

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2022年2月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.188) 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: 牛山 啓)</p>
--	--	---

配管の滞留部、見慣れた光景に潜む危険個所！

(PSB 翻訳担当: 塩谷 寛)

司会 : 今回の Beacon の事例では、配管の滞留部における腐食問題が取り上げられています。この事例についてご感想やご意見がありましたらお願いします。

牛山 : 今回の事例はインドの大会社 Reliance Industries から提供された情報に基づく、配管の滞留部における腐食問題を取り上げたもので、この事例では実際に事故になる前に対応されていますが、滞留部の問題は腐食だけに留まらず、配管閉塞や閉塞物による危険物質の蓄積、爆発など様々な危険性をはらんでおりますので、重要な問題と認識しております。

永嶋 : 私がおりました会社でも配管の液滞留部の管理は重要だと認識していました。具体的には、配管の一部が低くなっているといった目視で認識できる液だまり部には注意を払いやすいのですが、水平配管にバルブがついているケースといった液だまりが認識しにくい状況については社内教育を徹底して事故が無いように配慮していました。たとえば、水平配管にグローブバルブがついているケースで、バルブを全開にしてバルブの上流で液抜きをした場合、オペレーターはラインが水平なのでバルブの下流の液抜きも完了したものと勘違いすることが多いのです。実際は、グローブバルブの内部では液は下から上に流れますので、バルブの下流の配管内の液は完全には抜けていないのです。こういった間違いやすいケースは社内教育が有効でした。

金原 : Beacon に対する感想ですが、このようなトラブルは原油精製では過去に幾つも経験したトラブルではないかと思えます。今頃このようなトラブルが発生したということから、管理上の盲点があるという警告ではないかと思えます。ただ、管理面でカバーすることも大切ですが、そもそも構造的に滞留させないように上取りや水平に配管を枝別れさせるなど設計段階で配慮する、またその後の改造で滞留部ができてしまったことが分かった場合には構造的な改良をすることが必要かと思えます。管理面で対処する方法は後ほど議論になりますが、それらによってもどうしても滞留が防げない、あるいは滞留することによって腐食や閉塞、重合などの懸念があれば、その箇所を絞りだして、それを例えば Beacon の本文にあるような方法で対処すれば良いのではないかと考えます。さらに言えば、滞留は配管だけでなく、タンクや槽類にもあります。それを防止する配慮など化学プラントの設計・改造では留意しなければならないポイントであると考えます。

山本 : Beacon では「デッドレグ(Dead Leg)」を「配管の滞留部」と訳しましたが、その種のなかに「デッドエンド(Dead End)」や「行き止まり配管」などがあります。「行き止まり配管」をキーワードで検索すれば、それに関する事故事例が多く出てきます。「行き止まり配管」での事故では、汚れや残渣が配管にたまり、反応性の物質がたまれば異常反応を起こし、腐食性の物質がたまれば配管に穴があきます。Beacon にあるように、不要な「行き止まり配管」は撤去するなり、撤去できない場合は場所を把握して管理する必要があります。

司会 : ありがとうございます。それでは、この事例のようなご経験がありましたらお話いただけますか？

金原 : 私がいた会社もそうでしたが、1960年代から70年代にかけて技術導入や自社開発によって化学プラントが建設されました。その当時は設計力や管理技術も未熟でしたのでこの事例のようなトラブルは数多くあったと思えます。私も70年代半ば入社して実習中に、詰まりや漏れのトラブルが多くて驚きました。その後、例えば腐食原理の解明や定量的な管理技術など様々な進歩も加わって、この種のトラブルは大幅に改善されたものと考えます。

牛山 : 私も会社に入った頃働いていた芳香族プラントは、配管や機器の閉塞が多く、腐食だけでなく漏洩も頻繁に起こって対応に苦労した記憶があります。配管閉塞は化学工学の計算式で一概に予測排除できないため、その対応には多大な経験が必要であると教わりました。特に原料や流体が混合物の場合、滞留部があると予測できない反応も起こりますので、注意が必要です。

司会 : 今回の事例のような滞留部による事故が結構あります。皆様のご経験した事例や事故事例の情報がありましたら

らご紹介ください。

春山：配管残留物の噴出による火災事故例です。定期修理終盤に入った段階での事故例です。工事が終了しスタートアップ準備として窒素パージに入った槽のベント配管の小口径バルブから圧力がかかった窒素がリークし、ベント配管の立下りポケット部にたまっていた凝縮可燃物が小口径ベント配管を流れまだ火気工事中の槽内に流出し、火災となり槽内作業中の作業員の方が大火傷を負ってしまった事故です。スタートアップ準備中の槽と工事中の槽はプロセスとして系がかなり離れており、作業立ち合い担当者がプラントの当日の状況を正確に把握できていなかったこととベントラインの縁切りバルブが開となっていたこと、小口径ベント配管は様々な系とつながっていて配管ルートも複雑で、ポケット部が存在したことやポケット部のドレンバルブからの内容物有無の未確認等が重なり重大事故につながってしまった事例です。小口径の複雑なラインルートを取る共通ヘッダー配管のパージは定期修理期間では特に注意が必要です。

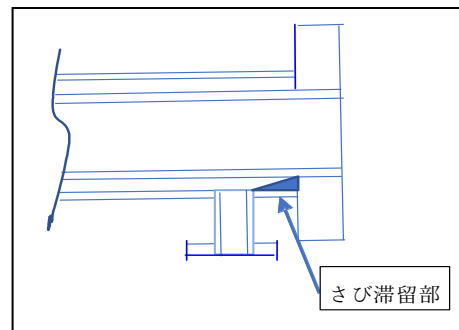
永嶋：あるプラントで、原料をジャケット配管で加温して供給していました。ジャケット配管は外管(炭素鋼)に65℃の温水を流し、内管(炭素鋼+グラスライニング)に原料を流していました。あるとき、内管の炭素鋼とグラスライニングが破損し、温水と原料がコンタミするという重大事故が起きました。調べてみると、外管の温水が破損箇所では流れておらず、滞留部を形成していたことが分かりました。このため、滞留部では鉄さびによる通気差電池が形成され、内管が外管側から腐食して破損に至ったことが判明しました。会社としても、液滞留→さびや沈積物→通気差電池の形成→腐食の進行という筋道は理解していましたので、配管の液滞留部には十分な注意を払っていたのですが、温水ジャケット配管の温水の滞留箇所までは注意が行き届かず完全な盲点になっていました。

金原：縦型の加熱器のジャケット上部に気相ができてしまうことがありますが、そのような滞留部とは異なるのですか。

永嶋：気液界面での腐食は良く見られるのですが、これは完全な液だまりにさびが溜まって腐食に至ったということで私どももショッキングな事例でした。

金原：滞留が起きた原因は何だったのでしょうか。また対策はどうされたのですか。

永嶋：温水ジャケットの温水側出口ノズルとフランジの間 100mm 程が構造的にデッドスペースになってしまい、その間にさびが溜まってしまったということです。対策としては温水流量をアップすることも検討しましたが、根本対策にならずさびの除去が難しいため造り替えることとし、その後もさびが問題になれば更新することにしました。



牛山：さびが発生しないようにステンレス鋼にすることは検討されなかったのでしょうか。

永嶋：内管がグラスライニングなので、施工の問題もあり内外管すべてをステンレスにするという事は行いませんでした。最重要でない箇所は従来通り、外管を炭素鋼、内管をグラスライニング+炭素鋼として造り替えて、定期的に更新するようにしました。最重要箇所は温水ジャケット配管をステンレスとグラスライニングで施工し、温水供給配管システムもすべてステンレスにしました。

金原：よく似た箇所で、縦型の熱交換器のジャケット部上部の出口ノズルと管板の隙間にガスが溜まり、ドライスポットになって腐食することがあります。ガス抜き配管を適切に設置し、定期的なガス抜きが必要です。

竹内：腐食といえば、今までも Beacon で何度か紹介された 2010 年のデュボン社バッファローの工場での爆発事故ですが、タンク間の U 字型のシール部分の腐食で作業タンクに可燃性ガスが漏洩した一因となったことを思い出します。プロセスで敢えて滞留部を作って液を溜め、ガスの流動を止めることもありますが、腐食しやすいことに注意が必要だと思います。

牛山：液シールは常圧タンクのシールなどにも使用しますが、腐食して大気と通じシールが機能しなくなることはよくありますね。

竹内：スチームトラップも一種の液シールですが、錆などで壊れることがよくあります。

金原：配管の枝部は配管を流れる流体と温度が異なる場合が多くあります。その為に凍結したり、遠心分離機等で分離した母液が滞留して温度低下によって結晶が析出し詰まった例があります。一方で、それじゃあ保温をしっかりやれば良いということで過剰に保温したことによって重合したり、温度が上がって腐食した例をいくつか経験しています。温調トラップなどを活用して適正な温度管理が必要であると考えます。流体がポリマーの時は特に重合してしまうことがあり、その対処には苦労しました。

牛山：昔はスチレンモノマーのタンクなど気相部にポップコーンができるため、タンク外壁に水をかけ冷やしていることも

ありましたね。

金原 : そうです。私が入社した頃は設計計算が未熟であったのか、同じような外部冷却をしていましたが、最近はずす
がに対処法が進んでそんな光景はなくなりました。

山岡 : 凍結による事故例としてテキサス州 Valero Energy 社の配管凍結事故(Beacon2008年10月号の記事)を思い
出します。この事故は、プロパン脱れきプラントの配管分岐弁が漏れていて下部に流体中の水分が溜まり、その
凍結膨張により配管が破損し、プロパンが漏洩噴出、蒸気雲爆発大火災を起こしたというものです。この事例は
書籍「事例に学ぶ化学プロセス安全」の206~208ページに解説も含めて掲載されており、今月号事例と類似して
いることから、この書籍に掲載されている「事故の要因と教訓」、「現場の経験者が語る」、「事故を防ぐためのポイ
ント」は大いに参考になるとと思います。

金原 : それで思い出したのですが、ヒドロカーボンは沸点が低く引火点も低い割に意外に凝固点が高いのですね。
引火点が -20°C のシクロヘキサンは凝固点が 7°C と水の凝固点より高いため、滞留部で凝固し良く閉塞を起こした
ものです。

牛山 : 凝固点といえば、ジャケット配管で思い出したことがあります。ピフェニルは凝固点が 70°C くらいあり、スチーム
ジャケットを使用していますが、設備停止時に中の液体を抜いてしまえば良いのですが結構面倒で、内部に入れ
たままにしていたのですが、液体は凝固時収縮しますので、弁が漏れていてある配管部分に少し流れ込んでいた
ようです。再スタート時に加熱を始めるとその部分が膨張し破裂してしまいました。配管内部の流体は停止時抜き
出すことが必須と痛感しました。

金原 : 長い間遊休にしていたポンプを使うために吐出の配管を撤去した時に、配管の中に溜まっていた硫酸が流れ出
し、作業をしていた業者にかかった災害がありました。長い間使わなかった配管滞留部で硫酸と金属が反応して
詰まり物が生じ、T管の垂直部の上下をふさぐ形になっていたものが持ち上げた途端に外れて流出したものです。
T管の下に弁がありそれを開けても何も出てこなかったのが安心したのが間違いの基でした。長期に使っていな
い配管には徹底的なフラッシングと念の為の保護具着用が必要です。

竹内 : 同じような話を聞いたことがあります。長い間使用していなかった枝管の先にドレン抜きがあり、それを開けても
何も出ないので大丈夫と外したら高温のプロセス流体が吹き出したものです。ノーメックスの防護服を着ていたた
め幸い人的災害はなかったとのことでした。

牛山 : タンクの水抜き弁なども閉塞していて水が抜けないので、突いたら水だけでなく引火性液体が噴出したという事
故もありました。

金原 : タンクで滞留が発生した例もあります。重合の原料を一時的に保管する為、遊休のタンクを使いました。室温レ
ベルであれば重合が開始しないのですが、東南アジアの灼熱の太陽に晒されたため、南側の内液温度が 35°C
を超えて徐々に重合が開始し、タンク内が低重合ポリマーになってしまいました。一応、外部循環をして温度上昇
を抑えていたのですが、循環量が少なく、局所的に流れていたためタンク内部の混合が不十分であったのです。

木村 : 平成14年(2002年)に北海道のある会社で起こった事故ですが、重油直接脱硫装置の空気冷却器近傍で発
生したものと推定され、最初に開口した循環ガス硫化水素吸収塔 RH-V7 のバイパス配管にある開口部より水
素ガスを含む可燃性ガスが漏れ出し、漏れ出した水素ガス等になんらかの原因で着火し、爆発に至ったものと推
定されています。調査の結果、この部分の材料の化学成分、硬さなどには異常はなく、腐食により配管の肉厚が
減少したものと考えられています。また、開口部周辺の配管内面をしてみると、当該部位を含んだ約 $250 \times$
 160mm の楕円形状の範囲が皿状に著しく減肉していました。当該配管に生じた異常腐食の近傍の配管内面に付
着していた物質の成分組成、配管中の流体の成分組成などから判断して、配管中には水硫化アンモニウム(NH_4
 HS)が存在していたと考えられます。また、水分は、当該バイパス配管の立ち上がり部に設けられているフランジ
によって流体が冷却され、配管内面に流体中の飽和水蒸気が凝縮し生成したものであると、ミュレーションの結果
等を踏まえ説明されました。

三平 : 私が初めて運転した PVC プラントでは、製品スラリーのタンクは重合設備側にあり、法定距離を取った乾燥設
備にある遠心分離機へ長いリサイクルラインを使って、一部を抜く形で調節フィードしていました。流路には曲がり
や起伏が多く、停電やポンプの故障でポリマーの沈降による閉塞をしばしば経験しました。ラインの要所の解体や
水洗などによる復旧作業が大変でした。後に新プラントの設計・建設に関わった時に、スラリータンクを乾燥設備
側に置いて遠心分離機とのリサイクルラインを大幅に短縮し、ルートも曲がりを減らして設計したところ、停電があ
っても注水しながらのポンプ起動で直ぐ再スタートができました。なお重合装置からスラリータンクへは長くなりま

したので、同様にルートの特純化を行いました。

牛山 : 昔はよく無水フタル酸の工場が爆発を起こしました。この反応は気相酸化反応で、空気流中に原料ナフタレンを注入して加熱後反応器に装入するプロセスですが、途中で爆発範囲を通過することになりますので、その間に着火源があれば必ず爆発します。当初は配管のノズルなど滞留部もあり、そこに蓄積した物資が着火源となったものです。その後、高所からのフリーフローにするなど配管の滞留部を作らないように設計し直し、現在ではほとんど事故が起こることはなくなっています。

澁谷 : ドレン抜きで失敗したことがあります。間欠的に使用していた空気圧縮機のドレン抜きですが、ある冬に非常に強い寒波が来ると言うことで、凍結防止を指示されあらかじめ各部の液抜きをし、この圧縮機も一応ドレン抜きをしたものの、実際には中に溜まった水の凍結でケーシングにクラックが入ってしまったことがあります。時々しか使用しないため、ドレン抜きノズルが詰まっていたものです。ドレン抜きは誰でもするのですが、本当に液抜きができたかどうかチェックしないと痛い目に遭うということを思い知らされました。

牛山 : 凍結では私も痛い目に遭いました。水ラインは良く鑄鉄弁を使用していましたが、おっしゃるように水が完全には抜けないことがよくありますね。凍結すると鑄鉄弁は簡単に割れてしまいます。水は凝固点が零度ですが、風が吹くと2~3°Cでも凍ることがあるので気をつけておかないといけません。

澁谷 : 水はくせ者ですね。

金原 : 閉塞したのは鉄錆だったのですか。

澁谷 : はい。ケーシングは鑄鉄製で時々しか使用しないため、錆びなどが溜まっていたのでしょうか。

金原 : 時々しか使用しない機器に意外に盲点があるのですね。最近はいろいろな対策ができてきていますが、こんなところにも問題があるのだと、運転管理に注意する必要があると思いました。

澁谷 : 凍結防止などは普段見ていないところを、図面見ながらチェックしなくてはならないのですが、弁を開ければ水は抜けるものと考えていたところが甘かったと反省しました。

竹内 : その弁は空気圧縮機本体機器付きの弁ですか。

澁谷 : そうです。小さなコックのようなものです。

竹内 : 機器付の弁は小さいのが多いですから気をつけなくてははいけませんね。機器製作者は新品でしか確認していませんから、使用する側はそれに注意しておく必要があります。

金原 : そういうところは弁の交換も機器メーカー任せで確認しないことが多いので、見落としがちですね。

竹内 : 冷却水ならまだしも、クリティカルな流体を使用する場合は、機器購入の際にはっきりと指定して大きな弁にしておくことなどが必要かもしれません。昔プロセス設計をした際、購入品で注意することの一つとしてありましたね。チェックして小さすぎるドレン抜きを変更させたことがあります。

塩谷 : 省エネのために熱交換器行きの冷却水量を絞ることがありました。しかし、あまり絞りすぎると冷却水の流速が低下して、スラッジやスライムが堆積することがあります。また、冷却水を絞ることにより冷却水出口温度が60°C以上に上昇すると、更にスラッジやスライムの堆積を促進させることがあるようです。熱交換器の開放時に、冷却水側に多量のスラッジの堆積が認められた機器や冷却水出口温度が異常に高い熱交換器は、冷却水を絞りすぎて運転していないかをチェックしていました。

山本 : 安全研究会のホームページに『安全警句集』(<http://sce-net.jp/main/group/anken/anken-keiku/>)があります。そこには「行き止まり配管の状態を点検し腐食を防止」という警句が載っています。1982年に茨木県の製油所で起きた事故を取りあげています。プロセス配管に接続した安全弁の出口配管(行き止まり配管)が腐食し、プロセス流体が漏洩して火災になりました。この事故では、それぞれ配管クラス(材質や温度と圧力レイティングなど)も異なっていました。点検は重要ですが、接続する配管クラスの検討も十分注意して行う必要があります。

司会 : いろいろなお話をお話いただきありがとうございました。このような滞留部をなくしたり、滞留部に対処する方法がBeaconにも示されておりますが、皆様のご経験ではどのようにされていたかお話を聞かせください。

山岡 : 私が現役の時の話なので古くなりますが、在籍していたコンビナート事業所で、長く使っていない配管や一時的に使用しなかった配管の放置によるヒヤリがいくつか続いたので、事業所長が定期的に行う事業所全体の安全査察にこの問題を取り上げ、事業所内の全プラントを対象にこのような配管がないか総点検を行い、その後は年1回定期的にチェックをするようにしていました。これを機に、私が安全管理に携わっていたエチレンプラントでは、使わなくなった配管の撤去や一時的に使用しない設備の使用しない期間の明示を実施し、配管のデッド部分

のチェックを定期的に行うことを義務付けました。

永嶋 : Beacon の『配管の滞留部を管理する計画が必要である』というのはよく分かるのですが、化学プラントの中には配管の滞留部は数多く存在します。このため、すべての滞留部を網羅した計画管理は難しいのではないのでしょうか？ プロセスハザード分析でリスクの大きなラインを抽出して、重点管理するのが効果的のように思います。

林 : 配管の管理は設備管理の中でも管理が難しいものの一つです。広範囲で各場所で設置条件が異なり、結局部位管理を必要とします。管理すべき部位や検査方法については、多くの規格があり、KHKS0801 高圧ガスの配管に関する基準や API570、それを適用した JPI 8S-1 の配管維持規格などに詳細に記載されており参考になります。管理の業務フローは、管理対象の抽出→観測点の選定→検査方法の検討→管理の方法→検査の実施→結果の確認・分析→結果の評価→フィードバックです。抽出ではリスクの大きなプロセス配管を主体に考え、今回は滞留部の観測点を選定した後、検査方法や管理方法を検討し、実際に検査し、その確認・分析・評価をして計画にフィードバックします。

竹内 : 配管設計の際に、溜り部をなくす工夫は極力しますが、完全になくすことは出来ません。配管の耐圧・漏洩試験ではガスの配管でも水圧で試験することが推奨されていますが、試験後の液だまりが問題になります。ドレンで抜ききれない水を長時間掛けてエアで吹き飛ばすこともありました。また、バイオ関係のプラントで溜まり部をなくすよう特別な見積り要請を受けたことがあり、弁なども溜まり部の少ない特殊な弁を探しました。溜まり部があるとそこに雑菌が繁殖することがあるそうです。

牛山 : 溜まり部をなくすとなれば、極力弁や配管のフランジも付けないようにする必要がありますか。

竹内 : フランジは駄目でしたね。配管も内部はバフ仕上げでピカピカにする仕様になりましたが、受注できませんでした。

金原 : スラリー系を取り扱う場合、逆止弁など構造的に滞留が生じる場合はバックフラッシュと言って清澄液を少量流すなどの工夫で滞留や堆積を防止する手立てもあります。あとは経験的に問題箇所が分かってくるので、Beacon にあるようなフラッシングを定期的に行う方法で対応していました。ただ、今申し上げた通り、長いプラントの運転の経験で積み上げた構造の見直し、対処方法などにより滞留によるトラブルは大幅に減ったと見ております。スラリー系は装置停止時に洗浄することが重要です。

竹内 : スラリー配管のドレン抜きにはインサートを付け、溜まらないように工夫した経験があります。

牛山 : 水平配管は極力滞留部を作らないように可能な限りやや傾斜をつけ、最低部に液抜き用配管を設置するという対応をしていました。あるプラントで配管傾きの逆側に液抜きをつけてしまい、水運転の際の水が抜けておらず配管底部に溜まっていたため、スタートアップ後滞留した水のため、プラント圧がハンチングするという失敗をしたことがあります。

金原 : 話は変わりますが、最近は3D-CAD活用によるVR(仮想現実)によって配管構造などが描けるようになってきています。我々が設計した時代は、配管図からアイソメ図といって立体を斜めから見た図を表示する方法が主流でそれで滞留部が生じない構造を考慮したものでした。したがって設計力も大幅に向上したものと考えます。最近はVR をみながら現場を見回ることができるようになるなど、それにより滞留部の問題などもあらかじめ排除できるものと期待しています。

竹内 : VR は工場新設の際にも利用できそうですね。現在は現場合わせというのはなくなっているのでしょうか。

金原 : 配管はまだまだドレン弁など現場合わせが残っていますね。

司会 : 今回は、機器配管などの滞留部にかかる問題や対応策に関するものでしたが、皆様のご経験などいろいろ有意義なお話をいただきありがとうございました。実際の対応はそれぞれ異なり難しい点もあるかもしれませんが、最新の機器を駆使して対策もできてきていることを期待しています。

キーワード: 配管滞留部(デッドレッグ)、デッドエンド、腐食、凍結、ジャケット配管、設備管理、配管基準、タンク、スラリー、3D-CAD、VR(仮想現実)、通気差電池、間欠的使用、空気圧縮機、遊休品、プロセスハザード分析

【談話室メンバー】

今出善久、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

以上