

# 災害調査報告書

## 廃油リサイクル工場で発生した爆発火災災害

(要約版)

労働安全衛生総合研究所

## 廃油リサイクル工場で発生した爆発・火災災害の概要

### I. 発生状況

廃油処理蒸留施設の2階の遠心分離装置付近から白煙が発生している状況で、隣室で異変に気が付いた作業員が装置の緊急停止、換気を行っていたところ、爆発が発生し、事業場内の2名が死亡、9名が負傷、周辺事業場の14名が負傷したものの。

### II. 調査結果（爆発原因）

70℃よりも引火点が高い廃油（例えば、軽油やガソリン）は事業場のマニュアルによると回収できない品目になっていたが、事業場がマニュアルを守らず蒸留施設にガソリンを廃油として大量に受け入れた。ガソリンを含む廃油混合物の再生処理中、遠心分離装置の隙間から気化した可燃性蒸気が室内に漏えいし、爆発性の混合気を形成していた。そして、異変に気がついて装置停止や換気のために動き回っていた作業員が帯電したことで静電気放電が生じ、周囲に形成していた爆発範囲の混合気に引火して爆発が発生したと推定された。すなわち爆発起因物質はガソリンと軽油の廃油であり、着火源は人体帯電による静電気と推定された。

以上より、引火点の低い廃油を蒸留施設で処理しなければ事故は発生しなかった。

### III. 再発防止策

発災した当該事業場においては、策定したマニュアルを遵守する必要がある。引火点の低い廃油を扱うためには、蒸気が装置外に漏えいした場合の対策、適切な防爆構造電気機械器具を設ける必要がある。

## 目次

1. 本災害の概要 .....	1
2. 施設の概要 .....	1
2.1 蒸留施設の流れ .....	1
(1)工場, 施設の配置 .....	1
(2)蒸留工程のフロー .....	1
2.2 遠心分離装置 .....	3
3. 被害状況と災害発生前後の様子等 .....	3
3.1 被害の様子 .....	3
3.2 経過 .....	4
4. 災害に関与したと考えられるものと事象の抽出 .....	5
5. 測定・検証実験 .....	6
5.1 廃油のガソリン含有量の測定 .....	6
(1)試料 .....	6
(2)測定結果 .....	6
5.2 廃油の引火点の測定 .....	6
(1)試料 .....	6
(2)測定方法 .....	7
(3)測定結果 .....	7
5.3 遠心分離装置内部からの白煙の漏えい確認実験 .....	7
5.4 油の気化実験 .....	7
5.5 床鉄板の表面状況の観察 .....	8
5.6 遠心分離装置, 油清浄機の電気的特性の測定 .....	9
5.7 作業員の着用物および床上物の電気的特性の測定 .....	9
(1)測定方法 .....	9
(2)測定結果 .....	9
5.8 人体帯電実験 .....	9
(1)実験 .....	9
(2)実験結果 .....	11
(3)着火性の判定 .....	11
5.9 体毛の熱的特性の測定 .....	11
6. 考察 .....	12

7. 災害原因の推定 .....	12
7.1 起因物質, 着火箇所と着火源 .....	12
7.2 爆発災害の発生機構と発生過程 .....	13
7.3 証言, 現場の被害状況との整合性 .....	14
7.4 災害に至った間接的原因 .....	14
8. 再発防止対策 .....	14
参考文献 .....	16

## 1. 本災害の概要

- ①災害の型：爆発
- ②起因物質：廃油（ガソリンと軽油）
- ③発災装置：遠心分離装置
- ④人的被害：事業場の死傷者 11 名（うち 2 名死亡），周辺の事業場の負傷者 14 名
- ⑤物的被害：蒸留施設棟（2 階の損壊と 1, 2 階の焼損），汚泥処理棟の一部損壊，圧縮施設の一部損壊，そのほか周辺の飛散物による損壊
- ⑥発生状況：廃油処理蒸留施設の 2 階の遠心分離装置付近から白煙が発生している状態で、隣室で異変に気が付いた作業員が装置の緊急停止，換気を行っていたところ、爆発が発生し、2 名が死亡した。

## 2. 施設の概要

### 2.1 蒸留施設の流れ

#### (1)工場，施設の配置

工場の正門は敷地北東側にあり，奥のほうに廃油を受け入れるキャノピー，そして廃油を溜めるタンクヤード（屋外貯蔵所）がある。爆発があった蒸留施設は施設南東側に位置している。

#### (2)蒸留工程のフロー

蒸留施設のフローの主要部分を図 2-1 に示す。タンクローリーで回収された使用済みのエンジンオイルや重油などの廃油はキャノピーで受け入れ，蒸留工程で 70℃から 95℃に加熱され，水分・スラッジの除去が行われ，精製の後，再生重油として製品化される。スラッジとは一般に油に金属粉や砂などの固体を含む汚泥状をいうが，事業場では固体状のものをそう呼んでいる。このスラッジの除去には遠心分離装置が使用されていた。遠心分離装置は蒸留施設の 2 階機械室に設置してあった。機械室の見取図を図 2-2 に示す。

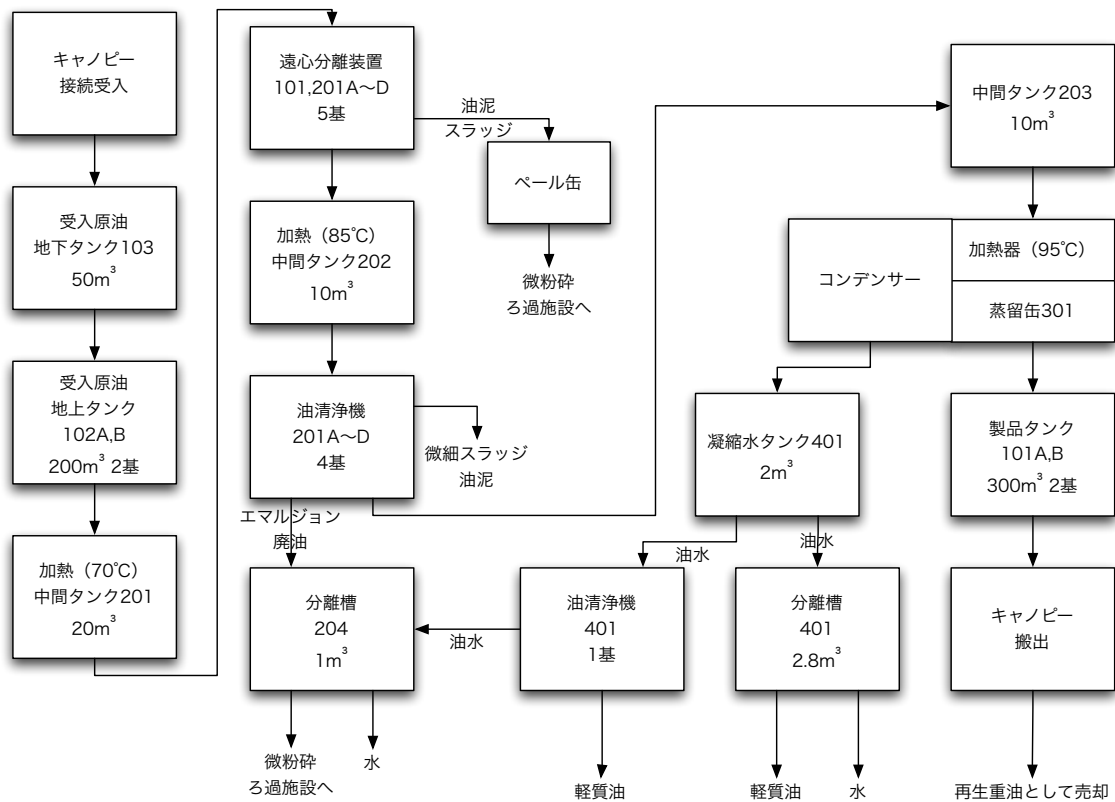


図 2-1 蒸留施設フロー（一部抜粋）

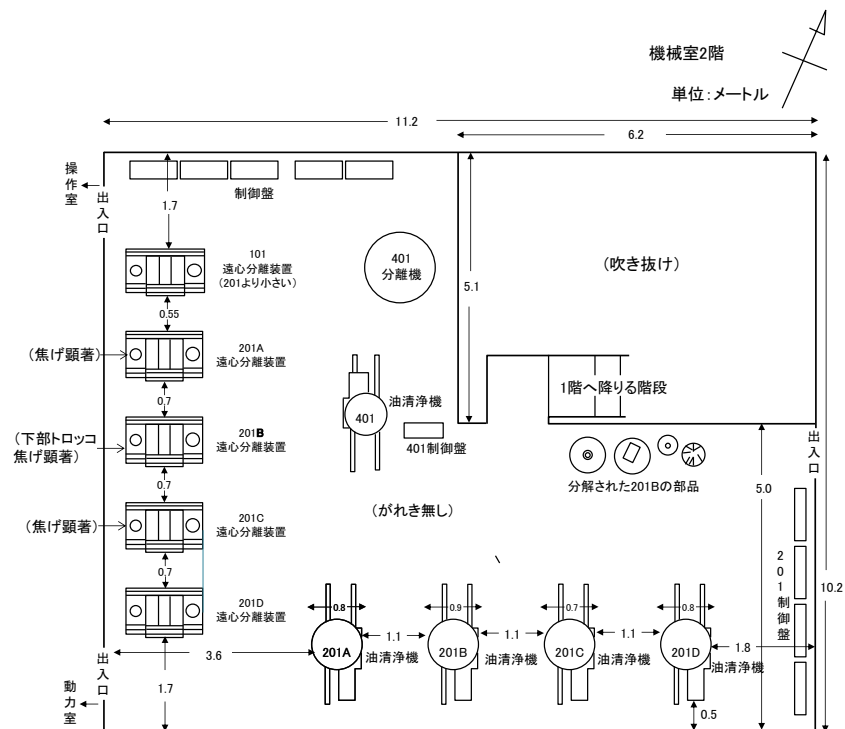


図 2-2 機械室（2階）の見取図（監督署の資料を元に作成）

## 2.2 遠心分離装置

遠心分離により、廃油中に含まれるスラッジを強制的に沈殿させ、液のみを連続的に取り出すことができるものである。一定運転時間ごとに、スラッジは掻き出し羽により開いた下部シャッターを通してトロッコに排出される。当該事業場では4台（機番「201A～201D」）と、やや小型のもの1台（機番「101」）も使われていた。

## 3. 被害状況と爆発前後の様子等

### 3.1 被害の様子

被害状況の写真の一部を写真 3-1, 3-2 に示す。工場の被害状況については、被害が大きかった蒸留施設を主に述べる。

#### ①蒸留施設建物全体

- a) 1 階については、外壁はコンクリート部から外れ、外方向に移動していた。
- b) 2 階については、外壁は、遠心分離装置の背後の壁を除き吹き飛んで、骨組を残してなくなっており、屋根は骨組みを残してなくなっていた。

#### ②蒸留施設（1 階）（図 2-1）

- a) タンク、貯槽類は爆発していなかった。

#### ③蒸留施設（2 階）（図 2-1, 2-2）

（遠心分離装置 101 および 201A～D 本体について）

- a) 101 については、左側面下に焦げ跡があるが、爆発した痕跡は見当たらなかった。
- b) 201A については、ギアボックスのある箇所側板が焼けて開き、ねじの穴は引きちぎられていた。
- c) 201B については、下部の左の側壁が広がっていた。下部は全般に黒く焦げ、板も変形し、激しく燃えた痕跡があった。上部の左側の側板が落ちていた。ただし、ねじの穴は引きちぎられていなかった。上部にあるモーターに消火剤（色はピンク）の散布の跡があった。（写真 3-1）
- d) 201C については、下部の両側の側壁が広がっていた。中ほどで激しく燃えた跡があった。消火剤の散布の跡があった。上部の右側の側板が開いていた。ねじの穴は引きちぎられていた。上部の左側の側板も外れていた。（写真 3-1）
- e) 201D については、下部の側板がやや広がった状態であった。下部のほうに焼けた跡があった。本体背後の上方にも焼け跡があった。（写真 3-1）

（遠心分離装置操作盤について）

- f) 101 および 201A については、トリップはなかった。

(油清浄機本体 (機番 401,201A~D) について)

g) 401 および 201A~D に焼けた跡はなかった。

(その他)

h) メンテナンス中の油清浄機 201B の部品が階段側の床のカーペット, その上に段ボールを敷いた上に置かれていた。



消火剤跡



写真 3-1 遠心分離装置  
(左から機番 201D, 201C, 201B)

写真 3-2 蒸留施設の機械室 (2階) の  
東側壁を北東方向に見たところ

### 3.2 経過

本件災害に至る経過を労働基準監督署が調査した結果の概要 (抜粋) を表 3-1 に示す。

表 3-1 爆発前後の経過 (概要) (フローは図 2-1, 配置は図 2-2 を参照)

月日	経緯
前々日	ガソリンスタンドにガソリン等を配送した際、軽油約 1.3 kL を誤ってハイオクガソリンタンクに入れた。混合した物は販売できないため、既にタンク内にあったハイオクガソリンを含め全量を回収した。さらに、タンク内を洗浄するため、約 620 L のハイオクガソリンを使い、これも回収した。全回収量は 9.9 kL となった。タンクローリーで営業所に運搬した。
前日	営業所にタンクローリーが到着した。
当日	回収車 2 台で廃油を回収した。ただし、 <u>同店は産業廃棄物ではなく、有価物として引き取った。</u> 回収した廃油はキャノピーを通してタンクに受け入れた。 操作室のコントロールで受入原油地下タンク 103, 受入原油地上タンク 102 内の廃油を蒸留工程に入れた。 <u>作業員が非常に鼻をつく異臭を感じたため、1 階の分離槽 204 の様子を見に行くが異常は見られなかった。</u> その後、プラントの運転を停止するため、1 階に行き、蒸留缶 301 のバルブを手動で全開した。(この操作で、廃油が循環して製品タンクに行かなくなる。)



<p>制御室から1階に行く際には機械室を通るが、この時は機械室の床面に白くもやのようなものが漂い、濡れていた様子であった。白いもやのようなものは足首あたりにあった。蒸留缶301のバルブを開けて1階から2階に戻る時、今度は機械室の白いもやはひざ下あたりの高さになっていた。</p> <p>機械室の遠心分離装置に近いところの窓を開け、操作室に戻り、コンピュータを操作し、運転停止を行った。同室の分離槽401のバルブを閉め、同室の油清浄機201A～Dの操作盤で停止した。</p> <p>作業員が油清浄機201Dの近くの窓を開けようとしたところ、窓に手が届く前に爆発した。</p> <p>遠心分離装置201Cの裏側から炎を上がっているのが見えたため、同室にあった手持ち消火器と車輪付きの大型消火器で消火を試みた。</p>
--

#### 4. 災害に関与したと考えられる事象の抽出

本件調査では、当時の作業工程、現場での作業員の行動、被害状況、過去の同種災害事例などをもとに、仮説を立てるために関与したと考えられる事象を抽出する。まず、被害状況と当時の作業工程、作業員の動きから次の事柄が推測される。

- a) 被害状況の調査より、爆発したのは蒸留施設であり、壁の変形・損傷状況から2階の機械室が爆発の中心であると推測される。
- b) 2階の機械室において、爆発に関与した可燃性物質について、水素、メタン、プロパンなど可燃性気体を使った作業工程はない。また、そのような配管はない。同室の装置内で扱われていたのは、廃油のみである。配管等からの可燃性気体の漏えいによる爆発では、爆発後に漏えい源に火炎が形成していることがある。本件では爆発後に遠心分離装置が燃えていて、消火したという証言と実際に消火剤の散布の跡もあることから、遠心分離装置から漏れた気化した廃油が爆発に関与した起因物質であると推測される。
- c) 過去の災害事例によると、廃油がガソリンを主成分とする場合、その着火源は静電気であることが多い。表4-1に着火源となりうるものを抽出する。最終的には実験を行い、6章で着火源を推定する。

表4-1 着火源となりうるものの抽出（検討が必要な項目の抜粋）

着火源の区分と具体例			実験などを行ってさらに検討が必要かどうか ○：要検討，△：状況に応じてさらに検討が必要	さらに検討が必要かどうかの判断
大区分	中区分	具体例		
電氣的	電気火花	操作盤（制御盤）内の電磁開閉器など機械的接点	○：一般に火花放電が生じやすい箇所であるため。	必要あり。④
	静電気火花	人体帯電（摩擦帯電や誘導帯電による）	○：現場で作業員が動き回っていたため。	必要あり。実験，測定を行う。⑤
		噴霧帯電による周囲導体の静電誘導による。遠心分離装置のトロッコの帯電など。	○：遠心分離装置内で液体の噴出，気化があったため。トロッコと機器本体に隙間があったため。	必要あり。実験，測定を行う。⑥

機械的	打撃	遠心分離装置内部の回転部と固定部の隙間の減少	△：遠心分離装置を分解し、内部を詳細に調べないとわからない。	必要あり。㊦
		遠心分離装置への硬い異物の混入	△：遠心分離装置を分解し、内部を詳細に調べないとわからない。	必要あり。㊧
		遠心分離装置の動作切り替え時の部品同士の衝突	△：メーカー工場での同等機器を使った実験では目視で火花が出ているようには見えなかったため。	必要あり。㊨
	摩擦	遠心分離装置内部の回転部と固定部の隙間の減少など	△：遠心分離装置を分解し、内部を詳細に調べないとわからないため。	必要あり。㊩

## 5. 測定・検証実験

### 5.1 廃油のガソリン含有量の測定

現場から採取した廃油にどの程度ガソリンが含有していたか測定した。

#### (1) 試料

廃油として、現場で採取した物を試料とした。

試料(1)：タンクローリー より採取した内容物

試料(2)：受入原油地上タンク 102A,B より採取した内容物

試料(3)：加熱中間タンク 202(遠心分離処理液受け入れタンク)より採取した内容物

試料(4)：製品タンク 101A,B (出荷タンク) より採取した内容物

#### (2) 測定結果

試料のガソリン含有量の測定結果は次のとおりである。

表 5-1 ガソリン含有量 (重量%)

試料番号	(1)	(2)	(3)	(4)
含有量(%)	91.4	45.8	8.3	1.7

### 5.2 廃油の引火点の測定

廃油の引火性について測定した。

#### (1) 試料

5.1 節と同じ試料を用いた。

## (2)測定方法

本測定では、まずタグ密閉法（水浴）（田中科学機器製作(株)製，ATG-5）で引火点を測定した。引火点が計測下限界（13℃）以下の試料では、より低温に冷却出来るエタノールを浴液に用いるよう改良し（タグ密閉法（エタノール浴）），-15℃以下まで測定を行った。逆に引火点が計測上限界（93℃）以上の試料では、ペンスキーマルテンス密閉法（田中科学機器製作(株)製，APM-7）も試みた。

## (3)測定結果

測定結果を表 5-2 に示す。引火点が低い物で-20℃以下であり、全ての試料に引火性があった。引火点が 93℃以上であった試料(4)をペンスキーマルテンス密閉法で計測した際、引火と判断する容器内への火炎の広がり観測されなかったが、124℃以上で容器開口部に保炎が観測されたので引火点を 124℃とした。

表 5-2 引火点測定結果

試料番号	引火点*)	測定法
(1)	-20℃以下	タグ密閉法（エタノール浴）
(2)	-15℃以下	タグ密閉法（エタノール浴）
(3)	17℃	タグ密閉法（水浴）
(4)	124℃	（ペンスキーマルテンス密閉法）

\*)測定は 2 回以上行い、最も低い計測値を引火点とした。

## 5.3 遠心分離装置内部からの白煙の漏えい確認実験

遠心分離装置から廃油の蒸気である白煙が装置外に漏えいするのかどうかを水に浸したドライアイスによって発生する白煙（水蒸気）を使って検証した。現場の遠心分離装置と同等の装置を使い、汚液入り口から白煙を導入した。このとき発生する白煙は冷えているため、空気よりも重く、当時装置や配管から漏洩したと考えられる油蒸気が冷えてできた白煙と同様、下方に流動しやすい。実験の結果、装置内部は白煙で充満し時間が経過すると、白煙が装置下部（スラッジ排出）から漏れることが確認された。

## 5.4 油の気化実験

角バットに入れた油をホットプレートで加熱し、所定の温度で白煙が発生するかどうかを観察することで、災害現場においてある制御温度で油が装置外に漏れ出た際に、白煙となって床に沿って流動するのかどうか検証した。試料には軽油と同程度の揮発性の廃油にハイオクガソリン（以下、「ハイオク」とする）が混入したことを踏まえて、軽油 100%、ハイオク 50%+軽油 50%、ハイオク 90%+軽油 10%、ハイオク 100%の 4 種類を選び、白煙が発生するまで段階的にゆっくり昇温させた。実験の結果、白煙（蒸気）の発生について以下の結果が得られた。

- a) 軽油 100%の場合は、71℃で白煙が上方に移動，立ち上がること。
- b) ハイオク 50%+軽油 50%混合物の場合は、76℃で液面上に滞留する白煙と上方に移動，立ち上がる白煙があること。
- c) ハイオク 90%+軽油 10%混合物の場合は、83℃で白煙が液面上に滞留すること。
- d) ハイオク 100%の場合は、85℃で白煙が液面上に滞留すること。

## 5.5 床鉄板の表面状況の観察

油清浄機 201D 付近の床の鉄板を切り出し，板の表面の状況を調査した。

子細に見ると，写真 5-1，5-2 に示すように，表面の様子は局所的には塗料が剥げた状況にあり，凹凸模様の凸部の箇所は剥離は摩耗で，他の箇所の剥離は爆発した時の落下物による打撃や爆発前の装置の移動などで生じたものと考えられる。塗料膜の厚みは断面の顕微鏡測定によると 0.292~0.348 mm で平均 0.33 mm であった（写真 5-3）。

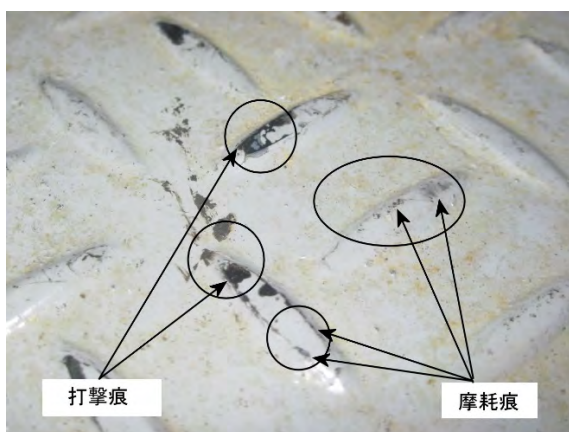


写真 5-1 表面の損傷の例(1)

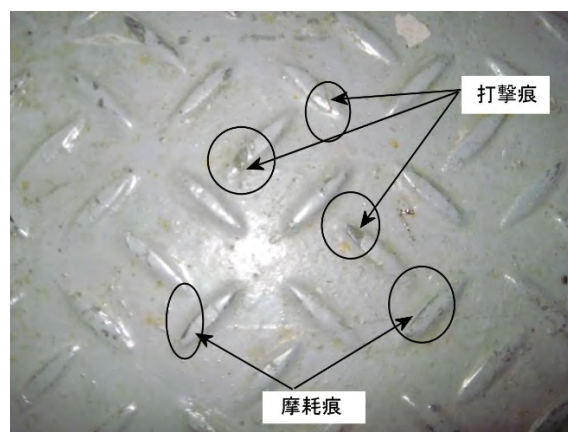


写真 5-2 表面の損傷の例(2)

打撃による損傷では，摩擦によるものとは異なり，塗料膜が小片となって剥離し，なくなっている。

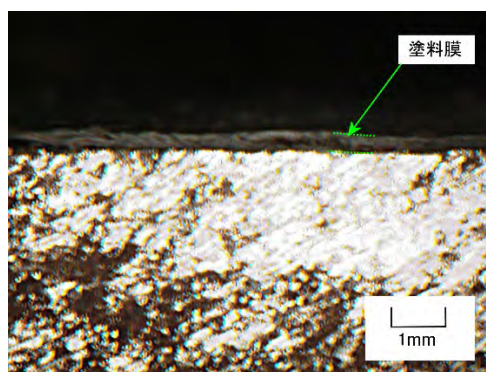


写真 5-3 切断面の様子

## 5.6 遠心分離装置，油清浄機の電气的特性の測定

遠心分離装置の構造によると，スラッジ排出用トロッコは装置本体とわずかに離れている。このような構造であれば，装置本体が電气的に接地されていたとしても，トロッコのタイヤが電气的に絶縁性であれば，トロッコは非接地となり，帯電することもありうる。被災現場において絶縁抵抗計を用いて装置本体とトロッコ周辺の電気抵抗を測定した結果，タイヤは電気抵抗が無量大で絶縁性であり，遠心分離装置 201B を除き，トロッコの箱部と床の間は接地されていないことがわかった。また，油清浄機は筐体と床の間の電気抵抗は 0 Ω であり，導電性があることもわかった。

## 5.7 作業員の着用物および床上物の電气的特性の測定

### (1)測定方法

使用した測定器はデジタル絶縁抵抗計 MY40(横河 M&C 製)であり，印加電圧を 125V と 250V で測定を行った。なお測定時の気温は 22～24℃，湿度は 50～66%であった。

### (2)測定結果

①作業靴(現場品，静電気帯電防止性能のない一般的な安全靴)，②作業ズボン(下部)，③作業上着(袖および下部)は絶縁性(抵抗値 200 MΩ 超)であることがわかった。

④カーペットについては測定位置により抵抗値が 2.5 MΩ～200MΩ 超とばらつきが大きく，おそらく抵抗値には，ほこり，汚れや水分が影響していると考えられる。比較的焼損が少ない箇所での抵抗値は 178 MΩ であり，100 MΩ を超えることから絶縁性を有している。これらのことから，おそらく，カーペット自体は絶縁性であると推定される。

⑤段ボールは消失したが，一般的には絶縁性とされる。

## 5.8 人体帯電実験

### (1)実験

#### ①実験装置

写真 5-4，5-5 に実験装置を示す。

#### a)実験室

人口環境室 B：(株)東洋製作所製

- ・温度制御範囲：-10～+60℃
- ・湿度制御範囲：10～80% (気温+10～+60℃の範囲にて)
- ・温度制御：±0.5℃
- ・湿度制御：±3.0%
- ・寸法：幅 3,500mm×奥行き 3,250mm×高さ 2,300mm

#### b)計測器

静電電位測定器 スタチロン-DZ ((株)シンド電気)，誘電板 φ100mm (アルミ製)  
データロガー(波形記録装置) DL750 ((株)横河電機製)

### c)服装と床の状況

- ・服装：新品の安全靴，作業員の T シャツ・パンツ・靴下・長袖シャツ，同等の作業上着・作業ズボン，同等の保護帽，新品の軍手

ただし，安全靴については，作業員が履いていたものと新品のものとは電気的特性が同様に絶縁性であることが判明したので，本実験では新品の安全靴を使用した。

- ・アルミ板：板厚 1mm，接地板として使用。
- ・テフロン板：板厚 0.2 mm
- ・鉄板：現場品
- ・ポリ容器：現場品

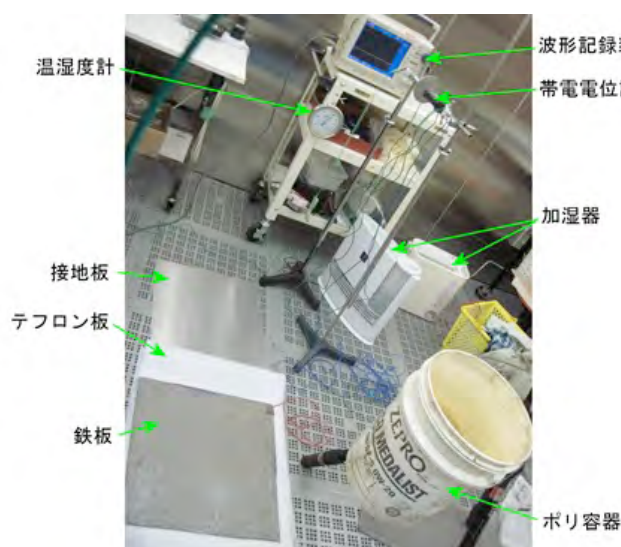


写真 5-4 実験器具の配置

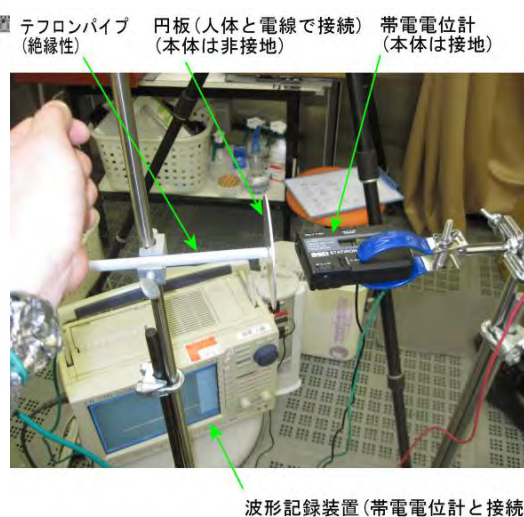


写真 5-5 電位の測定方法

### ②実験条件

爆発が発生した当時の気温は 9.2℃（消防署発表）または 9℃（気象庁発表），湿度は 97.5%（消防署発表）または 95%（気象庁発表）であった。被災した機械室は機械が稼働していたため，本実験では室内の空気は外気が加温されたもの（絶対湿度は当時の外気と同じ）であると仮定し，その場合の気温と湿度の組み合わせを次のように設定した。ただし，当時の外気と同じ気温 9℃では，実験室で湿度 97.5%を設定できなかつたため，設定可能であった最大値 93%を用いた。

9℃・93%，12℃・80%，18℃・55%，23℃・41%

### ③実験方法

床材を変え，ジャンプしたりその場駆け足をしたりすることで帯電電位を波形記録装置で測定，記録する。動き：足踏み，ジャンプしゃがむ，保護帽を軍手で擦り，片足上げ，

ポリ容器を使った場合はひざを擦る。

## (2)実験結果

実験によると、a)9℃、93%では電位は1kV以下であり、ほとんど帯電しないこと、b)12℃、80%では5kVを超える場合があり、帯電すること、c)18℃、23℃となるにつれ相対湿度が下がるが、4kV近くまで帯電する場合があること、d)帯電に及ぼす作業着の影響はほとんどないこと、衣服の擦れによる帯電は小さいこと、e)帯電電位は、靴と床材との擦り方、ジャンプ、姿勢によって変化すること、f)その場走りでは電荷が蓄積して電位が上がっていくことはなかったこと、g)鉄板を非接地状態にしても塗料が剥げている箇所では導電であり、結果的には接地体として作用する場合があること、などがわかった。

## (3)着火性の判定

得られた実験結果より、着火性を検討する。

$$\text{着火エネルギー } E = (1/2)CV^2 \quad (5-1)$$

ここで、 $C$ は静電容量、 $V$ は帯電電位である。ガソリン（ $n$ -ペンタン）の最小着火エネルギー $0.28\text{mJ}^{1)}$ より、 $E = 0.28\text{mJ}$ 、 $C$ は人体の一般値の $150\text{pF}$ とすると、式(5-1)を変形して、着火に必要な $V$ の値を求めることができる。

$$\begin{aligned} V &= (2E / C)^{1/2} \\ &= (2 \times 0.28 \times 10^{-3} / 150 \times 10^{-12})^{1/2} \\ &= 1.9 \times 10^3 [\text{V}] \end{aligned}$$

計算上は、帯電電位が $1.9\text{kV}$ になれば、静電気放電によってガソリンに着火する。ただし、可燃性蒸気と空気との混合気の不均一性などのため、実際に着火しやすいのはそれよりも大きな値のときである<sup>2)</sup>。

以上、本実験の範囲では限定的な条件ではあるが、 $9^\circ\text{C}$ では着火しないが、それを超える温度、ここでは $12^\circ\text{C}$ 以上で着火の可能性はある。

## 5.9 体毛の熱的特性の測定

本災害では被災者の一部の体毛が焼失していたことが報告されている。そこで、体毛の焼失を定量的に明らかにするため、TG-DTA（示差熱・熱重量同時測定）装置を使って調べた。ここでは、毛染め試験などに使われるもので、整髪油が付いていない人毛を試料として用いた。

測定の結果、昇温とともに重量減少が緩やかに生じ、 $226^\circ\text{C}$ 付近で顕著な熱分解（気化）が始まり、進むことがわかった。ただし、本実験で調べた $300^\circ\text{C}$ までの減量率は $39.5\%$ で

あり、焼失するにはより高温となる必要があることが分かった。

## 6. 考察

現地調査において着火源となりうるものを洗い出し（表 4-1）、実験、文献調査などを行って検討した結果、本調査では、抽出されたそれぞれの着火源について、生じる物理現象を次のように考察した。

火薬や爆発物による爆発の場合は、着火位置（反応開始位置、爆心）から音速を超える圧力波（衝撃波）が周囲に広がり、着火位置に近いところでの被害が甚大となる。しかし、ガス・蒸気の爆発の場合は、一般に音速以下で火炎が周囲に伝ばし、火炎とともに上昇する圧力と爆風によって被害がもたらされる<sup>3)</sup>。そのため、着火位置よりは離れたところでの被害が大きくなる。着火位置にある物体（着火源となるもの）は、あまり動かず、吹き飛ばされることはないが、短時間高温の燃焼ガスにさらされる。

本災害はガス蒸気の爆発である。遠心分離装置で着火したとすれば、そこから火炎が伝ばし、爆発する過程で室内の作業員は後方に吹き飛ばされるはずであるが、実際は転倒し、後方に吹き飛ばされていない。したがって、遠心分離装置は着火位置ではなく、すなわち、着火源ではなかったと考えられる（表 4-1 の㉔～㉖）。

遠心分離装置の北側に並んだ操作盤の扉の外側には打痕があり、操作盤内部での爆発も推定されたが、仮にこの位置で初めに爆発が発生すれば離れた位置の作業員は後方に吹き飛ばされるはずで、実際の状況とは異なる。したがって、操作盤は着火源ではなく（表 4-1 の㉗）、打痕をもたらしたのは初めの爆発ではなく、二次的な爆発であったと考えられる（表 4-1 の㉘、㉙、㉚）。

以上、最も可能性の高い着火源として考えられるのは表 4-1 の㉛であり、なおかつ 5.6 節の実験結果からも作業員の帯電による静電気放電が有力である。

## 7. 災害原因の推定

### 7.1 起因物質、着火箇所と着火源

起因物質は、70℃よりも引火点が低い廃油（例えば、軽油やガソリン）である。蒸留施設のポンプは防爆仕様であったが、施設全部の機器・装置類が防爆仕様になっているわけではないため、引火点が低い廃油を受け入れて処理することは爆発・火災の危険性がある。当該事業場の新人教育マニュアルによると、そのような廃油は本来、回収できない油種に該当しており、決まりが守られていなかったことになる。

着火箇所は、蒸留施設の 2 階機械室の南東角、遠心分離装置 201D と操作盤付近であったと推定される（表 3-1 より）。起因物質を含む廃油混合物の再生処理中、遠心分離装置の隙間から気化した可燃性蒸気が室内に漏れ出し、爆発性の混合気を形成していた。異変に気がついて装置停止や換気のために動き回っていた作業員が帯電したことで静電気放電が生じ、周囲に形成していた爆発範囲の混合気に引火して爆発が発生したことが最も可能性が高いと考えられる。



## 7.2 爆発災害の発生機構と発生過程

爆発の発生過程を図 7-1 に示す。なお、発災した蒸留施設では内容物は加熱ヒーターで 70～95℃に加熱され、再生処理されていたことから、通常は、引火点が高い廃油（例えば、重油（引火点 70℃以上）など）を受け入れ、処理していたものと考えられる。

- ① 発災当日、ガソリンの割合が高く、引火点が -18℃以下の廃油をローリーで受け入れ、施設の受入地下タンクに搬入した。
- ② 上述の引火点が高い廃油は受入地下タンク、地上タンクを經由し、既にタンク内に受け入れていた通常の引火点の高い廃油と混合しながら、中間タンクに移送された。そして、中間タンクで貯留中に加熱ヒーター(設定温度 70℃)で昇温され、高温になって、次の工程の遠心分離装置に送られた。
- ③ 遠心分離装置の下部には液体と分離した微粒子やスラッジ等の固体を排出するため、トロッコが備えられていたが、構造上、本体下部に隙間があるため、気化した可燃性蒸気が 4 台の遠心分離装置から漏えいした（図 7-1）。
- ④ 漏れた蒸気は目視では靄(もや)に見え、空気に比べて重いため、床をほうように滞留していた。消防本部の観測による当時の気温と湿度はそれぞれ 9.2℃、97.5%であるが、室内は機械装置類を運転しているため、長袖の作業着で動き回ると汗ばむ程度の気温にあったものと考えられる。
- ⑤ 隣室にいた作業員が異変に気がつき、装置の確認と停止作業、換気のため一つの窓を開放した。なお、作業員は帯電防止性能のない（非対応型の）一般的な安全靴を履いていた。作業員が窓を開けたことで、新鮮な空気と床面上に滞留していた可燃性蒸気が混合し、局所的に爆発範囲の混合気が形成した。
- ⑥ 2 階の床用鋼板は電氣的に絶縁性の塗料で塗られていたが、塗料が摩耗し、局所的には導電性があった。作業員が帯電防止非対応型の安全靴を履いていたため、靴と床の摩擦で作業員は電荷が蓄積、帯電しやすい状況にあった。ただし、気温が高い（一般に湿度も高い）場合は、人体に蓄積した電荷の緩和が促進されるので、長い時間高位に帯電した状態にはならない。高位に帯電するのはごく短時間である。
- ⑦ 作業員が別の窓を開けようとした際、飛び跳ねるように駆けてきてごく短時間高位に帯電した状況下で、人体、おそらく腰から下の部分が接地された金属導体に接近したその瞬間に静電気放電が生じて引火した。

着火後、火炎が室内を伝ばするが、作業員は着火の際の衝撃か何らかの理由ですぐに転倒した。

- ⑧ 火炎の伝ばに伴う体積膨張で室内の内圧が上がり、建物壁や天井屋根が破壊された。建物の壁は外方向に変位しているが、この状況からは、爆発は 2 階で発生し、北東側の出入り口に近い側と推定される。
- ⑨ ⑤の段階で遠心分離装置は停止したが、可燃性蒸気の漏えいが継続していた箇所まで火炎が伝ばし、保持されていた。その後、火災に拡大し、温度の上昇とともに遠心分離装

置内やほかの箇所でも小規模な爆発が発生した。

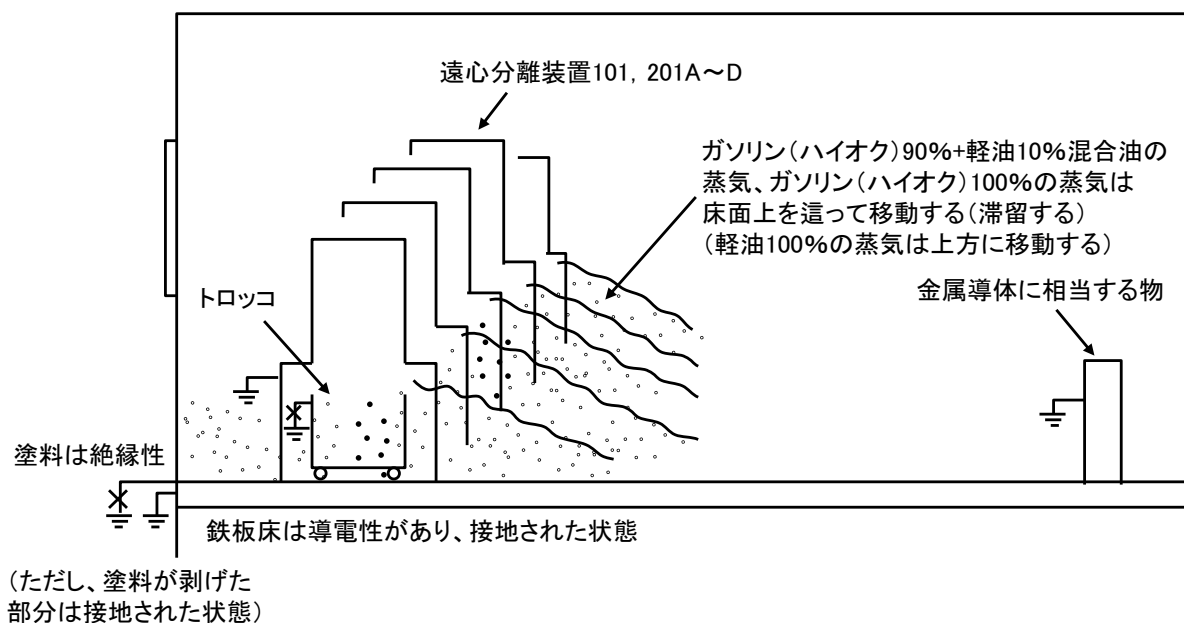


図 7-1 爆発の発生過程 (推定)

### 7.3 監督署の調査結果、現場の被害状況との整合性

当日の外気の温度と湿度に対しては帯電しにくい環境であったが、蒸留施設では機械装置を稼働し、70～95℃に加熱された油が装置内を流動し、配管類は断熱材で遮熱されていなかったため室内は温かかったと推測される。実験によると、気温が高くなり、相対湿度が下がると帯電しやすくなることがわかった。このことは塗料で電氣的に絶縁された床において、帯電防止対策が採られていない安全靴を履いた作業員に対しては帯電しやすい状況にあったと判断される。したがって、外気の気温と湿度ではなく、室内環境を考慮すれば静電気火花放電が生じることは矛盾しない。

### 7.4 災害に至った間接的原因

被災した蒸留施設では引火点の低い廃油（例えば、ガソリン）を処理できるしくみにはなっていなかった。当日災害に至った原因としては、次のことが挙げられる。

- a)回収できない廃油（ガソリン）を設備に投入したこと。
- b)投入したガソリンの量が多かったこと。
- c)作業員の静電気対策が採られていなかったこと。

## 8. 再発防止対策

本災害では、マニュアルを遵守して引火点の低い廃油を蒸留施設で処理しなければ爆発は起きなかった。当該事業場において、引火点の低い廃油を今後扱うためには、蒸気が装

置外に漏えいした場合の対策，適切な防爆構造電気機械器具を設ける必要がある。

廃油および引火性の物などを扱う事業場，あるいは産業廃棄物処理事業場においては，同種爆発・火災災害の再発防止の観点から，災害事例や出された通達等<sup>4,5)</sup>も参考に，次の対策を実施すべきである。

### ① 安全教育の実施

関係労働者に対し，取り扱う産業廃棄物の危険性，安全な取扱い方法等について，マニフェスト，イエロー・カードおよび化学物質等安全データシート(SDS)等による情報も活用し，安全教育を十分行うことにより安全な作業の徹底を図る。

### ② 危険物等の油の爆発・火災の危険性

- a) 新品油の SDS 等を参考に，危険物等の危険情報を収集する。
- b) 常温に比べて引火点が低い油は気化しやすく，爆発や火災の危険性が高いことに注意する。
- c) 重油，潤滑油，油圧作動油等の引火点の高い油類も装置内の処理温度，高温物体等の接触では気化が促進され，発生する可燃性の蒸気によって爆発や火災が生じる危険性があることに留意する。

### ③ 危険物等の油の取り扱いについて

- a) 受け入れの際には，油の引火性と燃焼性の有無を確認する。引火性の確認には，例えば，次のような試験方法がある<sup>6)</sup>。

灯芯法は，試料にガーゼ片を浸し，ピンセットでつまんで市販のガスライター（小ガス炎）を1秒間接炎し，小ガス炎を遠ざけたのち燃焼が5秒以上持続するかどうかを見る。

シャーレ法は，灯芯法によって引火性ありと判定された試料について，試料を約2 ml を直径5～8 cm 程度の平底のシャーレ（蒸発皿）に入れ，液表面に小ガス炎を1秒間接炎させ，小ガス炎を遠ざけたのち燃焼が5秒以上持続するかどうかを見る。

このような試験によって法的に危険物に該当する可能性がある場合は，専用の試験装置を使って引火点を測定する。

- b) 上述の試験を含めて油のサンプリングやタンク内の検尺の際には静電気による着火危険性があるので，静電気対策を講じる<sup>7)</sup>。
- c) 発生する可燃性ガス・蒸気が爆発範囲に入らないように，通風や不活性ガスの注入などによってガス・蒸気を希釈する。
- d) 爆発範囲の濃度に達するおそれのある場所において電気機械器具を使用するときは，防爆性能を有する防爆構造電気機械器具を使用する<sup>8)</sup>。
- e) 静電気帯電防止作業靴および静電気帯電防止作業服を着用する。
- f) 油類の抜取り作業，部品の取り外し解体などの作業を行おうとする配管やタンク等の

容器については接地する。

#### 参考文献

- 1) 静電気安全指針－1988年3月改訂，RIIIS-TR-87-1，産業安全研究所（現・労働安全衛生総合研究所）技術指針
- 2) 圧縮空気駆動式小型研磨器の静電気対策－電撃及び可燃性物質への着火防止方法，NIIS-SG-No.2（2004），産業安全研究所（現・労働安全衛生総合研究所）安全ガイド
- 3) 平野敏右：ガス爆発予防技術，第3章，海文堂，1983
- 4) 職場のあんぜんサイト，<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/>（2014年10月27日アクセス）
- 5) 通達：産業廃棄物処理業等における爆発・火災の防止について，基発第127号，平成12年3月14日
- 6) 産業安全技術総覧編集委員会編，産業安全技術総覧，p.327，丸善，1999
- 7) 静電気安全指針2007，JNIOOSH-TR-No.42(2007)，労働安全衛生総合研究所技術指針
- 8) ユーザーのための工場防爆設備ガイドー平成25年4月9日修正，JNIOOSH-TR-No.44(2012)，労働安全衛生総合研究所技術指針