

## 消防庁長官賞

## 深刻度評価指標に基づく重大事故の発生防止について

難波 真生 (川崎市消防局)

## 1 川崎市について

川崎市は、神奈川県北東部に位置し、北は東京都、南は横浜市に隣接し、多摩川に沿って南東から北西へ伸び、その最長距離は33.13kmにわたる細長い地形となっている。ここ最近では、武蔵小杉駅の周辺の開発とともに、市内の人口が150万人を超え、大都市として発展してきている都市である。

また、東京湾に接する臨海部では、明治時代から埋立てが進められ、石油、鉄鋼、化学、セメント、電力等の産業が集積され、昭和30年代後半になると、石油化学系の工場が建設、操業され、国内初の石油化学コンビナートのひとつとして形成してきた。そして、昭和50年に制定された石油コンビナート等災害防止法により、横浜市及び当市臨海部22.757km<sup>2</sup>の区域が、京浜臨海地区として石油コンビナート等特別防災区域に指定され、当市内の区域には50もの特定事業所が存在し、その業態も多岐にわたっている。

## 2 危険物施設における火災・流出事故に係る深刻度評価指標

危険物施設の事故件数は平成6年頃を境に増加傾向となり、平成19年をピークに高止まりの傾向にあることから、重大事故の発生防止を目標として掲げると同時に、より効果的な取組を実施することを目的とし、平成28年に消防庁危険物保安室より「危険物施設における火災・流出事故に係る深刻度評価指標について」(平成28年11月2日付消防危第203号)が発出された。その内容は、火災事故は人的被害指標、影響範囲指標及び収束時間指標について深刻度レベルを1~4に分類し、また流出事故は人的被害指標、流出範囲指標及び流出量指標について同様に深刻度レベル1~4に分類を行い、1つ以上の評価指標でレベルが1となる事故については重大事故、全ての評価指標についてレベルが4となる事故については軽微な事故と定義したものである。(表1、2)

今回は、市内で発生した過去20年の事故について、深刻度評価を実施し、重大事故について発生状況の傾向を調査するとともに、当市の附属機関である川崎市コンビナート安全対策委員会で審議した資料を基に、重大事故の発生防止について検討する。

表1 深刻度評価指標 (火災事故)

＜人的被害指標＞		＜影響範囲指標＞ <sup>※1</sup>		＜収束時間指標＞ <sup>※2</sup>	
深刻度レベル	内容	深刻度レベル	内容	深刻度レベル	内容
1	死者が発生	1	事業所外に物的被害が発生	1	4時間以上
2	重症者または中等症者が発生	2	事業所内の隣接施設に物的被害が発生	2	2時間以上～4時間未満
3	軽症者が発生	3	施設装置建屋内のみに物的被害が発生	3	30分～2時間未満
4	軽症者なし	4	設備機器内のみに物的被害が発生	4	30分未満

※1 移動タンク貯蔵所が荷卸し先等の事業所内に在る場合、「事業所」を「当該移動タンク貯蔵所が在る事業所」と読み替える。

※2 収束時間は事故発生から鎮圧までの時間とする。事故発生日時が不明の場合は、事故発見から鎮圧までとする。

表2 深刻度評価指標 (流出事故)

＜人的被害指標＞ <sup>※1</sup>		＜流出範囲指標＞ <sup>※2</sup>		＜流出量指標＞	
深刻度レベル	内容	深刻度レベル	内容	深刻度レベル	内容
1	死者が発生	1	河川や海域に危険物が流出する等、事業所外へ広範囲に流出	1	流出・漏えいした「危険物」の指定数量倍数(合計)が10以上
2	重症者または中等症者が発生	2	事業所周辺のみ流出 <sup>※3</sup>	2	(同上)が1以上～10未満
3	軽症者が発生	3	事業所内への隣接施設へ流出	3	(同上)が0.1以上～1未満
4	軽症者なし	4	施設装置建屋内のみで流出	4	(同上)が0.1未満

※1 交通事故による死傷者は除く。

※2 移動タンク貯蔵所が荷卸し先等の事業所内に在る場合、「事業所」を「当該移動タンク貯蔵所が在る事業所」と読み替える。

※3 事業所敷地境界線から100m程度の範囲にとどまるもの。また、流出範囲の記載のない場合は事業所外に流出量100L程度。

### 3 市内の危険物事故発生状況

市内の危険物施設数については、20年前から減少傾向にあり、平成9年には5,736件あった施設が、平成28年には4,452件まで減少している。一方、危険物事故の件数は、年々推移はあるものの、平成9年～18年の10年間の平均は10.1件で、平成19年～28年の10年間の平均は14件であり、増加傾向であることが確認できる。その中で、事故の発生区域に着目すると、市内で発生している事故のうち、8割を超える件数が特別防災区域内で発生しており、これはコンビナートを抱える、当市の大きな特徴であると考えられる。(図1)

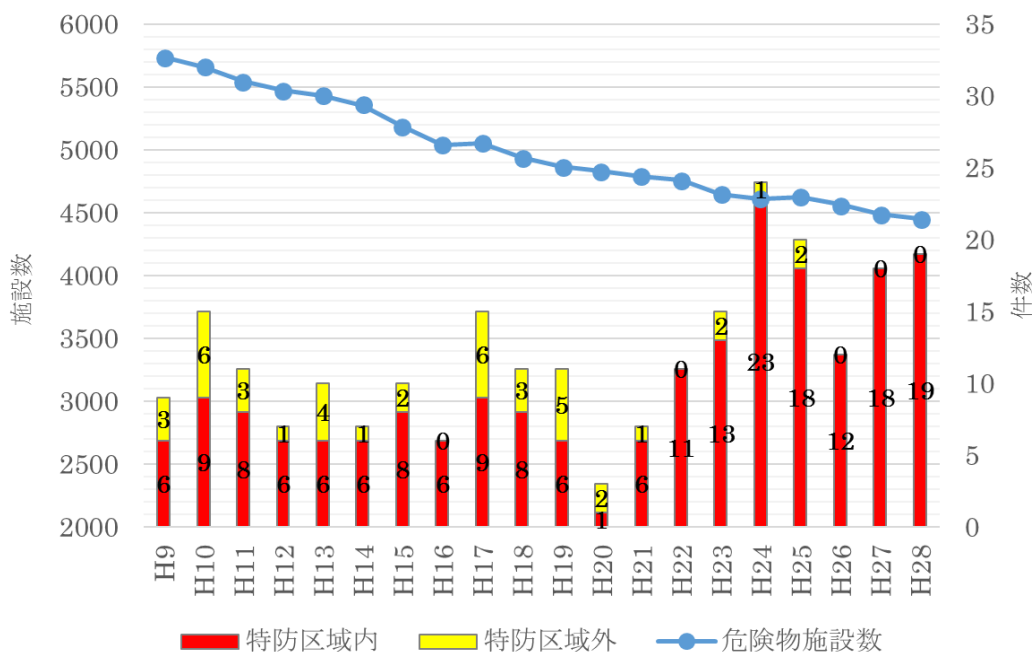


図1 危険物施設数と危険物事故件数

### 4 火災事故の評価

市内の過去20年における危険物施設の火災事故76件について、深刻度評価を行ってみると、人的被害指標については、レベル1の事故となる死者が発生した事例はなく、レベル2の事故が3件(4%)発生したのみであり、70件(92%)が負傷者なしのレベル4の事故に治まっていた。(図2(1)、表3)

影響範囲指標については、事業所外に被害が発生したレベル1となる事故が7件(9%)発生していた。設備機器内のみで被害が収まったレベル4の事故は、43件(57%)となっている。(図2(2)、表3)

収束時間指標については、事故発生から鎮圧までの時間が4時間以上掛かったレベル1となる事故が4件(5%)発生しており、収束時間が30分未満のレベル4の事故は33件(43%)で全体の43%と、収束時間は比較的長くかかる傾向にあり、一般火災と比べて危険物火災の防御の難しさが推察される。(図2(3)、表3)

事故の発生推移をみると、毎年5件前後の火災事故が発生しており、重大事故は過去20年において10件(13%)発生し、深刻度評価指標では事業所外に物的被害が発生する影響範囲指標により重大事故になっていることが最も多い。(図2(4)、表3、4) 全国の過去20年の火災についての重大事故の発生率が6.8%に対し、当市では約2倍の割合で重大事故が発生しているが、これもコンビナートが存在することが要因であると推察される。

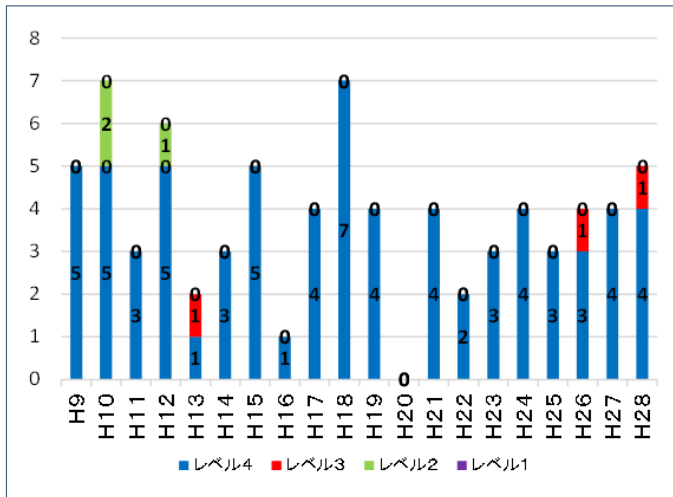


図2 (1) 火災事故 (人的被害指標)

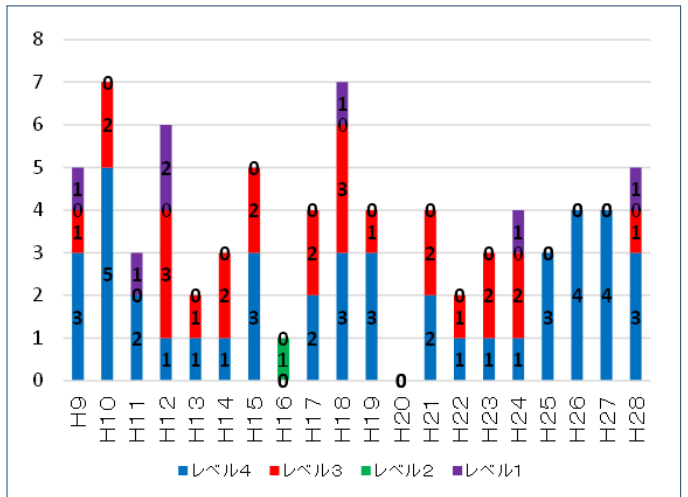


図2 (2) 火災事故 (影響範囲指標)

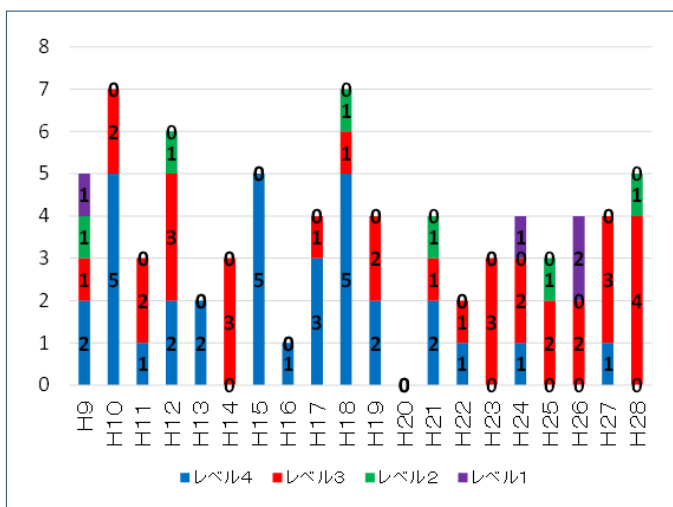


図2 (3) 火災事故 (収束時間指標)

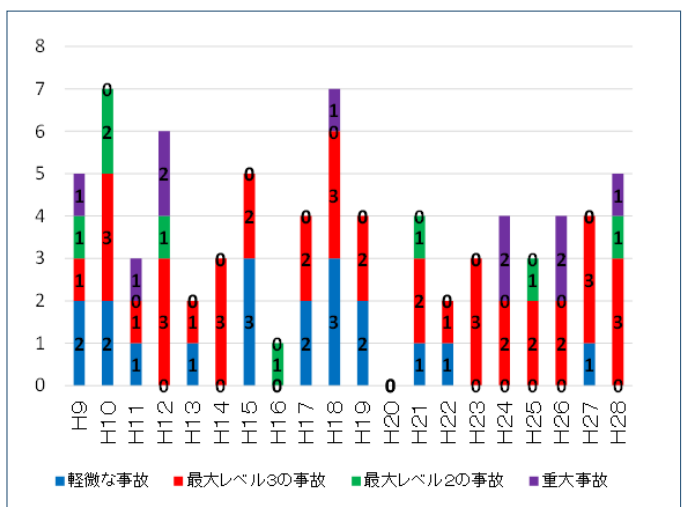


図2 (4) 火災事故 (重大事故等の推移)

表3 過去20年の指標別における各深深刻度レベルの発生件数 (火災事故)

	レベル1		レベル2		レベル3		レベル4		合計 件数
	件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合	
人的被害	0	0%	3	4%	3	4%	70	92%	76
影響範囲	7	9%	1	1%	25	33%	43	57%	
収束時間	4	5%	6	8%	33	43%	33	43%	

表4 過去20年で発生した事故の評価結果 (火災事故)

重大事故		レベル2の事故		レベル3の事故		軽微な事故	
件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合
10	13%	8	11%	39	51%	19	25%

### 5 流出事故の評価

市内の過去20年における危険物施設の流出事故146件について深刻度評価を行ってみると、人的被害指標については、レベル1の事故となる死者が発生した事例はなく、137件(94%)が負傷者なしのレベル4の事故に治まっていた。(図3(1)、表5)

流出範囲指標については、事業所外に広範囲に流出したレベル1となる事故が12件(8%)発生していた。施設装置建屋内のみで流出が収まったレベル4の事故は111件(76%)となり、これは防油堤や囲い等の流出拡大防止のための設備が、機能していたものと推察される。(図3(2)、表5)

流出量指標については、流出した危険物の倍数が10倍以上となったレベル1となる事故は4件(3%)に留まっている。また、流出した危険物の倍数が0.1倍未満となったレベル4の事故は97件(66%)であり、これは発見から早い段階で流出箇所の処置ができた事故が多かったことによるものと推察される。(図3(3)、表5)

事故の発生推移をみると、平成21年までは年間5件前後で留まっていたものの、平成22年以降は年間10件前後に増加していることが確認できる。重大事故は過去20年において15件(10%)発生しており、流出範囲指標により重大事故になっていることが最も多く、詳細を調べると、河川、海域への流出だけでなく、埋設配管等からの流出により、事業所外へ広範囲にわたった事故もあった。(図3(4)、表5、6) 全国の過去20年における重大事故の発生率が32.2%に対し、当市では約3分の1の割合に重大事故の件数が治まっているが、これは上に記したとおり、流出の拡大防止や早期に処置対応できた事故が多かったためと考えられる。

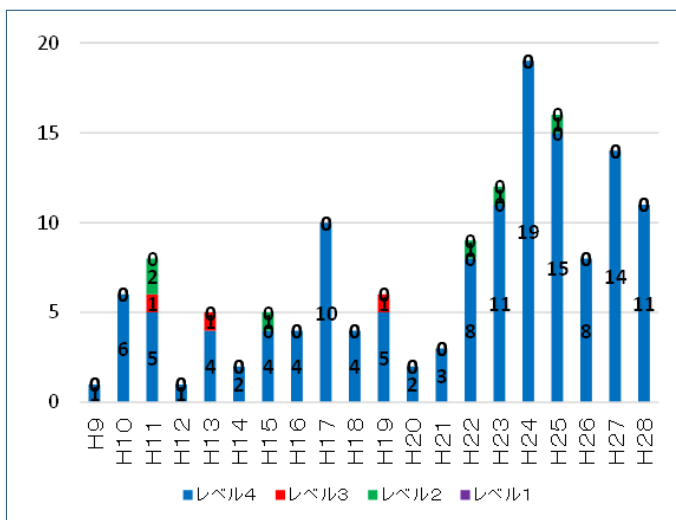


図3(1) 流出事故 (人的被害指標)

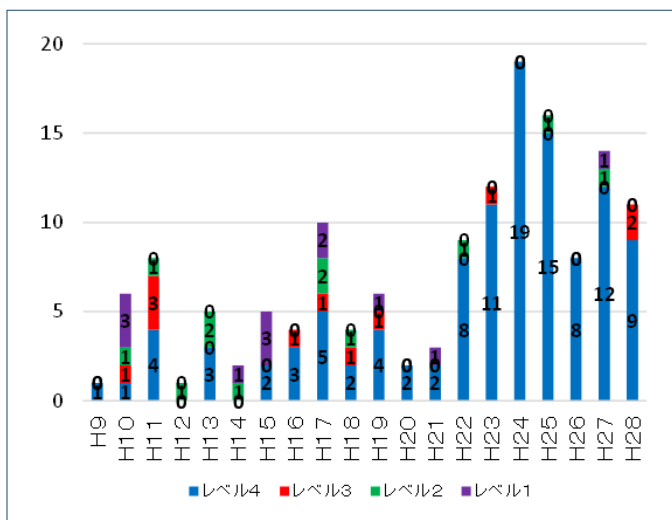


図3(2) 流出事故 (流出範囲指標)

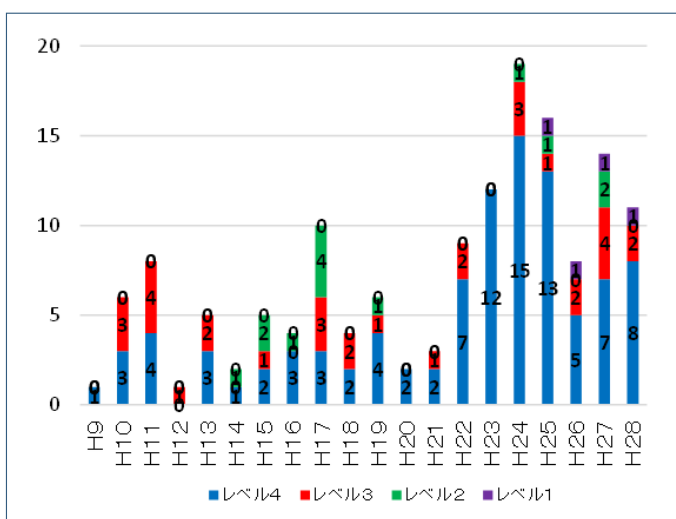


図3(3) 流出事故 (流出量指標)

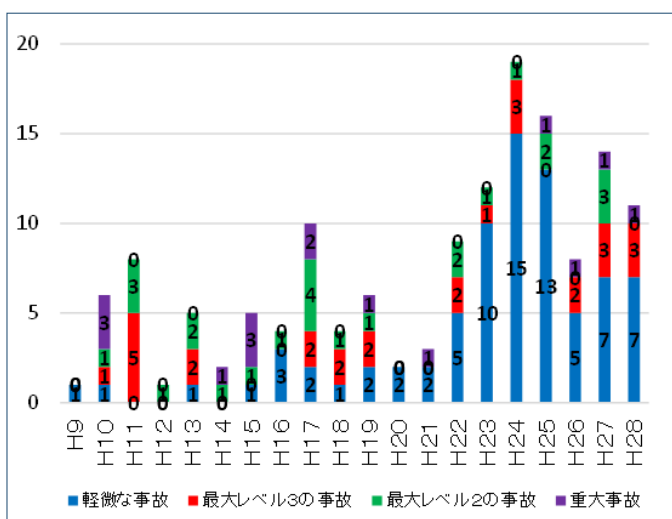


図3(4) 流出事故 (重大事故等の推移)

表5 過去20年の指標別における各深刻度レベルの発生件数（流出事故）

	レベル1		レベル2		レベル3		レベル4		合計 件数
	件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合	
人的被害	0	0%	6	4%	3	2%	137	94%	146
流出範囲	12	8%	12	8%	11	8%	111	76%	
流出量	4	3%	13	9%	32	22%	97	66%	

表6 過去20年で発生した事故の評価結果（流出事故）

重大事故		レベル2の事故		レベル3の事故		軽微な事故	
件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合
15	10%	25	17%	28	19%	78	53%

## 6 重大事故及びレベル2の事故における施設別の発生状況

これまで集計した火災事故、流出事故の重大事故25件及びレベル2の事故33件について、施設別件数について調査したところ、火災事故については一般取扱所での事故が9件と最も多く、次に製造所が5件と続いている。このことから、レベル2以上となる火災は危険物の貯蔵中より取扱い中に発生していることが多いと推察される。

流出事故については一般取扱所での事故が14件、次に屋外タンク貯蔵所で8件と続いている。屋外タンク貯蔵所は貯蔵量が多く、一旦流出した場合、多量の危険物が流出することから、高いレベルの事故になったと考えられるが、中には単に貯蔵していた最中に発生したのではなく、バルブ操作や温度管理、ポンプの移送など、いわゆる取扱行為に関連して発生したものもある。

また一般取扱所は火災、流出事故ともに発生件数が多いことが分った。(表7)

表7 重大事故・レベル2の事故の施設別件数

発生施設	火 災			流 出			合 計
	重大事故	レベル2	小 計	重大事故	レベル2	小 計	
地下タンク貯蔵所	1	0	1	0	2	2	3
移動タンク貯蔵所	2	0	2	1	2	3	5
屋外タンク貯蔵所	1	0	1	5	3	8	9
一般取扱所	4	5	9	3	11	14	23
製 造 所	2	3	5	1	4	5	10
営業給油取扱所	0	0	0	2	1	3	3
屋内タンク貯蔵所	0	0	0	2	0	2	2
移送取扱所	0	0	0	1	1	2	2
屋内貯蔵所	0	0	0	0	1	1	1
合 計	10	8	18	15	25	40	58



### 7 重大事故及びレベル2の事故における原因別の発生状況

重大事故及びレベル2の事故について、総務省消防庁の統計で用いられている事故の主原因の定義に基づいて件数を確認したところ、火災事故の発生原因は維持管理不十分及び操作確認不十分がともに5件で最も多く、人的要因と物的要因で比較すると、人的要因が14件に対し、物的要因が4件であり、人的要因が主原因となった火災が非常に多く発生していることが分かる。(表8)

続いて、流出事故の発生原因についてみると、腐食疲労等劣化によるものが10件で最も多く、次に維持管理不十分が6件と続いている。人的要因と物的要因を比較すると人的要因が18件、物的要因が22件と大きな差はみられなかった。(表8)

表8 重大事故・レベル2事故の原因別件数

	主原因	火災事故			流出事故		
		重大事故	レベル2	小計	重大事故	レベル2	小計
人的要因	維持管理不十分	1	4	5	1	5	6
	誤操作	1	0	1	0	1	1
	操作確認不十分	5	0	5	1	4	5
	操作未実施	1	2	3	2	3	5
	監視不十分	0	0	0	1	0	1
	小計・(割合)	8(80%)	6(75%)	14(78%)	5(33%)	13(52%)	18(45%)
物的要因	腐食疲労劣化	0	0	0	6	4	10
	設計不良	1	1	2	0	2	2
	故障	0	0	0	0	1	1
	施工不良	1	1	2	1	3	4
	破損	0	0	0	3	0	3
	交通事故	0	0	0	0	2	2
	小計・(割合)	2(20%)	2(25%)	4(22%)	10(67%)	12(48%)	22(55%)
合計		10	8	18	15	25	40

( ) 内は各レベルの事故全体の件数に占める人的要因・物的要因の割合

### 8 重大事故と軽微な事故の要因の分析

川崎市消防局では、石油化学や安全工学等の専門家である学識経験者と、市内関係部局で構成する「川崎市コンビナート安全対策委員会」において、主に石油コンビナート地区で発生した事故の、原因究明と事故防止のための対策等について調査・審議を行っており、事故の原因調査後には、FTA(欠陥樹解析手法)を作成し、事故発生までの流れを再確認している。

ここで事故1件に対して、7の項目のように原因を1つに絞らず、様々な要因の組み合わせで事故が発生することを考慮し、重大事故と軽微な事故の要因に違いがあるか、過去に作成したFTA図を用いて分析を試みることにする。

手法としては、これ以上展開できない基本事象(丸形の記号)が人的要因に係るものか、物的要因に係るものか、その数を事故事例ごとに数え、重大事故と軽微な事故に分けて集計した。過去20年間で発生した重大事故及び軽微な事故全てにFTA解析を実施したわけではないので、あくまで解析を実施した重大事故に該当する火災事故8件、流出事故4件、軽微な事故に該当する火災事故4件、流出事故7件の事案での結果になるが、まとめると次のようになった。(表9)

表9 各種事故別FTA解析実施数と人的・物的要因に係る基本事象の数

		事故件数	FTA実施件数	人的要因	物的要因
火災事故	重大事故	10	8	23	7
	軽微な事故	19	4	9	2
流出事故	重大事故	15	4	9	2
	軽微な事故	78	7	14	8

ここで、重大事故、軽微な事故について、それぞれ平均して1件当たり、人的要因、物的要因の基本事象がいくつあるかを算出した結果を出してみると、次のとおりとなった(表10)

表10 各種事故別1件当たりの人的・物的要因に係る基本事象の数

		1件当たりの人的要因の数	1件当たりの物的要因の数
火災事故	重大事故	2.9	0.9
	軽微な事故	2.3	0.5
流出事故	重大事故	2.3	0.5
	軽微な事故	2	1.1

またここでは、FTA図と集計方法のイメージをつかんでもらうため、実際に過去に作成していた3つの事故事例を代表して例示しておく。

【事案1】

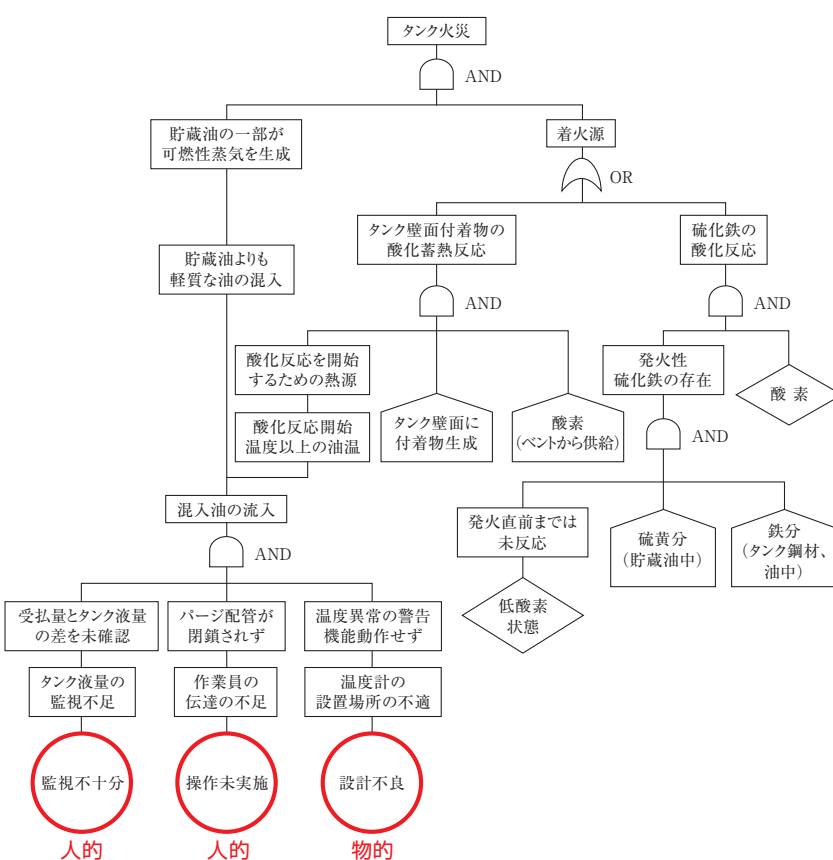
減圧残渣油貯蔵タンク火災(重大事故)

(人的被害：レベル4 影響範囲：レベル1  
収束時間：レベル2)

(概要)

屋外タンク貯蔵所において、減圧蒸留装置から残渣油を受け入れるとともに、ボイラーへの払い出し作業を行っていたところ、作業員間の伝達時の誤認識から、閉止されるべきバルブが開放されたままになったため、残渣油よりも軽質な混合油が高温のままタンク内に混入したことで、タンクが火災に至ったもの。

作業員の伝達不足によりパージ配管のバルブが閉鎖されなかった操作未実施であるが、温度異常の警告が作動するか、またはタンクの液量を確認することにより、混合油の早期発見に至れば、火災発生を免れた可能性もある。



【事案2】

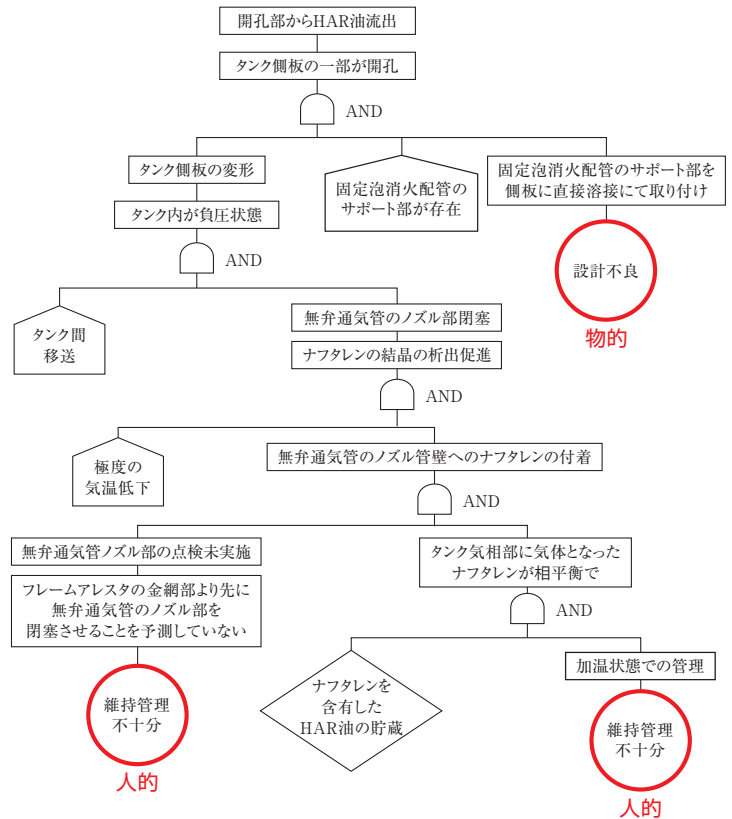
屋外貯蔵タンクの減圧による危険物流出事故 (重大事故)

(人的被害:レベル4 流出範囲:レベル4 流出量:レベル1)

(概要)

気温の低下に伴いHAR油内に含まれるナフタレンの結晶化により、無弁通気管内が閉塞していたところで、屋外タンク貯蔵所のHAR油を別のタンクへポンプ移送した際、当該タンクが負圧状態となり、タンク側板上部が変形するとともに、タンク側板中段部が大きく凹み、固定泡消火配管の取り付けサポート溶接部に亀裂が入り開孔し、HAR油168キロリットルが防油堤内に流出したもの。

無弁通気管のノズル部の閉塞を予測できず、点検未実施に至った維持管理不十分であると考えられるが、ナフタレンの気化を防ぐための温度管理の実施、消火配管のサポート部への保護板の設置によりタンクの破損、流出は防げた可能性がある。



【事案3】

蒸留塔分岐配管からナフサの流出事故 (軽微な事故)

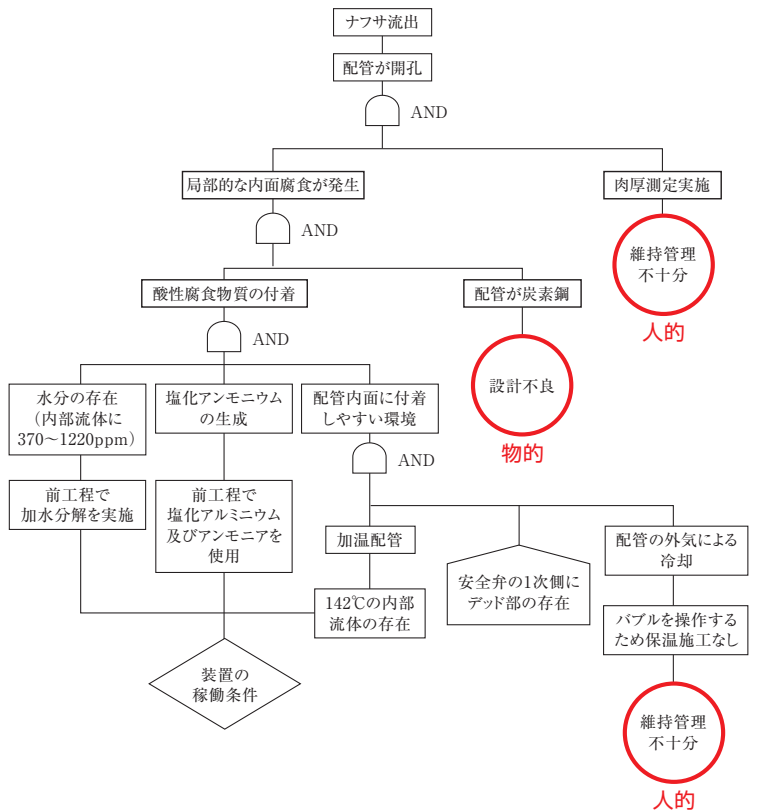
(人的被害:レベル4 流出範囲:レベル4 流出量:レベル4)

(概要)

作業員が巡回点検中に、臭気を感じし周辺を確認したところ、蒸留塔のオーバーヘッドラインから分岐した配管 (安全弁の一時側) の保温材の隙間からナフサガスが流出しているのを発見し、ガス検知器にて測定したところ、流出箇所直近で爆発下限界以上の濃度を確認した。

原料供給を止め、減圧、窒素置換後に保温材を剥がしたところ、配管に直径1mmの開孔を確認した。

酸性腐食物質を含むことから肉厚測定を強化し減肉を確認すること、または配管に酸に強い材質を使用することで防げた事案である。





## 9 考察

FTA解析を実施した全ての事案について、人的要因及び物的要因別に、これ以上展開されない基本事象の数を確認したところ、表10のとおりとなり、重大事故と軽微な事故を比較した場合、1件における事故発生の人的要因と物的要因の数に大きな違いはなかった。ただし、これは調査した事例の数が少ないこと、また各々のFTA図の作成者が異なることから、データの信頼性には欠ける点を差し引いたとしても、深刻度評価指標の項目や、FTA解析の性質上、もともと顕著な違いが出るものではないと考えられる。

また、重大事故について事故の主原因をみた場合は表8のとおりであり、火災では人的要因の割合が多く、これは要因全てを挙げた表10でも同様の傾向であったものの、流出事故の主原因では、比較的物的要因の割合が多かったのに対し、表10の方では、人的要因の方が多くなるという結果になった。これは、流出事故には、間接的に管理不十分等、複数の人的要因が含まれていたためであると推察される。

しかしながら、改めて過去に作成した重大事故に該当するFTA図を見ると、ANDゲートが複数あり、事故が発生するまでにいくつもの事象があることが再確認できた。また、軽微な事故に該当するFTA図についても、重大事故と同様にANDゲートが複数あり、事象の数も多くあることが確認できた。例示として掲載した以外の事案についても、同様のことが確認でき、決して重大事故だけが複雑な解析図になり、事故発生の要因が多くあるということは言えないことが確認できたことの意義は大きい。

では、結果的に、大きな被害の発生、社会的な影響が大となる重大事故が何故発生するのかを考えてみると、重大事故には、事象の中に重大事故にまで発展するような大きなリスクに繋がる要因が存在するからであり、それは表10の結果からも、確率的には、人的要因によるものが高くと考えられる。

また、施設別の重大事故の発生状況をみると、表7のとおり、1つの特徴として流出事故に関しては屋外タンク貯蔵所が比較的高い数値を示していたことが分かった。現状施設の設置または変更時に行うリスクアセスメントや、法令上実施する必要がある危険要因の把握と対策は取扱行為が多い製造所・一般取扱所において実施されていることが多いと思われるが、それでも取扱中における重大事故の発生が多いことや、屋外タンク貯蔵所でも重大事故が発生している例をみると、リスクアセスメントを行う工事や作業等の基準の範囲や、危険要因を抽出する施設の範囲を広げることも必要であり、その危険要因を洗い出せる感性を磨くことが重要と思われる。何気なく行っているバルブ1つの開閉作業、配管の板厚の測定等の作業1つひとつの誤りが重大事故に結びつく可能性があることを認識し、また、1つひとつの正確な作業が重大事故の防止に繋がっていくことを保安関係者が自覚することで、1つでも事故を防いでいくことが重要であると考えられる。

## 10 おわりに

今回、市内で発生した過去20年における事故について深刻度評価を行い、重大事故等に着目して原因等の調査と統計等の確認を行った。更に、重大事故及び軽微な事故について、FTA図を確認して事故の発生要因等について確認した。

調査した結果、事故発生までには、複数の要因が存在し、重大事故の発生については、その複数ある要因の中から、大きなリスクへと繋がる要因が存在することが考えられたことから、そこを抽出するための工夫が重要であると述べた。

本論文を作成するにあたり、3つの事案のFTA図について、掲載させていただいたことに対して、各事業所の御理解、御協力に感謝いたします。今後も消防機関と事業所がともに協力し合い、対策等を考えていくことで高止まりにある危険物事故の件数が減少することを願う所存です。