

粉塵爆発事故発生の原因分析 と予防策

中国蘇州市安全監督管理局 于飛

2017年11月8日

目次



一

・ 昆山中栄金属製品会社の爆発事故

二

・ 粉塵爆発の原因分析

三

・ 中国の規格と規範

四

・ 予防および対策

一、昆山中栄金属製品会社の爆発事故



事故の概要：

2014年8月2日7時34分、江蘇省蘇州市昆山市にある昆山中栄金属製品有限公司艶出し第2工場にて極めて大規模なアルミ粉塵爆発事故が発生、その日に75人が死亡、185人が負傷した。事故報告期間において、計97人が死亡、163人が負傷、直接的な経済損失額は3億5,100万元に上った。

事故現場の写真



負傷者が集まる工場入口



爆発現場から湧き上がる濃煙



現場から離れる負傷者



病院に搬送される負傷者



病院で手当を待つ負傷者



病院で点滴を受ける負傷者

事故現場の写真



工場外部



工場内部



工場外の除塵配管



工場外の排気配管



爆発事故のあった工場の
空撮写真



爆発事故のあった工場の
空撮写真

一、昆山中栄金属製品会社の爆発事故

昆山中栄金属製品会社について

昆山中栄金属製品会社は1998年8月に昆山経済技術開発区に設立された台湾系独資企業で、資本金は880万米ドル、総敷地面積は3万4974.8平米、計画総建物面積は3万3,746.6平米、従業員総数は527人。自動車部品など、金属表面処理加工に従事し、主な生産工程はホイールハブの研磨、艶出し、電気メッキなどで、設計年産能力は50万件。

事故発生現場はアルミ合金製ホイールハブ艶出し工場で、生産ライン32本が1階と2階にそれぞれ16本が設置され、各生産ラインには12のワークステーションが設けられる。工場沿いに横向きに配置され、総ワークステーション数384。事故発生時、1階には生産ラインが13本、2階には16本あり、総ワークステーション数は348であった。研磨、艶出しはいずれも手作業で、工具はハンドヘルド型電動ガン（艶出し度の要件に応じて、粗さの規格が異なる砥石台や紙やすりを使用する）

2006年3月、この工場の1、2階に8組の除塵システムが据え付けられた。各ワークステーションには防塵用天蓋があり、生産ライン4本、48のワークステーション毎に、1つの除塵装置を共用していた。除塵装置は機械式空袋除塵装置。2012年に改造された後、8組の除塵装置の室外排出管がすべて連結され、1つのメイン排出管から排出されるようになった。事故のあった工場は、除塵装置と集塵配管、手動工具コンセントおよびその配電盤には規定どおりアース措置がなされていなかった。

事故の経緯：2014年8月2日7時、事故のあった工場の従業員が出勤した。7時10分、除塵換気ファンが作動し、従業員が作業を開始した。7時34分、1号除塵装置に爆発が発生した。爆発衝撃波が除塵配管に沿って車両に伝わり、舞い上がった除塵装置内と工場に集まったアルミニウム粉塵が爆発を起こした。その場で47人が死亡、その日に病院に送られ、応急手当が間に合わず、死亡した人は28人、負傷者は185人、事故のあった工場と工場内の生産設備が損壊された。



一、昆山中栄金属製品公司の爆発事故

事故の原因：

事故のあった工場は除塵装置が長時間、規定どおりに清掃されず、アルミ粉塵が集まっていた。除塵装置ファンが作動した後、研磨プロセスで生じた高温顆粒が集塵槽で粉塵雲を形成した。1号除塵装置の集塵槽は腐食により破損し、槽内はアルミ粉が湿気り、酸化放熱反応が発生し、粉塵雲の点火温度に達し、除塵装置と工場の一連の爆発を引き起こした。ガス抜き装置がないため、爆発により生じた高温ガスと燃焼物を瞬間的に除塵配管を経てそれぞれの吸塵口から噴出させたことで、全工場のすべてのワークステーションのオペレーターが直接的に爆発による衝撃を受け、集団死傷をもたらした。

原因の分析：

一連の違法・不正行為により、環境全体が粉塵爆発の5要素を備え、爆発を引き起こした。粉塵爆発の5要素は、可燃粉塵、粉塵雲、点火源、支燃物、空間的制約。

1. 可燃粉塵。事故のあった工場での艶出しホイールハブで生じた艶出しアルミ粉の主な成分は、88.3%のアルミニウムと10.2%のシリカで、艶出しアルミ粉の粒径の中間値は19ミクロン。事故のあった工場は除塵装置が長時間、規定どおりに清掃されず、アルミ粉塵が沈殿していた。
2. 粉塵雲。除塵装置ファンの作動後、それぞれの除塵装置が担当する生産ライン4本、計48のワークステーションの艶出し粉塵が配管を通じて除塵装置に入り、ろ過袋により捕集され、集塵槽に集められた。除塵装置の灰斗と集塵槽の上部空間に爆発粉塵雲が形成された。
3. 点火源。集塵槽内の極めて細い艶出しアルミ粉は、艶出しプロセスにおいて一定の初期温度を有し、比表面積が大きく、吸湿により湿気を帯び、水、鉄錆と放熱反応が生じた。除塵装置ファンが作動した後、集塵槽の上方に一定の負圧が形成され、槽内のアルミ粉の放熱反応が加速され、温度が粉塵雲の点火温度まで上昇した。
4. 支燃物。除塵装置ファンの作用の下で、大量の新鮮な空気が除塵装置に入り、爆発の発生を促した。
5. 制約された空間。除塵装置本体は、倒立円錐の鋼殻構造で、内部は空間が狭く、容積は約8m³。

一

・ 昆山中栄金属製品会社の爆発事故

二

・ 粉塵爆発の原因分析

三

・ 中国の規格と規範

四

・ 予防および対策



二. 粉塵爆発の原因分析

1. 粉塵とは？

粉塵 (dust) とは、空気中に浮遊する固形微粒子をいう。習慣上、粉塵には埃、塵埃、煤塵、鋳塵、砂塵、粉末など多くの名称があり、これらの名詞には明らかな境界がない。国際標準化機構の規定では、[粒径が75 \$\mu\text{m}\$ 未満の固形浮遊物を粉塵と定義される。](#)

2. 粉塵爆発とは？

粉塵が爆発の極限範囲内にあり、熱源 (火気または温度) に遭遇し、火炎が瞬間的に混合粉塵空間全体に伝わると同時に非常に速いスピードで化学反応し、大量の熱を釈放することで、非常に高い温度と多大な圧力を形成し、装置のエネルギーが機械エネルギーと光、熱放射に転換され、極めて強い破壊力を生み出した。

二. 粉塵爆発の原因分析

3. 粉塵の種類

(1) その性質に応じて通常、以下の数種類に分けられる。

- a. **無機粉塵**：セキエイ、アスベスト、タルカム、炭などの鉱物性粉塵。鉄、錫、アルミニウム、マンガン、鉛、亜鉛などの金属粉塵。カーボランダム、セメント、グラスファイバーなどの人工無機粉塵。
- b. **有機粉塵**：毛、シルク、骨質などの動物粉塵。綿、麻、草、サトウキビ、穀物、木、茶などの植物粉塵。有機農薬、有機染料、合成樹脂、合成ゴム、合成繊維などの人工有機粉塵。
- c. **混合粉塵**：前述の各種粉塵について、2種類以上の物質が混ぜ合わさって形成された粉塵。生産活動において最も多く見られる粉塵。

(2) 粉塵の物性に応じた分類：

粉塵には、粉塵の吸湿性、粘性、可燃性、導電性などの多様な性質があるため、物性の違いにより下記のとおり分類できる。

- a. 吸湿性粉塵、非吸湿粉塵。
- b. 不粘着塵、微粘着塵、中粘着塵、強粘着塵。
- c. 可燃塵、不燃塵。
- d. 高比抵抗塵、比抵抗値粉塵、導電性塵。
- e. 可溶性粉塵、不溶性粉塵。

二. 粉塵爆発の原因分析

4. 粉塵爆発の原理

粉塵の爆発は、下記の3ステップにより生じるとみなされる。第一ステップ：浮遊する粉塵が熱源の作用の下で、迅速に乾留または気化させ、可燃性ガスを発生させる。 第二ステップ：可燃性ガスと空気が混ざり合って燃焼する。 第三ステップ：粉塵の燃焼により放出される熱量が、熱伝導と火炎放射により、付近に浮遊し、または舞い上げられた粉塵に伝わり、これらの粉塵が熱により気化された後、燃焼が循環して行われる。 各循環が漸次的に行われ、その反応速度が速まり、強烈な燃焼を通じて、最後に爆発が形成される。これらの爆発反応および爆発による火炎の速度、爆発波速度、爆発圧力などは持続的に加速、上昇し、飛躍的に高まる。

5. 粉塵爆発の5要素



二. 粉塵爆発の原因分析

6. 粉塵爆発の影響要素

物理化学的性質

- ♣ 物質の燃焼熱が高まるほど、粉塵爆発の危険性も高まる。例：石炭、炭素、硫黄の粉塵など
- ♥ 酸化しやすい物質ほど、粉塵爆発が起こりやすくなる。例：マグネシウム、酸化第二鉄、染料など。
- ♣ 帯電しやすい粉塵ほど、爆発を引き起こしやすい。粉塵は生産プロセスにおいて、相互の衝突、摩擦などの作用によって生じる静電気は散逸しにくく、静電気電荷蓄積が生じる。一定の数値に達すると、静電気放電が生じる。静電気放電による火花は火災や爆発事故を引き起こす。

顆粒の大きさ

粉塵の表面に吸着する空気中の酸素は、顆粒が細かいほど、比表面積（多孔質固体の単位質量あたりに有する表面積、 m^2/g ）は大きくなる。吸着する酸素が多いほど、爆発が生じやすくなる。また、発火点が低いほど、爆発下限値も低くなる。粉塵顆粒の直径が減るに伴い、化学的活性が増加するのみならず、静電気を帯びやすくなる。

粉塵の濃度

可燃性ガスに相似し、粉塵爆発も一定の濃度範囲があり、上限値、下限値がある。しかし、粉塵は爆発上限値が高いため、一般の資料には粉塵の爆発下限値のみを列記するものが多い。

一

・ 昆山中栄金属製品会社の
爆発事故

二

・ 粉塵爆発の原因分析

三

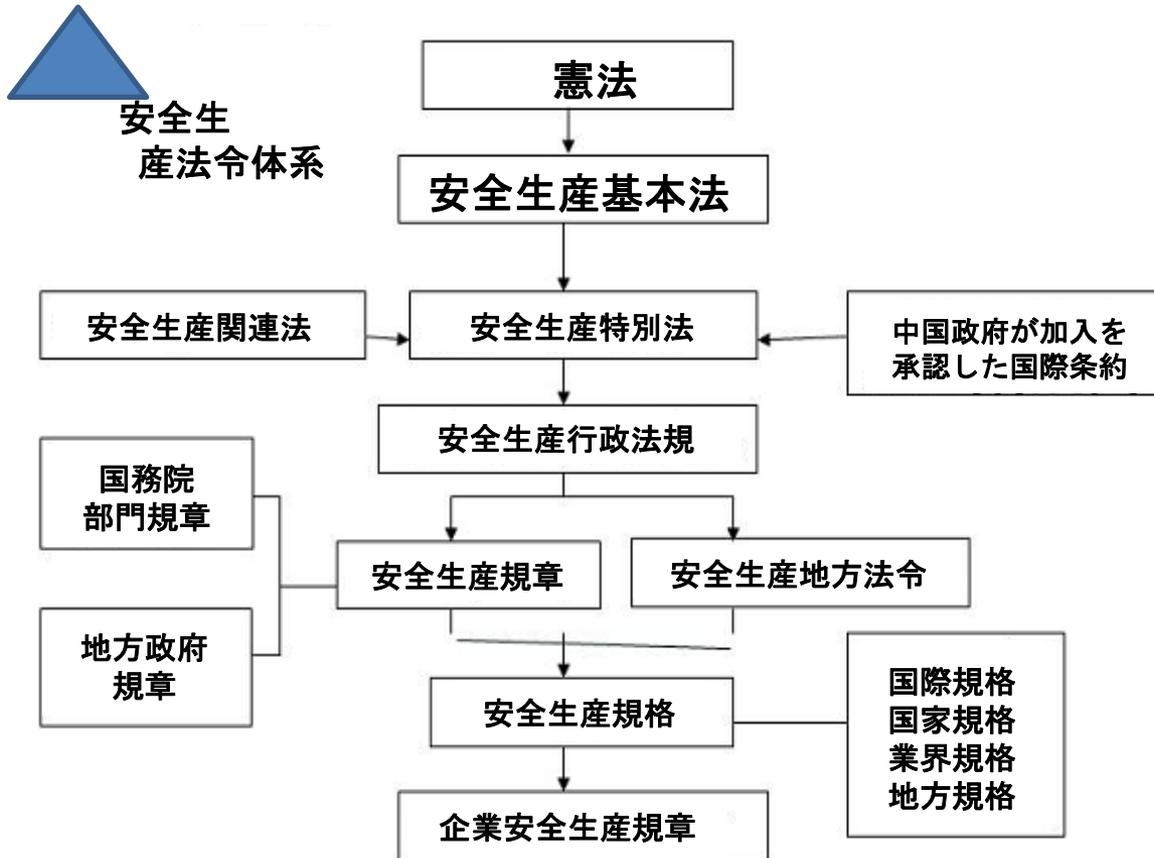
・ 中国の規格と規範

四

・ 予防および対策



三. 中国の規格と規範



三. 中国の規格と規範

- GB/T 15604-2008 「粉塵爆発防止用語」
- GB/T 15605-2008 「粉塵爆発減圧ガイドライン」
- GB 50057-2010 「建築物落雷防止設計規範」
- GB 50058-2014 「爆発危険環境電力装置設計規範」
- GB 15577-2007 「粉塵爆発防止安全規程」
- GB 17440-2008 「食糧加工、貯蔵輸送系統粉塵爆発防止安全規程」
- GB/T 17919-2008 「粉塵爆発危険場所で使用される集塵機の爆発防止ガイダンス」
- GB 12158-2006 「静電気事故防止汎用ガイダンス」
- GB/T 5817-2009 「粉塵作業場所危害度クラス分け」
- AQ 3009-2007 「危険場所電気爆発防止安全規範」
- AQ 4229-2013 「食糧サイロ粉塵爆発防止安全規範」



一

・ 昆山中栄金属製品会社の
爆発事故

二

・ 粉塵爆発の原因分析

三

・ 中国の規格と規範

四

・ 予防および対策



四. 予防および対策

1. 粉塵爆発が発生しやすい生産工程

- (1) **粉碎** 機械力の作用により大量の粉塵が舞い上がる。設備内に浮遊する粉塵は爆発の濃度範囲にある場合が多い。また、各種の力の作用により、摩擦、衝突による火花、静電気などの発火源が発生し、粉塵爆発の発生を招きやすい。

- (2) **ガス - 固体分離** 風力の作用により、セパレーター内の粉塵は浮遊状態にある。このとき、十分なエネルギーの発火源がある場合、爆発事故の発生は回避できない。

- (3) **乾式除塵** 除塵前の粉塵が浮遊状態にあり、フィルター上に粘着した粉塵が灰を除去した後も浮遊状態にある。十分なエネルギーを持つ発火源があれば、粉塵爆発事故が生じる。

- (4) **乾燥** 噴霧、気流若しくは沸騰乾燥装置を使用し、顆粒状の資材または粉末材を使用するとき、設備内に形成される可燃性粉塵 - 空気の混合物による爆発事故が生産中に時折発生する。

- (5) **輸送** ガス輸送プロセスにおいて、工業粉塵はふわふわした浮遊状態にあり、粉塵爆発の主要な条件を備えている。適切な発火源さえあれば、極めて危険性が高い上、輸送配管と分離設備、除塵設備が連結していれば、二次爆発が極めて容易に発生し、より大規模な死傷や損失を招く。

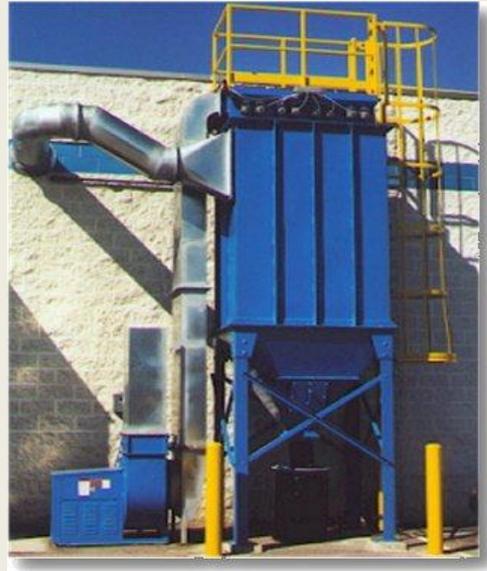
- (6) **清掃、パージ** 生産プロセスにおいて粉塵が設備から逸脱することは免れない。これらの粉塵は工場、設備の表面に堆積する。速やかに除去しない場合、一定の濃度に達し、舞い上がった後、爆発事故を起こしやすく、かつ清掃プロセスにおいても粉塵が極めて舞い上がりやすく、浮遊爆発条件を形成する。

四. 予防および対策

2. 粉塵爆発が発生しやすい設備



集塵装置



除塵装置



空気コンベヤー

四. 予防および対策

2. 粉塵爆発が発生しやすい設備



乾燥装置



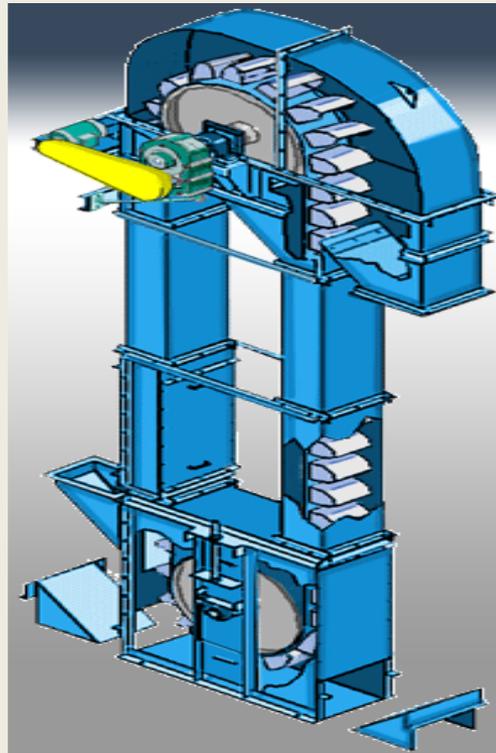
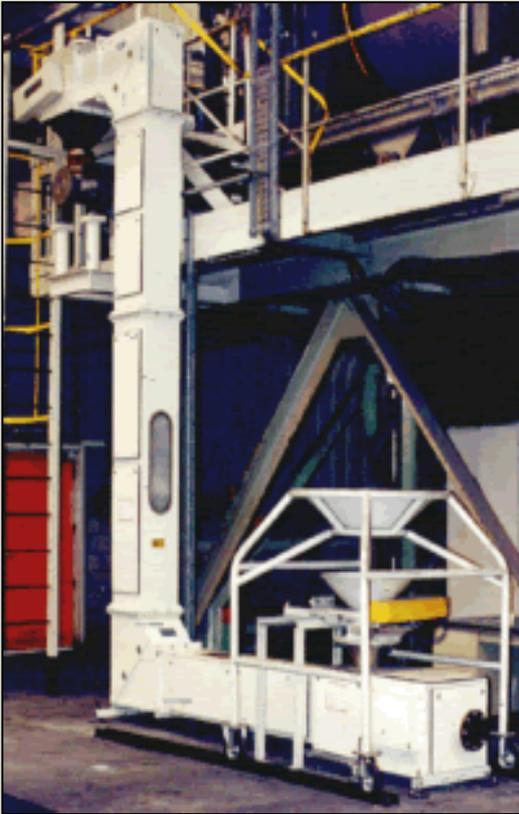
粉碎機



サイロ

四. 予防および対策

2. 粉塵爆発が発生しやすい設備



チェーンホイスト

四. 予防および対策

3、火災、爆発防止技術・措置

物質燃焼の原理に基づき、生産プロセスにおいて火災、爆発事故を防止する基本原則は、物質燃焼の2つの必要条件について提起される。一方で、燃焼装置により火災、爆発危険物、支燃物、発火源の三者間の直接的な相互作用を防止、制限する。他方で、着火を招きうる一切の火災の原因および火災と爆発の拡張を除去する。

(一) 火災の原因の制御と除去

1. 着実な接地
2. 粉塵、爆発防止構造のある電気機器の使用
3. 火花の探知と鎮火
4. 火気の除去
5. 局部の過熱防止
6. 金属によるハンマリングの不使用、火花発生防止

(四) 自動制御と安全保護装置の採用

1. 工程パラメータの自動調節
2. プログラム制御
3. 信号装置、保護装置、インターロック

(二) 危険資材の制御

1. 資材の物理化学的特性に応じた措置の実施
2. システムの密閉および負圧操作
3. 換気、置換
4. 惰性媒質保護

(五) 火災と爆発の拡張の制限

1. 隔離、露天レイアウト
2. セーフティフレーム装置

(三) 工程パラメータの制御

1. 温度の制御
2. 原料投入の制御
3. ガス漏れ、廃液漏れの防止

(六) 爆発防止電気設備の採用

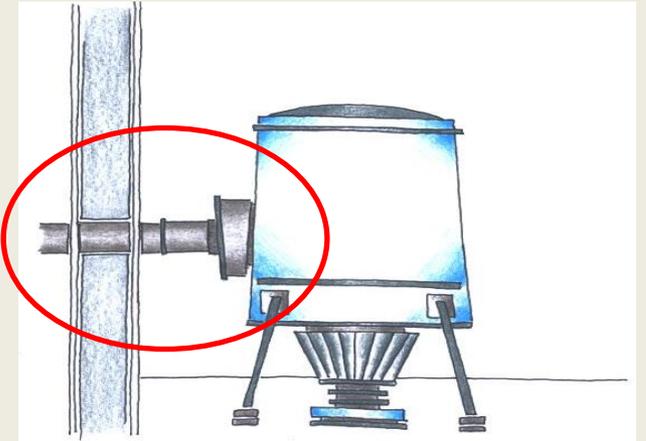
四. 予防および対策

4. 粉塵爆発保護措置

(a) 耐圧防爆

放出で配慮すべき要素：

- ★壁の外に放出するのか、それとも高い最上階の位置に放出するのか。
- ★爆発後の火炎の影響は？ 火の玉を許すのか。
- ★反作用力にどう対応するのか。
- ★雪害、雨水の影響を回避するための措置を採用するのか。



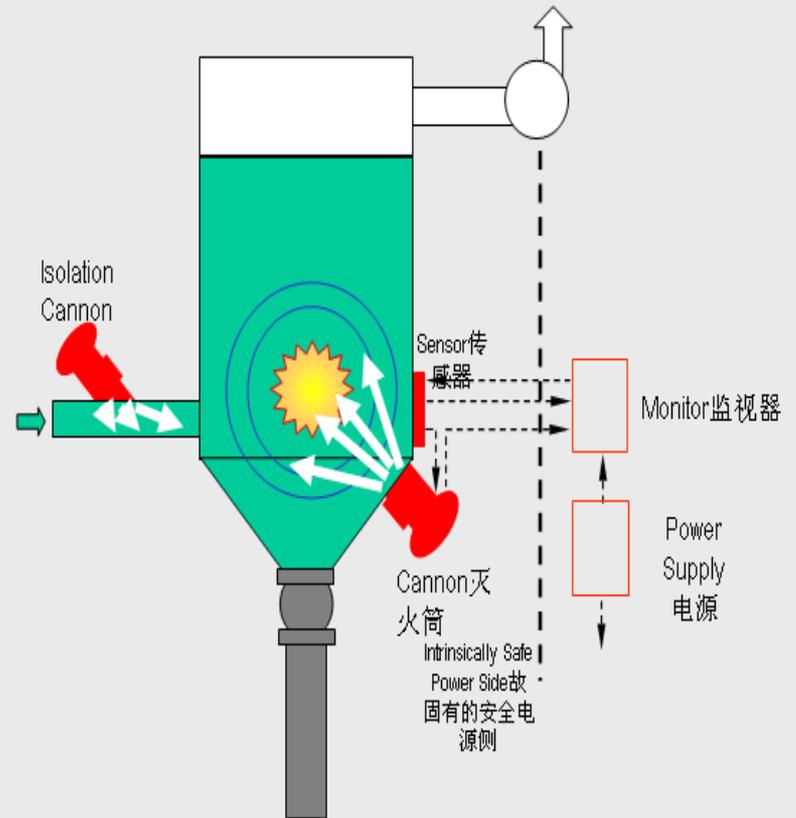
直接室内に放出

四. 予防および対策

4. 粉塵爆発保護措置

(b) 爆発抑制

- 早期に探知し、爆発を察知したら、
- 発射管を起動し、
- 消火剤を容器に噴射し、
- 爆発抑制と燃焼隔離の資材
- 設備の停止



IPD粉塵爆発隔離装置

四. 予防および対策

スクリーコンベアの隔離



排出口の資材フィルター



四. 予防および対策

5. 監視対策

(一) 教育研修

1. 研修対象：各級の安全監督管理担当者、専任の安全管理担当者、可燃性粉塵発生場所の各ワークステーションの作業員（労務工を含む）、外来の施工員など。
2. 研修内容：法令、規格の周知徹底。粉塵爆発防止の総合的知識。爆発防止技術の措置、方法。事故の緊急救援の基本知識。事故のケーススタディーなど。
3. 各種の重点、類別研修

(二) 潜在危険の徹底調査

1. 個別検査の実施：会社級検査、部門級検査、工場級検査。
2. 検査内容：安全装置、換気除塵設備の万全性、粉塵爆発の予防および対策。緊急援助物資および訓練。日常の清潔、清掃。危険作業管理。

(三) 応急訓練

1. 訓練方法：実践訓練、机上訓練。
2. 訓練目的：
 - (1) 事故が実際に発生する前に対応策と手順の不備を暴露する。
 - (2) 緊急事態対応リソースの不足（労働力、設備など）を発見する。
 - (3) 各緊急事態対応部門、機構、人員のコミュニケーション、調整を改善する。
 - (4) 従業員の突発的事故の救援に対する自信と救援意識を強化する。
 - (5) 緊急救援担当者の熟練度と技術レベルを高め、各自のワークステーションと職責を明らかにする。



ご清聴
ありがとうございました