



液面計の不具合に起因した危険物流出事故調査について

永山 幸達

(東京消防庁芝消防署 予防課危険物係)

1 はじめに

近年、危険物施設における危険物の流出事故件数は増加傾向にあり、その主な要因としては腐食疲労等劣化による物的要因や、操作確認不十分による人的要因が挙げられる。

本事案は、地下タンク貯蔵所への荷卸し中に発生した危険物流出事故であるが、設備の維持管理不足が機器の故障を招くという、人的、物的双方の要因が関連した事故である。

2 流出事故概要

(1) 発生年月及び場所

平成26年7月、東京都港区

(2) 事故概要

流出事故が発生した危険物施設は、自家発電設備（非常用発電機）で危険物を消費する一般取扱所、燃料小出槽の屋内タンク貯蔵所及び主タンクの地下タンク貯蔵所

で構成されている。

本事案は、地下貯蔵タンクに灯油を許可容量近くまで注入するために、タンクローリーから荷卸し中に発生した。地下タンク貯蔵所の液面計が実際の貯蔵量より少ない量を表示していたが、液面計の誤表示に気付かないまま、地下貯蔵タンクの内容積を超えて灯油を注入し続けたため、地下タンク貯蔵所及び屋内タンク貯蔵所の各通気管から敷地及び敷地に面する河川に灯油約700Lが流出した。

(3) 危険物施設の構成（図1参照）

ア 地下タンク貯蔵所 第四類第2石油類（灯油）60,000L（指定数量の倍数60）

イ 屋内タンク貯蔵所 第四類第2石油類（灯油）18,178L（指定数量の倍数18.1）

建築物に9,089Lの屋内貯蔵タンクが2基あり、荷卸しした側の系統の1基か

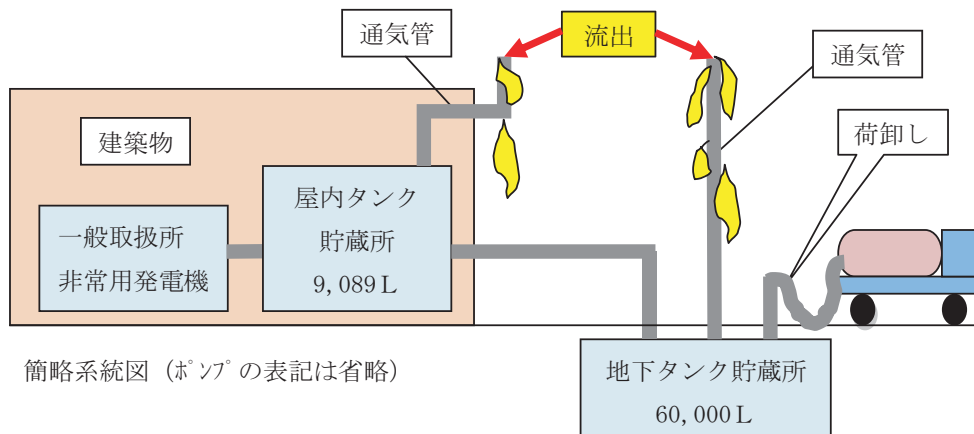


図1 危険物施設の構成について

- ら灯油が流出した。
- ウ 一般取扱所(非常用発電機)
 - 第四類第2石油類(灯油)
 - 6,170L (指定数量の倍数6.1)
 - 第四類第4石油類(潤滑油)
 - 3,468L (指定数量の倍数0.58)

3 事故発生時系列

(1) 事故発生日の状況

地下貯蔵タンクに灯油を荷卸しするため、タンクローリーが到着し、危険物施設関係者及びタンクローリー運転手が地下貯蔵タンク内の貯蔵量を液面計で確認した。この時、地下貯蔵タンク60,000Lの許可容量に対し、液面計は41,000Lを表示していた。このため、双方とも最大で19,000L注入できるものと判断した。危険物施設関係者は、タンクローリーに積載した16,000L全てを荷卸しするようタンクローリー運転手に指示した。

荷卸し開始後、地下タンク貯蔵所の液面計が57,000Lを表示したあたりで、危険物施設関係者及びタンクローリー運転手は、周辺で灯油の臭気を感じた。(本時刻を事故発生と推定する。)

危険物施設関係者及びタンクローリー運転手が、危険物施設の周辺を確認すると、2箇所の通気管から灯油が流出しているのを発見した。

その後、危険物施設関係者は応急処置を実施するものの、対応できないと判断し、

加入電話により消防署に通報した。また、危険物施設関係者は十分な応急処置を講じていなかったことから、消防法第16条の3に基づく応急措置命令(危険物の拡散防止、回収及び除去)を告知した。

消防隊は、地下タンク貯蔵所の液面計が53,000Lを表示していることを確認したが、計量口から検尺棒を用いて液面の高さを確認すると、実際の貯蔵量は60,000Lを超えていた。

(2) 事故発生日の翌日の状況

ア 地下貯蔵タンクの油量について

前日確認していた地下タンク貯蔵所の液面計の表示は53,000Lであったが、この日は、52,000Lを表示していた。(事故発生時と比較し1,000L減)

また、計量口から検尺棒を用いて地下貯蔵タンクの貯蔵量を再確認すると、事故発生日と同様に60,000Lを超えている状況であった。

イ 立入検査の実施について

立入検査を実施し、表1のとおり違反を指摘した。

(3) 液面計の表示の推移について(表2参照)

事故発生以降、随時液面計の表示について確認すると、地下貯蔵タンクの貯蔵量が変化していないにもかかわらず、時間経過とともに液面計の表示が低下している状況であった。このことにより、地下貯蔵タンクの貯蔵量と液面計の表示に明らかに相違があることを確認した。

表1

違反指摘事項
① 許可されている60,000Lを超えて灯油を貯蔵(消防法第10条第3項違反)
② 液面計機能不良(消防法第12条第1項違反)
③ 定期点検の実施と記録の保存(指導事項)
④ 危険物流出事故発見時は、直ちに通報すること(指導事項)
⑤ 荷卸しの立会いは、危険物取扱者とする(指導事項)

表 2

	事故発生日	事故発生日 の翌日	事故発生日 の 2 日後
液面計の表示	53,000 L	52,000 L	47,500 L
許可容量 (60,000 L) との差	7,000 L	8,000 L	12,500 L

4 液面計について

(1) 液面計の概要

地下タンク貯蔵所の液面計には、静電容量式の液面計が使用されていた。

静電容量式液面計とは、空気と貯蔵する液体との誘電率の差を利用し、液面高さに応じて変化する静電容量を検出し、表示する液面計である。

(2) 静電容量式液面計の詳細

ア 静電容量式液面計の構成について (図 2 及び写真 1, 2 参照)

静電容量式液面計は、センサ、変換器、

リニアライザユニット及び液面計で構成されている。

静電容量式液面計の地下貯蔵タンクの貯蔵量を把握する仕組みは、センサで地下貯蔵タンクの液面高さを読み取り、変換器がその情報を電流値に変換し、リニアライザユニットへ信号 (以下、「信号 A」という。) として送る。リニアライザユニットは受け取った信号 A を液面計が読み取れる信号 (以下、「信号 B」という。) に変換する。リニアライザユニットは液面計へ信号 B を送り、液面計はそ

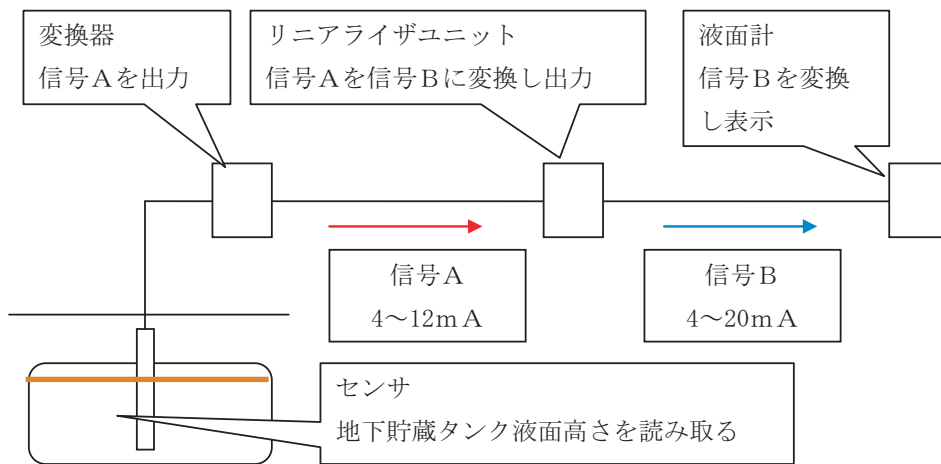


図 2 静電容量式液面計の構成について



写真 1 注油ボックス内の状況

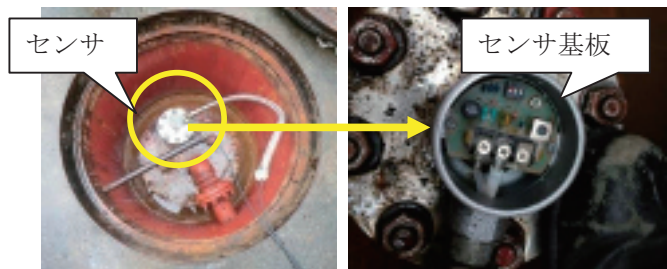


写真 2 地下貯蔵タンク上部の状況

表 3

地下貯蔵タンクの液面高さ	信号 A	信号 B	(参考)貯蔵量	備考
2,460mm	10.3mA	20.0mA	60,000L	
2,090mm	9.3mA	17.6mA	51,000L	第3,4回調査
2,050mm	9.2mA	17.3mA	50,000L	
1,950mm	8.8mA	16.7mA	47,500L	第1回調査
1,690mm	8.2mA	14.7mA	40,000L	
1,350mm	7.3mA	12.0mA	30,000L	
1,000mm	6.4mA	9.3mA	20,000L	
610mm	5.4mA	6.7mA	10,000L	
0mm	4.0mA	4.0mA	0L	

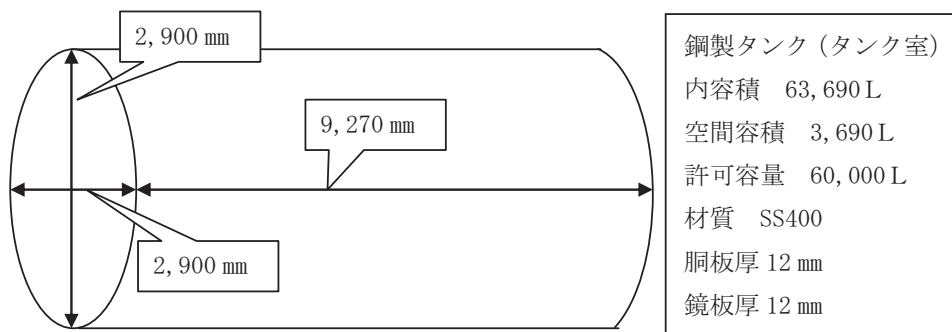


図 3 地下貯蔵タンクの寸法について

の信号 B を読み取り、地下貯蔵タンクの油量を表示する。

イ 液面高さの信号変換について (表 3 参照)

センサで読み取った地下貯蔵タンクの液面高さに応じて、信号 A の電流値は 4 ~ 12mA の範囲で変化する。さらに、信号 A の電流値は、リニアライザユニットによって信号 B の電流値として 4 ~ 20mA の範囲で変換される。液面計はその信号 B の電流値を読み取る。

なお、地下貯蔵タンクの寸法を図 3 に示す。

5 第 1 回調査 (図 4 参照)

流出事故発生から現場保存をした状態で、静電容量式液面計の不具合箇所を特定する。

(1) 信号 A から信号 B の変換及び出力

信号 A は 8.8mA の電流が流れており、リニアライザユニットは、信号 A を正しく変換し、信号 B は 16.7mA の電流値を出力した。

(2) 信号 B から液面計の変換及び表示

液面計は、信号 B の 16.7mA を正しく読み取り 47,500L を表示した。

(3) 第 1 回調査結果

リニアライザユニットは、4(2)イに記載した信号 A から信号 B への換算表のとおり、信号 A を正しく信号 B に変換し、液面計は信号 B を正しく出力して貯蔵量を表示している。

液面計の表示のとおり、地下貯蔵タンクの貯蔵量が 47,500L であれば、地下貯蔵タンクの液面高さは 1,950mm のはずである。

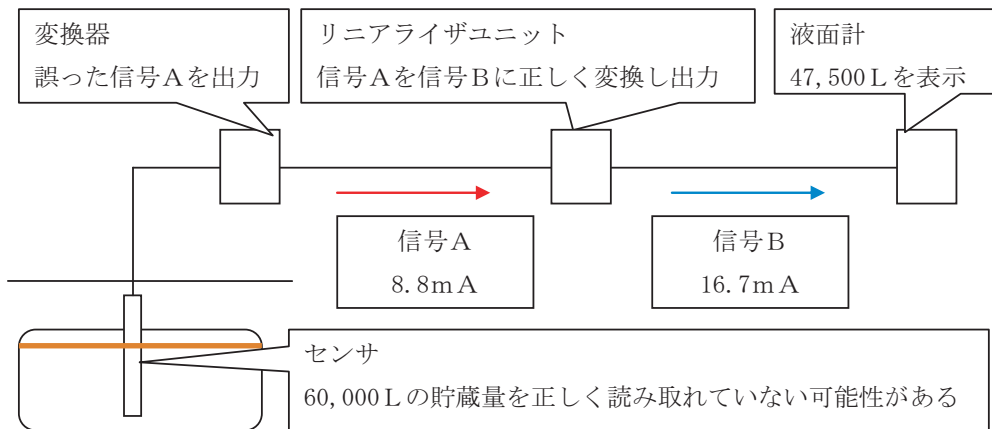


図4 静電容量式液面計の不具合箇所の特定について

しかし、実際には流出事故発生時と同様に60,000L以上が貯蔵されており、このことは、地下貯蔵タンクの液面高さが2,800mmに相当することから、地下貯蔵タンクの貯蔵量を正確に計測できていないことになる。

以上のことから、リニアライザユニット及び液面計に異常はないと考えられ、センサ及び変換器のいずれか、あるいは両方に不具合があり、信号Aが誤った電流値となっていることが特定された。

6 第2回調査

流出事故発生から現場保存をした状態で、センサ及び変換器の不具合箇所を特定する。

(1) センサー変換器間の調査

ア 調査内容

センサに模擬電流を流し、変換器から正しい電流値の信号Aを出力するか確認した。

イ 調査結果

変換器から出力する信号Aの電流値は正常値を示しており、異常は認められない。

(2) 変換器の負荷と信号Aの出力調査

ア 調査内容

信号Aの電流値の範囲は4~12mAであるが、実際には4~20mAの範囲において出力する性能を有している。変換器の出力側に500Ωの許容負荷抵抗を取り付け、変換器が20mAの信号Aを出力できるか確認する。

イ 調査結果

変換器の出力側に500Ωの許容負荷抵抗を取り付けた状態で、変換器は20mAの信号Aを出力し、正常に作動した。

(3) 変換器の負荷調査

ア 調査内容

変換器の出力側に500Ωの許容負荷抵抗以上の負荷抵抗が取り付けられていないか確認する。

イ 調査結果

変換器の出力側の負荷抵抗は53Ωであり、許容範囲内であることを確認した。

(4) センサ設置状況の調査

ア 調査内容

地下貯蔵タンク底部からの距離について、センサ設置箇所と検尺棒の箇所に差異がないか確認する。

イ 調査結果

センサ設置箇所と検尺棒の設置箇所には差異はなく、異常は認められない。

(5) センサの外観調査

ア 調査内容

センサの空気穴を目視により詰まりがないか確認する。

イ 調査結果

空気穴に異物等は確認できず、異常は認められない。

(6) 第2回調査結果

前(1)~(5)のとおり検証した結果、センサ及び変換器の動作確認等を実施するも異常は認められなかった。

7 第3回調査

流出事故発生時の気温が高かったことに着目し、センサ及び変換器が温度上昇により、何らかの不具合が生じる可能性について、メーカー

が自社工場に持ち込んで検証する。

(1) 信号 A の変動調査 (図 5 参照)

ア 調査内容

灯油の入ったチャンバーにセンサを入れ、再現実験を実施する。ここでは液面計設置時に調整した地下貯蔵タンクの液面高さ2,090mm (信号 A9.3mA、貯蔵量51,000L) を基準とし、24時間連続で監視して信号 A に変動が見られるかを調査する。

イ 調査結果

信号 A に変動はなく、異常は認められない。

(2) チャンバーの液面高さに対する信号 A の出力追従調査 (図 6 参照)

ア 調査内容

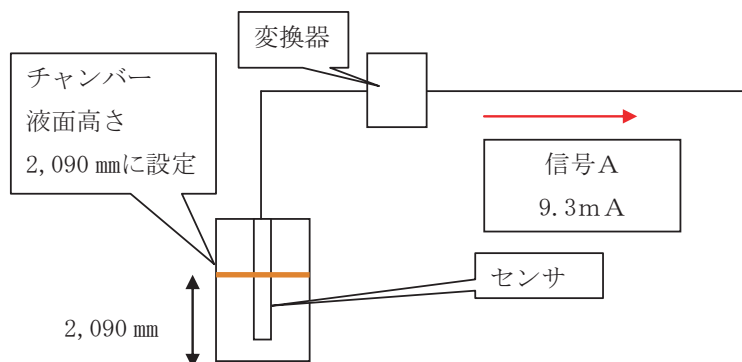


図 5 センサ及び変換器における信号 A の変動調査

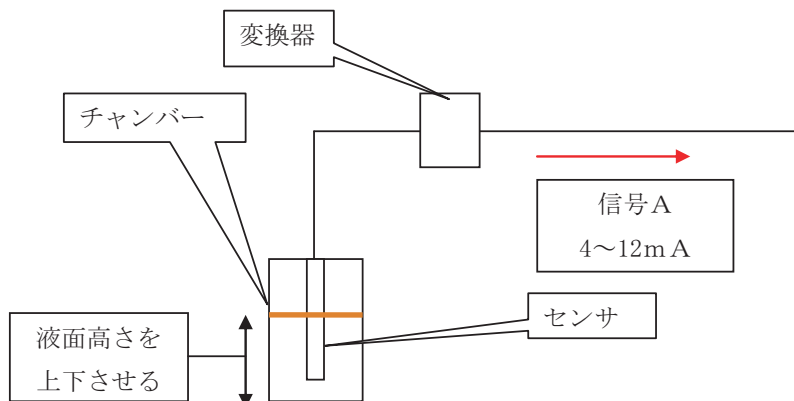


図 6 変換器における信号 A の出力追従調査

1時間以上通電した後、灯油の入ったチャンバーの液面高さを0～100%に変化させ、変換器が液面高さに応じて信号Aを正しく出力できるかを調査する。

イ 調査結果

変換器は、チャンバーの液面高さに応じた信号Aを正しく出力でき、変化に追随している。

(3) 変換器の状態、雰囲気温度及びチャンバーの液面高さに対する信号Aの出力調査 (図7参照)

ア 調査内容

恒温槽に以下の3つの状態の変換器を

設置して、雰囲気温度を10℃、30℃、60℃に設定し、各設定温度に対して灯油の入ったチャンバーの液面高さを0～2,460mmの範囲で変化させ、変換器が出力する信号Aについて、調査を実施する。

- (ア) 変換器を調整しない状態
- (イ) 変換器を調整した状態
- (ウ) 新規品の変換器の状態

イ 変換器の調整の目的について (図8参照)

前アで行った信号Aの出力調査の際に実施した調整について解説する。

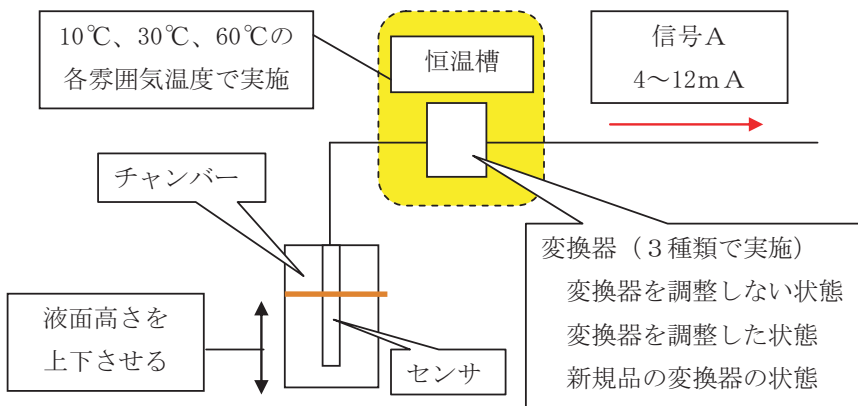


図7 変換器の状態、雰囲気温度及びチャンバーの液面高さに対する信号Aの出力

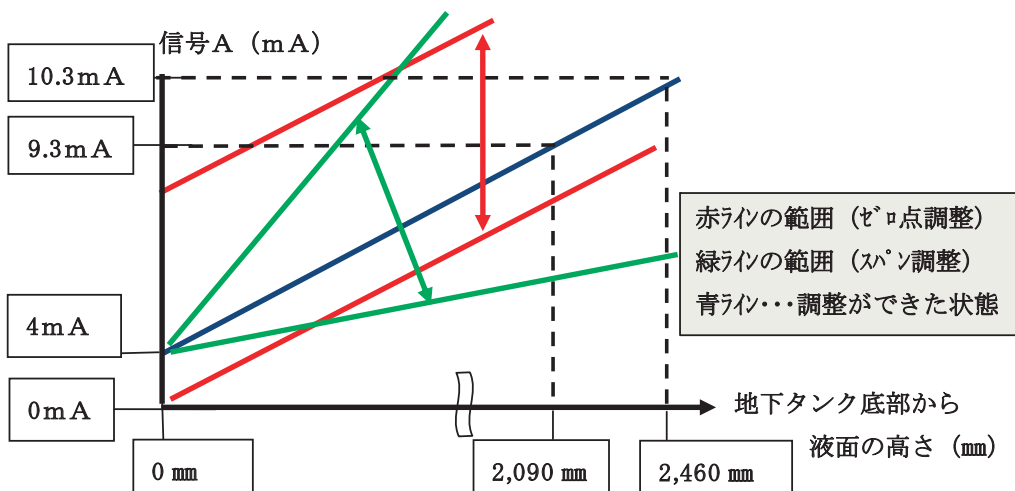


図8 変換器の調整 (ゼロ点調整、スパン調整) について

表 4

変換器の状態 [地下貯蔵タンクの液面高さ2,090mm]	温 度		
	10℃	30℃	60℃
変換器を調整しない状態	9.31mA	9.65mA	10.22mA
変換器を調整した状態	9.34mA	9.71mA	10.36mA
新規品の変換器の状態	9.32mA	9.44mA	9.66mA

静電容量式液面計の構造上、地下貯蔵タンクの液面高さに対して、信号 A が 4～20mA となるように調整する必要がある。

この調整には、ゼロ点調整とスパン調整の 2 種類がある。ゼロ点調整は、地下貯蔵タンクの液面高さ 0 mm で信号 A の出力を 4 mA にすることである。一方、スパン調整は、ゼロ点調整実施後に地下貯蔵タンクの液面高さに応じて信号 A の増加率を決定することである。本調査では、液面計設置時の調整と同一にするため、地下貯蔵タンクの液面高さ 2,090mm で信号 A が 9.3mA となるように調整した。

ウ 調査結果

7(3)ア(ア)～(ウ)で示した 3 つの状態いずれの変換器においても、変換器の雰囲気温度が上昇すると、信号 A の電流値が大きく上昇した。

表 4 は、静電容量式液面計を最初に調整した地下貯蔵タンクの液面高さ 2,090mm の記録を抜粋したものである。

本調査では信号 A の電流値が大きく上昇すると、液面計は実際の貯蔵量より多い量を表示した。このことは事故発生時とは異なる状況であることを示している。また、変換器は、チャンバーの液面高さに応じた信号 A を出力でき、変化に追随している。従って、本件は変換器の雰囲気温度に起因して発生した事故ではないものと考えられる。

なお、その他の液面高さにおいても、表 4 と同規模の相関関係が確認された。

8 第 4 回調査

変換器及びセンサの外観並びに基板部品の機能等の子細に調査する。

(1) 変換器の調査について

変換器の簡略化した回路図は図 9 のとおりである。

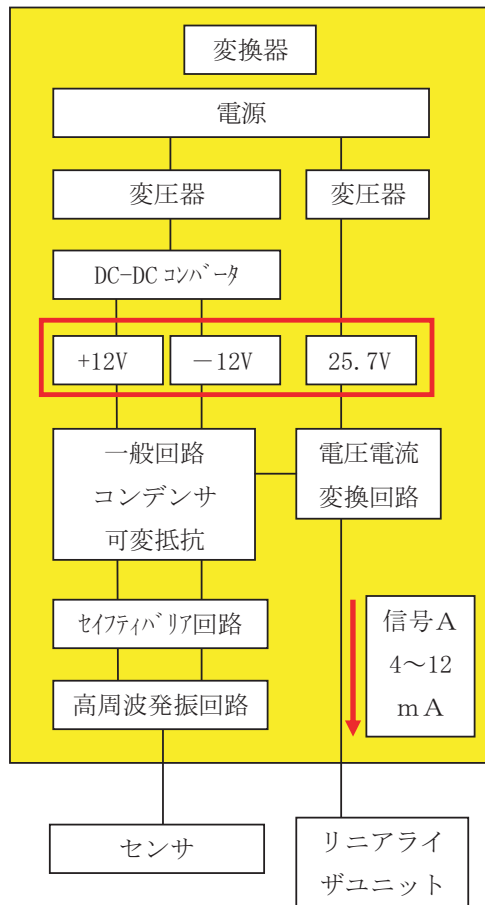


図 9 変換器回路図

ア 回路電圧調査

(ア) 調査内容

基板の回路電圧 (図9 赤枠内) をテスターにより確認する。

(イ) 調査結果

回路電圧は、+12V、-12V、25.7Vのいずれも規定値内であり、異常は認められない。

イ 高周波発振回路の発信波形調査

(ア) 調査内容

高周波発振回路の発振波形をオシロスコープにより確認する。

(イ) 調査結果

発振周波数、振幅とも許容範囲内であり、異常は認められない。

ウ 実装部品調査

(ア) 調査内容

コンデンサの容量が大きいものを抽出し静電容量計により確認する。

また、可変抵抗のボリュームを回し、電圧計により電圧の変化を確認する。

(イ) 調査結果

コンデンサの容量は許容範囲内であり、異常は認められない。

また、可変抵抗のボリュームを回し、電圧を確認するも電圧はスムーズに変化し、異常は認められない。

エ 基板外観調査

(ア) 調査内容

基板を目視によりハンダ不良、異物混入及び破損等がないか確認する。

(イ) 調査結果

ハンダ不良、異物混入及び破損等は認められない。

オ 変換器調査結果

前ア～エの調査結果のとおり、変換器に異常は認められない。

(2) センサの調査について

センサの簡略化した回路図は図10のとおりである。

ア 部品調査

(ア) 調査内容

テスト用コンデンサのスイッチを入れ、電圧差を確認する。

(イ) 調査結果

電圧差は許容範囲であった。

イ 電極絶縁確認 (図11参照)

(ア) 調査内容

検出電極は測定電極及びアース電極

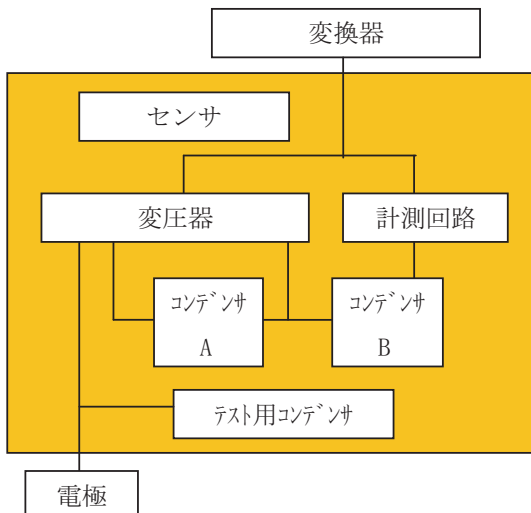


図10 センサ回路図

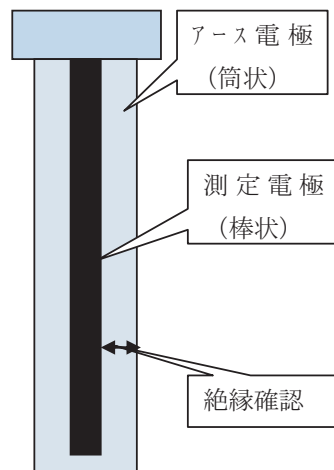


図11 電極構成図

から成り、両者間が絶縁しているか確認する。

(イ) 調査結果

測定電極及びアース電極間は絶縁されており、異常は認められない。

ウ アース電極内部確認

(ア) 調査内容

アース電極内部を目視にて付着物や異物混入を確認する。

(イ) 調査結果

アース電極内部に付着物や異物混入は認められない。

エ 基板外観調査 (図12及び写真3参照)

(ア) 調査内容

基板を目視によりハンダ不良、異物混入及び破損等がないか確認する。

(イ) 調査結果

コンデンサ A とコンデンサ B を中心として綿状の付着物が認められる。さらに、基板の固定ビスの腐食が認められる。

なお、ハンダ不良、破損等は認められない。

オ 基板外観調査結果に基づく再現実験

(ア) 追加調査内容

基板上のコンデンサ A とコンデンサ B を取り巻くように付着物が確認され、基板の固定ビスが腐食していたことから水分の浸入が考えられる。このことから、付着物についても湿っていたものと推定される。

これらを踏まえ、再現実験を行う。ここでは、便宜的に液面計設置時に調整した液面高さ 2,090mm (信号 A 9.3mA、貯蔵量 51,000L) を基準として信号 A の電流値を確認する。

(イ) 追加調査結果

コンデンサ A とコンデンサ B 周辺の基板に脱脂綿を詰め、水で湿らすと変換器からの信号 A の電流値が約 1.6mA 低下する。

カ センサ調査まとめ

8(2)エの調査結果のとおり、コンデンサ A とコンデンサ B を中心として綿状の付着物が認められた。また、この綿状の付着物が湿ることにより、前オのとお

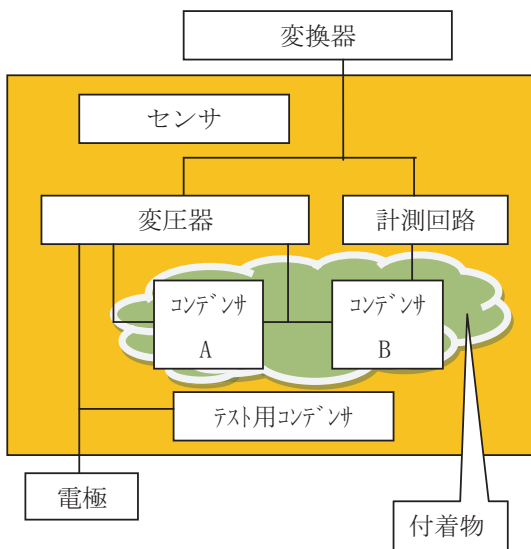


図12 センサ回路図 (付着状況)

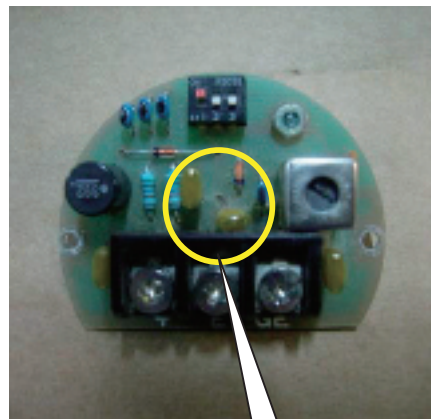


写真3 センサ付着物状況

り信号 A の電流値が大幅に低下することが判明し、このことから、流出事故発生時の液面計表示の減少量と概ね一致することが確認された。

9 付着物の分析

(1) 分析結果

付着物は、繊維状の物質とその一部に粒状の物質が確認された。(写真 4、5 参照)

ア 繊維状物質について

繊維状物質は、網目状に規則性なく交錯しており、個々に若干の撚りが見られ、複雑に絡み合い局所的に結合している。表面は、全体的に凹凸が多く、節のような箇所が随所にみられ、滑らかではない。繊維の幅は、1～5 μm であった。これらを総合的に考えると真菌の菌糸体であると推定される。

天然繊維、動物毛は、繊維の幅が1～5 μm よりも大きく、化学繊維は、表面が滑らかであることからいずれも付着物との類似点は認められない。

イ 粒状物質について

繊維状の物質の一部に見られる粒状物質は、多数集合している球形で窪みが見られ、直径はおよそ2～3 μm である。形状や大きさの特徴からこれらは、胞子

であると推定される。

ウ 繊維状物質及び粒状物質の FT - IR による分析について

FT - IR (化合物分子の赤外線吸収スペクトルを利用して化合物を測定する手法)により、化合物分子を測定した結果、第二級アミド、アセチル基、ヒドロキシル基、エーテル結合等を持つ化合物であった。

第二級アミド、アセチル基、ヒドロキシル基、エーテル結合等は、キチンを含んでおり、真菌類の細胞壁の成分のひとつである。

(2) 分析結果まとめ

繊維状物質及び粒状物質は、菌糸及び胞子であり、真菌類の細胞壁の成分であるキチンを含んでいることから、付着物は「かび」であると推定された。

10 まとめ

調査結果から考察される本件事故発生要因等については、以下のとおりである。

(1) 危険物流出の直接的な要因

本件は、静電容量式液面計の故障に起因し、液面計の誤表示に気付かないまま、地下貯蔵タンクの内容積を超過して灯油を注入し続けたことにより、地下タンク貯蔵所及

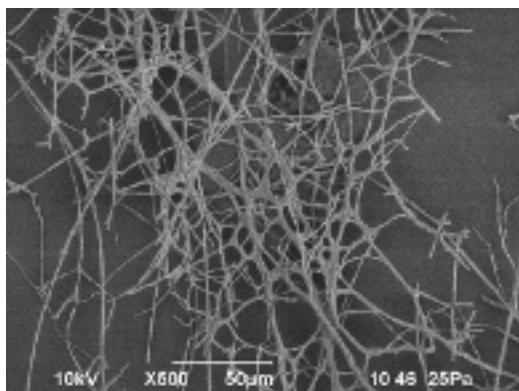


写真 4 繊維状物質

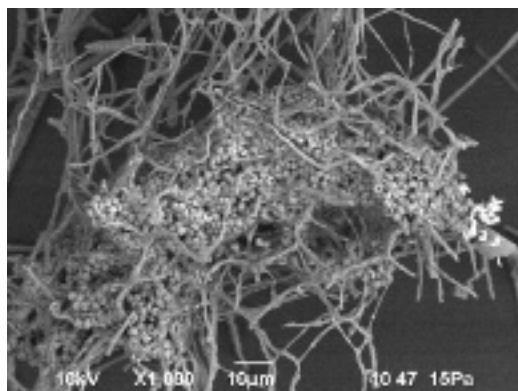


写真 5 粒状物質

び屋内タンク貯蔵所の各通気管から敷地及び敷地に面する河川に灯油が約700L流出したものである。

このことから、設備の不具合について早期に発見、対応していれば防ぐことのできた事故であり、日常における地下タンク貯蔵所の適正な在庫管理、液面計の動作状況についての点検・確認等、危険物施設側の自主保安体制にも問題があったものと考えられる。

(2) 危険物流出の本質的な要因

静電容量式液面計の故障は、センサ基板上に水分を含んだ「かび」が付着したことにより、センサに誤作動が生じたことに起因したものである。

静電容量式液面計の取扱説明書によると、センサについての点検・清掃について、記載がなされている。このことから、「かび」の発生を防ぐことは困難であるものの、危険物施設側において機器の取扱い等について十分に把握し、センサ基板部の点検・清掃を実施していれば防ぐことができた事

故であると考えられる。

(3) 危険物施設関係者に対する指導

前(1)及び(2)の検討結果に基づき、次の内容について危険物施設関係者に対し指導した。

ア 危険物施設の設備を定期的に点検・清掃するなど、危険物の貯蔵・取扱いに関する適正な維持管理について遵守すること。

イ 保安監督者及び危険物取扱者等事業所員に対する自主保安教育を徹底すること。

11 おわりに

本事案ではメーカー等の協力を得て、流出事故原因の特定に至った。メーカーによると、過去に同様の事例はないとのことであり、再発防止策として業界団体に本調査で得られた情報を提供するほか、静電容量式液面計を設置する管内危険物施設の事業者に対して、設備の点検指導を推進することで、当庁管内で類似する危険物流出事故の未然防止を図っていきたい。