

PSB (Process Safety Beacon) 2024年7月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.217) https://sce-net.jp/main/group/anzen/	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 竹内亮)
------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------

P&ID は現状を反映しているか?

(PSB 翻訳担当: 林 和弘)

司会 : 今月号は、5月号と同じY型ストレーナーの破損から大量のイソブチレンが漏洩した事故事例を基にしてプロセスハザード分析の際のP&ID(配管計装図)の重要性について述べています。事故の内容は5月号と同じですが、初めて談話室を読まれる読者の方たちのために、簡単に事故の概要を説明して頂きますか。

竹内 : 5月号と同じような説明になりますが、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、配管部品のねずみ鑄鉄(鑄鉄の一種)製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ました。CSBの最終報告書では、この事故によりクロスビー工場は倒産したとされています。Beaconにもありますように、この設備のプロセスハザード分析を行った時に使われたP&IDには破損したY型ストレーナーが描かれておらず、このストレーナーの持つハザードが検討対象にならなかったことがこの事故の一因です。

頼 : この会社はトップが保安確保に熱心でプロセスの改造、設備改造、PHAの実施等を具体的に指示していた様ですが、組織の細部にまではトップの眼が行き届かない事を示した事例と思います。最近の日本の自動車会社の品質トラブル事例もそうですが、運営ルールを細かく決めて守らせる事も大切ですが、第一線から意見が上がり易い、仕組み作り・雰囲気作りが大切と事故報告を読んで感じました。

山本 : Y型ストレーナーの材料(鑄鉄)的な脆弱性に加えて破損原因とされる液体の熱膨張ですが、液体が空間部のほとんどない密閉された配管内に充満されると、温度上昇により液体の体積が増加し、配管内に膨大な圧力を引き起こします。その現象を防ぐために、例えば、飲料用のガラス瓶に液体を充填するときには、ガラス瓶の7%~10%の空間を設けます。これは液体の体積膨張を吸収して、圧力の上昇を抑えるためのものです。配管設計時には、このような液充満部分を作らないような配慮が必要です。一般的な対策としては、密閉状態を引き起こすバルブなどを取り除いたり、配管の一方のバルブの開放やシャットダウン中に密閉配管から液をドレンする手順書を作成して運用で対応したりします。どうしても、液体が密閉された充満部分ができる場合には、逃し弁などを使用し、膨張した液体を逃がす必要があります。今回の例とは違いますが、熱媒の加熱循環配管を設置する場合は、配管内の熱媒の熱膨張を吸収するために膨張タンクを設置します。

司会 : 5月号にも取り上げた事故ですが、この事故について感想をお待ちの方はいませんか。

三平 : PIDに記載がなかったというY型ストレーナーは、継手がラインスペックとは違うねじ込み式が使われていました。5月号を一読した時に、最初のプラントオーナーが設備を立ち上げる際に、溶接スラグなどの工事残渣からポンプを保護するために仮設したものが、そのまま本設になり、新しいオーナーも継続使用していたのではないかと思います。定常的に異物をキャッチするストレーナーが必要であれば、開放、点検、掃除ができるように前後弁と残液抜き出し弁が必要になり、頻度が大きければダブル化しなければなりません。イソブチレンの自然重合性はそれほど高くなく、原料系から持ち込まれる異物がどの程度あるか分かりませんが、通常は不要ではないかと思います。新設プラントの建設後の試運転で、ポンプの吸入側などのフランジ部にコーン状の金網を溶着したオリフィスを挟み込んで水運転して異物をキャッチしていました。最初のプラントオーナーが同様な発想で設けたものだったのかもしれませんが。

塩谷 : Beaconにはポンプ前後のバルブが閉まっていて液封状態になったために事故が起こったとされていますが、4500kgものイソブチレンが流出したのは多すぎるように感じています。

竹内 : CSBの報告書によれば、一度の液封でY型ストレーナーが破損したのではなく、液封状態での温度上昇が繰り返されたことにより、不適切な材質のY型ストレーナーが徐々にダメージを受けて、ついに破損したとのことですが、Beaconではポンプのサクシヨンボール弁が閉じていたように説明されていますが、実際はサクシヨンのバルブは開いていて、その隣の逆止弁が液封に寄与したと理解できます。流出量はイソブチレン貯蔵タンクの貯蔵量が

減少した量から推定されたものでした。

塩谷 : 分かりました。また事故報告書を読むと、チャージポンプの吸入配管と吐出配管に設置されているアクチュエータ付きボール弁は制御室から遠隔操作するものではなく、現場にて開閉操作を行うタイプようです。イソブチレンの放出によってチャージポンプ廻りに近づくことができなかつたため、チャージポンプの吸入側ボール弁の閉止操作を行うことができず、放出量が拡大してしまったようです。

牛山 : 2点ほど気になることがあります。一つは液封のエリアにレリーフ弁があるのですが、ポンプのサクションに戻したのでは液封防止としては意味がないと思います。本来はタンクに戻すべきですね。何度も PHA をやったとのことですが、見落とされていたと思います。もう一つは、ねじ込み接続が問題視されていますが、今回の事故とは直接関係ないように思います。事故報告書の図ではねじ込みの両端にフランジが溶接で付けられ、ねじ込み自体の問題は解消されておりますので、Beacon ではそれにとらわれすぎだと感じています。

竹内 : 私も同感です。特に今回は P&ID が現場の状態を正確に表示していることが大切であると説明しているのに、なぜか危険性のある用途で口径の大きな配管の接続にねじ込みを使ってはならないことが強調されすぎていると思います。この危険性を物質の物性を指しているのか、温度・圧力条件を指しているのか、それがどの程度のものなのか、などもあいまいな表現だと思います。

頼 : このプロセス改造は反応器の近傍にあったイソブチレンタンクを、保安上の観点から遠くに移設・増強する事により生じたと報告書には書かれています。以前は図1のチェック弁のすぐそばに小型タンクがあったと思います。その時にはリリーフ弁の戻りはタンクだった可能性も考えられます。大型タンクの新設(ローリー受入からタンク貨車受入)に伴い新たにポンプと循環ラインが敷設され、PHAの指示があったが、現場は PHA の対象に既設ライン及び反応器を含めなかった、又は既設部分を簡易表記していたのではと考えると牛山様の疑問も、Y型ストレーナーがPHAで用いたP&IDに無かったことも解けるかもしれません。あくまでも私の勝手な推定ですが、現場が PHA に前向きでないと起こりうると思います。新設のタンク及び循環ラインの PHA でも反応器への供給ライン及び反応器の受入弁、関係弁も含めねばならない事は当然ですが、PHAを受ける側の意識にやられ感があつたのかもしれない。この工場のような加工混合型の工場での PHA のやり方に対する反省として受け止めたいと思います。

司会 : この事例では、P&ID の管理がきちんとできていなかったことが重要な事故の要因とされています。皆さんのところでは P&ID の管理はどのようにされていますか。

頼 : P&ID 最新版の管理責任を社内のどの部署が負っているのが重要と思います。プロセスによりませんが、大規模プラントになると P&ID も複雑で、PHA の実施前に確認するのも大変だと思います。私の経験では、生産現場は毎日の運転管理用には P&ID を使わずに、運転用の簡易 PFD を作成し使用していた事例もありました。その場合、P&ID は設備技術部門が管理していました。PHA が外部の委員と運転現場だけだと事例の様な事が起きる可能性は有ります。

竹内 : 昔、自分が P&ID を描いていた頃はトレーシングペーパーに鉛筆書きで、青焼きを取っている時代でした。改造などかあると1枚に描ききれなくなり苦労したのですが、今は CAD で描くのでその辺の苦労はなくなっているかと思いますが、現役の方、教えて頂けますか。

安喜 : 自分はその仕事の担当ではありませんが、CAD を利用するのでレイヤーを使ったり、シートを増やしたり、簡単にできるようになっていると思います。

三平 : コンビナートを形成している日本の大手の化学プラントで P&ID をフルで活用するのは、毎年あるいは複数年に1回行う定修の前から後までではないでしょうか。定修前には補修、改造、増設等の検討のベースを把握するとともに工事や補修に必要な部分を図面に追加し、修正を行います。プラントの停止前後には作業に入るための抜き出し、置換作業を徹底させるため、修正前の P&ID を使ってラインチェック等をしっかり行います。定修中には修正後の P&ID を元に作業標準書の修正を行い、オペレーターに教育します。定修終了後には、修正後の P&ID を使って必要な置換、原料導入など、プラントのスタートに必要なラインチェックの作業を徹底して行います。実際にはオペレーター2人1組で P&ID を持ち、ラインや機器を追いながら、問題がないか徹底してチェックしています。この時に P&ID の記載ミスに気付いて修正しています。

林 : P&ID の管理については、殆どがマル秘となる書類であり、最新版の責任部署は製造部門となっていました。た

だ、図面管理や CAD のデータ管理は設備管理部門が担っていました。図面の修正対応は製造部門の依頼により設備管理部門が行うというスキームです。最近では電子化が進んでいて CAD 化されているものが殆どです。簡易 CAD や Drawing Soft で修正が容易ですが、最終版の管理は登録された図面番号で行い、野良の発生に伴う誤りが無いように管理していました。さらに最近では 3D CAD で現地の状態を確認できるようになってはいますが、改造や修正に伴う修正管理は、3D レーザースキャナで取得した点群データを利用することで、比較的簡単に 3D のみでなく 2D の図面にも反映できるようになってきています。点群データは、空間内の点の集合体で、座標や色、輝度情報などを持っています。

三平： 私は入社後製造部門に長くいて、オペレーターを経験後にプロセスエンジニアとなって多くのプラントの新增設に関わりました。初期に長く手掛けたプラントでは、プラント中枢部の改造や新設で P&ID の原案を自身で作図し、エンジニアリング部門へ示して最初の検討用図面を作ってもらっていました。図面台のペーパーにシャープペンシルを使って作図していて、細かい修正作業が大変そうでした。P&ID の管理責任は林さんが言われるように工場の製造部門にありますが、実際には原紙を保全部門の管轄下に置いていました。定修などでエンジニアリング部門が図面を頻繁に使うので、部門の分室を保全部門に隣接して設置していました。

牛山： ところで、皆さん、仮設配管は P&ID に反映していたのですか。

三平： そういうものは、非常作業として現在の変更管理の形で処理して、P&ID には反映していなかったと思います。

今出： 私たちも変更管理の一時的措置で管理していました。変更箇所は P&ID のコピーに記載して変更管理の書類に添付していました。なお、仮設配管は撤去して初めてその措置は終了となります。一時的措置で特に重要なものは措置の期間を決めておくことです。期間内に終了できない場合には改めて変更管理を申請することになっていました。

林： 仮設配管であっても危険物の配管は消防に報告が必要です。従って期間も指定されるので、きちっとした管理がなされていると思います。そうでないものは、やはり変更管理などで対処していたと思います。

安喜： 危険物配管は法的に規制されていますが、毒劇物の配管はそのような規制がないので、会社として管理をしつかりする必要あると感じています。

竹内： それは大切ですね。危険な化学物質などを扱う仮設配管は撤去の際にも作業員が被災しない様に気を付けて作業安全分析をしておく必要があると思います。毒劇物もそうですが、昨年 6 月に新潟県のある工場で撤去しようとしていた時のことですが、配管が長すぎるといことでセーバーソーを用いて切断中に配管の内面に付着していた物質が爆発して 1 名が死亡、2 名が負傷するという事故が発生しています。この事故は仮設配管の撤去ではありませんでしたが、仮設であっても同様な注意は必要です。

司会： プロセスハザード分析の際に P&ID 以外に情報が不足して困ったことはありますか。

林： ヒューマンエラーを誘発する複雑な配管や弁の配置、デッド部や配管中の溜まり部、計測器の位置や自動弁の現場ボタンの場所など現場確認が必須でした。Beacon にもあるように現場確認が大切です。また腐食発生部や気液混相部のエロージョンの検討では配管スプール図が必要でした。

牛山： 林さんのご意見に同感です。P&ID ではバルブの高低などの位置関係とか配管ルートなど、分からないことも多くあります。配管スプール図は必須ですね。

竹内： 設計時に思っていた通りに工事ができなくて、図面と異なる位置関係になってしまった、ということも多々あります。工事後に図面を正確に修正することが大切ですが、手間暇の掛かる作業で、修正忘れも発生しやすいと感じています。

牛山： P&ID にも傾斜を示してはいますが、実際の配管の高低は分からないので、液溜りが出来ても把握できません。液抜き弁を付けていたのに一番低い位置についておらず、液を抜け切れなかったという失敗もありました。ベント抜きでも同じことが言えます。

林： 腐食や気液混相流の問題だとか、配管管理のベースとなるのが P&ID と EFD でした。それを補完するものとしてスプール図は必須でした。

山本： 元いた会社では、プロセスハザード分析とは呼ばれていませんでしたが、同様な活動として、設備安全審査を実施しています。設備安全審査では、設備の計画段階の一次審査から、設備の詳細仕様を決定した二次審査、設備完成時の現場審査の三次審査まで実施しています。尚、一次審査が終了しないと稟議書が作成できない規

則になっています。多くの審査書類が必要なのは、やはり、詳細仕様を記述した書類を用いて行う二次審査においてです。この時に不足するのは、メーカーに発注している機器の安全に関わる書類です。安全審査に必要となりそうな書類は、発注前の見積時に、メーカーと提出の取り決めをしておくことが重要となります。

竹内：特に安全弁などの計算書は PHA で確認が必要ですが、エンジニアリング会社は完成図書に計算書を入れないことが普通でした。そのため、見積依頼書に安全弁の計算書を提出するように書いておくことが大切でした。

司会：P&ID を含めプロセス安全情報は常にアップデートされていることが求められていますが、人が関与することでするので、抜けや間違いもあるかと思えます。実際にはどの程度出来ているのでしょうか。特に注意していたことはありますか。

林：5月号でも P&ID が正しい最新版であることの重要性を取り上げましたが、多数の改造・改修を重ねてきており配管スペックの変更を含め、変更の管理にかなりの時間と費用を予算に組み込むことが要求され、会社としての姿勢が求められます。変更管理で、都度、即時に修正することが最新版維持の基本です。さらに正確な P&ID は、現場の配管との比較確認が必要で、かつ全体を網羅せねばなりません。経験では、先程の変更管理の他、毎回の定修で、P&ID を基に洗浄作業の確認、さらにスタート前の配管ラインチェックの際に見つけた違いを修正していました。

三平：私たちが定修の際にしっかりした体制を組んで、抜けのないようにアップデートすることが大事だと思います。

竹内：2004年に米国カリフォルニア州ウォルナットクリークでガソリンのパイプラインを破損して爆発・火災が起きていますが、埋設配管が図面通りに敷設されていなかったことも原因の一つになっていたと思います。ただ、埋設配管は埋めてしまうとどこを通っているかを確認できなくなるので、写真を沢山撮るなどしてできる限り正確に記そうと努力していました。それでも、埋めてしまったところを通っているか不明瞭になってしまうことがありました。

牛山：埋設配管の場合はどこを通っているかを表示する杭などがありますね。そのようなマーキングを地上の工事の際に外して、工事後に元に戻すときに場所がずれていた為、後日の工事で実際に掘ってみたら違っていたということがありました。埋設配管のマーキングはきちんと管理しておかないと危ないですね。

竹内：ウォルナットクリークの事故のケースでも、設置当初はマーキングがされていたのに、管理されていなかったため、標示が地面に埋まっていたと記憶しています。ところで、他に変更管理で注意が必要なこととして、言っておきたいことがあります。「同種の置き換え」だとして、変更管理の対象とならなかった場合も、本当に同種であったかを確認することが大切です。一見、仕様が同じであってもメーカーが異なったり、型式が変更されたりしていることがあります。

司会：プロセスハザード分析の際に、プロセス安全情報の間違いによるハザードの見落としをしないように、何か工夫をされていましたか。

林：マトリクスでプロセスの各工程を横軸に、検討事象を縦軸に取り、該当があればリスクを評価し対応策を検討する危険源を特定する活動をしていました。縦軸の検討事象は、今回の液封の他、暴走反応、過去に発生したトラブル・事故、他社の事故などどれだけ抽出できるかが網羅性の肝になります。

竹内：Beacon にもあります様に、プロセスハザード分析をする際には現場に行ってみることが大切だと思います。それは P&ID が正しいかだけでなく、現場でオペレーターの方たちが実際にどのように作業をしているかを見ることができます。設備が正しく使われていないことや、彼らが何に困っているのかと言った話を聞くことも大切です。最近の Beacon にも計器があてにならなくて使われておらず、事故になったケースがありました。

山本：設備安全審査の中の一つの作業として、基本設計や詳細設計、試運転前の段階に対応した「安全性評価表」という安全に関わる確認事項と、それに対する当事者による回答を記載した書類を用いて、設備に対する安全対策が充分かどうかの確認を行っています。そこには、必要な書類や最新の P&ID が揃っているかどうかの確認事項も記載されています。一般的なプラントに適用できるもので、確認事項も多くて対象の設備に合わない部分もありますが、必要な部分だけ選択して運用しています。

司会：その他、プロセスハザード分析の際に気を付けていたことはありますか。

頼：プロセスハザード分析の結果を伝承する主体は実際に運転する製造現場でなければならないと思います。指摘

結果に基づき設計変更&工事をするのは設計&工事部門ですが、それに基づき運転手順書を改訂し、運転員を教育し、以降永く実行するのは運転現場ですのでこの部門の理解と伝承が一番大切だと思います。最近、現場力低下が、特に運転管理職のレベル低下が言われていますが、プロセスハザード分析の結果を活かす為にも気になるところです。

今出： PHA では Revalidation つまり定期的再評価が求められています。その時に現場や関連部門の方々が参加することが重要です。自分たちのプロセスの危険性とその対策について改めて知る機会になると共に、技術の伝承手段としてもとても有意義だと思っています。

牛山： プロセスを開発したときに、開発部署が把握していた副反応などが直接の設計には関与しなくても、どのようなことが起こり得るかといった情報を現場に提供してもらうことが大切だと思います。それが出来ていなくて事故になったという事例がありました。イタリアの有名なセベソの事故では、週末設備休止中に、副反応でできたダイオキシンが大量に放出され大被害が生じました。作業員の操作ミスにより高温で放置されていたのが問題でしたが、本製品 TCP からできるダイオキシン生成副反応は 230℃以上で起こるとされていたのに対し、実際には反応温度約 160℃に近い 180℃で起こっており、プロセス自体が非常に危険なものでした。

安喜： 副反応関係では、私も苦労したことがあります。特に不純物や熱的安定性の問題で評価実験ができない場合に困ります。そのときに ASTM が出している解析ソフトで CHETAH というものがあり、構造式から算出してハザードの把握を行ったことがあります。 <https://www.astm.org/jte20160081.html>

木村： リスクアセスメントではリスクアセスメント・リーダーを育成するといったことが行われていますが、プロセスハザード分析ではそのような人の育成についての話があまり聞かれませんか。実際にはどのようにされているのでしょうか。

竹内： 私たちの会社ではプロセスハザード分析をするときは、ファシリテータとチームリーダーが必須でした。ファシリテータは必ずしもそのプロセスに詳しい必要はなく、PHA が正しく実施されるようにチームを導く役割です。一方、チームリーダーはプロセスのことを知っていて、その PHA で使うツール、つまり HAZOP とか What-if、リスクマトリックスなどを適切に使えることが求められますので、その知識を得るために事前トレーニングを受ける必要がありました。ファシリテータもチームリーダーも初めは、使用するツールを熟知すると共に、チームを導くための話し方なども含めてトレーニングを受けた上で認定されます。

飯濱： 木村さんのご質問は、この種の活動を効果的に進める上でとても重要です。私も竹内さんと同じ会社に勤務していたので、リーダー育成について少し補足しますと、リーダー候補者は5日間の社内講習を受けることが事実上の必須要件でした。また、個別事業所のプロセスハザード分析チームに参加するメンバーには、分析活動の前に「プロセスハザード分析とは何か、どのように行うのか」のような教育を行うことが規定により義務付けられておりました。さらにリーダー候補者が本当のリーダーとして認定されるまでには、認定済みのリーダーの下で少なくとも3回の実務的プロセスハザード分析活動の経験が必要としていました。リーダー養成には手間暇を相当かけることになり、工場長や経営陣はそれで当り前と受け止めていました。

司会： 本日は、「P&ID は現状を反映しているか?」というテーマから始まり、最後はプロセスハザード分析のチームリーダーやファシリテータにまで話題が発展しました。プロセス安全管理が法制化されていないわが国では、未だプロセスハザード分析も試行錯誤で行われている企業も多いのではないかと思います。皆様のご意見が読者の方たちの参考になることを期待しております。ありがとうございました。

キーワード:P&ID、Y型ストレーナー、プロセスハザード分析、熱膨張、PHA再評価、変更管理、プロセス安全情報、3D CAD、3Dレーザースキャナ、野良の発生、解析ソフト CHETAH、リスクアセスメント・リーダー、ファシリテータ、

【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、