

□石油コンビナートの防災アセスメント

財団法人消防科学総合センター

防災システム課長 山瀬 敏郎

1. はじめに

石油コンビナートでは、石油、LPG、LNG、塩素、アンモニアなどの可燃性物質や毒性物質が大量に貯蔵・処理されている。これらの危険物質を取扱う施設では、法令に基づいて災害の発生や拡大を防止するための措置が講じられている。しかし、施設の老朽化、プロセスの異常、誤操作あるいは地震などが原因で漏洩、火災、爆発が発生し、重大な災害に至る可能性は否定できない。

したがって、このような地区をかかえる自治体では、コンビナート災害に備えて防災計画を策定し、十分な防災体制を確立しておくことが義務付けられている。そのためには、コンビナートで起こりうる災害の形態、規模、影響範囲などを把握すること、すなわち「災害の想定」が不可欠となる。

消防庁は、この災害の想定を客観的かつ現実的なものにするため、平成6年にリスク解析手法の1つであるイベントツリー解析を適用したコンビナートのアセスメント指針を示し¹⁾、さらに平成11、12年に改訂のための調査研究を行った^{2)・3)}。

本稿では、手法の開発に携わった者の立場から、リスクの概念を導入した確率的なアセスメント手法の考え方と実施手順について概説する。なお、このアセスメントは平常操業時と地震時のコンビナート災害を対象とするものであるが、以下では平常操業時の場合について述べる。

2. アセスメントの基本概念

リスクは、好ましくない事象(例えば事故)の発生危険と発生したときの影響度の積として表わされ、一般的に次のように定義される。

$$R = \sum_i P_i \cdot E_i$$

R：評価対象とするシステムのリスク

P_i：事象 i の発生危険E_i：事象 i が発生したときの影響度

事象の発生危険は頻度あるいは確率によって定量化される。頻度は、一定期間にある事象が出現する回数で、1年あたりの出現回数として/年という単位をつけて表わされることが多い。確率は、N回の試行に対する

ある事象の出現回数を n 回としたとき n/N として表わされ、0 と 1 の間の無次元数(単位を持たない数)となる。

リスク評価では、故障や事故の発生といった稀な現象を扱うため、次のような指数表示がよく用いられる。

- 10^{-2} : 確率→100 回に 1 回発生する。
頻度→100 年に 1 回発生する。
- 5×10^{-3} : 確率→200 回に 1 回発生する。
頻度→200 年に 1 回発生する。

一方、事象が発生したときの影響度に関しては、評価の目的に応じて放射熱や爆風圧などの物理的作用が被害を及ぼす範囲の大きさ、死者数や負傷者数などの人的被害、あるいは損害額などの経済的損失が用いられる。

石油コンビナートの防災アセスメントにおいても、上記のようなリスクの概念を導入して評価を行う。ただし、災害の発生危険と影響度の積としてのリスク表現を用いるのではなく、これらの両面から危険性を総合評価することにより必要な防災対策やその優先度の検討を行うものとする。このような防災アセスメントの基本概念を図 1 に示す。



図 1 石油コンビナートの防災アセスメントの基本概念

3. 災害の発生危険の推定

コンビナートのなかに存在する危険物タンク、ガスタンク、プラントなどの主要な施設で起こりうる災害の発生頻度を推定する。このとき、定量的なリスク解析手法の1つであるイベントツリー解析

(EventTreeAnalysis:ETA)を適用する。

この手法は、災害の発端となる事象(初期事象)を出発点として、それが拡大していく過程を各種防災設備の成否、火災や爆発といった現象の発生有無によって枝分かれ式に展開したイベントツリー(EventTree:ET)と呼ばれる樹状図を作成して解析するものである。

ツリーに初期事象の発生頻度と事象の分岐確率を与えることにより、中間あるいは末端に現われる種々の災害事象がどの程度の頻度で起こりうるかを算出することができる。イベントツリーの概念図を図 2 に示す。この手法を適用するときの手順は概ね以下のとおりである。

(1) 初期事象の設定

このアセスメントでは、原則として災害のはじまりとなるプロセス内容物の漏洩、

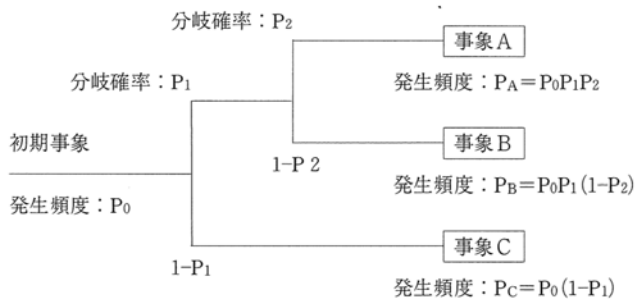


図2 イベントツリーの概念図

あるいは火災や爆発といったようないわゆる「事故」の発生を初期事象として設定することが適切である。これらの事故の原因となる装置・機器の異常や誤操作などを初期事象とすることも考えられるが、解析作業の効率や頻度推定の信頼性の面から好ましいとはいえない。

災害拡大の様相は事故の種類だけでなく発生箇所によって異なってくる。例えば、危険物タンクの場合、配管から漏洩したときと本体から漏洩したときでは機能する防災設備や流出拡大の様相は異なる。このようなことを考慮すると表1のような初期事象が考えられる。

初期事象の発生頻度は、ある期間内に全

表1 危険物タンクの初期事象の設定例

施設・タイプ	初期事象
危険物タンク	○配管の破損による漏洩 ○側板・底板の破損による漏洩
	○屋根の破損による漏洩 ○屋根の破損による火災
浮屋根式	○浮屋根シール部からの漏洩 ○浮屋根シール部の火災

国で発生した該事故の発生件数を延べ運転時間(総施設数とデータ収集期間の積)で割ることにより得られる。危険物タンクの初期事象に関して、最近5年間の事故データをもとに発生頻度を推定すると概ね次のようになる。

①配管の破損による漏洩(配管系の付属物も含む)

- ・72件/(86000施設×5年)= 1.7×10^{-4} /年
- ・微量漏洩(1k1未満)を除くと32件/(86000施設×5年)= 7.4×10^{-5} /年

②側板・底板の破損による漏洩

- ・14件/(86000施設×5年)= 3.3×10^{-5} /年
- ・微量漏洩(1k1未満)を除くと9件/(86000施設×5年)= 2.1×10^{-5} /年

推定値の信頼【生は、期間内の事故件数が多くなるほど高くなる。したがって、実際に発生頻度の推定を行う場合には、できるだけ長期間のデータを用いることが望ましい。また、入出荷施設のような連続的に使用されない施設については、単純に事故件数を施設数とデータ収集期間で割るのではなく、施設利用率を考慮する必要がある。

(2) 事象分岐の設定

コンビナートの事業所や各施設には、事故(初期事象)が発生したとき、これが大規模災害に拡大することを防止するための設備や体制が整備されている。したがって、これらを事象の分岐としてETに取入れ、災害拡大のシナリオを想定することになる。

表2 危険物タンクの事象分岐の設定例

初期事象	事象の分岐（成否または有無）
配管の破損による漏洩	<input type="radio"/> 緊急遮断設備 <input type="radio"/> バルブ手動閉止 <input type="radio"/> 緊急移送設備 <input type="radio"/> 仕切堤・防油堤 <input type="radio"/> 漏油の着火
側板・底板の破損による漏洩	<input type="radio"/> 緊急移送設備 <input type="radio"/> 仕切堤・防油堤 <input type="radio"/> 漏油の着火

施設に設けられた防災設備は、すべてが事故による損失防止のために重要な役割を持つものであるが、アセスメントの目的を考慮して、災害の拡大様相に大きく影響を与えるものだけを取り入れて評価することが好ましい。例えば危険物タンクの漏洩事故の場合、表2に示すような事象分岐が考えられる。

これらの事象の分岐に確率を設定するにあたっては、現段階では専門的判断（専門家の経験や主観に基づいて仮定すること）に頼るところが多くなることは避けられない。ただし、遮断設備のような機械的な防災設備については、フォールトツリー解析(FTA)のような解析手法を適用して失敗確率を推定することもできる。

(3) 災害発生頻度の推定

設定した初期事象と事象分岐をもとにイベントツリーを展開し、災害拡大の各段階における事象を抽出して発生頻度を求めることができる。危険物タンクを対象としたイベントツリーの例を図3に示す。ここで、括弧なしで示した数値が各段階の事象発生頻度(/年)、括弧付きで示した数値がそれぞ

れの事象分岐確率であり、確率値はすべて手順を説明するための暫定値である。

4. 災害の影響度の推定

可燃性物質や毒性物質を取扱う施設で漏洩などの事故が発生した場合、液面火災、ガス爆発、フラッシュ火災、毒性ガス拡散など種々の災害現象により周囲に影響を与える可能性がある。災害拡大過程における各事象では、これらの災害現象が規模や継続時間の違いとなって現れる。

このような災害現象を解析するための手法が国内外で数多く提案されている。そのなかから適切なものを選定し、放射熱、爆風圧、拡散濃度など災害の物理的作用にしきい値を設けて影響を及ぼす範囲を推定する。なお、災害の影響度は、影響を及ぼす範囲の大きさだけでなく、そのなかの人口や土地利用なども考慮する必要がある。

5. 総合的な災害危険性の評価

災害の発生危険と影響度をもとに、コンビナートの総合的な災害危険性を評価し、必要な防災対策の検討を行う。このとき次の2つの観点がある。

(1) 個々の施設に関する評価

災害がコンビナートの周辺地域に与える影響は、個々の施設の位置、取扱物質や取扱条件などに依存するため、災害の影響評価は必然的に個々の施設それぞれについての

		発生危険（発生頻度）				
		極小	小	中	大	
影響度	極大	B	A	AA	AA	AA：最優先 A：優先度大 B：優先度中 C：優先度小 —：対策不要
	大	C	B	A	AA	
	中	—	C	B	A	
	小	—	—	C	B	

例) 発生頻度 極小： 10^{-7} （/年）のオーダー以下
小： 10^{-6} （/年）のオーダー
中： 10^{-5} （/年）のオーダー
大： 10^{-4} （/年）のオーダー以上

影響度 小：発災施設周辺
中：コンビナート内
大：コンビナート外に多少の影響
極大：コンビナート外に重大な影響

図4 総合的な災害危険性評価の概念図

評価となる。

このような評価は、災害発生時の避難計画や広報計画などに反映されるべきもので、火災、爆発、可燃性ガス拡散、毒性ガス拡散といった災害現象ごとに、影響範囲を地図上に示す方法が有効である。

さらに図4に示すように、影響元となる災害の発生頻度と影響度を併せて評価することにより、講ずるべき防災対策の優先度を検討することもできる。このような評価の概念はリスクマトリックスと呼ばれる。

災害の発生頻度や影響度の各区分にどの程度の数値を割り当てるか、また優先度をどのように設定するかは、アセスメントを行う自治体がコンビナート地区及び周囲の状況を考慮して決定する。

(2) コンビナート全体に関する評価

このアセスメントでは、個々の施設に関

する評価のほかに、対象とするコンビナート全体としての評価が考えられる。これは、コンビナートを数多くの施設の集合体として捉え、このなかでどのような形態の災害がどの程度の頻度と影響規模をもって発生しうるかを評価するもので、防災資機材の整備計画や災害時の応急対策計画などに反映される。

コンビナート全体でみたときの災害発生頻度は、個々の施設での発生頻度に該当する施設数を掛けることにより得られる。例えば、個々の施設で 10^{-5} （/年）で発生する災害事象の場合、コンビナート内に該当施設が 500 あるとすると全体での発生頻度は 5×10^{-3} （/年）となる。個々の施設でみたときの発生頻度は小さくても、該当施設数が多いと全体でみたときの発生頻度が大きくなり、自治体としてはそのような災害に備え

た防災対策を強化しておく必要がある。

6. おわりに

コンビナートを有する自治体は、ここで述べたアセスメントを実施することにより、現実的な災害想定に基づいた具体的な防災対策を検討することができる。ただし、この手法により信頼性の高い結果を得るためには、過去に発生した事故や設備・機器の信頼[生に関する多くのデータを必要とする。しかし、現在わが国においては、これらのデータ整備は相当に遅れているといわざるを得ない。

このような状況で実施したアセスメントの結果は、特に災害発生頻度の推定において不確定要素が多く、現段階では災害の起こりやすさを表わす相対指標としての意味合いが強い。それでも、アセスメント結果の意味を正しく理解して活用することにより、コンビナートで起こりやすい災害、発生し

たときの危険性や対策の優先度を知ることができ、防災計画を策定する上で有用な結果が得ることができる。

今後わが国において、ここで述べたような確率的なアセスメント手法が広く適用されることを目指すのであれば、評価結果の信頼[生を向上することが不可欠であり、手法の確立と併せてデータ整備ための体制づくりが望まれる。

参考文献

- 1) 消防庁特殊災害室:石油コンビナートの防災アセスメント策定指針,平成6年3月
- 2) 消防科学総合センター:石油コンビナートの防災アセスメントに係る調査研究報告書,平成11年3月
- 3) 消防科学総合センター:石油コンビナートの防災アセスメントに係る調査研究報告書,平成12年3月