

災害調査報告書
清掃工場における爆発災害
(要約版)

労働安全衛生総合研究所

概要

廃棄物の焼却灰は、水と接触すると水酸化物イオンを生成してアルカリ傾向を示すことがある[1]。また、金属状態のアルミニウムは、アルカリ性の水と反応すると水素ガスを発生する。したがって、焼却灰に金属状態のアルミニウムが含まれていると、水と接触したときに水素ガスが発生することがある。このときに発生した水素ガスが焼却灰の排出口や運搬設備等に留まり、爆発事故に至った事例も報告されている[1]。本報告も類似の災害事例で、清掃工場において焼却灰のコンベヤー搬送中に発生した爆発災害である。ここでは、可燃性雰囲気形成と、着火源および再発防止対策について述べる。本災害では、可燃性雰囲気が形成される焼却灰の搬送作業と同時に実施していたアーク溶接作業が着火源となった可能性がきわめて高いと推定された。ゴミ焼却運転中に溶接作業などを同時に行ったときの着火可能性のリスクアセスメントなど、安全管理が十分に実施されていれば防止できた可能性が高い災害であった。

1 災害の概要

清掃工場のゴミ焼却設備において、焼却灰のコンベヤー搬送中に爆発が発生し、作業員2名が被災した（1名は火傷、他は目に異物混入）。

2 ゴミ焼却設備 主灰処理バイパスラインの概要

爆発が発生した設備はゴミ焼却設備(図1)の一部のNo.2主灰バイパスコンベヤー周辺である。この部分は、焼却灰を灰押出機で水に浸した後にコンベヤーで搬送するバイパスのラインである。この焼却灰を搬送するバイパスラインの経路は、主灰出しゲート→No.1主灰出しコンベヤー→No.1主灰バイパスコンベヤー→灰押出機→No.2主灰バイパスコンベヤー→No.3主灰バイパスコンベヤー→灰ピットである。焼却灰は無人で自動に搬送される。当日の処理量は0.6t/hであった。

焼却灰は主灰出しゲートから30m落下(直径2mの管)して、No.1主灰出しコンベヤーに到達する。灰押出機までに到達する時間は、No.1主灰出しコンベヤーとNo.1主灰バイパスコンベヤーの長さが約26mであるので約17分かかる(両コンベヤーの速度は1.5m/min)。

なお、主灰出しゲートからの焼却灰の温度は100℃以下である。

2.1 灰押出機

No.1主灰バイパスコンベヤーから搬送された焼却灰(温度は100℃以下)は、灰の飛散防止のため灰押出機(図2)で一旦水に浸かる。灰押出機の底部に水が常にあり、ここに焼却灰が落ちる。油圧シリンダーの押し出し(ストローク600mmを20秒程度で動く)により焼却灰が水に浸かりながらNo.2主灰バイパスコンベヤーへと搬送される。灰押出機後の灰の目標水含有率は30%であるが、焼却灰の中心まで水に濡れないことがある。

灰押出機の換気は上部に設けられた排気口からの自然換気である。可燃性ガスが空気よりも軽い場合に有効であるが、排気口の上部の配管が比較的に狭いため、可燃性ガスの発生が多い場合は十分な換気ができないおそれがある。なお、この排気以外に灰押出機自体の上記点検口が開放可能である。

2.2 No.2主灰バイパスコンベヤー

このコンベヤーは発災日の4日前に更新され、3日前から連続で運転されていた。コンベヤーの構造(図3)は断面が高さ0.97m、幅1.2mの長方形で長さが約20mの直方体で、水平方向に17.8m、垂直方向に8.65m(地下2階から地下1階へ向けて)上るように取り付けられている。また、灰の飛散防止のため、全面鋼板で覆われている。コンベヤー入口部(下部)は広がっており、比較的に広い空間がある。この部分で、コンベヤーの横から灰押出機に鋼板で覆われて結合されている。灰押出機との結合部の反対側(上部)には、点検口として高さ1.25m、幅1.5mの開口部に観音開きのドアが取り付けられている。

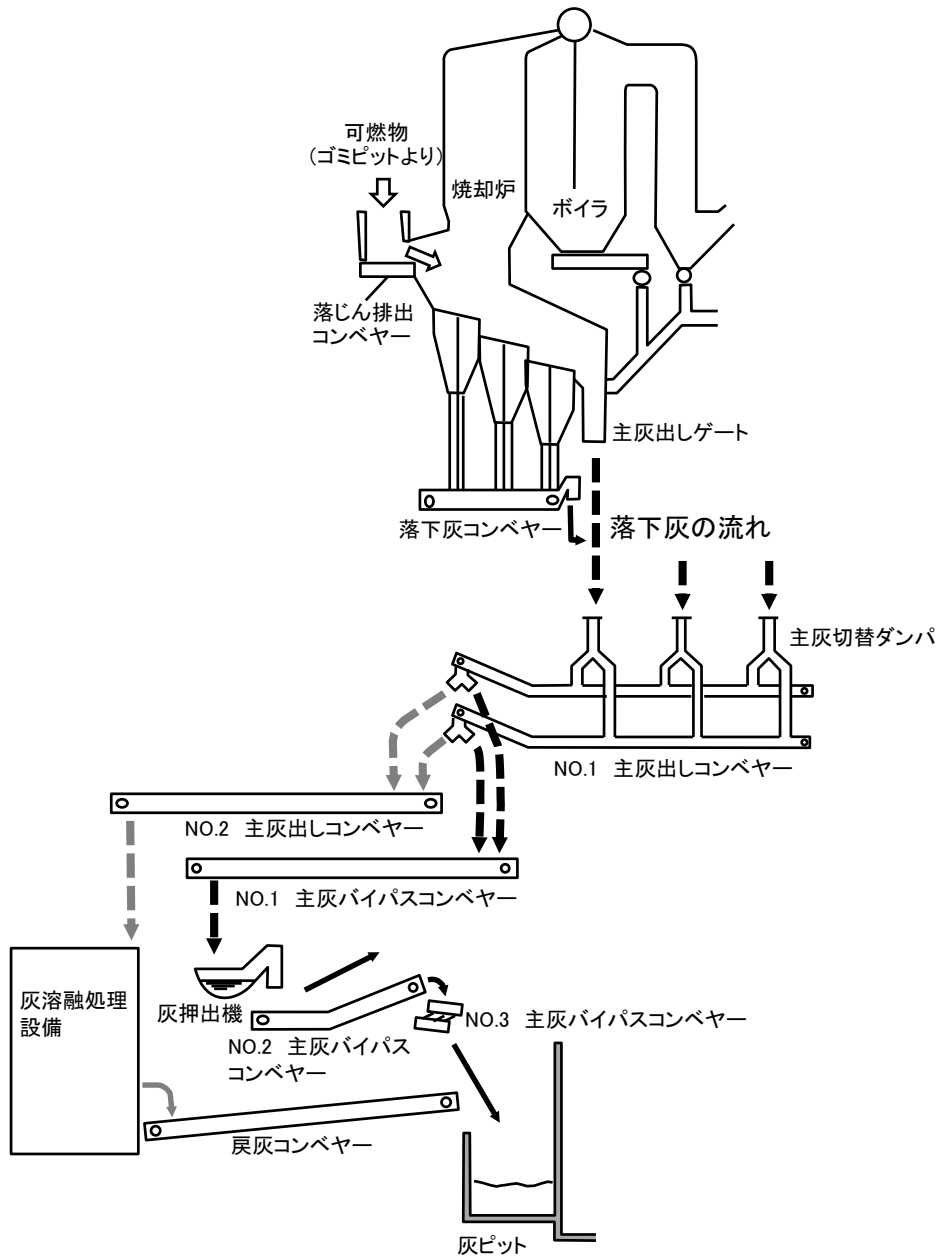


図1 ゴミ焼却設備の構成 (抜粋)

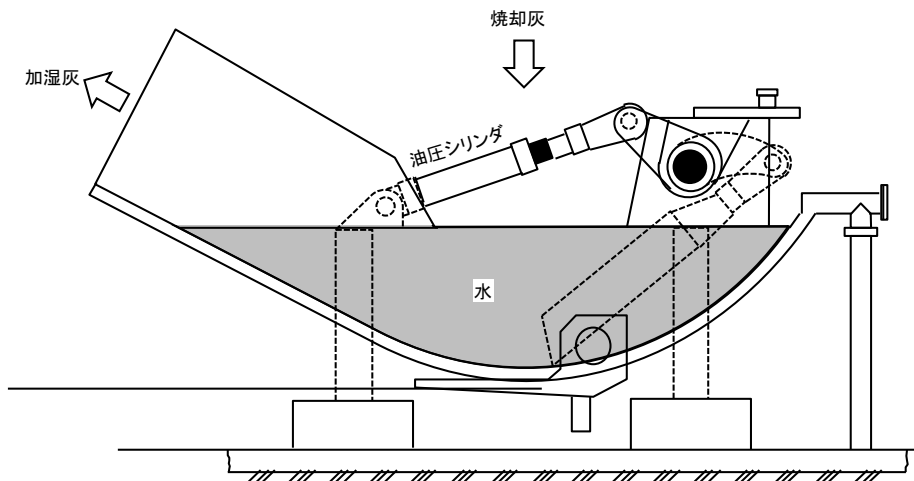


図2 灰押出機

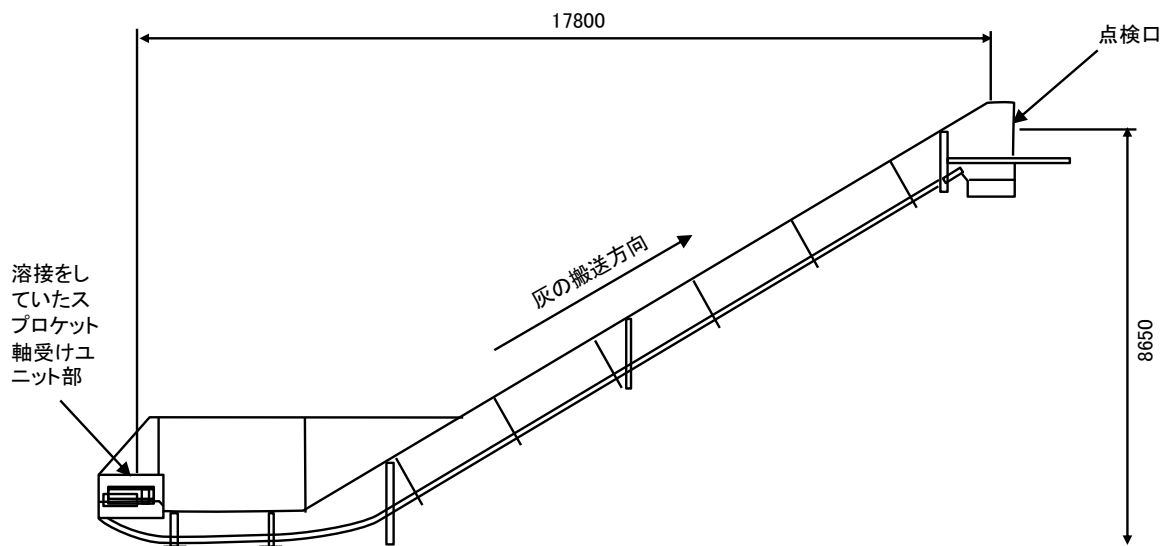


図3 No.2主灰バイパスコンベヤー

焼却灰は 1.2m 間隔にチェーンに取り付けられたスクレーパー（へら状の板：幅 951mm, 高さ 200mm）により搬送される。スクレーパーとコンベヤー底部との間には 8mm のクリアランスがある。チェーンおよびスクレーパーの材料は SS400（一般構造用圧延鋼材）である。チェーンはインダクションモータ（2.2kW×4P φ3 400V/50Hz, トルクリミッタ付）によって 1.5m/min の速度で駆動され、その上下動はレール（材料 S50C）で抑制される。

このコンベヤーにおける換気は、コンベヤー上部横壁の配管からの自然換気である。この喚起方法は可燃性ガスが空気よりも重い場合や、可燃性ガスの発生が多い場合は十分な換気ができないおそれがある。なお、排気用の配管が梁により下方に向かう部分があるため、排気が十分でなく、可燃性ガスが滞留しやすい構造となっている。

2.3 その他

電灯、スイッチ類およびモータなどすべて非防爆のものが使用されていた。可燃性雰囲気となるのは鋼板で覆われたコンベヤー等の内側であり、これらの電気機器等はコンベヤー等の外側にあることから、通常の工程で電気設備がある場所が危険場所となることは考えにくく、非防爆機器の使用は妥当である。

3 災害発生状況の調査

3.1 災害発生状況の概要

爆発は、灰押出機で水に浸かった焼却灰を No.2 主灰バイパスコンベヤーで搬送中に発生した。爆発によりこのコンベヤーのチェーンがレールから外れて、チェーン駆動用モータが過負荷リミッタにより止まり、このモータが停止したことにより自動的に灰押出機も停止した。

災害発生時にこのコンベヤー近隣のキレート¹タンク室（地下 2 階）では 2 名の作業員（被災者）がエアチャンバー液抜作業²を行っており、この他に 2 名の作業員が当該コンベヤーの回転部（図 3 のスプロケット軸受けユニット部）のグリース給脂用配管の溶接作業を行っていた（被災なし）。

3.2 被害状況

3.2.1 灰押出器

爆発による灰押出機の損傷はコンベヤーとの結合部も含めてほとんどなかった。排気口が上部にあり、上部 2 つの点検口も開放³であったことと焼却灰がコンベヤーとの接合部内の上部付近までであったことから、爆発の影響が緩和されたと考えられる。また、点検口が開放された押出機内は可燃

¹ 飛灰の重金属固定処理方法であり、キレート剤による薬剤処理により飛灰の無害化を図る。

² 飛灰用の作業で本件との関連作業ではない。定常作業であり、作業内容から着火源となったとは考えにくい。

性雰囲気形成されないと考えられることから、灰押出機内では爆発は発生していなかったと推定された。

3.2.2 No.2 主灰バイパスコンベヤー

No.2 主灰バイパスコンベヤーの破損状況の写真を図4に示す。爆発による破損はこのコンベヤーにおいて激しく、この爆発で12mmのボルトとナットにより固定された上部鋼板が剥がれ、コンベヤー内部がむきだしの状態となった。コンベヤーの最上部では、上部鋼板のほか点検口蓋も吹き飛んでおり、損傷が最も大きかったことからコンベヤー内の上方に多くの空気より軽い可燃性ガスが滞留・充満していたと推定された。また、最下部にあるコンベヤー点検口のドアが曲がった状態で開放されていた。

3.2.3 周辺

微粉状の灰が周辺に飛散して、床や設備上部等が灰に覆われた状態となっていた。爆風により、30m以上離れたエレベータのドア下部がレールから外れた状態となっていた。

4 災害原因の調査

4.1 爆発性雰囲気の形成と爆発

4.1.1 粉じん爆発の可能性

焼却灰はすでに燃えかす（酸化物）であるので、燃えることはなく、また、焼却灰中に残留した未燃物は比較的に大きいものである。さらに、焼却灰は灰押出機で水に浸されるため、爆発性粉じん雰囲気の形成自体が困難である。したがって、粉じん爆発が災害原因となった可能性は極めて低い。

4.1.2 水蒸気爆発の可能性

本災害では、液体が沸点以上になると考えられるのは灰押出機での水と熱灰の接触しかない。したがって、水蒸気爆発が発生したとすると灰押出機内で発生したことになるが、その可能性は極めて低い。理由は以下のとおりである。

(1) 平衡破綻型の水蒸気爆発の可能性

平衡破綻型の水蒸気爆発 (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion: BLEVE) は沸点以上の高温、高圧状態の液体への加圧が何らかの原因で破れ、急激に減圧することにより液体が突沸、爆発に至る現象である。本災害では高圧に封じ込める部分がないので、BLEVEは発生しない。

(2) その他の水蒸気爆発の可能性 1

高温物接触型の水蒸気爆発の一つは、高温物の内部に液体が浸入することによって発生する。これは、溶鉱炉内への水の漏洩や、充填物が入ったままの缶の焼却処理の際などに発生する。今回は、密閉された缶などが破裂せずに焼却炉の下流にある灰押出機まで到達する可能性は低く、密閉状態の液体も確認されていない。このため、本災害では密閉された液体による水蒸気爆発の可能性は低い。

(3) その他の水蒸気爆発の可能性 2

高温物接触型の水蒸気爆発は、液体内に高温物が混入した後、高温物が微細化することによって発生することもある。特定の条件下で熔融金属などが急に水没し、衝撃で熔融金属が水中で粉々に粉砕された場合などに発生する。一般には高温物と液体が接触しても、気化した液体が接触を妨げるため、開放状態では水蒸気爆発とはならない。本災害では、大きな塊となった灰が水に投入されたことにより、この型の水蒸気爆発が発生する可能性は否定できない。しかし、調査の結果、灰押出機内の水には大量の灰が混入していて粘稠であり、塊状の灰も確認されなかった。このため塊となった灰が急激に水没することは難しく、液中で高温物が微細化することによって発生する水蒸気爆発の可能性は低い。

³ 灰押出機の上部の2つの点検口は3ヶ月前から開放されており、換気が十分になされていたと考えられる。



図4 No.2主灰バイパスコンベヤーの破損状況 (a, b, c: コンベヤー下部, d, e: コンベヤー中部, f: コンベヤー上部)

4.1.3 水素爆発の可能性

爆発が発生した No.2 主灰バイパスコンベヤー近傍で、可燃物や可燃性ガスを使用した形跡が無かった。そのため、爆発性雰囲気形成されたとすると、化学反応により可燃性物質が生成されたか、別の装置から流入したかのどちらか若しくは両方と考えられる。本災害では、金属屑のアルミニウムと水の反応で生成した水素を主体とする可燃性混合ガスにより爆発性雰囲気が形成されたと推定される。理由は下記の通りである。

(1) 水素の生成

鉄、アルミニウムなどの金属は酸と反応して水素を発生する⁴。また、アルミニウムなどの両性元素はアルカリ環境下でも水と反応し水素を発生する⁵。特に焼却灰水和物は一般にアルカリ性を示すことが知られており焼却灰に燃え残りのアルミニウム塊が残存していれば水素が発生する環境であった。さらに、近年の研究では、アルミニウムは中性でも適当な力学的エネルギーがあれば、アルカリ環境下と同様に特に水と反応し水素を発生することが分かっている[2]。また、反応によって生成した水酸化アルミニウムなどは、酸性水、強アルカリ性水の両方によく溶ける。酸化鉄は水への溶解性は小さいが、不動態⁶を作りにくい。以上の理由から、化学反応は金属の内部まで進展する。これらの反応は、pH、温度などに依存するが、常温でも1～6時間程度で爆発性雰囲気を形成するとの報告がある[3]。つまり、灰押出機内の水で湿潤した灰が当該コンベヤーで搬送している間に水素が発生した可能性があった。発生した水素は主に上方に拡散するが、灰押出機上部に接続された当該コンベヤーはダイオキシソ類飛散防止のために簡易密閉構造となっており、ガスが逃げにくい構造であったため、発生した水素が溜まったものと考えられる。なお、水素ガスは4～75vol%の広い混合範囲で爆発性雰囲気を形成するため、比較的少量でもガス爆発を引き起こすおそれがある。

(2) 燃焼生成ガス

当該コンベヤーの上流に接続されている焼却炉では、燃焼温度や空気供給量などに依存して、有機物の分解生成ガスである一酸化炭素などが生成することがある。コンベヤー接続部には換気設備が取り付けられているが、搬送途中でのガス濃度計測は行っていないため、十分排気能力があったかどうかは不明である。また、前述のとおり、ガスが逃げにくい構造となっている。当該コンベヤーから集じん機までガスがどのように希釈されるかは明らかではないが、排ガス日報に記載された発災日当日1:00～14:00の集じん機出口排ガス一酸化炭素濃度最大値19ppmから推定すると、一酸化炭素単独で爆発性雰囲気形成した可能性は低い。ただし、前項の水素と混合して、爆発性雰囲気の形成に必要な水素ガス濃度を引き下げた可能性は否定できない。

(3) その他の可燃性ガス

飛灰防止のために焼却炉で用いられるキレート剤の多くは二硫化炭素を発生する[4]。その発生量はppmオーダーであるため、二硫化炭素で爆発性雰囲気形成した可能性は低い。ただし、前項の水素と混合して、爆発性雰囲気の形成に必要な水素ガス濃度を引き下げた可能性は否定できない。

4.2 着火源

4.2.1 静電気放電

焼却灰は灰押出機で水に浸かる上に、処理量が167g/sec(0.6t/h)と多くないことから、焼却灰の帯電は大きくないと想定され、この帯電によって着火性の放電が発生することは難しい。

焼却灰の体積抵抗率は $6.5 \times 10^2 \Omega \cdot m$ (コンベヤー入口部)、 $5.9 \times 10^2 \Omega \cdot m$ (コンベヤー中部)、 $8.9 \times 10^2 \Omega \cdot m$ (コンベヤー出口部)と高導電性であり、焼却灰は接地した導体と接触しているので帯電はしにくいと考えられる。このような焼却灰の低抵抗率は水含有の影響だけでなく、金属粒子が含まれていたためと考えられる。

さらに、当該コンベヤーでの焼却灰の搬送速度は1.5m/minと遅く、また、スクレーパーとコンベヤーケーシング間の抵抗($8.0 \times 10^9 \Omega$)は比較的到低いため、焼却灰は大きく帯電することなく、スクレーパーの静電誘導も無視できる。

当該コンベヤー上にあつたいくつかの大型金属類とコンベヤー間の抵抗は30～60 Ω であり、接地された状態にあつた。コンベヤーはゆっくりと動くので、常時に接地された状態にあると推定でき、これらの金属の静電誘導の可能性もない。

以上のことから静電気放電が着火源となった可能性は極めて低い。

4.2.2 電気火花

前述のとおり、使用している電気機器は非防爆であるので、電気機器内で可燃性雰囲気が形成された場合に限り電気火花が着火源となる可能性は否定できない。当該コンベヤーの周辺の電気機器はコンベヤーを駆動していたインダクションモータ(図5)であるが、設備建屋の規模と換気の度合いから、通常の工程で電気機器や照明、スイッチ周辺が可燃性雰囲気となることは考えにくい。したがって、電気火花が着火源となった可能性は極めて低いと推定できる。

⁴ $M + nHX \rightarrow MX_n + 0.5H_2 \uparrow$ (M:金属, X:酸の陰イオン)

⁵ $M + nH_2O \rightarrow M(OH)_n + 0.5H_2 \uparrow$ (M:両性元素)

⁶不動態とは、反応生成物が固体表面に膜を生成し、反応を阻害している状態をいう



図5 コンベヤー上部に設置されたチェーン駆動用インダクションモータ

4.2.3 衝撃火花・摩擦熱

金属同士の衝撃火花・摩擦熱による着火現象は、アルミニウムまたはマグネシウムを含む軽合金製品と酸化鉄の組み合わせで起こる。これらの金属の両物体の衝撃面の突起に、衝突の運動エネルギーが集中して熱エネルギーに変わり、テルミット反応⁷が起きて酸化鉄の酸素を取り、軽金属が酸化物となる。このとき激しい発熱を伴う。衝撃によってアルミニウムやマグネシウムの軽金属の一部は小片となり、テルミット反応によって高温となった金属粒子が飛散して可燃性ガスを着火させる[4]。

当該コンベヤー上の焼却灰には比較的にな大きな金属物が含まれていたが、この大型金属類（図6）はスチール製のものが主であった。ほかには飲料缶があった。焼却されたものであるので、酸化物と考えられ、また、コンベヤーケーシングはSS400（一般構造用圧延鋼材）である。さらに、コンベヤーの搬送速度1.5m/minはゆっくりとしている。以上のことからテルミット反応を起こすのは難しいものと考えられる。したがって、これらの金属とコンベヤー下部のケーシングとの衝撃火花の発生は極めて困難であり、また、摩擦熱も着火させるほど大きくないと推定できる。



図6 コンベヤー上にあった大型金属類

⁷ $F_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe + 188kcal$, $F_2O_3 + 3Mg \rightarrow 3MgO + 2Fe + 235kcal$

金属同士の衝撃火花・摩擦熱が着火源となった可能性は極めて低い。

4.2.4 高温表面

清掃工場で発生した爆発災害の着火源として挙げられてきたクリンカー⁸は、今回は発生していなかった。焼却灰の温度は100℃以下であり、さらに、灰押出機で水に浸かっていたため、くすぶりの残存可能性があるとしても、焼却灰から発生しうる水素や硫化水素等のガスの発火温度(水素:500℃, 硫化水素:260℃[6])を超えることはない。したがって、下記に示す溶接に関する高温表面以外に、高温表面が着火源となった可能性は極めて低いと考えられる。

4.2.5 溶接作業

アーク溶接作業を焼却灰搬送と同時に実施していたことが調査により判明した。発災時に実施していた溶接作業は、コンベヤー下部にあるスプロケット(チェーン歯車)軸受部のユニット(図7b)に給脂用の銅管とこれを接続した給脂口(図7c)を取り付ける作業である。なお、この溶接作業前にコンベヤー下部の水漏れ補修の溶接もしていた。

調査時には、溶接用防護面、溶接棒ホルダーおよび溶接棒がスプロケット軸受部のユニット下の床面に落ちていた(図7d, e)。溶接機本体(図7a)は当該コンベヤーから50m以上離れた地下1階にあるので、溶接棒ホルダーケーブルも長くなっていたが、溶接箇所付近にあるはずのアースクランプ⁹とそのケーブルが発見できない状況であった。監督署による調査では、作業者は灰押出機とコンベヤーの結合部の足部に取り付けたとのことであるが、その付近には見当たらず、溶接棒ホルダーケーブルしか溶接箇所に向かっていたいなかった(図7f)。このことから、アースクランプは溶接箇所とは遠く離れた建屋またはゴミ焼却設備の鉄骨・フレームに取り付けていた可能性も考えられた。

また、溶接機本体は接地すべきであるが、接地されていなかった。

溶接による着火源は以下が想定されるが、今回の爆発ではいずれも有力な着火源と考えられる。

(1) 溶接の高温表面および高温金属粒子(スパッタ)

溶接のためコンベヤーおよび軸受部ユニットの開口部上部カバーボルトの一部が外されていた(図8)ため、溶接の高温部または高温金属粒子(スパッタ)で着火した火炎のコンベヤー内への伝搬(逆火)が容易となる隙間(1mm以下で十分、例えば水素の消炎距離は常温常圧の空气中で0.6mm)がある状態であった。また、ボルトが外れていなくてもスプロケット軸受部のユニットはチェーンの張り調整のためスライドする機構があるため、この程度の隙間は十分にあると考えられる。

(2) 迷走電流による火花放電または高温表面

着火源が迷走電流による火花放電または高温表面であるならば、上記の隙間の存在は不要であり、溶接のアースクランプが被溶接箇所から遠くに取り付けられていた場合が考えられる。例えば、建屋・設備の鉄骨・フレームなどにクランプされていると、このクランプ部の接触不良個所で火花放電を発生する可能性が十分にある。つまり、溶接ホルダーからアースクランプに流れる電流経路で放電を起こすような間隙または高温部となりうる高抵抗部分がコンベヤー内にあり、そこで火花放電が起こった可能性も高いと考えられる。このような事象は事故事例にもあり、ニアミス(ヒヤリ・ハット)は比較的多い。

なお、焼却灰から可燃性ガスが発生する可能性があることが下請の溶接作業者に周知されていなかったことが分かっている。

4.2.6 グライNDERの火花

グラインダーの砥石が溶接箇所と当該コンベヤー横の階段の途中に落ちていた。グラインダーは銅配管と溶接棒の研磨に使用していたことが判明しているが、グラインダー本体は見つかっておらず、研磨作業中であったかは不明である。仮に、焼却灰の搬送作業と同時にグラインダーを使用していたならば、着火源となった可能性は高いと考えられる。

⁸クリンカーとは高熱で溶けたアルミニウムなどの金属に焼却灰が付着したもの。

⁹アースクランプは溶接される金属板に取り付けられるべきものである。



図 7: 溶接作業 ; a: 溶接機, b: スプロケット軸受部ユニット, c: 溶接部の給脂口, d, e: 溶接用道具, f: アースクランプとそのケーブルが見当たらない

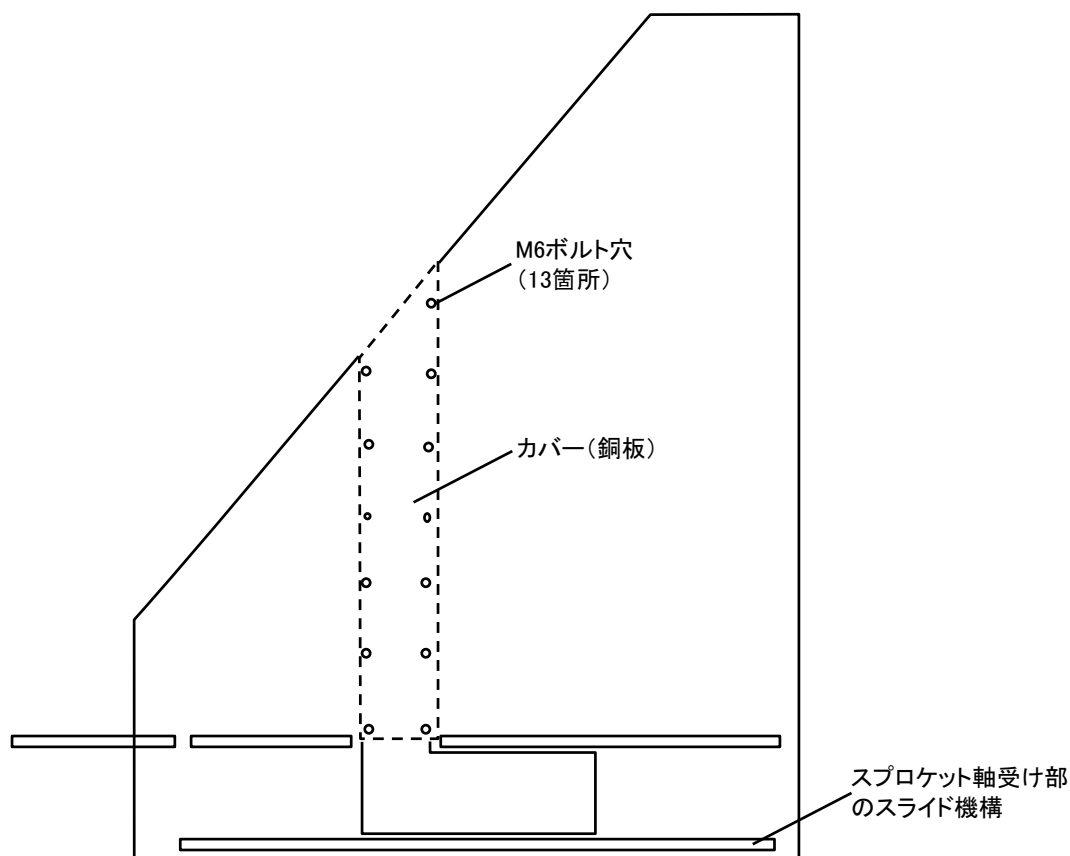


図8 No.2主灰バイパスコンベヤーのスプロケット軸受ユニット部接合開口部

5 災害発生原因のまとめ

5.1 爆発性雰囲気形成 (表1)

搬送中の焼却灰に含まれるアルミニウムなどが水と反応し、灰押出機およびNo.2主灰バイパスコンベヤーで水素ガスが発生した。ただし、灰押出機上部の点検口が開放されていることと上部の排気口があることから、灰押出機では爆発性雰囲気が形成されなかった。一方、当該コンベヤーでは、上部に取り付けられた排気配管が一旦下方に向かう部分がコンベヤーのすぐ近くにあるため、コンベヤー内部に水素が滞留しやすい構造であった。したがって、当該コンベヤー内部で発生した水素が爆発性雰囲気を形成したと推定された。

表1 爆発性雰囲気を形成しうるもの

原因物質		具体例	可能性
大分類	小分類		
可燃性粉じん	有機物	木粉・金属粉など	焼却灰であることから、微粉末の未燃物が残っている可能性は極めて低い。湿潤していることから、粉末が空气中に分散することも難しい。
水蒸気	平衡破綻型	高圧液化タンクの破損など	高圧に耐えうる容器ではないので発生しない。
	液体侵入型	密閉状態の液体容器の加熱など	密閉容器が焼却炉で破裂せずに灰押出機まで到達する可能性は低い。(密閉状態の液体の存在も確認されなかった。)
	高温物侵入型	高温物の水没など	高温物(焼却灰)が灰押出機内の水に投入された可能性はあるが、水が粘稠であるため、急激に水没することは難しい。
可燃性ガス	水との反応	水素	<u>金属と水の反応で生成した可能性がある。</u>

燃焼生成ガス	水素・一酸化炭素など	生成した可能性はあるが、発災日の計測結果から主要因である可能性は低い。
その他	飛灰防止剤など	キレート剤の反応により可燃性ガスを生成する可能性はあるが、生成量が少ないため主要因である可能性は低い。

5.2 着火源（表2）

爆発性雰囲気中において最も可能性の高い着火源はアーク溶接であったと考えられる。溶接の高温表面および高温金属粒子（スパッタ）による火災（溶接箇所である当該コンベヤー下部）、もしくは迷走電流による火花放電または高温表面（当該コンベヤーの内部、正確な場所は不明）が着火に至ったと考えられる。

一方、静電気放電および電気火花が着火源となった可能性は極めて低い。また、金属同士の衝撃火花・摩擦熱および高温表面（焼却灰のクリンカー・くすぶり）も着火源となった可能性は低い。

表2 着火源となりうるもの

原因物質		具体例	可能性
大分類	小分類		
電氣的	静電気	灰の帯電など	処理量が多くないため、帯電は大きくない。接地状態が良いため、電荷が溜まらない。静電誘導する絶縁導体も無い。このため可能性は極めて低い。
	電気火花	非防爆機器など	非防爆機器（モータ、電気機器、照明、スイッチなど）は可燃性雰囲気外であった。このため可能性は極めて低い。
		迷走電流	アーク溶接の溶接箇所とアースクランプが離れていたため、 <u>可能性が高い</u> 。
物理的	衝撃火花・摩擦熱	金属同士の衝突など	灰に大きな金属が含まれていたが、搬送速度が小さいため、可能性は極めて低い。
		グラインダー火花	使用状況は不明。被災当時使用していたなら、可能性が高い。
高温物	焼却炉残留高温物	クリンカーなど	発生が認められなかった。水により十分冷却されていた。
	高温表面	ヒータなど	アーク溶接を行っていたため、溶接箇所は高温になっており、 <u>可能性が高い</u> 。
	溶接飛散物	溶融した溶接棒など	アーク溶接を行っていたため、 <u>可能性が高い</u> 。

6 再発防止対策

爆発防止は可燃性雰囲気の防止または着火源の排除によって可能となる。安全管理体制の構築も必要である。

6.1 可燃性雰囲気の防止

可燃性ガスの発生が不可避である焼却灰処理設備での可燃性雰囲気の防止には、可燃性ガスの排除および酸素の排除が有効である。

6.1.1 可燃性ガスの排除

発生した可燃性ガスや、流入した可燃性ガスが爆発下限界濃度まで溜まらないように強制換気を行う。水素のように空気より軽いガスでは、上方にガスが溜まる部分があると十分換気できないため、換気設備を各装置の最上部に設置する必要がある。可燃性ガス発生および流入速度と装置内のガス流れを考慮に入れ、換気能力が高い換気設備を設置しなければならない。また、可燃性雰囲気が形成されていないことを確認するために、ガス検知器を設置し、ガス濃度の上昇が見られたときには、警報、非常停止などの措置を講じる必要がある。なお、ガス検知器は複数個（上と下など）設置することが望ましい。

6.1.2 酸素の排除

多くの可燃性ガスは酸素濃度が 8~12vol%以下になると燃焼しない。このため、窒素等で装置内の空気を排除することも可燃性雰囲気防止に有効である。空気を排除するために用いるガスには、焼却炉の排気などの低酸素濃度ガスを有効利用しても良い。酸素濃度が十分低いことを確認するためにガス検知器を設置し、酸素濃度の上昇が見られたときには、警報、非常停止などの措置を講じなければならない。なお、低酸素濃度のガスを取り扱う場合は、漏洩により作業者が酸欠になる危険性に対して、作業者が立ち入る箇所にはガス検知器を設置し、酸素濃度の下降が見られたときには、警報、非常換気などの措置を講じなければならない。

6.2 着火源の排除

可燃性雰囲気中の溶接作業は、可燃性雰囲気の形成が予測、認識されていれば禁止されるべきであった。通常の焼却灰搬送作業のみでは着火源はないと考えてよい。このような場合は予期せぬ着火源を想定して、可燃性雰囲気の形成を防止することが優先される。クリンカーやくすぶりのリスクが懸念される場合は、クリンカーの選別と焼却灰を十分に水に浸すことによるくすぶりの防止が必要である。リスクアセスメントにより金属同士の衝撃火花・摩擦熱の防止が必要とされるならば、アルミ缶など比較的的大型の未燃軽金属（アルミニウムとマグネシウム）の混在をなくす必要もある。

6.3 安全管理

ゴミ焼却設備運転中に溶接作業を行わせたこと、また、その危険性が作業者に伝達されていなかったことは安全管理に問題があったと言える。再発防止のためには、リスクアセスメントに基づいた安全管理が必要である。きちんと管理された運転および設備のメンテナンスがない限り再発防止は不可能であり、管理者の安全レベルの向上と作業員への安全教育とリスクコミュニケーション（ハザードの周知）の徹底が必要である。

参考文献

- [1] 佐藤昌宏, 焼却灰のセメント固型化と水素ガス発生の影響, 循環・廃棄物のけんきゅう, 2015, 2月号, <http://www-cycle.nies.go.jp/magazine/kenkyu/201502.html>, 2015.
- [2] 八重樫良平ほか, アルミニウム微粒子を用いたメカノ化学反応による水分解, 東京工芸大学工学部紀要, 28, 1, pp. 58-64, 2005.
- [3] 豊福裕邦, ごみ焼却施設の焼却灰と水素ガスの関連性について, 日本環境衛生センター所報, 16, pp. 51-59, 1989.
- [4] 厚生労働省労働基準局安全衛生部化学調査課, 廃棄物焼却施設における飛灰処理薬剤による二硫化炭素の発生について, 平成 14 年 2 月 18 日基安化発第 0218001 号の 2
- [5] 北川徹三, 基本安全工学, 海文堂, 1982
- [6] 労働安全衛生総合研究所技術指針, 静電気安全指針, JNIOOSH-TR-42, 2007.