



危険物事故 関連情報

亜鉛末製造工場爆発火災について

いわき市消防本部 吉田 宏一

1 はじめに

本事例は、亜鉛末を製造する危険物一般取扱所（以下「亜鉛末工場」という。）において、機器の異常損耗によって生じた粉じん爆発事故である。また、作業員4名が負傷したほか、禁水性物質である多量の亜鉛末により消火活動が困難を極め、発災から鎮火まで長期間を要する事態となったものである。

2 事故事例

(1) 工場概要

亜鉛末工場では、金属亜鉛を熔融して、亜鉛蒸気を発生させ、窒素ガス雰囲気中で冷却、凝縮及び分級工程を経て、亜鉛末の各製品を製造している。

なお、ここで製造される亜鉛末は、当初危険物第2類の金属粉として規制を受けていたため、施設は「製造所」としての許可を受けていたが、昭和63年の法律改正により粒子の大きさで危険物の範囲が見直され、当該亜鉛末は危険物保安技術協会の確認を経て危険物から除外された。これに伴い施設は危険物を製造しないバーナー炉用の燃料として第4類第3石油類の重油を扱う、いわゆる「みなし一般取扱所」として区分変更された経緯がある。

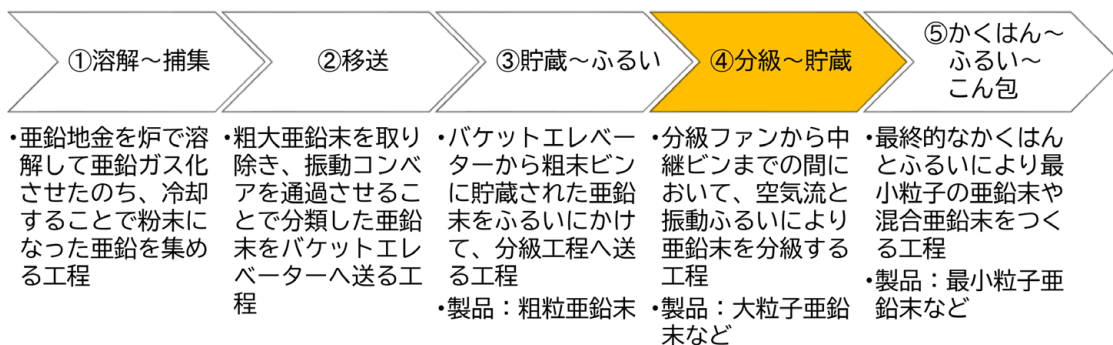
(2) 危険物施設概要

施設名称	亜鉛末工場
施設区分	一般取扱所（炉用バーナー燃料）
設置許可	昭和48年6月
完成検査	昭和49年1月
許可品名	第4類第2石油類 重油 6,500L 3.25倍
その他	亜鉛末50t貯蔵（非危険物）

(3) 亜鉛末製造工程

次のとおり、工程は第1工程から第5工程までの5つに区分される。第3工程以降において、粒径又は純度に分けられた製品が製造される。

今回事故が発生したのは分級工程である。



(4) 分級工程

粗末ビンから移送されてきた亜鉛末を、分級ファンにより分級機セパレーターに飛ばす。そこからマルチサイクロンに飛ばされた微粉は、空気と亜鉛末に分けられ、空気は配管を通り分級ファンへ戻り、亜鉛末は中継ビンへ貯蔵される。

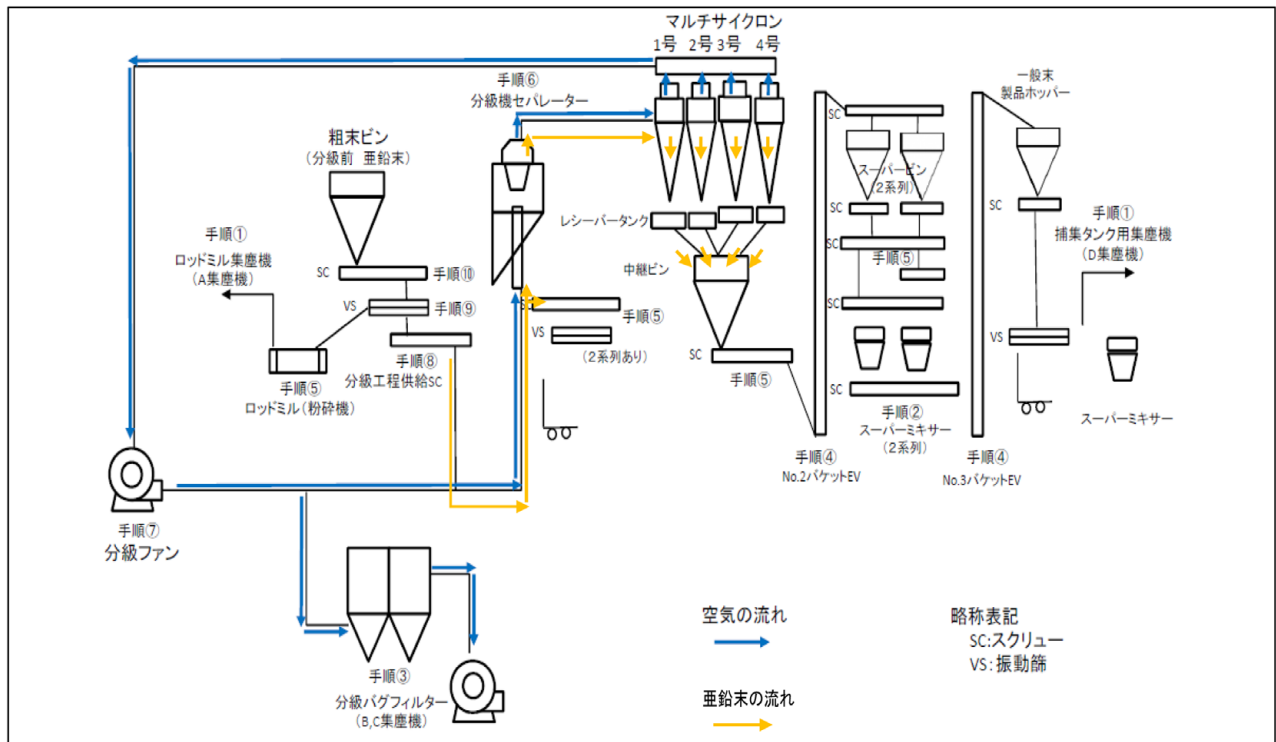


図1 分級工程における亜鉛末と空気の流れ

(5) 亜鉛末の特性

ア 外観は灰色粉末、密度は7.14g/cm³、酸や濃アルカリ、水に触れると水素を発生させる化学的性質を持っている。粒子表面は薄く酸化亜鉛の被膜層で覆われており常温の空気中では安定しているが、加熱すると青緑色の炎で燃えて酸化亜鉛となる。化学式はZn、自然発火点は460℃である。

イ 適切な消火剤として、「金属火災用消火剤及び乾燥砂」を使用しなければならない。また、不適切な消火方法として「水と反応して水素ガスを発生するため注水は避けること。ハロン、泡及び二酸化炭素等の消火剤は、激しく反応するため避けること。」とされている。

(6) 事故概要

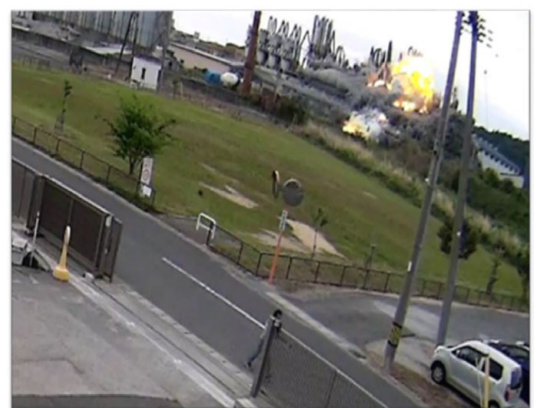
ア 発生状況

令和3年5月11日(火) 7時42分

機械起動作業に当たっていた作業員が、亜鉛末工場中央にある配電盤のセパレーター及び分級ファンの起動スイッチを入れ稼働させたところ、分級ファンからの異音を確認した。その後、すぐに分級ファンの上部が光り爆発音とともに一瞬にして黒い煙が場内に広がった。

イ 被害状況

- ・ 人的被害
従業員4名負傷（重症1名、中等症2名、軽症1名）
- ・ 物的被害
亜鉛末工場1棟全焼
隣接事業所倉庫1棟破損（外壁、屋根及び窓ガラス）
河川の法面焼損（下草7a）



事故発生の瞬間



亜鉛末工場の焼損状況



分級工程機器損傷状況(全体)



マルチサイクロン上部の損傷状況



マルチサイクロン、セパレーターの損傷状況

(7) 行政措置

「製造所において爆発火災が発生し、施設の使用が極めて危険な状態であると認められるもの」として、5月11日8時43分に、亜鉛末工場に対して消防法第12条の3第1項による緊急使用停止命令を発した。

また、安全面に十分な配慮を講じたうえで、屋外タンク貯蔵所から亜鉛末工場につながる送油の停止を求めて、配管内の重油を抜き取らせるなど、延焼拡大危険の排除に努めた。

3 禁水性物質の消火活動

(1) 火災鎮圧後

5月11日11時46分に火災鎮圧となったが、依然として亜鉛末工場内にある亜鉛末の堆積物が燃焼している状況であった。

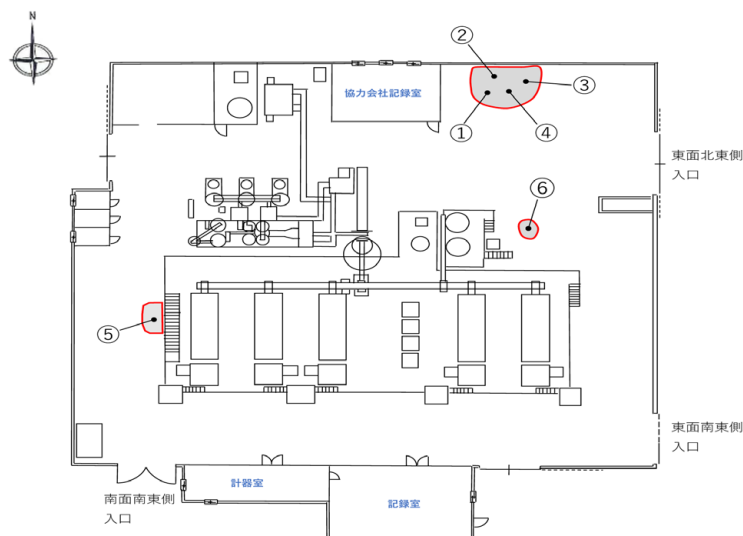


図2 堆積亜鉛末の状況

(2) 堆積亜鉛末の対応

当初、燃焼を続ける亜鉛末の対応として、屋外へ搬出し、酸素と触れさせて酸化亜鉛として消火する方法を選択していたが、亜鉛末の山は慎重に掘削しないと火柱が上がるうえ、時間経過により亜鉛末の固形化が進んだことで搬出が困難となった。

その後、消防庁消防大学校消防研究センターからの技術支援により、乾燥砂を用いた窒息消火による温度低下を待つ方法に変更した。

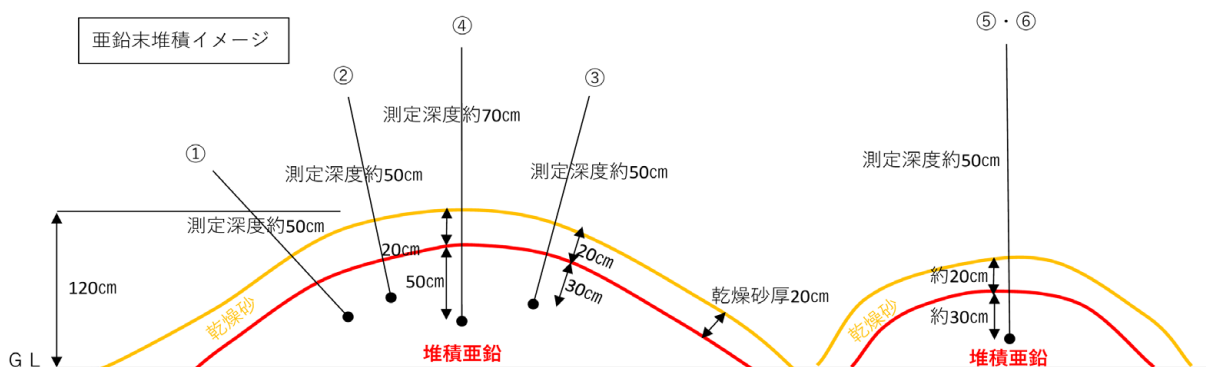
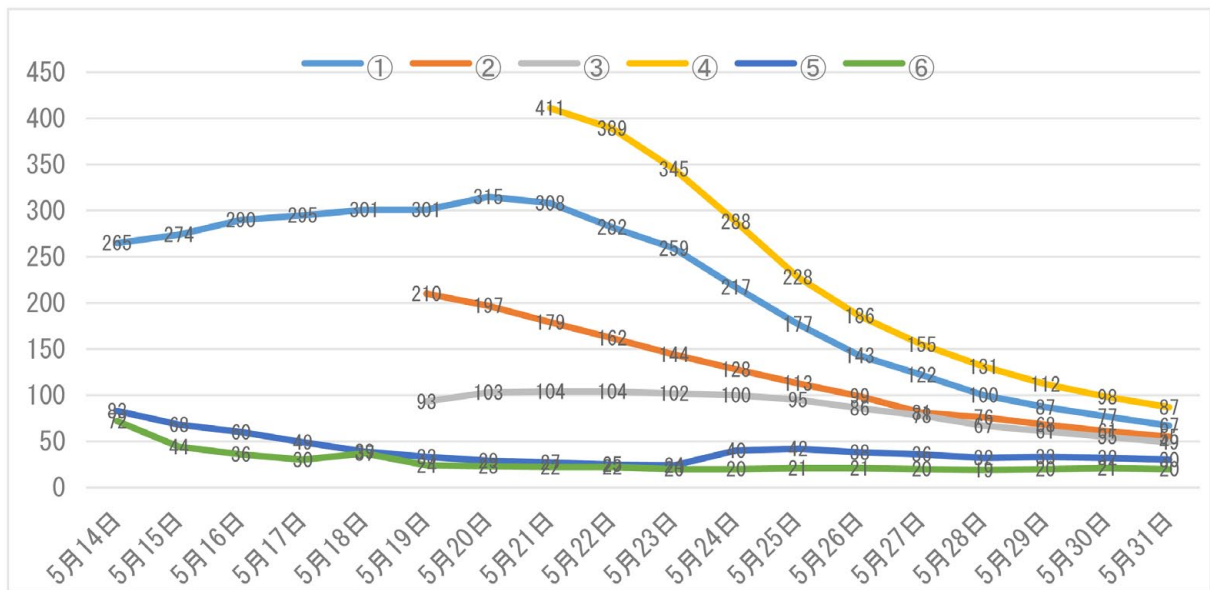


堆積亜鉛末の温度測定

(3) 堆積亜鉛末の温度推移

5月14日に堆積箇所ごと1地点の亜鉛末深部温度計測を開始した。以降、最も高温かつ堆積量が多い北側の堆積箇所を重点的に計測するため観測地点を増やし、最終的には6地点で計測している。最高温度で推移した④地点は北側の堆積亜鉛末で、測定箇所は堆積の山のほぼ中央に位置する部分である。

全計測地点で100℃を下回った日の翌日、5月31日に堆積亜鉛末を重機等がかくはんしたところ、再燃及び温度上昇が認められなかったことから、同日10時43分に鎮火が宣言された。



※②③地点の測定は5月19日から実施
 ※④地点の測定は5月21日から実施

図3 堆積亜鉛末の温度推移と亜鉛末堆積イメージ

4 火災原因調査

(1) 爆発現象の考察

分級工程設備の損壊が著しく、関係者の供述からも設備内部で何らかの爆発現象が発生したことは、当初から妥当な見方とされていた。一方「何らか」の部分については、分級工程に圧力を加える工程は存在しないため、圧力上昇による物理的爆発が発生した可能性は低いものとされ、内部に存在する可燃性の亜鉛末が粉じんとなり、粉じん爆発した蓋然性が高いとの推察に至る。

(2) 亜鉛末の爆発性評価

試験サンプルとして、事業所製品で一番粒度の小さい亜鉛末を選定し、爆発性評価を外部機関で実施した。その結果、亜鉛末は粉じん爆発危険性を有するものの、粉じん爆発クラスは最も低く着火には比較的大きなエネルギーが必要であり、爆発下限濃度はおよそ1,000g/m³程度であることが確認された。

(3) 粉じん濃度の考察

分級工程設備のマルチサイクロン4本中1本に閉塞が確認されている。これにより、そこを通過できずに堆積した亜鉛末約710kg（マルチサイクロン容量で試算）が、分級ファンの異常振動などにより設備内を浮遊していた可能性があり、その場合、粉じん濃度は22,300g/m³に及ぶ。元々の分級工程で生じる分を加えれば、設備内の亜鉛末は、爆発下限濃度を十分に超える濃度であったことが推察される。

(4) 粉じん爆発の条件

粉じん爆発の発生には、「可燃性粉じんの有無」、「酸素」、「発火源」、「粉じん濃度に影響する閉空間」及び「分散」が揃うことが条件となるが、調査の結果、分級工程においては、発火源さえ存在すれば、粉じん爆発が発生する可能性が高い環境であったことが判明した。

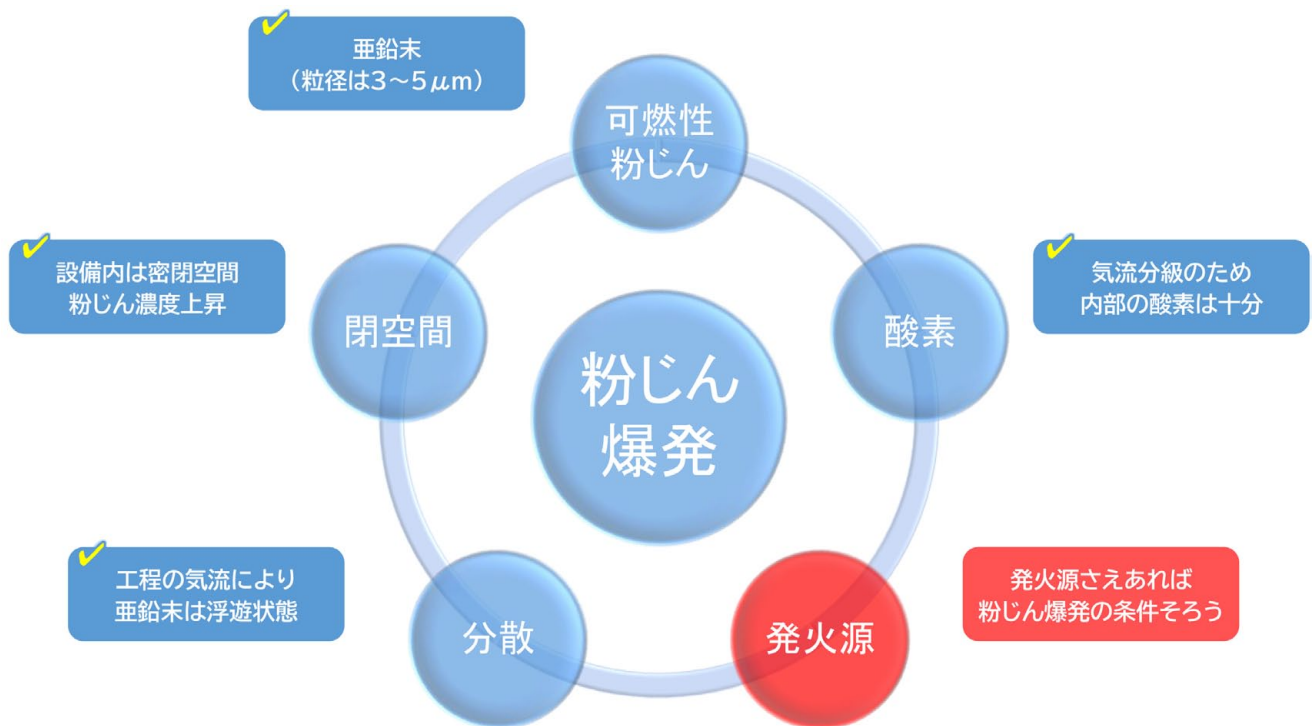


図4 粉じん爆発の条件考察

(5) 発火源の考察

発火源については、「亜鉛末の自然発火」、「亜鉛末の静電気放電」、「羽根と亜鉛スケール（機器等に付着することで生成される亜鉛末の塊）の衝突火花」、そして「分級ファンシャフトとケーシングの接触による火花」が原因の候補として挙げられ、調査を進めていく中で、分級ファンのシャフトとケーシングの接触による火花が粉じん爆発の発火源とされる証拠が積み上がっていった。



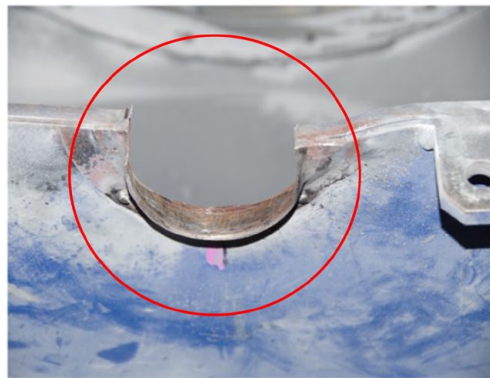
分級ファン (全体)



分級ファンシャフト



分級ファンシャフト貫通部



シャフトとケーシングの接触痕

(6) 偏芯の原因

分級ファンのシャフトがケーシングと接触するに至った原因は、分級ファンの羽根に比較的均等に付着していた亜鉛スケールの一部が剥離することで回転が乱れて異常振動が生じ、これにより分級ファンのシャフトを固定するベアリングボックスが破断して、シャフトが偏芯したものと考えられた。



ベアリングボックス破断状況



分級ファンから剥離した亜鉛スケール

(7) 事故発生プロセス

- ① 分級工程内に粉じん爆発下限濃度以上となる亜鉛末が堆積していた。
- ② 分級ファンの羽根に付着した亜鉛スケールが一部剥離することで、分級ファンの回転に伴い異常振動が発生した。振動によって浮かされた亜鉛末が空気流に乗って工程内に広がる。
- ③ 浮遊亜鉛末により、粉じん濃度が上昇する。分級ファンシャフトとケーシングが接触し火花が発生する。亜鉛末の粉じんに着火し、粉じん爆発が発生する。
- ④ 粉じん爆発の火炎が分級工程内で伝播する。
- ⑤ 分級機セパレーター、マルチサイクロン及び集じん機で再び粉じん爆発が発生し、破損した設備から、燃烧した亜鉛末が噴出し、付近の可燃物に着火し延焼する。

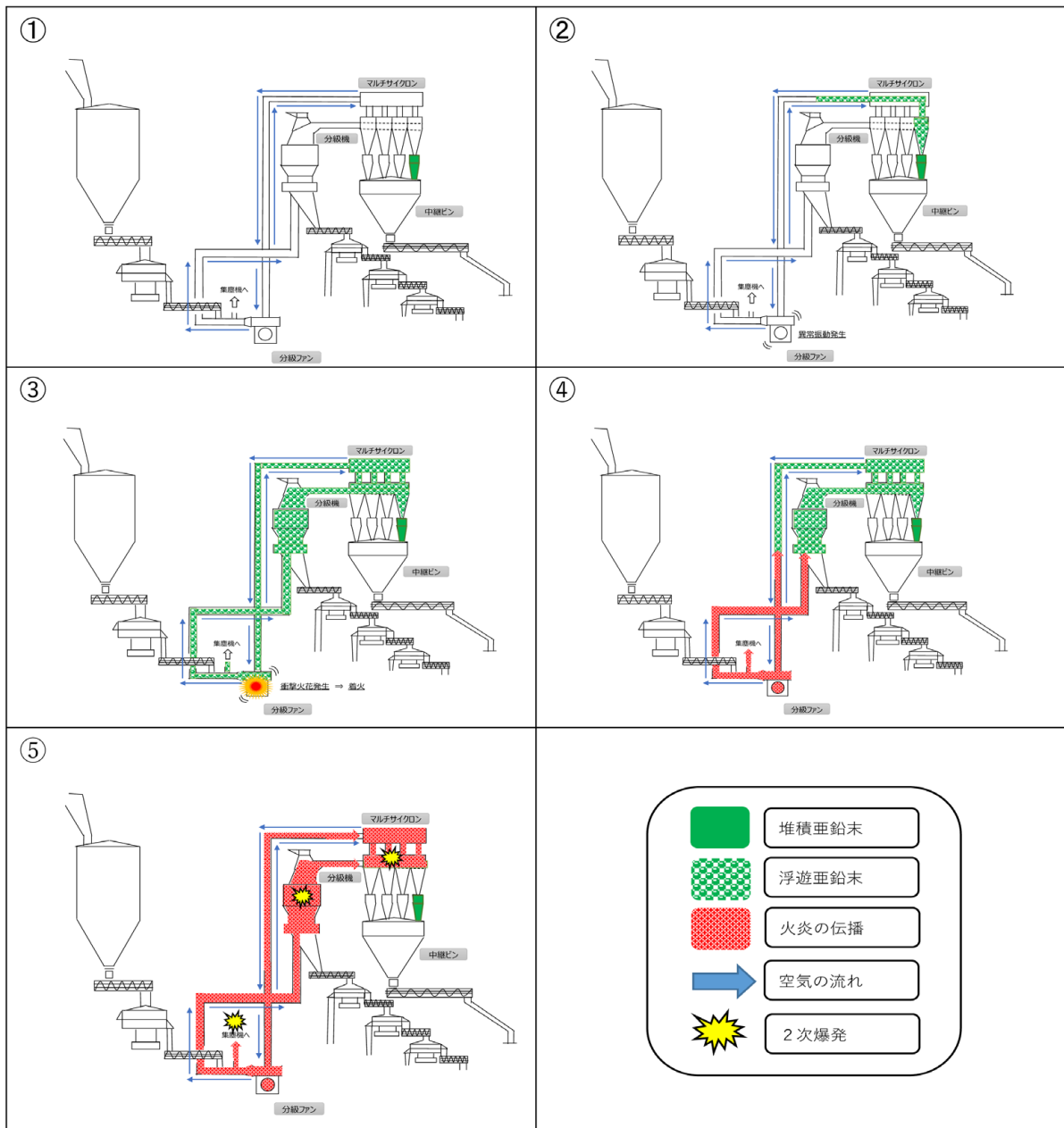


図5 粉じん爆発事故発生プロセス

5 再発防止対策

(1) 人に対する再発防止対策

- ・ 毎年事故発生日に、安全に関する通達をする。
- ・ 事業所及び協力会社に対する安全特別教育を実施する。
- ・ ヒヤリハット報告活動を強化する。

(2) 設備に対する再発防止対策

- ・ 分級ファンに異常振動センサーを設置する。
- ・ 亜鉛スケールの定期除去を年2回→年4回に変更する。
- ・ 設備に詰まり等の不具合が発生した場合には、除去するまで運転を停止する。

(3) 維持管理に対する再発防止対策

- ・ 詳細なマニュアルを作成して周知徹底する。
- ・ 設備の日常・定期点検及び製品の取り扱いに関する注意事項を遵守させる。
- ・ 協力会社に対して安全及び設備に対する定期監査を実施する。

6 おわりに

消防法において、亜鉛の有機化合物は、自然発火性物質及び禁水性物質として第3類危険物に、また亜鉛の金属粉は第2類危険物として指定されている。しかし、前述のとおり今回の事故の要因となった亜鉛末は、法令上の危険物に指定されていないどころか、指定可燃物にも該当しない物質であった。規制がなければ、事業所が行う安全対策の優先順位は下げられる。その結果、日々繰り返される作業の中で物質に対する防火意識が次第に薄れていき、今回の事故は起こるべくして起きた事故だったのかもしれない。

一方、総務省消防庁では、火災危険性のある物質等に関する調査検討が毎年行われているが、無数に物質が存在するため、単に物質の危険性のみで評価するのではなく、市場の流通量なども検討条件に加え、過剰な規制にならないよう配慮しながら進められている。世の中に出回る危険な物質を全て把握して統制を続けることは現実的に不可能だからだ。

そのような危険な物質が潜在する中で、消防活動の現場ではそれを迅速かつ的確に見抜き、負傷者を出さず、かつ延焼拡大を防ぎながら消火活動を行うことが求められている。また、平時にはいかにして有効な防火管理指導の体制を整えられるかが、消防サイドの当面の課題である。

ありきたりかもしれないが、平時から消防と事業所は積極的な情報共有を図っていく必要がある。そして、保有する物質等に対する危険性の認識と必要に応じた知識の研さんに努め、それを継続していくことが、防火・減災に向けた確実な一歩につながるのだと思う。

今回の事案を通じて、保安体制の確立や類似事故の防止に少しでも役立てば幸いである。