

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2021年10月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の <b>安全談話室</b>(No.184) <a href="http://sce-net.jp/main/group/anzen/">http://sce-net.jp/main/group/anzen/</a></p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:松井悦郎)</p>
---	---	--

安全装置が機能しているか、確認方法は？

(PSB 翻訳担当:今出善久)

- 司会 : 今回の事事故例では、2名の死者が出ています。このような重大事故は、多くの場合、人為的なミス・装置の不具合等が重なって起こる場合が多い様です。今回の事例を議論することにより、将来の事故が防げるように対応したいものです。皆様のご意見をお伺い致します。
- 松井 : 私自身の経験では、水攻法用の薬剤(界面活性剤・流動化剤)の開発を行っておりましたので、そのプロセス・仕組みは理解しておりますが、現場での経験は有りません。水攻法は、経済性の低下したあるいは枯渇に近い油田からの生産を増加させる目的で適用されています。油層に水(スチーム・薬剤等)を圧入することで、高粘度の残存原油を流動化させ生産レートを向上させ、採取率を向上させる方法をいいます。つまり方法では、一次採取により大部分の油が産出されたあと、油層内の孔隙中に残留している油を水と薬剤によって押し出すことです。回収された石油と水・薬剤の混合物は分離されて、石油は製品とし、水は地下の空隙へ返送します。
- 三平 : 某社のプラントを見学するために、昔テキサス州の油田地帯を自動車で移動した経験が有ります。高速道路の両側で石油の汲み上げ装置(ポンプジャック)を多数目撃しました。記事にあるタンクヤードや処理施設は見えないので、それらはいくつかの汲み上げ装置に対して一つが設置されていると想像されます。この事故では杜撰な操業管理に驚かされました。アラームシステムの不備が放置されたままだったことから、日頃は H2S の大きな漏洩はほとんどなく、オペレータも危機感を持っていなかったのだと思います。
- 金原 : 参考情報に基づき最終報告書を読みました。反面教師の例として極端な事例を出していますが、よくまあこんなに杜撰な例が毎月あるものだと驚きます。しかも最近(2019年)の事例であり、安全管理体制はなかなか進歩しないのだと思います。H2S の監視体制ができていないことをはじめとして、安全管理体制のレベルが低いと思います。本文の図3にある、検知器#7,8がある四角いボックスがポンプ室・操作室で、#7付近にあるポンプから水が漏れて事故が起きたのです。ここには図の下側にシャッターが2つあり、そこが約60%開いていて、その反対側に排気ファンがあるのですが、それが稼働していなかったようです。この排気ファンが稼働しておれば、放出された H2S が希釈されて事故に繋がらなかった可能性が大きいと考えます。
- 牛山 : この会社ではガス検知器について適正な検査や校正をした記録がなかったようで、このような杜撰な管理によって安全装置が作動できないという事態を生み出したのでしょうか。
- 山本 : 検知器からの信号は全てアラーム盤で受信して、警告を発するようになっていたとありますが、これではアラーム盤が故障したら、全てのアラームが機能しないですね。アラームへの対応行動がとれることが前提ですが、2人が亡くなった一番危険なポンプ室内には、もう一つの別系統で検知器とアラームシステムを設置すべきですね。また、参考文献を読むと、この施設のアラームシステムは、警告灯と電話連絡のみで、現場での音声・言葉の警告は無かったようです。アラームは音声・言葉での警告も必要だと思います。
- 金原 : 携帯 H2S 濃度計を持ち歩くことになっていたようですが、車の中に置き去りにして操作室に向かったようです。仮に現場の H2S 濃度計が不良であっても、その濃度計があれば検出でき、早めに避難できたかもしれません。教育とその教育内容への徹底が不十分であったと思います。
- 竹内 : この事故で犠牲になった夫妻はかなりの濃度の H2S に曝されたのでしょうか。奥さんが連れてきた子供二人は車内に残っていたおかげで難を逃れたのは幸いです。救助隊員が到着した時も、相当に酷い臭いがしていたとありました。OSHA のホームページによれば、H2S の IDLH(immediately dangerous to life and health)は 100ppm とされています。この会社は従業員 11名-50名の小企業で、死亡した従業員の職種はポンパーと呼ばれ、日に 2回、数か所のポンプ設備の見回りを行っていたようです。
- 金原 : H2S は 50ppm程度で臭覚麻痺になります。亡くなった方の妻は、臭気を感じる事があってもすぐに麻痺し、一方で仮に H2S 監視機能が整備されていて警報が鳴っても、その警報の意味が分からず防止策として役に立たなかったかもしれません。これは部外者が勝手に敷地内に入ってくる管理体制にも問題があったと考えます。

- 竹内 : この設備は通常はフェンスで囲まれていて、部外者は入れないようになっていたようですが、この従業員が設備異常の連絡を受けて、鍵を開けて敷地に入ったのですが、中で倒れてしまいました。長時間連絡が付かないことに気をもんで妻が駆け付けた時、フェンス鍵が開いたままだったので。フェンスの入口付近には H2S の警告表示はされていました。
- 金原 : いかにも小規模企業であったとはいえ、完全無人化工場であるのなら、遠隔監視体制、例えば TV カメラによる監視や門の自動開閉によって集中監視をしっかりとやらないといけないと考えます。一つ間違えば油が流出したり、今回のように H2S が拡散する可能性のある危険な工場ですから。
- 牛山 : 本文では H2S が発生した詳細は記載されていませんが、このポンプは容積型プランジャーポンプで、運転員が現場で吐出弁(95%閉)、吸入弁(50%閉)の操作をしたため締め切り状態になり、タンク液面によってポンプが自動起動し、おそらくそれによりプランジャーのスタフィンボックスを破損し H2S を含有した水が放出されものと考えられます。まず、最初にポンプは絶対起動しないような措置(ロックアウトタグアウト)をしなければならなかったものと思います。
- 竹内 : ポンプを絶対起動しないようにする措置(ロックアウトタグアウト)については、この会社では文書化がなされておらず、口頭での説明のみであったようです。
- 山本 : プランジャーポンプで水を約 900psig(6.2MPaG)まで加圧して、地中に戻っていたようです。一般的に、プランジャーポンプ等のように、吐出弁が閉め切り状態で破損に至るまで圧力上昇をするポンプでは、破損防止のため、ポンプ出口と吐出弁の間にレリーフ弁(安全弁)を設置して、レリーフ弁から出た液をポンプのサクシオン側へ戻すようにします。そうっていなかったのですね。プランジャーポンプに限らず、ギヤポンプ等の容積式の定量ポンプには安全確保のため、レリーフ弁を設置すべきですね。
- 金原 : 事故報告書では、ポンプ故障による水漏れ発生のタイミングが、被災者が到着する前なのか、ポンプ切り離し操作で自動運転した時なのかは分からなかった、と記載があります。もし後者であれば、牛山さんが言われる操作をやらなかったという意味で重大なミスであると考えます。最近の Beacon の事例を見て考えると疑問に思います。今回の事例でも H2S 濃度計は8箇所設置されている、従業員の H2S 濃度計を携帯するように指導している、ポンプ室の換気機能は設置されている、と一応、形は整っている。それなのになぜ事故が起きたのだろうか。企業としての安全風土が欠如しているのか、管理監督者の意識レベルが低いのか、従業員の感受性が低いのか。そのあたりをきちっと立て直さないと、類似の事故はなくならないと思います。
- 牛山 : 報告書によると、この事故の 20 日程前に設備のメンテを行っており、吐出弁・プランジャーポンプの部品が取り換えられております。また、作業員は弁の開閉操作を行っており、その前に大量の H2S が漏れていたとは考え難いため、これら 2 点からポンプ故障による水漏れ発生のタイミングは、被災者が到着する前ではなく、ポンプ切り離し操作で自動運転した時だと私は推定しています。
- 金原 : 安全の最後の守りである、保護具についても十分でなかったと思います。SDS を見ると、空気呼吸器などの装着を推奨しています。空気呼吸器を操作室から常に常備しておき、現場に出る時はそれを必ず装着することを基準化すべきではないかと考えます。最終報告書にはポンプの電源遮断未実施を取り上げていました。それはそれで大切ですが、操作中に何が起きるかわからないし、それを様々な手段で防止することは現実として不可能ですから、保護具で身を固めることが大切と考えます。
- 司会 : ここからは、皆様の過去の経験、事例についてお聞かせ下さい。
- 松井 : 過去に国内・海外で PPS(Polyphenylene Sulfide)の開発に関与していましたが、製造工程が完璧に理想的に進行しなければ H2S が発生するケースが多くあります。従いまして、実験棟では、換気・ガスマスク・検知器等は当然準備しています。一方、H2S は、0.3ppm で殆どの方が不快に感じますので、外部から実験室に近づくにつれて、屋上のドラフト排気で希釈された H2S の臭いを感じる場合が普通です。しかしながら、十分に安全教育を受けていなければ、0.3ppm 程度の H2S を嗅覚で感知できても、危険性・自己防衛を認識しない可能性が高いため、安全管理に関する教育が重要でしょう。
- 金原 : 私は H2S 事故の経験がないので、過去事例を調べました。1995 年に神奈川県で発生した事故です。脱硫装置の定期改修工事中、圧力調節弁が開いて配管から H2S が漏洩したものです。H2S ガスラインには、ガス圧力が上昇したときにガスを放出するエア駆動の圧力調整弁が付いていました。圧力調節弁の下流側ブロック弁があり、その取り外し工事を行っていましたが、上流側(H2S 送り側)のブロック弁(手動)は取り外さずかつ開の状態

態でした。圧力調節弁のエアーの工事も行っており、元弁を閉めたため圧力調節弁が開き硫化水素が放出されたものです。連絡ミスによる事故でしたが、ある意味、鹿島のクエンチオイル漏れ事故によく似ています。

山岡：この事故が起こった時、私は高圧ガス事業所で安全管理の仕事をしていましたので、大きな衝撃を受けました。この事故の3か月後、その概要がNHKのテレビ番組「クローズアップ現代」で『危険物施設における有毒ガス、巨大コンビナート事故』というタイトルで放映され、詳細でわかりやすい説明がなされたので、これを安全教育の教材に使い、工事の際の安全管理、特に、関連する設備が同時作業になる場合の危険予知と安全対策、作業スケジュール変更の際の適切な連絡、毒性ガス漏れい時の対応などについて教育したことを思い出しました。

金原：教訓を活かされ大変素晴らしいことだと思います。事故が起きたら、再発しないように周知徹底することが大切です。定期修理では作業が輻輳することがあり、それが原因で事故・災害になることが多くありました。その為に私の所では定期修理の工事ミーティングでは、作業内容をよく確認し、輻輳しないように調整していました。

竹内：厚生労働省のホームページによると、日本でもH<sub>2</sub>Sの事故は毎年発生していて、ほぼ毎年死者が出ています。（[https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_05929.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_05929.html)）また、火山地帯でも、蒸気密度が1.19(対空気比)と重いため、窪地に溜まっていて、事故になったといニュースに触れたことがあります。

金原：H<sub>2</sub>Sが原因となる死亡事故で多くあるのが、中毒で倒れている人を助けようとして犠牲になる事例です。なかなか冷静になるのは難しいですが、そこは日頃の教育・訓練を積み重ねることが大切であると考えます。

牛山：死亡事故ではありませんが、イオン交換樹脂の賦活用にH<sub>2</sub>Sを使用していて、吸収塔が故障の為スタートアップ時にH<sub>2</sub>Sが大気中に放出されてしまい、近隣住民から苦情を受けた事例が有りました。H<sub>2</sub>Sは微量でも強い臭気を放ちますので取り扱いには注意が必要です。

司会：次に、安全装置の管理について、ご意見を伺わせて下さい。

金原：H<sub>2</sub>Sではなく窒素の例ですが、粉体を窒素で気力輸送するためのブロワー室があります。ブロワーの騒音が激しいので、室内に収めていました。怖いのはブロワー本体などからの窒素漏れです。そのために酸素濃度計設置、室内換気がポイントです。いずれかの機能が停止した場合には警報を鳴らし、注意喚起していました。

竹内：私の居た会社でも粉体の輸送には、窒素によるニューマティック輸送を行っています。粉体サイロ下部のスカート内部にはロータリーバルブなどがあり、危険性が高い箇所でした。

今出：私のところではサイロへの粉体輸送用のロータリーバルブが地下に設置されており、点検のために近づく時には、換気や酸素の濃度の測定実施方法や、事故の際の救出法等を事前に検討していました。

竹内：閉所作業を行う際には、万一の場合に直ちに救出できるように監視者を置き、用具を準備して待機させることもあります。

金原：毒性ガスなど検出器は風向きやガスの比重などの物性をよく考えた上で設置する必要があります。頻度はその重要度や信頼性を考えて月に一度や年に一度の定期修理などを決めていました。点検頻度や記録などの文書化についてはISOのシステムの中でやっていたと思います。検出器はインターロックと連動していることが多いので、誤って保安計装が作動しないように運転担者と計測担当者は良く連絡を取って点検していました。

牛山：警告灯についての考え方ですが、一般的には、危険な時に赤色のランプが点灯されますが、球切れの場合は警告が出ないことになります。逆に、正常時には常時緑色のランプが点灯し、危険な状態では消えるという方法も考慮する必要があります。更に、重大な危険時には、二重の警報が必要でしょう。

山岡：コンビナート事業所などに設置されている可燃性ガスと毒性ガスのガス漏洩検知警報設備の検査について、高圧ガス保安協会が定めた検査指針があります。それによれば、「検査は目視と作動検査とし、1年に1回以上確認すること」と定めており、私の居た事業所でもこの指針をもとに実施していました。

司会：最後に、その他、いろいろな観点からご意見を述べて下さい。

金原：「知っていますか」の「robust reliability program」を「高い信頼性」と訳していますが、最近「robust」を日本語で「ロバスト性」として「外乱などの不確定要素があっても、その不確定さに抗して希望の制御性能を保持すること」として、例えば「ロバスト設計」などとして使われています。それであればここに書いていることに違和感があります。もし単に「強固な」というのであれば、全体の文章の流れの中で認めます。

今出：ご指摘のようにロバスト性という言葉は「ロバスト設計」や「ロバスト制御」など、外乱に強い信頼性の高いシステムを指すことが多いかもしれませんが、安全システムについて言えば、プラントの設計段階で行うプロセスハザード分析(PHA)により特定されたリスクに対して、許容できるリスクまで下げるために必要な安全度水準(SIL)に

相当するシステムを決めることに相当すると思います。一方今月号の事例では、安全装置の H2S アラームシステムの維持管理に対する点検、試験の信頼性についての話なので「強固な」や「堅牢な」などとした方がわかりやすいかもしれません。

金原：本文図4は、当研究会が翻訳した「化学プラントの老朽化」(丸善出版)にも同類の説明があります。本書では、設備更新に伴って安全装置の信頼性や性能が復活するとしていますが、今月号の本文の通り検査によっても復活し、高い信頼性が確保できます。ただ、全てをまんべんなく検査することは不可能なので、優先順位の設定や検査方法の工夫などが必要かと考えます。

今出：H2S のアラームシステムは検知器、伝送系、アラーム装置などで構成されていますが、検知器単体だけ試験して正常でも、伝送系やアラーム装置に不具合があれば、アラームシステムとして機能しないので全部が繋がった状態で機能するかの点検の重要性について述べています。計装分野ではループテストと言っています。大規模な工場ではこのようなループの点数は膨大なものになると思われませんが、PHA でリスクが高いと特定されたプロセスに付随する安全装置は重要機器として優先順位を付けて保守管理をする必要があります。最近急速に進展している IoT や AI を利用して、設備や計測器の診断やプロセスの最適化の自動化に取り組む事例も出てきています。これらはセンサや計測器が正常に機能してはじめてできることなので、校正や点検、試験などの保守は引き続き重要な課題です。

金原：AIやIoT が進歩するとブラックボックス化して、中味を知ることがなくなる可能性があります。またトラブル減少により中味を知る機会が減ります。その中で制御技術者の人材育成も大切な課題ですね。

春山：金原さんのご意見に全く同感です。現場では、コンピューターによる自動制御、最適化運転等で人が直接運転操作をする機会が無くなり制御内容もブラックボックス化しています。しかしトラブルは実装置、実運転で具体的に発生し、トラブルシューティングは運転員、スタッフ自らが対応に当たらねばなりません。ですから日頃からの教育、人材育成が重要ですが、そのためには具体的なツールが必要です。コンビナートではプロセスシュミレーター、訓練プラントを共同で使用できる仕組みを持つことが重要です。また個別では小さい規模の蒸留系で班長がついてですが、実際に自動制御を外し運転員自ら操作対応する訓練などはしておりました。

牛山：今回の事故は、人的なミスによるものと考えられますが、このような場合にもロバストなシステムを構築できるのでしょうか。

今出：PHA つまり、プロセスの危険性評価に、人的な要素を入れることも必要ですね。ロバスト性の高い人的な側面を含めてプロセス管理システムを作っていくことは重要です。

牛山：現実の化学工場では、機械・電気等の専門家と、現実に操作を行う要員に分かれていて、これらが統合されて運営されているのでしょうか。ここでロバスト性を確保するには、全体を統括する必要があるでしょう。しかしこれは、相当にコストの掛かる作業・システムなので、どのように普及させるかが課題ですね。

竹内：今回の事例では、プランジャーポンプにリリーフ弁を取り付けるだけで、事故を防げた可能性がありますが、小企業ではこの程度出費も削減していたのかもしれませんが。製造さえできればよいと考え、安全面の考慮が不足していることもあります。大学などでの化学工学の教育にも安全に関する観点が不足していると思います。

金原：化学工学の教育で安全や防災を教えることも大切ですが、自分を振り返ってみると、両者とも企業に入って実態を見て、設計面や運転管理面でやるべきことを知り、学んだと思います。ただ、学生時代には実験を通じて安全を学んだと思います、私の研究テーマは高圧気液平衡であり、5MPa の圧力下で平衡状態を作り、そのサンプルを採取する実験でしたが、高圧の怖さを学びました。

司会：今回の事例は、枯渇に近い油田から残存原油を回収する零細企業において、安全管理の欠如の結果の重大事故でした。参加された皆様の活発なご意見の発表により、現在の化学工業及びその他の活動での事故防止に寄与できる多くの対策を共有することができました。今後の改善を期待しつつ本会議を終了させていただきます。

キーワード：H2S、水攻法、アラームシステム、保護具、空気呼吸器、ロックアウトタグアウト、プランジャーポンプ、定量吐出ポンプ、レリーフ弁、背圧弁、アキユムレータ、濃度計、自動運転、死亡事故

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、齋藤興司、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