

PSB (Process Safety Beacon) 2018年11月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.149)	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 齋藤興司)
	http://www.sce-net.jp/anzen.html	

今月のテーマ: 小さな変更の積み重ねが爆発につながる

(PSB 翻訳担当: 澁谷 徹、齋藤興司)

竹内: 初めに、今回の PSB では株式会社日本触媒に、この事故を PSB で取り上げることの許可および写真や図版の提供を頂きました。ご協力頂きました日本触媒の皆様へ深く感謝申し上げます。PSB は 30 以上の言語に翻訳されて世界中の化学産業の現場で作業員や管理者の教育や自己啓発に使われています。そのような PSB に自社の事故事例が取り上げられることに対しては一抹の抵抗感もあってしかるべきかと思いますが、「世界中のプロセス安全に役立つのであれば」という高い見地に立って快諾して頂きました。日本触媒の高い見識に心より敬意を表したいと思います。

司会: 今月の事故事例は 2012 年に日本で起きたアクリル酸製造プラントでの爆発事故です。1985 年に設置された、蒸留塔と蒸留塔の間の中間タンクが爆発したのですが、設置以来、設備上および運転操作上のいくつかの比較的小さな変更が行われました。それらの変更が直接事故の原因になったわけではありませんが、事故の下地を作ったことは否めません。事故原因等はすでに公式の事故報告書が和文および英文で公表されておりますので、ここでは事故の教訓、特に建設から年数の経ったプラントの運転管理の留意点を中心に討議したいと思います。

山岡: 私が在籍した工場のエチレンプラントは 1970 年に建設しましたが、48 年経った現在も安定した操業を続けています。年数の経ったプラントの安定操業を続けるためには、日頃の点検と定期的な検査を適切に行うことはもちろんですが、老朽化対応や効率化のために設備改造や運転方法の変更を行う時に、変更前後のプロセスの違いの理解、変更後の潜在リスクの想定を行って安全性を確認すること、さらにその教育を定期的に行うことが重要だと思います。

澤: この事故を起こしたコーンルーフ型の中間タンクですが、タンク設計の原理原則が守られていないように思われます。天板リサイクルでは液を天板からバシャバシャ降らせるのは静電気を発生させ、アクリル酸のような引火性物質では好ましくありません。液リサイクル配管は配管先端を液面下に入れるディップレグ方式にするべきです。

澁谷: 液面計の配管を液循環ラインに変更するというのは検討不足が感じられます。確かに液面計配管の閉塞を防止する効果はあったようですが、内部の液の流れや除熱への影響は変更前に検討されたのでしょうか。

金原: 中間タンクの除熱方法として内部コイルを用いていましたが、特に重合熱発生のあるタンクに内部コイルを用いるのは疑問があります。その理由として内部の液のコイル周辺の温度測定が困難なので ΔT が分からず、冷却効果が保証されないと思います。加えてスケールが付着した場合は冷却が困難になり、一層管理不十分になります。また析出物が問題になっていますが、析出温度以下にならないように管理することも運転安定化にとって必要です。その意味でも冷却コイルではコイル周辺温度が分からず、析出させる危険性があります。望ましくは天板リサイクルラインに外部熱交を取り付け、流量計、温度計を取り付けて、しかも戻り液がタンク内で混合するようにディップレグ方式とし、かつノズルを接線方向に向けるなどの工夫がいと考えます。

牛山: 内部コイル型式の熱交換器は加熱には向いていますが冷却には不適當です。加熱では対流が起きて槽内である程度の液流動が確保できますが、冷却では困難です。液の循環をとるとか攪拌するとかしないと冷却は難しいでしょう。天板リサイクルだけでは液は十分に混ざりませんからこのあたりの設備設計上の配慮が不足していたのではないかと思います。過去に問題が生じなかったのは流入液が温水ジャケット配管で加熱されていたことが大きいと考えられます。温水をスチームに変更し液温が上昇したことが危険性を高めたと思います。

金原: 同感です。冷却不良や外部加熱などで内液が高温になり、時間が経過すると二量化反応等が促進し、それによって一層温度が上がって重合開始温度に到達することがあります。

澁谷: この事故の際には下流の蒸留塔の能力テストをやっていたとのことですが、中間タンクの液保有量がいつもより大きいことがわかっていたのに冷却能力の確認をしていないようです。報告書を見ても冷却については

定量的な検討がなされておらず、テスト作業を行うにあたっての操作条件の変更の検討が不十分だったのではないかと思います。

牛山: 液の循環から見ると、液面計の型式にもよりますが、ディスプレイ型などでは取り付けノズル径もかなり大きいですから量的には確保可能でしょう。ただ、冷却できるかどうかは別の問題です。

金原: 事後調査の結果に基づいて超概算で計算した結果、70℃でも約 200 時間で重合開始温度に到達することが分かりました。一方、事後調査でCAE解析によるタンク内液の温度分布も推算していますが、天板リサイクルを実施していても、上部では 70℃に到達する可能性が示されています。即ち、何らかの原因で約一週間滞留させることになった時、仮に天板リサイクルを行っていても同様の事故が起きていた可能性があったと考えます。したがって、タンク内液の温度管理全般に問題があったと考えます。

牛山: アクリル酸のような重合する物質ではタンク内で徐々に重合反応が進行することはありうることです。以前いた会社で、アクリロニトリルの例で重合が起こらないとされていた30℃でも一週間放置すると十分暴走反応を起こし得ることを確認したことがあります。タンク内の重合性物質の冷却を確実に行うことは必要ですが、設備設計のときにどうして対応が不十分だったのでしょうかね。

山本: 製品としてのアクリル酸は低温で固化(融点 14℃)するので取扱いがやっかいです。アクリル酸の取扱いについては、アクリル酸およびアクリル酸エステルモノマー工業会の取扱指針や BASF やダウ・ケミカルなどで構成する協会の取扱い安全指針に詳しく載っています。私の関係する会社では溶融には必ず 45℃以下の温水を使用することになっています。他社の例ですが、この溶融にアクリル酸が入ったドラム缶をスチーム加熱の保温室や電気ヒーターで直接加熱して、重合が始まり、容器が爆発した例が極めて多くあります。それらの安全指針では、決して、加熱源を 35~45℃以上にはしてはいけない、とありますので注意が必要です。

松井: 運転マニュアルには多分スチームで加熱してはいけない、と書いてあるはずですが。たとえ作業が遅れてリカバーしたい場合でもケミストリーからみて危険なことはやってはいけないということを徹底する必要があります。

飯濱: 設備の基本的な設計方法とか変更の手続きとか個々にみればいろいろありますが、問題は安全性評価がされていたのかどうか、危険性がどの程度認識されていたのか、だと思います。米国では PHA(プロセスハザード分析)は数年ごとに繰り返し行うよう求められます。安全性評価の制度において何らかの不備があったのかもしれないですね。

竹内: 現在の我々は設計する際には、「こうするべきだ」という感覚を長年の経験で持っています。しかし、1985 年頃は私もエンジニアリング会社でプロセス設計に携わっていましたが、今思うと知らないことだらけでした。

三平: アクリル酸と同様に自然重合しやすいメタクリル酸化合物の開発で、生産技術面を支援していた際にプラント内の自然重合防止で苦労しました。事故報告書に載っている設備のフローシートや発災した中間タンクの概要を把握して、アクリル酸の自然重合の防止について優れた技術を持っていると思いました。現場テストのために精製塔の缶液を大量に溜める必要性が生じ、回収塔への直接フィードによって使われなくなった中間タンクを使うことになったのですが、ここでリスク評価をしっかりと行うべきだったと思います。

山本: 一般に言えることですが、物質を合成して精製に蒸留塔を使用した場合は、ボトムには反応で生成した副生成物が存在します。それが反応して更に危険物質となり、爆発事故を起こした例が多くあります。ボトム液の副生成物の挙動は全て分析し、反応進行を制御する温度、滞留時間などの条件の検討が必要だと考えます。

竹内: 日本の企業ではプロセス安全評価はシステムチックにはやられていなかったのではないのでしょうか。米国も OSHA PSM(アメリカ労働安全衛生管理局 プロセス安全管理)が制定されたのが 1992 年ですから、1985 年当時は世界的に見ても PHA(プロセスハザード分析)をきちんと実施している会社の方が珍しかったのではないかと思います。

牛山: 安全研究会では 2008 年に CCPS(化学プロセス安全センター)の「Process Safety Leading and Lagging Metrics」を翻訳しましたが、当時は“プロセス安全”という言葉そのものがなく、“Process Safety”をどう訳すか議論になったくらいです。“労働安全”はありましたが、“プロセス安全”という言葉は現場では使われていませんでした。“プロセス安全”という言葉が活字になったのは我々の安全談話室がはじめてだと思います。

山岡: 私が現場にいた頃はプロセス安全評価とかプロセスハザード分析という言葉は使われていませんでしたが、潜在危険を見出してその危険を排除するという活動などは活発にやっていました。言葉は違いますが、実質的には PSA(プロセス安全分析)とか PHA と同じようなことをやっていたと思います。

飯濱: この事例の会社でも旧来の活動の中で危険性のチェックはやっていたと思います。ただ、事故報告書ではプロセスの危険性をどのように評価していたのか事実がはっきりしません。

竹内: アクリル酸の二量化反応に気づいていなかったのでしょうか。二量化反応が頭がないから重合禁止剤が入っているから大丈夫、と思い込んでいたように思います。

牛山: 恥ずかしながら小生はこの二量化反応を知らず報告書で初めて知りました。通常の重合の二量化反応はダ

イマー生成反応ですが、ここでの二量化反応は重合とは全く別の反応形態です。そのため見逃がしていたのかもしれませんが。

齋藤：アクリル酸は古くから知られている物質ですから二量化反応を知らなかったということはないでしょう。知っていたけれども発熱量がそう大きくないということで甘く見たというところではないでしょうか。

澤：現在の化学会社では、例えば私のいたダウ・ケミカルでは設備設計のデザインスタンダードを文書化して設備はそれに則って設計していました。日本の会社ではどうなのでしょう。

齋藤：1980年代ではまだ全社的なスタンダード化はどのようにでしょうか。エチレンプラントのような基幹プラントを持つ会社やエンジニアリング会社では標準化していたかもしれませんが、比較的小さなプラントからなる一般の化学会社ではプロセスに合わせて個別に設計していたのではないのでしょうか。

澤：タンクに温度計がないとか液のリサイクルによるタンク内の流れがどうなっているかわからないとか、設備設計の基本ができていないと言わざるをえませんね。ダウ・ケミカルではデザインドキュメントが完備しています。そういう文書があってそれに沿って設計していたらこのような事故は避けられたでしょう。

金原：今回は、事故後に重合発熱のデータを測定していますが、条件を逸脱することはない、と過信することなく、防災上のデータを取っておくことは大切です。また重禁剤は高温になったり、時間経過すると効果が薄くなることがあり、過信してはいけません。その情報をしっかりと把握しておくことが、安易な変更を防ぐポイントになると考えます。

牛山：私のいた会社ではメカニカルな機器やユニットの設計基準は持っていましたが、プロセスデザインのスタンダードはありませんでした。個々のプロセスを一番よく知っているとされる人間が基本設計をするというやり方でした。

澤：エンジニアリングのスタンダードがあって、それに従って設計するような仕組みにするべきです。

竹内：ダウ・ケミカルのような大企業ならともかく、多くの国内企業にはデザインスタンダードなどはないのが普通でしょう。

山本：私の関係する会社では、プラントを建設した時の完成図書はありますが、デザインスタンダードまではありません。ただ、完成図書には安全に関する設計思想の詳細は書いていません。ここで言う設計思想とは安全についての冗長な対策や多重の安全対策をする考え方などです。一見して無駄なように見えることがありますが、それが安全を確保する上で重要なことだったりします。後継のために、設計思想は記述しておくべきだと思います。設備の増設や更新するときに、その設計思想があれば、不用意に仕様を変更したりすることが無くなるのではないかと思います。

竹内：同様なプラントを複数持っている企業で PSM(プロセス安全マネジメント)が展開されていれば、作成した設計基準に欠陥が見つかった場合にはその修正を全社的に水平展開する仕組みができていると思います。この事例で言えば、塔底液の保温ジャケット配管の温水をスチームに変更することはリスクを増大させるということを共有できた可能性はあります。

澁谷：液面計配管にこだわりますが、現場では塔底液の冷却による固形物析出には相当悩まされたようです。その問題を解決するための設備変更意識が集中してアクリル酸の反応リスクへの配慮が希薄になったような気がしますね。

金原：岩国のレゾルシン工場の事故と同様、改めて変更管理時に多面的に考えておく必要性を感じます。報告書を読むと、タンクの使用方式を変更した時の仮基準書と考える「運転引き継ぎシステム」には天板リサイクルに関する記載がされていますが、正式文書と考える「基本管理方法」では記載が見当たりません。それに対し、注意喚起として天板リサイクルラインのバルブの上に、タンク液量が増えた時にリサイクルを行う旨の掲示をしていた様です。操作の注意点などを掲示することは常套手段ですが、良く知っていることに対して再確認させることには役立つかもしれませんが、基準書に書いていないことへの補完手段であれば、時がたつにつれ、オペレーターの目に入らなくなると思います。蒸留塔ボトム液配管のスチームトラップの対応同様、防災データがない為、タンク内液が高温になった場合の危機感が希薄なことが変更管理時の配慮が不足した原因の一つではないでしょうか。

山岡：この事故では公設の消防士が1人亡くなっていますが、どうしてこのようなことになったのでしょうか。私の勤務した工場では公設消防を呼ぶときは事態の概要を説明し、了解を得て危険なエリアへの消防の立ち入りを制限していました。ある新聞情報では従業員に対しては避難指示を出したともいわれています。それが事実とすれば、どうして消防に対しても避難誘導がされなかったのでしょうか。また、ここから先は爆発したら危険だからだめ、といったアラームを出してもよかったと思います。

山本：公設消防を呼んだときは行動する前に、プラントの状況をよく把握して説明しないといけませんね。状況は異なりますが、1982年に起きた大阪の樹脂製造工場の爆発事故を思い出します。アクリロニトリルとスチレンからAS樹脂を製造するプラントで1日置いて2回の爆発がありました。1回目は排ガスダクト内での爆発でし

たが、翌日、対策会議を行っていた場にモノマー混合槽から蒸気噴出の連絡があり、会議メンバー全員が現場に駆けつけたときに 2 回目の大爆発が起き、死者 6 名、重傷者 9 名、軽傷者 198 名の大惨事になった事故です。この負傷者のうちの 178 名が近隣住民であり、爆発事故の激しさが伺えます。非常時ですので難しいとは思いますが、蒸気噴出段階の危険性を十分把握せずに現場に急行した判断が問題でした。公設消防を呼んだときも、プロセス設備と取り扱う物質の危険性や危険の段階をしっかりと伝え、判断を共有することが重要です。

今出： 公設消防を呼んだときに備えて、緊急時マニュアルにしたがって訓練をしておくことが大事です。非常時に普段やっていないことをやるのは難しいものです。

飯濱： その緊急時対応マニュアルに関しては、想定している事故のシナリオの作り方が訓練の有効性を左右します。事業所の最悪のシナリオをプロセスハザード分析により特定し、どの程度の漏洩、火災、あるいは爆発なのか、それらの事象に基づく有害性ガス、輻射熱または爆風の影響の範囲は何mにまで及ぶのか、これらをしっかりとシュミレーションしておけば、発災場所からの退避距離等、対応方法が現実的に決められます。毎年の防災訓練時に公設消防の指令の方に十分説明しておくことも必要です。

金原： 私がいた会社では、防災センターに危険箇所を示した図をパスケースに入れ、公設消防来場時に見せる手順になっています。年に何度か公設消防と合同で訓練をする時に見せていたので、先方も心得ていました。

竹内： 日本では米国での PSM に相当するシステムを着実に実行している企業は極めて少ないでしょう。以前、会社で安全コンサルタントをしていた時のことを思いかえすと、PSM のパーツはいろいろ揃っているのに全体としては PSM になっていないというケースが多々見受けられました。

牛山： PSM の体系はこうやって作って実行するという経験がないですからね。

今出： 個別の対応はできているけれども全体のマネジメントができていないということでしょうか。

竹内： プロセス安全の権威でおられるある大学の先生と話した時、これからは日本の化学産業も PSM を採り入れてしっかりプロセス安全に取り組まなければいけないが、問題は企業のトップをその気にさせられるかどうかで、それが一番悩ましい、と言われていました。PSM は企業のトップが行うマネジメントの一部ですから、トップがその気にならなくてはプロセス安全におカネと人材を本当に投入できますか、ということですね。

中村： 私はエンジニアリング会社でプラント設計に携わってきましたが、当時はカスタマーの化学会社の現場の人は本当によくプラントのことを勉強していたと思います。安全も含めてプロセス的なことをずいぶん教えてもらいました。そのおかげで建設したプラントでは大きな事故は起きていません。ビジネス環境に恵まれて大きな変更がないプラントが多かった、あるいはカスタマーのリスク管理の意識が高かった、ということかもしれません。

牛山： 昔は現場の人がプラントのことをよく知っていました。今ほど自動化が進んでいなかったこともあるでしょうが、設備変更でも操作条件変更でも直接自分でやってみて結果がどうなるか熟知していましたからね。

竹内： 事故が起きてしまった後では、比較的容易に色々な要因に気付くものです。しかし、事故が起こる前に気付いて手を打つためには PSM をしっかりと実施しなければならないと思います。PSM の思想が示される前に設計建設されたプラントは日本にも少なからず存在しており、それら全てを PSM のレベルで見直すことは容易では無いと思いますが、そうしなければ安心はできないですね。

司会： 今回の Beacon ではアクリル酸製造プラントでの事故事例から、温水からスチームへの変更、中間タンクへの液循環方式の変更、試験作業に伴う操作条件の変更によるタンクの除熱能力の不足、などの比較的小さな変更でも大きな事故の原因になり得ることを学びました。併せて設備設計の標準化や PSM(プロセス安全マネジメント)の重要性についても貴重な意見が出されました。既存設備もビジネス環境の変化とともにいろいろな変更を求められる場合があると思います。常にプロセス安全からの分析を怠らず、安全作業につとめたいものです。今回も熱心なご討論、ありがとうございました。

キーワード： アクリル酸、二量化反応、重合反応、天板リサイクル、ディップレグ、内部コイル熱交換方式、液面計閉塞、PSM、PSA、PHA、デザインスタンダード、変更管理、緊急時対応マニュアル、公設消防

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、澁谷 徹、竹内 亮、中村喜久男、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、頼昭一郎

以上