

PSB (Process Safety Beacon) 2024年5月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.215) http://sce-net.jp/main/group/anzen/	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 山岡龍介)
--	--	---

配管は仕様に合っているか？
 (PSB 翻訳担当: 飯濱 慶)

司会 : 今月号は、配管に取り付けられた Y 型ストレーナーの誤った材質や不適切な取り付け方が原因で破損し、イソブチレンが漏えいして爆発、火災が発生した事故を取り上げて、配管系に取り付ける機器がその仕様に合致しているか、取り付け方法が適切かなどの問題点を指摘しています。まず、今月号の記事についての感想や疑問などありましたらお話しください。

竹内 : この事故は、2019年4月2日(火)に、テキサス州クロスビーにある KMCO 社の施設で、配管部品のねずみ鋳鉄(鋳鉄の一種)Y 型ストレーナーが破損し、イソブチレンの蒸気雲に着火して爆発したものです。KMCO 社は、委託製造請負業者として、他社の生産依頼に応じて色々な化学品を生産していたようです。CSB の中間報告では、この事故によりクロスビー工場は従業員解雇を余儀なくされ、180人以上いた従業員数は50人以下に減少した、とありましたが、最終報告書では倒産したとのことでした。

三平 : この Y 型ストレーナーはイソブチレンの貯槽からバッチ式反応器への仕込みポンプのサクシオン側に取り付けられていて、固形の異物をキャッチする役割を持っていたようです。周りがステンレス配管の仕様の中に鋳鉄製で、しかもねじ込み式のストレーナーが取り付けられていたのは、普通の化学プラントでは考えられない異様な状態だったと思いました。プラントの建設直後に異物混入によるポンプの損傷を怖れて、仮設したストレーナーがそのままになった可能性があります。本来はフランジ接続のストレーナーを取り付けるべきところを、入手できずにねじ込み式のをフランジ接続に改造して取り付けただけだったのだと思います。このプラントは2012年に他社から買っているのに、この異常な箇所は当初のものがそのまま受け継がれ、十分なチェックがなされないままに、運転されてきていたのだと思いました。

竹内 : CSB レポートに記載されているこのプロセスの反応器周りの配管系の図を見ると、この系にはポンプが2台あって1台はイソブチレンの循環ラインに、もう1台はリアクターへの供給ラインにあるのですが、問題の Y 型ストレーナーは供給ラインのサクシオン、つまり、循環ラインの下流側に設置されています。配管を流れるイソブチレンに混入している異物を取り除くためなら、循環ラインポンプのサクシオン側に設置しないと意味がないと思うのですが、もしかしたらこのプロセスで配管系そのものが大きく変更された可能性があるのではないかと考えています。

山岡 : 安全管理面から見ても、イソブチレンという可燃性の高圧ガスに類する内容物の配管にねずみ鋳鉄のストレーナーを使用しただけでなくそれをねじ込みで取り付けただけことや、P&ID の誤りに気づかなかつたり現場の配管と食い違っていることを誰も認識していなかったりするのは KMCO 社という企業の安全管理体制やその従業員の安全意識に欠陥があるという感想をもちました。

山本 : 化学プラントの配管設計で最初に行うのは、配管設計のスペシャリストが化学プラントの流体の種類や使用温度、使用圧力によって配管クラスを決め、配管クラス内で使用できる配管部材(配管に使用されるすべての材料)の仕様を決めることです。この書類は配管仕様とか配管スペック(または、パイピングスペック)と呼ばれます。配管クラスでは、配管部材の材質や配管の厚み、配管部材どうしを接続する継手、シール材などの仕様がしっかりと決められています。化学プラントの P&ID は設備仕様(配管や機器、計装システムなど)の情報が正確に集積して記載されるべきもので、設備の仕様を知りたいときは最初に手に取って見るものです。したがって、P&ID には、全ての配管に決められた配管クラスが記入されているはずで、それ以外の仕様の配管部材は使用してはいけません。問題の Beacon にある Y ストレーナーは P&ID に記載されていなかったことから、後から施工されたものと考えられます。また、施工した担当者は配管仕様の存在を知らなかったのではないかと推察できます。プラントエンジニア会社が設計した化学プラントでは、配管仕様が必要であるはずで、配管クラスで決められた仕様のもので採用すべきであったと思います。

竹内 : その通りです。私がエンジニアリング会社でプロセス設計をしていた頃は、クライアントから配管クラスを指定されることが当然のようになっていました。P&ID には配管番号を付けて、配管クラス、サイズなども併記していまし

た。まれに配管クラスの異なる接続が発生することがありましたが、どちらのクラスの配管材料でも問題がないことを確認した上で接続していました。その場合は、どこまでがどの配管クラスであるかを矢印で表示していました。

頼 : この Beacon では、P&ID 審査の重要性と審査で使われる P&ID が現場の実態と一致している事の重要性を述べていると思います。何故破損したか、何故死亡事故になったかの技術論(鋳鉄使用 & 締切りによる液の熱膨張 & 遠隔操作遮断弁なし) も大切ですが、私は何故事前の審査でそれが見逃されたのかを中心に事故報告書を読んでみました。この工場は、三平さんが述べられている様に、2012 年に KMCO が他社から買収しその後 KMCO の経営陣により保安確保を目的に計器室の統合(緊急通報設備設置) や消火設備の強化等大幅な改造がなされています。事故を起こしたイソブチレンの貯蔵タンク及び反応器への供給ラインもその一環として 2014 年から 2015 年にかけてタンクの増強とそれに伴う配管ラインの改造がなされています。

その際の配管仕様とその記載方法、維持管理方法に問題があったと思います。又同時期に大幅な組織変更(含む運転体制の変更) と人事刷新を実施して居ります(多くのライン管理者が更新された) 。経営者は保安の意識が高く会社を良くしようという高い理想をもっていたと思うのですが、現場の第一線の人たちとの意思疎通があまりとれず変更された組織が付いて行けず事故が発生、結果的に会社は破産、工場は売却され人員も 1/3 程度に削減されてしまいました。現場の実態と乖離した高い目標はやり方によっては破綻する可能性も秘めているとこの事故を見て思いました。

司会 : 今月号の事例では、可燃性物質を扱うプロセス配管に鋳鉄製の Y 型ストレーナーがネジ接続にて使用されて、それが事故に関与していますが、Y 型ストレーナーは一般に使用されているのでしょうか。使用にあたっての注意点などについて知見をおもちでしたらお聞かせください。

三平 : 計装空気の設備などユーティリティ関係によく使われていますが、セットで購入したもので、自身で設計、取付けをしたことはありません。定修時に点検、掃除をしていたと思います。

飯濱 : 私が勤務した工場では、冷却用の工業用水には河川水を使用していたので色々な異物が入っていることから受入れ配管に Y 型ストレーナーを使用していましたが、ユーティリティ以外にも可燃性液体を扱うメインラインにも Y 型ストレーナーを使っていました。もちろんこの材質は SUS304 で、前後配管との接続はフランジ接続でした。Y 型ストレーナーは一般に広く使用されていると思います。

竹内 : 確かに Y 型ストレーナーはよく使われています。ただ、容量は大きくとれないので大量のごみがある場合にはバケット型など別のタイプのフィルターを使っていました。

山本 : 通常、ストレーナーはポンプのサクシオン側に取り付けていました。大量にごみがある場合はろ過面積が大きい U 型ストレーナーとかバケットストレーナーと呼ばれるものを使用していました。

牛山 : スチームのディスク型トラップには Y 型ストレーナーと一体型となっている物がありよく使用していましたが、プロセスラインではテンポラリー以外はあまり使用した記憶がありません。山本さんと同じく殆どバケット型で、切り替え使用できるようダブルに取り付けていました。Y 型ストレーナーは異物がよく出るラインでは掃除頻度が多いのも難点ですし、ストレーナーの取り外しがフランジではなくねじ込みになっているため、洩れの危険があるためです。

司会 : ストレーナーに限らず配管系の施設で、仕様と合致しない材料や使用条件、不適切な取り付けなどで発生した事故或いはヒヤリの情報がありましたらお聞かせください。

飯濱 : 以前にもお話ししましたが、顧客の工場で定修が終了してプロセスを運転開始したとたん、ポンプ周辺からプロセス流体が漏れ出すというトラブルがあり、私が勤務していた工場で製造している特殊フッ素系 O-Ring を営業担当者が新幹線出張し手渡しリレーして届けたという出来事がありました。後日聞いたところ、誤って普通の合成ゴムの O-Ring を組み込んでしまい、運転開始後数時間でその O-Ring が破損したとのことでした。O-Ring は優れた漏れ止めパッキンですが、材質により耐久性が大きく異なるので、配管の組み立てを担当する作業者は O-Ring の材質を十分確認して組付ける必要があります。

山本 : 古くは可燃性物質などのプロセス配管にも鋳鉄製のバルブが使用されていたようですが、鋳鉄は強度が格段に低く、衝撃に脆いので、今はプロセス配管に鋳鉄製のバルブは使用されていないと思います。事故事例も古くなりますが、1973 年にストレーナーの元素の交換時に、ストレーナーの入口にあった鋳鉄製のバルブから液が

漏れるので、そのバルブを無理に閉めようとしたらバルブのボンネットが破損して約 3.5t の粗モノマーが流出し、流出ガスが爆轟をおこして工場の大半を焼失した事故例があります。1991 年に起きたもう一件の事故事例を紹介いたします。空中に配管を架け渡す架空配管で、それを支える支柱のスペンが長いことや枝配管などの荷重も加わり、鑄鉄製のバルブに応力が集中してバルブのフランジにひびが入り、内容物の重油が漏洩した事故です。やはり、危険物の配管などには鑄鉄製のバルブは使用すべきではないと思います。尚、今はスチームや冷却水などのユーティリティ配管でも鑄鉄製(ねずみ鑄鉄)のバルブは使用されては無く、強度や脆さを改善したマレアブル鑄鉄やダクタイル鑄鉄などが使用されていると思います。(事故事例の出典: 失敗知識データベース)

司会 : 配管内の物質、圧力や温度などの使用条件が変更された時に機器仕様が適正かどうかの確認、P&ID の修正などの変更管理はどのようにされていたか、事例がありましたらお聞かせください。

三平 : 私が会社に入社した頃は、海外からの技術導入によるプラント建設が多かったので、配管スペック、バルブスペック等のいわゆるエンジニアリングスタンダードは確立の途中でした。現在日本の化学会社の多くは自社内にエンジニアリング部門を抱え、技術輸出等にも対応しているので、エンジニアリングスタンダードが確立していて、プラントの建設からその後の改造等でもこのスタンダードが適切に適用されていると思います。その中で変更管理も適切になされているので、この Beacon の事例のような事故は起こり難いと思います。

飯濱 : 私の勤務先(デュポン)では、世界のすべての工場に対し安全管理規程が強制的に適用され、変更管理手続きは厳格にやっていました。特に高危険性プロセスを持つ工場に対して変更管理手続きが全社規程により綿密に規定されていて、一人の社員の思い付きで運転条件・設備・人員等を変更できないようになっていました。例えば、一部の配管経路を変更する際にも工場の PSM 委員会で必ず審議して、場合によってはプロセスハザード分析(PHA)をやり直すことも必要でした。これら変更の審査過程は全て記録され、当該のプロセスが廃棄されるまで保存することになっており、数年毎に実施される PHA の際には変更管理関係の記録を全て再点検することも義務となっていました。

頼 : 事故原因は液封・熱膨張による Y 型ストレーナーの破壊のようですが、そのラインは先に述べた 2014 年から 2015 年にかけての改造 & 増強により出来ています。このイソブチレンの供給ラインでは何度も PHA をやっています。(着工時の Sep, 2014, 完成時の Jan, 2015, 及び Nov, 2018) 特に 2018 年の PHA では KMCO 社内から選りすぐりのメンバー 8 人を集め実施されています。しかも問題の Y 型ストレーナーは 2017 年に漏れが発生、保全が修理をしていますがその情報は 2018 年の PHA には伝えられていません。原因はトップの意向とは逆に PHA の形骸化に有ったのではと思います。また、前の会社の 2010 年に、このラインは保険会社が液封による割れを心配して「問題あり」と指摘して改善を求めましたがそのままにしていたという経緯もありました。2018 年に同じ保険会社から再度同じ指摘を受けています。結果的に 2018 年の PHA では液封の可能性及び Y 型ストレーナーの欠点は指摘されず 2019 年の事故に繋がってしまいました。審査 & 指摘を受ける側に受ける準備が無いと事故は無くないと思います。私も何度か設計審査や PHA に同席していますが、受審側のチェックしてもらいたいという気持が大切だったと思っています。その様な時には必要な資料は完璧に準備されていました。

塩谷 : 私が勤務していた会社では、全ての変更工事は変更管理システムによる審議を経て実施されるため、P&ID の最新版管理はこの変更管理システムを活用していました。変更工事実施後のフォローアップの一つとして工事に伴う P&ID の変更を実施したかをチェックポイントとして設定し、工事完了後に P&ID を所管する設備管理部門と製造部門の両者が「P&ID の変更完了」の項に確認のチェックを入れないとその変更管理業務が完了しないこととし、工事に伴う P&ID の変更が確実に実施されるような仕組みとしていました。

司会 : 機器の仕様と使用条件が合致していることをチェック・確認するための有効な方法は何か、経験や知見がありましたらお聞かせください。

竹内 : それなりのメーカーの市販機器の場合、製造物責任がありますので、仕様書に記載されている使用条件は安全サイドに設定されていると思います。注意が必要なのは特注品で、材料や構造が指定した通りのものになっているのか、完成してしまうと内部を確認できないこともあるので、その様な特注品は製造途中で工場を訪問して立会検査をすることがありました。

司会 : 「あなたにできること」に述べられている事項に加えて類似事故防止のためにできることがありましたらお聞かせ

ください。

竹内 : PHAを開始する前にP&IDが現場通りになっているかを確認することが必要とされていますが、それだけでなく機器番号、機器名称、バルブ番号などの表示がP&IDに正しく記載してあるかを確認することも大切です。機器番号が振られていない小さなタンク、実態と異なる名称の機器、番号が記されていないバルブ、などがあつたら修正するべきでしょう。バルブ番号が振られていないケースはマニュアルバルブによく見られ、どのバルブを閉める/開けるかを言葉で言わなければならないので周辺に似たバルブがあると間違いかねないです。バルブ番号がきちんと示されていることが大事です。実態と異なる名称の機器が使用されるケースとしては、過去に使っていた機器を別の用途に使ったときなどによく見受けられます。前の名称のまま使った場合は、温度・圧力など運転条件が変わっていてもよくわからないまま使うことがあります。機器を流用する場合は仕様や名称の再確認が必要です。

飯濱 : ただいまの竹内さんのコメントと関連しますが、今月号の記事の「あなたにできること」の中に『PHAを始める前にP&IDが正確であることを現場で確認すること』とありますが、この確認作業をどのように行うかが大事です。現場の配管は複雑で、歩行通路から死角になる箇所も多く、間違いなく確認するのは手間暇のかかる大変な仕事です。実際に行くときは一人や二人ではできません。私の勤務先ではPHAチームを作り、リーダー役、現場をよく知っている運転課の職長と班長が2人、保全部門の機械系と計装系の担当者、保安部問の担当者などで構成するチームでP&IDと現場配管や機器類を照合してゆきます。だいたい丸1日かかるイメージです。このくらい厳格に行わないと本当の確認はできないと思っています。P&IDが現状を正しく反映していないと、それを基にしていくらHAZOPやWhat-Ifなどをやってもほとんど意味がありません。

竹内 : 私がエンジニアリング会社に勤務していた頃の経験ですが、顧客の設備管理の部署は工務部門と保全部門に分かれていて、工務部門がP&IDを厳格に管理していました。工務部門の人と現場を歩いていたら、その人が見たことのない配管があるのに気づき、調べたら保全部門の人が勝手に設置したことがわかりました。部門が分かれていても何か工事をしたら、P&IDの修正を徹底する体制とすることが重要だと強く感じました。

山本 : P&IDのチェックで特に注意しないといけない一つに、メイン配管や配管ヘッダーからの分岐配管の並びの順番がP&IDと実際の配管とが合っているかどうかです。順番が異なっている場合は、P&IDだけから判断すると目的の配管ではなく、別の配管を特定してしまう可能性があります。P&IDと実際の配管の順番を一致させることと、工事などでは、P&IDだけの判断ではなく、実際にラインを追って確認する必要があります。バッチ設備では分岐配管が多いので特に注意が必要です。

司会 : その他今回の事例に関連していままで触れられていない参考になる点がありましたら、お話しください。

竹内 : 一つお聞きしたいのですが、配管スペックを作る時にプロセス流体がどういうものなのか、温度や圧力などの運転条件はエンジニアリング会社でも想定できますが、例えば化学物質の腐食性などはエンジニアリング会社ではよく分からないのでクライアントが出してくる配管スペックをあてにして設計します。皆さんのところではマテリアルエンジニアの人が配管スペックの作成に携わっていましたでしょうか。

飯濱 : デュボンに入る前に特殊ポンプを設計・製造する会社で勤務していた時の経験ですが、大手エンジニアリング会社からプラントの基本仕様をもらってそれに合致するポンプをユーザーに提案する仕事をしていて、「この用途には、こういう材質でこういう配管規格を使うことをお勧めします」と言い方をするのですが、一番困ったのはユーザーが流体中の成分を秘密だからといって言わないケースでした。こちらで色々推定しながら禅問答のような会話を繰り返していただいていたのがつかめたので提案に至ったことがありました。必要な情報が得られず苦心したことを覚えています。

三平 : 私のところでは早期にエンジニアリング部門が別会社となり、自社プラントの新設や改造、及び国内外への自社技術のプラント輸出をずっと手掛けています。エンジニアリング会社側のプロセスエンジニアはごく少数で、工事の際はプラントオーナー側の工場の製造部門や技術部門からプロセスエンジニアを出すとともに、プロセスの諸データを掌握しています。実際の工事では工場側にプロジェクトマネージャーに置き、プロセス関係を掌握するとともに、土建、機械、配管、電気、計装の設計・工事を掌握しているエンジニアリング会社側の実行組織と密接なやり取りを行って進めて行きます。古くから保有の自社技術のプロセスデータは整備されています。配管、バルブ等のスペックは初期にエンジニアリング会社が整備し、逐次改定が行われています。それらは各工場の保全部門や製造部門も使っているので、工事で問題が起きたことはありません。

- 山岡 : 私のいた工場では運転管理部門の中に技術グループがあって、そこでプロセス流体や流体に含まれる不純物などの特定、物性の把握もできていたので、配管の材質選定やスペック作成に困ったことはなかったと思います。
- 牛山 : 私はプロセスオーナーの立場で建設した例が多く、ほとんどの配管スペックは自分たちで決めていました。ただ、腐食によってもたない配管が出たときなど、我々にはわからないときなどにはエンジニアリング会社の知見を借りたりアドバイスをもらったりしたことはありました。新規プロセスでは、事前の試験では短期間の促進テストしかできず材質選定が難しいケースもあり、実際の運転で確認せざるを得ないこともありました。
- 竹内 : 今回の Beacon の事例では事故を起こした会社は他社から生産を委託されて生産している工場ということなのでこの工場の設備が、委託された製品の製造にふさわしい配管スペックかどうかのチェックが非常に重要だったと思います。委託する側が適切な情報を提供しないと、受ける側は正しくチェックできません。
- 林 : 配管スペックとのチェックですが、そもそもの配管スペックが正しく維持されていることが基本です。日本の各企業は改善のための改造や改修を多く行っており、配管スペックの修正が必要な場合があります。経験では配管スペックは設計基準や保全基準、またはプラントの個別の基準の一つとして管理されていました。基準の委員会が組織され、全社基準では技術所管の役員、事業所基準は事業所長が長となり、権限を委譲された設備管理部門長が責任部署として委員会を招集、制改定の見直しを 1 年毎に行い、配管スペックの変更は委員会の審査、承認が必須という管理でした。次に P&ID が正しい最新版であることが必要ですが、配管スペックの変更や多数の改造・改修に対する管理がたいへんで、かなりの時間と費用を予算に組み込むことが要求されます。それらを基に現場の配管が配管スペックや P&ID どおりになっているかのチェックが行われなければなりません。今回の Beacon では現場の配管と P&ID の比較確認が必要であるとのことですが、全体を網羅するモチベーションがなかなか難しいのではと思います。チェックは、毎回の定修で、P&ID を基に洗浄作業の確認、さらには、スタート前の配管ラインチェックをしている筈で、この際に見つけた違いを修正することが正しい維持の担保になると思います。
- 頼 : 先に PHA で使われた P&I が現場の実態とずれていたと述べましたが、同様の事が統合計器室に設置された緊急通報設備に関してもあったと事故報告書には書かれています。漏洩発見時に運転員は緊急連絡に“同僚との連絡用無線ラジオ”を使用しています。このため運転関係者以外に異常事態が伝わらず多くの被害者を出しています。(別の運転員曰く:緊急通報システムは通報訓練用の使い方は知っているが一毎月やっているので一実際の事故発生時にはどのボタンを押せばよいのか分からない)。冒頭に述べた様に経営者は保安安全第一に色々な施策を実施されているが、現場には魂が伝わっていなかったのが実情だと思いました。この様なトップと現場との意思疎通不足の発見には監査役の役割が大きいと思います。(PSM の監査 Sub-Management でも良いが)。この機能が不足していた為、トップの想いが末端まで伝わらず悲劇的な結果になったと思います。
- 山本 : 話は変わりますが、過去の Beacon(2003 年 5 月)を検索すると、鑄鉄に関わる変更管理の内容のものがありません。鑄鉄製のギアボックス内にあるオイルの排出を早めようとしたアイデアで、ギアボックスにエアホースをつないで加圧したところ、ギアボックスが破裂したというものです。鑄鉄製の強度については、今まで皆さんが議論された通りですが、変更管理に関しては、「変更管理を無視したときには、“名案”も悪い結果になり得る」とあります。職場の改善は励行されるものですが、新たなリスクを持ち込まないように変更管理の手続が必要だと思います。
- 司会 : 今月号は配管本体を含む配管系に使用している機器が決められた仕様通りになっているか、適切に使用されているかが主なテーマでしたが、皆さんの実経験や知見にもとづいた貴重なご意見をお寄せいただきました。現役で実務に就かれている皆さんに大いに参考になるとと思います。ありがとうございました。

キーワード: イソブチレン、Y ストレーナー、機器の仕様、配管設計、配管スペック変更管理、P&ID、PHA、PSM、エンジニアリングスタンダード、ねずみ鑄鉄、ネジ込み式、KMCO 社、

【談話室メンバー】

安喜 稔、飯濱 慶、今出 善久、上田 健夫、牛山 啓、木村 雄二、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、林 和弘、春山 豊、松井 悦郎、三平 忠宏、山岡 龍介、山本 一己、頼 昭一郎、