

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2020年1月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室(No.163) http://www.sce-net.jp/anzen.html</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:牛山 啓)</p>
--	---	--

今月のテーマ: 清掃は「きれい」だけでなく、安全の問題でもある

(PSB 翻訳担当:竹内 亮)

司会: 今回は清掃や整理整頓いわゆる3S や5S といわれることが主題ですが、事故例としては粉塵爆発が取り上げられています。最初に事故例について説明や感想あるいはご意見を伺いたいと思います。

金原: 今回の事例である砂糖による粉塵爆発は、2008 年にアメリカジョージア州の砂糖精製工場で、砂糖の封入作業を行っている最中に発生し、14 名(うち 6 名は療養中死亡)の方が亡くなって、62名の負傷者が発生しています。清掃不十分ということで起きて仕方がない事故でした。また、砂糖は着火温度が350℃と意外と低く、何らかの着火源があって火災が発生すると、火災が拡大する危険性のある物質でもあります。危険物2類対象物でないからといって、安易に考えてはいけません。

牛山: この事故を少し補足しますと、最初砂糖サイロの下部鋼製コンベアの内部で爆発が起こり、その衝撃で堆積していた砂糖などの粉塵が舞上がって 2 次的な粉塵爆発を起こしたものです。この工場のサイロ下部コンベアは 80 年以上操業しており、2007 年にコンタミ防止のためダクトで覆いをかけたようで、このため振動などでコンベアダクト内の気相は爆発下限界を超える濃度になっていたとみられます。最初の着火原因は、コンベアのローラーベアリングが過熱し、これによってコンベア内の砂糖粉に着火したと推測されています。

三平: 百年前からの古い製糖工場が機械式搬送装置を継続して使用していたことに驚きました。気流による粉粒体の搬送プロセスの技術は汎用化されて久しいので、何故転換しなかったのか不思議に思いました。

竹内: ニューマ輸送の場合は砂糖のような可燃物に対しては空気ではなく窒素を使用する必要があります。

三平: おっしゃるとおりで、窒素を循環再使用できるようにするので、一般のニューマ搬送に比べてシステムが複雑になります。この工場では百年もコンベアを使っていると慣れてしまい、新しいシステムに変更することは難しかったのかもしれない。

牛山: コンベアシステムはオープンで使用している限り 80 年の間若干のトラブルがあったにしても大きな事故は起こしていませんでしたので、変更することは考えにくかったのでしょう。ダクトを付けたことでかえって事故を起こす要因になっており、ダクトに圧抜き用の装置もなかったため、その爆発が大きくなったようです。

竹内: 粉塵爆発が起こったら圧抜きをつけても効力はないでしょう。粉塵爆発には 5 つの要因があって、それらは可燃物の存在、着火源があること、酸素の存在、粉体が浮遊していること、クローズドスペースです。場合によってはクローズドスペースでなくても粉塵爆発が起こることがあります。

金原: 清掃が問題になっているとは言え、設計上の問題もあるのでしょうか。清掃に頼らなければ爆発を防止できないというのでは困ります。先ほど出たニューマ輸送など抜本的な対策をしておく必要があったということではないでしょうか。砂糖の着火温度 350℃というのは、他のポリマーなどに比べ非常に低く、取り扱いには十分気をつけねばならないと思います。

司会: どのような物質が粉塵爆発を起こし易いのでしょうか。

三平: インターネットで調べた粉体の爆発実験の報告では、100 μm 以下の粒子径では、砂糖は他の粉体に比べて圧倒的に着火し易く、次のレベルにアルミ粉や小麦粉があるようです。

金原: ちなみにアルミ粉の着火温度は 550℃、マグネシウムでも 523℃、コークスが 440℃くらいで、いかに砂糖が着火し易いかわかります。

澤: 米国で粉塵爆発がよく問題になっていたのは、サイロに入れてあったコーンやコーンスターチが爆発したという例がありますね。日本でも私がいた工場のそばで輸入したコーンスターチをサイロに入れる際爆発した事例があります。食品はあまり爆発をしないという感覚がありますが、空気輸送で爆発を起こしたり結構危険です。ほかに製薬会社で製剤が爆発した事例がありましたね。着火エネルギーは単純に温度だけの問題ではなく粒径や帯電状態なども影響しているみたいで、例えば酸素富化の状態では最小着火エネルギーの 100 分の 1 程度でも爆発するケースがあるようです。

竹内: 物質そのものが不燃性であるというようにカテゴライズされているものが、実は粉塵になって爆発するという

ことがありますね。

澤： 金属粉のようなものはそれに近いです。

塩谷： 粉塵爆発のリスクのある物質は危険物に該当しないものもかなりあります。そのような物質のハンドリングはN2シール下ではなく大気開放系で行われるケースも多々あり、リスクが高いですね。

牛山： 鉄粉など削った際にできる粉塵が、空気中で酸化して発熱し着火するという例もあるようです。

竹内： 小麦粉の粉塵爆発の実験で、ストローの先にちょっとだけ詰めて炎を近づけると、ボンと爆発する映像がありますが、典型的な例ですね。

澤： 岡山大学の鈴木先生でしたか、講演会の実験で粉塵爆発はこんなものという映像を見せておられたことがありました。

司会： それではこの事故と離れても結構ですので粉塵爆発の経験やその他知見がありましたらお話しください。

澤： ポリカーボネートを製造している韓国の工場の事例ですが、材料としてビスフェノール A を使用しており、これは火を近づけても簡単に燃えませんが、1tフレコンから取り出し移送用の小型容器に投入するときの事故でした。原因は装置運転プログラムの入力トラブルで窒素封入ができていなかったこと、フレコンにアース用のタグが付いているタイプを使っていなかったため内容物投入時に静電気除去のための接地ができていなかったこと、1トン放出に抜き出しスピードが10秒程度と異常に早すぎてフレコンと内容物間に強く帯電を起こしたことなどで、受け入れ容器内のビスフェノール A 堆積部とフレコンの間で放電しドカンと爆発しました。原因や危険性については十分認識していたものの、現場の管理が不十分で事故が起こったものです。

金原： フレコンで発生する静電気は何か良い除去方法があるのですか？

澤： フレコンの繊維の中に導電性の炭素繊維を織り込み、フレコンに接地用端子がついていてそれを接地線に繋がればよいようになっているタイプのフレコンを使うことで帯電対策は可能だと思います。

金原： 窒素シールなどの対策には対応していたのですが、静電気の対策がなかなか取れずフレコンの外で大きな放電を時々起こしたことがあり、その対応に決め手がなく困ったことがありました。粉塵爆発だけでなく、有機溶剤などの着火源とならないようにと考えていました。最近はいろいろ改良されているのですね。

澤： フレコンの帯電防止について仕様を示せばそれに対応したものを製作してくれるフレコンメーカーはあります。それと、窒素封入や抜き出し速度を抑えるという対策を採ればほとんど事故は起こらないと思います。

金原： 昔、粉体工場へ見学に行った時、サイロの天板をベニヤ板とし、万一爆発した場合にそれを吹き飛ばすという対応をしているのを聞き、大変驚きました。これは一般的なのでしょうか？

澤： いわゆるエクスプロージョンプレートというものでしょう。あまりベニヤ板というのは聞いたことはないですが、一種の破裂板ということでは軽量でよいかもしれません。ただ、吹いた際粉塵が舞い上がりその後の清掃が大変でしょうが。

金原： 本体のサイロを破壊することを防止する対策でしょうが、抜本対策が要ると感じました。

澤： 昔ビスフェノール A を取り扱う際、ニューマで移送設計をしたことがあります。その際ビスフェノールメーカーさんでは径2mmくらいの粒子(プリル)にして、気流の中にパラパラとダイルートで送ることで、微粉生成することなく窒素を使わずに空気2キロくらいの圧で下からズコンズコンと高い密度で押し上げ安全に移送できるというメーカーの話があり、日本ではそれが一般的であることを理解しました。

金原： 窒素を使用すると爆発面では安全ですが、一方で加圧系なので密室で漏れた場合酸欠の問題もあり、使用する上で漏洩対策を注意しておく必要があります。

三平： 食品会社ではあまり窒素を使用するということはないのでしょうかね。各種の可燃物を扱う化学系の会社は、自社内に空気分離装置を設置し、あるいはコンビナート内の製造会社から購入して、窒素を使用しています。ポリエチやポリプロなど可燃性ポリマーのパウダー乾燥に窒素は必須です。

金原： 窒素シールで酸化防止を図ったりしますし、品質面からは窒素の有効性もあるのではないかと思います。

澤： 食品を長持ちさせるために窒素を使用するのは食品関係でもよくやっているでしょう。ただ、プロセスの中で窒素を使わなくても良いという雰囲気があったのは事実です。

牛山： 粉塵爆発は日本でも結構頻発していて、年間平均6~7件あり、化学工場関係が半分くらいを占めるようです。米国では1980年~2007年の間で平均10件くらい起こっていて、死亡者も0.5~0.6名/件いるようで、粉塵爆発は起きると被害が非常に大きいというのが特徴にもなります。CSBはその報告書でOSHAに事故防

止のルール化をするようリコメンドしていますが、依然事故は絶えず、粉体の取扱いが難しいということを示しているようです。

三平：昔はよく炭坑で炭塵爆発がありましたが、あれも粉塵爆発ですね。

竹内：以前、安全研究会から出版した「事例に学ぶ化学プロセス安全」に粉塵が1ミリ弱積もると舞い上がった時に爆発の危険がある、ということが出ていました。また、部屋の面積の5%以上が粉塵に覆われている場合も危険だと出ています。(P.115)

山岡：その「事例に学ぶ化学プロセス安全」の110～112ページに、先程金原さんと牛山さんから紹介があった砂糖の粉塵爆発事例について「砂糖に爆発の危険がある？」と題した2008年5月号とその記事に係わる解説が掲載されています。ここには「粉塵爆発の必要条件の五角形」(五角形の各頂点に可燃物、酸化剤、着火源、密閉空間、浮遊の5つ)の説明と解説があります。また、粉塵爆発が起こり易い環境やアルミニウムなどの金属粉末による爆発に事例なども掲載されており、大いに参考になると思います。

牛山：この砂糖工場の報告の中に1インチ以上積もっていたが事故は起こらなかったとも記載されていたので、堆積自体よりそれが舞い上がって空中濃度が上がることが問題なのでしょうね。絶対量を下げることと堆積したものを巻き上げないということが対策として必要でしょう。また堆積するのは水平部分でしょうから、設計上極力水平部分を造らないようにすることも重要です。

竹内：粉塵を除去するのに吸引用のダクトつけたりしますが、必然的に水平部分ができることとなります。粉塵爆発の対策をとってもそれがまた粉塵爆発の発生源になりかねないです。

金原：ダクトの水平部に溜まったものが蓄熱して発火した経験もありますので、設計上極力水平部を減らすことは必要ですね。

司会：日本での事故事例がありましたら挙げていただけませんか。

牛山：日本での粉塵爆発の例としてよく知られているのは、2007年に信越化学社の新潟県直江津工場で起こったメチルセルロースの爆発事故ですね。反応器にそれを投入する際窒素シールがうまくできず帯電して爆発し、その衝撃で粉塵が舞い上がり2次的な粉塵爆発を起こしたものです。

澤：反応器の投入口を開けて、材料や触媒を投入して事故を起こす例は中小の会社でよくありますね。

山本：2年前に、日本で同様な粉塵爆発がありました。集塵機内の一次爆発による爆発放散口からの爆風が、周囲の機器にたまっていた樹脂粉を巻き上げ、2次爆発を起こして被害が拡大しました。

三平：この事故では死者2名重軽傷者が13名とかなり大きな被害が出ました。

塩谷：なくなった2名の方は協力会社の方ですね。荷造りとか、粉体原料投入などの作業を協力会社に依頼するケースが数多くあります。協力会社に対しても、粉塵爆発の危険性、帯電防止のための操作手順、適切な保護具の着用など必要な教育をきちんと実施する必要がありますね。

山本：プロセス安全の重要なエレメントの中にも“協力会社の管理”がありますね。

三平：先ほど紹介された粉塵爆発の事故のメチルセルロースは、塩ビPVC重合の補助分散剤に使用していましたがよく知っていますが、確かに微粉でした。

澤：薬の打錠剤としても使われていますね。粉を薬と混ぜ合わせて使うのですが、あの事故で入手が困難になり、薬屋さんが結構困ったようです。

塩谷：先ほど粒度の話がありましたが、粒子径が大きいからと言って、粉塵爆発の危険がないわけではありません。粉体には粒度分布があり、反応器投入の際、粒度の小さなものが着火可能な粉塵雲を形成し爆発に至った事故事例がありました。

澤：愛知県の碧南に中部電力の碧南火力発電所がありますが、国内最大級の石炭火力発電所です。石炭はオーストラリアなどから輸入しており、その荷揚げ用の大きなバケットコンベアでは、その粉塵には気を使っていました。特に事故は起きていませんが石炭の粉塵は大変ですね。同じような炭素粒子でカーボンブラックがありますが、これは危険物から外れていますね。燻のように赤くなるけれど燃え上がることはないようです。

金原：砂糖も水に溶けるので危険物ではないですが、爆発を起こすのですから危険物の取扱いをしないというのは問題があるかもしれませんね。米国では可燃性粉体としていますが。

三平：現在は特殊可燃物でもないのでしょうか。準可燃物のような取り扱いにする必要があると思います。

司会：それでは、今月の主題の方に話を移しましょう。日本では3Sや5Sなどでとり上げられる清掃の問題です

が、清掃不十分で火災が発生したなどのご経験や関係した知見がありましたらお話しください。

金原： 紡績関係では綿くずが発生し、それが風綿となって飛散して堆積することがあります。それが回転部付近であると摩擦熱によって昇温し、着火温度に到達して発火することがあります。いずれも小火にも至らない、煙が出る程度でしたが、発見が遅いと火災になる危険性があります。発生箇所が多くて大変ですが、基本は清掃です。

竹内： 綿くずで思い出しましたが、家庭で洗濯器の上に設置した衣類乾燥機から繊維くず出ていました。乾燥機の裏にコンセントがあり、そこに繊維くずがたまり焦げ臭くなったことがあります。最初は水回りなのになんで焦げ臭いのかと不思議でした。

今出： コンセントとプラグの間の隙間にほこりや水分がたまるとショートを起こし、過熱や火災が発生することがあります。トラッキング現象というのですが、家庭の電気火災の主要な原因です。最近のプラグは根元が絶縁物で保護されており、トラッキングが起りにくくなっています。

金原： ダクトに貯まった可燃物が発火した経験があります。様々な反応に伴って発生し、蒸発やミストによって飛散し、ダクトに堆積するものです。前にいた会社では、ダクトの要所要所に点検用の窓を付け、定期的に点検して記録していました。さらに重要箇所には火災発生に備えて温度計を設置し、温度が上がるような異常発生時にはスチームや窒素を封入して消火できるようにしていました。

竹内： 先ほど牛山さんが言われていた鉄粉の例では、削りカスを貯めておいてそこに布をかけて飛散しないようにしていたところ、雨が降ってきて燃え出したという事例がありました。ドラム缶にまとめて貯めていたので、下の方は削りだしたままの未酸化状態だったのでしょう。雨に濡れ酸化熱で発火したとみられます。

金原： 清掃不十分でなく、清掃に関する注意の例ですが、フィルムの金属蒸着をした後には蒸着装置周辺に凝結金属が付着します。運転終了後毎回、それを剥ぎ落し床に落とします。それを掃除機で集めますが、注意しないといけないのは水と接触すると水素が発生します。蒸着金属は一応酸化され、活性が低下していますが、一定時間水と接触すると表面更新されて活性化し、水素が発生します。そのため掃除機が爆発したことがあります。このような場所では禁水が原則となっていました。

竹内： CSB のビデオの中に別の粉塵爆発の事例があります。West Pharmaceutical の事故で、この工場では非常にきれいに清掃されていたにも拘らず粉塵爆発を起こしました。製造プロセスで使用していたポリエチレンの粉が飛んで天井のダクトから吸われていました。ところがこの天井は、元々はなかったのを後で取り付けたりしく、ダクトと天井の換気孔が繋がっておらず天井板の上に粉が堆積していました。これが2次的な大規模粉塵爆発を起こしました。吊天井を造ったとき、換気孔と繋がなかった MOC の問題だったかもしれません。

金原： ダクトをつなぐことが重要ですが、その先を負圧にして粉塵を吸い込ませるという設計も大事ですね。また誰もが見ないところを見て問題点を探すというのも管理監督者など幹部の仕事だと思います。

司会： 5S や点検時に思わぬ発見や具体的な活動などありましたらお話いただけますか。

金原： 本文にあるような収率に影響があるような漏洩は論外ですが、やはりバルブやフランジからの漏れはパトロールでチェックしておく必要があります。前にいた会社では、毎日午後1時から1時半の 30 分を管理監督者のパトロールの時間としていました。私は工場長でしたが良く見つけました。部下たちは何故見つけるのだろう、と言っていました。部下の至らないところを見出すのが工場幹部の責務ですし、工場長に見つけられることがないようにしっかり点検するという風土を作るのも工場幹部の責務であると考えます。

山岡： 私の工場での経験ですが、5Sは現場の安全のテーマに限らず事務業務も含めて重要であるという考えで、現場だけでなく事務所を含む職場全体で 5S活動に取り組みました。最初は小集団活動で 4Sを3か月間行いましたが、それで終わりとせず、職場全体として習慣づけるため 5 番目のSは躰と習慣を合わせて、5年間毎年1か月間この活動を続けました。この状態は現場では定着しましたが、事務所の方は徐々にルーズになっていったという気がしました。現場との意識の違いでしょうか。

牛山： 今回の事故事例でも、砂糖が漏れているのは現場だけでなく、工場幹部も見て知っていながら対処していなかったのですね。幹部が是正措置をとらなかったということが事故につながったわけで、金原さんのご指摘は非常に重要ですね。

金原： 運転員は上司のことをよく見えていますから、幹部がこれを放置していると思うとそれで良いんだと思ってしまうですね。このような風土を正すのも幹部の責任です。同時に抜本的な対策を考えるのも幹部の仕事です。

竹内： その辺、化学工場と食品工場の意識の違いというものもありそうですね。また、この砂糖の工場がどれだけ利益を上げていたのかということもあるかもしれません。利益が出ないと安全のために費用をかけようとしにくいですからね。特に中小企業ではそうなりがちかもしれません。

今出： 勤めていた米国の会社ですが、5S の英語版がありました。カイゼンと同様日本の取組みを参考にした物ですが、内容的には日本とほぼ同じでした。

牛山： 社員にはそのような教育をやはりするのですか。

今出： 教育プログラムを開発し、しっかりやっていました。かなり効果があった海外の事業所もあったようです。

竹内： 「事例に学ぶ化学プロセス安全」のコラム欄に英語版 5S について紹介文が出ています。内容は似ていますが、全て頭文字が S のワードを使っています。(P.53, Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain)

澤： 整理が Sort で一番面白いですね。意味は仕分けで不要なものは捨てますということです。冗談で会社でも不要な人は Sort しますなんて言ったりします。しつけは Sustain で、ずっと継続できるようにすることです。

金原： 課長時代、右図のように5S の目的をポスターにして中央操作室に掲示しました。

まず、しつけ(躰)があり、それができれば5S が定着化し、工程の安定化(右図では割愛)、さらに安全確保などに繋がることを表しています。台湾の見学者がそれを見て非常に感動し、ポスターを持って帰りました。彼らも5S に大変関心があり、躰なくして5S はないと感じていたようです。



澤： 3S や4S といった時はしつけが入っていなかったですね。

金原： しつけが中心でそれがなかったら5S 活動はできないと私は思っています。工場長時代、週末の5S(整理・整頓・清潔・清掃・躰)と称して、午後1時から 30 分間、工場幹部が予定された部署に行き、その部署の人たちと一緒に整理・整頓・清掃を行いました。毎週どこかの部署で活動していましたが、継続は力なりで随分美しくなりました。5S を習慣づける、即ち躰をきっちりと身に着けさせるのは工場幹部の責務であると考えます。

澤： 話は戻りますが、技術は米国の技術でタンタルの微粉を使用してコンデンサーを製造している工場が日本にあります。ダクトを掃除している人が、その最中に火災にあって火傷を負い死亡した例があります。掃除をしている際にも金属の微粉など火災になる危険もありますから注意しておく必要があります。

竹内： 今回のビーコンの最後に清掃の際、適切で安全な方法でやることと示されていますね。これは良い教訓になります。

金原： いろいろな経験を通して学ぶということが非常に大事だと感じました。先ほどの掃除機のトラブル時アルミの専門会社に行って話を聞いたことがあり、アルミの怖さというものを知りました。難しいですがいろいろな形で勉強したり経験して防災対策を考えないと事故が起きかねないなと痛感しました。

澤： 逆に常識的に危険だと思うものが案外そんなに問題を起こしてないこともあるのです。昔ダウにいた際、金属マグネシウムの加工工場で切削加工をしてもいましたが、火花が跳ぶこともなくそんなに危ない状況ではありませんでした。もう少し危険なのかと思っていましたが、そうでもありませんでした。

金原： おそらくいろいろ対策もされていたのでしょう。事前に実際に実験もしてデータを探り、想定される事故を考え出し、それに対していろいろな対策を施しておくことが重要だろうと思います。

司会： 本日は粉塵爆発の事例と清掃など5S について、いろいろご経験などを交えてお話をいただきました。5S など身近にやっている活動の成果もあるのですが、粉塵爆発の事故自体は皆様あまりご経験がないようでした。ただ、起きるときは被害も大きいということで十分な対策が必要です。その点で、平素の活動の中で対応されたお話など参考になるものが多々あると思います。本日はどうもありがとうございました。

キーワード： 粉塵爆発、コンベア、気流搬送(ニューマ)、砂糖、アルミ粉、金属粉、フレコン、帯電防止、切削加工風綿、清掃、しつけ、5S、英語版 5S、

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村 雄二、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、中村喜久男、春山 豊、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己