

石油樹脂粉体による粉塵爆発火災

川崎市消防局
予防部保安課担当係長〔検査〕 喜多村 亮太

1. はじめに

本火災は、危険物製造所で抽出された石油樹脂を固化、粉碎、貯蔵、袋詰めを行う工程において、石油樹脂を搬送するバケットが落下したことをきっかけに粉塵に着火し爆発に至ったものである。

これまで事業者においては、主に粉塵の危険性について、人に対する健康上のリスクとして認識し対応していたが、本事業により、粉塵爆発の危険性も認知することとなり、綿密な火災調査に基づき、ソフト面及びハード面について、あらゆる再発防止対策がとられることとなった事例である。

2. 発生場所 (図1)

石油コンビナート等特別防災区域内の特定事業所において、危険物製造所 (以下「関連製造所」という。) に付随する指定可燃物貯蔵取扱所 (フレーカー室・荷造り室棟)

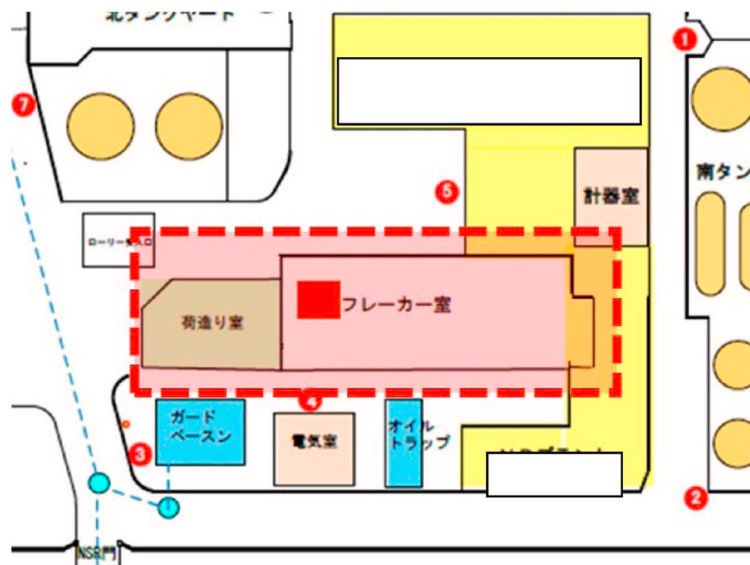


図1. 発生場所

3. 発生日時

令和3年8月29日 (日) 21時04分頃

4. 覚知日時

令和3年8月29日 (日) 21時07分 (119番通報)

5. 鎮火日時

令和3年8月30日 (月) 7時08分

6. 事故概要 (写真1、2)

隣接する関連製造所で造られた石油樹脂を固化、粉碎することにより製品ポリマーを成型し、貯蔵・袋詰めを行う指定

可燃物貯蔵取扱所（フレーカー室・荷造り室棟）において、夜間、通常運転中、バケットコンベア内に堆積・浮遊していた粉塵に、バケット落下に伴う衝撃火花又は不導体物質によるストリーマコロナ放電が火源となり爆発が発生し、火災に至ったもの。



写真1、2. 火災発生時の状況

7. 損害程度

(1) 人的被害

なし

(2) 物的被害

ア 火元

鉄骨造平屋建て建築面積526.55 m²のうち、フレーカー室・荷造り室棟の荷造り室138.84 m²焼損

イ 類焼1

スチール製物置1棟全焼

ウ 類焼2

防火造平屋建て建築面積60.75 m²の電気室の屋根及び外壁若干焼損

(3) 損害額

53,285,000円

8. 気象状況

天候：晴れ 風向：東 風速：3.7 m 気温：28.2℃

相対湿度：71% 実効湿度：74.4% 気象報：濃霧注意報

9. 消防隊の出場状況

(1) 公設消防隊

15隊15台59名

(2) 自衛消防隊等

2隊 12名

10. 関連製造所の許可関係

(1) 設置許可年月日 昭和42年11月

(2) 完成検査年月日 昭和43年3月

(3) 許可品名 第4類第1～4石油類

(4) 指定数量の倍数 318.73倍

11. 関連製造所及び発災施設の施設概要

(1) 関連製造所の概要

ア 工程 (図2)

当該事業所は、固形の石油樹脂を製造及び出荷しており、関連製造所は、石油樹脂を固化させる前の液状の重合物を製造している。

イ 製造している石油樹脂

製造している石油樹脂は、淡い黄色～黄褐色の可燃性の固体で、消防法の指定可燃物に該当する。

(2) 発災施設 (フレーター室・荷造り室棟) の概要

ア 建屋概要

鉄骨造平屋建て建築面積526.55 m²

イ 工程 (図2及び写真3)

(ア) フレーター室 (造粒工程)

フレーター室では、関連製造所から送られる液状重合物を成型する工程となっており、成型は、A系とB系の2系統の設備で実施されている。

A系列は、液状重合物をベルトコンベアに流して、水により冷却固化し、粉砕機 (クラッシャー) 部でフレーク状 (薄板状) に粉砕した後、Na1及びNa2バケットコンベアにより1号製品サイロ及び2号製品サイロへ貯蔵される。

B系列は、ペレタイザーに並ぶ穴から液状の重合物を粒状に押し出し、ベルトコンベアに流して、水により冷却固化した後、Na3及びNa4バケットコンベアにより3号製品サイロから6号製品サイロへ貯蔵される。

フレーター室には各系列の中間サイロが設置され、フレーター設備から続くバケットコンベアの途中から中間サイロへ投入することができる構造となっており、石油樹脂の品種を変更する際に、前後品種の混合を避けるため、製品が完全に切り替わるまでの間に使用されることとなっている。

(イ) 荷造り室 (貯蔵工程)

荷造り室では各製品サイロに貯蔵された石油樹脂を、サイロ下部から計量器へ搬送し、フレキシブルコンテナ (以下「フレコンバック」という。) 及び紙袋に袋詰めを行っている。

(ロ) 各工程における集塵

各工程において、石油樹脂の粉塵が発生することから、集塵機が設置されている。

集塵機B系統、集塵機C系統は集塵ダクトにより粉塵を回収している。集塵機Bは、機器外にこぼれた粉塵や樹脂を回収する集塵機で、集塵機Cは機器内に滞留する粉塵を回収する集塵機である。

なお、製品サイロ、中継小屋のホッパーについては個別に専用の集塵機が設置されているため、集塵ダクトによる回収はない。

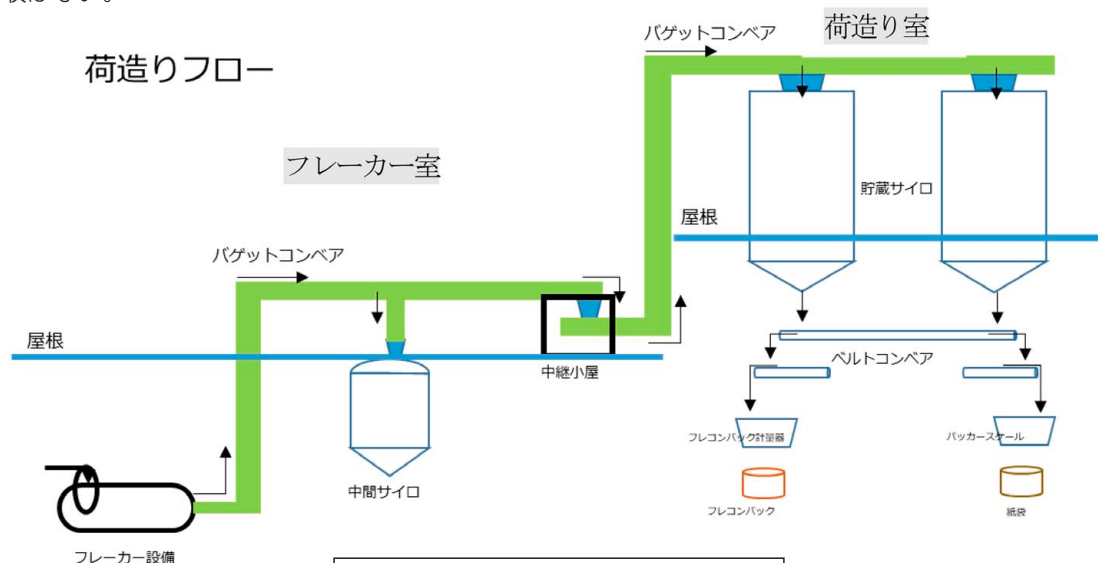


図2. 発災施設における荷造りフロー

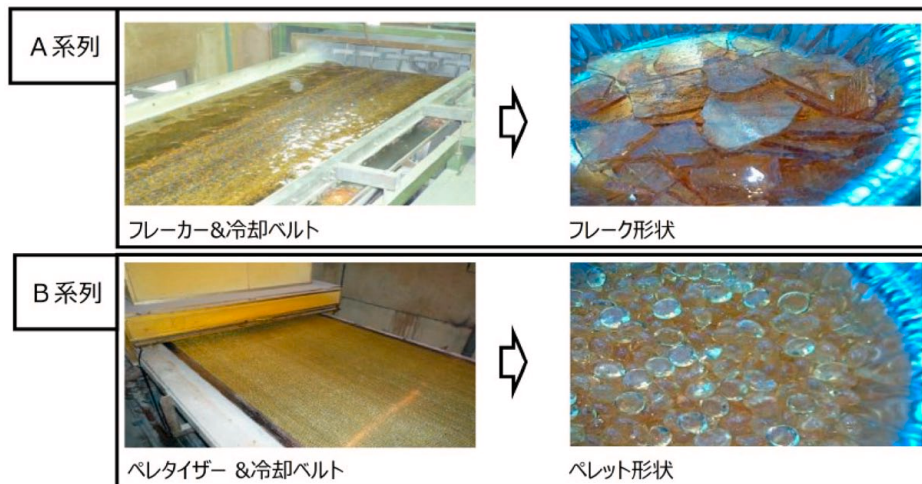


写真3. フレーク状及びペレット状の合成樹脂

12. 発災に至る経緯

- 令和3年8月11日 5月末から実施していた定期修理工事（2年毎）終了
 8月12日 スタートアップを開始し、通常運転に移行
 8月29日
 20時30分頃 製造所の巡回を実施、荷造り室は未確認
 21時04分頃 巡回中の職員（事業所職員A）が爆発音を確認し、荷造り室東側から火炎が噴出していることを発見
 装置停止作業開始
 21時07分 119通報
 21時10分 社内緊急連絡網にて非常事態対策本部を設置
 21時25分 自衛消防隊及び共同防災隊により消火活動を開始
 21時25分 公設消防現着
 22時24分 鎮圧
 23時34分 荷造り室西側の小屋から煙を確認、放水実施
 8月30日
 0時13分 荷造り室西側の小屋から煙を確認、再度放水実施
 0時34分 自衛消防隊、共同防災隊、公設消防各1台で朝まで監視継続
 7時08分 鎮火

13. 調査結果

(1) 発災前の状況

- ア 当該施設は2年に1回の定期修理後で、令和3年5月14日から8月11日まで定期修理を行い、8月12日からスタートアップし、通常運転を開始していた。
 イ 定期修理では、バケットコンベア（No. 1～4）の内部清掃、消耗部品の交換等が実施されていた。
 ウ 発災当時、施設は無人で、製造された石油樹脂をバケットコンベアにより、製品サイロへ運搬していたが、フレキシブルコンテナや紙袋への袋詰めは行われていなかった。

(2) 焼損状況等について（写真4）

- ア 製品サイロは、6号サイロを残し、座屈していた。
 イ 中間サイロは、A系列は焼損・破損していたが、B系列は健全であった。

- ウ 中継小屋内はA系列、B系列ともに焼損していた。
- エ B系列バケットコンベアのケーシングに開口はないが、内部に焼損や煤けが認められた。
- オ A系列バケットコンベアの垂直部のケーシングに大きく開口が認められ、内部のバケットが脱落していた。屋根上に設置されている水平部も大きく開口が認められた。



写真4. 関連製造所から製品サイロ方向を撮影

(3) 損傷の激しかったA系列バケットコンベアの状況について (図4)

バケットコンベアのケーシング (垂直部及び水平部) に大きな開口が認められたA系列バケットコンベアの状況は次の通りであった。

- ア 垂直部では、バケットの落下が認められ、落下したバケットの上部に大きな開口が認められた。
- イ 水平部では、天板の変形、脱落及び大きな開口が認められた。
- ウ ケーシングステーに付着した溶融樹脂の状況を見ると工程の下流方向へ向かって爆発した形跡が認められた。

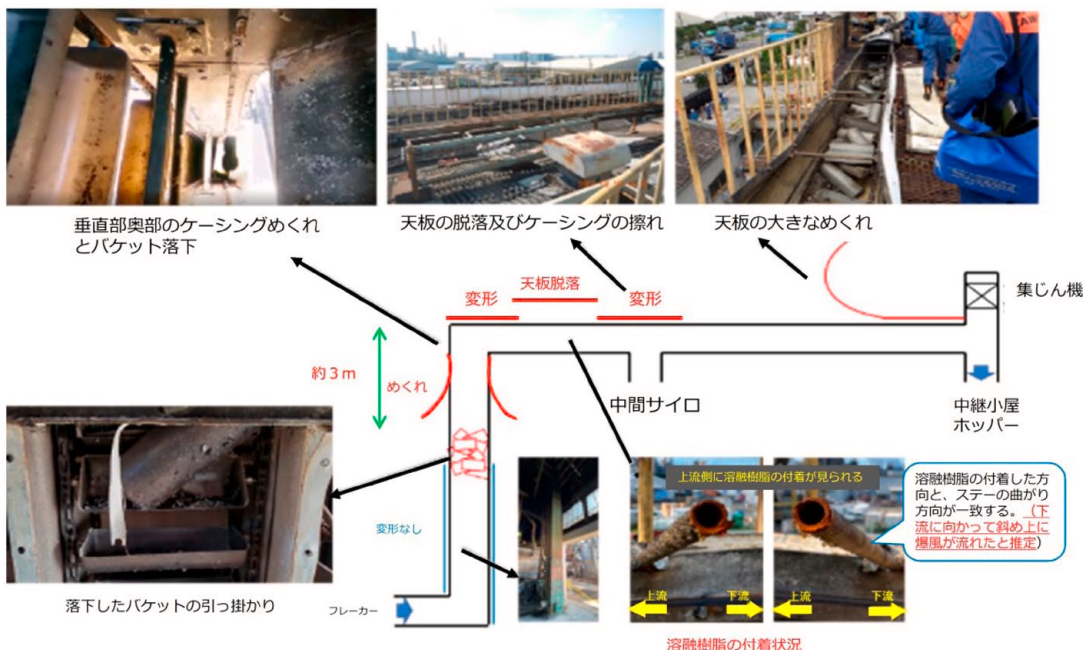


図4. A系列バケットコンベアの焼損状況

14. 出火時刻の推定

事業所職員からの供述から、21時00分から21時05分の間に、爆発が発生し、その後に炎や煙を確認していること。

通報した事業所職員について、爆発音を確認後に計器室で119番通報を行い、消防局指令センターが21時07分に覚知していること。

21時05分、A系列バケットコンベアが過負荷により停止していること。これは、バケットコンベアのチェーンがスプロケットから脱落していたことを考慮すると、1分程度作動していたと推定されること。

以上のことから、通報者の移動経路を勘案するとともに、装置停止の時刻から出火時刻を21時04分とした。

15. 出火箇所の推定

本火災は、爆発が発生し延焼拡大していることから、それを勘案し、推定を行った。

(1) 荷造り室上部のサイロについて

サイロは焼損・倒壊し、貯蔵していた樹脂についても焼損・流出しているものの、サイロ上部集塵機も含め、爆発が発生した変形は認められなかった。

(2) 集塵機（B、C）について

調査の結果では、激しく焼損しているものの、事業所職員から火災発生初期には健全であった供述を得ているため、出火箇所としての可能性は低い。

(3) 中継小屋（バケット集塵機含む）について

バケット集塵機には爆発による変形は認められず、中継小屋内に存する機器も焼損しているものの、着火原因となる摩擦や配線の短絡等の事象は認められず、出火箇所となった可能性は低い。

(4) バケットコンベアについて

フレーカー室の屋根に設置されているA系列のバケットコンベアケーシングの損傷状況は、大きく開口又は中継小屋方向へ、捲れ上がっている状況であること。

また、ケーシングステーの状況を見ると、装置上流から下流へ変形していること及び熔融樹脂の付着状況が上流側のみであることから、バケットコンベアの垂直部分で、最初の爆発が発生した可能性が高い。

16. 爆発（出火）原因の推定

A系列バケットコンベアの垂直部において爆発が発生したものと推定した。

(1) 水蒸気爆発、可燃性蒸気又は暴走反応による爆発

系内に水蒸気や可燃性蒸気の滞留はなく、石油樹脂の性質・性状からも、これらによる爆発発生の可能性は低い。

(2) 粉塵による爆発

粉塵爆発が発生する『5要素』に着目し、推定をした。

① 可燃物

バケットコンベアのケーシング内には、石油樹脂の搬送に伴う接触等から粉体の発生は想定されており、集塵機により対処されていたが、十分でなく、調査結果からもケーシング内には、相当量の粉体があった可能性が高い。粉塵粒度は中心粒径（D50%） $24\mu\text{m}$ で、 $10\mu\text{m}$ の粉体も確認されている。粒子径としてはおおむね $300\sim 500\mu\text{m}$ よりも小さいものが爆発に関与し、粒子径が $10\mu\text{m}$ 程度となると、空气中に舞い、分散しやすく、また、燃えやすくなるとされていることから、粉塵爆発が発生するための可燃物は十分に存在していたといえる。

② 支燃物

バケットコンベアのケーシング内は、不活性ガスの導入や酸素濃度の管理等は実施されておらず、雰囲気は大気同様に酸素濃度21%であった。

③ 着火原

・周囲の火気

発災当時は、周囲で溶接、溶断などの工事は行われておらず、また火気作業の資機材等も置かれていなかった。

・機械や電気機器による熱、又は高温物

バケットコンベアのケーシング内には、いずれも存在しない。

・石油樹脂又は粉体の発熱反応

SDSからも通常状態で反応性はなく、化学的に安定しているため、重合、発熱反応は起こらない。また、粉体の圧密により急激な分解が発生することはない。

・機械由来の摩擦、接触火花

バケットコンベアのケーシング垂直部において、チェーン又はバケットの金属ピンが擦れたような擦過痕が確認されている。なお、チェーンの軸受に異常はなく、発災直前まで擦れていたものか、爆発による破損でケーシングにチェーン又はバケットの金属製のピンが擦れたものかは判別できない。

・バケット落下による衝撃火花

A系列バケットコンベアの垂直部では、バケットの落下が確認されており、この衝撃により火花が発生した可能性があるが、落下に伴う運動エネルギーを計算した上で衝突エネルギーを考察すると、バケット落下の衝撃火花による爆発の発生可能性は低い。

・電気設備における漏電・電気火花

各電動機を回収し、モーターを分解したところ、短絡した跡は認められなかった。また、漏電遮断器の作動はなかった。

・静電気

バケット自体が脱落した場合は、予期せぬ不導体同士の接触が起こり、その状態で導電性物体と接触してしまうと、ストリーマコロナ放電が起こる可能性は高い。

また、バケットコンベアのケーシング内面は導電性の無い塗料で塗装されており、かつ、部分的に塗装が剥離していたため、ケーシング塗膜と樹脂バケットの摩擦で静電気が蓄積し、ケーシングの塗装が剥離している導電性の部分との接触でストリーマコロナ放電が起きやすい環境であるといえる。

以上のことから、機械由来の摩擦、接触火花により着火した可能性も否定できないが、ストリーマコロナ放電の可能性が高いと推定した。

④ 粉塵の分散

粉塵は、バケット内及びケーシング内に堆積しているものの、通常運転であれば分散することはないが、バケットがコンベアから脱落すれば、その衝撃でバケット内に堆積している粉塵やケーシングに付着している粉塵が、分散する可能性は高い。

⑤ 場の閉塞性

バケットコンベアの垂直部はケーシングで覆われており、閉塞しているため、この条件に合致する。

17. 爆発から延焼拡大への整理

A系列バケットコンベア内で、粉塵爆発が発生したことを起点に、集塵ダクト内を爆風や火の粉が伝播したことで、火災の拡大及び製品サイロの座屈・倒壊まで至った内容について、次のとおり時系列でまとめた。

フェーズ1	21:04	A系列バケットコンベアでの粉塵爆発発生
フェーズ2	21:04～21:05	爆風や火の粉が集塵ダクトを伝播
フェーズ3	21:05～21:07	荷造り室・フレイカー室への火災の拡大
フェーズ4	21:06～21:28	荷造り室全域へ火災が進展し、製品サイロが座屈・倒壊

●フェーズ1

最初に爆発音が確認された21時04分に、A系列バケットコンベアのチェーンのたわみが原因で、垂直部でバケットが脱落し、バケット内に存在した粉塵が舞い上がり、バケットコンベア内に粉塵雲が形成された。

同時にバケットの金属製のピンが、若しくはピンとチェーンの両方がケーシングに接触し摩擦熱を発生させたこと、又は、不導体である樹脂製のバケット、石油樹脂及び粉塵同士の摩擦により帯電した状態で、塗装が一部剥離したケーシングの導体部分に触れたことにより、ストリーマコロナ放電が発生し着火した可能性が高い。

●フェーズ2

A系列バケットコンベアで発生した粉塵爆発により、爆風や火の粉がケーシング内を伝播し、中継小屋まで到達した。中継小屋では、ホッパー、シンクロフィーダ等集塵ダクトが設置されており、樹脂の移送中に発生する粉塵を回収していることから、爆風や火の粉が荷造り室内に張り巡らされている集塵ダクトに流れ込みさらに伝播した。

爆風や火の粉が伝播した先のフレイカー室東側シャッター側の集塵ダクト内には、多量の粉塵が堆積していたため、粉塵が爆風で巻き上げられ、粉塵雲を形成し、火の粉により着火・爆発したことで破断・脱落した。

その際にダクト内に堆積していた粉塵が燃焼し、溶けた状態でフレイカー室・荷造り室内に撒き散らされた可能性が高い。

●フェーズ3

燃焼して溶けた粉塵が、爆風で撒き散らされた先に置かれていたポリプロピレン製の樹脂パレットに接触したことで、さらに延焼拡大した。

21時05分にNo.1バケットコンベアのショックリレーアラームが発報しているのは、バケットコンベアのチェーンがスプロケットから脱落していたことを考慮すると、21時04分からの1分程度作動していたと推定される。

21時06分にA、B系列フレイカー出口温度上昇アラームが発報されているのは、集塵ダクト内を火災が伝播し、フレイカー出口の集塵ダクトから爆風が吹き込んだことにより、温度計が熱風に曝され、温度が上昇したものと推定される。

21時07分にフレイカー室南側で火災報知器が作動していることから、集塵ダクトから流入した粉塵及び火災の噴出によりフレイカー室側にも熱風もしくは輻射熱の影響があったと推定できるが、荷造り室内の火災報知器は発報していない。21時04分の爆発の影響により破損し鳴動しなかった可能性がある。

●フェーズ4

4号製品サイロ真下にあった樹脂パレットが燃えたことにより、サイロの下部パウチャージャーを支えるボルトが受熱により伸びて破断し、サイロ内に貯蔵していた石油樹脂製品14tが全量荷造り室内に流出した。

火災の黒煙で監視カメラでは火災の状況は十分確認できなかったが、21時28分の監視カメラ映像により荷造り室側での火災規模が大きくなったことが確認され、6号製品サイロが少し傾いているため、それまでの間に火災により鉄筋が歪

み、製品サイロが座屈し、6号製品サイロ以外の製品サイロは倒壊したと推定する。

18. 爆発火災のまとめ

調査の結果から、本事案を次のとおりまとめた。

出火時刻	21時04分頃
出火箇所	A系列バケットコンベアの垂直部
発火原	チェーン又はバケットの金属ピンとケーシングによる接触火花 又は 不導体物質によるストリーマコロナ放電
経過	粉塵爆発
着火物	石油樹脂の粉塵

19. 再発防止対策

推定された発災原因に基づき、様々な角度から再発防止対策をとることとした。これについては、事業所内他施設及び関連事業所へも水平展開を行った。

対策大項目	対策中項目	対策小項目	粉塵爆発の5要素に対する対策
粉塵爆発対策	バケット落下及び機械的摩擦に対する対策	<ul style="list-style-type: none"> ・バケット固定用割ピン数の増加 ・日常的な点検の強化 ・機器保守点検間隔の短縮 	可燃物 粉塵の分散 着火源
	バケットコンベア内での粉塵堆積に対する対策	<ul style="list-style-type: none"> ・定期的な確認、清掃の実施 ・バケットコンベアに集塵機の追加設置 	可燃物 粉塵の分散
	サイロを含む、バケットコンベア系の過剰な圧力上昇に対する防止策	<ul style="list-style-type: none"> ・爆発放散設備の設置 ・消炎型爆発圧力放散設備の設置 	場の閉塞性
火災の拡大防止対策	集塵ダクト内の粉塵堆積抑制対策	<ul style="list-style-type: none"> ・集塵性能の測定、維持管理 ・集塵ダクトの定期的な清掃 	
	集塵ダクト内の火炎の伝播防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ・集塵範囲及びダクト共有範囲の縮小 ・瞬間遮断弁の設置 	
	可燃物への延焼防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃物の持ち込み量の制限 ・可燃物保管場所の延焼防止対策 	
	製品サイロ内の石油樹脂製品の流出防止対策	<ul style="list-style-type: none"> ・製品サイロ下への可燃物持ち込み禁止 ・製品サイロの設計見直し 	
	初期消火設備の設置	<ul style="list-style-type: none"> ・散水設備の設置 	
人に対する教育	粉塵爆発及び新たな手順書に関する教養		

参考文献

- 1) (一社) 日本粉末工業技術協会粉塵爆発委員会：粉塵爆発・粉体火災の安全対策—基礎から実務まで—、2019、P. 29
- 2) 大澤 敦：静電気リスクアセスメント2021、P. 170、2021、9
- 3) 八島 正明：「粉塵爆発・火災とその防止策」、Earozoru Kenkyu Vol.34 No.3、P. 161、2019 五要素
- 4) 八島 正明：「粉塵爆発・火災とその防止策」、Earozoru Kenkyu Vol.34 No.3、P. 163、2019 粒子径
- 5) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所：静電気安全指針、2007