

# プロセス安全の鉄則:

## 粉塵爆発



## 謝辞

米国化学工学会（AIChE）と化学プロセス安全センター（CCPS）は、特定技術に対するプロセス安全の鉄則プロジェクト小委員会に参加された全会員の皆様が、このガイドラインの作成と準備にご尽力を頂いたことに感謝申し上げます。CCPS はまた、小委員会のメンバーが様々な段階においてこのプロジェクトに参加する際に、ご支援いただいた各企業にも感謝の意を表したい。

小委員会のコアチームメンバー:

Chris Devlin, Chair	Celanese
Warren Greenfield	CCPS Staff Consultant
Denise Albrecht	3M
Walt Frank	CCPS Emeritus
Paul Gathright	Ascend Performance Materials
David Greganti	Dow
Mike Hazzan	AcuTech
Ng Ern Huay	Petronas
Louisa Nara	CCPS
Cathy Pincus	ExxonMobil
Jatin Shah	Baker Risk
Scott Wallace	Olin

粉塵爆発小委員会のメンバー:

Walt Frank (Lead)	CCPS Emeritus
Chris Devlin	Celanese
Warren Greenfield	CCPS Staff Consultant

小委員会メンバーの業界における経験とノウハウが詰まったこのガイドラインは特にプロセス安全プログラムやその管理システムを推進する方達には有用な物ものとなっている。

すべての CCPS ガイドラインは発行前に査読をしている。CCPS は、査読者の思慮深いコメントと提案に感謝する。彼らの取り組みのお陰で、このガイドラインはより一層正確で明確なものとなっている。

粉塵爆発の鉄則をレビューした査読者:

Thomas Scherpa	Dupont
Dave Kirby	Baker Risk
Sam Rodgers	Honeywell

査読者はコメントや提案を提供したが、このガイドラインを保証することを求められたものではなく、公開前に最終原稿をレビューすることもなかった。

化学プロセス安全センター(CCPS)は、有害な化学物質や炭化水素の放出に関する重大事故の未然防止および被害軽減に資する技術と管理に着目して、1985年に米国化学工学会(AIChE)によって設立された。CCPSは、書籍の出版、年次の技術会議、調査研究、工学部学生向けの教材を通じて世界的に貢献している。CCPSの詳細については、(+1) 646-495-1371に電話するか、[ccps@aiche.org](mailto:ccps@aiche.org)に電子メールを送信するか、次のサイトからアクセスすることができる。  
[www.aiche.org/ccps](http://www.aiche.org/ccps)

この文書は、法的義務や前提なしに使用できるように作成されている(つまり、自己責任で使用)。修正、更新、追加、提案、推奨事項は、CCPSプロジェクトのシニアディレクターであるAnil Gokhale博士([anilg@aiche.org](mailto:anilg@aiche.org))に送信頂きたい。

もしこれをプリントなどのオフラインで読んでいるのであれば、それは最新版ではない可能性がある。最新版をCCPSのWebサイトから参照のこと。

<https://www.aiche.org/ccps/tools/golden-rules-process-safety>

本書に記載されている情報が、業界全体の安全成績の向上につながることを心から願っている。しかし、アメリカ化学協会(AIChE)、そのコンサルタント、CCPS技術運営委員会および小委員会メンバー、その組織、組織の役員および取締役、およびその従業員は、本書に記載されている情報の正確性を保証するものではない。(1)AIChEと、そのコンサルタント、CCPS技術運営委員会および小委員会メンバー、その雇用者、雇用者の役員および取締役、およびその従業員と請負業者と、(2)本書のユーザーとの間では、ユーザーがその使用または誤用の結果に対して法的責任を負うものとする。

Table of Contents

鉄則 #1: 粉塵/粉体の危険有害性を常に認識し、理解すること .....2

鉄則 #2: 設備内で粉塵による火災・爆発の恐れがある機器とエリアを常に認識すること.....6

鉄則 #3: 火災・爆発に対して常に適切な防止策を講じて維持すること .....8

鉄則 #4: ハザードとその管理に関する訓練を常に確実に行うこと ..... 11

鉄則 #5: 作業場所に危険な量の粉塵を絶対に堆積させないこと ..... 15

鉄則 #6: 作業場所の着火源を常に管理すること ..... 19

鉄則 #7: プロセス、機器、作業手順、および安全システムへの変更を常に管理すること.....22

鉄則 #8: 可燃性粉塵の事故やニアミスを常に調査し、事故の教訓を活かすこと .....25

参考文献.....28

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #1: 粉塵/粉体の危険有害性を常に認識し、理解すること

#### ❖ 理由:

- 1) 可燃性の固体粒子はいずれも著しい粉塵燃焼の危険性を示すことがある。
  - a) 可燃性粉塵により、層状火災、浮遊粉塵雲をとまなうフラッシュ火災、および爆発が発生する可能性がある。これらの事象は設備や機器を損傷させ、従業員を傷つけることがある。
  - b) 最初の爆発により粉塵雲が浮遊し、それが大きな二次爆発につながることもある（図1）。
  - c) 酸素が不足している堆積物質の内部や密閉空間の内部で燃焼が起きると、不完全燃焼による物質が生成することがあり（例：一酸化炭素）、後から酸素が供給された時にそれに着火して火災または爆発になる可能性がある。
- 2) 燃性粉塵を扱う設備で働く従業員が可燃性粉塵の危険性を知り、それに対する保安活動上の自分の役割を理解するには、プロセス物質の危険性状を知っておく必要がある。
- 3) 物質の毒性や燃焼生成物も含み、危険性に関する知識は、ハザード評価や防護策を設計する上で欠かせない情報である。
- 4) 事件事例:
  - a) 2003年1月29日、米国ノースカロライナ州 Kinston の West Pharmaceutical Services で発生した爆発と火災で施設が破壊され、6名が死亡、数十名が負傷し、さらに数百名が仕事を失った。その施設では医療用のゴムストッパーとその他の製品を製造していた。爆発したのはプラスチックの微粉で、製造エリアの吊り天井の上に堆積していたものに着火した。ポリエチレン微粉の SDS には爆発性状に関する警告があったにも関わらず、従業員は粉塵爆発の危険について教育を何も受けていなかった。もし保全担当者がこのハザードが壊滅的な危険性を持っていることに気付いていれば、吊り天井の上に危険な程に大量の粉塵が堆積していることを管理者に警告できたはずである。[1].
  - b) 2003年10月29日の夕刻、米国インディアナ州 Huntington で発生した一連の爆発により従業員2名が重度の火傷を負い（その後1名は死亡）、もう一名が負傷し、Hayes Lemmerz 製造工場の設備が損傷を受けた。Hayes Lemmerz 工場では自動車のアルミ鋳造ホイールを製造しており、ホイールの製造工程で発生する可燃性のアルミ粉塵が堆積して、これが爆発した。Hayes はアルミ粉塵のハザード解析を実施していなかった。アルミ粉塵の危険性について特定も対処もしていなかった。[2].

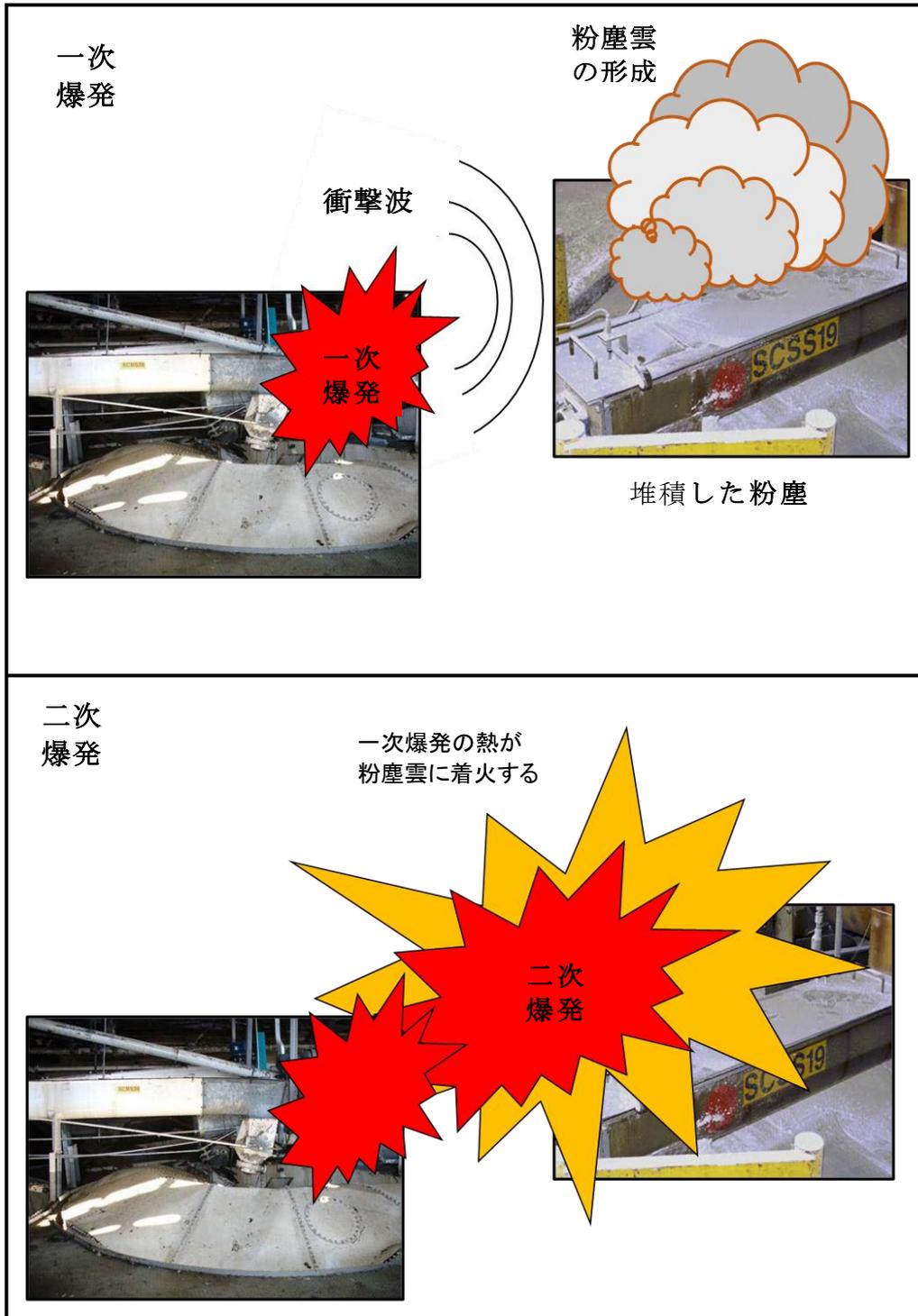


図 1. 一次爆発後の二次爆発の概念図  
([3] および [4] より引用)

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 認められた基準に基づく試験や過去のデータ [5] [6] [7] [8] に基づき、対象の粉塵が可燃性であるかどうかを分類して決めること。
- 2) もし可燃性であれば、必要に応じて詳細試験を実施して爆発性状を測定すること。すべき試験内容は状況にもよるが、以下のものがある。 [5] [6] [7] [8]
  - a) 粉塵雲の爆発指数 ( $K_{st}$ )
  - b) 密閉空間内で最適混合物を爆発させることによる最大爆発圧力 ( $P_{max}$ )
  - c) 最小着火エネルギー (MIE)
  - d) 爆発下限濃度 (MEC)
  - e) 爆発限界酸素濃度 (LOC)
  - f) 電気伝導度
  - g) 着火温度 (粉塵層および粉塵雲に対する)
  - h) 粒子サイズ分析
  - i) その他, 適宜
- 3) 水との反応性や他の化学物質（不活性物質を含む）との相互作用など、化学物質同士の混触危険性を評価すること。 [6] [9] [10] [11].
- 4) 対象物質とその燃焼生成物について熱不安定性や毒性などの危険性を検討すること。必要に応じて、製造業者の安全データシート (SDS) などの資料を参照すること [8].
- 5) プロセス知識管理のデータベースに危険性状を記録すること。

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 使用している物質の危険性に関する教育機会を探して、参加すること。
- 2) ハザード（火災、爆発、毒性物質被ばく）の持つ危険性と同時に、防護システム（例：爆発放散口、不活性ガス、および爆発抑制システム）に伴う危険性を理解すること [5].
- 3) 危険性管理における自分の責任を知り、実践すること [5] [6].
- 4) 取扱う物質に適した保護具 (PPE) の要件を理解して遵守すること。製造業者の安全データシート (SDS) を参照し、製造業者または業界団体が作成し提供している“安全取扱いガイド”のような他の資料を必要に応じて参照すること。

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) 必要な試験データを得られるよう支援すること [5] [6] [7].
- 2) 運転員向けに、使用している物質の危険性に関する訓練を支援すること。
- 3) ハザードに関する職務規律について遵守事項を明示して守らせること。
- 4) 新たなハザードや変更に関する操業に注意を払うこと。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

1) ハザード分析や設計に必要なプロセス物質の代表的試験データは必ず要求すること [5] [6] [7].

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) プロセス物質の危険性、防護システム、および燃焼生成物が何かを認識しておくこと。必要に応じて製造業者または業界団体が提供している“安全取扱いガイド”などの資料を参照すること。  
[5] [6] [12] [13] [14].
- 2) 可燃性粉塵の火災を消火する際の特有な事項に注意すること [12] [13] [14] [15].
- 3) 可燃性粉塵の火災を消火する際に必要な保護具（PPE）は何かに注意すること。必要に応じて、製造業者の安全データシート (SDS) などの資料を参照すること。

### ❖ 補助資料: [16] [17]

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #2: 設備内で粉塵による火災・爆発の恐れがある機器とエリアを常に認識すること

#### ❖ 理由:

- 1) 施設の従業員が、ハザードに対する自分の役割を理解するためには、どこにハザードがあるかを知る必要がある [18] [19]。
- 2) ハザードがどこに存在するかは、ハザードの評価と防護の設計を行う際の必須情報である。
- 3) 事件事例:
  - a) 2008年2月7日、米国ジョージア州 Savannah の北西部にある Imperial Sugar refinery で、大きな爆発と火災が発生し、14名が死亡し、36名が負傷した。負傷者の内14名は大やけどにより重度であった。この爆発は梱包用の建屋全域に可燃性の砂糖の微粉が大量に堆積したことにより発生した。粉塵の過剰に堆積した場所は、火災・爆発の危険性がある区域となる。Imperial Sugar の管理者は可燃性の砂糖の微粉に起因する危険性を知っていたが、長年に渡る施設の操作を通じて破滅的大事故が何も無く、危険な状況は放置されていた。管理者は砂糖の粉塵や系外に出た砂糖に対処するための適切な設備設計やメンテナンス作業をさせていなかった。さらに、管理者は作業場所の砂糖の微粉と系外に出た砂糖が不安全なレベルにまで堆積しないように適切に清掃することを確実に実施させなかった。 [4]。
  - b) 2003年10月29日夕刻、米国インディアナ州 Huntington で、連続する爆発により従業員2名が重度の火傷を負い（その後1名は死亡）、もう一名が負傷し、Hayes Lemmerz 製造工場の設備が損傷した。Hayes Lemmerz 工場では自動車のアルミ鋳造ホイールを製造しており、ホイールの製造工程で発生する可燃性のアルミ粉塵が堆積して、これが爆発した。Hayes の集塵装置の設計は適切ではなかった。この事故で生じた圧力上昇により引き起こされた構造的損傷から集塵装置を保護するには爆発排気能力が不十分だった。集塵装置から火炎と爆発が製造エリアに逆流伝播することを阻止するための爆発伝ば遮断装置が適切に設置されていなかった。 [2]。

#### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 粉塵危険性分析 (DHA: Dust Hazard Analysis)を実施して、施設内で粉塵火災や粉塵爆発の危険性がある機器とエリアを特定して記録すること (例: 粉塵の過大な堆積や浮遊粉塵雲) [5] [6] [19]。
  - a) NFPA (全米防火協会) 規格のような関連する業界規格に照らして、ギャップを評価することにより DHA を実施できる [6]。
  - b) DHA は、関係当局 (NFPA 規格に定義された管轄権を持つ機関) が認める場合、DHA にはリスク評価の手法を組み入れることができる [6] [19]。
  - c) DHA を行う際には必ず、高い場所の面にも注意して、可燃性粉塵の貯蔵・取り扱いを行うエリアを目で見て確かめ、粉塵放出を防止するための清掃・保全業務で何ができるかを考えておくこと。
  - d) 評価のためのシナリオを特定するときには、会社や産業界の損害記録を参照すること。しかし、単に事故記録が無いからと言って、信頼できるシナリオを軽視しないこと。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 粉塵危険性分析 (DHA: Dust Hazard Analysis)に参加すること。
- 2) DHA での議論のため、同僚たちに意見を述べるよう促すこと。
- 3) これまでにトラブルや事故が発生した場所での、運転上の経験や観察したことを話して、DHA に貢献すること。特に過去に起きた粉塵の発生状況を明らかにすること。
- 4) 乾燥機、粉砕機、集塵機など、粉塵火災や粉塵爆発を起こしやすい特定の機器のタイプを認識すること [5]。
- 5) 爆発放散口の付近は、火炎、圧力波および飛散物のような放散口からの放出による危険性があるため、立入禁止場所にする必要があること理解すること。
- 6) 他の爆発防止システムにも次のような危険性があることを理解すること:
  - a) 不活性ガス (窒息)
  - b) 爆燃抑制システム (高圧の消火剤放出)
  - c) 集塵装置および火炎安定装置 (有毒な物質/燃焼生成物)
  - d) 爆風遮断弁 (蓄積エネルギーおよび身体切断の危険性)

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) DHA 参加者に対して何を期待しているかを示して守らせること。
- 2) DHA の実施と定期的に再評価がされるように支援すること。
- 3) DHA で提案された対策が適時に実施されるように支援すること。

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) DHA に参加して、技術的な意見を述べること。
- 2) 可能であれば、粉塵の危険性を無くすか、またはそのリスクを低減するための本質安全設計を採用すること。
- 3) 乾燥機、粉砕機、集塵機など、頻繁に事故が起きる設備を理解すること [19]。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) DHA で特定された粉塵火災および爆発の危険性に対処する事前計画書を作成し、訓練を行うこと。
- 2) 特定された火災・爆発の危険性に適した消火剤や消火設備を特定して準備すること。

### 鉄則 #3: 火災・爆発に対して常に適切な防止策を講じて維持すること

#### ❖ 理由:

- 1) 火災・爆発を防ぐためには、工学的制御と管理的制御が必要である。
- 2) 管理が効果的であり続けるには、以下のような点に注視し続ける必要がある。
  - a) 工学的制御としての検査、テスト、予防保全プログラム
  - b) 管理的制御を行う従業員に対する、最新の手順書と再教育
- 3) 事件事例:
  - a) 2003年10月29日の夕刻、米国インディアナ州 Huntington で発生した一連の爆発により従業員2名が重度の火傷を負い（その後1名は死亡）、もう一名が負傷し、Hayes Lemmerz 製造工場の設備が損傷を受けた。Hayes Lemmerz 工場では自動車のアルミ鑄造ホイールを製造しており、ホイールの製造工程で発生する可燃性のアルミ粉塵が堆積して、これが爆発した。Hayes はアルミ粉塵のハザード解析を実施していなかった。アルミ粉塵の危険性について特定も対処もしていなかった。この事故で生じた圧力上昇による損傷から集塵装置を保護するには、爆発放散口の能力は不十分だった。爆発伝播遮断装置が適切に設置されておらず、火災と爆発が集塵装置から製造区域に逆流伝播することを防止できなかった。[2].

#### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 防護システムには工学的制御と管理的制御の両方が含まれることを認識すること。いくつかの例として次のようなものがある。[6] [20] [21] [22]:
  - a) 爆発放散口
  - b) 爆燃抑制システム
  - c) 爆燃遮断システム
  - d) 清掃手順
  - e) 火気作業許可と喫煙制限
  - f) 機器の接地とボンディング [6] [22] [23]
  - g) 電気機器設置のための危険場所(防爆等級)の指定[24] [25] [26]
- 2) 業界で認められた基準と手引書に準拠すること [20] [21] [6] [22] [22] [23] [5] [27]。
- 3) 粉塵危険性分析 (DHA: Dust Hazard Analysis) で特定された防護システムを実行すること。
- 4) 工学的制御のための検査・テスト・予防保全 (ITPM) プログラムを実行すること。
- 5) 管理的制御がプラントで承認された規格書と手順書に記述されていることを確認すること。
- 6) 管理的制御を実行するためのトレーニングと定期的な再教育を行うこと。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) プロセス機器の安全な運転の限界と、異常状態に対応するための適切な手順を理解すること。
- 2) 異常なプロセス状態(介入により通常動作に回復できる場合)と、安全のためシャットダウンが必要な事故(内部火災や爆発事象など)との区別の仕方を理解すること。
- 3) プラントに必要な防護システムの目的と機能を理解すること。
- 4) プラントに必要な防護システムの実施と維持における役割を理解すること。
- 5) 防護システムに関連するすべての運転手順、メンテナンス手順、安全作業手順に従うこと [5] [6] [22]。
- 6) 防護システムに可能な改善を推奨すること。
- 7) 防護システムに不具合を見つけたら報告すること。

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) 必要な防護システムの目的と機能を理解すること。
- 2) 粉塵危険性分析(DHA: Dust Hazard Analysis) で提案された防護システムの設置や実施を支援すること。
- 3) 検査、テスト、予防保全の活動とスケジュールに期待する事項を定め、守らせること。
- 4) 防護システムに関する適切なトレーニングが行われていることを確認すること。
- 5) 既存の防護システムに影響するかもしれないプロセスの変更、または防護システム自体の変更については、変更管理(MOC)が必要であることを理解すること。
- 6) 運転基準や手順の遵守について期待する事項を定め、明確にすること。
- 7) 防護システムのすべての機能不全および異常な動作の報告が速やかに対処されていることを確認すること。

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) 粉塵処理プロセスおよび火災/爆発防止システムを設計する際には、業界で認められた標準と手引書、およびDHAの期待事項に準拠すること [6] [20] [21]。
- 2) 業界で認められた標準/推奨される慣例およびメーカーの推奨に従って、防護システムの検査・テスト・予防保全(ITPM)プログラムにおける要求事項の定義付けに手を貸すこと [6] [21]。
- 3) 設計された防護システムの性能を監視し、欠点を是正すること。
- 4) プロセス条件の変化が防護システムの性能に及ぼす影響を理解すること。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) 可燃性粉塵の火災に対処するため、次のような適切な消火手順を理解し、実践すること。  
[12][15] [14]:
  - a) 棒状放水ノズルではなく、噴霧放水ノズルの使用[6] [22]
  - b) プロセス機器(集塵機、サイロ、貯蔵庫など)の消火手順[12] [13] [15] [14]

## 可燃性粉塵に対する鉄則

- c) 取り扱う可燃性粉塵に対する適切な消火剤の選択[6] [22]
  - 2) 清掃が不十分だと火災に燃えるものを提供することになるので注意すること [5] [6] [22]。
  - 3) 可燃性粉塵の消火設備は、いつでも稼働できるように維持すること。
  - 4) 可燃性粉塵の消火手順について定期的に訓練すること。
  - 5) 必要な消火剤が適切に在庫されているかを確認すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #4: ハザードとその管理に関する訓練を常に確実に行うこと

#### ❖ 理由:

- 1) 施設の従業員は危険を防ぐ自らの役割を理解するために、可燃性粉塵の危険性とその潜在的な影響に関するトレーニングを受ける必要がある。
- 2) 設備の従業員は防護システムの目的と機能、および操作に伴う危険性を理解できるように、工学的な防護システムに関するトレーニングを受ける必要がある。
- 3) 従業員は防護システムの限界と防護システムがときおり誤った使い方をされるおそれがある点を知る必要がある。
- 4) 従業員は可燃性粉塵の危険を制御するために、管理的制御と自分たちの責任について訓練を受ける必要がある。
- 5) 事故事例:
  - a) 2003年1月29日、米国ノースカロライナ州 Kinston の West Pharmaceutical Services で発生した爆発と火災で施設が破壊され、6名が死亡、数十名が負傷し、さらに数百名が仕事を失った。その施設では医療用のゴムストッパーとその他の製品を製造していた。爆発したのはプラスチックの微粉で、製造エリアの吊り天井の上に堆積していたものに着火した。ポリエチレン微粉の SDS には爆発性状に関する警告があったにも関わらず、従業員は粉塵爆発の危険について教育を何も受けていなかった。もし保全担当者がこのハザードが壊滅的な危険性を持っていることに気付いていれば、吊り天井の上に危険な程に大量の粉塵が堆積していることを管理者に警告できたはずである。[1].

#### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 重大な結果には、火災やフラッシュ火災、爆発、急性毒性が含まれることを認識すること。
- 2) 可燃性粉塵の火災や爆発が起きる必要条件を理解すること [5] [6]:
  - a) 火災発生には燃料（粉塵）と酸化剤（通常は空気）、着火源が必要である（図 2）。
  - b) フラッシュ火災発生には、燃料、酸化剤、浮遊粉塵による可燃性雲の形成、および着火源が必要である（図 3）。
  - c) 爆発には、燃料、酸化剤、浮遊粉塵による可燃性雲の形成、着火源、および圧力を蓄積する空間が必要である（図 4）。
- 3) 防護システムには、工学的制御と管理的制御の両方があることを認識すること。



図 2. 火災の三角形

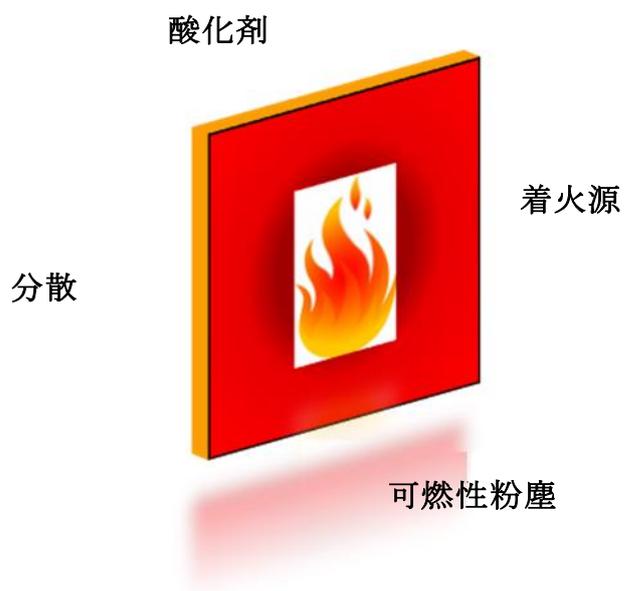


図 3. 可燃性粉塵フラッシュ火災の四角形



図 4. 可燃性粉塵爆発の五角形

- 4) 防護システムにより、どのように事故の影響が軽減されるかを理解すること。例えば、 [5] [6] [20] [21]。
  - a) 爆発放散口は槽や容器内の圧力を下げ、損傷を防ぐ。
  - b) 爆燃抑制システムは化学的に燃焼を抑制し、燃焼で生じる圧力を低下させる。
  - c) 爆燃伝播遮断システムは、装置や領域から別の装置・領域への燃焼の伝播を防ぐ。
  - d) 清掃活動により、爆発の燃料となるものを削減し、プロセス機器の外部での二次爆発を防ぐ。
  - e) 爆発圧力を封じ込めるには、爆発圧力に耐えるのに十分な強度を持つ装置が必要である。
  - f) 多くの工学的制御や管理的制御は、粉塵雲や堆積物への着火を防ぐことを目的としている。例としては、機器の製造材料に非導電性物質の使用を回避、機器の接地とボンディング、電気機器の設置に関する危険場所(防爆等級)の設定、火気作業手順、電気設備のメンテナンスなどが挙げられる。 [5] [6] [23] [24] [25] [26]
- 5) 防護システムの設計、実装、運用、保守における自分の役割を理解すること。
- 6) トレーニングプログラムの内容を記述し、初期および再トレーニングを実施して、そのトレーニング結果を記録すること [28]。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 可燃性粉塵の危険性や起こり得る事故についてのトレーニングを探して参加すること。
- 2) 必要な管理的制御の目的と手順に関するトレーニングを探して参加すること。
- 3) 必要な工学的防護システムの目的と機能、および、その作動に伴う危険性を理解すること。
- 4) 必要な防護システムの実装、運用、保守における役割を理解すること。

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) ハザードおよび危険管理に関わるすべての従業員(管理者を含む)のトレーニングを支援すること。
- 2) 危険性および危険管理に関するトレーニングに期待する事項を定め、実行させること。

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) 可燃性粉塵の危険性と起こり得る事故に関するトレーニングを探して参加すること。
- 2) 必要な管理的制御の目的と手順に関するトレーニングを探して参加すること。
- 3) 必要な工学的防護システムの目的と機能を理解すること。
- 4) 工学的防護システムとプロセス制御の相互作用を理解すること。
- 5) 必要な防護システムの設計、実装、運用、保守における自分の役割を理解し、実行すること。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) 可燃性粉塵の危険性と起こり得る事故に関するトレーニングを探して参加すること。
- 2) 工学的防護システムの目的と機能を理解すること。
- 3) 鉄則 #3「火災・爆発に対して常に適切な防護策を講じて維持すること」を参照すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #5: 作業場所に危険な量の粉塵を絶対に堆積させないこと

#### ❖ 理由:

- 1) 可燃性粉塵は燃えない様に制御が必要なものである。
- 2) 建屋や機器の表面に大量の粉塵が存在すると、1回目の爆発によってその粉塵が雲状に舞い上がり、大規模な二次爆発を引き起こす可能性がある。
- 3) 粉塵の堆積はやっかいである。高温の電気機器など、潜在的な着火源に接触し易く、火災や爆発を引き起こす可能性がある。
- 4) 建屋内の高い場所に積もった粉塵は、通常、粒子サイズが小さく、より危険である。
- 5) 容器の外に出た粉塵は、毒性や職業上の健康問題などの他の危険を引き起こす可能性がある。
- 6) 事故事例:
  - a) 2008年2月7日、米国ジョージア州 Savannah の北西部にある Imperial Sugar refinery で、大きな爆発と火災が発生し、14名が死亡し、36名が負傷した。負傷者の内14名は大やけどにより重体であった。この爆発は梱包用の建屋全域に可燃性の砂糖の微粉が大量に堆積されたことにより発生した。粉塵の過剰に堆積した場所は、火災・爆発の危険性がある区域となる。Imperial Sugar の管理者は可燃性の砂糖の微粉に起因する危険性を知っていたが、長年に渡る施設の操業を通じて破滅的大事故が何も無く、危険な状況は放置されていた。管理者は砂糖の粉塵や系外に出た砂糖に対処するための適切な設備設計やメンテナンス作業をさせていなかった。さらに、管理者は作業場所の砂糖の微粉と系外に出た砂糖が不安全なレベルにまで堆積しないように適切に清掃することを確実に実施させなかった。[4].
  - b) a) 2003年1月29日、米国ノースカロライナ州 Kinston の West Pharmaceutical Services で発生した爆発と火災で施設が破壊され、6名が死亡、数十名が負傷し、さらに数百名が仕事を失った。その施設では医療用のゴムストッパーとその他の製品を製造していた。爆発したのはプラスチックの微粉で、製造エリアの吊り天井の上に堆積していたものに着火した。ポリエチレン微粉の SDS には爆発性状に関する警告があったにも関わらず、従業員は粉塵爆発の危険について教育を何も受けていなかった。もし保全担当者がこのハザードが壊滅的な危険性を持っていることに気付いていれば、吊り天井の上に危険な程に大量の粉塵が堆積していることを管理者に警告できたはずである。[1].

## 可燃性粉塵に対する鉄則

- c) 2003年10月29日の夕刻、米国インディアナ州 Huntington で、爆発が連続して発生し従業員2名が重度の火傷を負い(その後1人が死亡)、もう1名が負傷し、Hayes Lemmerz 製造工場の設備が損傷を受けた。Hayes Lemmerz 工場では自動車のアルミ鋳造ホイールを製造しており、ホイール製造プロセスの製造過程で出るアルミニウム粉塵に着火して爆発した。管理者と従業員は、アルミニウム粉塵の堆積に爆発の危険があるとは知らなかった[2]。

### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 適切な業界基準に従って粉塵を封じ込める機器を設計、操作、保守すること [5] [6] [18] [22] [29]。
- 2) 粉塵の放出を防止できない場合は、排出する粉塵を捕集する集塵システムを設置すること [5] [6] [18] [22] [29]。
- 3) オプション1および2では制御できない粉塵の放出に対処するために、厳格な清掃プログラムを実施すること。 [5] [6] [18] [22] [29]。
  - a) 粉塵の堆積の重大性と粉塵の堆積の許容限界を理解すること。一般的なガイドラインとして、水平面上の粉塵の堆積は最小限に抑える必要がある。過度な堆積の目安となる一般的な指標としては、粉塵層により下地表面の色が見えなかったり、ペーパークリップの厚さを超えたりする、などがある。より定量的な手引きもある [22]。
  - b) 清掃活動中に粉塵を舞い上がらせないように措置（圧縮空気による吹き飛ばしの禁止や制御するなど）も含め、清掃の実施/要件を説明する手順を提供すること。
  - c) 日常的な清掃の頻度を設定し、系外に出た粉塵の清掃要件に対応すること。
  - d) 粉塵雲の発生や着火源を持ち込まないように清掃を行うこと。
  - e) 清掃プログラムは、通常の歩行通路や作業場所、高所を含み、粉塵が堆積する可能性のあるすべての場所に確実に対処していること。エリア毎に清掃の担当を割り当てて(例: 作業員が作業面を清掃し、契約清掃員が高所を清掃する)、清掃プログラムに抜けがないようにすること。
- 4) 集塵および清掃プログラムの有効性を監視すること [5] [6] [18] [22] [29]。
  - a) 出来る限り粉塵が系外に出ないように機器を維持すること。
  - b) 粉塵が系外に出てしまう場所に、集塵箇所を追加するなど、工学的制御の追加を検討すること。
  - c) エリアに粉塵が堆積していないかを定期的に点検し、必要に応じて清掃頻度を調整すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 粉塵が堆積することの重大性と粉塵の堆積許容限界を理解すること。一般的なガイドラインとして、水平面上の粉塵の堆積は最小限に抑えるべきである。過度な堆積の目安となる一般的な指標としては、粉塵層により下地表面の色が見えなかったり、ペーパークリップの厚さを超えたりするなどがある。
- 2) 清掃の目的と手順に関するトレーニングを探して参加すること。
- 3) 必要な粉塵制御装置やシステムの目的と機能を理解すること。
- 4) 必要な防護システムの実装、運用、保守における役割を理解すること。
  - a) 可能な限り防塵性を確保するように機器を操作し、保守をすること。
  - b) 粉塵を放出させる可能性がある機器の欠陥を報告すること。
  - c) 集塵システムが確実に作動すること。
  - d) 必要に応じて、清掃活動中に適切な保護具を着用すること。
  - e) 清掃の際に、粉塵雲を発生させないこと。
  - f) 掃除機の使用および圧縮空気による吹き飛ばしについては、NFPA 652 に準拠すること [6] [22]。

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) 清掃活動に十分な人員と資源を提供すること。経営資源を次のために割り当てること。
  - a) 特定された機器の欠陥の是正
  - b) 一般的な清掃プログラム（専門的な清掃作業のため、必要に応じて外部の請負業者を含む）
- 2) 適切な清掃の重要性に関して影響を受けるすべての従業員（管理者を含む）へのトレーニングを支援すること。
- 3) 清掃プログラムに期待する事項を定め、守らせること。
- 4) 清掃プログラムの有効性を確認するために、定期的に現場監査を実行すること。

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) 可能な限り防塵性を確保するように機器を設計し、保守すること。
- 2) 必要な粉塵制御機器やシステムの目的と機能を理解すること。
- 3) プロセスからの粉塵の放出を防ぐことができない場合には、適切に設計された集塵システムを設備すること。
- 4) 防爆を含み、集塵システムの設計に関する業界で認められた要求/推奨事項に準拠すること [6] [20] [21] [22]。
- 5) 集塵システムの性能を監視するための機器を設置すること。
- 6) 必要な防護システムの設計、実装、運用、保守における自分の役割を理解し、実行すること。
  - a) 粉塵を放出する可能性がある機器の欠陥を報告すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

- b) 定期的に現場監査を行い、清掃プログラムの有効性を確認すること。
- 7) 粉塵制御機器やシステムにおける全ての変更案について、変更管理を確実に実施すること(例:集塵箇所を追加することはファン容量の増加を必要とするかもしれない)。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) 清掃が不十分だと、火災に燃料を供給することになるので注意すること [5] [6] [22]。
- 2) 粉塵火災が着火源となり、その後の爆発が起こる可能性を認識すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #6: 作業場所の着火源を常に管理すること

#### ❖ 理由:

1) 着火源は装置の内外を問わず、危険な量の可燃性粉塵が存在する可能性のある場所で、火災や爆発を引き起こす可能性がある。

#### 2) 事故事例

- a) 2003年2月20日、ケンタッキー州コービンのCTAアコースティックス製造工場で爆発火災が発生し、作業員7人が死亡した。この工場は自動車産業向けにガラス繊維断熱材を製造していた。CSBの調査によると、爆発の原因は製造エリアに堆積されていたフェノール樹脂の粉塵であった。この樹脂はガラス繊維マットの製造に使用されていた。温度制御装置が故障していたため、オープンのドアを開けたまま運転していた。オープン内の可燃物に引火した可能性が高く、その炎がオープン外の可燃性粉塵雲に引火した。CTA社の経営陣は、可燃性粉塵が爆発する可能性を認識していたが、爆発を防止するための効果的な対策を実施せず、爆発の危険性を一般従業員に伝えていなかった[30]。

#### ❖ 方法 — 全般:

1) 着火源を管理することの重要性を理解すること。しかし、その安全管理としてすべての着火源を特定し除去することに頼るべきではないことも認識すること[5][6]。

2) 着火源管理には、工学的制御と管理的管理の両方が含まれることを認識すること。

3) 特定された着火源を管理するために、一般に認められている業界の要求事項/勧告に従うこと[5][6][23][24][26][25][27][31][32][33][34][35]。

a) 危険場所(防爆等級)に該当する箇所を指定し、電気機器の適切な設置および保守を確実に行うこと。

b) 粉塵危険性分析(DHA)における着火源対策に取り組むこと。

c) 火気作業管理(電動機器、喫煙の制限、携帯用電気機器の使用を含む)を実施すること。

d) すべての機器の製造材料に非導電性材料を使用しないこと。

e) 導電性の機器部品に適切なボンディングと接地を行うこと。

f) 必要に応じて、作業者のための静電気除去設備を設置すること。

g) 可動装置の内部のクリアランスが保てるように設計し、維持すること。

h) ベアリングは装置の外側に配置し、適切な潤滑を行うこと。

i) 装置の外表面が粉塵の自己発火温度を超える箇所は断熱施工すること。

j) 装置内への異物の侵入を防止すること(例:混入金属)。

k) プロセス材料の自己発熱の危険性を認識し、必要に応じて管理すること。

l) すべての点火制御装置に対して、検査や試験、検査・テスト・予防保全(ITPM)プログラムを実施し、維持すること[6][35]

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 着火源管理の目的と機能を理解すること。
- 2) 静電気によるハザードを管理するための物質移動速度や順序、技術などの着火源管理に関連する手順のステップおよび注意事項を理解すること。
- 3) 着火源管理の実施、運用、維持における役割を理解すること。
  - a) 着火源管理を損なうような設備の欠陥を報告すること。
  - b) 保守作業後は、必ずボンディングケーブルと接地ケーブルを再接続すること。
  - c) 定期的な潤滑剤の注油を含め、検査・テスト・予防保全 (ITPM) プログラムでの責任を果たすこと。
  - d) 禁煙[36]も含めて、火気作業手順を常に遵守すること。
  - e) 必要に応じて、作業員の身体の静電気除去を確実に行うこと。
  - f) 装置内に異物(例：金属くず、落とした工具)が入らないようにすること。
  - g) 電気機器の保守点検手順書に従って、危険場所(防爆等級)管理が維持されていることを確認すること。
  - h) メンテナンス後、高温の表面に断熱が施されていること。
- 4) 次のような異常な状態がないかを観察し、報告すること：
  - a) 機器からの火花、炎、煙
  - b) プロセス物質の炭化の兆候
  - c) 異音
  - d) 異臭
  - e) 粉塵危険区域内への無許可車両の侵入
  - f) 計画外の包装の変更(例：ファイバーボードドラムからプラスチック)
  - g) 材料やプロセス条件の異常な高温

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) 着火源の適切な管理の重要性について、影響を受ける従業員（管理者を含む）の研修を支援すること。
- 2) 着火源規制に期待することを定義し、守らせること。
- 3) 着火源対策を実施・維持するための予算を提供すること。
- 4) 定期的に現場監査を行い、着火源管理プログラムの有効性を確認すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) 工学的な着火源対策を設計して実施する場合、一般に認められた業界の要求事項／推奨事項及び粉塵危険性分析 (DHA: Dust Hazard Analysis)の事項を遵守すること。
- 2) 着火源管理の実態を監視して、欠陥の修正を行うこと。
- 3) 定期的に現場監査を行い、着火源管理プログラムの有効性を確認すること。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) 緊急対応活動やその器具が着火源を持ち込む可能性があることを認識すること。
- 2) 粉塵火災が着火源となり、その後の爆発が起こる可能性を認識すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #7: プロセス、機器、作業手順および安全システムへの変更を常に管理すること

#### ❖ 理由:

- 1) 変更管理は、粉塵危険性分析を実施して作られた投資設備やその他の防護プログラムの構成要素の健全性を防護するものである。
- 2) 変更が管理されていないと、ハザードを持ち込んだり、高めたりして、防護を無効にしたり脆弱にする可能性がある。
- 3) 事事故例

- a) 2008年2月7日、米国ジョージア州 Savannah の北西部にある Imperial Sugar refinery で、大きな爆発と火災が発生し、14名が死亡し、36名が負傷した。負傷者の内14名は大やけどにより重体であった。この爆発は梱包用の建屋全域に可燃性の砂糖の微粉が大量に堆積されたことにより発生した。最初の粉塵爆発は、シュガーサイロの下にある密閉されたスチール製ベルトコンベヤで発生した。ベルトコンベヤに最近設置されたスチール製のカバーパネルにより、爆発濃度レベルの砂糖粉塵が内部に充満した。原因不明の着火源から砂糖の粉塵に引火し、激しい爆発を引き起こした。二次爆発と火災は施設全体に広がった。同社は、新しい囲いの内部で可燃性の粉塵が発生し、充満することについて危険性を評価していなかった。同社は、カバーの中で砂糖の粉塵が最低爆発濃度（MEC）に達しないようにするための粉塵除去システムを設置していなかった。さらに、空気中に浮遊する砂糖粉塵に引火した場合の圧力を安全に建物外に導くための爆発放散口も設置されていなかった[4]。

#### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 可燃性粉塵の処理や設備、手順、安全システムの変更に対する変更管理（MOC）プログラムの規定を作成すること。
- 2) すべての従業員が、何が MOC を必要とする変更か、を特定できるようにすること。
- 3) MOC プログラムの厳格な遵守を維持すること。
  - a) すべての変更は MOC プログラムを通じて確実に処理すること。
  - b) MOC では、提案された変更により安全衛生への影響がないかを必ず検討すること。
  - c) 変更後の運転開始前に、すべての必要なトレーニングを必ず実施すること。
  - d) すべての MOC 上の処理事項は、タイムリーに解決すること。
  - e) 変更後の運転開始前に、すべての必要な承認を必ず得ておくこと。
  - f) プラント内の文書で影響を受けるものは、タイムリーに更新すること。
  - g) 一時的な変更については、タイムリーに通常の状態へ確実に戻すこと。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工:

- 1) 設備や材料の変更だけでなく手順の変更も含め、MOCが必要な変更が何かを特定する方法を理解すること。
- 2) MOCプログラムを実施する際の役割を理解すること。
- 3) MOCが必要となるかもしれない保全作業指示書を見分けること。
- 4) MOCを実施せずに変更をしないこと。
- 5) 要請に応じてMOC安全レビューに参加すること。
- 6) 変更後の運転前に、必ず訓練を受けること。
- 7) 問題解決のための変更でも、未承認の疑いがある場合は報告すること。
- 8) 必要な変更を検討するように提案すること。例えば、ある作業に特殊なツールが必要な場合、その場しのぎのツールの制作や非公式な対処法をとるのではなく、エンジニアや設計者と協力して適切なツールを開発すること。

### ❖ 方法 — 管理者:

- 1) 変更管理（MOC）プログラムの文書を策定し、実施すること。
- 2) MOCプログラムを可燃性粉塵のプロセスや設備、手順、安全システムにも確実に適用すること。
- 3) 従業員にMOCプログラムに関する研修を必ず受けさせること。
- 4) MOCの安全レビューチームが質の高い安全レビューを実施できるよう、十分な資源と優先権を与えること。
- 5) MOCプログラムの遵守に対する期待事項を定め、守らせること。
- 6) MOCプログラムの実績と遵守を監視すること。

### ❖ 方法 — エンジニアおよび設計者:

- 1) 清掃スケジュール、危険場所(防爆等級)、防爆/防火システムに影響を及ぼす可能性のある変更を含め、MOCを必要とする変更を特定する方法を理解すること。
- 2) MOCプログラムを実施する際の役割を理解すること。
- 3) 必要な変更を検討するように提案すること。
- 4) MOCを実施せずに変更をしないこと。
- 5) 提案された変更を検討する際には、影響を受けるすべての関係者（例：運転員、保守、調達、計装/制御など）からの意見を求めること。
- 6) 必要に応じて、緊急対応者をMOC評価に参加させること。
- 7) 必要に応じてMOCの責任者として務めること。
- 8) 運転員やその他の関係する従業員向けのMOCに特化した訓練の提供を支援すること。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 緊急対応要員:

- 1) 要請に応じて MOC レビューに参加し、提案された変更が緊急対応へ与える影響について意見を述べること。

### ❖ □ 補足資料／リソース: [5] [6] {Chapter 15, 変更管理 [28]} [37]

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### 鉄則 #8: 可燃性粉塵の事故やニアミスを常に調査し、事故の教訓を活かすこと

#### ❖ 理由:

- 1) 事故やニアミスの調査により貴重な教訓が得られ、これらを適切に活用すれば、将来の類似または同じ事故が発生する可能性を減らすことができる。
- 2) 調査で得られた教訓により、他のプロセス安全要素を強化する機会を得られる。
- 3) 事故事例
  - a) 2011年1月31日、Hoeganaes Corporationにおいて、可燃性粉塵によるフラッシュ火災が発生し、5人の作業員が死亡した。運転員や整備士たちは、この施設に勤務してから、何度もフラッシュ火災を経験したと述べた。事故当時、多くの従業員は鉄粉が燃えたり、くすぶったりする可能性があることを認識していた。しかし、堆積した粉塵が空气中に飛散した場合に、潜在的に深刻な危険性があることを理解する訓練は受けていなかった。しばしば発生する軽微なフラッシュ火災やニアミスを経験する運転員はまれだった。長い年月の内に、これらのフラッシュ火災は普通の出来事として受け入れられるようになっていた[39]。
  - b) 2003年10月29日の夜、インディアナ州ハンティントンへのイズ・レンメルト製造工場で、一連の爆発が発生し、2人の作業員が大やけどを負い（その後1人が死亡）、3人目が負傷し、設備が損傷を受けた。ヘイズ社には、鑄造エリアでの火災、特にアルミニウム粉塵を原因とする火災を調査し、是正措置を実施するための正式な文書化されたプログラムがなかった。ハンティントン工場のドライチップ設備ではそれまでに、粉塵爆発の可能性をヘイズ社に警告できた事象が発生していた。しかし、ヘイズの管理者はこれらの事象を認識せず、調査もしなかった[2]。

#### ❖ 方法 — 全般:

- 1) 可燃性粉塵が関与する事象について、事故およびニアミス調査プログラムを書面にして持つこと。可燃性粉塵の予期しない放出は、可燃性ガスや液体の予期しない放出と同様に調査されるべきである。
- 2) すべての従業員が、何が調査を必要とする事故およびニアミスであるかを特定できるようにすること。
- 3) 事故やニアミスの調査には目的にかなった手法を用いること。
- 4) 管理システムレベルの原因を特定するために、可能な限り、事故の発生を許した物理的要因やヒューマンファクターを超えた調査を常に行うこと。これにより、なぜ物理的要因やヒューマンファクターが存在したのかを理解することができ、将来の事故をより広範かつ効果的に防止することができる。
- 5) 防護層の有効性を評価し、改善が必要な欠陥を特定すること。
- 6) 事故やニアミスの調査結果を文書化し、共有すること。
- 7) 事故やニアミスの調査の要処理事項をタイムリーに解決すること。
- 8) 潜在的に再発する因果の要因を突き止めるために、さらに進んだ調査が必要な再発事故やニアミスについてのデータを追跡調査すること。
- 9) すべての事故が「最悪のケース」を表しているわけではないことを認識すること。その事象が小さな火災にとどまったからといって、より大きな事象が発生する可能性がないとは限らない。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

### ❖ 方法 — 運転員、機械工および技術工：

- 1) 調査が必要な事故やニアミス特定する手法を理解すること。
- 2) 調査プログラムを実施する際の役割を理解すること。
- 3) 調査のため、事故およびニアミスを報告すること。
- 4) 要請に応じて調査に参加すること（チームメンバーまたは立会人として）。
- 5) 事故とニアミスの過去の事例を意識し続けること。
- 6) 調査の要処理事項の実施に協力すること。
- 7) 異常事態に対応する行動を含め、事故やニアミスにつながりかねない自分の行動を意識すること。
- 8) 事故の影響の拡大を防ぐために取り得る行動を認識し、実行可能な場合は実行すること。

### ❖ 方法 — 管理者：

- 1) 事故とニアミスの調査プログラムを文書として策定し、実施すること。
- 2) 調査プログラムを可燃性粉塵の装置と運転にも拡大し確実に適用すること。
- 3) 従業員が調査プログラムに関する研修を確実に受けるようにすること。
- 4) 調査プログラムの遵守に対する期待事項を定め、守らせること。
- 5) 事故調査は速やかに開始し、事故の後始末前および／または実施中にデータ収集（物的証拠や目撃者の証言、電子データを含む）も確実に始めること。
- 6) 訓練を受けた経験豊富な調査リーダーがいるかを確認し、必要に応じて外部の専門家を招請すること。
- 7) 調査チームは、客観的調査が実施可能な人員で構成すること。
- 8) 調査チームには、可燃性粉塵の安全原則を理解している人を含めること。
- 9) 調査チームが質の高い調査を実施できるよう、十分な資源と優先権を与えること。
- 10) 調査による要処理事項をタイムリーに解決できるように資源を提供すること。
- 11) 得られた教訓を他の施設(プラント)と共有すること。
- 12) 管理システム上の問題を把握して対処するために、粉塵事故の原因の傾向に注視すること。
- 13) 調査プログラムの成果および遵守状態を監視すること。

### ❖ □ 方法 — エンジニアおよび設計者：

- 1) 調査が必要な事故やニアミスが何かを特定する方法を理解すること。
- 2) 調査プログラムを実施する際の役割を理解すること。
- 3) 調査のために事故やニアミスを報告すること。
- 4) 要請に応じて調査に参加すること（チームメンバーまたは立会人として）。

## 可燃性粉塵に対する鉄則

- 5) 事故の事象を時系列に並べた表を作成するために、プロセスデータ（イベントログ、計器の記録、システムステータスなど）へのアクセスを提供すること。
- 6) 事故やニアミスの履歴を意識し続けること。
- 7) 調査の要処理事項の実施を支援すること。
- 8) 事故やニアミスにつながりかねない自分の行動を認識すること。
- 9) 関係する従業員向けに調査結果に基づくトレーニングの提供を支援すること。

### ❖ 方法 — 緊急対応者:

- 1) 調査プログラムを実施する際の役割を理解すること。
- 2) 要請に応じて調査に参加すること（チームメンバーまたは証人として）。
- 3) 緊急対応者が事故対応中に行った操作上の変更（バルブの開閉、物品の移動など）を調査チームに報告すること。
- 4) 事故の緊急対応を評価し、改善の機会を探ること。

### ❖ 補足資料／リソース: [5] [6] {第 19 章、事故調査 [28]} [38]

## References

- [1] CSB, "West Pharmaceutical Services Dust Explosions and Fire-Final Report, Report No. 2003-07-I-NC," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, D.C. USA, 2004.
- [2] CSB, "Hayes Lemmerz Dust Explosions and Fire - Final Report, Report No. 2004-01-I-IN," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, D.C. USA, 2005.
- [3] OSHA, "Combustible Dust in Industry: Preventing and Mitigating the Effects of Fire and Explosions," US OSHA, Washington, D.C., Safety and Health Information Bulletin, SHIB 07-31-2005, Updated 11-12-2014.
- [4] CSB, "Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire, Report 2008-05-I-GA," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, DC USA, 2009.
- [5] W. L. Frank and S. A. Rodgers, Guide to Combustible Dusts, National Fire Protection Agency (NFPA), 2012.
- [6] NFPA, "NFPA 652, Standard on the Fundamentals of Combustible Dust," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [7] R. K. Eckhoff, "Dust Explosions in the Process Industries, 3rd ed., Gulf Professional Publishing," Gulf Professional Publishing, Houston, TX USA, 2003.
- [8] CCPS, Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2004.
- [9] P. E. Urben, "Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards, 8th ed.," Elsevier, Amsterdam, 2017.
- [10] R. P. Pohanish and S. A. Greene, "Wiley Guide to Chemical Incompatibilities," John Wiley & Sons, Hoboken, NJ USA, 2009.
- [11] CCPS, "Chemical Reactivity Worksheet," 2019. [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/chemical-reactivity-worksheet>.
- [12] OSHA, OSHA Firefighting Precautions at Facilities with Combustible Dusts, OSHA Publication 3644-04, Washington, D.C. USA: US Occupational Safety and Health Administration, 2013.
- [13] NIOSH, "Preventing Fatalities Due to Fires and Explosions in Oxygen-Limiting Silos, Publication Number 86-118," National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Washington, DC USA, 1986.
- [14] H. Persson, "Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures," Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), Publ. No. MSB586, Karlstad, Sweden, 2013.
- [15] OSHA, "OSHA Precautions for Firefighters to Prevent Dust Explosions (OSHA Quick Card Publication 3674)," Occupational Safety and Health Administration (US OSHA), Washington, D.C. USA.
- [16] CCPS, Incidents That Define Process Safety, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [17] CSB, "Combustible Dust Hazard Study, Report Number 2006-H-1," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), Washington, DC USA, 2006.
- [18] W. L. Frank, "Dust Explosion Prevention and the Critical Importance of Housekeeping," *Process Safety Progress*, vol. 25, no. 3, pp. 175 - 184, 2004.
- [19] CCPS, Guidelines for Combustible Dust Hazard Analysis, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [20] NFPA, "NFPA 68, Explosion Protection by Deflagration Venting," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.

- [21] NFPA, "NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems," National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA USA.
- [22] NFPA, "NFPA 654, Standard of the Prevention of Fire and Dust Explosion from the Manufacture, Processing and Handling of Combustible Particulate Solids," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [23] NFPA, "NFPA 77, Recommended Practice on Static Electricity," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [24] NFPA, "NFPA 70, National Electric Code," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [25] NFPA, "NFPA 499, Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [26] NFPA, "NFPA 496, Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [27] FM Global, "Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosion and Fire, Data Sheet 7-76," FM Global, City (Website)?.
- [28] CCPS, Guidelines for Risk Based Process Safety (RBPS), New York, NY: AIChE, John Wiley & Sons, 2007.
- [29] OSHA, "Hazard Communications Guidance for Combustible Dust," US Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C. USA, 2009.
- [30] CSB, "CTA Acoustics Dust Explosions and Fire - Final Report, Report No. 2003-09-I-KY," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), Washington, D.C. USA, 2005.
- [31] CCPS, Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions (Pratt), Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 1997.
- [32] CCPS, Avoiding Static Ignition Hazards in Chemical Operations (Britton), Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 1999.
- [33] IEC, "Explosive Atmospheres - Part 32-1: Electrostatic Hazards – Guidance, IEC 60079-32-1," International Electrotechnical Commission (IEC), webstore.iec.ch.
- [34] IEC, "Explosive Atmospheres - Part 10-2: Classification of Areas - Explosive Dust Atmospheres, IEC 60079-10-2:2015," International Electrotechnical Commission (IEC), webstore.iec.ch.
- [35] NFPA, "NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [36] NFPA, "NFPA 51B, Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [37] CCPS, Guidelines for the Management of Change for Process Safety, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [38] CCPS, Guidelines for Investigating Process Safety Incidents, 3rd Edition, Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons, 2019.
- [39] CSB, "Hoeganaes Corporation Fatal Flash Fires-Final Report, Report No. 2011-4-I-TN," U.S. Chemical Safety and Hazard Board (CSB), Washington, D.C. USA, 2012.

---

プロセス安全の鉄則: 粉じん爆発

GR2 – Combustible Dust, Jan 2024

Copyright 2024 American Institute of Chemical Engineers

[www.aiche.org/ccps](http://www.aiche.org/ccps)

---