

第2章 評価の方法

2.1 消防庁指針に基づく評価

本調査は、原則として消防庁の石油コンビナートの防災アセスメント指針(平成 25 年)に基づいて実施する。この指針に基づく手法の概要は以下のとおりである。

2.1.1 基本的な考え方

消防庁指針では、石油コンビナートの防災アセスメントの基本概念として、リスクの概念が示されている。リスク R は、好ましくない事象(例えば事故)の起こりやすさと発生したときの影響度の積として表され、一般的に次のように定義される。

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

ここで、 \sum_i は複数の好ましくない事象の総和を、 P_i は事象 i の起こりやすさを、 E_i は事象 i が発生したときの影響度を、それぞれ表す。

リスク R は、より広義に災害の起こりやすさと影響度の関数として表されることもある。

事象の起こりやすさ P_i は、頻度や確率によって定量化される。一方、事象が発生したときの影響度 E_i は、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を用いて表される。

ただし、防災アセスメントでは、災害の発生危険度と影響度の積としてのリスク表現を用いるのではなく、両者をもとに災害の危険性を総合評価し、想定災害や講ずるべき防災対策の検討を行う。

2.1.2 防災アセスメントの実施手順

消防庁指針に基づく防災アセスメントの実施手順は図 2.1 のとおりであり、その詳細を次に示す。

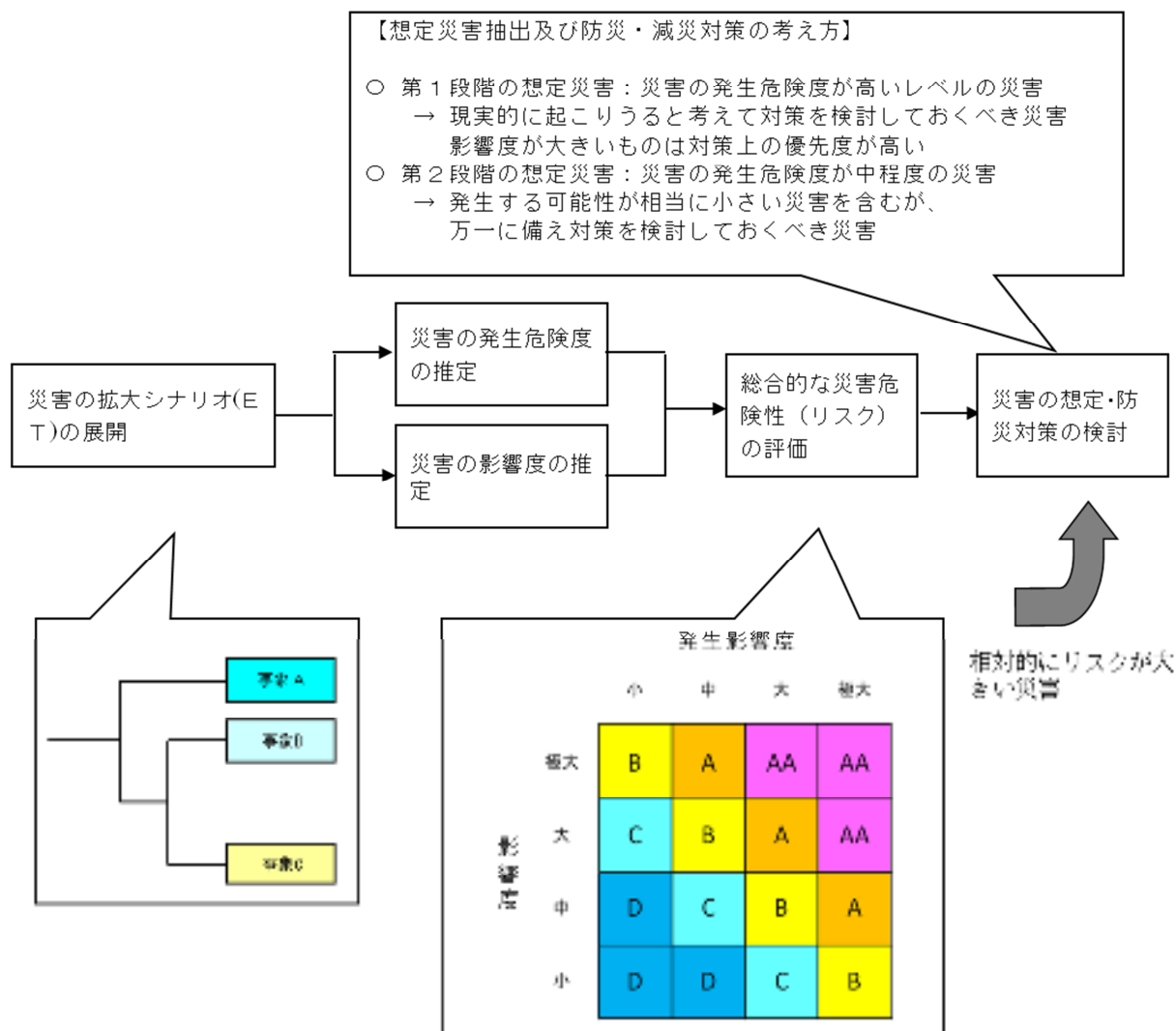


図 2.1.1 防災アセスメントの実施手順

A. 災害の発生・拡大シナリオの想定

防災アセスメントでは、確率的な安全性評価手法の1つであるイベントツリー解析(Event Tree Analysis、以下「ETA」という。)を用いる。ETA は、事故の発端となる「初期事象」を出発点として設定し、防災設備や防災活動の成否、火災や爆発などの現象の有無によって事故が拡大していく過程を、枝分かれ式に展開(事象分岐)したイベントツリー(Event Tree、以下「ET」という。)として表す手法である(図 2.1.2)。

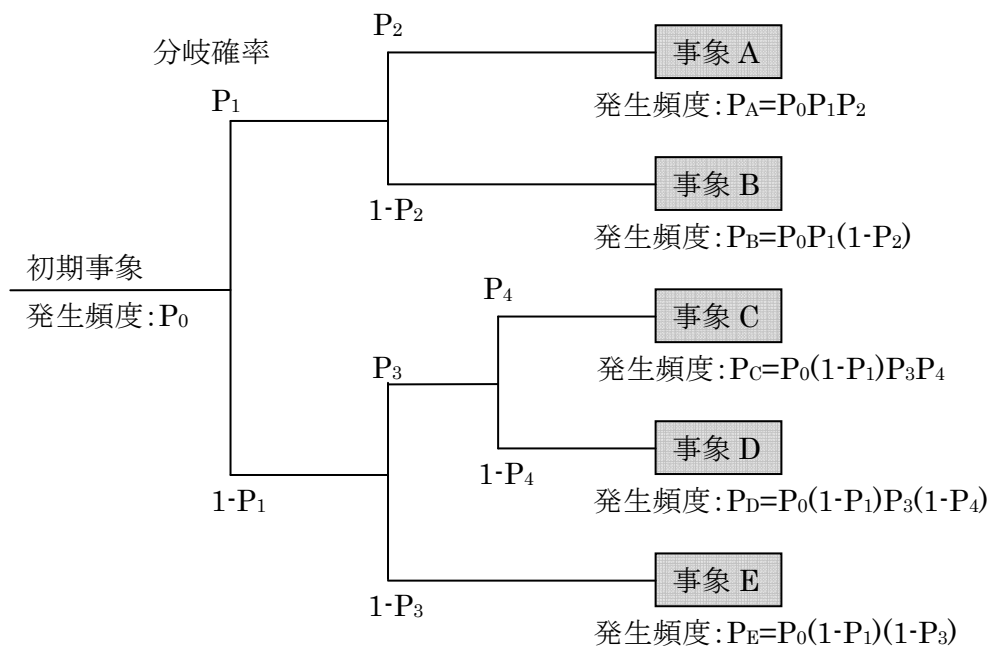


図 2.1.2 イベントツリーの概念図

B. 災害の発生危険度の推定

展開した ET に初期事象の発生危険度(頻度/確率)と事象の分岐確率を与え、ツリーに沿って掛け合わせて行くことにより、中間あるいは末端に現れる各種災害事象の発生危険度がどの程度であるかを算出することができる。

ここで、初期事象の発生危険度は、平常時の場合は、頻度(年間の 1 施設当たりの発生件数)として表し、過去の事故発生データに基づき推定する。また地震時の場合は、地震動の強さと施設の被害率との関係より、想定される地震が発生した時の施設の被害確率として表す。

一方、事象の分岐確率の推定にはフォールトツリー解析(Fault Tree Analysis、以下「FTA」という。)を適用する。FTA は、ある設備の故障といった解析対象の事象を先頭に置き(頂上事象)、ETA とは逆に、その原因となる事象をトップダウン式に展開していく手法である(図 2.3)。FTA に末端事象の発生確率を与え、これを AND(事象 A が起こりかつ事象 B が起こる)と OR(事象 A が起こる又は事象 B が起こる)の 2 種類のゲートの種類に応じて足し合わせるか掛け合わせるにより、頂上事象の発生確率が求められる。図 2.3 のフォールトツリーでは、次のことを表す。

- A) 頂上事象が起こる条件が、事象 1、事象 2 又は事象 3 のいずれかが起こる場合である
- B) 事象 2 が起こる条件が、事象 4 が起こり、かつ事象 5 が起こる場合である
- C) 事象 4 が起こる条件が、事象 6 又は事象 7 のいずれかが起こる場合である

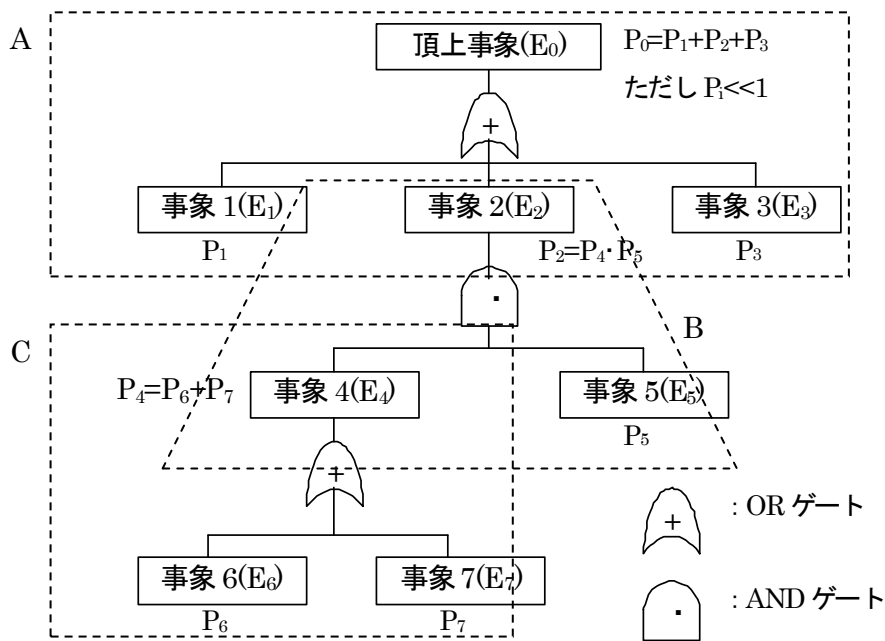


図 2.1.3 フォールトツリーの概念図

なお、初期事象の発生危険度及び事象の分岐確率の推定について、消防庁指針では、次の留意点があることを示している。

初期事象の発生頻度や事象の分岐確率の推定に必要なデータが、石油コンビナートに存在する多種多様な施設の評価を行うには不足している場合があり、これらの推定が専門家の主観に頼るところが大きい。

この調査においては、初期事象の発生危険度及び事象の分岐確率を、消防庁指針に示されている装置・機器レベルの信頼性データの資料を用いて推定することを基本とした。

C. 災害の影響度の推定

災害の影響度は、基本的に放射熱、爆風圧、拡散ガス濃度といった物理的作用が基準値(人体に対する許容限界)を超える範囲の大小により判断する。

可燃性物質や毒性物質を取り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（蒸気雲爆発）、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。

石油コンビナートの主要な施設について、起こり得る主な災害現象と適用モデルの種類を一般的にまとめたものを次表に示す。

解析モデルは、石油コンビナートの防災アセスメント指針(平成 25 年、消防庁特殊災害室)「参考資料 2 災害現象解析モデルの一例」で示されたものを用いる。

表 2.1.1 石油コンビナートにおける主要な施設の災害現象と適用モデルの種類

施設種類	考えられる災害の形態	主な適用モデルの種類
危険物 タンク	○ 液体流出→液面火災 ○ タンク火災 (液面火災)	○ 液体流出 (流出火災) ○ 火災面積 (流出火災) ○ 放射熱 (液面火災)
可燃性 ガス タンク	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 ファイバーボール フラッシュ火災 ○ 気体流出→噴出火災 蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発 (過熱液体) ○ ガス拡散 ○ 爆風圧 (爆発) ○ 放射熱 (ファイバーボール)
毒性 ガス タンク	○ 液体流出→蒸発→拡散 (毒性) ○ 気体流出→拡散 (毒性)	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発 (過熱液体) ○ ガス拡散
毒性 液体 タンク	○ 液体流出→蒸発→拡散 (毒性)	○ 液体流出 ○ 蒸発 (揮発性液体) ○ ガス拡散
プラント	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 ファイバーボール フラッシュ火災 蒸発→拡散 (毒性) ○ 気体流出→噴出火災 拡散→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 拡散 (毒性)	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発 (過熱液体) ○ 火災面積 (流出火災) ○ ガス拡散 ○ 爆風圧 (爆発) ○ 放射熱 (液面火災) ○ 放射熱 (ファイバーボール)
タンカー 棧橋	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 蒸発→拡散 (毒性)	○ 液体流出 ○ 蒸発 (過熱液体) ○ 火災面積 (流出火災) ○ ガス拡散 ○ 爆風圧 (爆発) ○ 放射熱 (液面火災)
パイプ ライン	○ 液体流出→液面火災 蒸発→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 蒸発→拡散 (毒性) ○ 気体流出→噴出火災 拡散→蒸気雲形成→爆発 フラッシュ火災 拡散 (毒性)	○ 液体流出・気体流出 ○ 蒸発 (過熱液体) ○ 火災面積 (流出火災) ○ ガス拡散 ○ 爆風圧 (爆発) ○ 放射熱 (液面火災)

D. 基準値の設定

物理的作用の解析モデルは、一般に発災地点からの距離と放射熱、爆風圧、ガス拡散濃度などの作用強度との関係を表わしたものである。

作用強度に対してある基準値を設定し、強度がこの値を超える距離を求めて影響範囲とすることになる。

表 2.1.2 放射熱、爆風圧、ガス拡散濃度等の基準値

液面火災の放射熱	1 分間以内で人体皮膚に第2度の火傷(熱湯をかぶったときになる程度の火傷で、水ぶくれ、発赤等を伴うが、痕は残りにくい。)を起こす熱量	2.3kW/m ²
----------	--	----------------------

爆風圧	Clancey(1972) ³ による「安全限界」(95%の確率で大きな被害はない)とされ、家の天井が一部破損する、窓ガラスの10%が破壊されるとされる圧力	2.1kPa
可燃性ガス拡散	爆発下限界濃度(可燃性混合気中を火炎が伝播し得る可燃性ガス濃度のうち希薄側の限界値)の1/2	
毒性ガス拡散	米国国立労働安全衛生研究所が提唱する限界値で、30分以内に脱出しないと元の健康状態に回復しない濃度	IDLH(Immediate Dangerous to Life and Health)による 例) 塩素10ppm アンモニア300ppm
ファイヤーボール	30秒で人体の皮膚に第2度の火傷を引き起こす熱量	4.5kW/m ²

E. 総合的な災害危険性の評価

災害の発生危険度と影響度の推定結果をもとに、リスクマトリックスにより、防災対策にあたって想定すべき災害やその優先度について検討する。

F. 長周期地震動による災害評価

周期地震動による被害として、危険物タンクのスロッシング(液面揺動)被害が挙げられる。スロッシングは、地震波と容器内の液体が共振して液面が大きく揺れる現象であり、浮き屋根式の危険物タンクにおいて、屋根の損傷、内容物の溢流、火災の発生などの被害が生じる可能性がある。

長周期地震動によるスロッシング被害の評価は、想定地震の予測波形から得られる速度応答スペクトルがベースとなる。これをもとに、個々の危険物タンクでのスロッシング波高を求め、その大小から災害シナリオに現れる各災害事象の可能性を検討し、災害規模に応じた影響を算定する。

G. 津波による災害評価

津波が想定される地震により、石油タンクで流出や火災が発生した場合には、その後の津波により陸上あるいは海上で拡大する可能性がある。

この場合、前述の短周期地震動及び長周期地震動による被害の評価の結果、大量の流出や火災が想定されるタンクに対して、津波による防油堤内への浸水が懸念されるものについてはさらなる災害拡大が想定される。

個々のタンクでの津波浸水深から災害シナリオに現れる各災害事象の可能性を検討し、災害規模に応じた影響を算定する。

³ 1972年にV.J.Clanceyが提唱した指標による「安全限界」(この値以下では、95%の確率で大きな被害はないとされる。ただし、家の天井の一部破損や窓ガラスの10%の破壊が生ずるとされる圧力)

H. 大規模災害における災害評価

大規模災害とは、石油類が防油堤外さらには事業所外に拡大したり、石油類や可燃性ガスの火災・爆発が隣接施設を損傷してさらに拡大していくような事態である。

本評価は、所在する基数の多い危険物タンク及び可燃性ガスタンクについて低頻度大規模災害の影響の程度を把握するために実施する。