

|  |  |   |
|--|--|---|
| PSB<br>(Process Safety Beacon)<br>2022年7月号<br>の内容に対応 | <b>SCE・Net の</b><br><b>安全談話室 (No.193)</b><br><a href="http://sce-net.jp/main/group/anzen/">http://sce-net.jp/main/group/anzen/</a> | 化学工学会<br>SCE・Net<br>安全研究会作成<br>(編集担当: 山本一己) |
|--|--|---|

### 一時的な変更を管理せよ！クランプの補修なども

(PSB 翻訳担当: 永嶋良一)

司会 : 今月号は、プラント設備の配管からの漏れに対して根本的な修理をしないで、一時的な処置(クランプ)をしたまま長期間にわたり放置し、トラブルに至った事例を述べています。まず、今回の漏れ補修に用いたクランプについて、どなたかご経験や知見がありましたらお願いします。

金原 : インターネットを見ると、最近の仮補修器具は随分進歩しており、クランプもエルボ用など様々な用途に使えるし、硬化樹脂やテープなども進歩しており、感心します。それだけに仮補修であることを忘れるのではないかと思います。「仮補修」は所詮「仮補修」です。可能な限り早期に本補修することが大切であると考えます。

塩谷 : クランプ工法による漏れ補修は漏洩箇所周辺をクランプによって締め付けるため、漏洩部周辺の肉厚と強度が十分にあることを確認する必要があります。ピンホールのような局部的な開口による漏洩に適した補修方法であると思います。全面腐食などにより広範囲に減肉しているような場合には別の補修方法を検討する必要があります。

山本 : ステンレスなどの腐食はピンホールができる孔食が多いと思いますが、炭素鋼での漏れは全面腐食として対応した方が良いでしょうか。

塩谷 : 炭素鋼であっても溶接不良が原因でピンホールができますので、そうとは言えません。

司会 : それでは次に、今月号の記事について感想や意見がありましたらお願いします。

金原 : 配管がピンホールによって配管内部流体が漏れた為にクランプを使って補修する、我々は「バンド巻き」と言っていたのですが、その頻度はそれほど多くはなかったのですが、配管漏れの仮補修の常套手段として使われていました。ただ、何らかの原因、例えば腐食あるいはエロージョンなどによって漏れているわけですから、早晚漏れが拡大して事故になる危険性がある筈です。このような仮補修は、正規の補修や事故防止をセットにして考える必要があるのではないかと考えますし、そのように実行していました。いつ、どのタイミングで補修するのかを決めて、それまでどのような監視体制とするのか、一挙に漏れが拡大した時に人災にならないように、立て看板を設置して注意喚起する、などの対策を講じていました。そのようにすれば忘れられることはないと考えます。本誌の事例ではクランプを使用するに当たって、補修規定がきっちりあるのは感心しますが、せっかくある規定で決めたことへのフォローが無いというのは大変まずいことです。これは往々にしてあることで、注意しなければいけない点であると考えます。ところで、クランプ補修は目立つと考えますが、それを2年も放置していたというのは、承認者である管理監督者は全く現場を見ていなかったのですね。

三平 : 図1のバルブに被せるクランプの構造が複雑で驚きました。日本でも現在このようなものが使われているのでしょうか。1960年代半ばから十数年、プラント現場の第一線にいましたが、このような仮の漏洩補修は水などのユーティリティしか経験がありません。金原さんが言われた「バンド巻き」と同様な手法でした。危険物や高圧ガスを含むプロセス液やガスのラインで漏洩が起きた場合はプラントの停止が原則でした。

長く担当したPVCプラントはバッチ式反応器を使い、付属する機器や計器の故障で運転できなくなると、その反応器を切り離していました。バッチ方式は仕込みから最後の槽内のクリーニングまで一つのサイクルを回すので、簡単な故障ではメンテナンスが可能なクリーニングの時間に予備の機器や計器を差し替えていました。ただし、クリーニング時間で処理できない場合には、その反応器をサイクルから外して、残りの反応器で対応していました。バッチ式ではこのように柔軟に対応できますので、補修などがやり易かったです。

司会 : 次に、プラントからプロセス液が漏れた場合について、皆様の会社では、どのように対応されていたか、ご経験や知見があればお願いします。

三平 : プラントの建設で採用する配管やバルブのスペックが厳格に選定、施工されていて、プロセス液の大きな漏洩

事故は経験していません。ガスケットの挿入ミスで漏れたことがあります。

林 : 多くの漏えいとその措置を経験しましたが、先に三平さんが言われた通りプロセス液の漏えいは事故です。2000年以降、行政による通報基準が強化され「噴出・漏えい」についてはすべて事故の扱いでした。その後、気密試験時の微小漏えいなど事故としない場合についても見直しされましたが、プロセスラインで漏れたら事故扱い、さらに外面腐食などの検査で許容肉厚を割る部位を発見した時点で停止を前提に措置が必要となります。従って国内でこういうクランプを使って運転中に補修するというのは、高圧ガスや危険物の設備ではほとんど無理です。蒸気や水などの制約がない用役ラインでは、クランプやゴムバンド、あるいは特殊なテーピングでの漏えい補修が可能です。

牛山 : 林さんが2000年以降に漏れが事故として管理されるようになったという話がありましたけど、その後、2006年頃に、東北の高圧ガス設備を管理・監督している官庁に、どのくらいの漏れなら報告しなければならないか問い合わせをした会社があったようです。そうしたら、その管理官が全部だといったために、その頃から全部報告しなければならなくなって、それが全国に広がり、そのときから事故件数が急激に増えています。漏れも事故件数としてカウントすることになったためです。高圧ガスの設備関係は、実は事故調査小委員会というのが2009年に開かれて、どの範囲までを漏れとするかという審議をしたことがありました。その時も結局、プラントのプロセス流体の場合には、漏れたら全て報告しなさいと再度決定されました。それ以降は厳しく管理されるようになりました。

林 : 例えば、アンモニア配管のバルブのグランドパッキンからの増し締めで止まる微量な漏れですが、これも事故の対象となったことがあります。恒久対策として、原子力発電設備で使用されるベローズタイプのバルブに変更したことがあります。

司会 : 今回のように、プラント設備の漏れに対して暫定的な補修を実施し、それを長期間にわたり放置していたのでトラブルに至った事例をご存じならばコメントをお願いします。また、漏れの原因である腐食についてのご経験や知見でも結構です。

永嶋 : Beaconと同じような事故がありました。ある工場で圧力計取り付け部配管の亀裂が発見されたので、パテ当て補修で応急処置を行いました。しかし、その後は、現場表示もなく、特別な点検も行われず、定修計画にも反映されず、応急処置のまま放置されていました。2年後に当該箇所から薬液が漏洩するという重大事故が発生しました。この事故は所轄官庁も重要視して、応急処置のまま放置していたことに関して、厳しい指導を受けました。

上田 : 類似事故として、2013年、ベルギー、アントウェルペンにあるTotalのリファイナリーで発生した事故(Ref. Total 2014)を紹介します。2011年3月、ボイラー設備にリークシールクランプが設置され、リークが確認される度にシール材の再注入を繰り返し、2013年11月、同じく再注入した際に、他の要因とも重なり、蒸気爆発へ至り、2名がお亡くなりなる事故がありました。何度もリークを繰り返していることから、暫定対処から恒久対策への早期判断が望まれるケースです。

山本 : 70bar(7MPa)のボイラー水配管に用いていたバルブのボンネットの接続に元々欠陥があり、リークシールクランプでバルブ全体を覆い使用していたようですね。その後、バルブのボンネットを止めていたボルトが応力腐食割れを起こしていて、シール液の注入時にちぎれ、ボンネットとクランプが吹き飛び、大量のボイラー水が噴き出たようです。クランプで覆うと中の状態が見えないので、腐食の進行などを放置したままになり非常に危険ですね。

金原 : 最近は防食技術が進歩して、今回のような応急処置をする機会が少なくなったのではないかと考えていたのですが、折しも化学工学誌6月号が届き見たところ、今の特集は「化学プロセス装置に対する腐食劣化に対する最新技術動向」でした。その中で腐食コストについて述べております。1997年と2015年の比較では、金額として若干の減少はあるものの概ね横ばいです。ただし、内面腐食は各種技術改善により減少していますが、最近では外面腐食(保温材下腐食:CUI, Beacon 2014.1, 2019.6)に関わる費用が増えているとのことでした。したがって、応急処置の必要性はあまり変わっていないということから、今回の提言にある通り、その管理・フォローが大切であると考えますね。

林 : 腐食性流体を扱う材質 SUS304 のプロセスラインで、局部腐食が発生し、塔下部の拔出ラインで溶接補修をしました。変更管理で1年後の確認はしましたが問題なく、そのまま放置されました。そして10年程度後に同じ個所で漏洩が発生しました。プロセス液なので保安事故となり、対策として過去に遡り補修実績のある部位と腐食が懸念される部位を総点検する活動を全社で展開しました。結果、補修実績のある部位は、腐食懸念をして検査し

た部位より補修が必要となる確率が相当高い事が判明しました。補修や応急処置をした箇所は危ないので、追跡して検査を実施して管理をすることが大事だということが良く分かりました。

金原 : 仮補修した箇所を調べたということですか。大体、そういうところは少なくとも何年に 1 回は検査しますね。

林 : 仮補修だけでなく本補修であっても、その後検査をしていなければ見直さなければいけないということです。見直されていなかった箇所が意外に多かったです。

材質 SUS304 では、溶接すると炭化物が析出して鋭敏化により腐食するということがあります。溶接補修の回数が増えると鋭敏化も進むので、そういう箇所は腐食がさらに進行します。

金原 : 先ほどの化学工学会の記事を見たらわかるように、今は外面腐食の方が多いため、なかなかそれはつかみにくいでしょうね。保温材下腐食に比べて内面腐食はわりと分かり易い。色んな技術、知見があるから把握し易いと思いますが、保温材下腐食は場所を特定するのは難しいから、発見が難しく、管理をするのは大変だと思う。

牛山 : コストを考えるとなかなか外面腐食を自動的に管理する方法はないですね。ただ、最近は漏れ事故も厳しく管理されるようになって、腐食対策に金をかけるようになってきたようです。(Ref. 林和弘 他, 2019)

金原 : 内面腐食の管理については進歩しているのですがね。

牛山 : 昔は全部危ないと思ったところは、保温をばらして肉厚をチェックしていたのですが、高圧ガス設備の定修周期は数年に 1 回(最長 8 年)に伸びたことで、検査もなかなかやれなくなり、余計に外面腐食が問題になるようになりました。

金原 : 内面腐食の方は内視カメラのようなもので見るのが可能になってきたし、シャットダウンでの点検はしやすいけれど、保温材を解体するとなると大掛かりな工事となりますから、その保温材も結構高いですから、保温材を再利用しなければならず非常に大変です。

牛山 : 特に、日本では保温材の上から板金で加工して覆いますね。ああいうハゼ掛けとか加工の技をもっていますが、最近はさらにビス留め樹脂シールなど施工し、取り外し再使用など手間が大変です。外国系企業で何故保温にそんなに金をかけるのかと怒られたこともありました。外国では当時、ビスかなんかでポンポンと板金保温をしているから、取り外しが楽だというのがあったようですが、最近は CUI の管理が厳しく規制されるようになって保温方法も変わってきたようです。

金原 : 保温材の取り外しが、ずいぶん工夫して進歩してやりやすくなっていますが。いずれにしろ、管理すべきところが本当に増えてきました。

司会 : 話題が変わりますが、Beacon では機器のバイパスについても言及しています。プロセス機器や制御システム、あるいは安全装置やインターロックを一時的にバイパスしていて、それが原因でトラブルに至った事例をご存じならお願いします。

竹内 : 安全システムのバイパスは非常に危険です。機器の点検・整備でメーカーの専門家がインターロックのバイパスをすることがありますが、何故バイパスが必要であるかを精査して、どうしてもバイパスしなければならない場合は許可証を発行するなど、厳重な管理が必要でした。海外の事例で、クレーン車の荷重オーバーの警告をバイパスした為にクレーン車が転倒したビデオを見たことがあります。

山本 : 過去の Beacon を「バイパス」というキーワードで検索すると、複数の事故事例が出てきます。意図的にインターロックをバイパスしたため発生した事故例(Beacon 2003.6, 2013.6, 2019.2)が結構あります。Beacon の事例ではありませんでしたが、インターロックの運転中検査をしていて、事故が発生した事例も結構あります。インターロックは複数の機器が連動しているために、その見落としが事故の主な原因となっています。

安全装置がバイパスされていた例では、1984 年にメキシコシティにある LPG(液 化石油ガス)の貯蔵・配送ターミナル起こった、大規模な火災と連続した大爆発(Beacon 2014.11)がありました。水噴霧システムを含む安全装置の 30~ 40%が正常に働かないかバイパスされていたそうです。工場の安全システムをよく理解して、いつでも作動できるように維持管理するシステムを構築することが重要です。

金原 : ところで、今のメキシコシティの事故は、これは PSM などが導入される前の話なので、こういうひどい事故になったと考えていいですか。

山本 : そうだと思います。1984 年事故ですので、プロセス安全のシステムが整備されていなかった時代だと思います。

牛山 : 1984 年だと、インドのボパール事故がありましたね。それを契機に、1985 年に AIChE に CCPS(化学プロセ

ス安全センター)ができました。

金原 : かつてはインターロックをバイパスする、あるいはキーロックを無効にして安全柵に入ってトラブル処置をしたことにより、ストップさせずに済ませたことにより、お咎めがない時代もありました。確かに停止させたことによる後処置や再スタートの大変さは理解できますが、思惑通りに上手くいかなかった為に、人災になったことや、さらに大きなトラブルになった事例は多くあります。インターロックが作動しそうなトラブルや、安全柵に入ってまでやらなければいけないトラブルが何故起きるのかを明確にして抜本対策を取ることが、モノの本質です。「見えない化」してしまっただけでは問題点が浮かび上がりません。

牛山 : 安全装置のバイパスでは、一つ思い出したのは、1988年に起きた北海油田パイパーアルファの火災爆発(Beacon 2005.7, 2013.7, 2015.8)です。消防用ポンプのサクシヨン側の辺りを、その日に潜水夫が潜って柱の杭の点検をやっていたので、消防用ポンプが作動しないように自動から手動に切り替えられていて、ちょうどその時に火災が起きました。火災のための消防用の水を自動散水できず、火災がひどくなった事例があります。

山本 : メンテナンスで、引火性物質を輸送するポンプの吐出側のリリース弁が取り外されていて、その箇所は閉止板でゆるく止められていました。そのポンプはロックアウトもされておらず、状況を知らない交代の運転員がポンプを起動して、引火性の引火性物質が漏れた事故ですね。

竹内 : 台湾プラスチックの事故(Beacon 2013.6)ですが、オペレーターが間違ったりリアクターのボトムを開けてしまったために、塩ビモノマーが噴出して爆発火災に至った事例です。インターロックが掛かっているようにしてあったのを、わざわざインターロックをバイパスさせて発生した事故でした。この事故は2004年に発生した事故ですので、OSHA PSM(プロセス安全管理)発行後の大きな事故ということになります。

山本 : その事故に関しては、工場のほとんど似たようなバッチ式反応器24基が整然と配置されていたので、運転中の反応器を洗浄する反応器と間違えて、運転中の反応器の底排弁を無理やり開けてしまった事故ですね。

司会 : それでは管理についてですが、Beaconでは暫定的な変更は会社の変更管理(MOC)の規則に従って管理すべきであると述べていますが、皆様のいた会社では、このような変更に対して、どのように対応されていたか、お話をお願いします。

金原 : このような変更管理の仕組みはありませんが、我々は、先も言いました通り、「バンド巻き」のような仮補修は重要事項として捉え、運転員のパトロールポイントでもありましたし、月に一度の設備管理会議でのチェック項目でありました。設備管理会議は、工場長、関係部長・課長が出席する会議で、その場で、「バンド巻き」箇所をいつどのように本補修するかを議論していました。そんなに件数は無く、排水系だとか、蒸気、ドレン、薄い酸系、そういう系での漏れが主だったです。幸いなことに私どもは連続プラントですので、定期修理以外にも数カ月に一度、蒸留塔や反応器の洗浄を行う「洗浄ブレイク」というのがあり、その機会に正式補修していました。

竹内 : 暫定的な変更は出来る限り行わない様にしていますが、やむを得ない場合もあります。Beaconの事例の様にプロセスを止められないケースもあると思いますが、古い設備では正規のパーツが手に入らない為に一時的な補修でしのいで、次の工事期間で設備の更新を行うことなども考えられます。暫定的な補修を行う場合でも、その方法で問題がないことをMOCで確認すると共に、暫定措置の期間を定めて本格補修または更新を確実に進行するように工事スケジュールの管理を行う必要があります。勿論、本格補修や更新工事を行うにも変更管理が必要で、工事完了時には試運転前の安全審査(PSSR)が必要です。一般的な補修についても、きちんとリストにして管理して、忘れないようにするという事はしていました。

山岡 : 現場での安全教育の経験で、軽微な変更も含めた暫定的な変更の際の変更管理についての教育の際に、適切な変更管理をしなかったために大事故になった英国フツリクスボローのナイロン工場の事例を幾度となく教材に使ったことを思い出します。この事例を題材とした検討会で、暫定的な設備変更を行う場合には、変更する目的を明確にする、変更する設備の使用期間を明示し期限が来たら必ず必要な措置をとる、暫定的な変更だからといって不適切な機器や材質で間に合わせていないかチェックする、変更することによる潜在危険を洗い出す、などを確認して実施するようにしていました。

山本 : それは1974年に起きた事故(Beacon 2004.6)ですね。6基あるリアクターの内1基を修理するために、仮設配管で、そのリアクターをバイパスしましたが、配管について深い知識がない人が行った変更なので、引火性物質が仮設配管から漏れて大爆発した事故でしたね。配管の支持も仮設足場を用いて支持していたようです。

司会 : 「仮設」についての話が出ましたが、その他の関連するお話があればお願いします。

金原 : 仮の設置という意味では仮設足場がその例になります。仮設足場については、設置期限を決めて、看板で掲示するようになっています。定期修理では、数多く使われるのですが、定期修理終了後も放置される場合が多いので、その掲示板を見て期限が過ぎているから撤去するように、と指摘したことがありました。

竹内 : 仮設足場と言われているのは、工事のときの足場のことを言われていると思いますが、転落事故の原因にもなるので、非常に危険性が高いものと見なしていました。元いた会社では足場を設置した後、事業所内で有資格者が足場を使用前に点検していました。合格しないと足場を使用してはならないという許可制度にしていました。それと、仮設足場で気にしていたのは風です。シートを掛けていると、風であおられて、足場そのものが崩れるということがあるので、強風が来ることが予想されるときには、シートを外すとか、ネットをまくり上げるとかして、風を強く受けないように注意していました。仮設なので、パイプなどをプレハブ的に差し込んで組み上げる足場が多いですが、下の土台部分がフラットになっておらず斜めに立っていたりすると、とても危なくて使えません。足場を組む前に、下の地盤をどうするかは気にしていました。

金原 : 仮設足場については、工事安全ルールの中に足場の設置基準が決められていて、必ずそれを守るようにしていました。足場については、3者確認、即ち操業、工事管理部署、工事会社で確認するとことになっており、足場の検討会で、関係者が内容や手順を確認するルールが決められていました。

司会 : その他で、仮設足場以外に関連することがあればお願いします。

金原 : 仮補修ではありませんが、運転条件などで実験的に変える場合があります。中規模以上のものは、工場実験化計画書に記載して期限を定め、終了後は完了報告書を出していました。軽微な変更は「条件変更届」を提出しており、忘れ防止の為に半年に一度、棚卸を行っていました。

竹内 : 実験的に変えるということでしたが出しましたが、我々の工場では、次々とお客さんの要望に従って新品种を作り出す必要がありました。新品种の試験生産をする際に、インターロックが邪魔になってきて、テスト生産ができない場合が出てきます。そういう場合には、バイパスせざるを得ないのですが、他の手段で安全が確保されていることを確認した上で許可証を発行し、テスト生産をすることはありました。当然、バイパスしたら、いつまでに元に戻すかも厳密に決めていました。

司会 : 今日は、皆様のご経験から、貴重なご意見や知見を頂きました。2000年以降からプロセス液が漏れたら事故扱いとして、設備を停止して対応するようになったことや、漏れが発生した箇所は再発のリスクが潜む可能性があるもので、しっかりと管理していかないといけない事など、大変参考になりました。ありがとうございました。

#### キーワード:

クランプ、ピンホール、全面腐食、エロージョン、バンド巻き、ライニング、内部腐食、外部腐食、保温材下腐食(CUI)、変更管理(MOC)、インターロック、バイパス、運転中検査、プロセス安全管理(PSM)、仮設足場

#### 参考文献:

- ・Beacon 2003.6, 「インターロックにはわけがある・・・」, ・Beacon 2004.6, 「フリックスポロー—30年」, ・Beacon 2005.7, 「パイパーアルファ石油プラントプラットフォーム破壊」, ・Beacon 2013.6, 「私はなぜあのバルブを開けられないのか?」, ・Beacon 2013.7, 「Piper Alphaを忘れるな」, ・Beacon 2014.1, 「保温材下腐食(CUI)」, ・Beacon 2014.11, 「30年前-LPGの惨事」, ・Beacon 2015.8, 「運転準備完了」, ・Beacon 2019.2, 「重要な安全防護はその機能を維持すること」, ・Beacon 2019.6, 「保温材下腐食(CUI)」  
[https://sce-net.jp/main/group/anzen/anzen\\_danwa/](https://sce-net.jp/main/group/anzen/anzen_danwa/)
- ・Total 2014, TEAM®, Industrial Services, TOTAL, [Accident description & “Lessons Learned”, April 2014](#)
- ・林 和弘, 立野繁之, 松山久義; “配管の劣化管理の業務フローと外面腐食検査の優先度設定に適用できる外面腐食速度の予測”, 日本設備管理学会誌, Vol.30(4), 115-122(2019)

#### 【談話室メンバー】

今出善久、上田 健夫、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、永嶋良一、春山 豊、林 和弘、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、頼昭一郎、