



—屋外タンク貯蔵所の開放時における 火災の原因解析— 「Safety&Tomorrow」を読んで

森 新一
(川崎市消防局)

1 はじめに

最近発行された「Safety & Tomorrow」の2004年11月第98号の特集記事「屋外タンク貯蔵所における火災事故の状況」(危険物等事故防止技術センター)を読んで驚いた。昭和54年から平成14年までの24年間に発生した屋外タンク本体にかかる火災の半数近くが、屋外タンクが空の際に発生しているというのである。本考察では独自に得たデータ及び「Safety & Tomorrow」のデータを基に、FTA (Fault Tree Analysis: 欠陥樹表解析) を用いて屋外タンクの開放時における火災について述べたい。

2 残油処理に伴う事故

「Safety & Tomorrow」の示すデータによれば、屋外タンク貯蔵所に係る火災は、この24年間に68件発生しており、これをタンク本体と本体以外の付属設備に分けるとタンク本体に係る火災は67.6%を占め、46件を数える。そして、このうち45.6%の21件はタンクが空の状態の際に発生しているとある。見る角度を変えるとタンクを空にするのは、工事をする為であるから、この21件のタンク火災は何らかの工事中に発生したことは言うまでもない。従って、これらの火災はどれも突き詰めれば火気使用工事安全管理不適、修理作業安全管理不適などに基づくものであると言うことができ、工事に携わる者の安全に対する意識、気配りがあれば防ぎ得た火災だったと言える。

3 残油処理の方法

大規模な屋外タンクは容量、仕様等によって差はあるものの、定期的にタンクを開放し、検査する必要があることは御案内のとおりである。しかし開放に先立ってタンクを空にする為には、貯蔵油の抜き取りを行なう必要があるが、案外その方法については、知られていないというのが実情ではないだろうか。次に最も引火の危険性が高い揮発油、原油を貯蔵している浮き屋根式屋外タンクの残油の抜き取り工程を3例挙げたので御覧いただきたい。

(1) 仮設ポンプ

3例とも残油の抜き出しには、まず付属ポンプを使用して指定タンクに残油をシフトし、その後仮設ポンプを用い底板近くの残油を抜き出している。仮設ポンプにはウォシントンポンプ等のタイプのものを用い、水切りノズルを抜き出し口としている。後にも触れるが開放を間近に控えた浮き屋根式屋外タンクはどれも底部には水切りノズルのレベル以上に水が溜まっており、仮設ポンプにより抜き出す際には水、油混交で扱うことになる。

(2) 軽油相当油の張り込み

表-1に示した一例目のAタイプは市内にある事業所(製油所)の揮発油を貯蔵する浮き屋根式屋外タンクの残油処理工程である。この処理工程の特徴は表中の「5」に示したようにLGO(軽油相当油)をタンク内に張り込むことといえる。LGOをタンク内に張り込むことによって、細部に若干量残ってい

る揮発油やそのベーパーを取り込む作業を行なっている。この事業所では当該作業を行ないタンク内の可燃性ガス濃度を1.4%以下にすることとし、その後、当該事業所は表中の「6」に示すように屋根板、側板のマンホールを開放してガスフリーとし、素面での入槽作業は可燃性ガス濃度0.05%未満、酸素濃度20%以上、硫化水素10ppm以下等としている。

(3) タンク内のガスフリー化

表-2に示したBタイプ(製油所)の揮発油を貯蔵する浮き屋根式屋外タンクの残油処理工程の特徴は、Aタイプとの比較ではあるがLGOをタンク内に張り込むという工程を行っていないことである。残油、水を抜き取り後、屋根マンホール、側板マンホールを開放しガスフリー化を図っている。表-4にBタイプにおける残油抜き取り後のガスフリー化のデータを示した。この例によると残油の抜き取り直後にガス濃度がLEL%で100であったものが、約18時間後には25%、…、約42時間後には0%となっている。タンクの大きさや測定条件等は表-4に併せ記したので御参照いただきたい。

(4) シンプルな残油処理方法

表-3に示すCタイプ(油槽所)は原油を貯蔵する浮き屋根式屋外タンクの例である。Cタイプの特徴は、Bタイプを更にシンプルにしたことである。AタイプやBタイプのようにタンク内に水を張り込んで行なう洗浄工程が、Cタイプにはなく、浮き屋根式の屋外タンクの底板上には元々雨水等が溜まっていることから、わざわざタンク内に水を張り込むようなことはしないという考え方である。また仮設ポンプで底板近くの油が水が混じっていても構わずに上層の油と同じ送り先のタンクにシフトする。なお、このCタイプの例は原油の残油処理工程を示したことから、LGOを用いてタンク内を洗浄している。これはあくまでも原油の重質油分を取り除くという洗浄目的で用いているものであり、揮発油タンクの場合にはLGOを用いることはない。事業所担当者の説明では、残油の除去後マンホールを開放しタンク内のガスフリー化を図るが、タンクの大きさにより差はあるものの、48~72時間で可燃性ガス濃度はLEL%で0を示し、LEL%0を以って入槽許可を出していると言う。

<表-1>

Aタイプ(製油所)・浮き屋根式屋外タンク残油処理工程例(揮発油)	
1	開放予定タンクの残油をメインポンプにて指定タンクへシフトする。
2	シフト後、配管内の滯油をローリーに回収し、回収完了後、配管に仕切板を取り付ける。
3	払い出しノズルから引けないタンク底部の残油を水切りノズルから仮設ポンプ、仮設配管を使用し、指定タンクへシフトする。
4	水切りノズルからも引けなくなった水、残油がタンク底部に残るが、これの抜き取りは予備ノズルにホースを接続し、タンク内に水(工水)を深さ十数cm張り込み、残油を水に浮かせ仮設ポンプ、仮設配管を使用して浮上油はスロップタンクに回収し、水はオイルセパレーターへ送る。(この浮上油処理を3回実施)
5	浮上油処理が完了後、水を再び浮き屋根の位置まで張り込み、気相部にあるベーパーをバージする。この状態で更にLGO(軽油相当油)をタンクのレベルで100~200mm張り込み、LGOに残留揮発油を吸収させる。
6	水切りノズルから水抜きし、レベルが少し下がった時点で、タンク内気相部のH/Cガス濃度を計測し、1.4%以上の場合には再度LGOをタンクに張り込む。(H/Cガス濃度が1.4%未満になるまでこの操作を行なう)
7	張り込んだ水及び揮発油を吸収したLGOを水切りノズルから仮設ポンプ、仮設配管を使用し、LGOはスロップタンクに回収し、水はオイルセパレーターに送り処理する。
8	水切りノズルから引けなくなった時点で、マンホールを開放、ホースを挿入し、バキューム車又は仮設ポンプにて底部に残留する水、浮遊LGOを抜き出す。
9	各マンホールを開放し、ベーパー濃度、酸素濃度、硫化水素濃度を測定する。入槽条件を満たした時点で、タンク内への立ち入りを許可する。
10	タンク内の最終クリーニング(水洗、ウェス拭き)作業実施。

<表-2>

Bタイプ（製油所）・浮き屋根式屋外タンク残油処理工程例（揮発油）	
1	開放予定タンクの残油をメインポンプにて指定タンクへシフトする。
2	シフト完了後、配管内の滯油を仮設ポンプによりローリーへ回収し、回収完了後、配管に仕切板を取り付ける。
3	払い出しノズルから引けないタンク底部の残油を水切りノズルから仮設ポンプ、仮設配管を使用し、指定タンクへシフトする。
4	水切りノズルからも引けなくなった水、残油がタンク底部に残るが、これの抜き取りは予備ノズルにホースを接続し、タンク内に水（工水）を深さ十数cm張り込み、残油を水に浮かせ仮設ポンプ、仮設配管を使用し、浮上油は廃油ローリーに回収し、水はオイルセパレーターへ送る。（この浮上油処理を2回実施）
5	浮上油処理が完了した時点で水を再び浮き屋根の位置まで張り込み、気相部にあるペーパーをパージする。パージ後、張り込んだ水はオイルセパレーターに送り処理する。
6	側マンホールを開放し、マンホールからタンク内にホースを入れ、残留水を抜き出す。
7	各マンホールを開放し、ペーパー濃度、酸素濃度、硫化水素濃度を測定する。入槽条件を満たした時点で、タンク内への立ち入りを許可する。
8	タンク内の最終クリーニング（水洗、ウェス拭き）作業実施。

<表-3>

Cタイプ（油槽所）・浮き屋根式屋外タンク残油処理工程例（原油）	
1	開放予定タンクの残油をメインポンプにて指定タンクへシフトする。
2	払い出しノズルから引けないタンク底部の残油を水切りノズルから仮設ポンプ、仮設配管を使用し、指定タンクへシフトする。
3	シフト完了後、配管内の滯油を仮設ポンプによりローリーへ回収し、回収完了後、配管に仕切板を取り付ける。
4	水切りノズルからも引けなくなった水、残油がタンク底部に残るが、これの抜き取りは予備ノズルにホースを接続し、タンク内に水（工水）を深さ十数cm張り込み、残油を水に浮かせ仮設ポンプ、仮設配管を使用し、浮上油と水を共に指定タンクにシフトする。
5	側マンホールを開放し、マンホールからタンク内にホースを入れ、残留水を抜き出す。
6	側板マンホール、屋根マンホールを開放し、ペーパーを抜く。
7	ペーパー濃度、酸素濃度、硫化水素濃度を測定する。入槽条件を満たした時点で、タンク内作業を許可する。
8	LGO（軽油相当油）を用い友洗し、重質油分を除去する。汚れたLGOは他の原油タンクへシフトする。（原油、C重油のタンクの場合のみLGOを用いて洗浄する）
9	タンク内の最終クリーニング（水洗、ウェス拭き）作業実施。

<表-4>

<FRタンク>

直径：25,180mm、高さ：21,285mm、容量：9,600kl
 貯蔵油種：第4類第1石油類 ガソリン
 開放時浮き屋根の位置：底板上面から1,700mm

屋根マンホール：φ600mm×1箇所
 側板マンホール：φ750mm×2箇所

測定日：16年7月12日 気温：34℃ 湿度：62%

15:30測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	12%	12%	—
可燃性ガス	100 LEL%	100 LEL%	—

測定日：16年7月13日 気温：34℃ 湿度：43%

08:40測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	21%	21%	21%
可燃性ガス	25 LEL%	15 LEL%	25 LEL%

10:00測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	21%	21%	21%
可燃性ガス	5 LEL%	5 LEL%	5 LEL%

13:00測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	21%	21%	21%
可燃性ガス	5 LEL%	5 LEL%	5 LEL%

測定日：16年7月14日 気温：27℃ 湿度：55%

09:00測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	21%	21%	21%
可燃性ガス	0 LEL%	0 LEL%	0 LEL%

13:00測定	側板M/H・1	側板M/H・2	屋根M/H
酸素	21%	21%	21%
可燃性ガス	0 LEL%	0 LEL%	0 LEL%

*1 昼間は3箇所のM/Hを開放し、夜間は事故防止のため側板M/Hを閉鎖した。

2 側板M/H-1、2の測定データは、M/Hから約2m内側、屋根M/Hの測定データは、M/H直下底板上の位置で計測した。

4 製油所・油槽所の現状

(1) 製油所の現状

Aタイプ、Bタイプの残油処理工程で示すように、製油所は、タンク内に張り込んだ後の水を比較的容易に処理できるオイルセパレーターを事業所内に所有していること、そしてタンク内に極少量残っている揮発油を処理する為の軽油相当油の張り込みができ、使用後の油を受け入れるスロップタンクも有していることなど設備的に恵まれた環境にある。

(2) 油槽所の実情

3例の残油処理工程を御覧になってお分かりいただけたかと思うが、油槽所などにおいては、タンク内に水を張り込めたとしても、その水を処理するオイルセパレーターを持っておらず、またどの事業所においても言えることだが、保有するタンク数に余裕はなく、特に油槽所ではスロップタンクを所有していないというのが普通だろう。従って残油を他のタンクにシフトする際は、Cタイプで行なわざるを得ない現実がある。

今回、Cタイプで示した例は原油処理の場合であるが、揮発油の場合でも、底板近くの水を一緒に送ってしまうような残油も、タンクの上層、中層の油同様、全て同油種のタンクに送り、油に混じって送られた水はシフト先のタンク内で沈降させ水抜きノズルから抜き出している。

5 残油処理の問題点

ここでもう一度、表-1、2、3を御覧いただきたい。タンク開放に当たって、製油所、油槽所ともにタンクの下層にある油もタンク上層・中層の油と同様に他の同油種タンクにシフトするが、底板に極めて近い部分の残油や底板上に溜まっている水については、製油所においては残油をスロップタンクに送り、水はオイルセパレーターへ送っている。一方、油槽所では

底板に極めて近い部分の残油、そして水についても関係なく指定の同油種タンクにシフトしている。3タイプともそれぞれ残油の処理方法は異なるが、気になる点で共通する点の一つある。Aタイプ、Bタイプでは「5」の段階で、Cタイプでは「6」の段階でタンク内のペーパーを大気に放散しているという点である。この作業を実施する際には当該タンクの安全管理だけでなく、タンクの周辺を含めた火気管理、作業管理が確実に行なわれることが求められ、これらが行なわれて初めて安全が保たれる訳であり、隣接事業所を含めたトータルな安全管理が確実に行なわれることが必要である。

6 残油処理時における事故のFTA解析

(1) 残油処理時における着火原因

「Safety & Tomorrow」のデータでは、タンクが空の状態が発生した火災21件の着火源別の内訳は、工事等火気によるものが15件、ユニック車の電気火花、照明プラグ電気火花、塗装機スイッチの電気火花が各1件の計3件、静電気火花1件、酸化、重合熱2件となっている。今回、これらデータを基にし、頂上事象として「タンク火災」を当てはめFTA解析を試みることにした。

(2) タンク火災の原因別分類

FTA解析ではタンクが空の状態、何らかの工事中に発生した21事例の火災を着火源別に大きく3つに分類した。1番目は電気プラグからの火花について、「FTA-1」により、2番目は工事等火気、塗装機スイッチの電気火花、ユニック車等内燃機の火花について、「FTA-2」により、3番目は静電気火花、酸化・重合熱について、「FTA-3」により解析してみた。そして4番目には何故そこに可燃性蒸気が存在したのかについて、「FTA-4」により解析した。ここで各FTAを御参照いただきたい。

(3) 「FTA-1」について

頂上事象は勿論「タンク火災」である。電気差し込み部から何故火花が生じ、頂上事象に至ってしまったかについて解析したものである。結果的にタンク火災に至ったのであるから、そこには燃焼範囲内の可燃性蒸気が存在したことは明白である。このことについては「FTA-4」で別途解析している。

作業者は電気プラグから火花が生じようなどとは思いません、また可燃性蒸気がそこに出現するなど想像すらもせずにいた。従って電気プラグの設置位置等には注意を払っていない。もし電気プラグの位置が地上から高い位置であったり、防油堤外にあったなら事故は発生しなかった可能性もあるが、結果的に可燃性蒸気の滞留しやすい、つまり風通しの良くない、低い位置に設けてしまった。このような場所的な制約を満たして、結果的にプラグからの火花は着火源となってしまった。この火源は移動しないという特徴を持つ。

(4) 「FTA-2」について

ここでは工事等の火気、塗装機スイッチの電気火花、ユニック車等内燃機の火花を火源として解析している。御覧のとおり比較的シンプルなFT図となっている。FT図の最下段に家型の事象が三つ並んでいる。これらは通常事象といい、通常の状態システム上に発生し得る事象を表している。つまり行為者は火気工事に火気を用いることは、それらが火源になり得ると承知しているが、可燃性蒸気のない環境においては、普通の行為であり必要とされる事象だからである。問題とすべきは、安全管理者が火気の使用時期を誤って、火気を使用できる状況ではないにもかかわらず火気を着火源として存在させてしまうことである。

(5) 「FTA-3」について

火源は酸化・重合反応による発熱と静電気

火花である。酸化・重合反応についてはタンク内の清掃不良、或いは清掃はしたがスラッジの入った袋を放置した事が原因に挙げられる。一方、静電気火花については根本原因としては静電気対策の不徹底が考えられる。

(6) 「FTA-4」について

ここでは可燃性蒸気の存在について解析している。FT図を御覧いただくとお分かりだろうが、可燃性蒸気に対する安全対策についても検討をしている。つまり可燃性蒸気が発生したとしても事前にガス検知器を設置していたら、タンク火災に至る前に対処できたのではないか、周囲に養生をしていたら可燃性蒸気の流入は防げたのではなかったかということである。可燃性蒸気そのものについては当該開放タンクからの可燃性蒸気流出、周辺タンクからの可燃性蒸気流入、そして可燃性蒸気が新たに発生した場合に分けて解析してみた。

7 FTAによる解析結果

FTAによる解析結果を4つのFT図毎にまとめてみた。タンク火災に至った根本的な欠陥事象と考えられるレベル1、具体的な欠陥事象についてはレベル2、そして更に具体的な欠陥事象をレベル3に示した。

<FTA-1>

欠陥事象	
レベル1	安全教育不徹底、安全管理の不徹底
レベル2	不用意なプラグの引き抜き、プラグの抜け落ち防止措置なし、乱雑な配線、器具・機器の維持管理不良、雨天・水濡れ対策なし

<FTA-2>

欠陥事象	
レベル1	安全教育不徹底、安全管理の不徹底
レベル2	火気使用時期の判断誤り、作業基準不適切

先にも述べたが、火気が必要な工事において火気を使用すること、ユニック車等の重機を使

用することは、事故原因の一つには当たるが、ではその行為が問題なのかと言えば、そのようなことはなく欠陥事象とは言えない。従って、この場合においてタンク火災を防止するには、そこに可燃性蒸気を存在させないことは勿論であるが、火気等を用いる工事の際、その工事が実施できる状況なのか否かの適切な判断が要求されている。

<FTA-3>

欠陥事象	
レベル1	安全教育不徹底、安全管理の不徹底
レベル2	スラッジの堆積、スラッジの放置 教育不足、指示不適、静電気対策不適
レベル3	タンク内の洗浄不良、スラッジの処理不適 静電気に対する措置不良

<FTA-4>

欠陥事象	
レベル1	安全教育不徹底、安全管理の不徹底
レベル2	指示不適、教育不足、連絡体制の不備、安全知識の欠如 周囲養生なし、ガス検知器の設置なし
レベル3	タンク内に可燃性蒸気存在、不用意なマンホール開放 可燃性蒸気流出の周知・連絡なし タンク内の溶剤による再洗浄、対可燃性蒸気の安全対策なし

FT図の最下段に家型の事象が三つある。「タンクを開放し残油抜き取り」、「危険物受け入れ等の取り扱い」、「タンク内に残ったタール分等除去」は通常事象であり、これらも欠陥事象とは言えない。問題になるのは、これらに対する措置、対応に欠陥があったか否かである。

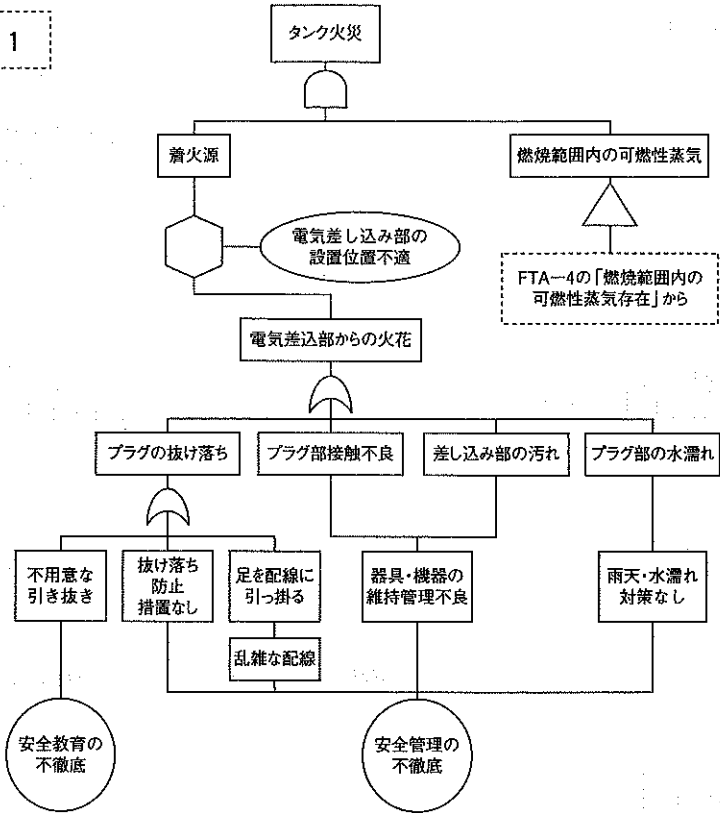
8 結論

タンク開放の方法・手順等を調査して得たデータ及び「Safety&Tomorrow」のデータを基にFTA解析した結果から、次に示す11点がタンク開放時における火災防止の基本であることが分かった。これを見ると今さらという結果ではあるが、このことは逆に基本的な決め事、手順を遵守し、対策を講じればタンク火災は発生

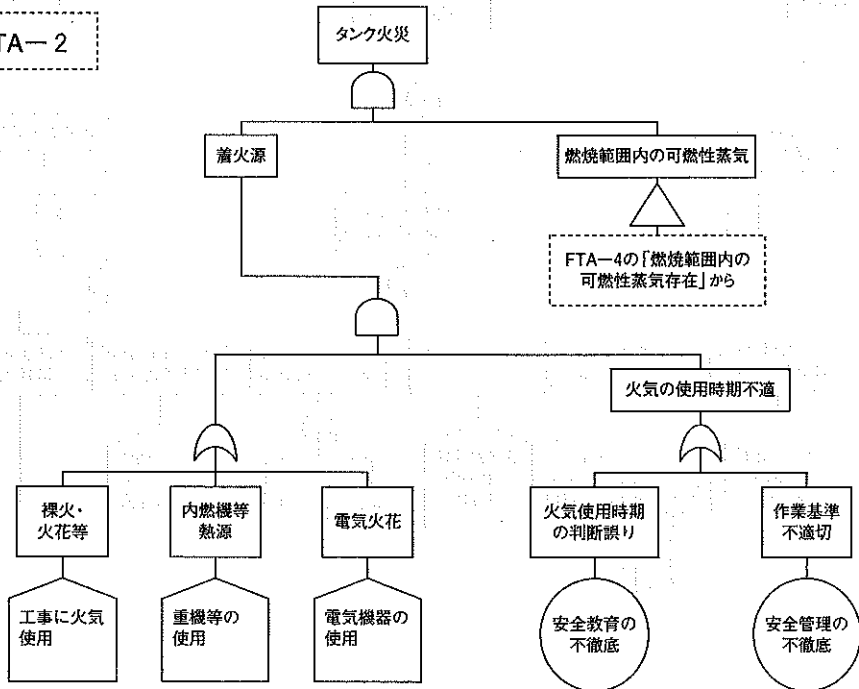
しないということの証明とも言えるのではないかと考える。

- (1) タンクから残油を抜き取り後、タンク内に可燃性蒸気が残ることとなるが、この可燃性蒸気を処理するのに時期や状況を考慮するものの、結果的に大気に放出させている現実があること。
- (2) 上記(1)の可燃性蒸気を大気に放出することなく、灯油、軽油を用いて吸着する方法があること。また、併せてこの方法はタンク内に付着したタール分の除去にも有効であること。
- (3) タンク内の可燃性蒸気はマンホールを開放するだけで、想像以上に早く消失してしまうこと。(タンクの大きさが大きく影響する)
- (4) 可燃性蒸気は想像以上に早く拡散するが、逆に条件が揃えば思いの外早く移動し、滞留する危険性があること。
- (5) 工事において火気を使用する、重機を使用するなどの場合は、絶対的に可燃性蒸気存在は排除しなければならないこと。
- (6) タンクの工事現場においては整理整頓、清掃後のスラッジ処理、使用機材の維持管理は火災の防止につながる。
- (7) 静電気には十分に配慮し、静電気は常に発生するものと考えて安全対策を講じる必要があること。
- (8) 作業員への適切な指示、縦・横の連絡周知体制の確保、作業員・従業員の安全知識は火災予防の基礎を成していること。
- (9) ガス検知器、タンク周囲の養生措置を有効に活用すべきであること。
- (10) 可燃性蒸気は作業内容によっては新たに生じる場合もあること。
- (11) 事業所の安全管理、安全教育の徹底は、全ての場合において火災防止措置の根幹であること。

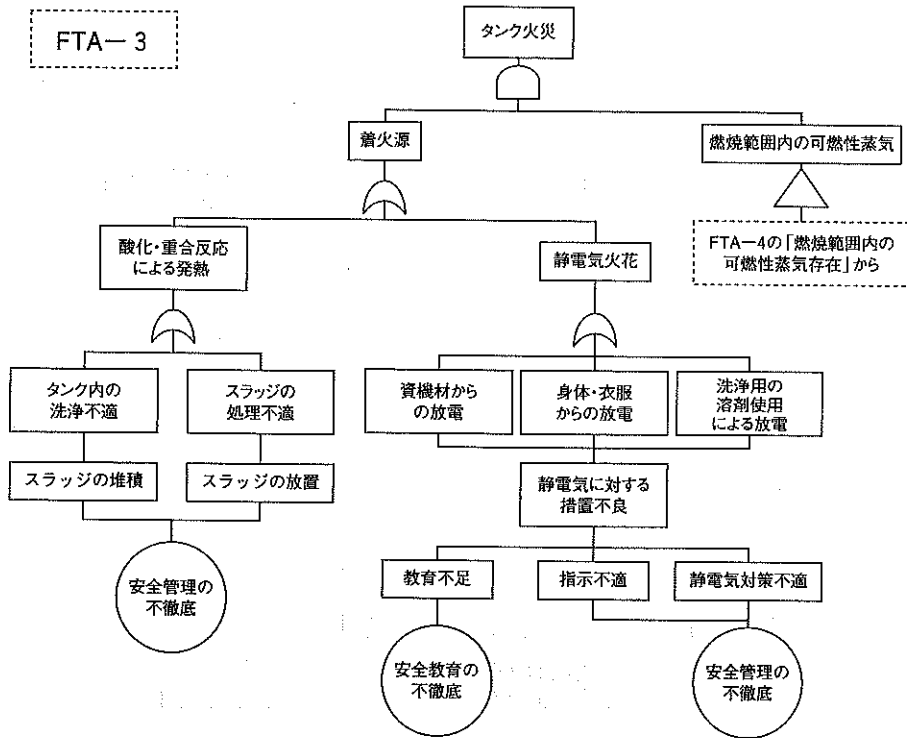
FTA-1



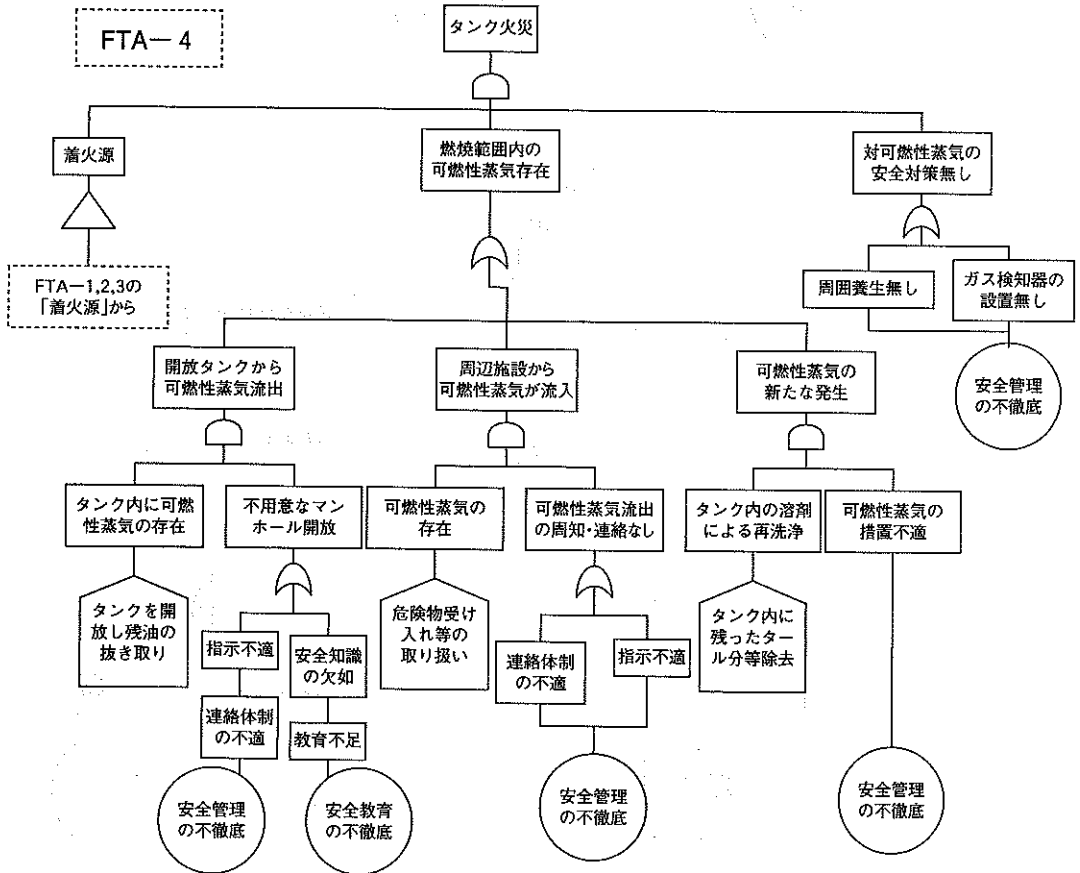
FTA-2



FTA-3



FTA-4



9 おわりに

平成15年に名古屋市内の油槽所で発生した屋外タンク開放時における火災では、6名もの尊い命が失われた。私の所属する川崎市消防局は当該火災の発生原因、経緯に強い関心を持ち、名古屋市消防局に現場視察をお願いしたところ快諾いただき、発災現場に向かうこととなった。私が発災現場を訪れた時には事故発生から数ヶ月が経過していたが、名古屋市消防局の方から説明を聞き、火災の傷跡を目の当たりにするとその悲惨さがひしひしと感じられた。何故火災が発生してしまったのか、火災は防げなかった

のか、それ以来、屋外タンク火災の記事を見るにつけ、この火災のことを考えてしまう。

今回の考察は、過去24年間に発生した屋外タンク火災のうち、タンクが空の状態が発生した21件の事例を取り扱ったに過ぎないが、この結果を基に当市内で年間に数十基行なわれるタンクの開放が、安全に行なわれ火災、事故等なく無事に再びオイルインできたなら、これほど喜ばしいことはない。また、この考察を読んでもくださった方のお役に如何ばかりかでも立ったとしたら大変嬉しい。

