

2012.08.01

災害リスク情報 <第 44 号>

粉塵爆発の危険性と事故防止対策

はじめに

日頃、火災や爆発事故に関するニュースが報じられるたびに、その凄まじさや恐ろしさが伝えられる。これらの火災や爆発のほとんどは可燃性ガスや引火性液体に起因するものであるが、粉塵による爆発事故も毎年のように発生している。

粉塵爆発は、可燃性ガスや引火性液体の爆発と比較すると頻度は少なくなるが、古くから繰り返し発生している典型的な爆発事故現象の一つである。時には、多数の死傷者や数十億円にも上る物的損害や利益損害を生じる重大な事故になることもある。また、近年の事故事例を分析すると、社会の変化とともに新たな要因による事故の発生が浮かび上がってくる。

そこで、本レポートでは、粉塵爆発のメカニズムを説明し、過去に発表されている事故データや報告等から見えてくる、粉塵爆発事故の特徴や問題点を解説する。最後に、粉塵爆発の事故防止対策を考える上でのポイントを紹介する。

1. 粉塵爆発のメカニズム

粉塵爆発は、粉塵粒子と空気の混合状態（粉塵雲）が形成され、それに着火することにより発生する爆発現象である。爆発が発生するためには、主に以下の5つの要素が必要条件となる。なお、この5つの要素を OSHA（Occupational Safety and Health Administration：アメリカ労働安全衛生管理局）では、Dust Fire and Explosion Pentagon（粉塵火災・爆発の五角形）と言う。

- ①可燃性の粉塵（以下、可燃性粉塵という）があること
- ②着火源があること
- ③空気（酸素）があること
- ④粉塵粒子が（爆発条件に合った）適度な分散度合いであること
- ⑤粉塵雲が（爆発条件に合った）適度な密閉状態にあること

その他にも、可燃性粉塵の濃度、粒子径、形状、粉塵雲の湿度なども爆発の発生に影響する因子とされている。

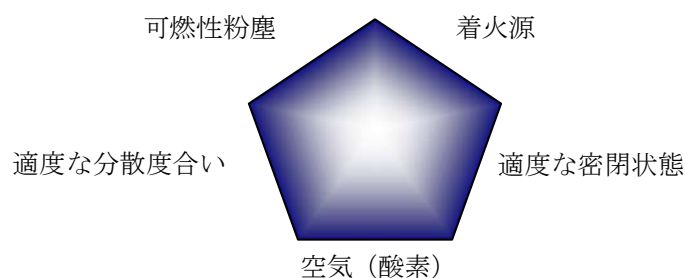


図1 粉塵火災・爆発の五角形

2. 粉塵爆発の特徴

粉塵爆発の主な特徴として、二点挙げることができる。

一点目として、通常の使用状態では爆発の危険性のない物質（例えば、木材、金属、食品など）でも、微細な粉塵状態になると、爆発の潜在的な危険性を有するようになることである。過去の事故事例によると、この微細な状態における爆発の危険性について十分に認識されず、爆発事故へ至ったケースが多く報告されている。

二点目として、粉塵爆発は副次的な爆発現象として捉えられることがある。何らかの原因で一次爆発（例えば、ガス漏れによるガス爆発）が発生し、その圧力波により床面や設備装置等の上に堆積していた粉塵が巻き上げられ、粉塵雲を形成し、それに着火し粉塵爆発（二次爆発）へ至ると言われている。更に、二次爆発から発せられた圧力波が周囲の堆積粉塵を巻き上げ、三次、四次と連鎖的に粉塵爆発を引き起こしていく。爆発後に火災が伴えば、被害は更に拡大していく。

3. 粉塵爆発の事故事例

（1）粉塵爆発の事故件数

日本およびアメリカにおける粉塵爆発の事故件数について文献情報を基に紹介する。

①日本

「新版 防火・防爆対策技術ハンドブック(2004)」(出版社：テクノシステム)によると、日本では1952年から2001年の50年間で291件の粉塵爆発事故が報告されており、年平均では6件程度になる。また、その間の死者は117名、負傷者は611名となっている。

②アメリカ

CSB (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board : アメリカ化学物質安全性調査委員会) が2006年にまとめた「Investigation Report Combustible Dust Hazard Study : 可燃性粉塵のハザードスタディ」によると、アメリカでは1980年から2005年の26年間で281件の粉塵爆発事故が報告されており、年平均では10件程度になる。また、その間の死者は119名、負傷者は718名となっている。図2に1980年から2005年までの粉塵爆発事故件数、死者数および負傷者数を示す。図2によると、粉塵爆発事故は毎年のように発生し、特に近年は事故件数、死傷者数ともに増加傾向であることが分かる。

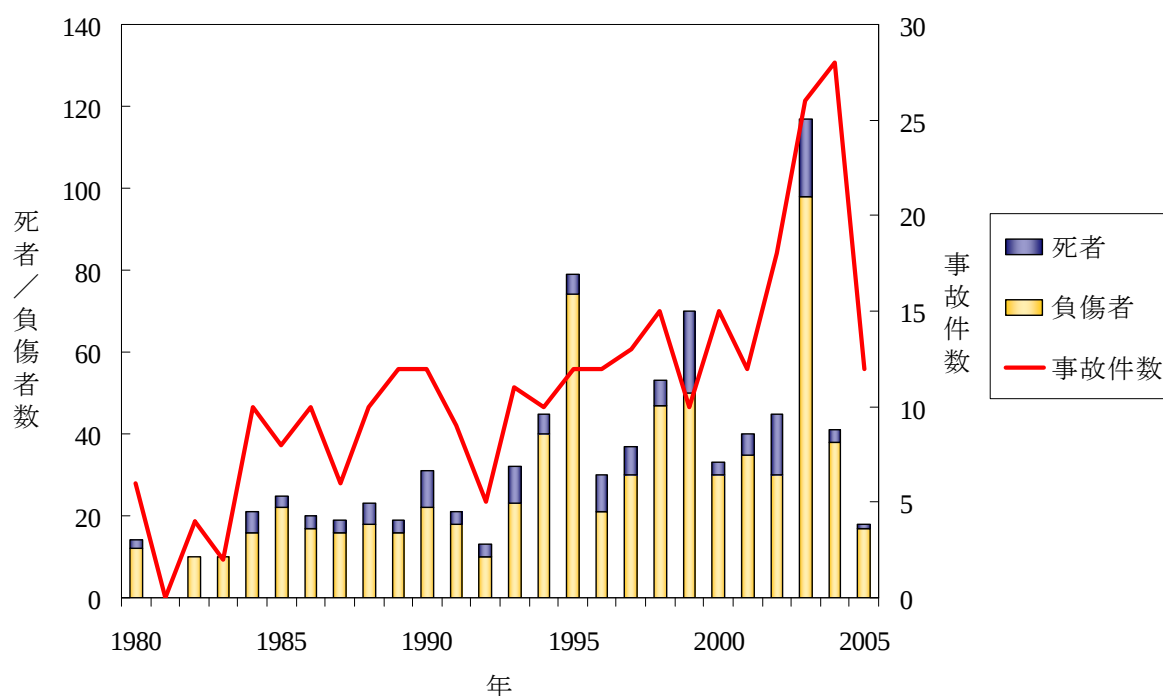


図2 アメリカにおける粉塵爆発事故件数、死者数および負傷者数（1980～2005年）

出典：CSB 発行 Investigation Report Combustible Dust Hazard Study (November 2006)を基に作成

（2）近年における重大な事故事例（国内外）

近年において、重大な損害を被った、国内外の粉塵爆発の事故事例を調査し、その結果を表1にまとめた。なお、海外の事例は非常に甚大な被害が発生したものを抽出した。

表1に掲載していない事故を含めると、近年においても事故の件数が減少傾向であるとは言えず、粉塵爆発事故は絶えず発生していると言える。また、金属、化学、食品など、粉塵を扱うさまざまな業種で爆発事故が発生し、甚大な被害が生じていることが分かる。

日本国内の最近の特徴的な点として、特に金属、化学の分野において事故が頻発していることが挙げられる。これは、新素材物質や機能性物質の開発に関して粉体技術の高度化が進み、微粉を取り扱う機会やその取扱量の増加が背景にあると言われている。また、循環型社会を推進するために、容器包装、家電、食品、建設、自動車などの各分野でリサイクル関連法の整備が進められ、リサイクル施設や廃棄物処理施設などで、粉塵による火災や爆発が頻発している。

表1 近年における粉塵爆発が関与したと思われる主な事故事例（国内外）

出典：インターネット情報を基に集計・作成

発生年月	国	事業形態	爆発原因 推定物質	発生箇所	死傷者	損失
1997/8	フランス	農業	穀物	穀物 エレベーター	12名死亡	財物および利益損失 2,300万ユーロ
1998/6	アメリカ	農業	穀物	穀物 エレベーター	7名死亡 10名負傷	財物および利益損失 数百万USドル
2001/8	日本	電子部品	マグネシウム 合金粉	表面切削研磨工 程の集塵機配管	10名負傷	不明
2001/10	アルゼンチン	農業（港湾施設で の出荷作業中）	一次爆発はペタン 二次爆発以降、穀物	サイロ	3名死亡 7名負傷	不明
2001/11	ブラジル	農業（港湾施設で の出荷作業中）	穀物	穀物 エレベーター	6名負傷	不明
2002/4	アルゼンチン	農業（港湾施設で の出荷作業中）	大豆粉末	サイロ 地下部分	3名死亡 19名負傷	不明
2003/1	アメリカ	医療品	一次爆発は不明 二次爆発はポリエチレン	乾燥工程の 吊り天井上	6名死亡	財物および利益損失 4,100万USドル
2003/2	アメリカ	自動車	フェノール樹脂	焼戻し炉周辺	7名死亡 37名負傷	原料メーカーに対し 1.2億USドル賠償
2003/10	アメリカ	自動車	アルミニウム	輸送および乾燥 工程の集塵機	1名死亡 6名負傷	不明
2004/5	日本	建材製造	木材	集塵機周辺	12名負傷	不明
2005/2	日本	アルミ加工	アルミニウム	溶鋸炉付近	1名死亡 6名負傷	不明
2005/10	日本	アルミ加工	アルミニウム	分級器	3名負傷	不明
2006/1	日本	パーティクル ボード製造	木粉	ダクト内	4名負傷	焼損面積 4,700m ²
2006/12	日本	化学	アルミニウム	不明	2名負傷	工場兼倉庫約250m ² ほぼ全焼
2008/1	日本	産廃処理	破碎プラスチック	破碎機	3名負傷	不明
2008/2	アメリカ	食品	砂糖	サイロ地下部分	14名死亡 38名負傷	不明
2008/8	日本	産廃処理	OA機器用トナー	破碎機	2名負傷	不明
2010/2	中国	食品	澱粉	不明	19名死亡 49名負傷	不明
2010/4	日本	シリコンウエハ素 材製造	シリコンのかす	ごみ集塵機付近	1名負傷	不明
2010/7	日本	化学	樹脂	ミキサー	3名負傷	不明
2011/12	日本	合金製造	マグネシウム	掃除機	2名死亡 2名負傷	周囲の窓ガラス割れ
2012/3	日本	金属加工	アルミニウム	集塵ダクト	なし	当該工場のスレート 屋根吹き飛び
2012/6	日本	化学	ビスフェノールA	製造釜 投入作業時	3名負傷	建屋壁、屋根、釜、排 気ダクト一部損傷
2012/7	日本	アルミ加工	アルミニウム	バグフィルター 付近	4名負傷	周辺建屋損傷

4. 繰り返される粉塵爆発事故から分かること

過去の事故事例を分析すると、粉塵の危険性に対する認識不足から粉塵に対する適切な取り扱いが見過ごされていた可能性が否定できない。防爆構造ではない機器（電動機モーター、照明器具、掃除機など）の使用、帯電防止用の作業着の未着用など、取り扱う粉塵の危険性を十分に認識していれば、おそらく実施されていた安全対策が実際の事故では行われていなかったことが分かる。

先に紹介した CSB の「可燃性粉塵のハザードスタディ」においても、2003 年に連続して発生した 3 件（表 1 参照）の大きな粉塵爆発事故および他ケースでの事故調査を通じ、粉塵の危険性に対する認識不足が浮き彫りとなっている。なお、以下がハザードスタディで挙げられた主要な課題である。

- 工場の経営層、行政機関、労働安全衛生専門家および保険会社は、粉塵爆発の危険性を特定することができず、適切な防止対策について提案することができなかった。
- 工場内の清掃状態が不十分で、多くのケースで、爆発危険性を有する粉塵が堆積していた。
- 集塵装置が、粉塵爆発に対して防爆構造となっていないか、または防爆構造であっても適切なメンテナンスが実施されていなかった。
- プロセス変更に伴う危険性評価が未実施または不十分のまま、プロセスを変更し操業されていた。
- よく知られている可燃性物質の MSDS（Material Safety Data Sheet：製品安全データシート）のうち、粉塵爆発の危険性について適切に記載されているものが半分程度しかなかった。

金属、木材、食品など通常の使用状態では爆発の危険性のない物質でも、微細な粉塵状態になると、爆発の危険性を有するようになるという「粉塵の爆発危険性」の認識を新たにし、適切な対応を図っていかないと、粉塵による爆発事故は今後も発生し続けることが懸念される。

近年では、前述のとおり、粉体技術の高度化に伴う更なる微粉化、リサイクル施設や廃棄物処理施設における内容物が不明の中での処理作業など、時代の変化とともに新たな粉体の使われ方や処理の仕方が発生しており、粉塵爆発の潜在リスクが高まっていると考えられる。事故防止に向けた早急な対応が求められる。

5. 粉塵爆発の事故防止対策のポイント

本章では、粉塵爆発の事故防止対策のポイントを、粉塵管理、着火源管理、被害軽減対策および教育の4つの観点から紹介する。

(1) 粉塵管理

以下は、NFPA (National Fire Protection Association：全米防火協会)が発行している粉塵爆発防止に関する規格である NFPA 654 (Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids-2006)で推奨されている粉塵管理のポイントである。

- ①プロセス機器や換気装置から発生する粉塵の極少化
- ②集塵システムや集塵装置の採用
- ③床面、機械設備外面、天井裏、窓枠などに、粉塵の堆積を低減させ、かつ、清掃のしやすい表面の採用
- ④点検が可能となるように、粉塵の堆積する可能性があり、かつ、目の行き届かないエリアへのアクセス確保
- ⑤粉塵の堆積状況の定期的な点検の実施（粉塵の堆積する可能性のある箇所全て）
- ⑥堆積粉塵の定期的な清掃の実施
- ⑦着火源が近くに存在する場合には、粉塵雲を発生させない掃除方法の採用
- ⑧粉塵の集塵に適した掃除機の採用
- ⑨安全弁などの圧力放出装置の粉塵爆発危険エリアからの隔離
- ⑩粉塵の危険性評価、堆積状況の点検、清掃および粉塵管理に関するルール策定と実施

上記から言えることは、粉塵をいかに発生させないか、または、粉塵が発生した場合に堆積する機会をいかに少なくするかがポイントであると読み取れる。粉塵の危険堆積量に関する簡易判断ガイドラインとして、CCPS (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers：米国化学工学技術者協会 化学プロセス安全センター)で以下のような指標を示している。日ごろの粉塵管理に役立てることができると思う。

- ①粉塵の下で機器や床面の色が分からないとき
 - ②堆積粉塵に名前を書いたとき文字の端がわずかに盛り上がる時

(2) 着火源管理

前記と同様に、NFPA 654 で推奨されている着火源管理のポイントである。

- ①電気機器および配線方式の適切な採用と使用
- ②接地を含め、静電気の管理徹底
- ③喫煙、裸火および電気火花の管理徹底
- ④機械的な電気火花および摩擦の管理徹底
- ⑤異物除去装置（金属除去装置など）の使用
- ⑥高温配管などの熱面から粉塵の隔離
- ⑦乾燥機や焼成炉などの加熱装置から粉塵の隔離

- ⑧防爆対応型の作業用車輛の採用
- ⑨上記装置・機器の適切なメンテナンス

また、表2に、粉塵爆発の着火源と、それら着火源に対する粉塵爆発防止対策を具体例によりまとめた。

表2 着火源の代表例と粉塵爆発防止対策の例

着火源の代表例	粉塵爆発防止対策の例
①モーター、照明器具、制御盤などの電気設備	・ 防爆型構造 ・ 定期的な清掃
②スイッチの火花、ヒューズの溶断、配線不良など電気機器のトラブル	・ 防爆型構造 ・ 定期的な清掃
③静電気	・ 接地 ・ 帯電防止用作業服や作業靴の着用
④熱源 スチーム配管、熱風発生機ダクトなど	・ 断熱材による完全保護 ・ スチーム配管などの壁貫通部の定期的な確認
⑤集塵・排気ダクト内の堆積粉塵の蓄熱	・ 定期的な清掃 ・ 温度監視
⑥集塵装置	・ 導電性繊維のろ布採用による帯電防止 ・ パルスエアーによる集塵の払い落とし ・ 集塵装置全体の接地
⑦気流輸送機内部の金属片によるスパーク	・ マグネットセパレーターの設置
⑧乾燥機	・ 他工程との隔離 ・ 乾燥機周囲や内部の不燃材被覆
⑨熱風発生機などの燃焼装置	・ 防火区画による隔離
⑩工事作業時の火気	・ 工事前の十分な清掃

(3) 被害軽減対策

前記と同様に、NFPA 654 で推奨されている被害軽減対策のポイントである。

- ①粉塵による爆発危険性のある箇所との離隔距離の設定
- ②防爆壁などによる区画の設定
- ③建物、部屋、エリアなどに爆発放散システムの採用
- ④設備・機器に圧力放出弁の採用
- ⑤火花・火炎感知器と連動の消火システムの採用
- ⑥スプリンクラーシステムの採用

(4) 教育

非常に優れた対策が実施された設備・機器であっても、粉塵の危険性や管理方法を理解していない者により、粉塵の誤った取り扱いをしてしまえば、火災や爆発を引き起こしてしまう可能性がある。そのため、作業に従事する者全員に対して、粉塵の危険性について教育を実施することは事故防止の上で極めて重要である。

教育は一度実施すれば済むものではなく、再認識のためにリフレッシュ教育を定期的実施することが必要である。また、新設の設備・機器の稼働前、新規配属者があったとき、プロセスなどの変更があったときなどには、教育は必須となる。

教育には以下のような項目が含まれる必要がある。

- ①粉塵の物性および火災・爆発危険性
- ②着火源の典型例
- ③設置されている安全装置とその扱い方
- ④実施されている火災・爆発の予防措置
- ⑤火災・爆発発生時の緊急対応手順

また、粉塵に関する教育の中で、以下の点については強調しておく必要があると考える。

- ①日ごろから粉塵除去を徹底しておくことの重要性
- ②粉塵が管理している状態から逸脱した場合（例えば、プロセス機器からの漏洩など）に、早急に報告することの重要性
- ③安全対策が実施されている機器が通常運転状態から逸脱した場合に、着火源となる可能性があること

おわりに

粉塵爆発は、ガス爆発などの他の爆発現象と同様に、その危険性について十分に注意を払う必要がある。過去の事故事例を分析すると、粉塵の危険性に対する認識が不十分のため、誤った取り扱いによって大規模な損害となっていることが見て取れる。社会の変化とともに新たな事故形態も現れ、粉塵による火災や爆発事故の潜在リスクは高まっていると言えるかも知れない。

今、最も必要とされるのは、粉塵の危険性に対する認識を新たにし、過去の事故データの解析・分析の実施、有効な事故防止対策の検討・実施が求められる。また、対策の実施後も継続的に徹底していくことが重要であり、結果として爆発事故の低減に繋がるものと考ええる。

以上

コンサルティング第三部 リスクエンジニアリング第二グループ
上席コンサルタント 吉村伸啓

参考文献

- 1) Investigation Report Combustible Dust Hazard Study (November 2006), U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board
- 2) 新版 防火・防爆対策技術ハンドブック(2004 年) テクノシステム
- 3) NFPA 654, Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids-2006, National Fire Protection Association

株式会社インターリスク総研は、MS&AD インシュアランスグループに属する、リスクマネジメント専門のコンサルティング会社です。

災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しています。弊社コンサルティングに関するお問合せは下記の弊社連絡先、または、あいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

株式会社インターリスク総研 コンサルティング第三部 リスクエンジニアリング第二グループ
千代田区神田駿河台 4-2-5 TEL:03-5296-8947/FAX:03-5296-8942

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。

また、本誌は、読者の方々に対して企業の災害防止活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

不許複製／Copyright 株式会社インターリスク総研 2012