

2013.02.01

災害リスク情報 <第 47 号>

プラント安全性評価の最新事情 ～HAZOP の有効な適用方法について～

はじめに

近年、化学工場などで発生した火災・爆発事故ではメディアを通じその被害の甚大さが報じられ、危険物を取り扱う事業所における火災・爆発リスクを再認識するきっかけとなった。これらの事故を受けて消防庁では「化学プラントにおける事故防止等の徹底について」（消防危第 220 号・消防特第 195 号・平成 24 年 10 月 1 日）を通知しており、以下の事項を要求している。

- ① 化学反応を伴う製造工程、自己反応により温度・圧力が上昇するおそれのある化学物質等について、これらを安全に制御するための条件を再確認し、従業者に周知徹底すること。
- ② 異常が生じたかどうかの監視方法や判断指標（温度、圧力等）を再確認し、適切な運転管理を徹底すること。
- ③ 暴走反応等異常な現象が生じた場合、石油コンビナート等災害防止法（昭和 50 年法律第 84 号）第 23 条第 1 項の規定に基づき、直ちに消防機関に通報することを徹底すること。
- ④ 爆発や火災の発生危険性及びその影響範囲について、現場対応に当たる従業者、また、現場到着した消防隊に周知し、適切に安全管理を行うことができるよう、あらかじめ計画、訓練等すること。
- ⑤ 上記 1～4 について、必要に応じ、対策の見直しを図ること。

これらの状況を踏まえると、危険物を取り扱う事業所は安全管理体制の再徹底を行政および世論から求められている状況にあるといえる。

平成 17 年 3 月 31 日に改正された高圧ガス保安法により、危険物や高圧ガスを大量に取り扱う化学プラントの多くの事業所では、高圧ガス認定事業所として保安水準を維持向上するために保安管理システムを確立、運用することが求められている。そのなかで、保安に影響を与える危険源を特定する手順を確立・維持するとともに危険源に関する情報を最新のものとする取り組みがなされている。

本稿では、危険源の特定に用いられる安全性評価手法の一つである HAZOP を取り上げ、その有効な活用方法について、HAZOP の専門家である日本防災システム協会の松岡俊介氏から伺うとともに化学プラント業界が抱える課題について考察した。

1. 安全性評価手法の概要

前述の高圧ガス保安法の改正以外にも、消防法（平成 17 年 4 月 1 日施行）においては「危険要因の把握」、労働安全衛生法（平成 18 年 4 月 1 日施行）においては「危険性・有毒性の調査」が新たに要求され、これら法規制によって危険源の特定が求められている。この特定のために安全性評価手法が広く用いられており、表 1 に示す各種手法が知られている。チェックリスト、What-If、PHA、HAZOP、FMEA 等は定性的評価法であり、相対危険度評価、FTA、ETA 等は定量的評価法である。各手法にはそれぞれ特徴があり、その分析においては表 1 に示す適用目的によって適宜使い分けを行うことが望ましい。

表 1 安全性評価手法の種類と適用

（出典：松岡俊介、「プラントの安全性評価」、日本防災システム協会（2007））

主な安全性評価手法	適用目的 潜在危険性・危険源の特定	設備・結果事象の危険度ランク	既存安全対策の確認・評価	システムの弱点解析	故障・緊急事象・事故の頻度解析	備考
(1) チェックリスト (CL)	○		○			主要な危険性項目ごとに潜在危険性の把握、必要な対策の有無および適切さを質問形式により確認
(2) 相対的危険度評価 (RR)		○	○			主要な危険性項目に点数を割り当て、その合計点によって危険度ランクを決定
(3) 予備的危険性評価 (PHA)	○	○	○			立地特性、危険物性、その他の主要危険性項目について、おおまかな潜在危険性を把握
(4) What-If (WI)	○	○	○			故障、誤操作、外乱等の What-If 質問を創出し、それらから起こる危険事象を特定
(5) What-If/チェックリスト (WI/CL)	○	○	○			チェックリストとの併用により What-If 質問の抜け落ちを補完し、それらから起こる危険事象を特定
(6) HAZOP	○	○	○			HAZOP ガイドワードによりプロセス異常（ずれ）を網羅的に設定し、それらの原因と最終危険事象を特定
(7) 故障モード影響（重大性）解析 (FME (C) A)	○	○	○		○	計機器の故障モードを設定し、それらから起こるシステム機能への影響、危険事象を特定
(8) フォルトツリー解析 (FTA)			○	○	○	望ましくない危険事象を想定し、その発生過程（因果関係）、基本要因を演繹的に特定
(9) イベントツリー解析 (ETA)			○	○	○	望ましくない危険事象を初期事象として想定し、その進展過程（災害拡大）、最終結果事象を帰納的に特定
(10) 原因結果解析 (CCA)			○	○	○	FTA と ETA を組み合わせて、望ましくない危険事象の基本要因と最終結果事象を特定
(11) 作業安全解析/誤操作解析 (JSA/HRA)	○	○	○			ヒューマンファクターに焦点をあてたタスク分析により、誤操作の発生要因を特定

CL : Checklist

PHA : Preliminary Hazard Analysis

FME (C) A : Failure Modes and Effects (Criticality) Analysis

ETA : Event Tree Analysis

JSA/HRA : Job Safety Analysis / Human Reliability Analysis

RR : Relative Ranking

HAZOP : Hazard and Operability Studies

2. HAZOP の概要

HAZOP(Hazard and Operability Studies)は、1974年にイギリスのICI社(Imperial Chemical Industries)によって開発された手法である。

HAZOPは効率的な運転や操作に妨げとなる設計・運転上の意図からの「ズレ」を設定し、そこから想定される潜在的な危険性を定義し評価するための体系的な手法である。HAZOPの概念図については図1に示す。

潜在的危険性の特定において抜け落ちをなくし網羅性を高めるために、表2に示すガイドワードを工程の各セクションにおける温度、圧力、流量等のプロセスパラメーターに適用させ「ズレ」を想定する。そして、「ズレ」の原因と、そこから予想される結果を洗い出し、対策を図るというものである。

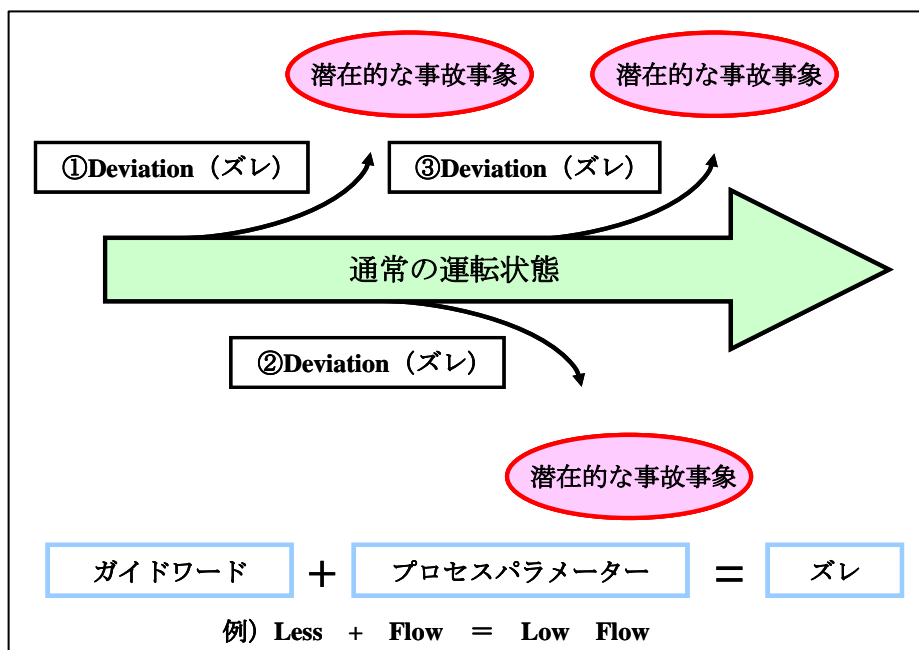


図1 HAZOPの概念図

(「RISK-BASED DECISION-MAKING GUIDELINES」,United States Coast Guard を基に作成)

表2 HAZOPガイドワード

ガイドワード	定義	解説
No/None	設計意図の否定	主に流量について設計で意図したことが全く起こらない
More	量的な増加	流量、温度、圧力等の設計で意図した最大値を超えることが起こる
Less	量的な減少	流量、温度、圧力等の設計で意図した最小値を超えることが起こる
Reverse	論理的な反意	流量、反応等において設計意図と反したことが起こる
As well as	質的な増加	組成変化に伴う物性変動等において設計および運転で意図したことはすべて達成されるが、その他に余分なことが起こる
Part of	質的な減少	設計および運転で意図したことの一部しか達成されない
Other than	完全な置換	設計意図は全く達成されず、全く異なることが起こる

(1) HAZOP の主な特徴と留意点

HAZOP についての主な特徴と留意点を以下に示した。

- ・プロジェクト、プロセス、計装の各エンジニアを主要メンバーとし、各部門の専門家から成るスタディチームを編成してブレインストーミング形式で解析作業を進める。
- ・リスクアセスメントのみならず、各種のプロセス異常に対するイメージトレーニングのツールとして有効である。
- ・プロセスプラントの異常発生原因とその結果について逐一検討を行うことで、抜け落ちのない網羅的な解析が可能である。
- ・詳細な分析が必要なため、時間と労力がかかる。
- ・プロセス系の解析手法であるため、火災・爆発、停電、地震、漏洩といった外部要因や事象は通常取り扱わない。

(2) 分析における手順

HAZOP による分析手順の概要は以下のとおりである。また、スタディワークシート例について表 3 に示す。

ステップ 1

プロセスシステムを各セクションに分割して、ガイドワードを用い個々のプロセス異常を洗い出す。この時、各セクションにおける機器の種類に応じて適切なガイドワードを適用する。



ステップ 2

洗い出したプロセス異常の原因とそれによって生じる結果を検討し、システムへの影響を評価する。



ステップ 3

異常の検知、予防及び防護に関する設計の内容、運転方法を調べ、スタディチームの中で改善・追加の必要があるか検討する。



ステップ 4

分析結果をワークシートに記録する。一つのラインのスタディが終了したら、別のラインを取り上げ、同様に作業を進める。

表3 HAZOP スタディワークシート (プロセス異常) (一部省略)
(出典: 松岡俊介、「プラントの安全性評価」、日本防災システム協会 (2007))

工場:
 スタディの目的: HAZOP研修会
 装置/設備名称: 原油常圧蒸留装置/LPG蒸留セクション
 スタディノードNo.: N-1002
 スタディノード概要: 脱プロパン塔 V-1001塔頂 (OH) ベーパー系
 設計意図/主要運転条件: 脱プロパン塔 OHベーパーの凝縮、塔頂圧力および脱プロパン塔 OH受槽圧力のコントロール
 圧力: V-1001塔頂: 15.0kg/cm2G、D-1001: 14.6kg/cm2G
 温度: E-1002A/Bシェル側入口/出口: 46℃/44℃

P&ID No.: HAZOP-EF-0001 (注) リスク評価はテキスト-3のリスク評価マトリクス (目安-1) による

ずれ	No.	考えられる要因	起こりうる影響・結果	考慮されている対策	リスク評価			アクション No.	アクション内容	担当
					L	S	R			
流れ停止/流量減少	1.1	E-1004炊き上げ停止 (FV-1002閉止など N-1004参照)	1.1.1 V-1001脱プロパン塔 圧力温度低下、運転停止	FIC-1002/1005 PIC-1001PAL TI-1002/1003/1014 TI-1005/1012/1015	2	2	A	A-1002-1	FIC-1002にFAL設置検討	プロセス/運転
			1.1.2 原料LPGがブタン貯槽に流入し圧力上昇、破損の可能性	AI-1001B1 (C3 in C4 LPG) ブタン貯槽安全弁 (放出ケース要確認) (注) 安全弁の作動により破損は回避され運転変動のみに緩和されるが、放出ケースが確認されていないので、安全弁は既存対策に含めない	2	5	C	A-1002-2	ブタン貯槽の安全弁放出ケースとして、原料LPG流入のシナリオが考慮されているか確認	プロセス
	1.2	PV-1001閉止	1.2.1 V-1001脱プロパン塔凝縮停止、脱プロパン塔およびD-1001OH受槽圧力温度上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出 (運転変動)	TI-1010、 PIC-1001/1002PAH、 PDIC-1001L、 PSV-1001/1002 PV-1002	2	2	A			
			1.2.2 D-1001OH受槽液面低下、V-1002プロパン脱水塔へのフィード停止	LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A	A-1002-3	FIC-1004にFAL設置検討	プロセス/運転
		1.2.3 最終的にD-1001液喪失、P-1001A/B還流ポンプ空引き損傷の可能性	LALL-1003 (P-1001A/Bトリップ)	1	4	B	A-1002-4	LALL-1003による(P-1001A/Bトリップシステムの作動確認試験計画を作成 (online/offline))	プロセス/制御/保守	
	1.3	PDV-1001閉止	1.3.1 ホットバイパス喪失により全凝縮状態 (E-1002A/B能力に余裕があれば過冷却)、OH受槽圧力温度低下、塔頂圧力制御不能、運転変動	FIC-1002/1005 TI-1010 PIC-1002PAL	2	2	A			
流量増加	2.1	E-1004炊き上げ増加 (FV-1002開放など N-1004参照)	2.1.1 脱プロパン塔過剰炊き上げによりフラッシング、塔頂系圧力温度上昇、破損の可能性	PIC-1001/1002PAH PSV-1001/1002	2	2	A			
			2.1.2 脱プロパン塔塔底液面低下、製品ブタン抽出し停止、運転変動	LIC-1001LAL	2	2	A			
	2.2	V1001リフラックス停止 (P-1001A/B停止、FV-1003閉止など N-1003参照)	2.2.1 塔頂ベーパー増大、E-1002A/B過負荷により圧力温度上昇、破損の可能性	PIC-1001/1002PAH PSV-1001/1002	2	2	A			
	2.3	PV-1001故障開放	2.2.1 E-1002A/B凝縮量増大しV-1001塔頂圧力およびD-1001圧力低下、プロパン製品オフスペックの可能性	PIC-1001PAL PIC-1002PAL AI-1001A2 (C4 in C3LPG)	2	2	A			
	2.4	PDV-1001開放	2.3.1 OH受槽圧力上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出、製品プロパンロス 2.3.2 E-1002A/B凝縮量低下、プロパン脱水塔へのプロパンフィード低下、製品プロパンロス	PIC-1002PAH、 PSV-1002 FIC-1004 LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A			
逆流	3.1	E-1006炊き上げ停止 (FV-1005閉止など N-1006参照)	3.1.1 プロパン脱水塔再沸器炊き上げ停止、塔内圧力温度低下にともない脱プロパン塔側からホット塔頂ベーパーが流入、脱プロパン塔の運転には大きな影響なし	FIC-1005 TI-1005/1012/1015	2	1	A			
異経路流れ	4.1	E-1002A/Bチューブ破断	4.1.1 脱プロパン塔塔頂ベーパーが冷却水側に流入し、冷却水配管が過圧損傷の可能性	設計圧力 S/T= 17.3/11.6kg/cm2G、Two-Third Ruleにより過圧損傷なし	1	1	A			
圧力上昇	5.1	1.2、2.1、2.2、2.4、4.1に同じ								
	5.2	E-1002A/B冷却水停止	5.2.1 V-1001 脱プロパン塔凝縮停止、脱プロパン塔およびD-1001OH受槽圧力温度上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出 (運転変動) 5.2.2 D-1001OH受槽液面低下、V-1002プロパン脱水塔へのフィード停止	TI-1010、 PIC-1001/1002PAH、 PDIC-1001L、 PSV-1001/1002 PV-1001 LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A			

3. 化学プラント業界が抱える課題と安全性評価手法の有効な活用方法

今回、安全性評価手法の一つ、HAZOP 分析の専門家である日本防災システム協会の松岡俊介氏にインタビューを行い、化学プラント業界が抱える課題と安全性評価手法の有効な活用方法についてお話を伺った。

(1) 化学プラント業界が抱える潜在リスクについて

平成 19 年の高圧ガス保安法改正によって、高圧ガス認定事業所に対し、危険源の特定が義務付けられました。しかし、近年、図 2 に示すように事故が増え続けている現状についてはどのようにお考えですか。

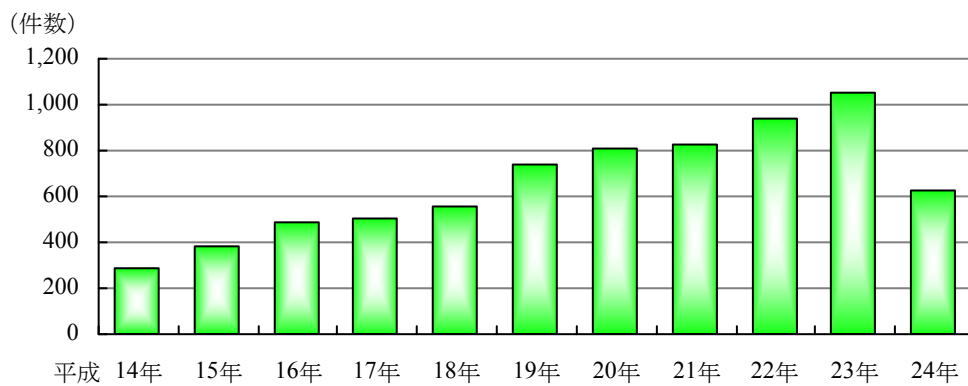


図 2 高圧ガス事故統計 (平成 24 年 8 月未現在)

(「高圧ガス関係事故集計 (平成 24 年未現在)」、高圧ガス保安協会を基に作成)

事故が増えていることは皮肉な現状であるが、危険源の特定のための安全性評価に効果が無いということではないと考える。現在プラント業界を取り巻く環境を含め別の要因が関係していると考えられる。平成 18 年、19 年は、ちょうど団塊世代の方々がリタイアした時期であった。そのため、現場から多くのベテランのオペレーターや保全担当者が退職し、その後の人的な補充が不十分であり、技術の伝承不足という面も関係していると感じている。

「設備の自動制御化に頼るあまり、緊急時におけるマニュアル操作対応が不十分である。」という指摘についてはどのようにお考えですか。

自動制御化、省力化ということで人手をかけないといっても、定常状態であればスムーズに運転ができる。どこかで故障や誤操作が生じ、それによってプラントの状態が不安定な状態に落ち込んだ場合の対応が自動化ではカバーできないため、オペレーターによる判断に頼らざるを得ない部分が発生する。そういった場合での判断ミスや対応ミスが重大事故につながる事例が最近目につく。この背景として、制御システムの機能・構成、そして安全システムの限界等への知識や経験が不足しており、その状況がプラントをブラックボックス化しているのかもしれない。その点からみると、安全性評価というのはこれからさらに重要になってくると思う。事前にプロセスの変動や異常が起きた際の事故事象への進展がどうなっていくかをどれだけ分析、解析して対策をとるかが重要であり、緊急時の対応をもう一度見直す必要がある。

その他、懸念される点はありますか。

プラントの経年劣化による事故多発が懸念される。高圧ガス保安協会の事故事例データベースによると、ここ 10 数年間の高圧ガス事故の要因から明らかであるが、約 30%を占める誤操作つまり人的要因とともに、経年劣化要因が 40%を超えている。現在稼動しているプラントは 40 年、50 年経過しているものも多い。その間、保全計画に基づく点検、設備の更新や補修を実施しているが、検査ポイントから外れたところで漏洩して火災が起きた事例も見られ、経年劣化がプラント全体に及んでいることを示している。この問題に対して有効な対策をとることが喫緊の課題である。

(2) HAZOP の有効な活用方法について

更なる保安向上のために HAZOP の活用について改善の余地はありますか。

通常の HAZOP ではあまり行われていないが、緊急停止作業についても実施することが必要だと考える。緊急停止操作中、誤操作や機器異常が起きた場合にどのような影響が生じるか、そしてそれらが事故に結びつくのを防止する方法はないか、このような緊急停止操作中を想定した評価が今後必要になると考える。

また、緊急停止の手順書というのはどのプラントにも用意されているが、その中の各手順において「時間」のファクターを分析することも必要である。例えば、液面高アラームが鳴った場合、実施しなければならない操作について手順書に記載されている。この場合は前提条件として、満液となりオーバーフローする前にオペレーターの対応が可能でなければならない。もし間に合わなければ、緊急停止インターロックなど自動化が必要となるので、手順書を作成する前にその時間的余裕があることを確認しなければならない。このような時間のファクターの検討については HAZOP のような危険源の洗い出し作業により全員で議論していくと、より実態に近い状況が分析できると考える。これは今後着目しなければならない評価ポイントと考える。

他には、先ほど述べた経年劣化の問題について、難しいかもしれないが安全性評価の対象に含めていくことが求められる。今までも工場では腐食・劣化等の観点で保全計画の中に点検箇所と点検周期・方法が決められてきた。しかし、先に触れたように、その対象から外れている部分で腐食・劣化等により漏洩することがある。そういった経年劣化による事故を防ぐためにもプラント全体にわたって経年劣化リスクを評価する方法を確立する必要がある。

HAZOP で経年劣化も含めて分析することはできますか。

まず、HAZOP が分析手法として妥当かを検討しなくてはならない。HAZOP は元々流れを伴うプロセス系についての分析手法で、流体が流れている機器や配管のプロセス異常現象については適用しやすい。一方、腐食というのは流体が滞留する場所やデッドエンドのところでよく発生するが、そのような場所には、HAZOP の流れ停止、流量の増加、減少等のズレは適用できない。HAZOP を経年劣化に適用するためには、ズレの概念から見直す必要がある。あるいは、What-If などの他の評価手法を経年劣化の切り口から適用するために工夫を凝らすことも考えられる。

HAZOP の実施に対する現場の声はどうか。

HAZOP を検討するためには多くの関係者が参加して、集中的に討議する必要がある。しかし、事業所の方々は通常業務があり、HAZOP の実施を通常勤務時間外で実施しているケースが多いと聞いている。そのため、非常に労力のかかる HAZOP の検討作業を簡略化できないかという意見が多くある。そのような現場の実情はよく理解できるので、HAZOP は危険なプロセスや新規のシステムなどに絞り、他の部分には所要時間の比較的短い What-If を適用するといったことをお勧めしている。

簡略化によってはリスクの洗い出しが不十分になるという可能性が出てくるのではないのでしょうか。

どれだけ分析するかを決める際は、労力との兼ね合いも大切であり、簡易型の HAZOP も実施されている。しかしながら、危険源の特定を見落とすことなく行うためには、多少の期間はかかっても網羅的な安全性評価を一通り実施することが重要だと考えている。手法の簡略化は網羅性を損なう恐れがあるので、上にも述べたが複数の手法を組み合わせることによって時間短縮を目指すことをお勧めしたい。

おわりに

今回、昨今の火災・爆発事故を踏まえ、安全性評価手法に着目し本稿をまとめる中で、現在、製造業を取り巻く環境が大きく変わり、以下のような課題が浮き上がってきた。

- ・現場の自動制御化や省力化に伴う人員削減により、一従業員にかかる負担感の増大
- ・熟練技術者の大量退職に伴う、運転管理技術・知識、プロセス開発時の技術や事故防止におけるノウハウの埋没
- ・異常状態になった場合の回避方法・対応の知識や経験の埋没
- ・設備老朽化に伴う経年劣化への対応

熟練技術者の大量退職により、大きく若返りが図られている一方で、技術・知識の埋没化が進んでいるように考えられる。今一度、安全に向き合い、基本的なところから再度取り組んでいくことが必要な時期に来ていると考えられる。

職場内の安全活動や安全意識教育などを通じた安全意識の定着・各層での意思疎通の円滑化、プロセスの安全性評価や事故事例研究などを通じた製造プロセスとその安全システムの更なる理解、経年劣化に対しては類似事故事例の設備保全への展開など、取り組むべきことは枚挙に暇がない。一足飛びには成果が現れないが、これらの活動を地道に、かつ継続的に実施することにより、技術・経験・知識が再び蓄積され、社内の安全文化の醸成へ繋がっていくものと考えられる。安定的な操業の実現をするために、限られたリソースの中ではあるが、更なる保安向上に向けた着実な取り組みが期待される。

以上

コンサルティング第三部 リスクエンジニアリング第二グループ
コンサルタント 松本 裕文

参考文献

- 1) 松岡俊介、「プラントの安全性評価」、日本防災システム協会（2007）
<http://www.bosai-system.jp/images/guide1.pdf>
<http://www.bosai-system.jp/images/guide2.pdf>
<http://www.bosai-system.jp/images/guide3.pdf>
<http://www.bosai-system.jp/images/guide4.pdf>
<http://www.bosai-system.jp/images/guide5.pdf>
- 2) 「RISK-BASED DECISION-MAKING GUIDELINES」,United States Coast Guard
http://www.uscg.mil/hq/cg5/cg5211/docs/RBDM_Files/PDF/RBDM_Guidelines/Volume%203/Volume%203-Chapter%2010.pdf
- 3) 新井充、佐藤吉信、高木伸夫、野口和彦、若倉正英、実践・安全工学 シリーズ2「プロセス安全の基礎」、化学工業日報社（2012）
- 4) 上原陽一、小川輝繁「防火・防爆対策技術ハンドブック」、株式会社テクノシステム（2004）

株式会社インターリスク総研は、MS&AD インシュアランスグループに属する、リスクマネジメント専門のコンサルティング会社です。
災害や事故の防止を目的にしたサーベイや各種コンサルティングを実施しています。弊社コンサルティングに関するお問合せは下記の弊社連絡先、または、あいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

株式会社インターリスク総研 コンサルティング第三部 リスクエンジニアリング第二グループ
千代田区神田駿河台 4-2-5 TEL:03-5296-8947/FAX:03-5296-8942

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。
また、本誌は、読者の方々に対して企業の災害防止活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

不許複製/Copyright 株式会社インターリスク総研 2013