

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2021年6月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.180) http://sce-net.jp/main/group/anzen/</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:山岡龍介)</p>
--	--	--

可燃性粉塵の危険性はいたるところにある！

(PSB 翻訳担当: 松井悦郎)

司会 : 今月号は、可燃性粉塵の危険性、粉塵爆発の怖さがテーマです。粉塵爆発については過去にもこの Beacon で事故事例とともに取り上げられていますが、まず、今月号の Beacon についてご感想をお聞きかせください。

金原 : この円グラフは件数の多い順に並べてもらえれば分かり易いのですが、ランク付けすると食品・金属製品・木材製品がワースト3で、ゴム・プラスチック製品や化学製品は件数も少なく、ランクが下でした。やはり化学製品関係は防災関係でしっかりとした対策を取っていると考えて良いのでしょうか。

三平 : 統計の図を見て、件数の多いワースト3の食品・金属製品・木材製品と少ない化学産業との違いを考えると、プロセスが開放系か、密閉系かの違いがあると感じました。化学関係のプロセスは粉体を扱う設備でもほとんどが密閉系のため、空気や着火源と接する機会が少なく、粉塵爆発が起こる状況になる可能性は低いと思います。

山本 : Beaconにある図1の出典の URL を見ましたが、事故毎の死者数や負傷者数が表になっていました。表からは、2006年から2017年の12年間で、105件(8.8件/年)の事故が起き、死者数は59名(4.9名/年)、負傷者数は303名(25.3名/年)でした。CSBは以前にも、1980年から2005年の26年間の粉塵爆発の調査をしていますが、事故件数は281件(10.8件/年)で死者数は119名(4.6名/年)、負傷者数は718名(27.6名/年)でした。年平均での事故件数や死者数、負傷者数が以前とあまり変わっていないので驚きました。粉塵爆発は毎年コンスタントに起こっていると感ずくし、粉塵爆発に対して決定的な安全対策はあまり進歩していないのかもしれないですね。(参考:松本洋, “粉塵爆発事故事例と対策”, 安全工学, Vol.48, No.3(2009))

金原 : 食品関係では、小麦粉や砂糖などの粉製品を扱い、それらを貯蔵する関係で事故が多いと思いました。かつて、製粉会社に見学に行ったことがあるのですが、小麦粉のサイロには窒素シールがされていないと説明がありました。それで、粉塵爆発対策はどのようにされているのですか？と質問したところ、サイロの屋根がベニヤ板でできており、爆発した時に放圧できるようにしてあります、と返答されました。本文にあった爆発バントパネルがこれに相当すると思いますが、品質管理面でも窒素シールが必要とさせていただき大変驚きました。また、過去の粉塵爆発の事例集をみると、金属屑や木屑による粉塵爆発も多いですね。徹底した清掃が行き届いておらず、例えば梁の部分に堆積した粉塵が原因で爆発した事例があります。なかには2007年の中越沖地震の影響によって鋳物工場内で堆積していた粉が舞い上がり、粉塵爆発を起こした例もあります。目の届かない所にも注意を向けて、粉が溜まらないようにすることが非常に重要です。

竹内 : 小麦を取扱う工場では、窒素シールは使用しないとのことですが、窒素は高価なので、製品の付加価値の小さいものでは使えないというのは分かるような気がします。

司会 : いま、金原さんからサイロの屋根のベニヤ板が爆発バントパネルに相当するのではないかと問われましたが、爆発バントパネルについて、竹内さん解説いただけますか。

竹内 : 爆発バントパネルと訳しましたが、放圧して爆発を軽減させるということではラプチャーディスクと似ていますが、ラプチャーディスクは主に配管に設置されるのに対し爆発バントパネルは設備本体に設置します。爆発したときに爆風をどの方向に向かわせるかをコントロールする考え方です。この考え方は、古くは1800年代、デュポンの黒色火薬の工場で爆発したときの爆風を人のいない川の方角に向かわせ、工場側には行かない設計としていました。今月号の事例はこの考え方とよく似ています。

金原 : 爆発バントパネルの設計の考え方として、パネルの大きさについての設計思想はどのようなものですか。

- 竹内 : パネル自体は設計したことはありませんが、爆発したときに、設備本体が破損しない様に設計していると思います。また、爆風により放出物や破片が四方八方向に向かうことを防ぐために、あえて弱いところを作っておいて、安全な場所に吹かせるという設計思想だったと思います。
- 山本 : バグフィルター内は粉塵爆発が起こりやすい場所です。バグフィルターのメーカーでは、粉塵爆発を想定した色々な実験から得られた爆発ベントパネルの設計式があるようです。どのくらいの圧力で破れるかの実験も行っているはずですよ。
- 竹内 : 厳密に計算すればどれだけのエネルギーが生じるか算出できますからね。ネットで調べると粉塵爆発の試験をしてくれる企業もあるようです。
- 今出 : バグフィルターメーカーは爆発ベントパネルを放散口と言っていますね。
- 金原 : 粉塵爆発には爆発指数というのがあるので、それを基にサイズを設計していると考えます。また大きさによって言い方が異なり、小さいものは放散口と言うのでしょうか。
- 竹内 : 爆発したときにその場所だけでなく周囲にも影響を与えるので粉塵爆発を想定した場合は大きいパネルが多いです。
- 今出 : 確かに、容器に付けるのですから容器の大きさや内容物に応じてそれに付けるパネルの大きさ、厚さ、材質などが変わってきますね。
- 司会 : 可燃性粉塵の発生や粉塵爆発について、ご経験や知見をおもちでしたらお聞かせください。予想しなかった物とか場所で粉塵が発生したというような例でもよいです。
- 金原 : 私の所では粉塵爆発の経験がないので過去の事故事例を調べました。気になった例として、1990年に市原市の化学工場で、ビスフェノールAの粉末をホッパーに投入する作業中に発生した粉塵爆発があります。ここではきちんと窒素シールはされていたのですが、袋からの投入時に定められた作業手順とは違う不適切な操作を行ったためにホッパー内に空気が入って窒素シールが切れ、静電気が着火源となって爆発したとのこと。窒素シールしておけば安全、と思いこまないようにしないとイケませんね。
- 春山 : 固体系の化学物質製造プラントで集塵設備、サイロなどの貯蔵設備での爆発事故を経験しております。粉塵爆発もプラントの付帯設備で目がゆきとどきにくい系での事故で、油断すると大きな事故につながります。
- 金原 : 紙の工場で、配管内に堆積した紙の粉が長い間に乾燥し、炭化した為に粉塵爆発が起こったという事例があります。粉塵が貯たまりやすい配管やダクトは定期的に点検し清掃する必要があります。同じように、2001年に電子部品工場で、表面加工工程の集塵機で爆発火災が発生しています。集塵機までの配管に堆積した金属の粉末が空気中の水分と反応して水素を発生し、何らかの原因で着火。これによって配管や集塵機内のマグネシウム粉末が粉塵爆発し、二次爆発となりました。粉塵爆発ではありませんが、私自身、蒸着のアルミなどの金属屑が水と接触し、水素を発生させることによる様々な事故を経験しています。今月のBeaconでも金属加工での粉塵爆発の発生件数が多いという実績が出ていますし、金属粉は鉄でも発火しやすいということを危険物の講習会で学んだことがあります。金属粉は発火しやすく、色々な意味で注意が必要です。
- 竹内 : つい最近(5月11日)、日本でも粉塵爆発がありましたね。福島県いわき市の化学工場で、亜鉛の粉末を製造する建屋内で起きたようですが、本当に粉塵の危険性はどこにでもありますね。金原さんから集塵機での爆発火災の話がありましたが、私も同じような事例を聞いたことがあります。集塵機に至るダクトで、粉塵をダクトで引っ張っていたのですが、工場が運転を停止しているときに改造の為にダクトにグラインダーを当てたらダクト内に溜まっていた粉塵が舞い上って爆発したという事例です。粉塵爆発の対策として集塵機を使用する時は、集塵用ダクトの中も要注意です。
- 金原 : バグフィルター開放に関して問題点があったのではないですか。
- 竹内 : その事例はバグフィルターと関係ありませんが、バグフィルターを清掃しようとして開けたら空気が入って爆発したという例が何件かあります。バグフィルターも怖いので開けるときには注意が必要です。
- 金原 : バグフィルターを開放し、かつ火気使用の工事をするときには空気が入って爆発しないように窒素シールをすることが基本と考えますが、勿論、酸欠には十分に配慮する必要があります。
- 三平 : ポリオレフィンパウダーの乾燥では窒素を使っていて安全ですが、設備の末端にあるバグフィルターを開放して点検掃除する際に空気が入ります。昔、開放時に静電気でバグフィルターに浸み込んだ残溶媒に着火したことがあります。今は導電性繊維を使ってフィルターの帯電を防いでいます。

- 金原 : 品質面も含めて窒素シールをしないのは意外に感じます。例えば窒素だけ使うのはもったいないので空気と混ぜて酸素濃度を5%以下にして使うという対策をした例がありました。
- 山本 : 私の知っている事故で、バグフィルターのブロワーを停止した時に、上流に設置した粉体機器に空気が供給されていたので粉体が逆流し、粉塵が系外に噴霧して着火したことがあります。幸い爆発は起こらず人的被害も出ませんでした。一般的に粉体設備のフローでは、末端にバグフィルターとブロワーを設置して、系内を負圧にして空気と粉体がバグフィルターに向かうようになっています。注意をすることは、ブロワーを停止したときに、系内に空気を供給していると、圧力バランスが崩れて粉体が逆流し、粉体が系外に噴出する場合があるということです。噴出した場所に着火源があると、粉塵爆発を起こす可能性がありますので、フローを眺めて、噴出の可能性があれば対策を講じなければなりません。この事故の後、対策として末端のブロワーが動いていないと粉体機器へのエアーのバルブを開かないようにしました。
- 金原 : 粉塵爆発ではありませんが、繊維関係では紡績の段階で糸くずが飛散します。毎日業務終了後に隅々まで清掃することを日課にしていますが、それでも1日で結構な量が堆積します。最近はずすがに減りましたが、以前はその糸くずによる小火が時々発生していました。
- 三平 : 出身会社の研究開発部門を支援する技術情報収集で、アルミニウム粉末のメーカーにコンタクトしたことがあります。製法はアトマイジング法と粉砕法があり、後者は粉末が微細で表面活性が高く、ALC(軽量気泡コンクリート)の製造などに使われています。この表面活性を利用する有機物精製のスケールアップで使用時の安全対策の調査を依頼されました。試験品を購入したメーカーの工場長とやり取りして製造方法や取り扱い時の安全対策を聴き出しました。アルミ箔をシュレッターした原料を二段に粉砕、篩分けする際に、助剤としてステアリン酸を入れて加工時の飛散を防いでいます。最後の脱脂工程でステアリン酸が除かれ、高活性の粉末製品が計量、荷造りされます。粉塵爆発を起こさないために細心の注意をしているとの話に説得力がありました。
- 司会 : 粉塵爆発の事例について色々なお話をありがとうございます。そこで、粉塵の発生や粉塵爆発の防止する方策について、ご経験や知見をおもちでしたらお聞かせください。
- 金原 : ご承知と思いますが、粉塵爆発の三要素は、①爆発下限濃度以上の粉塵、②最小着火エネルギー、③空気中の酸素、とされています。①については、実験で測定するのには、粉塵はガスのように均一な濃度を確保することが難しいので、ばらつきが出るために数が必要とされています。爆発への因子としては、熱分解物の発生量や燃焼熱の大きな物質は激しく爆発すると言われています。また粉体の粒径の小さいほど、即ち比表面積が大きいほど爆発しやすいと言われています。物質をコントロールするのは難しいので、窒素雰囲気にするとか、静電気除去対策を徹底することが大切と考えます。
- 竹内 : 粉塵爆発の可能性のあるエリアでは、着火源、特に静電気に注意していました。接地やボンディングを徹底して行っていました。
- 塩谷 : 2020年1月号のBeaconで紹介された砂糖工場での粉塵爆発は、最初に小規模な爆発が起こり、それによって設備内に堆積していた粉塵が大量に空中に浮遊し、浮遊した粉塵に着火して二次爆発の連鎖反応を引き起こしました。浮遊粒子の濃度と量が増大したため二次爆発は一次爆発より大規模でした。この爆発連鎖の現象は2017年に静岡県で発生した化学工場での粉塵爆発でも同様であり、フレコン充填作業中に発生した小規模な爆発によりダクト内に堆積していた粉塵が噴き上げられ、これに着火して大規模な粉塵爆発につながりました。このことから、粉体取り扱いエリアの清掃は非常に重要となります。定期的な掃除はもちろん重要ですが、根本的な粉体のこぼれの防止対策も併せて実施しなければなりません。Beaconでも紹介された砂糖工場の粉塵爆発の事故ではベルトコンベアからこぼれる砂糖の問題を放置し、対症療法としてベルトコンベアをダクトで覆いました。これにより密閉空間が形成され、事故の被害はより拡大することになってしまいました。
- 山本 : 今の塩谷さんから紹介のあった静岡県の事故について補足します。事故調査報告書によりますと、粉体設備の系内で一次の粉塵爆発が起こりましたが、集じん機が屋内に設置され、爆発放散口のすぐ先に強固な壁があったため、一次爆発による火災と集じん機内の未燃の粉塵が壁に阻まれて当該製造棟内に噴出して二次爆発が発生して事故が拡大しました。爆発放散口を適切な向きにし、その方向に遮蔽物を置かないことが重要だと思います。
- 竹内 : Beaconで紹介されているCSBビデオにNFPA 654について触れていましたので調べてみました。この中で7.2.3項と7.2.4項にどのような状態が粉塵爆発の危険性があるかを評価する方法が示されています。7.2.3項は粉

塵層の厚さで、7.2.4 項は粉塵の質量で評価します。質量の方は少し複雑ですので興味のある方はご自分で調べて下さい。粉塵層の厚さについては、当安全研究会の編集により出版された「事例に学ぶ化学プロセス安全」では粉塵爆発が起こるとされる粉塵層の厚さは1mmとなっていますが、NFPA 654 では基本的に 0.8mm です。粉塵爆発が起こるとされる粉塵層の厚さの基準値を次の式で計算して、粉塵層の面積や体積が以下の条件①～④のいずれかに該当する場合は危険であるとされています。

$$LD(mm) = (0.8mm) * (1200 \text{ kg/m}^3) / BD(\text{kg/m}^3)$$

ここで、LD は粉塵層の厚さ基準 (mm)、BD は粉塵の嵩密度 (kg/m^3)です。評価は次の4通りです。

- ① 堆積した粉塵層の厚さが基準を超える部分の面積が、床面積の 5%を超える
- ② 堆積した粉塵層の厚さが基準を超える部分の面積が、92.2 m^2 を超える
- ③ 堆積した粉塵層の体積が厚さ基準 × 床面積の 5%を超える
- ④ 堆積した粉塵層の体積が厚さ基準 × 92.2 m^2 を超える

金原 : このような閾値を求める式で粉塵爆発の危険性を評価するのは興味深いと思います。ただ、嵩密度の低い方が飛散しやすいと考えますが、それが厚くても良いというのはどうなのか。5%という比率も 92.2 m^2 という数値も経験則で出されたと考えますが、それが厳密に管理できるのかちょっとわからないところがあります。

牛山 : 米国では、2008 年にOSHAが関連企業に対し粉塵爆発の危険性について粉塵危険度分析(DHA)を実施するよう指示を出しました。しかし、一般の企業はほとんど粉塵の危険性の認識がなく実施されなかったようです。2015年にNFPA652にDHAの規定が新たに作られ、2019年に改訂されてこれが最新版となっています。規定に沿って期間を決めてプロセスの中で粉塵の危険性を解析するよう義務付けられましたが、まだ解析した結果の効果が出ているか、結論は出ていないようです。このように米国では粉塵爆発の危険性を解析して事故を減らそうとする動きになっています。

司会 : 今月の Beacon の「知っていますか」や「あなたにできること」の内容に付加えることがありましたらお話しください。

金原 : 「粉塵を貯めないこと」に対するコメントとして、先にも言いました通り、ダストは思わぬところに溜まっています。ダクトもその一つです。点検口を設けて定期的に点検し、清掃することをお勧めします。粉塵だけでなく可燃物は放置しておくとも自然発火する恐れがあるので、これらが溜まらないよう適宜取り除くことが重要です。

竹内 : 先程も少し触れましたが、集塵ダクトも要注意です。水平管には粉塵が溜まり易く、そこに空気を引き込んでくるので着火源があれば、爆発や火災を起こすことがあります。溶剤系のダクトも同様に注意が必要です。

金原 : そのようなことを防止するために私のいた会社では、ダクトの所々に温度計を取り付け、緊急時には水蒸気を入れて消火するようにしていました。酸素濃度を下げることと、蒸気がドレン化して冷却する効果があります。

山岡 : 粉体と機器の摩擦やバグフィルターから粉体を払い落とすときなどに高電位の静電気が発生して、それが着火源になって爆発が起こる可能性があるため、不活性ガスを流したり湿度調整をすることも有効です。

澁谷 : 粉塵爆発については、書籍「事例に学ぶ化学プロセス安全」の 111～115 ページに2件の事例が取り上げられ、それぞれ事故の解析、事故発生の要因、爆発防止策、日本国内の粉塵爆発事例が詳細に記載されています。本日発言された内容とダブルとところもありますが、大いに参考になるとと思います。

司会 : 化学産業における粉塵爆発事故は、発生件数が食品や金属など他の産業に比べて少ないとはいえ、日本国内も含めて起こり続けています。本日は披露いただいた粉塵爆発の事例や防止策はこれからの粉塵爆発事故の防止に大いに参考になるとと思います。ありがとうございました。

キーワード: 粉体、粉塵、可燃性粉塵、粉塵爆発、爆発ペントパネル、バグフィルター、放散口、ベルトコンベア、集塵機、サイロ、ダクト、静電気、爆発下限界濃度、最小着火エネルギー、嵩密度、NFPA652/654 粉塵危険性分析(DHA)

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、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