

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2017年8月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の <b>安全談話室</b> (No.134) <a href="http://www.sce-net.jp/anzen.html">http://www.sce-net.jp/anzen.html</a></p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:山本一己)</p>
<p style="text-align: center;"><b>今月のテーマ: 無防備な配管</b> (PSB 翻訳担当: 中村喜久男、山本一己、竹内 亮)</p> <p>司会: 今回の事故は、テキサス州、フォルモサプラスチック社(以後フォルモサ社と略)のオレフィンプラントの製品ラインに設置したストレナーのドレン弁に、フォークリフトが牽引していたトレーラーが衝突して、配管の切断によりプロピレンが放出し、蒸気雲が着火して大火災が起きた事故です。状況をより詳しく把握するため、US Chemical Safety Board (CSB)のホームページにある、この事故についてのアニメーションビデオとケーススタディから引用したプラントとフォークリフトの位置関係(図1)、フローシート(図2)を添付しました。今回は、事故の要因分析から事故を防止する対策、事故が起きてしまったときに被害を局限化するための多重防護の考え方など広い視点で指摘してください。まず、フォークリフトや他の輸送機器、重機などが引き起こした事故についてお話し下さい。</p> <p>竹内: フォークリフトは通常の車両と異なり、後輪が操舵輪になっているため、前進中にハンドルを切ると後輪が外に膨らみます。慣れていない人が自動車の様な感覚で運転をすると、ぶつけてしまいます。事故事例として、聞いた話ですが、免許取得のために社内で教習をしていたときに、未熟な運転者が教官係の人にフォークの爪を刺してしまったとのこと。即死だったそうです。</p> <p>澤: フォークリフトによる事故は多いですね。フォークの爪部分を足場代わりに使って、高所作業を行うなど正常でない使い方で事故を起こすケースも報告されています。</p> <p>竹内: 以前、「職場の安全サイト」で見かけた事例ですが、リモコンでフォークリフトの爪を上下することができるタイプものを使用し、パレットに乗って一人でシャッターを修理しようとしていた人が、誤って上昇させ過ぎてシャッターとパレットに首を挟まれてギロチン状態になった例がありました。一人作業だったため、詳しい状況が分からなかったとのことでした。</p> <p>三平: 確かにフォークリフトの事故は多いですね。ポリ塩化ビニル製品は袋詰め形態も多く、パッキング後に1トンを載せたパレットを倉庫の中で3-4段に高く積み上げていました。積み上げの操作は慎重にやるので崩れた例は見ませんでしたが、バックする時に柱や物に車体をぶつけるケースは見ました。その場にリフト作業員以外の人がいないようにしなければなりません。プラスチックフィルム工場でも原料やロール巻き製品の移動に頻繁に使っていました。倉庫よりも周辺が狭いので、バックする際にぶつけたのをよく見ました。</p> <p>澤: フォークリフトではなく天井走行の移動式の自走クレーンの事故の話ですが、中国の工場メンテナンス時に大きな回転軸をつり下げ、車に乗せようとしたとき、荷物が落ちてトラックが大きくへこんだことがありました。長尺物の玉掛け作業で二点吊りにしたのですが一方のワイヤー巻きつけが一重かけでクレーンが急に停止したとき振り子のようにふれ滑って外れ、荷物が一方のワイヤーのみで釣る状態となって大きく振れてすり抜けた事故でした。幸い作業員が慌てて荷台から飛び降りたため負傷者はいなかったのですがとんでもない事故が起こってもおかしくない事故でした。</p> <p>三平: 私も工場で重機の事故が起きたのを見たことがあります。フックのワイヤーがスリップして、フックが冷却水ポンプのモーターの上に落ちてきて、結線部を直撃したために反応が緊急停止しました。重機を扱う業者側での機器の整備状況および運転操作者の技量の確認が大事です。実際の吊り降ろし作業ではフックにワイヤーを掛ける玉掛け作業員との連携が重要です。</p> <p>竹内: デュポンではクレーンを工場へ入れる時はアウトリガーの位置、つり荷の重量とブームの角度など、詳細な計画を立てることになっています。私が管理していた工事で、フックに掛けるスリングをワイヤーに交換しようとして、何も吊っていない状態で旋回した時に、フックが街灯に命中したことがありました。荷を吊っている状態は細かく計画していたのに、吊っていない状態での動きを検討することが不十分でした。</p> <p>司会: 次に、工場内でのフォークリフトなどの車両や重機の運用について、事故を防止するためのルールや管理をしていた事にどんなものがあるかお聞かせ下さい。</p> <p>井内: メンテナンス等の運転中工事の基本はプラント内には重機を入れないことです。もし、重機が必要な場合は、まずリヤカー(数100kgぐらいならば搭載して移動できる)とチェーンブロックでできないか検討することです。どうしても重機を使う工事のときは、立ち合い人を必ず置き監視することです。今回のBeaconのようにプラント内でのフォークの移動は、運転中工事に準じると考えられるので、立会人なしの自由な通行が許可されているのは考えられないですね。</p>		

竹内:埋設配管がある場所は、見た目では分からないので、重機の搬入には気を使いました。重機を通過させて良いルートを指定してやらないと埋設管を潰される危険がありました。

井内:クレーンが通るときは鉄板を敷いていました。カバーできないときには、最後は人間がチェックすることを忘れてはいけないと思います。また現場での溶接工事などの火気作業では、防火シートで周囲を覆い、必要なら散水を行って火の粉が防火シートの外に出ないように監視人の常時立ち会いを励行することも重要です。

牛山:工場では杭をうってプラント内へは車両が入れないようにしていました。この事故のように、プラントに関係ない車両が運転中のプラント内に自由に入れるとしたら、この会社は少し杜撰だと思います。通路のマークもしていなかったようですね。CSB のレポートでもあまり車両進入制限の記載がありませんので、米国では一般的であった懸念はありますが。

三平:出身会社の工場では定修時を除いて製造プラント内へは車両が入れないようにしています。通路の入り口に「ウマ」と呼ぶ大型の遮断具を置き、進入禁止の表示板で明示しています。稼働中のプラント内へフォークが自由に行き来するのは信じられません。

齋藤:日本では石油精製や危険物を取扱う化学コンビナートの連続プラントではフォークリフトとか重機は入れないのが普通ですが、医薬品中間体や農薬などのファインケミカル製品を製造する中小規模の化学プラントではバッチ運転の装置も多く、原料の搬入や製品の搬出などプラント内でのフォークリフトの利用を前提としています。プラントはその前提のもとに設計や施工がなされており、私の経験では9年間このような事故は日本の工場でも中国の工場でもありませんでした。

竹内:エンジニアリング会社でマルチパーパスプラントを研究していたことがあります。多くのマルチパーパスプラントはバッチプラントの形式をしており、目的製品により反応器に様々な原料を投入します。粉体原料をマニュアル投入することもよくあります。この様な工場では、フォークリフトで原料を架台上に揚げて、作業することが少なくありません。連続プロセスのプラントとは、かなり異なるオペレーションです。

渡辺:塀とかパイラックの基礎にフォークリフトをぶつけた跡はいくつも見られ、倉庫内でも製品の梱包に穴を開けたり、段積みを倒したりした例には事欠きません。人間はどうしてもミスをするので、重要なところの保護柵は必須であると思います。フォークリフトは公的な技能講習終了で運転できますが、更に運転技能を高めるために、社内では、技能競技大会を開催したり、社内免許制として技能試験を定期的に行っていました。構内の乗り入れについては、「構内車両乗り入れ規則」があり、これに基づいて許可、点検、立ち合いなど実施していました。

長安:全ての流体にあてはまりますが、特に可燃物や危険物流体の配管を地面近くに敷設する場合には当然車両による破損の危険性を予知します。防液堤内のような車両が絶対入らないエリアは別として、車両が進入し得る場所で地面近くに配管やバルブ付き枝管を設定する場合は鉄板などにより厳重に保護すべきです。今回の PSB 記事のような事故が起きた場合は、何故このような状態になったかの経過と原因を徹底的に調査して再発防止策(是正処置)を実施すべきだと思います。

司会:化学プラントの設備的な面で、こういった事故を防止するため、プラントレイアウトや配管設計などの作業スペースの面での対策のご経験はありますか。フォルモサ社ではプラントの設計時と運転前に HAZOP(安全性解析手法の一つ)、FACILITY SITING ANALYSIS(安全性を考慮した配置検討)、PSSR(スタートアップ前の安全に関わる再調査)を実施したとありますが、それが充分でなかったと指摘されています。(文末の用語解説を参照)

牛山:この設備の設計時は HAZOP を実施していて危険分析はしていたようです。しかし、このような事故は 20 年に 1 度しか起こらないとして、プロテクターなどの対策はされなかったようです。最初はフォークなどの車両が入るのを前提としていなかったのかもしれませんがね。

竹内:CSB のケーススタディにある写真では、消火栓の設備はしっかりとプロテクトされています。したがって、車が入らない前程ではなかったと思います。

山本:CSB のケーススタディによれば、フォルモサ社のプラント内での車両の運用には、安全管理の基準(工場内での制限速度、車両が許されるエリアと作業、重機の運用など)はあったようです。今回の事故のエリアも車両の進入禁止のエリアだったそうです。しかし、実際には工場内で、車両の進入禁止エリアを明確に示す標識、遮断具(ウマ)、地面へのマークなどはしていなかったようです。

澁谷:プラントを建設するときは、フローシートを基にしてエンジニア側がプロットプラン、配管設計などを決めて建設しますが、ドレン弁・パージ弁などに手が届き易いかとか、作業場もちゃんと確保されているかとか、オペレータ側で細かいところまで十分にチェックするのが重要です。作業し易い現場は安全面からも大切な項目です。

山本:安全に関わる手法をいくら駆使しても、見落としがあれば、そこがプラントの弱点となり、今回のような大事故に発展することがあるのですね。設計で安全性は配慮されているという思い込みは危険で、現場の視点で小さな箇所でも見逃さないことが重要です。

山岡: プラントへは製品の出荷などでタンクローリーが入りますが、守衛のところでは入構許可と必要な安全装備のチェック、通行ルートの確認等を行います。受入側には守衛から無線で連絡し、車両到着の確認を行っていました。高圧ガス保安法ではローリーの突起物はプラント側の設備に対する保護としてカバーを行うよう規定されています。決められたことをきちんと行い、業者に対しても適切な教育を行えばこのような事故は起こらないはずですよ。

司会: CSB のケーススタディに衝突で折れた配管はフランジにねじ込み接続していた(図2)と記述しています。ねじ込み接続は強度的に弱く、腐食の心配もあると思います。大規模な化学プラントでは配管スペックは全て溶接タイプで、配管径とか肉厚も充分強度があるものと決められていると思いますが、皆さんの会社ではどうでしょうか。

澤: 私が経験したプラントでは、いわゆるフェウジテブエミッション(微小漏洩)をなくすため配管はフランジ継ぎ手を極力使用しないで溶接で接続していました。そのため、バルブ取り換えのメンテナンスなどのときは大変でした。

山本: ある石油会社にパイロットプラントを設計して納入したことがあります。プロセス配管のスペックの継ぎ手(配管と配管、フランジと配管、バルブと配管)は全て溶接と決められていました。バルブは、ゲート弁かグローブ弁でした。ベント、ドレン、サンプル口などの開口端には必ずプラグとかキャップをしていました。

渡辺: プラント内の窒素や空気配管、サンプル配管、計装配管は20A 以下の細い配管が多いので、工事などの作業時には、当該配管が折損する危険性がありますので、絶対に、これを手掛かり、足掛かりにしないよう工事業者を含め、十分な指導と注意が欠かせません。

牛山: ベントとかドレン、サンプルラインには、高沸点流体など特殊な場合以外 90° レバーハンドルバルブ(ボール弁またはコック弁)を使用したことはありませんでした。漏れては困る場合は原則としてグローブ弁を使用します。

竹内: 今、Beacon のバックナンバーを安全研究会のメンバーで分担して翻訳していますが、私が担当した中に、雪の塊が 90° レバーハンドル式バルブのハンドルに落下して、バルブが開き、漏洩事故になったという事例がありました。(2001 年 12 月号)

澁谷: “あなたに出来ること”にもありますが、90° レバーハンドルを使用している箇所は、人とか物が当たってバルブが開かないようにハンドルを取りはずすのが鉄則です。

司会: 次に、Beacon に作業安全分析(job safety analysis)では、乗り物の危険性を考慮することとあります。作業安全分析については、皆様の会社ではどのように実施していたかコメントをおねがいします。

山本: 当社では、新設や変更する設備についてはすべて安全審査を実施します。審査では、予め準備されたチェックリストへの回答、リスクアセスメント、運転マニュアルのチェックなどを実施して、危険箇所の抽出と対策を実施しています。最終審査では現場に審査員が集まり、担当者から運転についての説明を聞きながら安全についての指摘を行います。一番危険なのは、肝心のところがチェックから抜けることです。そうならないために、担当者を含むメンバーの経験、知識とか予めの調査(法規、過去の失敗例など)が重要となります。

竹内: 大規模な建設プロジェクトでも、小さな修繕工事でも、標準作業手順書の無い作業が数多く発生します。先程、説明しましたクレーン作業の詳細な計画も作業安全分析の内の一つです。クレーン作業の場合は、クレーンの転倒防止、クレーン本体やブームの衝突、電線への接触の可能性、ブームの長さや角度に応じた吊り上げ能力、吊り上げ作業時のスリングやワイヤーの掛け方、荷やクレーンの移動の方法、埋設管への配慮などについて、図面を起こして詳細に計画しました。

司会: 作業安全分析では車両が着火源であることを考慮しなさいとありますが、これについてコメントがありますか。

竹内: エンジニアリング会社の頃の経験ですが、構内を通過する車両については、逆火防止のために排気口に金網を被せることが義務付けていた工場がありました。

澤: 昔は車両で発生し蓄積される静電気を地面に逃がすために、車両から地面へチェーンを垂らしていましたが、タイヤにカーボンが入っており、これが地面との導電性を保つので、現在はチェーンとかはやっていませんね。

牛山: 車両にチェーンを取り付けると、逆に地面との接触で火花が出るので危険でもありますね。

山本: 当社の工場では溶剤、モノマーなどの危険物を取り扱います。フォークについては3種類あり、プロパンガスと電気(2種類)で動くものです。電気のは非防爆と安全増防爆 eG4 の第2類危険箇所(特殊な状態において危険雰囲気を生じる恐れのある場所)で使用できるものです。危険物を取り扱うエリアでは防爆のフォークを使用して、屋外の荷物の移動とか揚げ降ろしはプロパンガスと非防爆の電機のものを使用しています。

司会: 事故が起きたフォルモサ社のオレフィンプラントはケログ社が設計(1996 年)していますが、このプラントは同社が 1980 年代から他の企業に設計・建設していたエチレンプラントのコピーで、この間、安全の仕様は全く変わっていませんでした。安全システムを確保するための耐火支柱などは最新技術で設計されていなかったようで

す。Beacon に耐火処理がされていなかったため、被害が拡大したとあります。次に、火災が起きた時の被害の局限化、防火システムなどについてコメントをお願いします。

井内：石油や化学品の装置から可燃性ガスが漏えいして火災が発生した場合、消火するときは注意を要します。大部分の場合、可燃性ガスが発生し続けているので、消火してもすぐ着火するか、しばらく放出後着火して蒸気雲爆発を引き起こす可能性があり、非常に危険です。通常は可燃性ガスの火災は、ガスがなくなるまで装置燃焼させます。今回のプロピレンの場合は、液化石油ガスということで、特に危険であり、プロピレンガスがなくなるまで、燃焼し尽くすことが大切です。

山岡：プロピレン配管のストレナーの上流側に緊急遮断弁はなかったのでしょうか。日本では、高圧ガス保安法・コンビ則の適用工場で保有量が基準値以上の場合には可燃性のガス、液化ガス配管には緊急遮断装置の装備が義務付けられています。

山本：Beacon の中では書かれていませんが、プロピレンの漏えいを遮断するのに手動弁しかなく(図 2)、人が近づけないので放出を止めることができなかつたとあります。フォルモサ社の緊急時の対応として、火災が他の設備に拡大するのを防ぐため可燃源の隔離に努めたそうです。図 2 のポンプのサクシオンから上流側に遠隔作動の緊急遮断弁を設置していたらとつくづく思います。(これについては CSB のケーススタディで指摘されています。)

牛山：耐火被覆は重要な機器とか架構の重要な支柱、梁にもする必要があります。1973 年の徳山の事故以来、高圧ガス保安法では厳しくなりました。日本では配管ラックは基本的に耐火被覆を義務付けられていませんが、オランダでは配管ラックの支柱はすべてプレスコンクリート製で耐火構造となっているのを見たことがあります。

澤：ラック上に消火設備用の配管を通すのでは、火災時ラックが崩れ落ちた場合消火設備が使用できなくなる危険性があります。耐火被覆は火災が起こった時に被害を局限化するために重要な対策です。

山本：日本では今年(2017 年 2 月)アスクルの大規模倉庫で火災が起きました。沈火するまで 13 日かかっています。原因はまだ調査中ですが、6 月に出た事故検討会の報告書では、火災の拡大を止める 133 箇所あった防火シャッターの内 61 箇所が火災による電気系統の損傷等で作動せず、23 箇所がコンベヤとか物品等により閉鎖障害が起きました。実に約 60%の防火シャッターが作動していないことが確認(総務省消防庁)されています。火災が起きた時に安全装置が正常に作動するための対策は重要ですね。

三平：プラントを建設してから半世紀以上経って埋設の消火用水ラインが老朽化して漏水がひどくなり、ステンレス管で地上配管の敷設を実施したのを最近出身会社の工場に行ってみました。邪魔にならないルートを選定等で苦労したようですが、安心できる状況になっていました。

澤：ダウケミカル社ではタンク貯槽の直下などで火災が起きて貯槽が火炎にさらされないようにするため、安全な方向に流れるようにスロープを付けて設備から離れたところのピットに導くように設計されることを基準としています。

山岡：ユーティリティ配管はラック上を、危険物の配管は地上を、液化石油ガスは地下のヒューム管の中を通していました。特に地下の配管は点検口を設けて、定期的に外部腐食や漏れチェックをしていました。

牛山：プラント内では極力危険物や高圧ガスの埋設配管は設置しないようにしましたが、別なプラントへ移送する場合は埋設配管にせざるを得ない場合もあり、その際は法令で定めているように 2 重管にし、外側の配管には点検口を取り付け、漏れを定期的にチェックする必要がありました。

山本：2014 年に台湾高雄市の住居地区と商業地区の道路の下に埋設されていたプロピレンのパイプラインからガスが漏れ、爆発により住民の死傷者がでました。パイプラインに沿って道路はえぐられていました。これは被害の局限化の考えから完全に乖離した、住民を巻き込むパイプラインの敷設でしたね。

山岡：私のいた工場では、エチレンプラントで生産されるエチレンとプロピレンを、一般道路を含む 7km 離れたユーザーに地下配管で送っていましたが、一般道路では車や歩行者の通らない端の部分に敷設し、要所に標識で明示していました。

司会：今回は、一般の中小規模の工場では多用されているフォークリフトが引き起こした大火災です。車両、重機など運用のルールも大切ですが、実際の管理と物理的な対策(標識、ウマ、プロテクターなど)が重要です。この事故についてはアニメーションもあり、設計段階からのことを述べた CSB の詳細なケーススタディもあるので、幅広い視点で教訓を得ることができる事事故例だと思えます。本日は、貴重な意見をありがとうございます。

#### (用語解説)

HAZOP: Hazard and Operability Study の略語で、「ハゾップ」と呼ばれる。目的の運転を阻害する事態が発生した場合にどのような結果になるかを予め予測し、必要な備えができていないことを確実にするための解析手法である。

FACILITY SITING ANALYSIS: OSHA(米国労働安全衛生局)によれば、毒性物質の漏洩と建物への侵入、火災、爆発

が人、構造物、機器へ及ぼす危険性の評価。プロセスの危険性と設備内にいる人との空間的な関係、特にコントロール室などの人がいる建物との関係などを検討し対策をするものである。

PSSR: Pre-Startup Safety Review の略。新規化学物質の導入時や新規設備、変更設備を運転する前に実施する調査で、「安全情報」、「危険分析」、「運転手順」、「化学物質取扱手順」、「メンテナンス手順」、「緊急時対応手順」、「建屋と機器仕様」、「作業員の訓練」、「緊急時の訓練」などが完全であるかを調査するものである。

【談話室メンバー】

飯濱 慶、井内謙輔、牛山啓、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、澁谷徹、竹内亮、中村喜久男、長安敏夫、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、渡辺統一



図1 衝突箇所の周囲の配置図 (CSBのアニメーションより引用:  
<http://www.csb.gov/formosa-plastics-propylene-explosion>)

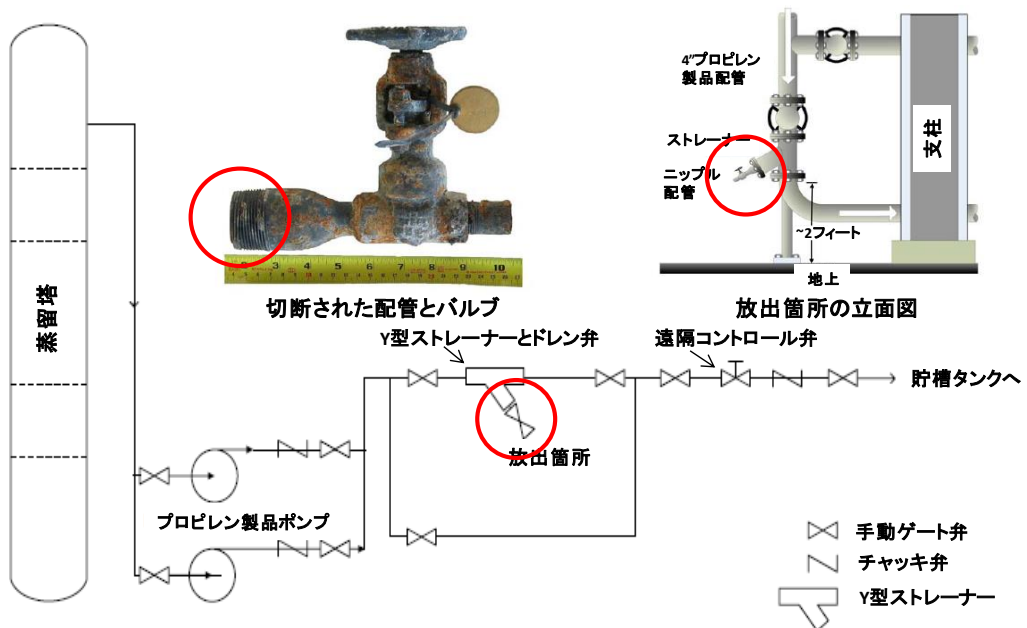


図2 プロセスユニットのフローおよび放出箇所の立面図  
 (CSBのケーススタディから引用:U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation, 2006. Formosa Point Comfort Case Study, Washington, DC: CSB.)