

PSB (Process Safety Beacon) 2022 年 8 月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.194) 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: 牛山 啓)
---	--	---

ガス検知器の値はどこまで許容される？

(PSB 翻訳担当: 林 和弘)

- 司会 : 今月号は、またまたタンクの爆発事故に関する記事ですが、最初にどなたかこの事故の内容をもう少しご説明いただき、合わせて感想やご意見をいただけますか。
- 牛山 : この事故は、2011 年 6 月に英国 South-West Wales 州にあるシェブロン社 (現 Valero Energy UK 社保有) Pembroke 製油所脱硫設備の Amin 再生装置で起こったタンク爆発事故です。このタンクは再生 Amin の循環常圧タンクですが、定期的な保全修理のため液抜きを実施したところ底部に残存液があり、頂部マンホールから塩ビホースを入れバキュームカーで抜液をしている際、原因はさだかではありませんが、静電気がタンク内壁についた硫化鉄などの自然発火物質により着火爆発を起こしたようです。作業前にタンク内部のガス検知は実施したのですが、本来高さを変え何回か測定すべきところ担当者は初めてのため 1 回しか測定せず、また、基準では LEL の 10% 以上は作業できないこととなっていたのに、何故か LEL の 67% でも作業 OK としたようです。
- 竹内 : このタンクは底部の再生 Amin の酸化防止のため、Amin の層の上にジゼル油でブランケットしていましたが、Amin に同伴された炭化水素が徐々にジゼル油に溶け込んで、長期使用の後、タンクの気相部にも出ていくようになっていました。タンクは液面が下がる時にブリーザー弁から大気を吸い込みますので、炭化水素と大気の混合により爆発雰囲気形成されていました。構造的にもタンクの上部は大気リッチになるので、それでも LEL の 67% とは相当に危険な状態だったと言えます。
- 金原 : 報告書を読むと、プラントオペレーターは今までタンク内のガス検知の経験がなかったとのこと。約 9m の高さのタンクの上部から 1-1.5m の箇所のサンプルを採取したようです。一方、LEL に対して 67% とはいえ、かなり高かったのでシフトのリーダーと話し合いを行ったようですが、引き続き操作を行うこと以外、大した議論にならなかったようです。また、無線で連絡を行った為にシフト日誌には記載されなかったのです。この為、この重要な事実が共有されることがなかったのです。
- 頼 : ジゼル油でブランケットすることを私は知らなかったのですが、これは通常やられることですか？
- 竹内 : Beacon 記載の報告書を読むとそのように記載してあったのですね。Amin が空気に触れると酸化するため、その防止のためジゼル油でブランケットしたと記載されていたものです。私としてはこのやり方があまり良くなく、窒素シールをした方が良かったのではと思います。この場合は、既にタンクがある状態で Amin の酸化を防止するため、ジゼル油によるブランケットの方法を採用したと思われそうですが、Amin に炭化水素が混入することは設計段階で分かっていた筈ですし、ブリーザー弁から大気を吸い込むような設計にしたのは間違いだったと思います。
- 頼 : このタンクは大気開放のタンクだったのですね。
- 竹内 : そうです。タンクにはブリーザー弁がついていて大気とつながっていました。
- 牛山 : このタンクはスロップタンクとしても使用され、フレアラインのノックアウトドラムにも繋がっていて、いろいろな使い方がされていたようです。軽質炭化水素もそれらから混入してきた可能性があります。
- 金原 : そもそも LEL に対して 67% でも良いというのは、どのような判断基準があって認められたのでしょうか。また報告書を読むと、防爆エリアについては、かつて決められた基準からどんどん緩和されていまい、このタンクは危険度の低いエリアになっていたようです。それが、安易な判断になったのかもしれませんが。
- 牛山 : LEL の 67% あるということはかなり可燃性ガスがあることを示していたはずですので、その危険性を排除する方策がとられていないことが管理上も問題ですね。オペレーターはこの数値を上司に報告していたようですが、作業の可否判断の際、この数値が危険かどうかの判断の対象にもならなかったようでおかしい気がします。
- 竹内 : 100% になっていなければ良いと思ったんでしょうかね。
- 牛山 : 分りませんね。数値は場所や時間でいろいろ変動するでしょうし、さらにガス検知を作業の 2 日前に行い、当日にはやっておらずそれで良いと判断したのであればこれもおかしいですね。
- 金原 : しっかり問題意識を持ってやっていたら誰かが気づいたのでしょうか。

上田 : ガス検知以外の要因として、タンクの液体の排出操作をしたが、実際には排出されていなかったというのが事故の深層原因ですか。

牛山 : 報告書ではオペレーターはタンク下部の液抜き弁を開け液を排出し、液が出なくなったため完全に排出したと思っていたとありますが、弁はサイフォン構造になっていて、実際はサイフォン切れで液が出なくなったものの、液が未だ残っていたようです。この勘違いが一つの事故要因でもあるのでしょうか。

金原 : オペレーターは初心者でサイフォン構造になっていたのを知らなかったようですね。その上、液面計の位置も少し高く、指示はゼロだったのですが、後で実測したら下から 49cm程残っていたようです。

牛山 : 実際に開放しようと下部マンホールなどのボルトを外した際、液がどんどん漏れてきたと記載されていますので、その時点では残液があることが分り、それで上部マンホールから液抜きをしようということになったわけですね。どうも作業手順などがきちんと守られていたのかよく分りませんね。

上田 : タンクに液が残っていた状況が分りましたが、もし、液が残っていなかったらガス濃度も低かったのですか。

山本 : 液抜きしてもタンク内面は濡れており、ガス濃度は蒸気圧によりますので、あまり変わらなかったと思います。

金原 : 米国メジャーの石油会社とはいえ、英国の精油所で起きた事故なので、OSHA PSM や RBPS(リスクに基づくプロセス安全システム)がどこまで浸透していたのかよく分かりませんが、報告書を基に RBPS の視点で問題点を考えてみました。(カッコ内は RBPS のエレメント名)

1. プロセス変更によって、事故のあったタンクに炭化水素を入れるようになった為、長年の間にブランケットのジゼル油の量が増加していたにもかかわらず、キーとなるオペレーターはこの事実を知らなかった。上層部は H₂S に対しては注意を払ったが、炭化水素についてはノーマークであった。(プロセス知識管理)
2. 一度設定した防爆区域に対し、見直しを行って徐々に緩和方向に設定した。上記の事実を知らなかった為に事故の3年前にこのタンクは、危険性のない、一般区域に設定された。(変更管理)
3. プロセス変更時の作業手順変更に対してはオペレーターから疑問の声があった(従業員の参画)
4. ガス検知のみならず、タンク空槽化作業も未経験者が行った。拔出構造や液面計の位置について深く知らなかったために残液があるのに空槽化したと勘違いした。(訓練と能力保証)
5. タンク洗浄請負会社とは、槽に関する洗浄の契約はあったが、今回のような大型タンクは契約対象外であった。しかし、打ち合わせに関しては時間も取らず、公式の記録もなかった。また作業許可の数分の確認でなされていた。(協力会社の管理)
6. 請負会社はバキュームカーの連結管の1/2のサイズでしかも非導電性のホースを使った為に、線速度が上がり静電気発生の危険性を高めた。(安全な作業の実行)

三平 : タンクの液抜き不十分で生じた引火性の高い残液を上マンホールからバキュームカーで抜き取るという安易なやり方が簡単に許可され、実行されたのに驚きました。定修のために周りの配管は撤去されていたのかも知れませんが、残液が判明した時に仮設配管を設置してでも他のタンクへ移送すべきだったと思います。プラント内に非定常に生じる諸々のプロセス液を一時的にストックするタンクを持つようにプロセスを設計するのではないのでしょうか。

竹内 : 金原さんが RBPS のエレメントに対する分析をして下さいましたが、確かに事故は一つの原因だけでなく多数の要因によって起こります。それらの原因をたどっていくとプロセス安全の各エレメントの弱点が見えてきます。今回金原さんがあげた各エレメントの弱点を是正していかないと、このような事故の防止ができません。

金原 : 実際に一番強く感じるのはプロセス安全文化が低いということです。この面の改善を 1 から図らないと駄目だという感じがします。

上田 : 報道ニュースを確認したところ、この会社はもう事業売却を考えていて 2000 人の要員削減を図っていたということで、働く環境としては従業員にとってあまり良くなかったのではないのでしょうか。

金原 : 確かにすでに Valero 社への売却が決まっており、従業員のモチベーションは低下していて、それが安全文化に影響したであろうことは否めません。この会社は前も売却されたことがありましたね。

牛山 : 最初ここはテキサコ社の唯一の英国製油所だったのですが、テキサコ全体がシェブロンに買収されたことでこの製油所もシェブロン社所有になったという経緯があります。

上田 : 事業買収の場合、元の会社の従業員はそのまま移管されるのでしょうか。

竹内 : プラントが売買されると通常は人員削減されることが多く、シェブロンがこのテキサコのプラントを買収した際も、

大幅な人員削減を実施したようです。

金原 :ところで、三平さんへの答えですが、このタンクは地下ピットのランダウンタンクを持っていて、サイフォンがしっかり効いていればすべての液抜きはできたのですが、運転員はその機構を知らなかったようです。

三平 :設備ができていても、運転員がその状況をよく知らなかったのではないのでしょうか。

金原 :そのようです。報告書を見ると運転員などがプラントをよく知らない人が多すぎるという気がします。洗浄作業の責任者は見習いの人だったということで、もうやめる準備をしていたのかとも感じます。

今出 :やはり事業売却の際は、人員削減が行われたり、優秀な人が他の会社に移ってしまったりすることがあります。また買収後の安全文化がどうなるかも問題ですね。

金原 :M&A が技術伝承に負の側面を与えていることがありますね。

司会 :今月の主題はガス検知の値に関することになっています。まずこの点についてですが、検査方法なども含め皆様のご経験ご意見をお話ください。

牛山 :私がいたところでは、ガス検知管でガス測定をしていました。通常 LEL の 1/4 の濃度で着色しますので、着色したら作業はできず、何らかのガス低減措置を執らねば作業できないことになっていました。

金原 :私の所では 1/5でしたが、実際は検出されないことが一般的なルールになっていました。検出されたらパーージなどを行い検知されなくなるまで処置します。

今出 :日本には LEL のどこまで許容するという規定があるのでしょうか。それとも自主的な規定なのでしょう？ OSHA の場合は LEL の 10%位からと言う規定があるようで、私の会社ではそれに従っていました。

牛山 :調べてみたら、日本でもいくつかの法律で基準は決められているようです。消防法関係がよく分りませんでした。労安法(安衛則 389 条 9)では LEL の 30%、高圧ガス保安法(一般高圧ガス保安規則機能性基準の運用について-23, 1. 2)では LEL の 1/4 となっています。

金原 :大体ガス検知器メーカーが法令に準じてある程度設定していることも多いようですので、使用側はそれに準じているということが多いかもしれません。

司会 :ガスが検知された時はどのように対応されていたのでしょうか。

金原 :そのときは、タンクなどの場合洗浄不良などが理由でしょうから再洗浄をすることになります。

林 :ガス検知器の場合は数字が出たら直ちに作業中止です。計測器など非防爆の電気品火気で携帯式のガス検知器を身に付けて作業する場合、LEL の 1/4 で警報を出すようになっていました。可燃性ガスが発生した原因をまず調べ、それを排除することが基本です。

今出 :おっしゃるとおり、まずは作業停止して原因究明することが必要ですね。

牛山 :LEL の数値がどこまで許容されるかという今回のテーマに多少違和感を覚えるのは、ガス検知で数値が出たらすぐ作業停止でしょという点です。

林 :数値が出たら可燃物があるよという点は合っていますね。

金原 :日本の化学工場では数値が出たら問題という認識はあると思います。

竹内 :上から液抜きが必要となれば、酸素濃度が 20. 9%で可燃性ガスが存在するわけですから、実際には窒素パーージなどの処置が必要だったということになりますね。

金原 :この可燃性ガス濃度は対象が炭化水素だけですかね。アミンも引火点濃度が 139°Cくらいで蒸気が出ていますから。検知ガスに対応した検知管が違うでしょうね。

澁谷 :通常ガス検知ではありませんが、特殊な例として私が経験したことを紹介します。フッ素系ポリマーを製造するには先ずモノマーを製造しなければなりません。その際、微量ですがシアン化合物よりも毒性の強い副生物が生成します。それを吸って過去に亡くなる人がいました。蒸留釜などを開ける場合には徹底的に洗浄し空気置換した後、通常ガス検知をしても検出されないのですが、それでも念のためネズミ3匹を中に 8 時間入れておき、全数が異常の無いことを確認するという手段を執っていました。私がいた間に 2 回ほどこの方法を実施したことがあります。

牛山 :動物による検知というと、昔炭鉱でカナリアを一酸化炭素の検知に使用したことがありましたね。

司会 : 今回の事故原因は静電気か自然発火物質ということで、今までも良く取り上げられていることですが、皆様のご経験や事例などをご紹介頂けますか。

竹内 : NFPA77 の 12.1.4.2 に非導電性液体の静電気防止のため、コンタミの無い単一層の液体を送液する場合は先端ノズルが液に浸かるまで、1m/s 以下で送液しなさいと書かれています。今回は液抜きですが、アミンとジーゼル油の層があり、なおかつジーゼル油は炭化水素が混じっていたことを考えると、静電気が発生した可能性は高いと思います。

金原 : 今回の事故の着火源については静電気等が考慮されているようですが、結果的には決定的な証拠が見つかっておらず、特定が難しいようです。この例だけでなく、私が経験した火災爆発事故で着火源が特定できた例が少なく、おそらく静電気であろう、あるいは工具の衝突で発生したエネルギーであろう、という推定で結論付けました。それでいながら、着火する時は容易に着火します。だから、LELに対する管理や不活性ガスによるシールなど、三要素の二つを徹底的に遮断しておくことが大切です。

山本 : タンク液抜きホースの先端には、おもりとして鉄製のポールを付けていました。ホースが塩ビ製で絶縁されていますので、静電気が着火源としたら、このポールが浮き導体となって静電気が溜まり放電した可能性があります。

牛山 : バキュームカー接続ホース口は径 4 インチだったにも拘わらず、今回の排液作業に使用した塩ビホースは径 2 インチで吸引速度は通常よりかなり速く、その分静電気の発生も大きかったと思います。そもそも可燃性物質を含む送液に絶縁性のホースを使用することは論外ですね。このような場合は鋼線ワイヤ入りのホースを使用し、ボンディング、アースを必ずすることが必須だろうと思われます。

竹内 : 逆にタンクローリーからタンクへ給油する場合も同じですね。これは通常、常識的にやられていることだと思います。

金原 : 受け入れ払い出しの場合、ボンディング・アースの場所というのが決まっていますね。

司会 : タンク洗浄工事は結構事故が多いようですが、API などで工事のやり方など規定されています。これらを含め皆様のご経験や事例、あるいは実際に対応していたことなどお話を願います。

金原 : 深冷アンモニアタンク(-30℃)の一回目の壁面検査には大変苦労しました。設備投資をして加圧タンク(0℃)を設置し、深冷タンクから少しずつ加圧タンクに移して内部を空槽化していき、最終的には窒素置換を完全に行い、水洗のあと、槽内に入るように致しました。結果的にチェックし、弱い部分の補修を行うことができ、やってよかったと思えました。投資額も当初の 1/3 まで低減させることができ、知恵と工夫があれば不可能を可能にすることができるな、と感じた次第です。

牛山 : 日本でもタンク洗浄時の事故は多いですね。調べてみると 1975 年から 2017 年までの間で 14 件発生していました。中には四国の T 社原油タンクでの事故、和歌山の T 社事故など、原油・重油タンクの事故が多く 6 割ほどありますが、気のつくのは、可燃性物質が無いと思っていたところに、スラッジ中の可燃物が発火したなど思わぬところに可燃物が残っていたことです。

金原 : 2003 年、名古屋の E 社ガソリンタンクの事故でも清掃中のタンクで水を入れバキュームカーで水を吸引していた際、マンホールからガソリンが噴出し着火爆発、3 名が死亡した事故がありました。

牛山 : それも 14 件の中の 1 件です。

上田 : 今回の事故について、爆発の瞬間の動画を確認することができ、爆発の規模や影響範囲(風向きを含む)を理解できました(※1)。一方、国内類似事故として、KHK の事故報告書(2009 年)では、pH 管理ミスでの事故(硫化水素の工場外への漏洩)がありました(※2)。しかし、この事故報告書では、漏洩ルート:漏洩場所ではどのような風向きで、どのように工場外へ漏洩したのか、事後分析を含めて示されていませんでした。過去の事故を振り返るときに、動画は価値のある情報だと再認識しました。

牛山 : 確かに日本の事故情報は、会社があまり残したくないという思いがあるのかもしれませんが、発生当時はいろいろ映像なども出ますが、しばらくするとほとんど見えなくなりますね。

上田 : 火災保険では、保険金のご請求時に損傷個所の写真を受領していますが、残念ながら、事故発生時の動画は受領していません。一方、自動車保険では、事故発生時のドライブレコーダーの動画が一般的になってきました。

牛山 : 海外では例えば CSB などが調査権を持っていて、会社の意向に関係なく公開できるということがあるのかもしれない。

- 木村 : KHK という公的機関でも、日本の場合は報告をまとめる際、会社の了解が得られるものしか公開できないという制約があります。
- 金原 : 以前、日化協から入手した最近の重大事故のビデオを見たことがありますね。だから全くないわけではないですが、海外の情報に比べると少ないということでしょうね。
- 木村 : KHK では「重大事故に学ぶ」という書籍を発行していますが、事故の情報を企業の方に書いて頂くと情報が少なく、もう少し書いて下さいとお願いしてもなかなか OK して頂けない場合が多いですね。
- 牛山 : 我々も事故の情報を紹介することがありますが、その場合企業名はあまり出さないようにしています。一度海外に合わせ企業名を出そうかということも話したのですが、当事者とすれば企業名が出ることに抵抗もあり、やはり難しい面があります。
- 竹内 : 事故を起こした場合は何らかの改善すべき点があるわけで、本当はその情報を誰とでも共有しましょうということが重要と思うのですが、日本はその点が未だ保守的な感じがします。米国はかなり割り切って CSB のような組織を創ることが日本との大きな違いです。日本の場合は行政が企業に甘いのかという気がします。
- 金原 : 最近では県など行政機関の報告で事故を起こした企業名を公表することが増えましたね。
- 林 : 各県自治体の報告が定型化され、それに記入した内容は原因などもそのまま報告されることになります。ただ、裏の原因などすべてが記入されているかどうか分かりません。動画までは報告の要求はありません。
- 竹内 : タンクの水洗浄の話でしたが、その水をどこに貯めるかが重要なポイントになります。水の中に少量の可燃物が残っていて、それをタンクに貯めておくタンク上部に可燃性蒸気が溜まってくる可能性があります。水だから安全だと思っていたが、その蒸気が着火爆発した事例が「事例に学ぶプロセス安全 (p226 火気使用工事の危険)」にもあります。
- 金原 : 反応槽の洗浄排水はオイル分離槽経由で排水していましたが、量が多い場合はタンクに貯めていました。ただ油分は完全に分離していてタンク内にはなかったですね。
- 竹内 : 浮力で分離する油水分離槽だと、結構水中に油分が残っていますね。
- 金原 : 堰があって油分は上部からオーバーフローし、回収します。
- 牛山 : それは工場全体のオイリー排水処理とは別に設置されていたのですか。
- 金原 : 洗浄時の一時的排水の処理と工場全体のオイリー排水処理の両方ありました。
- 司会 : 今回のタンクの場所は危険場所に設定されていないなど管理上の問題も出ています。これについてもご意見があればよろしくをお願いします。
- 金原 : これも重要な変更管理であると考えます。報告書で見ると限りは詳しいことが記載されておりましたが、正しい情報が入って来ず、安易に変更した感じがします。防爆区域を変更する時は慎重の上にも慎重に調査して変更すべきアイテムであると考えます。
- 牛山 : この工場の危険場所は何度も変更されて最終的に非危険場所に設定したようですが、平面図上で危険物が無いかどうか判断していたということから、どうも現場の実態を知らずに変更していったようです。私どものところでは機器ごとの危険物有無より、そのエリアに危険物があるかどうかでかなり広めに危険場所を設定していました。
- 司会 : 今日は、ガス検知の話しだけにとどまらず、皆様のご経験から、広範囲の貴重なご意見や知見をお話し頂きどうもありがとうございました。似たような事故が再々起こっていることから、再発防止などにこれらのお話が多少なりとも役立つことを願っております。

キーワード: タンク、爆発事故、ガス検知、LEL、ジーゼル油ブランケット、ブリーザー弁、液抜き弁、サイフォン構造、OSHA、PSM、RBPS、バキュームカー、事業買収、静電気、事故報告、変更管理

参考リンク 1: <https://www.google.com/search?q=pembroke+refinery+explosion+CCTV>

参考リンク 2: https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2009-062.pdf

【談話室メンバー】

今出善久、上田 健夫、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、