁の信頼性を上げる方向になっていると考えます。

金原 :緊急停止用の弁が機械式バルブであるというのは非常に違和感がありますね。温度を検知してばね式のバルブなどで中央操作室から操作できるようにするのが望ましいと考えますが、いかがでしょうか。

牛山 :緊急冷却用のバイパスバルブというのであれば、自動であれ手動であれ遠隔で作動できるようにすべきであると考えます。あと先ほど、どなたかが言われた通り、緊急用の冷却水は反応器のジャケットに直接入れる方が冷却効果が大きいので、そうすべきと考えます。フローを見て感じたのは、DCSの画面にはフローやコントロール弁が記載されていますが、マニュアル弁は記載されるものなのでしょうか。記載されていない場合、オペレーターの頭の中に、マニュアル弁の記憶がなくなり、DCS操作時にそのバルブ思い浮かばないまま操作してしまう、あるいは処置してしまうことがあるのではないかと思います。

竹内 :このフローを見ると、このバイパスバルブは本当に緊急用であったのか、という疑問を感じます。通常、コントロールバルブにはバイパスを付けますよね。このバルブも単にメンテの時に使うバルブであって、後から見ると、このバルブを開ければよかったということで、後付けでエマージェンシーと言っているような気がします。

金原 :DCSでも重要なバイパス弁は記載があったと記憶しています。ベテランになるとバイパス弁なども現地のイメージで頭に入れていて考えます。また、もし竹内さんが言われる通りであれば、緊急時に対応できるバルブがないということになりますね。やはり緊急用のバルブとして位置づけられ、また機械バルブということから、緊急処置基準書などに、高温でHHIになったら、現地に行ってこのバルブを開けなさいということが決められていたのではないのでしょうか。

竹内 :ここはコントロールバルブがFOだから、バイパスは機械バルブで大丈夫、という意識でプロセスを設計してしまったのではないかと思います。

司会 :先ほどユーティリティ喪失で貴重な体験をされたお話がありましたが、その他にご経験があればご紹介下さい。

三平 :PVCプラントは停電すると大変で、反応器の攪拌機が全部止まり、特に反応中のものは冷却が効かずに暴走する反応器が出て来ます。今はポイズンを投入して短時間で反応を停止させています。昔オペレーターの頃は、暴走する前に器内のモノマーを大気に放出してその潜熱で冷やしていました。攪拌機用の電源の信頼

性を上げるように工夫もしていたので、私はそれほど多くの経験はありません。

司会 : 停電に関するご経験を紹介いただき有難うございます。最近、大きな停電は減ったと思いますが、瞬時電圧降下に関するご経験はありませんか。

三平 : バックアップ電源があれば、回転機器は別にして短時間であれば計装関係は生きており、PVC の場合はプラントを一時停止する方向になりますが、何とか安全な方向に制御できますね。反応器の攪拌は出来るだけ早く、注意深く再起動します。

澤 : 私がいたポリエーテルポリオールで、反応器に付いていた大きな空冷用熱交に供給するポンプがありました。ある時瞬時電圧降下が発生してポンプが止まりました。担当する電気主任技術者が怖がって瞬時電圧降下が起きてもすぐに起動させないというシステムにしていました。実際瞬時電圧降下が発生した時、その担当者が居なかった為に1時間以上電気が止まったということがあり、大きな損害が出たことがありました。それ以来、瞬時電圧降下が発生してもすぐに復帰させることに致しました。

金原 : 私は瞬時停電でFO、FCのバルブが正常に作動しなかったという経験があるので、瞬時停電の怖さを身を持って体験しています。先ほどから話が出ているように、FOだからFCだからという過信は禁物であると考えます。

司会 : それでは次に、バックアップとして設置したものが期待通りに働かなかったという経験はございますか。

飯濱 : 先ほどの全ユーティリティが喪失事故の1回目ですが、工場には停電時にバックアップとしてディーゼル発電機が備えてあったのですが、その時はそのディーゼル発電機が稼働しなかったのです。そこで残っていた僅かなバッテリーで15分位かけてなんとか計装系を活かしてシャットダウン操作を行いました。後で何故そのバックアップ用ディーゼル発電機が起動しなかったかを調査したところ、定修の時のメンテナンスでチェックをした後、マイクロスイッチを点検モードから運転モードに戻すはずのところ、一つだけ戻し忘れがありました。それが非常用バックアップ発電機だったのです。点検用紙にはチェックを入れていたのですが、それがシートの欄外にあり正規のチェックになっていなかった、即ちチェック方法が甘かった、ということが分かりました。定修中は各種機器の点検をして、点検後各々を運転モードに戻すのですが、その動作を確実にやる必要があります。

司会 : 有難うございます。今回の報告事例に関係ないことも含めて何か報告事項がありましたらお願いします。

竹内 : 最近、インドでLGが漏洩事故を起こしています。まだ詳しいことは分からないのですが、どうも冷却システムに不具合が生じて冷却ができず、スチレンが漏洩したということだそうです。この例からも、冷却システムが故障すると大変恐いなということを改めて感じました。

司会 : 本日は制御システムが不良になった時の対応を基に幅広いご意見や体験談を頂戴いたしました。長い時間、有難うございました。

キーワード: FO(フェールオープン)、FC(フェールクローズ)、ポジショナー、バイパス弁、冷却システム、アンサー、IA(計装用空気)、ユーティリティ喪失、プロセスハザード分析、バックアップ、ダウンフロー

#### 【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

以上