

# プラントの安全性評価

## 最終回 リスクアセスメント



日本防災システム協会 副幹事長  
松岡 俊介

今回は、これまで紹介してきた潜在危険性の特定手法やシステム安全性解析手法を取り込んだ総合的なリスクアセスメントの方法として、国内および海外で活用されている以下の指針・方法について解説し、この連載の締めくくりとしたい。

- ・厚生労働省・化学プラントのセーフティ・アセスメント指針<sup>6),7)</sup>
- ・消防庁・石油コンビナートの防災アセスメント指針<sup>8)</sup>
- ・定量的リスクアセスメント

### 厚生労働省・化学プラントのセーフティ・アセスメント指針

この指針は、旧労働省が昭和51年12月に公表した「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」（労働省方式と呼称された）を、技術の進展にともなうプラントの大型化・多様化、新しい安全性評価手法の開発などを背景として全面的に改正し、平成12年3月、労働基準局長から都道府県労働基準局長ならびに（社）日本化学工業協会会長、石油化学工業協会会長および石油連盟会長宛に通達されたものである<sup>6)</sup>。

この指針については、具体例を含む詳細な解説書が、厚生労働省安全課編として中央労働災害防止協会から発行されている<sup>7)</sup>。ここでは、指針の適用、内容等について概要を述べる。

#### (1) 指針の適用

##### ① 法的拘束力

この通達は、上記民間3団体に対しては、指針による安全性の事前評価（アセスメント）の実施を各

会員に対し周知指導するよう要請する形を取っている。しかしながら、事業者がこの指針の適用対象となるプラントの新設、変更等の工事着手許可を申請する際には、関係行政機関からアセスメント結果の提出あるいは閲覧を求められることは十分考えられる。したがって、一応、法的な拘束力を持った指針であると考えておく必要がある。

##### ② 適用対象

適用対象の化学プラントとは、化学物質を製造、貯蔵、または取り扱う設備であるが、一般的な化学工場のほか、石油精製、都市ガス、石炭、医薬品、化学繊維、紙パルプ等の製造装置や、可燃物の貯槽、倉庫等も対象となる。

これらの設備の新設や主要部分の改造・増設を行う場合に適用されるが、同一設備と交換する場合や、既設設備と運転条件等が同じで、容量、能力が同等以下の場合には省略する事が出来る。

##### ③ 実施時期

アセスメントは、新設あるいは改造・増設工事の着手前に完了する必要がある。その場合、基本設計や詳細設計の完成時期に比べ、運転要領書や緊急時対応計画等の管理的な対策や資料が整うのはかなり後になる場合が多いので、まず設計関連部分のアセスメントを先に進め、管理的対策の部分は後で補うというやり方が実際的である。

#### (2) 指針の内容

アセスメントは次の5段階に沿って進める（図7参照）。

第1段階：関係資料の収集・作成

第2段階：定性的評価－診断項目による診断

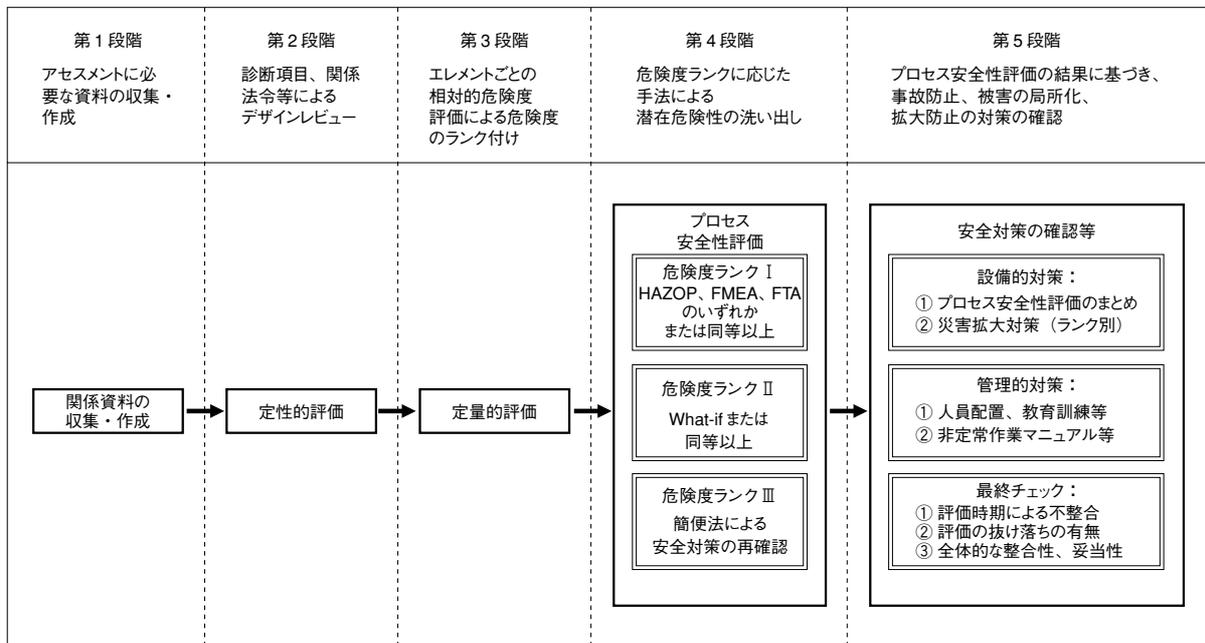


図7 セーフティ・アセスメントの流れ（厚生労働省指針）

第3段階：定量的評価

第4段階：プロセス安全性評価

第5段階：安全対策の確認等

以下に、第2段階～第5段階の要点を述べる。

**第2段階：定性的評価**

副題に診断項目による診断とあるように、第1段階で収集した資料を用いて、関係法令の技術基準や設計規格等に適合している事を確認するデザインレビューを行い、安全確保のため改善すべき事項があれば設計変更等を行う。

指針には必要と考えられる診断項目の一例が用意されているが、プロセスの種類、工事規模、実施時期等を勘案して調整したチェックリストを準備する。確認の方法は、個人よりも専門家チームによる検討会方式が望ましい。

**第3段階：定量的評価**

災害の起こりやすさおよび重大さの観点から、化学プラントの危険性（火災・爆発）を総合的かつ定量的に評価する。まず、プラントをいくつかのブロック（工程または配置による）に分け、各ブロックに含まれるプロセス機器（エレメント）ごとに、物質、保有量、温度、圧力および操作（主として発熱反応の度合い）の5つの項目について、相対的危険度評価を行う。

すなわち、指針に示された基準にしたがって、項目ごとにA：10点、B：5点、C：2点、D：0点の配点を行い、その合計点により危険度のランク付け

を行う（ランクⅠ：16点以上、ランクⅡ：11～15点、ランクⅢ：10点以下）。

最後に、各エレメントの危険度のうち最も高いランクをそのブロックの危険度ランクとし、プラントを構成するすべてのブロックの危険度ランクを決定する。

なお、毒性については、物質ごとに異なる毒性を総合的に評価することは困難なためランク付けは行わず、指針に添付されている毒性評価表を参考に個別に評価し、適切な措置をとる。

**第4段階：プロセス安全性評価**

第3段階で決定した危険度ランクに応じた評価手法により、各ブロックのプロセス安全性評価（潜在危険性の洗い出しと安全対策の確認）を行う。

ランクⅠ：HAZOP、FMEA、FTAのうちいずれか、または同等以上の方法

ランクⅡ：What-If手法または同等以上の方法

ランクⅢ：プロセス特性を考慮した簡便な方法

**第5段階：安全対策の確認等**

設備的および管理的な安全対策が抜け落ちなく適切に講じられていることを確認するため最終チェックを行う。

設備的対策については、まず、第4段階のプロセス安全性評価の結果に基づいて、ブロックごとに構成エレメント、危険度ランク、潜在危険、安全対策を表にまとめ、確認する。

次に、消火用水・散水設備、耐火構造、特殊計

装・設備、廃棄・ブローダウン設備等の主として災害拡大防止に関する対策が、危険度ランクに応じて採用されている事を、指針の分類表に従って確認する。

管理的な対策については、指揮命令系統、人員配置、教育訓練および非定常作業マニュアル等について適切であることを確認し、必要な措置を取る。

最後に、すべての評価作業が終了した段階で、評価結果を総合的に検討し、抜け落ちの有無、全体的な整合性、妥当性等について確認する。

### (3) 指針に関する私見

この指針を実際の化学プラントの設計時に適用したいいくつかの経験から感想を述べてみたい。平成12年の改正の最大の特徴は第4段階プロセス安全性評価である。改正前の第4段階は安全対策（危険度ランク別に指定）であったが、この部分は第5段階に含められた。プロセス安全性評価に関して改正前の指針は、ランクⅠの場合だけFTAの実施（第6段階）を求めているのに対し、改正指針がランクⅡ、Ⅲについてもプロセス安全性評価を要求している点は評価されて良い。

しかしながら、評価手法にはそれぞれの特徴があり、用途に対しても向き不向きがあるので、手法の網羅性や構造化の度合いを危険度ランクにリンクさせて手法を選択するのは必ずしも適切ではないという印象を筆者は持っている。

たとえば、HAZOPやWhat-Ifは全体的な潜在危険性の洗い出しの方法として適しているが、FMEAは特定の機器や部品の故障からどのような影響がシステムに及ぶのかを分析するのに適しており、FTAは、重大な危険性についてその発生要因と発生過程を特定するのに適している。また、HAZOPは網羅性や構造化の点ではWhat-Ifよりも優れているが、それはプラント内部に発生するプロセス異常に関する潜在危険性の分析を目的とした場合であって、物質、外部要因、経年的設備損傷などの他の潜在危険性の分析ではHAZOPは不向きであり、むしろWhat-Ifの方が適していると言える。

したがって、ランクⅠでHAZOP、FMEAおよびFTAを同列に並べどれかを選択適用し、ランクⅡではWhat-If（あるいは同等の方法）を指定するよりも、たとえばランクⅠおよびⅡでは、HAZOPやWhat-If等の方法で潜在危険性を洗い出すこととし、ランクⅠでは洗い出された重大な危険性について、さらにFTA、ETA、FMEAなどを適用して、その根本原因や災害拡大過程について詳細に検討するほ

うが、より効果的な安全性評価になるのではないかと考える。

実際の指針の適用においては、ランクⅠに該当するエレメントを有するプラントは少なく大半がランクⅡとなりWhat-Ifの採用となるが、最近では、プラントの新設、改造時には、この指針の要求とはかかわらず、設計の安全面からの最終確認の目的でHAZOPを適用するケースが増えている。この点からも上述した適用方法のほうが実際に合っていると思われる。

このほか、第3段階の定量的評価においては、LNG等の極低温液体（低温脆性など）、LPG等の加圧液体（BLEVE＝気液平衡破綻による沸騰蒸気爆発等）、運転温度と物質の引火点・発火点との関連（着火のしやすさ）などについて評価されないのが、温度や操作の評価項目においてなんらかの補正が必要と思われる。

## 消防庁・石油コンビナートの 防災アセスメント指針

消防庁特殊災害室は、石油コンビナート等災害防止法（石災法）に従い都道府県が作成する石油コンビナート等防災計画に係る災害の想定について、その方法に関するガイドラインとして、平成6年3月、「石油コンビナートの防災アセスメント策定指針」を作成した。ところが、平成7年1月17日、阪神・淡路大震災が発生し、地震を想定した防災計画の重要性があらためて認識されたことを受けて検討・見直しを行い、新たに地震に関する章を加えて改訂し、平成13年3月、特殊災害室長から関係道府県消防防災主管部長宛に通知されたのがこの指針である<sup>8)</sup>。以下に、指針の適用、内容等の概要について述べる。

### (1) 指針の適用

#### ① 法的拘束力

この指針は、もともと石災法にしたがって石油コンビナート等特別防災区域を有する都道府県が行う災害の想定を、出来るだけ客観的かつ現実的なものとするために作成されたものである。都道府県もこの指針を用いて防災アセスメントを実施している<sup>9)</sup>。

この点、民間事業者への普及徹底を狙いとした厚生労働省のセーフティ・アセスメント指針とは性格を異にしている。現在のところ、この指針も含め、防災アセスメントの実施を民間企業に義務付けた国内法規はない。したがって、民間企業が防災アセスメントを行う場合は、自主保安の立場からということになる。しかしながら、この種のアセスメントを



図8 防災アセスメントの基本概念 (消防庁指針)

行う場合は、独自の方法によるよりも公に認知された権威ある方法や考え方を採用した方がアセスメント結果の説得性が増すので、しばしばこの指針が用いられている。以下は、民間企業が自主保安の立場からこの指針を準用するケースを前提として述べる。

## ②適用対象

これまで国内で実施された防災アセスメント (災害想定と呼ばれていた当時の事例も含め) は、石油備蓄基地、LNG 受入基地などの大規模な受入・貯蔵基地の新設計画を対象としたものがほとんどであり、石油精製や石油化学等のプロセスプラントの事例は極めて少ない。現在では、産業用燃料ガスおよび都市ガス供給用の LNG 受入基地や、発電所に併設した LNG 受入設備に対する防災アセスメントが実施されている。

今後も、災害が発生した場合周辺に大きな影響を及ぼすと見られる危険物・可燃物の大量集積施設の新設計画において、第三者である周辺住民や地元行政当局に対して安全性を説明し、理解を得る必要性から、自主的なアセスメントが行われるものと考えられる。

## ③実施時期

上に述べた理由から、民間企業による防災アセスメントは、当該施設の計画段階、すなわち、計画地の配置、主要設備構成、設備規模、基本運転方針・条件などがほぼ固まった段階、で実施されるものと考えられる。特に、アセスメントの結果や行政当局等との折衝次第では、設備の配置や基本仕様の変更が必要となることも考えられ、実施時期は十分な余裕を見る必要がある。

### (2) 指針の内容

この指針におけるアセスメント方法の骨格は、図8の基本概念に示すように、災害の発生危険と影響度を推定し、それぞれをいくつかのランクに分けた後、その組み合わせによって災害危険性 (リスク) を総合的に評価し、防災対策の検討を行うものである。

この基本概念に基づいて筆者らが作成し、実際に

適用しているアセスメントの手順を図9に示し、以下にその概要を説明する。

### ステップ-1: 関連資料の収集および対象施設の理解

対象設備に関する立地・環境条件、設備基本計画、保安防災計画等の計画・設計資料や各種データを収集し、内容を把握する。

### ステップ-2: 対象設備の選定

アセスメントの対象設備 (災害の発生源となる設備) を選定するとともに、災害の影響を受ける施設および設備 (被災設備) を特定する。

対象設備として選定された設備については、災害の発端となる損傷・漏洩事故 (初期事象) を想定する機器・場所すなわち発災機器を設定する。被災設備については、計画敷地に近い周辺民家および隣接する他事業所、敷地内の発災機器に近い周辺設備、施設を特定する。

### ステップ-3: イベントツリー解析

選定された発災機器ごとに、損傷・漏洩事故 (初期事象) を設定し、以降の災害拡大の過程をイベントツリー解析手法 (ETA) によって解析する。解析は平常時と地震時に分けて行い、計画されている災害拡大の防止手段 (漏洩検知、緊急遮断、着火防止、消防火設備・消火活動等) を中間分岐事象として取り込み、各分岐ラインが最終的な災害事象 (ガス拡散、火災、爆発) に到達するまで解析する。

### ステップ-4: 災害発生頻度の推定

イベントツリー解析で作成されたイベントツリー図に、初期事象の発生頻度および各中間分岐事象の分岐確率 (事象の発生確率、災害拡大防止手段の失敗確率等) を与え、最終災害事象の発生頻度を計算する。適切な発生頻度や分岐確率データがない場合、フォールトツリー解析 (Fault Tree Analysis, FTA) 手法により推定するか、過去の事例等をもとに仮定する。

### ステップ-5: 災害シナリオの設定

イベントツリーに現れた最終災害事象をガス拡散、ジェット火災、プール火災、爆発等の災害形態に分類して発生頻度を求め、災害シナリオとしてイ

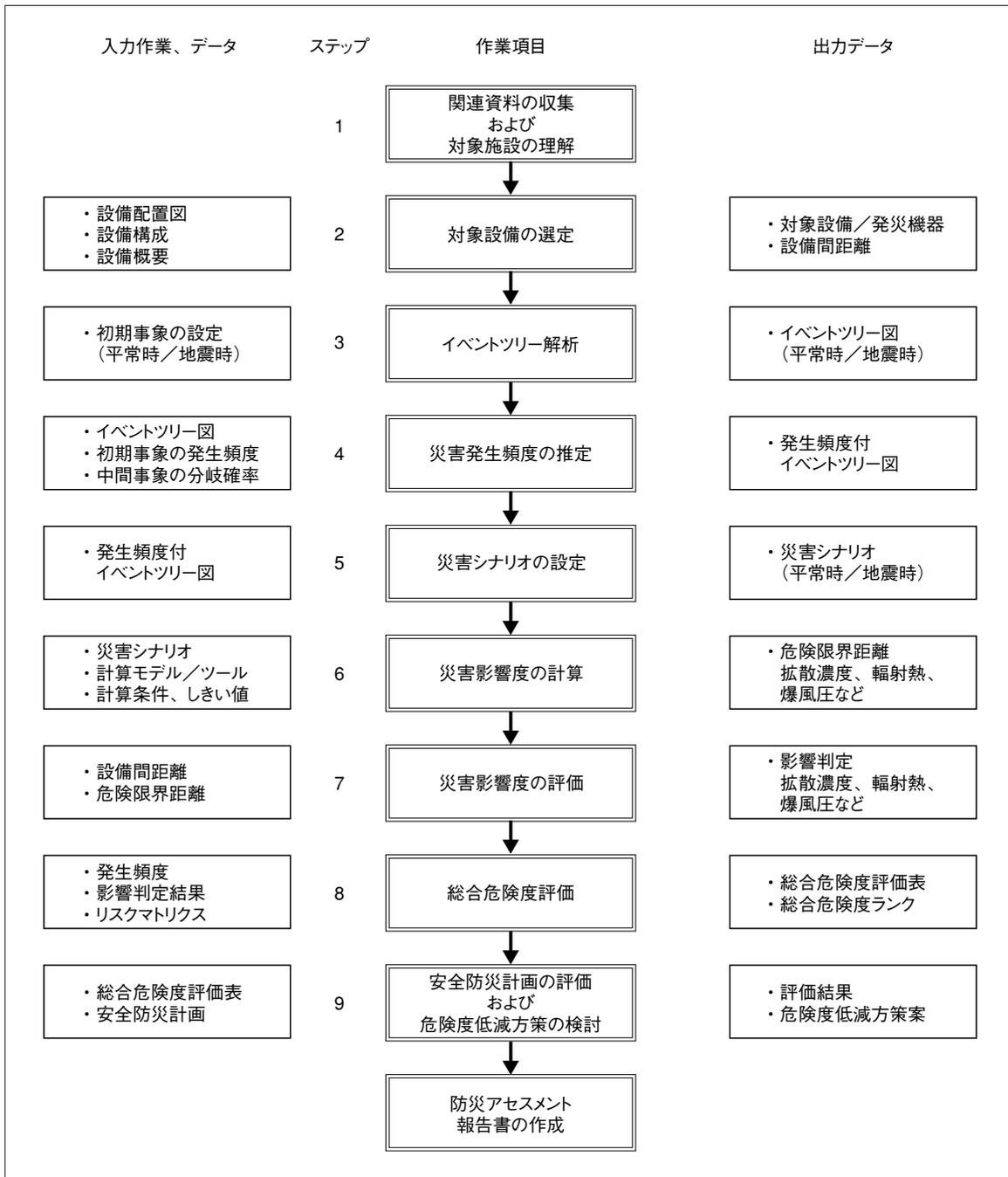


図9 防災アセスメントの流れ (例)

イベントツリー図に示す。

#### ステップ-6：災害影響度の計算

上記の災害シナリオに基づいて、各最終災害事象の災害影響度を計算する。計算においては、あらかじめ設定した拡散濃度、輻射熱および爆風圧のしきい値（人および設備）に対応する距離（危険限界距離）を求める。指針に示された計算式によるほか、市販の災害影響評価計算ツール等が利用できる。

#### ステップ-7：災害影響度の評価

上記の計算結果を総合危険度評価表にまとめ、災

害影響度の判定を行う。影響度の判定は、人および設備に対する危険限界距離を発災機器から各被災設備までの設備間距離と比較して行う。

#### ステップ-8：総合危険度評価

予め、消防庁指針を参考に発生頻度ランクと災害影響度ランクによるリスクマトリクス（人および設備）を作成する。それに基づいて各最終災害事象の総合危険度を優先度ランクとして決定し、総合危険度評価表に示す。

## ステップ - 9 : 安全防災計画の評価および危険度低減方策の検討

ステップ - 8 の総合危険度評価において、危険度ランクが許容レベルを上回る災害事象に対しては、危険度低減方策案の見直し、検討を行う必要がある。

## ステップ - 10 : 防災アセスメント報告書の作成

以上の結果に基づいて、防災アセスメント報告書を作成する。

### (3) 指針に関する私見

#### ①発生頻度データ

ステップ - 4 災害発生頻度の推定のためには、初期事象の発生頻度および各中間分岐事象の分岐確率を与える必要がある。指針には消防庁や高圧ガス保安協会の事故データベースが紹介されているが、これらのデータを整理し使用している都道府県の防災アセスメント報告書も参考となる。中には適切なデータがなく、FTA による推定や専門的判断による仮定が必要となる場合もあり、内外のデータソースおよびアセスメント事例の収集、活用が必要である。

#### ②流出孔の想定

ステップ - 6 災害影響度の計算では、流出量の算定のため流出孔を想定する必要がある。上記のデータベースには配管や容器の破口とその発生頻度の関係を示すデータが含まれていないため、専門的判断により仮定する事になる。指針では配管断面積の 1/100 に相当する流出孔や、フランジボルト 1 本の折損を想定した隙間を想定する例が示されているが、過大な仮定を避けるため上限を設ける必要性も述べている。筆者は、発生頻度とリンクさせない場合は、最大 50mm φ の流出孔 (500mm φ 配管の断面積の 1/100 に相当) が妥当と考えている。

#### ③リスクマトリクス

ステップ - 8 総合危険度評価には、評価基準となるリスクマトリクスが必要である。指針に例示されているリスクマトリクスは、影響度については石油コンビナートの内外を被災対象としているが、民間企業におけるアセスメントの場合はそのプラントの敷地内への影響 (隣接設備、施設) と外への影響 (隣接事業所、周辺民家など) に注目した分類が必要となる。

#### ④防災対策の検討

指針に例示されているリスクマトリクスでは、リスクランクは防災対策の優先度にリンクしているが、どんな防災対策を取るべきかについては示されていない。民間企業におけるアセスメントの場合は、ここが最も重要な部分のひとつであり、具体的な対

策が選定できるよう、リスクランク別の防災対策表を独自に用意することが望ましい。

## 定量的リスクアセスメント

定量的リスクアセスメント (Quantitative Risk Assessment, QRA) は、消防庁指針に示されているようなリスクマトリクスによる半定量的な評価ではなく、数値計算による定量的なリスク評価である (図 10 参照)。

すなわち、ひとつの事故から発生する災害 (火災、爆発、毒性ガス拡散等) による損失 (主に従業員および第三者の死亡) の頻度を計算し、起こりうるすべての事故の死亡頻度累積値から、ある地点における死亡頻度 (個人リスクと呼ぶ) を求め、配置図等に等高線で表示したり、一定の損失規模 (死亡者数) 以上の災害の発生頻度 (社会リスクと呼ぶ) を求め、死亡者数と発生頻度との相関関係をグラフ (F-N カーブと呼ぶ) で示し、予め設定した許容値 (リスク準) と比較する事によって、リスクを評価する方法である。

QRA は、起こりうる事故のシナリオ選定と発生頻度算定のため、HAZOP や What-If 等の潜在危険性特定手法や、FTA や ETA 等のシステム安全性解析手法を活用する (第 1 回の図 1 参照)。詳しい内容についてはアメリカ化学工学者学会 (AIChE) から出版されている図書<sup>10)</sup>が参考となる。

この QRA は海外における新規の大規模な化学プラント等のプロジェクトでは、計画段階や設計段階で頻繁に実施されている。国内においては今のところ実施例はほとんどないが、将来的には導入される可能性も考えられる。

## おわりに

5 回にわたりプラントの安全性評価について解説してきたが、紙面の都合により説明が足りない部分もあったかと思われる。不明な点はこれまで引用した文献等を参照していただくか、筆者まで問い合わせていただきたい。

第 1 回で述べたように、高圧ガス保安法や消防法の改正により、既設設備や新設・改造設備に対する危険源の特定あるいは危険要因の把握が法的に要求されたことにより、HAZOP、What-If、チェックリスト等の潜在危険性の特定手法に関心が高まっている。これを受けて当協会では、平成 17 年よりこれらの手法に関する研修会や実務助成業務を実施し、好評を頂いている。関心のある方は当協会の事務局までご連絡頂ければ幸いである。 (了)

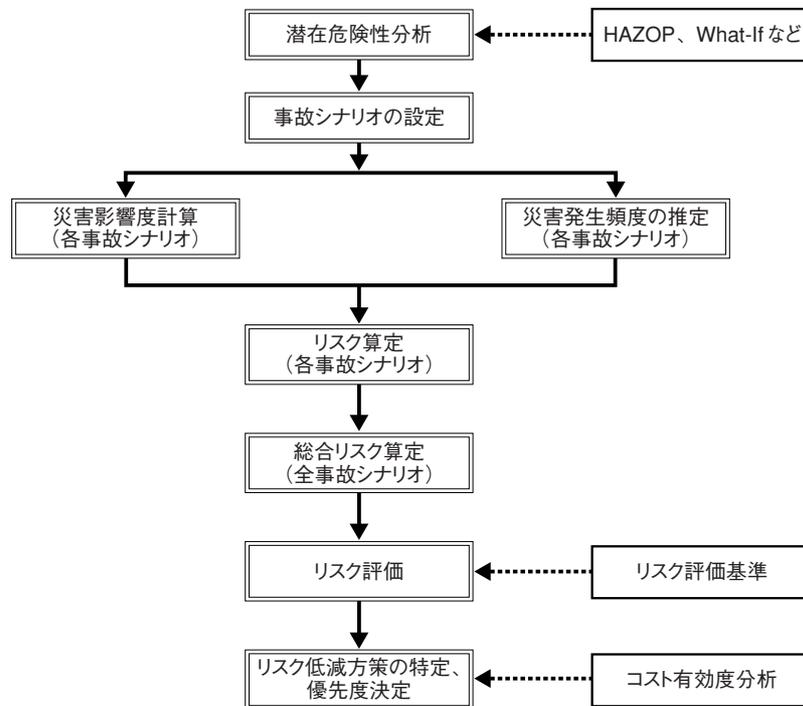


図 10 定量的リスクアセスメントの流れ

参考文献

- 6) 労働省労働基準局長通達 基発第 149 号および第 149 号の 2 「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントについて」、平成 12 年 3 月 21 日
- 7) 厚生労働省安全課編 「化学プラントのセーフティ・アセスメントー指針と解説ー」、中央労働災害防止協会、平成 13 年 3 月 30 日
- 8) 消防庁特殊災害室長通知 消防特第 40 号「石油コンビナート等防災計画における災害想定の実等について（通知）」、平成 13 年 3 月 19 日
- 9) たとえば、
  - ・大阪府・石油コンビナート等特別防災区域防災対策調査結果について（大阪府、平成 16 年 3 月 29 日報道発表）
  - ・北海道石油コンビナート等特別防災区域災害想定調査報告書（北海道、平成 17 年 3 月）
  - ・静岡県石油コンビナート等防災アセスメント調査報告書（平成 19 年 3 月、静岡県）
- 10) Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis Second Edition, 2000, Center for Chemical Process Safety (CCPS) of American Institute of Chemical Engineers (AIChE)

