

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2019年11月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の <b>安全談話室</b>(No.161) <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:今出善久)</p>
---	---	--

今月のテーマ:あのボタンを押すとどうなる?

(PSB 翻訳担当:澁谷 徹)

司会: 今月号は緊急停止を含む安全システムがどう作動するかを十分理解していないと間違った対応を取り、事故につながる可能性がある、という問題提起です。この記事の内容についてご意見やご感想がありましたらお聞かせください。

金原: 化学プラントにとって最も大切であると言っても良い安全システムに関するのですが、本文に書いてある通りだと思います。的確に設計し、それを運転員に設計思想も含めて教育し、訓練して身に付かせること、これが大切です。ただ、どうしても人間の考えることなので、設計の上で抜けや想定外のことが起きます。その為にも、運転員がプラントの原理原則まで良く習得しておくことが必要で、その基本がなければ教育しても理解されませんし、システムが想定外の動きをした時にお手上げになる可能性があります。一方で、本文にあるように勝手にいいように考えたり、自分流のやり方をしてしまうことにもなりかねない怖さもあります。

司会: 安全システムがうまく作動しなかったあるいは思いもかけないときに働いたなどの事例やご経験がありましたらお願いします。

飯濱: 定修が終わって運転再開をしてしばらくしたら、安全インターロックが起動して自動的にプロセスがシャットダウンしたことがありました。通常いろんなバルブを計装用圧縮空気で制御しているのですが、圧縮空気ラインが故障して、空気が漏れて圧力が抜けたとき、特に重要ないくつかの計装バルブに対してはバックアップとして窒素ポンプを持っていて自動的に窒素ガスを送る仕組みになっていました。ところが窒素ラインの圧力も運転再開と同時に抜け始めたようで、ある時点で窒素ラインの圧力低下による安全インターロックが働いてプロセスが停止しました。ライフゼム(空気呼吸器)を装着した運転員がラインを順番に点検し、一晩かかってやっと漏れ箇所を探し当てました。原因はフランジのボルト・ナットの締め忘れによるものでした。定修後の気密テストが手順になかったために起きたことで、運転前の点検基準をみんなで見直してもらいました。

金原: 最も恐いのが停電です。それも瞬時電圧低下(以下、瞬低)の場合、作動すべきシステムが作動することもあれば、作動しないことがあります。例えば、精密制御を行うために、コントロールバルブに計算機能を付けることがあります。それが瞬低時には変な作動をして開閉が想定通りいかなかったことがあります。また、ファーネスがメーカー所掌であるために、ある意味システムの考え方の違いがあって、瞬低が起きても作動し続けていた為、DCS から停止させようとしても停止できないことがありました。運転員は停止操作をしたので停止していると思っていましたが、システムの違いで作動し続け、燃料供給が止まらず、燃焼し続けたことがありました。温度上昇の異常に気づき、慌てて現場で燃料供給バルブを停止させました。回転機器についても、重要なポンプが停止してしまいました。小型 UPS を設置しました。回転機器の瞬停許容時間についても議論し、1秒を最適長さとしたことがあります。1秒という時間ですが、皆さんのところではいかがなされているか、お聞きしたいですね。

澁谷: 今のお話についての質問ですが、ファーネスはメーカー所掌なのですり合わせがされていなかったということでしょうか。

金原: 基本的にシステムの一般的な部分については、当然メーカーと議論し打合せもされており、取合いもちゃんとしていたのですが、瞬低に関しては想定外ということから議論が不十分になっていました。メーカー側は瞬低時には動かすという考え方であるのに対して、我々は停止すると思い込んでいたのでこのような齟齬が起きてしまいました。どういう異常を想定するかについてお互いよく考えて、システムの設計をしないといけないと思います。

澁谷: 確かにすべての異常を想定して落ちがないようにするのは難しいことですね。

金原: 経験してきたことを網羅したチェックシートやチェックリストなどを活用して、落ちがないようにすることも大事なことだと考えます。

牛山: 瞬低に対して私のところでは、計装系と動力系では考え方が違って、計装系は基本的にはバックアップ

電源を持っていて瞬低の場合には生かすというのが原則でした。動力系は、動作をある程度そろえないといけないと考えており、遅延リレーの設定時間はおおむね 0.5 秒にしていました。ただ、大きな慣性力のあ  
るものは 1 秒のものもあったかもしれません。

三平： 昔は多くの計器が付いたパネルを運転員が分担していたので、計装電源がバックアップされていても停電発生時の対応が大変でした。今は停電時に DCS が停電対応画面に切り替わり、安全に停止するために必要な計器だけが表示され、それらを少ないオペレーターで操作するように設計しています。

金原： 瞬低時に戻る計器と戻らない計器があって、それがこわいですね。

牛山： 確かに昔は UPS の容量に限界があって重要計器だけをバックアップしていましたので落ちる計器があるわけ  
です。それだと後の対応が大変になります。最近は基本的にすべての計器は UPS でバックアップし、時間を  
限定するようにしていました。

竹内： 今の DCS は UPS でバックアップされているので殆ど落ちないですね。ただ、停電から復帰したときに機器  
が一斉に立ち上がるとモーター類に起動時電流がドット流れて供給能力を超えてしまうので、電源を切って  
手順を追って順次起動する必要があります。これは DCS 以前から保持回路で実施されていましたね。

金原： 安全システムといっても、計装システムだけでなくプロセス設計の考え方も大切です。ある工場で、様々な薬  
液を使って洗浄をするプロセスがありました。当然、各種の廃液が出てきます。工場を新設する時に設計思想  
が正しく伝授されなかった為に不具合が生じ、混合危険による発煙がありました。メインプロセスはしかりと防  
災対策が取られるのですが、往々にして廃液処理設備は目が行き届かず、安易な設計をしてしまいま  
す。でも本当に怖いのは廃液です。しっかりと、処理システムを構築する必要があります。

春山： ここでいう安全システムはユーティリティ系でのトラブルとプロセスそのもので起きる異常反応で働くことが  
あります。安全システムというどうしてもシーケンスの方に目が行きがちなのですがハード面もあります。安全  
装置が働いたときに計器指示値だけではなく、重要な計器を現場で確認する必要があります。両面での安全  
チェックを必ずやらないといけません。ただ、今は人員が少なくなっており確認の必要な遮断弁が多数ある  
場合、少人数で短時間に確認することが難しくなっています。現場計器類も IT 等の活用により安全に向  
けた監視を強化し、現場をより早く、正しく確認できる仕組みが重要ではないかと思います。

司会： 人員が少なくなってきており、緊急時の対応の難しさについてのお話が出ておりますが、その辺のご経験な  
どありましたらお願いします。

金原： 全体が停止したときに大事なことは、それに対してどうフォローしていくかということだと思います。ただ運  
転員やそこに居るキーマンの技量によってずいぶん違ってきます。こういうことが起きたら次にここをチェッ  
クしてここに問題がないかをきちっと述べるができる人材がいることが大事だと思います。そうしないと 2  
次災害、3 次災害につながるかもしれません。人員が少なくなってきている分、運転員の高い質が要求され  
てきていると思います。事例としてはやはり、岩国の反応器爆発事故ですね。用役停止によって反応器の安  
全システムが作動して止まったのですが、温度の下がりが悪いということから、インターロックを切ってしまった  
為に、攪拌用の窒素が停止し、自然対流によって上部温度が上がって反応が進行してしまったものです。  
判断ミスもありますが、変更管理後の教育と安易にインターロックを切る風土改善が課題ですね。

山岡： この事故ではインターロックを切ったのが直接の原因ですが、注意しなければいけないことは前にうまくい  
ったから今回もうまくいくと思うことです。関係者に直接聞いた話ですが、前に 4 回このインターロックを切っ  
てそれがすべて成功したそうです。しかし過去の 4 回は反応が始まってからあまり時間が経っていなかった  
けれども、今回は 90% 以上反応が終わって有機過酸化物がフルにできていたという大きな違いがあり、温度  
上昇とともに過酸化物が一気に分解して大爆発に至りました。前回までうまくいったからといって、今回との  
違いを確かめないと、こういう大事故になるという教訓です。

金原： インターロックを切るということが常態化していたことに問題があるように思います。

春山： まさにそれは成功体験で、班長が持っている様な情報はなかなか共有できないものです。トラブルは共有  
されるのですが、成功しているからそれで収まってしまいます。情報が上がってこないのが失敗したことが  
ありました。10 年前と今では全然運転条件が違って、シビアリティをかなり上げてギリギリに近いところで  
運転されています。インターロック条件までの余裕がほとんどない状態でした。

金原： 条件を変えていく過程では、面倒でも変更管理をしっかりやっていくことが大事だと思います。経済的な理由  
だけで条件が変更されていくと失う損失も大きなものになるかもしれません。

春山： もうひとつ失敗したのが改善提案です。運転員の提案内容が悪いわけではなかったのですが、条件を少し変えるような提案でしたが、結果的にオーバーフローさせてしまったことがあります。改善提案はできるだけ認めてあげたい気持ちがあり、設計思想や安全システムの検討が抜けてしまっていました。現場の些細なことであっても変更管理の重要性を痛感しています。安全面を含めた確認が必ずいるということです。これが意外と抜けることがあります。

金原： 改善提案は推奨されていて各工場競ってやっているのですが、小さな改善でも意外と怖いことがあります。海外の工場で配管をちょっと変更したことによってオーバーフローしてしまったことがあります。どのようにとこまで変更管理に取り入れるかは難しいと思いました。

司会： 運転員の技量が重要というお話がありましたが、運転員の教育訓練をどのようにされているか、また望ましいかについてありましたらお願いします。

春山： プロセスそのものはかなり複雑化していますが、重要なのは原理原則を理解させることに時間をかけています。プラントによってプロセスは違っています。簡単にいうと物が流れていることから配管内の圧力差を感じさせるということです。それがわかると安全システムが作動したときに何が悪いかということを考えるようになります。難しいことを言ってもだめなので、基本動作に関する教育ファイルというものを作り、そこに原理原則を記載して教育をしています。

司会： その教育はどのような頻度やタイミングでされていますか。

春山： まず入社時と、3年目、5年目で段階的に実施しています。教えるのはスタッフではなく10年選手です。教えるためには自身で教材を読み直すので再確認にもなります。

金原： 原理原則を理解するために知っておかなければならないのは、化学工学と数学です。工業高校出身者でも不足していると感じられたのですが、人数の限られた昨今、集合教育は不可能なので、通信教育を受講してもらいました。月に1度3交代から外し、返送されるテスト結果のフォローをやりました。また、機械や電気の教育もやって貰いました。それを続けた結果、皆さんのベースができ、プラントの原理原則がよく理解できるようになったと思います。

塩谷： 定修の最終段階ですべてのインターロックシステムの作動テストを運転員主体で実施しています。シーケンスフローチャートをベースにその作動確認を行い、現場にて遮断弁等の実際の作動状況も確認します。インターロックシステムの動きや現場機器の位置を確認できて格段にその理解度が深まっています。

金原： 製造部長の時代、異常処置基準書の最後に「この処置を放置したらどうなるか」という項目を入れ、優先順位を決めて重要な基準書から記入させるようにしました。単に操作手順を覚えるだけでなく、放っておくとどうなるかまで知らないと、真剣に考えないと思いますし、いざという時に動作ができないと思います。

山岡： エチレンプラントの教育で有効だったのはトレーニングシミュレータでした。OJTの一環として座学で学んだ設計思想や運転操作、制御システム、安全システムをシミュレータ上で実際に操作させる教育をしました。また、指導員(運転班長)がシミュレータ上でわざとトラブルを起こしたり安全システムを不調にして、それを収束する訓練も行い、これらが活かされて実際のトラブルが減少しました。

三平： 運転員の教育にブラザー制を採用しています。新人をベテランと組ませて運転に必要な知識や実際的な操作を徹底して覚えさせます。安全システムは特にしっかり教育します。習得したレベルを確認するために項目を細かく設定し、新人が必要なレベルに達しているかベテラン運転員と作業長が判定します。すべての項目でOKが出れば独り立ちしますが、それまで1年はかかります。昔と比べると操作室の統合により運転員の守備範囲が広がっていて、教育期間は長くなっています。

金原： 昔でしたら大卒が教育したり、日勤にして勉強することもできたのですが、今はそうしたことがなかなかできなくなっています。技量については点数化することが必要だと思います。資格や年数であるべき技量を点数化しておき、主任なりが点数を付けて本人に通知し、ほめたり激励したりしてあるべきレベルに到達させることが必要だと思います。最低3年は必要だったと思います。それから次にシステムなどの教育をして一人前に仕上げていくことが大事です。海外で新しく建設したプラントのスタートをする前に、想定トラブルに対してどのようにシステムが作動するかをディスカッションさせました。そのプラントを運転した経験のない人ばかりでしたが、事前にプラントのことを良く勉強しており、的確で良い話し合いをしていました。やはり、プラントのことを良く理解していることが、システム理解の基本であると思います。実際にスタートした後も、経験年数が少ない割には、異常時の対応は的確でした。

竹内： ひとつ気になることは、プラントの中で人が減っていることです。エンジニアを皆本社に集めて、あちこちのプラントの面倒を見させていて現場にはエンジニアがひとりもないプラントもあるそうです。これではトラブルがあったとき対応できる人がいるのか心配です。経験者がどんどん退職していき、経験のない人が入ってくる。そうすると現場の知識レベルが低下して行きます。エンジニアを中央に集めた時には現場に優秀な人たちが残っていたかもしれないですが、状況が変化している中でこの国のプラントは大丈夫かどうか気になります。今回のビーコンは、現場の人が、安全装置がどう働くのか、制御装置がどう動くのかを理解できているのかを確かめなさい、と言っており、非常に価値のある内容だと思います。もし、現場が正しく理解していないとすると、これは大問題で、現場に誰が教えに行けるかまで、考えなければならないと思います。

山岡： 昭和 40～50 年代、かなり高い技術を習得した工業高校生が入ってきて、すぐに運転現場の戦力になりましたが、その後は普通高校生が多くなり入社後の教育が重要でした。しかし、講師になる人材が減ったのと教育に割ける時間も限られるようになったため新人教育に苦労しました。先程のベタトレーニングシミュレータの活用や高圧ガス製造責任者資格取得のための勉強が運転者教育の主役でした。

齋藤： 私が国内で最後に勤務したのは日本海(若狭湾)に面した小さなファインケミカル工場で、従業員の 8 割以上が普通高校出身者でした。はじめは当然みんな素人ですが、半年ぐらいやっているとできる人間が必ず一人や二人はいることがわかります。小さな会社では彼(女)らを引っ張りあげ経験を積ませてやるというのが多分一番早いと思います。小さな会社ですから教育システムはしっかりしてはいないわけです。でも明らかに優秀な人はいるものです。機転が利くというか非常に勤めがいいのがあります。現場をよく知った技術者の下でそういう人をしっかり育てていけば現場はそうは悪くならないのではと楽観的に考えています。ただ、大会社の大きな工場で何か起こったら大変なことになる可能性のあるところではそうは行かないのかもしれませんが。

竹内： ある工場で DCS をリプレースした時に、前の DCS から新しい DCS に換えるのにプログラムをポンと移すことができないので、前と同じことを新しい DCS に再構築したことがあります。その時にいろいろなパラメーターを直すのですが、それにかかわるチャンスを得た運転員は非常にラッキーだったと言えます。

飯濱： デュポンでは 10 年ほど前から 4 年前にかけて全世界でアラームの全面見直しのプロジェクトをやりました。工場のアラームの数が多くなりすぎるとオオカミ少年状態になり、アラームを当てにしなくなってしまったり、スタートアップやシャットダウンの時にはアラームが鳴りっぱなし状態になります。そういう状態は運転員にとってもプロセス全体の安定性についても有害なのでアラームを整理してコントロールしようとしていました。工場長をしていたとき、小さい工場にしてはアラームが非常に多く 2000 近くありました。アラームマネジメントチームが全部のアラームに対してなぜ、何のために設定されているのか、プロセスハザード分析(PHA)のどこに該当するのかを地道に調査しました。結局 3 分の 1 くらいのアラームは 27 年間使ったことがなかったことやいろんなことがわかり、アラームの再構成ができました。チームに参加していた技術部長、保安課長、製造課長それから現場の職長、若手を代表している班長達は、自分の工場はこうやって守られているのだということがわかりすごく勉強になったと言っていました。また、地道な努力してくれたチームメンバーに少しばかりの報奨金を出すことにしました。手間暇はかかったがよい遺産ができたと思っています。

金原： アラームは鳴り続けると麻痺して、何が危険なのかわからなくなります。件数は減らさないとはいけません。工場長の時、1 時間に 1000 件くらい鳴っていた部署がありました。同じように管理範囲の見直しなどで潰したのですが 300 件くらいにまでしかなりませんでした。音の識別やプリントアウトの字の色を変えるなどしましたが、アラームを減らすのはなかなか難しいと感じました。

今出： DCS を使うようになってから、アラームは I/O の点数がそれ以上にいくらかでも設定できるようになり、実際たくさん設定されていると思います。海外ではアラームマネジメントのガイドラインができており、アラームの管理方針、分析、監査などが体系的に取り組まれているのですが、国内ではまだあまり採用されていないようです。

竹内： 最後の最後の逃げろというアラームはちゃんとして欲しいですね。

春山： エチレンプラントで全系シャットダウンしたとき、最後は退避というケースがあります。退避場所は決まっているのでそこまで 5 分かかるとすると、その 5 分を稼ぐためにそれぞれ運転の担当者が最後にやらなければならないことが決められています。重要バルブ閉を確認し退避することになっています。

竹内： こういう話をしていると結局 PSM 全体の話になってしまいますね。人員の話にしても人の変更管理の項目に

なります。

春山： 失敗事例なのですが、設計ベースの物性が変わっていたということがありました。20年まえと今では物性推算の精度が全然違います。設計時には液相であった流れが2層流になっていました。アラームのポイントが違っており、設計ベースが正しいかどうかは物性まで考慮しないと危険なケースもあります。

司会： その物性自体が途中で変わったということでしょうか。

春山： 測定精度が上がってきたので条件が変わってしまったということです。

竹内： そういう意味では PHA を5年毎にレビューすることが PSM で要求されています。そのときにはプロセス安全情報 (PSI) をもう一度レビューしてそこからやり直さないと正しいレビューはできません。

金原： 先ほどよくわからなかったのですが、物性の計算精度が上がったからといって物性が変わるわけではなくて、温度や圧力が変わったからなのではないのでしょうか。

春山： それもありますし、2層流系のボイル率など昔は手入力していたのですが計算の前提が違ってきています。

竹内： 昔は安全率に余裕が十分あったけれど、だんだん厳しい運転条件にしていくと安全率の余裕がなくなってきて、厳密に測定しなければならなくなったということですね。

牛山： 先ほどの PHA を5年おきにやるということは海外では義務化されているのでしょうか。日本では定着していないように思いますが。

竹内： OSHA の PSM では5年以内にレビューするかが決められています。日本では PSM の要求レベルが高く、取り入れているところは少ないです。米国の場合は中小企業でも法的に PSM に該当するところがあります。そのような企業が「PSM はとてもやりきれません」と言うと、OSHA が無料で人を派遣して、やり方を指導する制度があります。日本にはそういうサービスはありません。

三平： 今月号の表題は「あのボタンを押すとどうなる？」で、緊急停止用の押しボタンを想起する画像も載せられています。巻き込まれ、挟まれ等の労働災害発生時に、このような手動のボタンやスイッチで単機や設備を緊急停止するようにしているケースは多くあります。大規模で複雑なプロセスプラントでは、巨大地震の発生や停電などで自動的に緊急停止することはあっても、一つのボタンで人為的にプラント全体を停止させるようにはしていません。本談話室でも最初から自動的なインターロックの話が展開されています。化学プラントの緊急停止ボタンに類するものとして、PVC など大型のバッチ式反応器で採用しているものですが、停電による攪拌停止や異常反応に対する反応停止剤(ポイズン)の投入装置があります。投入すると製品は OFF 品となって後始末が大変なので、人為的な操作にしています。うっかりして押しついたりしないようにカバーを掛けて、誤操作防止に気を付けていました。

司会： 今回はプラントの安全を確保するために安全システムがどのように働くかについて理解することの重要性を中心に皆様から多くの経験や知見をご披露いただき大いに参考になったと思います。特に人員が少なくなっていく中、運転員の教育や変更管理は重要であるが実施の難しさが増しており、ご苦労されていることがよくわかりました。本日は熱心な討議をしていただきありがとうございました。

キーワード： 安全システム、瞬時電圧低下(瞬低)、UPS、インターロック、成功体験、変更管理、教育、PHA(プロセスハザード分析)、PSM(プロセス安全マネジメント)、アラーム

#### 【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、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