

□化学プロセスのリスクアセスメント

東洋エンジニアリング株式会社

技術本部・応用解析グループ 角田 浩

## 1 はじめに

化学プロセスプラントは、化学反応、可燃性、有毒性といった特性を持った物質を、閉じた系内に封じこめて、エネルギーを加えることで生産を行なっている。もし、系内の物質あるいはエネルギーが系外に放出されるようなことがあれば、工場内の設備や従業員のみならず、周辺地域や環境に重大な影響を与える危険性がある。

このような潜在的な危険に対して、プラントは多重構造の防護層によって、仮にプロセスに異常が発生したとしても、事故に至らないように守られている。しかしながら、プラントは様々な機器、配管や計器で構築された巨大システムであるために、事故に至る潜在的な経路は単一ではない。

リスクアセスメントの要点は、システムの脆弱さや、システムが本質的に持つ危険性とその発生メカニズムを同定することにある。そうすることによって、安全対策の妥当性を適切に判断することが可能となる。

		ハザードの影響の大きさ		
		大	中	小
ハザードの発生頻度	高	リスク 甚大		
	中			
	低			リスク 最小

図1 リスクマトリックス

## 2 安全管理とリスクアセスメント

## 2.1 リスクの定義

「リスク」は、「ハザードの規模(影響の大きさ)×ハザードの発生頻度(確率)」と表わされる。リスクの概念は、図1のようにマトリックスを用いて表される。

## 2.2 安全管理システムのフレームワーク

リスクアセスメントは、リスクに基づいて、安全対策の妥当性を検証するものであるが、体系化された安全管理システムの中で、有機的に活用することが重要である。

安全管理システムの体系の例として、米国の労働安全健康局(U. S. Occupational

Safety&HealthAdministration:OHSА)

が行なっている、プロセス安全管理 (Process Safety Management PSM) がある。OHSAPSM は、重大な災害を引き起こす可能性のある、潜在的危険1生の高い化学物質を取り扱う化学プラントが対象となっている。安全管理のための技術的要素には、次のような項目がある。

- ・プロセス安全に関する情報
- ・プロセスハザード解析
- ・運転手順書
- ・従業員の訓練
- ・請負業者
- ・運転前安全性評価
- ・機器健全性の維持
- ・非正常作業における安全ルール
- ・変更管理
- ・事故調査
- ・緊急時対応計画
- ・適合監査

中でも、プロセスハザード解析、すなわちリスクアセスメントは、安全管理の根幹をなす重要な要素である。リスクアセスメントで得られたリスク情報は、プロセス安全に関する情報、運転手順書、従業員の訓練、運転前安全性評価、機器健全性の維持、非正常作業における安全ルール、緊急時対応計画等に影響を与える。また、それぞれの安全管理要素は、相互に密接に関連があり、リスクアセスメントにも影響を与える。

### 3 リスクアセスメント

#### 3.1 リスクマネジメント

リスクアセスメントは、リスクマネジメントの下で、リスク解析結果に基づいて評価を行い、意思決定を行う過程である。リスクマネジメントは、達成すべき安全の目標を立て、解析・評価基準や意思決定手順の体系を取り決め、運営管理を行う枠組みであり、図2のように表わされる。

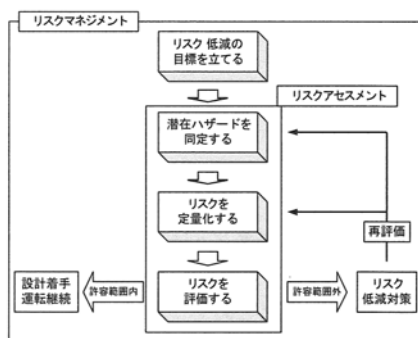


図2 リスクマネジメントのフレームワーク

#### 3.2 リスクアセスメント手法

事故に至るシナリオは、様々な経路を辿ることがあるため、その発生経路を見極めることが重要である。従って、リスクアセスメント手法に求められるものは、次のような特徴である。

- ①系統的な解析手法であること(網羅性)
- ②論理的な解析結果を導く手法であること(合理性)

リスクアセスメント手法は、定性的手法、定量的手法、それ以外の手法に大別される。

定性的リスクアセスメント手法は、ハザードの発生するメカニズムを解析・同定するために用いられ、次のような手法がある。尚、右肩に・を施した手法は、OHSAPSM でプロセスハザード解析手法の例として掲げられているものである。

- ・チェックリスト\*
- ・予備的危険度解析(PreliminaryHazard Analysis:PHA)
- ・ホワットイフ解析(What-IfAnalysis)\*
- ・ハザップ(HazardandOperability StudyHAZOP)
- ・故障モード影響解析(FailureModes andEffectsAnalysisFMEA)

予備的危険度解析は、物質、機器、配置等に着目して一般的な危険性を同定し、以降の設計や運転において注意すべき事項を洗い出すために用いられる。

ホワットイフ解析、ハザップや故障モード影響解析は、プロセスの状態が通常運転状態から逸脱して異常状態が発生したことを想定し、影響を同定することで、安全対策の妥当性を検証するために用いられる。

定量的リスクアセスメント手法は、事故の発生確率や事故の影響の大きさ、あるいは範囲、若しくはリスクそのものを定量的に評価するために用いられる。定量的手法の例には次のようなものがある。

- ・故障モード影響危険度解析(Failure Modes, EffectsandCriticalityAnalysis FMECA)
- ・フォールトツリー解析(FaultTree AnalysisFTA)
- ・イベントツリー解析(EventTree Analsis:ETA)
- ・定量的リスク解析(QuantitativeRisk AnalysisQRA)

故障モード影響危険度解析は、故障モード影響解析に、相対的ランキングによるリスク指標を加えて、半定量的にリスクを評価するものである。同じように、他の定性的

リスクアセスメント手法であっても、故障モード影響危険度解析と同様に、図1のようなリスク指標を用いることで、半定量的なリスク評価を行なうことができる。

フォールトツリー解析は、起こって欲しくない危険事象の原因を演繹的に解析し、危険事象の発生メカニズムを同定する定性的解析と、基本原因事象の発生確率等の故障率データを用いて、危険事象の発生する確率を求める定量的解析からなる。

イベントツリー解析は、初期事象がどのように伝播・進展して、最終的にどのような状態になる得るのか、その進展のメカニズムを分岐図で同定する定性的解析と、初期事象の発生確率とそれぞれの分岐確率を用いて、災害事象の発生確率を求める定量的解析からなる。

定量的リスク解析は、人的被害を評価指標としてリスクを解析・評価する手法であり、災害影響解析(ConsequenceAnalysis)と災害発生確率解析(ProbabilityAnalysis)の二つの要素技術で構成される。

その他のリスクアセスメント手法には、例えば相対的危険度評価がある。この手法は、物質の反応性・可燃性とプラント設備の構成に着目し、ユニット単位での火災爆発指数を求めることで、ランキングとして危険度を評価するものである。

### 3.3 ライフサイクルとリスクアセスメント

プロセスのライフサイクルのどの時点でも何を目的として行なうかによって、適切なリスクアセスメント手法を選択することが重要である。

プロセスのライフサイクルは、「研究・開発」→「概念設計」→「パイロットプラント」

→「設計」→「建設・試運転」→「商業運転」  
→「能増・改造」→「廃棄」の過程を踏む。  
研究・開発段階ではプロセスの化学的特性  
に限定されていたプロセス安全に関する情  
報が、パイロットプラントや設計段階に至  
ると、機械的設計や運転制御のための詳細  
情報が加わってくる。プロセス安全情報は、  
プロセスライフサイクルの進展に伴って量  
と質において成熟していく。

リスクアセスメントの実施時期の例をあ  
げると、次のようになる。

予備的危険度解析は、プロセスの研究・開  
発段階や概念設計のようなライフサイクル  
の初期に適している。ホワットイフ解析、ハ  
ズップ、故障モード影響解析および定量的  
解析は、プラントの基本仕様確定して詳  
細情報が手に入る、設計から建設に至る段  
階で実施される。

### 3.4 リスク低減対策

リスクアセスメントによってリスクが許  
容できないと判断される場合には、何らか  
の安全対策を検討することになる。定義か  
ら明らかなように、リスクに影響を与える  
ものには、「ハザードの規模(影響)」と「ハ  
ザードの発生確率(頻度)」という二つの要  
素がある。従って、リスクを低めるためには、  
基本的に、ハザードの規模を小さくするア  
プローチと、ハザードの発生頻度を小さく  
するアプローチがある。

ハザードの規模を小さくするアプローチ  
では、取り扱う物質の可燃性や毒性といっ  
た特性、取り扱い量・貯蔵量、運転条件—エ  
ネルギーに着目して、より危険性の低い物  
質に替える、取扱量・貯蔵量を少なくする、  
より穏やかな運転条件とするような対策を

考える、本質的安全対策がある。

ハザードの発生頻度を小さくするアプ  
ローチでは、機器の信頼性、物質の腐食性と機  
器材料の適合性、制御機器の信頼性、安全装  
置の信頼性に着目して、破損や故障を起こ  
し得る、機器や制御システムの信頼性を上  
げる方法がある。

その他、ハザードの起こる、あるいは伝播  
する速さは、安全インターロックシステム  
の必要性を判断する材料となる。

### 3.5 効果的なリスクアセスメントのために

#### 3.5.1 チームで実施すること

事故の発生メカニズムを同定するリスク  
アセスメントでは、プロセス・運転・制御・  
安全といった各技術の専門家からなるチ  
ームで実施することが望ましい。複合化され  
た技術で構成される設備においては、異常  
時の影響評価は総合的に行なうことが重要  
である。チームの最適人数は、5名～6名が  
目安となる。

#### 3.5.2 文書化すること

リスクアセスメントの結果は、文書化し  
ておくことが重要である。これは、安全管  
理において透明性を維持し、企業内外との対  
話を行なうために必要である。文書は、第  
三者が読んだ時にも容易にかつ正しく理解  
できるように、できるだけ丁寧な表現で記述  
することが望ましい。このことによって、リ  
スクに関する知識の共有が図られる。

## 4 おわりに

リスクアセスメントは、安全を自主的に  
管理するための基本動作である。リスクア

セメントを行なえば、全てうまくいくということではなく、安全管理システムの体系の中で、如何に他の安全管理要素との連携を図っていくかが重要である。

リスクを同定・評価する作業は、多くの時間と労力、および忍耐を必要とする。リスクを管理するには魔法の手段はなく、地道で継続的な努力が求められる。

## 参考文献

- 1) 製油所の総合的安全技術の整備と体系化に関する調査報告書(PEC-19991-27)
- 2) Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Second Edition with Worked Examples, AIChE-CCPS, 1992
- 3) Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE-CCPS, 1989

