

プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方

島田 行 恭^{*1} 佐藤 嘉彦^{*2} 板垣 晴彦^{*2}

平成 28 年 6 月 1 日より、SDS（安全データシート）の交付が義務付けられている物質については、リスクアセスメントを実施することが義務化された。実効性のあるリスクアセスメント等を実施する上で重要な点は「プロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）を発生させる潜在危険を如何に特定するか？」、「現実的に起こりうるシナリオを如何に同定するか？」などである。

本研究では、化学物質を取り扱う事業場におけるプロセス災害の防止を目的としたリスクアセスメント等の進め方を技術資料としてまとめた。その進め方は、まず STEP 1 で、取り扱い物質及びプロセスの特性に関する質問に回答する形で物質及びプロセスに係る危険源を把握するとともに、過去の事故事例などから起こりうる災害を確認する。STEP 2 では、潜在する危険を顕在化させる引き金事象（初期事象）として、作業・操作や設備・機器の不具合、外部要因を特定し、引き金事象からプロセス異常（中間事象）及びプロセス災害（結果事象）発生に至るシナリオを同定する。シナリオに対して、リスクの見積りと評価を行い、リスクレベルが高いシナリオに対しては、多重防護の考えに沿って、追加のリスク低減措置を検討する。同時に、現場作業員への伝達事項もまとめておくことで、現場でのリスク認識、対応を促す。STEP 3 では、リスクレベルが高いシナリオから順番にリスク低減措置の実装を決定する。

キーワード: 化学物質、リスクアセスメント、プロセス災害防止、多重防護

1 はじめに

化学物質を取り扱う事業場では、自主的な安全管理活動の実施が要求され、ヒヤリハット情報の収集、危険予知訓練、体感教育、リスクアセスメント等の実施など、様々な活動が行われている。長期的に見れば、化学物質に起因するプロセス災害（火災・爆発・漏洩・破裂など）による労働災害発生件数は減少傾向にあるが、近年、事業場外の周辺地域住民を巻き込むような大事故も発生している。化学物質を取り扱う設備では、取り扱い物質の異常反応、設備の不具合、人的ミスなど、様々な要因が事故の直接原因となり得る。また、安全管理体制に不備があること、リスクアセスメント及びリスク低減措置の検討・実施が不十分であること、緊急時対応を含めた安全管理の規範となるべき標準・基準が整備されていないことなどが事故の背景要因として指摘されている。

平成 26 年 6 月 25 日に「労働安全衛生法の一部を改正する法律」（平成 26 年法律第 82 号）が公布され、SDS（安全データシート）の交付が義務付けられている物質については、リスクアセスメント等を実施することが義務化された（平成 28 年 6 月 1 日から施行）。該当する化学物質を取り扱う事業場では、その取扱量や設備規模の大小にかかわらず、リスクアセスメントを実施しなければならない。一方、義務化の対象となっていない化学物質についても、火災や爆発などを引き起こす可能性があることは、過去の多くの事故事例が示しているとおりであり、生産活動を始める前に、リスクアセスメントを実施し、的確なリスク低減措置を実装することが重要である。

本研究では、平成 25 年 4 月より開始したプロジェクト研究「労働災害防止のための中小規模事業場向けリスク管理支援方策の開発・普及」のサブテーマ 2「化学プロセス産業の中小規模事業場におけるリスク管理方策の普及のための研究」（以下、「本研究」という）において、化学物質を取り扱う事業場でのプロセス災害発生を防止するためのリスクアセスメント等の進め方及び実施上の重要なポイントと、リスクアセスメント等を実施する場合に参考となる情報を技術資料（JNIOOSH-TD-No.5）にまとめ、平成 28 年 2 月に公表している¹⁾。

2 プロセス災害防止のためのリスクアセスメントの目的と課題

ヒヤリハット情報の収集、危険予知訓練、体感教育などによる危険感受性を高める取り組みなどは、過去に経験した危険な出来事（運良く大きな災害に至らなくて済んだニアミスなども含む）について、関係者全員で情報共有し、同様の災害発生を防ぐことを目的としており、労働災害防止や火災・爆発などの事故防止に寄与している。

一方、リスクアセスメントの進め方は、図 1 に示すように JIS でも定められており²⁾、その目的は、次の通りである。

- ・潜在する危険を顕在化させる危険源を網羅的に見付け出すこと（ハザード同定）
- ・危害の程度（重篤度）と発生確率を組み合わせたりリスクのレベルを決めること（リスクの見積りと評価）
- ・リスクレベルの高いものから順番にリスク低減措置を検討し、実施すること（リスクの低減）

*1 労働安全衛生総合研究所リスク管理研究センター

*2 労働安全衛生総合研究所化学安全研究グループ

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 リスク管理研究センター 島田行恭*1

E-mail: shimada@s.jniosh.go.jp

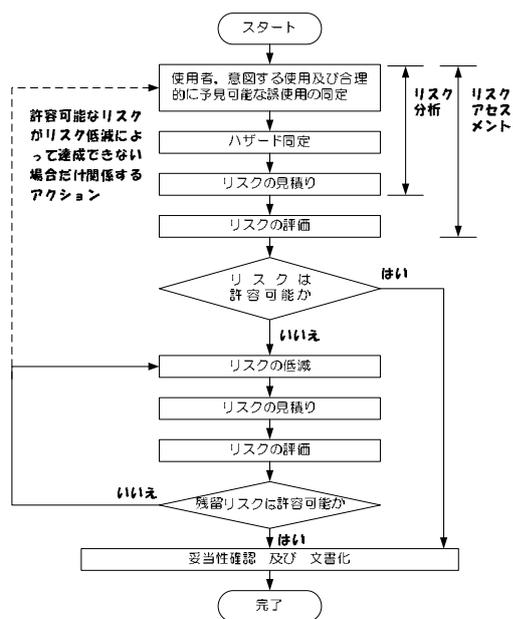


図1 リスクアセスメント及びリスク低減の反復プロセス

化学物質のリスクアセスメントは主に健康障害（有害性）防止とプロセス災害（危険性）防止の2つを目的として実施される。健康障害防止のためのリスクアセスメントについては、コントロールバンディングなどの手法が確立され、広く実施されている。一方、プロセス災害防止を目的としたリスクアセスメントについても、図1に示す手順に従って実施することが基本となるが、これまでの実施状況から、次に示すような課題がある。

- a) 化学物質や反応プロセスについて、プロセス災害などを引き起こす危険（通常の操業状態では経験することのないもの）を網羅的に想定するのは難しい。
- b) 潜在する危険を顕在化させる危険源を特定し、さらに、どのような条件が重なりとプロセス災害発生に至るのか（シナリオと呼ぶ）を同定するには、専門的知識が必要となる。
- c) リスク低減措置として、より有効である本質安全対策や工学的対策を実施するのは容易ではない。
 - a) について、長年、現場に慣れ親しんでいる作業員（熟練作業員）ほど、これまでに経験したことのない状況を新たに想像するのは難しくなる。アンケート調査などで「リスクアセスメントを実施している」と回答している事業場でも、実際にはヒヤリハット情報として報告された危険性についてのみ検討している場合が多く見られる。
 - b) について、化学物質そのもの、反応プロセス、製造工程には、直接、目で見ることができない危険性が潜んでいる。普段、安定した操業が行われている時に、この危険が顕在化することはないが、例えば、反応温度を調節している冷却水の制御弁が故障したり、作業員がバルブの開閉操作手順を間違えたりすると、これが引き金となり、潜在していた危険が顕在化し、プロセス災害を引き起こしてしまう場合がある。つまり、プロセス災害防止のためのリスクアセスメントでは、従来のような、化

学物質や反応プロセスの特性のみに着目していたのでは不十分であり、これらを取り扱う設備や装置、作業や操作についても、それぞれの不具合が火災・爆発を引き起こす原因となることを想定したリスクアセスメント等を実施する必要がある。

c)について、生産計画の順守や予算等の制約により、真に必要なリスク低減措置の実施を避けるためにリスクを低く見積もるなど、的確なリスクアセスメントを実施することの妨げとなっていることもある。一般に、リスク低減措置としてマニュアルの作成やルール順守の徹底などの管理的対策を実施する場合、発生頻度を下げることではできても、危険の程度（重篤度）を下げることはできない。それにも関わらず、管理的対策の実施により危険の程度（重篤度）が下がり、リスクレベルを下げることでできたと評価している事例が多く見られる。

3 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方

本研究では、プロセス災害を防止するためのリスクアセスメント等の進め方について技術資料にまとめた。以下、その内容を説明する。

1) 概要

図2に「プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方」の概要を示す。大きく3つのステップで構成される。

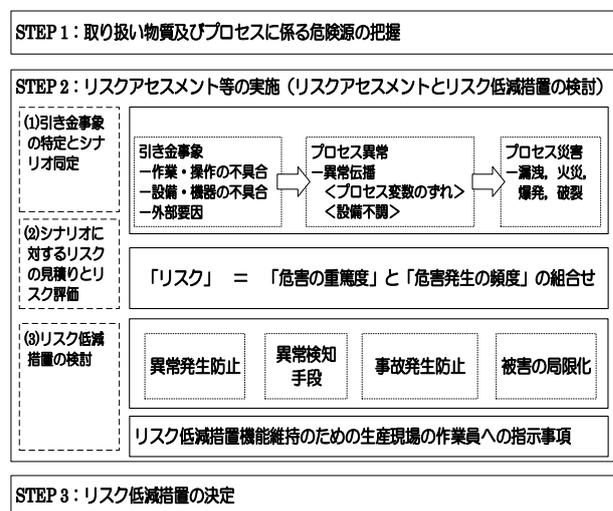


図2 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方

STEP 1: 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

リスクアセスメントの対象となる化学物質及びプロセスなどに関する質問に答えることで、以下のような危険源を事前に把握する。

- どのような危険性を有するか？
- どのようなプロセス災害を引き起こす可能性があるか？

表1 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施シート（様式）

実施日	○年○月○日
実施者（記載者）	○○○○

STEP 1 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握結果	質問票で「はい」に○が付いた項目
-------------------------	------------------

STEP 2 リスクアセスメント等の実施

作業・操作、設備・装置とその目的		(作業・操作、設備・装置) (目的)					
①引き金事象特定とシナリオ同定	引き金事象 (初期事象)						
	プロセス異常 (中間事象)						
	プロセス災害 (結果事象)						
②既存のリスク低減措置の確認		・○○○ <種類><目的>			●リスク低減措置の種類 A) 本質安全対策 B) 工学的対策 C) 管理的対策 D) 保護具着用 ●リスク低減措置の目的 a) 異常発生防止 b) 異常発生検知 c) 事故発生防止 d) 被害の局限化		
②リスク見積りと評価 (その1) 既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合		重篤度	頻度	リスクレベル			
		○△×	○△×	I II III			
②リスク見積りと評価 (その2) 既存のリスク低減措置の有効性確認		重篤度	頻度	リスクレベル			
		○△×	○△×	I II III	重	頻	リ
③追加のリスク低減措置の検討 & ③リスク見積りと評価 (その3) 追加のリスク低減措置の有効性確認		イ) ○○○ <種類><目的> ・追加リスク低減措置毎にリスクを見積り、評価する					
		ロ)					
		ハ)					
		ニ)					
③追加のリスク低減措置の実装可否		イ) ~ ニ)					
③リスク低減措置の機能を維持するための現場作業員への注意事項等		イ) ~ ニ)					
③その他、生産開始後の現場作業員に特に伝えておくべき事項		残留リスクの有無の確認: 有 無 残留リスクへの対応方法:					
備考							

STEP 2：リスクアセスメント等の実施（リスクアセスメントとリスク低減措置の検討）

STEP 1 の結果を基に、以下の手順でリスクアセスメント等を実施する。

- ① 潜在する危険を顕在化させる引き金事象を特定し、引き金事象からプロセス災害発生に至るシナリオを同定する。
- ② シナリオに対するリスクを見積り、許容可能なリスクレベルに到達しているかどうかを評価する。
- ③ リスクレベルが高い（許容レベルを超えている）シナリオに対して、追加のリスク低減措置を検討する。
- ④ ①～③を繰り返すことで、様々なシナリオを同定するとともに、リスクの見積り及びリスク評価を行い、それぞれに必要なリスク低減措置を検討する。

STEP 3：リスク低減措置の決定

STEP 2 で作成されたシナリオ毎のリスクアセスメント等実施結果を1つにまとめリスク低減措置を決定する。

2) リスクアセスメント等の記録シート

プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施のための記録シートとして、次の2種類を用意する。

- ・リスクアセスメント等実施シート
- ・リスクアセスメント等実施結果シート

表1にリスクアセスメント等実施シートの様式を示す。引き金事象発生からプロセス災害発生に至る1つのシナリオについての検討結果を記録するためのシートで、シートの上から順番に検討・記述していくことで、リスクアセスメントの検討結果を記録することができる。

表2にリスクアセスメント等実施結果シートの様式を示す。シナリオ毎にまとめられたリスクアセスメント等実施シートを集めて1つの実施結果シート（一覧表）にまとめる。様々なシナリオに対する検討結果全体を見渡すことで、各シナリオのリスクレベルを比較し、優先順位に従って、リスク低減措置を決定する。

3) STEP 1 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

取り扱い物質そのものやプロセスで行われている化学反応、あるいは、その製造工程に様々な危険性があることを把握するために、17個の質問からなる質問票を用意している（表3）¹。質問は大きく次の3種類に分けられる。

- (i) 取り扱っている化学物質に関する9つの質問
- (ii) プロセスでなされている反応やプロセスに設定された物理条件に関する5つの質問
- (iii) その他の要因に関する3つの質問

全ての質問に「はい」または「いいえ」で回答することにより、化学物質及びプロセスが有する代表的な危険源を把握できる構成としている。これにより、以下のような危険源を事前に把握することができる。

¹ 技術資料の表4には、各質問に対する説明と関連する事故事例を示している。

- どのような物質危険性を有するか？
- どのようなプロセス災害を引き起こす可能性があるか？
- STEP 2 のリスクアセスメント等の実施では、どのようなことを気にする必要があるか？

表3 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源把握のための質問項目（一部を簡略化）

(i)	1. 危険性又は有害性等の調査（リスクアセスメント）を義務付けられているか？
	2. いずれかの GHS 分類が「分類対象外」「区分外」「タイプ G」以外のものか？
	3. 可燃性、引火性か？
	4. 爆発性、あるいは、自己反応性に関わる原子団を持っているか？
	5. 有機物、金属など可燃性粉じんか？
	6. 過酸化物を生成する物質か？
	7. 重合反応を起こす物質か？
	8. 液化ガスか？
	9. SDS が存在していないけれども、危険有害性が疑われるか？
(ii)	10. 意図的に反応（副反応・競合反応なども含む）を起こしているか？
	11. 何らかの物理的な操作の際に温度が上がるか？
	12. 意図した物質の混合や、意図していない物質の混入により、以下の可能性があるか？
	・温度が上昇する
	・GHS 分類のいずれかの危険源となる物質を生成する
	・大量のガスを発生する
	・取り扱い物質の熱安定性が低下する
	13. 常温・常圧ではない箇所（高温、高圧、低圧）が存在するか？
	14. 大量保管をしている箇所が存在するか？
(iii)	15. 腐食が進みやすい箇所が存在するか？
	16. 外界からの影響要因（雨水による外面腐食、紫外線による材料劣化など）はあるか？
	17. 高電圧／高電流の箇所が存在するか？

質問に対する回答が「はい」となったものは、その物質またはプロセス内の反応や物理条件などがプロセス災害発生の危険源となりうることを意味し、STEP 2 のリスクアセスメント等を実施する際に、特に着目すべき点となる。また、質問に対する回答がすべて「いいえ」となった場合でも、作業・操作の不具合や設備・装置の不具合が発生する場合も考えられ、リスクアセスメント等を実施することが望ましい（安衛法第28条の2；リスクアセスメントの努力義務）。それぞれの質問内容に該当するかどうか判断するのが難しい場合には、該当する（すなわち「はい」とみなし、STEP 2 のリスクアセスメント等実施において、詳細な解析を行う。

4) STEP 2 リスクアセスメント等の実施（リスクアセスメントとリスク低減措置の検討）

STEP 1 で実施された取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握と過去の事故事例などを参考にして、以下の手順により、リスクアセスメント等を実施する。

(1) 引き金事象の特定とシナリオの同定

リスクアセスメントの対象となる工程や設備・装置に潜在する危険を顕在化させる「引き金事象」を特定し、引き金事象の発生から火災・爆発などのプロセス災害発生に至る過程を「シナリオ」として同定する。

① 対象とする作業・操作又は設備・装置の目的の確認
 リスクアセスメント等実施の対象とする作業・操作、設備・装置の目的を確認し、表1の実施シートに記入する。

② 引き金事象の特定

プロセス災害防止のためのリスクアセスメントでは、化学物質の特性を調査するだけでなく、原料投入設備の故障、攪拌機の故障停止、配管の詰まりなどの設備・装置の不具合や、作業員による作業手順の間違い、状況判断ミスなどの作業・操作の不具合を想定したリスクアセスメントを実施する必要がある。潜在する危険を顕在化させる事象「引き金事象」として次の3種類の不具合などを特定する。(a)~(c)はどの順番で実施してもよい。

(a) 作業・操作に関する不具合の想定

作業・操作の不具合が引き金となり、プロセス災害が発生することがある。運転マニュアル、作業手順書（工程表）、操作手順書などを参考に、どのような作業・操作を行っているかを確認する。作業・操作には順番、時期、時間、充填量などが定められているが、表4に示すようなずれを順番に適用することで、作業・操作などの不具合（確認ミス、作業ミスなど）を引き金事象として特定する。

表4 作業・操作に関する不具合を特定するためのずれの例

パラメータ	ずれの例
作業・操作の順番	作業・操作を実行しない／逆の順番で実行する／一部のみ実行する／余計な作業・操作を実行する／異なる作業・操作を実行する
作業・操作の時期	作業・操作の実行が早過ぎる／遅過ぎる
作業・操作の時間	作業・操作時間が長過ぎる／短過ぎる
充填量	充填量がゼロ／多過ぎる／少な過ぎる

(例) 作業・操作などの不具合

- ・指示器の確認を怠った（作業を実行しない）。
- ・ポンプ起動の順番を間違えた（逆の順番で操作を実行する）。
- ・バルブを開くタイミングが遅れた（作業の実行が遅過ぎる）。
- ・原料の投入量が少な過ぎた（充填量が少な過ぎる）。

(b) 設備・装置に関する不具合の想定

設備・装置の不具合が引き金となり、プロセス災害が発生することがある。設備・装置の設計図（プロセスフロー図や配管計装図などを含む）を参考に、解析対象とする設備・装置などをリストアップし、それらの不具合

を引き金事象として特定する²。

(例) 設備・装置の不具合（括弧内は引き起こされるプロセス異常の例）

- ・調節弁の故障閉（流量無し、圧力増加、液位高など）
- ・ポンプの故障停止（流量無しなど）
- ・配管の閉塞（流量無し、圧力増加など）
- ・熱交換器のチューブ破断（圧力増加など）

(c) 外部要因の想定

停電や自然災害などが引き金となり、プロセス災害が発生することがある³。これらの外部要因は、(a)作業・操作の不具合、(b)設備・装置の不具合につながる。

③ 引き金事象からプロセス災害発生に至るシナリオの同定

STEP 1で「はい」と回答された質問の右欄に示された説明と事故事例、及びプロセス災害の例⁴などを参考に、②で特定された引き金事象から起こるプロセス異常（流量、温度、圧力などの異常や、設備・装置の異常状態）、プロセス災害発生に至る過程（シナリオ）を同定する。シナリオを同定する際には、以下のような点を考慮するとよい。

- ・物質が燃焼するには可燃物、酸素、及び着火源の、いわゆる燃焼の3要素が必須となる（図3）。プロセス災害発生に至るシナリオを検討する際には、燃焼の3要素の有無の確認を念頭に置く検討しやすい。

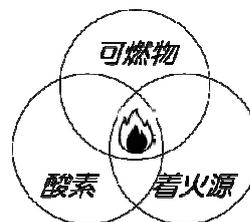


図3 燃焼の3要素

- ・既にリスク低減措置が設置されている場合、これが機能することを前提として、「火災・爆発が発生することはない」と判断する例が散見された。このことは潜在する危険性を見逃すだけでなく、追加のリスク低減措置を検討しなくなることに繋がり、想定外の危険性として取り扱われることになってしまう。危険性を洗い出す際には、既存のリスク低減措置は存在しないと仮定して、火災・爆発に至るシナリオを検討する。

(2) シナリオに対するリスクの見積りとリスク評価

同定されたシナリオに対して、既存のリスク低減措置の有無を確認するとともに、リスクの見積り及びリスク評価を行い、リスクレベルを決定する。

① 既存のリスク低減措置の確認

引き金事象、プロセス異常、及びプロセス災害の発生を防ぐために既に設置されているリスク低減措置の有無

² 技術資料の表6には設備・装置の不具合の例を示している。

³ 技術資料の表7には外部要因の例を示している。

⁴ 技術資料の表8にはプロセス災害の例を示している。

を確認する。「有」の場合には、リスク低減措置の内容と次に示す種類及び目的を記入する。

リスク低減措置の種類：

厚生労働省の指針に示されたリスク低減措置検討・実施の優先順位（ここでは、「種類」と呼ぶ）を示す。リスク低減措置がA)～D)のいずれに該当するかを明示する。

- A) 本質安全対策
- B) 工学的対策
- C) 管理的対策
- D) 保護具の着用

リスク低減措置の目的：

表5に多重防護の考え方で分類したリスク低減措置（ここでは、「目的」と呼ぶ）を示す⁵。リスク低減措置がa)～d)のいずれに該当するかを明示しておく。

- a) 異常発生防止
- b) 異常発生検知
- c) 事故発生防止
- d) 被害の局限化

a), c), d)のリスク低減措置を実装し、機能させるためには、プロセス内でどのような異常が発生しているかを検知するためのセンサー（温度、圧力、流量など）や異常発生を知らせるための警報システムなどが必要になる。そのため、b)異常発生検知手段をセットで検討する。

表5 多重防護によるリスク低減措置の目的

リスク低減措置の目的	説明
a)異常発生防止対策	主に初期事象の発生を防止するための対策であり、異常を発生させない、あるいは異常が発生しても封じ込めシステムの適切な設計などで、正常な運転状態に保つ。 ※ 通常の運転状態（Normal）からの逸脱を回避することが目的。
b)異常発生検知手段	異常が発生した場合のプロセス変数（流量、温度、圧力、液レベル、組成など）のずれ発生を検知する。検知した結果を基に、a)異常発生防止対策、c)事故発生防止対策、またはd)被害の局限化対策でどのように対応するかを考える。
c)事故発生防止対策	主に初期事象発生からプロセス災害発生までの異常伝播（中間事象）を防ぐための対策であり、危険源が顕在化しても、事故まで発展させないようにする。
d)被害の局限化対策	主にプロセス災害発生後の影響（被害）を減らすための対策であり、事故が発生しても事故の拡大を阻止する、または避難などにより被害を許容可能なレベルまで下げる。

② リスク評価（その1）

「プロセス災害」を「危害」とみなし、リスクの見積りと評価を行う。表6にリスク見積り基準の例を示す。リスク見積りの結果を基に、許容可能なリスクレベル（例えば、リスクレベルⅢとなるシナリオを無くすこと）を達成しているかどうかを判定する（リスクを評価する）。

表6 リスク見積りの基準（例）

(a) 危害の重篤度

重篤度（災害の程度）	災害の程度・目安
致命的・重大（×）	・死亡災害や身体の一部に永久的損傷を伴うもの ・休業災害（1ヵ月以上のもの）、一度に多数の被災者を伴うもの ・事業場内外の施設、生産に壊滅的なダメージを与える （例：復旧に1年以上掛かる）
中程度（△）	・休業災害（1ヵ月未満のもの）、一度に複数の被災者を伴うもの ・事業場内の施設や一部の生産に大きなダメージがあり、復旧までに長期間を要するもの （例：復旧に半年程度掛かる）
軽度（○）	・不休災害やかすり傷程度のもの ・事業場内の施設や一部の生産に小さなダメージがあるが、その復旧が短期間で完了できるもの （例：復旧に1ヵ月程度掛かる）

(b) 危害発生の頻度（可能性）

発生の頻度	発生の頻度の目安
高い又は比較的高い（×）	・危害が発生する可能性が高い （例：1年に一度程度、発生する可能性がある）
可能性がある（△）	・危害が発生することがある （例：プラント・設備のライフ（30～40年）に一度程度、発生する可能性がある）
ほとんどない（○）	・危害が発生することはほとんどない （例：100年に一度程度、発生する可能性がある）

(c) リスクレベル

		危害の重篤度		
		致命的・重大（×）	中程度（△）	軽度（○）
危害発生の頻度	高い又は比較的高い（×）	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
	可能性がある（△）	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
	ほとんどない（○）	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ

(d) リスクレベルの説明

リスクレベル	優先度	生産開始への留意点
Ⅲ	直ちに解決すべき、又は重大なリスクがある。	措置を講ずるまで生産を開始してはならない。十分な経営資源（費用と労力）を投入する必要がある。
Ⅱ	速やかにリスク低減措置を講ずる必要のあるリスクがある。	措置を講ずるまで生産を開始しないことが望ましい。優先的に経営資源（費用と労力）を投入する必要がある。
Ⅰ	必要に応じてリスク低減措置を実施すべきリスクがある。	必要に応じてリスク低減措置を実施する。

⁵ 多重防護の考え方については、技術資料の参考資料Bも参照のこと。

③ リスク評価 (その2)

同定されたシナリオに対して、既存のリスク低減措置がどのように機能しているか、リスクレベルを下げることに寄与しているかどうかを確認する。リスクレベルを下げるできていない場合には、STEP 2③での追加のリスク低減措置の検討を行う。①で既存のリスク低減措置が存在しない場合には、表1のリスクアセスメント等実施シートに「無」と記載し、(その2)の欄に(その1)と同じ結果を転記する。

リスク低減措置を考慮したリスク評価を行う場合、以下の点に注意が必要となる。

- ・より低い危険性を有する原料や触媒を使用する、または低温・低圧条件下での反応プロセスに変更するなどの本質安全対策を実施する場合には、危害の重篤度(火災・爆発発生による影響)を下げるができる。
- ・基本的に、工学的対策は危害の発生頻度下げることではできても、重篤度を下げることではできない。また、マニュアルの作成、ルール順守などの管理的対策は危害の発生頻度を下げることができるが、確実性が低い(発生頻度を大きく下げものではない)ことに注意を要する。
- ・保護具の着用は労働災害を防止することはできても、火災・爆発を防ぐことはできない。

(3) シナリオに対するリスク低減措置の検討(追加のリスク低減措置の立案)

現状のリスク低減措置が機能しても、目標とするリスクレベルに達成することができていなければ、以下の手順により、追加のリスク低減措置を検討する。

① リスクレベルを下げるために追加すべきリスク低減措置を検討する。

プロセス災害防止のためのリスク低減措置は、多重防護の考え方にに基づき、表5の a), c), d)の3種類のリスク低減措置対策をバランスよく実装することを検討する。

② リスク評価 (その3)。

追加するリスク低減措置を実装した場合を想定し、リスクを評価する。

③ 追加のリスク低減措置の実装可否の確認

既存のリスク低減措置との兼ね合いやその他制約などを考慮し、提案された追加のリスク低減措置が実装可能かどうかを確認する。

④ リスク低減措置の機能を維持するための現場作業員への注意事項の記載

追加のリスク低減措置が実装された場合に、現場の作業員がリスク低減措置の目的と種類を把握し、それぞれの機能を維持するための対応を記載する。

⑤ その他、注意事項の記載

残留リスクがある場合には、それへの対応を明記しておく。またその他、リスクアセスメント等の結果について、生産開始後の現場作業員に特に伝えておくべき事項があれば、記載する。生産開始後の現場作業員は、教育、訓練などにより、これらを把握しておくことが重要であ

る(補足)。

(4) (1)~(3)の繰り返しによるリスクアセスメント等の実施

様々な引き金事象を網羅的に特定し、プロセス災害発生に至るシナリオを同定する。それぞれのシナリオについて必要なリスク低減措置を検討する。

5) STEP 3 リスク低減措置の決定

STEP 2 で作成されたシナリオ毎のリスクアセスメント等実施シート(表1)を一つのリスクアセスメント等実施結果シート(表2)にまとめ、リスクレベルの高いシナリオから順番に技術面、コスト面などを総合的に判断し、リスク低減措置を決定する。

4 解析事例

本研究で提案したリスクアセスメント等の進め方に従った解析事例を示す。ここでは、STEP 1(取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握)及びSTEP 2(リスクアセスメント等の実施)についてのみ示す。

1) 事例プロセス

図4に事例プロセスを示す。当プロセスは、実際に存在するプロセスではないが、主原料(粉体)に副原料(粉体)を混合させた後、後工程にある混練機に払い出す、という一般的な粉体混合プロセスである。

工程の操作手順の概要を表7に示す。ここでは、「2. 操作(仕込み・混合・払い出し)」の中の「①主原料投入」前の準備として実施される「空気ラインを閉とする(V109により)」という操作に着目する。

表7 工程の操作手順の概要

1. 準備 ①T100の内部確認(残留物など含む) ②窒素置換
2. 操作(仕込み・混合・払い出し) ①主原料投入:上流にて加圧槽経由 ②副原料:マンホール開放後、粉体袋の必要数を副原料投入ホッパーへ投入 マンホール閉 ③窒素置換 ④混合:必要時間と回転数を入力後自動運転(混合終了後はホールド) ⑤払い出し:混練機のスタンバイ確認後、払い出し。タイマーで終了。
3. 掃除 ①窒素と空気にて、槽内清掃(排gas3利用) ②マンホールを開けて温水(フレキ)にて掃除(排水は排Water) ③掃除エアにて混合槽から排gas3まで空気洗浄

2) リスクアセスメント等の実施

事例プロセスにおいて、主原料をポリエチレン粉末(平均粒径 数十 μm)、副原料をポリスチレン粉末(平均粒径 数十 μm)とする。表8に解析事例に対するリスクアセスメント等実施シートを示す。

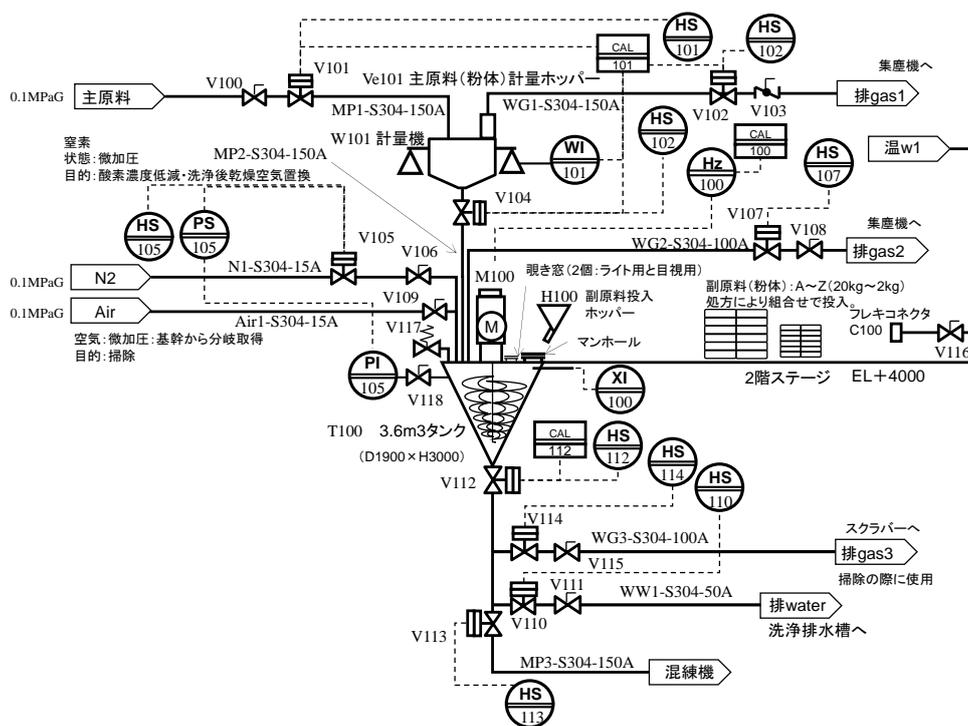


図4 事例プロセス

(1) STEP 1：取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

a) 化学物質（主原料：ポリエチレン粉末、副原料：ポリスチレン粉末）について、SDSなどを確認することにより、質問3「可燃性・引火性」、質問5「可燃性粉じん」に対する回答が「はい」となり、それぞれの質問の説明・事例から、「火災・爆発を引き起こす可能性」があることが分かる。b) プロセスについて、運転条件などを確認することにより、質問13「高圧、繰り返し昇圧・降圧」、質問17「高電圧／高電流」に該当し、質問の説明から、「内容物の漏洩」、「短絡・地絡を起こすと着火源となる可能性」、及び「電線素材の爆発を引き起こす可能性」があることが分かる。a)及びb)の結果を参考に、次のSTEP 2において、プロセス災害に至る引き金事象の特定、及びシナリオの同定を行う。

(2) STEP 2：リスクアセスメント等の実施

① 引き金事象の特定とシナリオの同定

作業・操作に関する不具合を検出し、「空気ラインのV109を誤って開とする」を引き金事象として特定する。「空気ラインのV109が誤って開」となった場合、空気が混入し、燃焼の3要素（可燃物、酸素、着火源）のうち2つ（可燃物、酸素）がT100内に存在することになる。また、一般的にプラスチックは帯電しやすく、放電を起こしやすいが、攪拌により粉体同士が衝突することで、粉体に帯電し、移送中に放電することで着火源となりうる。

以上により、「燃焼の3要素が同時に存在すること」となり、「粉体が燃焼する」というプロセス異常が発生し、その結果、「粉じん爆発」が発生する。これを「プロセス災害（結果事象）」として特定する。

② シナリオに対するリスクの見積もりとリスク評価

当該プロセスでは酸素濃度を低減させて混合を行うが、その操作は、酸素濃度を低く保ち、粉じんが燃焼することを抑制するためであり、粉じん爆発のリスク顕在化に対するリスク低減措置である。ラインの窒素置換による粉じん爆発が生じる頻度を低減するプロセスの運転条件の設定であるため、リスク低減措置の種類は【B】工学的対策】である。また、初期事象（V109の誤開）発生から粉じん爆発発生までの異常伝播のうちの一つである酸素供給源を絶つ対策であることから、リスク低減措置の目的は【C】事故発生防止対策】である。

V109から空気が漏れ込んでいると、T100内に原料を投入した際に粉じん雲が形成される可能性がある。着火源を皆無にすることはできないため、危害が発生する可能性があるとして判定する。結果としては粉じん爆発が想定され、事業場内外の施設、生産に壊滅的なダメージを与える可能性がある。以上より、リスクレベルはⅢとなる。

T100の窒素置換は不活性雰囲気中で混合するために行うが、その操作を間違えたことに気付く方策がないため、ここでの引き金事象に対して既存のリスク低減措置は十分に機能しない可能性があり、危害の発生頻度は△のままとしている。危害の重篤度の大きさは変わらない。

③ シナリオに対するリスク低減措置の検討（追加のリスク低減措置の立案）と現場作業者への伝達事項

異常発生防止対策、事故発生防止対策、被害の局限化対策の3種類のリスク低減措置対策を検討すると、イ）～ニ）の4種類の追加のリスク低減措置が提案された。これらのリスク低減措置は、危害発生頻度を減らすことができる（△→○）ため、リスクレベルを低減できる（Ⅲ→Ⅱ）。また、既存のリスク低減措置などと干渉しあ

表 8 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施シート (事例に対する解析結果)

		実施日	〇年〇月〇日		
		実施者(記載者)	〇〇〇〇		
STEP 1 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握					
取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握結果	3 可燃性・引火性, 5 可燃性粉じん, 13 高圧・繰り返し昇圧・降圧, 17 高電圧/高電流	質問票で「はい」に〇が付いた項目			
STEP 2 リスクアセスメント等の実施					
作業・操作, 設備・装置とその目的	(操作) 2. 操作(仕込み・混合・払い出し) > 空気ラインを閉 (V109)とする. (目的) ライン内を不活性雰囲気にし, 粉じん爆発を防ぐ.				
①引き金事象の特定とシナリオ同定	引き金事象 (初期事象)	V109 を誤って開とする.			
	プロセス異常 (中間事象)	V109 が全閉となっていない場合, 常に T100 内に空気が流入し続け, その後, 「③窒素置換」で窒素置換が不十分となり, T100内の酸素濃度が限界酸素濃度 (LOC) を上回って残存する可能性がある. その後, 「⑤払い出し」の際に, 空気が T100 内で粉体を舞い上げながら(粉じん雲を形成しながら)大量に混入し, T100 から払い出される. その際に攪拌により帯電していた粉体に静電気放電により着火する可能性がある.			
	プロセス災害 (結果事象)	T100 内で粉じん爆発が発生する可能性がある.			
②既存のリスク低減措置の確認	・不活性雰囲気での混合操作(B-c)		●リスク低減措置の種類 A) 本質安全対策 B) 工学的対策 C) 管理的対策性 D) 保護具着用 ●リスク低減措置の目的 a) 異常発生防止 b) 異常発生検知 c) 事故発生防止 d) 被害の局限化		
②リスク見積りと評価 (その1) 既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合	重篤度	頻度		リスクレベル	
②リスク見積りと評価 (その2) 既存のリスク低減措置の有効性確認	重篤度	頻度		リスクレベル	
③追加のリスク低減措置の検討 & ③リスク見積りと評価 (その3) 追加のリスク低減措置の有効性確認	イ) V109 にリミットスイッチを設置し, V109 の開閉状態を検知する. (B-b) アンサーバックを取得するインターロックシステムを構築する. (B-a)		重	頻	リ
	ロ) V109 のラインに流量計(ロータメーター)を設置し, V109 閉時の漏れを検知する. (B-b) 漏れ検知時にはバルブを交換するように手順を改定する. (C-a)		×	○	II
	ハ) 既に T100 に設置されている槽内酸素濃度計 XI100 で測定されている酸素濃度を利用し(B-b), 攪拌機起動時の酸素濃度高警報により機能するインターロックを導入し, 酸素濃度が高い場合には混合操作ができないようにする. (B-c)		×	○	II
	ニ) T100 に爆発放散口を設置し, 粉じん爆発発生時に T100 などの破損を防止する. (B-d)		×	○	II
③追加のリスク低減措置の実装可否	イ~ニ) いずれのリスク低減措置もリスクレベルは低減し, 既存のリスク低減措置などと干渉しあうこともないので, 実装可能である.				
③リスク低減措置の機能を維持するための現場作業員への注意事項等	イ, ハ) インターロックについては, センサーや駆動部の外観点検を行う. また, 〇か月に1回の頻度でインターロックの動作確認を行う. ロ) V109 については, 〇か月に1回の頻度で V109 の漏れ試験を行う. ニ) 爆発放散口については, 日常の点検で目視により外観に異常がないか確認する. また, 〇か月に1回の頻度で損傷などがないことを確認する.				
③その他, 生産開始後の現場作業員に特に伝えておくべき事項	残留リスクの有無の確認: <input checked="" type="checkbox"/> 有・無 残留リスクへの対応方法: 本作業において粉じん爆発の可能性があることと, 実装されているリスク低減措置及びその実装理由をマニュアルなどに明示するとともに, 定期的に作業員への教育を行う. 点検記録などのルール及び管理規則や記録を確認する.				
備考					

うこともないので、実装可能である。これらの既存及び追加リスク低減措置の機能を維持するための現場作業への注意事項が示されている。一方、本事例では追加のリスク低減措置を実装しても、当該操作における T100 内での粉じん爆発のリスクレベルはⅡにとどまっている。そのため、③のその他の事項として、現場作業者に意識して実施して欲しいことを記載している。

ここでは、「空気ラインの V109 を誤って閉とする」という操作ミスが粉じん爆発発生につながる 1 つのシナリオについてのみ示したが、その他にも様々な引き金事象を特定し、シナリオを同定することができる⁶。STEP 3 ではこれらのシナリオを一覧にまとめ、リスクレベルが高いシナリオから順番にリスク低減措置を実装することになる。

5 おわりに

本研究で技術資料にまとめたリスクアセスメント等の進め方は従来から示されている手法と基本的には同じであるが、リスクアセスメント等を実施する際の課題となっている、危険な状態を顕在化させる事象（引き金事象）の特定やシナリオ同定について、検討しやすくなるよう工夫している。以下、特徴をまとめる。

- 1) 事前に簡単な質問に答える形で、プロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）の発生などの危険源を把握するとともに、リスクアセスメント等を実施する際の留意点を知る。
- 2) 危険な状態を顕在化させる引き金事象の特定は、プロセス災害発生の原因となり得る事象（作業・操作や設備・装置の不具合、外部要因など）を想定して行うこととしており、対象となるプロセスプラントの設備・装置の取扱いや作業・操作を行う上での注意点を網羅的に解析することができる。
- 3) 引き金事象からプロセス異常（プロセス変数のずれなど）発生、プロセス災害発生までのシナリオを同定し、プロセス災害発生のリスクレベルを求める。
- 4) 既存及び追加のリスク低減措置の効果を確認することを目的として 3 回のリスク評価を行う。
- 5) リスクアセスメント等実施シートに記載しながら進めることで、引き金事象の特定からプロセス災害発生に至るシナリオ同定を検討しやすく、またその検討過程を明示的に記録できる。
- 6) リスクアセスメント等の実施により得られた情報には、潜在するプロセス災害発生の危険性やリスク低減措置の設計根拠などに関する情報などが含まれ、現場作業者がこれらの情報を把握し、意識して作業・操作を行うことで、生産開始後のリスクマネジメントにつながる。

リスクアセスメント等の指針にも示されているとおり、新規の化学物質を用いた生産活動を始める場合や、原材料、触媒の変更、反応条件の変更、作業手順の変更など

の際には、リスクアセスメント等を実施する必要がある。また、化学物質等による危険性に関して新たな知見が得られた場合にもリスクアセスメント等を実施する必要がある。一方、化学物質を取り扱う施設では、変更が明示的にされない場合がある。例えば、配管の腐食などは長年の設備使用に伴う変更であり、適切な保全業務が行われていなければ気づきにくい。このような変更によるリスクの変化を見逃さないためには、「一度リスクアセスメント等を実施すればそれで完了」とするのではなく、定期的にリスクアセスメント等を実施することにより、常に危険性の有無を確認し、既存のリスク低減措置の有効性及び追加のリスク低減措置の必要性を確認する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 労働安全衛生総合研究所技術資料。プロセスプラントのプロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方。JNIOOSH-TD-No.5 (2016)。
- 2) JIS Z 8051:2015 (ISO/IEC Guide 51: 2014)。

補 足

リスクアセスメントの実施及びリスク低減措置の検討では、対象となる化学物質、反応プロセス、化学物質取り扱い設備・装置、作業・操作などに潜在するあらゆる危険性について調査し、多重防護の考えに基づく様々なリスク低減措置を検討・実施する。この一連の検討内容はリスクの概念に基づく論理的な安全設計情報でもあり、操業開始後の現場作業にとって、「なぜそのような設備設計となっているのか?」、「なぜそのような操作を行うのか?」などの理由を理解しておくための重要な情報となる。そのため、後日、検討結果を見直す、あるいは現場作業者の教育の参考にすることができるように、リスクアセスメント等の実施結果を明示的に記録しておく必要がある。

⁶ 技術資料の表 12 参照のこと。