

労働安全衛生総合研究所技術資料

TECHNICAL DOCUMENT

OF

THE NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIOSH-TD-NO.5 (2016)

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

＜本技術資料の目的＞

- プロセスプラント¹におけるプロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）防止を目的としたリスクアセスメント等の進め方を示すとともに、リスクアセスメント等実施上の重要なポイントを示す。
- 中小規模事業場においてリスクアセスメント等を実施する場合にも参考となる情報を提供する。

（※）本技術資料では「リスクアセスメント」及び「リスク低減措置の検討・実施」をまとめて「リスクアセスメント等」と呼ぶ。

＜本技術資料で提案するリスクアセスメント等の特徴＞

（1）本技術資料で提案するリスクアセスメント等の対象

本技術資料では以下に示す「プロセスプラント」を対象とした、プロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）防止のためのリスクアセスメント等について示す。

- 化学物質などを取り扱うプロセスプラント・設備など
- 高温・高圧など、常温・常圧以外の挙動を取り扱うプラント・設備など（取り扱い物質自体に危険性が無いとされる場合でも、高温・高圧下などでの取り扱いでは、設備の破裂などを引き起こす場合がある）

（2）本技術資料で提案するリスクアセスメント等の目的

「プロセスプラント」におけるプロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の実施は、以下に示すことを目的とする。

- あらかじめ、取り扱う化学物質・プロセスの危険源を把握するとともに、設備・装置、作業・操作に関する不具合を引き金事象（潜在する危険を顕在化させる事象）として特定し、プロセス災害発生に至るリスクがあることを意識すること。
- 化学物質の反応や高温・高圧下などで稼働しているプロセスプラント・設備に関する異常など、現場では気付きにくいような危険源を把握すること。
- 5S活動、危険予知訓練（KYT）、ヒヤリハット情報の収集など、通常の製造現場で実施されている安全管理活動では気付くことが難しいような潜在的なリスクを見つけ出すこと。
- 取り扱う化学物質の量が少なくても、条件が整えば、プロセス災害発生の可能性があることを知ること。
- 作業・操作や設備・装置の不具合の例などを参考に、引き金事象を網羅的に特定し、リスク低減措置を実施することで、プロセス災害や労働災害を防止すること²。
- リスク低減措置の検討・実装については、その種類と目的を明確にすること。

¹ 原料から製品を作る主要設備のことを意味する。化学プラントとも呼ばれる。以下、本文 p.3-4 に本資料で用いている用語の説明を示す。

² 化学物質を取り扱う事業場では、①プロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）の防止（本技術資料ではこちらを対象とする）、②労働災害（死傷事故）の防止について、リスクアセスメント等を実施する必要がある。

(3) 本技術資料で提案するリスクアセスメント等の特徴

本技術資料で実施する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。

- 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。
- 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うる事象（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・装置の取り扱いや作業・操作を行う上での注意点などを網羅的に解析することができる。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

(4) いつリスクアセスメント等を実施するのか？

リスクアセスメント等は、以下に示すような事業場におけるリスクに変化が生じ、又は生ずるおそれがあるときに、リスク低減措置に必要となる時間を十分確保し、実施する³。

- 化学物質等を原材料等として新規に採用し、又は変更するとき
- 化学設備等を製造し、又は取り扱う業務に係る作業の方法又は手順を新規に採用し、又は変更するとき
- 化学物質等による危険性又は有害性等について新たな知見が得られたとき、又は安全データシートの内容が修正されたとき
- 化学物質等に係る労働災害が発生した場合であって、過去のリスクアセスメント等の内容に問題があるとき
- 前回のリスクアセスメント等から一定の期間が経過し、化学物質等に係る機械設備等の経年による劣化、労働者の入れ替わり等に伴う労働者の安全衛生に係る知識経験の変化、新たな安全衛生に係る知見の集積等があったとき

(5) 誰がリスクアセスメント等を実施するのか？

- 事業者を安全管理の責任者として、安全管理担当者が中心となり、リスクアセスメント等の実施を推進する。
- 関係者全員（例えば、ライン技術者（スタッフ）、職長や課長など、製造プロセス・設備を含む現場での製造を理解している技術者、管理者・監督者、安全管理担当者、現場をよく知る運転員、保全員など）でリスクアセスメント等を実施する。

³ 平成 27 年 9 月 18 日付け危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 3 号を参照のこと。

＜関連する指針・通達・標準など＞⁴

- 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（平成12年3月21日付け基発第149号）
- 労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針（平成11年労働省告示第53号，改正平成18年厚生労働省告示第113号）
- 労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針の改正について（平成18年3月17日付け基発第0317007号）
- 危険性又は有害性等の調査等に関する指針（平成18年3月10日付け危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第1号）
- 危険性又は有害性等の調査等に関する指針について（平成18年3月10日付け基発第0310001号）
- 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針（平成18年3月30日付け危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第2号）⁵
- 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針について（平成18年3月30日付け基発第0330004号）⁵
- 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針（平成27年9月18日付け危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第3号）⁶
- 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針について（平成27年9月18日付け基発0918第3号）⁶
- 機械の包括的な安全基準に関する指針（平成19年7月31日付け基発第0731001号）
- 化学設備の非定常作業における安全衛生対策のためのガイドライン（平成20年2月28日付け基発第0228001号）
- 化学プラントの爆発火災災害防止のための変更管理の徹底等について（平成25年4月26日付け基発0426第2号）
- ISO/IEC Guide51, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards（JIS Z 8051，安全側面－規格への導入指針）

＜注記＞

本技術資料にまとめた「リスクアセスメント等の進め方」は，法改正に合わせて検討されたものでなく，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としての的確な手順をまとめたものであり，これに基づきリスクアセスメント等を実施することは，平成28年6月より義務化される化学物質のリスクアセスメント実施要求を満たすことになる。

用語については，できる限り現場で使われ，理解しやすい用語を用いているため，法規制で用いられている用語とは一致しない場合もある。

本技術資料に掲載している参考情報はあくまで事例であり，各事業場特有の作業・操作，設備・装置などがある場合には，それらの不具合要因を特定し，起こりうる事象などについて見積り・評価することが重要である。

＜本技術資料の活用について＞

本技術資料の内容（事例も含む）は事業場におけるリスクアセスメント等の教育などに自由に活用してよい。なお，利用する場合には，出典として明記すること。

⁴ ここでは，ISO/IEC Guide51を除いて，厚生労働省に関するもののみ示している。

⁵ 平成27年9月18日付け危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第3号により平成28年6月1日をもって廃止される。

⁶ 平成28年6月1日から適用される。

＜本技術資料作成のための検討委員会＞

本技術資料作成にあたり、次の委員会を設置して討議検討が行われた。

化学プロセス産業の中小規模事業場のためのリスク管理手法検討委員会 (平成25年度～平成26年度)

	氏名	所属
委員長	仲 勇治	東京工業大学
委 員	北島禎二	東京農工大学 大学院 工学研究院
	後藤博俊	(一社) 日本労働安全衛生コンサルタント会
	斉藤日出雄	斉藤 MOT ラボ
	角田 浩	東洋エンジニアリング (株) エンジニアリングマネジメント部
	尾藤清貴	(株) カネカ 生産技術本部 RC 部
	渕野哲郎	東京工業大学 大学院 理工学研究科
	南川忠男	旭硝子 (株) 千葉工場 環境安全部
	山田憲一	中央労働災害防止協会 労働衛生調査分析センター
オブザーバー	増岡宗一郎	厚生労働省安全衛生部化学物質対策課
事務局	藤本康弘	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	板垣晴彦	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	島田行恭	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	大塚輝人	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	佐藤嘉彦	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ

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手法の普及に関する検討委員会 (平成27年度)

	氏名	所属
委員長	仲 勇治	東京工業大学
委 員	後藤博俊	(一社) 日本労働安全衛生コンサルタント会
	斉藤日出雄	斉藤 MOT ラボ
	角田 浩	東洋エンジニアリング (株) エンジニアリングマネジメント部
	尾藤清貴	(株) カネカ 生産技術本部 RC 部
	渕野哲郎	東京工業大学 大学院 理工学研究科
	南川忠男	旭硝子 (株) 千葉工場 環境安全部
	山田憲一	中央労働災害防止協会 労働衛生調査分析センター
オブザーバー	寺島友子	厚生労働省安全衛生部化学物質対策課
事務局	藤本康弘	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	板垣晴彦	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	島田行恭	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
	佐藤嘉彦	(独) 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ

目 次

概要	1
本資料で用いられている用語の説明	3
第1章：緒 言	5
第2章：プロセス災害防止のためのリスク低減アプローチ	7
第3章：生産開始前のリスクマネジメント（リスクアセスメント等の実施）	9
3.1 リスクアセスメント等実施に必要となる情報	11
3.2 リスクアセスメント等記録シート	12
3.3 STEP 1：取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握	15
3.4 STEP 2：リスクアセスメント等の実施	21
3.5 STEP 3：リスク低減措置の決定	36
第4章：生産開始後のリスクマネジメント（現場作業による対応）	37
第5章：プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施事例	39
5.1 例題プロセスの紹介	39
5.2 解析事例（各 STEP の実施と参考情報の使い方）	42
第6章：結 言	53
参考文献	53
参考資料A 「STEP 1の質問票に対する回答を得るための参考情報」	54
参考資料B 「多重防護の考え方と独立防護層」	71
参考資料C 「本質安全対策の例」	74

図表一覧

図 1	プロセス災害防止のためのリスク低減アプローチ	7
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	9
図 3	燃焼の 3 要素	28
図 4	リスクアセスメント等実施結果に対する現場対応とリスク見直し	37
図 5	事例プロセス	39
図 B1	化学プラントにおける異常から事故への進展とその対策	71
図 B2	独立防護層の概念図	73
表 1	リスクアセスメント等の実施に必要となる情報（関連資料）	11
表 2	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）	13
表 3	プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施結果シート（様式）	14
表 4	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票	16
表 5	作業・操作に関する不具合を検討するためのずれの例	22
表 6	設備・装置に関する不具合の例	23
表 7	外部要因の例	25
表 8	起こりうる事故影響の例	27
表 9	リスク低減措置の種類（優先順位）	30
表 10	プロセス災害防止のための多重防護によるリスク低減措置と事例	31
表 11	リスク見積りのための基準	33
表 12	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（記載例）	48
表 13	プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施結果シート（記載例）	49
表 A1	通知対象物質の一覧	54
表 A2	SDS に表記される GHS 分類	62
表 A3	爆発性に関わる原子団の例	65
表 A4	自己反応性に関わる原子団の例	65
表 A5	過酸化物を生成する物質の例	66
表 A6	重合する物質の例	66
表 A7	プラント・設備で危険性がある物理条件の例	67
表 A8	取り扱う物質単独や物質の反応・混合の物理化学的危険性を評価するための試験法の例	69
表 B1	独立防護層の内容	73
表 C1	本質安全対策の例	74

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（概要）

島田行恭，佐藤嘉彦，板垣晴彦⁷

「リスクアセスメント等」とは，潜在する危険源の特定とそのリスクの評価（いわゆるリスクアセスメント）に，リスク低減措置を優先すべき危険源の判定，及び具体的なリスク低減措置の決定を加えた一連の手順のことをいい，事業者が行うべき労働災害防止対策の根幹となるものである．そのため，平成 18 年 4 月の労働安全衛生法第 28 条の 2 の規定の施行以来，化学物質に関わるリスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施（リスクアセスメント等）に取り組むことは，すべての産業の事業者の努力義務とされてきた．そして，そのリスクアセスメント等の適切かつ有効な実施を図るために，厚生労働省は平成 18 年に「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 1 号）のほか，「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 2 号）を公表して，その実施を促進してきた．このような背景から，リスクアセスメント等を安全管理活動の一環として実施している事業場は増えてはいるが，労働災害発生状況（統計）によると，労働災害による死亡者数や死傷者数の推移は，ほとんど変わっておらず，一時に 3 人以上の死傷者を伴う災害（重大災害）は，むしろ増加傾向にさえある．また，危険源の代表格である化学物質に着目すると，化学物質を取り扱う化学プロセス産業では，火災・爆発による死傷災害や事業場内及び周辺地域にも深刻な被害を与えるような事故が相次いでおり，リスクアセスメント等の実施が部分的あるいは不十分であることなどが指摘されている．

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，一定の化学物質（通知対象物質の 640 種類）については，リスクアセスメント等を実施することが事業者の義務化され，平成 28 年 6 月 1 日から施行されることとなった．また，この法改正に伴い，前述の「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 2 号）は廃止され，新たに同名ではあるが，化学プラント等の化学反応のプロセス等による災害のシナリオを仮定して，その事象の重篤度と発生頻度を考慮したリスクの見積りも考慮に入れられた「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 3 号）が公布され，改正労働安全衛生法の施行の日（平成 28 年 6 月 1 日）から適用されることとなった．

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？」である．従来のリスクアセスメント手法では，最初に「シナリオを導出すること」が求められたが，シナリオの同定では，物質・プロセス，設備・装置，作業・操作などの様々な視点からプロセスに潜在する危険源や，危険を顕在化させる事象を特定する必要があるなど，対象とするプロセスプラントや関連する作業・操作などに関する豊富な知識と経験が無ければ，これを完成することは非常に難しい．

本技術資料では，プロセスプラントにおけるプロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）の防止を目的としたリスクアセスメント等の進め方を段階的にまとめている．最初に，取り扱い物質及びプロセスの特性に関する質問票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，過去の事故事例から起こりうる災害を確認する．次に，潜在する危険を顕在化させる事象（引き金事象）として，作業・操作や設備・機器の不具合，外部要因を特定する．そして，引き金事象からプロセス異常及びプロセス災害（結果事象）に至る複数のシナリオを同定する．各シナリオに対して，リスクの見積りと評価を行い，リスクレベルの高い順に並べる．リスクレベルの高い順にリスク低減措置の可否を検討し，低減措置を実施する．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．

⁷ 化学安全研究グループ

Risk assessment and risk reduction for preventing process accidents in chemical process industries (Abstract)

By Yukiyasu SHIMADA, Yoshihiko SATO, and Haruhiko ITAGAKI⁸

Implementation of risk assessment is essential as part of Industrial Safety and Health Act, which was introduced as "duty to make efforts" on March, 2006 (obligatory risk assessment for the substances subject to preparation and issuance of safety data sheet (SDS) will be made after June, 2014). This approach led to more penetration and implementations of risk assessment in chemical process industries. Over the past few years, major chemical companies had reported number of serious process accidents, which can be prevented if appropriate risk assessment practice is implemented. The relevant ministries and agencies report that risk assessment and risk reduction to prevent process accidents have not been performed sufficiently. Small and medium-sized enterprises (SMEs) of chemical process industries are suffering from the lack of adequate resources, such as time and effort, budget, knowledge, information, etc., to perform the effective risk assessment and risk reduction. Furthermore, SMEs regard assessing risk and taking measures to reduce risk as unnecessary or least priority activities in their business plans, because of the small amount of handling chemical substances, as well as low awareness of process risks.

This technical document introduces a systematic and iterative framework of risk assessment and risk reduction, which specifies logical thinking approach at each step to promote the effective implementation of risk assessment and risk reduction. At first, responses are obtained to questionnaire regarding properties of chemical substances and handling processes, which enhance the consciousness of possible risks and process accidents (leak, fire, explosion, burst, etc.). In views of hazard specifications, other than process behavior, defect factors on field works or plant operations and plant facilities and equipment are identified as hazards, with the occurrences of process accidents in mind. Lists of examples of defect factors are provided so that SMEs can consider them easily. A fault propagation scenario from identified hazards to possible process accidents is specified and the associated risks are estimated. Three major risk estimation steps are performed for confirming the effectiveness of existing and additional risk reduction measures. As part of high risk level scenarios, additional risk reduction measures are studied according to following concepts: a) priority based on reliability; and b) multiple protection measures. These concepts clearly specify the rational ground for studying and implementing risk reduction measure. The rational aspects are written down explicitly on the record sheet. This can make it possible to transfer the stated risk management information to field workers and/or plant operators at production-sites, which contribute to their effective safety management activities. Case studies of risk reduction measures are also provided as reference information for SMEs. In the presence of residual risks, risk reducing measures should be studied and specified to guide field workers or plant operators. The proposed framework can recognize the possibility of process accidents and the logical grounds for the implementation of risk reduction measures, which are specified in the record sheet, and perform effective safety management activities.

A simple case study is used to show the effectiveness of the proposed framework.

⁸ Chemical Safety Research Group

本資料で用いられている用語の説明⁹⁾

- GHS (Globally Harmonized System) : 化学品の分類および表示に関する世界調和システム。危険有害性に関する情報を伝達し、使用者がより安全な化学品の取り扱いを求めて自ら必要な措置を実施できるように国連において開発されたシステム¹⁰⁾。
- SDS (Safety Data Sheet) : 安全データシート。化学品の安全な取り扱いを確保するために、化学品の危険有害性等に関する情報を記載した文書¹¹⁾。事業者間で化学品を取引する時まで提供し、化学品の危険有害性や適切な取り扱い方法に関する情報などを、供給者側から受け取り側の事業者へに伝達する。
- シナリオ (Hazard Scenario) : 危険源からプロセス異常 (中間事象) を経て、プロセス災害又は労働災害発生に至る一連の過程。
- プロセスプラント (Process Plant) : 原料から製品を作る主要設備のことを意味する。化学プラントとも呼ばれる。本資料では、水処理設備などのユーティリティー設備やタンクヤードについてもリスクアセスメント等の対象とする。
- プロセス災害 (Process Accident) : プロセスプラントにおいて、漏洩・火災・爆発・破裂などが発生すること。
- リスク (Risk) : 危害の発生確率および危害の程度の組み合わせ (JIS)。
- リスクアセスメント (Risk Assessment) : リスク分析及びリスクの評価からなるすべてのプロセス (JIS)。潜在する危険を顕在化させる事象 (引き金事象) を特定し、プロセス災害発生に至るシナリオを同定するとともに、リスクを分析し、評価すること。
- リスクアセスメント等 (Risk Assessment and Risk Reduction) : 生産開始前に実施するリスクアセスメントとリスク低減措置の検討・実施のこと。プロセスプラントのリスクアセスメント等は、設備・装置の不具合やそれに対する作業・操作のミスなどを危険源として特定し、リスク見積り及びリスク評価を行い、リスク低減措置を検討・実施する。
- リスクレベル (Risk Level) : リスクの大きさ。本技術資料では3段階 (Ⅰ～Ⅲ) で示す。
- リスクマネジメント (Risk Management) : リスクアセスメントを実施し、その結果に基づくリスク低減戦略を実施すること。本技術資料では生産開始前に実施するリスクマネジメントと生産開始後に実施するリスクマネジメントに分けている¹²⁾。
- リスクマネジメント情報 (Risk Management Information) : リスクアセスメント等の実施に用いた情報 (資料) やリスクアセスメント等の結果など、関係するすべての情報¹³⁾。

⁹⁾ 基本的にはJISで示された用語説明に従っているが、ここでは、本技術資料で用いている意味を含めて説明している。JISの定義を記している部分には「(JIS)」と表記している。

¹⁰⁾ GHSに関する情報を得るための情報源としては、<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/roudou/ghs/> (厚生労働省)
http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/int/ghs.html (経済産業省)
<http://www.env.go.jp/chemi/ghs/> (環境省)

¹¹⁾ SDS (Safety Data Sheet) に関する情報を得るための情報源としては、http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pg/GHS_MSD_LST2.aspx。

¹²⁾ リスクマネジメントについては、ISO31000でも定義されており、組織・経営レベルのリスクマネジメント、環境へのリスクマネジメントなどについても考える必要があるが、ここでは、プロセスプラントの運用によるプロセス災害を防止するためのリスクマネジメントに焦点を絞る。

¹³⁾ 関連する用語として「プロセス安全情報」がある。米国 OSHA/PSM では、プロセス安全情報の内容として、1)ばく露限界、反応性などの化学物質の物性情報、2)プロセスパラメーターの安全管理限界値などプロセス危険分析 (リスクアセスメント) に基づく技術情報、3)採用した標準規格、物質収支など機器・設備情報、などを含む。＜参考文献＞松本俊次、「プラントのプロセス安全 OSHA/PSM・ISO・IEC・API によるマネジメント」、日本プラントメンテナンス協会 (2004)

- リスク低減措置 (Risk Reduction Measure)：本質安全対策，工学的対策（保護装置など），保護具，使用上及び据え付け上の情報並びに訓練によるリスクの低減策などの管理的対策を含む．保護方策¹⁴，緩和措置ともいう．
- リスク評価 (Risk Evaluation)：リスク見積りに基づき，許容可能なリスクに到達したかどうかを判定する過程 (JIS)．
- リスク見積り (Risk Analysis)：利用可能な情報を体系的に用いてハザード¹⁵を特定し，リスクを見積もること (JIS)．リスク分析ともいう．
- 化学プラント (Chemical Plant)：化学製品を生産する工場施設や装置の総称．石油や天然ガスなどの原料から化学物質を生産するプラントや設備を含む．プロセスプラントに含まれる．
- 化学設備 (Chemical Facility)：化学物質，化学物質を含有する製剤その他の物を製造し，又は取り扱う設備¹⁶．本技術資料で対象とするプロセスプラントに含まれる．
- 危害 (Harm)：人の受ける身体的傷害若しくは健康障害，又は財産若しくは環境の受ける害 (JIS)．本技術資料では，「プロセス災害」のことを指す．
- 危険源 (Hazard)：危害の潜在的な源 (JIS)¹⁷．労働者への労働災害（負傷又は疾病）又はプロセス災害を生じさせる潜在的な根源．ハザード¹⁸と呼ばれることもある．本技術資料では「危険源」という用語を用いる．
- 危険状態 (Hazardous Situation)：人，財産又は環境が，一つ又は複数のハザードにさらされる状況 (JIS)．
- 許容可能なリスク (Tolerable Risk)：社会における現時点での評価に基づいた状況下で受け入れられるリスク (JIS)．
- 残留リスク (Residual Risk)：保護方策¹⁹を講じた後にも残るリスク (JIS)．リスクアセスメント等を実施した結果，技術上の問題などで，現状ではこれ以上リスクを低減することができず（実装可能なリスク低減措置が無い場合），やむを得ず残ってしまったリスク．リスク低減措置の検討・実施を要しないリスクレベルがⅡ以下のシナリオなども含まれる．
- 生産開始前 (Development Stage)：リスクアセスメント等の実施を含む，プロセスの研究・開発，プロセスプラントの設計を行う段階．
- 生産開始後 (Manufacturing Stage)：リスク低減措置が実装され，許容されるリスクレベルを満足していると判断された後，実際に生産を行う段階．
- 多重防護 (Multiple Protection Measure)：プロセス災害防止を目的とした，異常発生防止対策，異常発生検知手段，事故発生防止対策，被害の極限化対策のうち，複数の対策によるリスク低減戦略．
- 引き金事象 (Trigger Event)：潜在する危険を顕在化させる事象．
- 労働災害 (Industrial Accident)：労働者の就業に係る建設物，設備，原材料，ガス，蒸気，粉じんなどにより，又は作業行動その他業務に起因して，労働者が負傷し，疾病にかかり，又は死亡すること（安衛法第2条第1号）．本資料ではプロセス災害発生の影響としての労働災害は含めているが，墜落，転倒，挟まれ・巻き込まれなどの労働災害については対象外としている．

¹⁴ リスクを低減するための手段 (JIS)．保護方策とはリスク低減するための手段．本質安全設計，保護装置，保護具，使用上及び備え付け上の情報並びに訓練によるリスクの低減策を含む．

¹⁵ 「危険源」の説明を参照．

¹⁶ 労働安全衛生法施行令第9条の3を参照のこと．

¹⁷ ISO/IEC Guide 51: 2014 では，「危害の潜在的な源 (a potential source of harm)」．ISO 12100-1: 2014 では，「危害を引き起こす潜在的根源」と説明されている．

¹⁸ ハザードという用語は，起こる可能性のある危害の発生源又は性質を定義するために用いることが一般的に認められている（例えば，感電，押しつぶし，切断，毒性によるもの，火災，おぼれなどのハザード）(JIS)．

¹⁹ リスクを低減するための手段 (JIS)．「リスク低減措置」の項を参照のこと．

第1章 緒 言

「リスクアセスメント等」とは、潜在する危険源の特定とそのリスクの評価（いわゆるリスクアセスメント）に、リスク低減措置を優先すべき危険源の判定、及び具体的なリスク低減措置の決定を加えた一連の手順のことをいい、事業者が行うべき労働災害防止対策の根幹となるものである。そのため、平成 18 年 4 月の労働安全衛生法第 28 条の 2 の規定の施行以来、化学物質に関わるリスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施（リスクアセスメント等）に取り組むことは、すべての産業の事業者の努力義務とされてきた。そして、そのリスクアセスメント等の適切かつ有効な実施を図るために、厚生労働省は平成 18 年に「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 1 号）のほか、「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 2 号）を公表して、その実施を促進してきた。このような背景から、リスクアセスメント等を安全管理活動の一環として実施している事業場は増えてはいるが²⁰、労働災害発生状況（統計）によると、労働災害による死亡者数や死傷者数の推移は、ほとんど変わっておらず²¹、一時に 3 人以上の死傷者を伴う災害（重大災害）は、むしろ増加傾向にさえある。また、危険源の代表格である化学物質に着目すると、化学物質を取り扱う化学プロセス産業では、火災・爆発による死傷災害や事業場内及び周辺地域にも深刻な被害を与えるような事故が相次いでおり、リスクアセスメント等の実施が部分的あるいは不十分であることなどが指摘されている²²。

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、一定の化学物質（通知対象物質の 640 種類）については、リスクアセスメント等を実施することが事業者には義務化され、平成 28 年 6 月 1 日から施行されることとなった。また、この法改正に伴い、前述の「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 2 号）は廃止され、新たに同名ではあるが、化学プラント等の化学反応のプロセス等による災害のシナリオを仮定して、その事象の発生可能性と重篤度を考慮したリスクの見積りも考慮に入れられた「化学物質による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」（危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 3 号）が公布され、改正労働安全衛生法の施行の日（平成 28 年 6 月 1 日）から適用されることとなった。

化学プロセス産業に属する中小規模事業場を対象としたアンケート調査²³によると、業種の細分類の比較では、リスクアセスメントを実施している割合が低い業種や、リスクアセスメント等の実施が災害防止に有効であることを理解していない業種がある。また、化学物質の取扱量が少ないことなどを理由に、化学プロセス産業特有の漏洩・火災・爆発・破裂などの災害は起こらないとして、そのためリスクアセスメントも実施する必要がないと考えている事業場も多い。その他にも、以下のような課題が明らかにされている。

- ・ 危険予知訓練（KYT）やヒヤリハット情報収集など日常的に行っている安全管理活動をリスクアセスメントと称している事業場がある。このため、様々な観点から危険源を抽出するというリスクアセスメントの目的を達成できていない。
- ・ リスクアセスメントを実施しても、多くはリスクアセスメント結果の表を作成した段階で終了し、リスク低減措置の検討・実施や再評価が行われていない。すなわち、リスクアセスメント等の一連の手順が達成されていない。
- ・ リスクアセスメントの講習会などで普及活動を行っても、受講者の事業場で実施されることはほとんどない。
- ・ 一度リスクアセスメントを実施しただけで、もう十分に取組んだとされ、継続的な改善の取り組みがなされていない。

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?」である。従来のリスクアセスメント手法

²⁰ 厚生労働省、平成 25 年「労働安全衛生調査（実態調査）」の概況（2014）

²¹ 例えば、<http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei11/rousai-hassei/index.html>

²² 内閣官房、総務省消防庁、厚生労働省、経済産業省、石油コンビナート等における災害防止対策検討関係省庁連絡会議 報告書（平成 26 年 5 月）

²³ （独）労働安全衛生総合研究所、化学プロセス産業における中小規模事業場の安全活動の実態等に関するアンケート調査—調査報告書—（2014）

では、最初に「シナリオを導出すること」が求められたが、シナリオの同定では、物質・プロセス、設備・装置、作業・操作などの様々な視点からプロセスに潜在する危険源や、危険を顕在化させる事象を特定する必要があるなど、対象とするプロセスプラントや関連する作業・操作などに関する豊富な知識と経験が無ければ、これを完成することは非常に難しい。

本技術資料では、プロセスプラントにおけるプロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）の防止を目的としたリスクアセスメント等の進め方を段階的にまとめている。最初に、取り扱い物質及びプロセスの特性に関する質問票に回答する形で物質・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プロセス災害を確認する。次に、潜在する危険を顕在化させる事象（引き金事象）として、作業・操作や設備・装置の不具合、外部要因を特定する。そして、引き金事象からプロセス異常及びプロセス災害（結果事象）に至る複数のシナリオを同定する。各シナリオに対して、リスクの見積りと評価を行い、必要に応じて、リスク低減措置を検討し、実施の可否を確認する。同時に、現場でのリスク認識、対応を促すために、リスクアセスメントの結果とリスク低減措置の内容を現場作業者に伝達するようにする。作成された複数のシナリオについての検討結果をまとめ、リスク低減措置の実装について検討する。

本技術資料の構成は次のとおりである。第2章「プロセス災害防止のためのリスク低減アプローチ」では本技術資料におけるリスクアセスメント等実施の位置付けと考え方を述べた。第3章「生産開始前のリスクマネジメント（リスクアセスメント等の実施）」は本資料の中心であり、リスクアセスメント等の進め方を段階的に述べた。第4章「生産開始後のリスクマネジメント（現場作業による対応）」では現場での対応及びリスクの見直しの要所についてまとめた。第5章「プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施事例」では、具体的な事例プロセスについてのリスクアセスメント等実施事例を示した。さらに参考資料として、質問票に対する回答を得るための情報、多重防護の考え方と独立防護層、本質安全対策の例を掲載した。

第2章 プロセス災害防止のためのリスク低減アプローチ

化学物質による危険性又は有害性等の調査については、業種に関わらず、リスクアセスメント及びその結果に基づくリスク低減措置の実施に取り組む必要がある。また、第1章でも述べたように、特定の化学物質(通知対象物質 640 種類)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るなど、関連する法令なども策定されている。

化学プロセス産業における生産システムの運用では、生産システムに関わるリスクアセスメントの結果を基に、設備又は装置、あるいは作業者や運転員などの対応による不具合発生リスクを抑える仕組み(防護策)を明らかにしておくことが重要である。一方、このような防護策の導入によりリスクを小さくすることはできても、完全に無くなることはないということに留意すべきである。つまり、社会的に容認できるレベルにリスクを抑え、その範囲で対象システム(プロセスプラント)を運用する責任が事業者には求められる。

事業者は生産(運転、保全)活動を行うときだけでなく、生産システムを開発・設計・建設する際にもリスクアセスメント等の実施を基本としたリスクマネジメントが求められる。図1にプロセスプラントにおけるプロセス災害防止のためのリスク低減アプローチの概要を示すが、生産開始前のリスクマネジメントと生産開始後のリスクマネジメントに分けて考えることができる。生産開始前のリスクマネジメントの結果を基に、リスク低減措置の実装を含むプロセスプラントの建設(又は追加の工事)を行う。このとき、生産を行うための運転マニュアルなども整備(又は改訂)する。生産開始後はリスクアセスメント等の実施結果を把握・対応、運転マニュアルの順守などのリスクマネジメントを実施することによりプロセス災害発生を防止する。

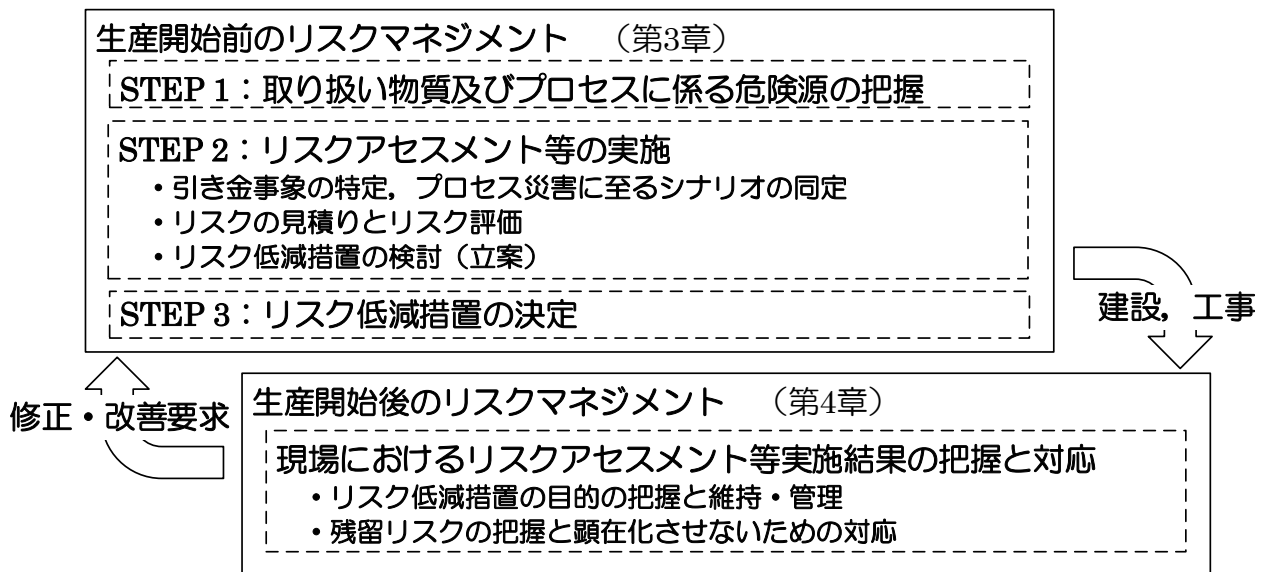


図1 プロセス災害防止のためのリスク低減アプローチ

(1) 生産開始前のリスクマネジメント（リスクアセスメント等の実施）

STEP 1 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

プロセスプラントで取り扱われる化学物質及びプロセス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。

- ・ どのような物質危険特性を有するか？
- ・ どのようなプロセス災害を引き起こす可能性があるか？
- ・ どのようなことを気にしてリスクアセスメント等を実施する必要があるか？

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）

潜在する危険を顕在化させる事象（引き金事象）を特定し、プロセス災害に至るシナリオを同定するとともに、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たかどうかを判定する（リスク評価）。

リスクレベルが高い場合には、追加のリスク低減措置を検討するとともに、リスク低減措置の機能を維持するために現場の作業者が実施すべき作業や、残留リスクへの対応などを記録する。

STEP 3 リスク低減措置の決定

シナリオ毎のリスクアセスメント等の実施結果をリスクアセスメント等実施結果シートにまとめ、実装すべきリスク低減措置を検討するための優先順位付けを行う。優先順位に従って、リスク低減措置を決定する。

(2) 生産開始後のリスクマネジメント（現場作業による対応）

STEP 4 現場におけるリスクアセスメント等実施結果の把握と対応

(1)生産開始前のリスクマネジメントにより実施されたリスクアセスメント等の実施結果を基に、プロセスプラントの建設・工事が行われ、リスク低減措置が実装される。プロセスプラントを用いて生産を行う現場の作業者は、リスクアセスメント等の実施結果（「対象プロセスプラント・設備にどのようなリスクが存在し、どのようなリスク低減措置が実装されているのか？」など）を把握した上で、作業・操作を行うことが重要である。リスクアセスメント等で検討されたリスク低減措置の目的や維持・管理に関する伝達事項や残留リスクを把握し、リスクが顕在化しないよう対応する²⁴。

生産開始後に何か不具合が生じた場合や何らかの変更などを計画する場合には、生産開始前のリスクマネジメント（再度、リスクアセスメント等を実施する）に戻る必要がある。

²⁴ 本技術資料では、生産開始前に行うリスクマネジメント（リスクアセスメント等の実施）について詳述し、生産開始後のリスクマネジメントについては、第4章に簡単にまとめている。

第3章 生産開始前のリスクマネジメント（リスクアセスメント等の実施）

図2に生産開始前に実施するリスクマネジメント、つまり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。

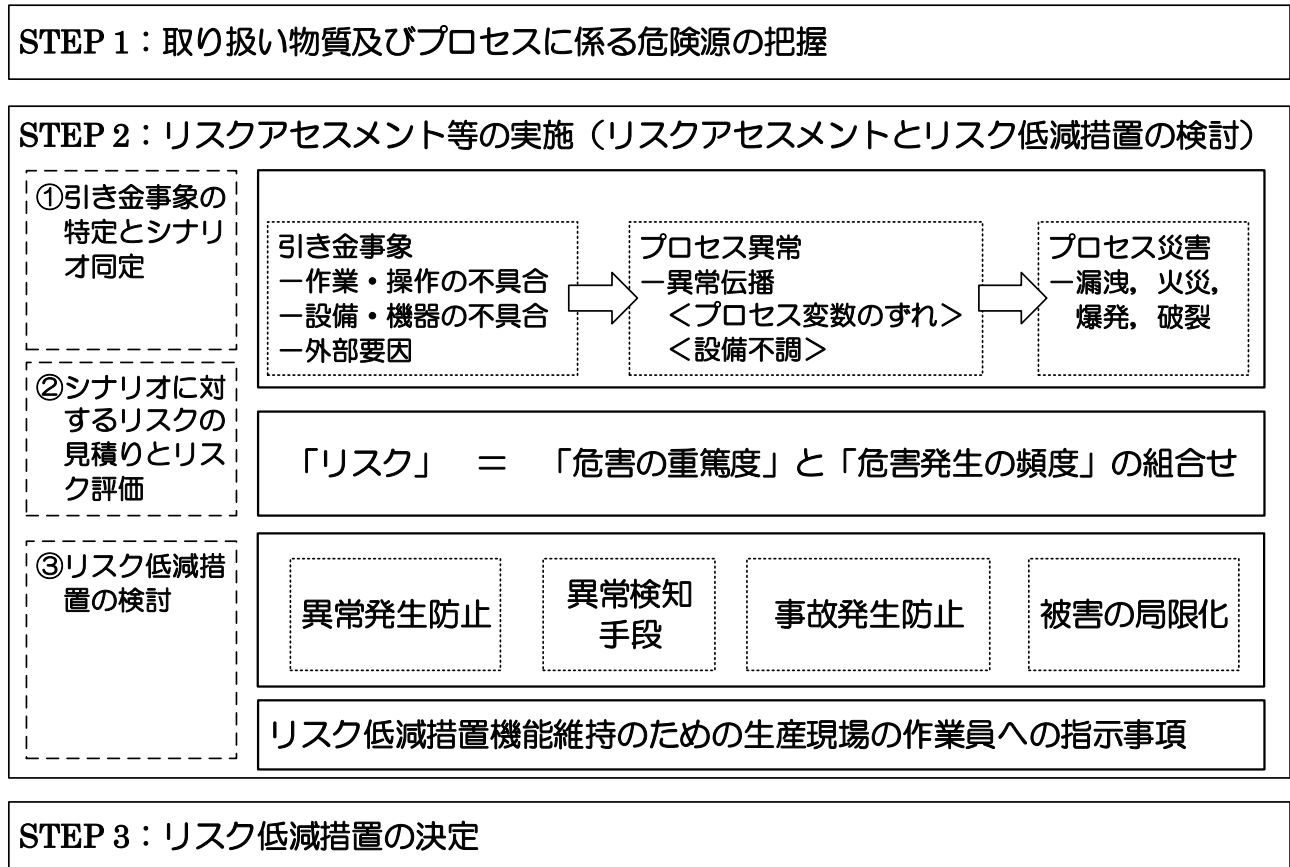


図2 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の進め方

STEP 1 取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

プロセスプラントで取り扱われる物質及びプロセスに係る危険源と、想定されるプロセス災害を質問形式で把握する。物質及びプロセスに係る危険源と想定されるプロセス災害などを念頭に置いて、STEP 2 以下のリスクアセスメント等を実施する。物質及びプロセスに係る危険源が確認されなかった場合でも、対象とするプロセスプラント・設備に対する作業や操作に関する不具合、設備や装置の不具合などが発生する可能性はあるため、STEP 2 以下のリスクアセスメント等を実施する。

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）

- ① 対象プロセスに潜在する危険を顕在化させる事象（引き金事象）を特定するとともに、STEP 1 での把握結果などを参考にして、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（リスクレベルを求め）、許容可能なリスクレベルに到達しているかどうかを判定する（リスクの評価）。既存のリスク低減措置が実装されている場合には、その有効性を確認するために、リスク低減措置が存在しないと仮定した場合（その1）とそのリスク低減措置が機能する場合（その2）についてリスクを見積る。
- ③ リスクレベルが高い（許容レベルを超えている）シナリオについては、追加のリスク低減措置を検討（立案）し、再度、リスクレベルを見積もる（その3）。

提案された追加のリスク低減措置の実装可否を判断する。リスク低減措置の機能を維持するために、現場作業者に伝えておくべき事項などがある場合には、実施シートに記載しておき、注意を促す。残留リスクがある場合には、対応を明確にしておく。技術的な理由などで許容できないリスクが存在する場合には、生産（製造）を開始すべきではない。

リスクレベルが許容範囲に収まるまで複数のリスク低減措置の提案を繰り返す。

①～③を繰り返し、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、必要なリスク低減措置の検討などを行う。

STEP 3 リスク低減措置の決定

シナリオ毎の検討結果をリスクアセスメント等実施結果シートにまとめ、実装すべきリスク低減措置を検討するための優先順位付けを行う。優先順位に従って、技術面・コスト面などを踏まえ、リスク低減措置を決定する。

3.1 リスクアセスメント等実施に必要となる情報

リスクアセスメント等を実施するための情報として、表 1 に示す資料などを入手し、活用する²⁵。入手にあたっては、現場の実態を踏まえ、定常的な作業に係る資料などのみならず、非定常作業に係る資料なども含める。これらの情報は最初から用意できることが望ましいが、リスクアセスメント等を実施していく中で揃えてもよい。

表 1 リスクアセスメント等の実施に必要となる情報（関連資料）

種類	具体例	必要とする理由
物質の情報	<input type="checkbox"/> 安全データシート（SDS）	・取り扱う化学物質の特性（引火点、毒性など）GHS 分類を確認する。
プロセスの情報	<input type="checkbox"/> 反応条件 <input type="checkbox"/> 運転条件 <input type="checkbox"/> 物質の取扱量	・流量、温度、圧力、濃度などの正常なプロセス挙動、運転条件などを把握する。
機器の情報	<input type="checkbox"/> 機器・装置リスト	・対象内に存在する設備・装置などを確認し、それらの不具合要因を抽出する。 ・設備・装置のつながりを確認し、異常伝播の構造を把握する。 ・既存のリスク低減措置を確認する。
マニュアル類 ²⁶	<input type="checkbox"/> 作業標準 <input type="checkbox"/> 作業手順書（工程表） <input type="checkbox"/> 操作手順書 ²⁷	・作業方法・手順などの基本を確認し、それぞれに対する作業・操作ミスなどを抽出する。
図面類 ²⁸	<input type="checkbox"/> プロセスフロー図 <input type="checkbox"/> 配管計装図 <input type="checkbox"/> 機械設備などのレイアウトなど、作業の周辺の環境に関する情報	・設備・機器のつながりを確認し、異常伝播の構造を把握する。
その他	<input type="checkbox"/> 類似事事故事例データベース ²⁹ <input type="checkbox"/> 災害統計（データ） <input type="checkbox"/> リスクアセスメント等の実施にあたり参考となる資料など	・過去に発生した類似のプロセス災害に関する情報を得る。

²⁵ 「化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」の第 7 項も参照のこと。

²⁶ マニュアル類が整備されていない場合には、簡単でもよいので、普段行っている作業等を順番に書き出す。マニュアルの作成については次の文献等が参考になる。「日本防災システム協会ヒューマンエラー研究会，“ヒューマンエラー研究報告書 運転・作業手順書の作成および改善の方法—安全・作り易さ・分かり易さを求めて—”，（2012）」

²⁷ 操作手順の書き方については ANSI/ISA S88, IEC 61512（JIS C 1807）で規定されているので参考にするとよい（p.53 の参考文献，S88 入門）。

²⁸ 図面類が整備されていない場合には、対象となるプロセスプラントを見ながら概略図を書くとともに、設備や機器・装置などをリストアップする。

²⁹ 例えば、安衛研爆発・火災データベース：http://www.jniosh.go.jp/publication/houkoku/houkoku_2013_03.html

3.2 リスクアセスメント等記録シート

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³⁰。

- ・ 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

(1) リスクアセスメント等実施シート

表2に示すリスクアセスメント等実施シートを用意する。この実施シートには、引き金事象の特定からシナリオ同定、リスク見積り及びリスク評価、リスク低減措置の立案とリスク低減措置を実装した場合に現場の作業者に伝え、共有しておくべき情報などを順番に記載していく。これより、一つのシナリオに対するリスクアセスメント等を実施することができる。リスクアセスメント等実施シートの特徴は以下のとおりである。

- リスクアセスメントを実施する前に、解析対象とする工程の作業・操作、設備・装置とその目的などを明確にする。
- 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）を区別して記載することでシナリオを検討しやすい。
- 既存及び追加のリスク低減措置の有効性を確認するために、3回のリスク評価を行う。
- 生産開始後の現場作業者がリスクアセスメント等の結果を参照する、あるいは見直すことができるように、引き金事象の特定、シナリオ同定、リスク見積り・評価、リスク低減措置検討のそれぞれ段階での検討内容を明記しておく。これより、どのような種類のリスク低減措置がどのような目的で実装されているか（設計論理）を記録として残す（リスク管理情報の共有）。

(2) リスクアセスメント等実施結果シート

シナリオ毎の検討結果が記載されたリスクアセスメント等実施シートを集め、表3に示す一つの実施結果シートにまとめる。この実施結果シートを基に、技術面、コスト面などを考慮して、実装するリスク低減措置を決定する。リスクアセスメント等実施結果シートの特徴は以下のとおりである。

- リスクの見積り結果の偏りを発見する。
- リスクレベルが高い順番にシナリオを並べ替えることで、リスク低減措置検討の優先順位を決める。
- 全体を俯瞰することで、リスクレベルが大きい工程、作業・操作、設備・機器などを把握する。
- 起案されたリスク低減措置が複数ある場合、その整合性確認を促す。
- リスク低減措置の実装状況を把握する。

³⁰ 従来のリスクアセスメント等の手法で用いられているシートを一部改良したものであり、基本的事項は同じである。

表2 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)				(参考:表5～表7)
	プロセス異常 (中間事象)				
	プロセス災害 (結果事象)				(参考:表8, 過去の事故事例など)
②既存のリスク低減措置の確認		・○○○ <種類><目的>			●リスク低減措置実施(実装)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	
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			重
		ロ)			頻
		ハ)			リ
		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					

表 3 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施結果シート（様式）

取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握結果		作業・操作、設備・装置とその目的		実施担当者と実施日			実施担当者と実施日		
				〇〇			〇年〇月〇日		

No.	①引き金事象特定とシナリオ同定			②既存のリスク低減措置の確認		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			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			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			③追加のリスク低減措置の実装可否		③リスク低減措置の機能を維持するための現場作業者への注意事項等		③その他、生産開始後の現場作業者に特に伝えておくべき事項		
	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)	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	装可否					

3.3 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するプロセスプラントについて、取り扱っている化学物質そのものやプロセスでなされている化学反応、あるいは、反応を伴わない製造工程に危険源があるかどうかを把握する³¹。

表 4 に取り扱い物質及びプロセスに係る危険源を把握するための質問票を示す³²。(Ⅰ) 取り扱っている化学物質そのものにプロセス災害を引き起こす可能性があるかどうかを把握するための 9 つの質問と、(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、プロセス災害を引き起こす可能性があるかどうかを把握するための 5 つの質問、及び(Ⅲ) その他の要因に関する 3 つの質問から成り、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なっている。

プロセスプラントで取り扱われる物質及びプロセスについて、17 の質問すべてに「はい」又は「いいえ」で回答する。質問に対する回答が「はい」となったものは、その物質又はプロセス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、特に着目すべき点である。

Point

- ・質問票に回答する際には、表 1 に示した物質の情報、プロセスの情報、事故事例データベース、表 4 の右欄の説明・事故事例、参考資料の表 A1～表 A7 に示した用語の説明などを参照するとよい。
- ・表 4 の質問 3～17 の右欄（説明、事例）には事故事例を示しており³³、STEP 2 で実施するリスクアセスメント等でのプロセス災害の想定やシナリオ同定の参考にすることができるが、その他にも事故事例データベースを活用するなどして、同様の物質又はプロセスを扱ったプラントプロセスにおけるプロセス災害発生の危険性についても調査することが望ましい。
- ・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³⁴。
- ・それぞれの質問内容に該当するかどうか明らかにすることができない場合には、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の際に、詳細な解析を行う³⁵。

³¹ ここで実施する危険源の把握は、プロセスプラント等におけるプロセス災害（漏洩・火災・爆発・破裂など）防止を目的としたものであり、有害性のリスクアセスメント等は別途実施する必要があることに注意する。

³² 表 4 の質問票では取り扱い物質、物質の混合や接触、プロセスの物理条件などについての調査による回答を求めている。

³³ 質問 2 については、参考資料の表 A2 に事故事例を示している。

³⁴ 安衛法第 28 条の 2 では、リスクアセスメント等実施の努力義務を課している。

³⁵ 詳細な解析を行うための方法として、文献調査、従業員との議論、専門家への相談、物理化学的危険性を評価するための試験などを実施するとよい。参考資料の表 A8 には取り扱う物質単独や物質の反応・混合の物理化学的危険性を評価するための試験法の一般的な方法をまとめているが、十分な知見がないまま実施すると、安全性や信憑性に問題があるので、適宜、専門家に依頼あるいは相談して実施する。

表 4 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票

I. 物質単独の危険源

質問	どちらかに○	説明・事例
1. 取り扱い物質は、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？	はい いいえ	説明:通知対象物質(参考資料の表 A1 を参照)は、有害性だけでなく、プロセス災害の危険源となる爆発性や可燃性を有するものも多い。物質が持つ物理化学的危険性、健康・環境に対する有害性は、物質の SDS に記載の GHS 分類(参考資料の表 A2)を参照のこと。
2. 取り扱い物質は、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？	はい いいえ	説明:GHS 分類は、SDS の「2. 危険有害性の要約」 ³⁶⁾ に記載されている。この段階では、「分類できない」は危険源があるものとみなす。それぞれの分類の詳細な説明は、参考資料の表 A2 を参照のこと。
3. 取り扱い物質は、可燃性、引火性か？	はい いいえ	説明:SDS が存在しない、製品ではない物質(気体、液体、固体)でも、火災・爆発を起こす可能性を持つ物質は存在する(石油精製時の排ガス、有機系の廃液、可燃性のごみなど)。その中でも、可燃性ガスなどは、ごく一般に使用されており、それが故に火災・爆発を引き起こす可能性も高い。 事例 1:道路舗装工事会社のアスファルトプラントにおいて、アスファルト貯蔵タンク(高さ 9.2m)にアスファルト原料を送入する配管が詰まった。機械修理業者の 3 名が配管を交換作業中、タンクが爆発して天蓋がめくり上がり、天蓋上で溶断作業をしていた 1 名が地上に墜落して死亡した。原因は、配管のフランジのボルトをアセチレンガス溶断した際、配管内のアスファルトの可燃性ガスが溶断の火花により着火したとみられる。 事例 2:製油所蒸留脱硫エリアでの定期修理後のスタートアップにおいて、空気による送風テスト中、突然燃焼炉上部の煙道内でガス爆発を生じた。原因は、バルブリークのためフレア系の可燃性の排ガス(メタン、水素、エチレン、エタンなど)が煙道内に流入して空気と混合し、何らかの着火源により爆発したと推定される。
4. 取り扱い物質は、爆発性に関わる原子団、あるいは、自己反応性に関わる原子団を持っているか？	はい いいえ	説明:その物質が爆発性や自己反応性に関わる原子団を持っている場合、エネルギー(熱、衝撃、摩擦など)が加えられた時に急速に分解し、爆発を引き起こす可能性がある。原子団の例は参考資料の表 A3 及び表 A4 を参照のこと。 事例 1:染料中間体の製造工場において、半製品のジニトロ・パラ・クレゾールを製造する硝化機でのニトロ化工程の反応温度が設定値を超え、原料の滴下を停止したが、さらに温度は上昇し爆発した。 事例 2:ハイドロパーオキシドを生成する酸化反応器のエマージェンシー・シャットダウン時のインターロック解除により、酸化反応器への窒素の供給が停止し、液相の攪拌が停止した。冷却コイルのない液相上部でハイドロパーオキシドの分解熱が除熱できず、温度上昇により分解反応が加速し、酸化反応器が圧力上昇により破裂した。
5. 取り扱い物質は、可燃性(有機物、金属など)の粉体(可燃性粉じん)か？	はい いいえ	説明:可燃性の粉じんは、大気中に分散され、着火することにより、爆発を引き起こす可能性がある。また、堆積すると自然発火する可能性がある。 事例 1:リサイクルするため、細かく砕いたアルミ片に付着した油分などを乾燥器で取り除く作業中、アルミ粉を吸い取る集じんダクトで粉じん爆発が起こった。静電気などがアルミ粉に引火したとみられる。 事例 2:自然発火により発電所の貯炭サイロから出火し、発電用ボイラーに石炭を運ぶベルトコンベアーのゴム製ベルトの一部を焼いた。

(次ページへ続く)

³⁶⁾ JIS Z 7253:2012「GHS に基づく化学品の危険有害性情報の伝達方法—ラベル、作業場内の表示及び安全データシート(SDS)」による表記

質問	どちらかに○	説明・事例
6. 取り扱い物質は、過酸化物を生成する物質か？	はい いいえ	<p>説明: エーテル、ビニル化合物などは、貯蔵中に大気中の酸素と反応し、過酸化物を生成する可能性がある。過酸化物は、衝撃や熱に対して敏感なものが多く、爆発を引き起こす可能性がある。この危険源についての GHS の分類項目はなく、SDS では危険源となるかどうか判断できない場合がある。物質の例は参考資料の表 A5 を参照のこと。</p> <p>事例: フロン製造所の産業廃棄物置き場において、乾燥剤に使用されたモレキュラーシーブを運搬するためにドラム缶からひしゃくで移し替える作業中、代替フロンが塩化ビニリデンに分解し、空気中の酸素と接触して過酸化物が生成していたため、ひしゃくの衝撃により爆発した。</p>
7. 取り扱い物質は、重合反応を起こす物質か？	はい いいえ	<p>説明: 重合しやすい物質は、重合禁止剤の不足や雰囲気調整の失敗などにより自己重合が起こってしまい、爆発を引き起こす可能性がある。この危険源についての GHS の分類項目はなく、SDS では危険源となる得るかどうか判断できない場合がある。物質の例は参考資料の表 A6 を参照のこと。</p> <p>事例: アクリル酸製造施設内の高純度アクリル酸精製塔のボトム液を一時貯蔵する中間タンクにおいて、冷却不足により温度が上昇し、アクリル酸二量体生成反応が加速され、アクリル酸の重合反応を引き起こして、爆発・火災に至った。</p>
8. 取り扱い物質は、液化ガスか？	はい いいえ	<p>説明: 気体状のガスよりも密度が高いため、破壊・噴出すると大量のガスが発生する。なお、液化ガスの多くは極低温であるので、質問 13 にも該当する可能性が高い。</p> <p>事例: 化粧品工場内の容器に整髪料と噴射剤を充填するスプレー容器の充填機において、噴射剤を窒素から LPG に切り替えて運転を開始したところ、爆発して充填機が火災となり、7名が火傷を負った。原因は、充填ホースの接続を誤っていたため運転中に LPG が漏洩し、部品加温用の電気乾燥機(非防爆)の電気火花により着火したとみられる。</p>
9. 取り扱い物質は、SDS が存在していないけれども、危険有害性が疑われるか？	はい いいえ	<p>説明: プロセス内の中間体や残留物などには、危険有害性が疑われる物質が存在する可能性がある。SDS はほとんどの場合存在せず、SDS のみに固執すると危険源が見落とされる可能性がある。</p> <p>事例 1: カーボン工場内の原料油タンクにおいて、開放点検に向けてクレオソート油の移送作業などが行われていた。作業を終了してから約 90 分後、タンク底部の残存スラッジが空気と接触して発熱反応を起こしたため、可燃性ガスが発生するとともにスラッジが自然発火して、タンクが爆発した。</p> <p>事例 2: ニトロトルエンを生成するバッチ蒸留缶から残渣をかき出しているとき、鏡板に設けられているマンホールからジェット火炎が噴出した。</p>

II. プロセスプラントにおける物質の反応や混合、物理条件³⁷による危険源

質問	どちらかに○	説明・事例
10.対象とするプロセスプラントは、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？	はい いいえ	<p>説明:プロセス内で意図的に起こしている反応は、効率よく製品が生成する条件を求めて、高温・高圧のもとで制御されていることが多い。しかし、その制御条件が逸脱して反応容器の温度が上がれば反応が暴走し、急激な温度・圧力の上昇をもたらすこととなる。</p> <p>事例 1:ニトロ化反応で安全性向上の観点から、反応温度を下げて運転したところ、反応速度が低下して滴下した混酸が反応器内に蓄積し、突然ニトロ化反応が加速し、反応器が爆発した。</p> <p>事例 2:ニトロメキシ安息香酸に塩化チオニルを加えるハロゲン化工程で、生成した塩素が暴走的な副反応を起こし、副生した塩化メチルが発火・爆発した。</p>
11.対象とするプロセスプラントは、何らかの物理的な操作の際に温度が上がるか？	はい いいえ	<p>説明:意図的な反応工程以外の物理的な操作のプロセスには、物質の温度を上げるかもしれない操作がある(吸着、激しい混合、溶解、希釈など)。温度が上がることにより、さらに発熱したり、毒性・可燃性ガスを発生したり、爆発したりするような意図しない反応を引き起こす可能性がある。操作中の意図的な加熱(蒸気による外部加熱など)は含まない。ただし、ある温度では反応しなかった物質などが、温度が上がることによって反応する可能性に注意すること。</p> <p>事例 1:アクリル酸メチル貯蔵タンクへの送液中に、タンク内のアクリル酸メチル蒸気の可燃性混合気が活性炭への吸着熱および酸化熱により発火爆発した。</p> <p>事例 2:合成ゴム製造工場において、重合反応後のスチレンブタジエンゴムを圧縮し水分を飛ばす押し出し乾燥機を起動したところ、乾燥機の回転数をいきなり最大にしたため、合成ゴムが圧縮と摩擦熱によって発火、火災となった。</p>
12.対象とするプロセスプラントは、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、以下のいずれかの可能性があるか？ (1)温度が上昇する (2)参考資料の表 A2 の GHS 分類のいずれかの危険源となる物質を生成する(質問 2.参照) (3)大量のガスを発生する (4)取り扱う物質の熱安定性が低下する	はい いいえ	<p>説明:複数の物質が混合することで、質問に示す現象が起こる可能性がある。いずれも意図しない火災・爆発などを引き起こす可能性がある。</p> <p>事例 1:酢酸製造プロセスで、反応塔にアセトアルデヒド、触媒、酸素を仕込み、加温を開始してしばらく経過した後、触媒量が多かったため、内部温度が上昇して反応暴走に至り、塔頂部が爆発した。</p> <p>事例 2:処理を受託した産業廃棄物のうち、アルミペースト(アルミニウム金属粉末を含む)とアミン系廃油(水に溶解することでアルカリ性を示す)が廃油貯蔵タンク内で混合したことにより、反応が徐々に進行し、数時間後に反応が暴走した。発生した水素などの可燃性ガスに着火、爆発し、火災となった。</p> <p>事例 3:ジクロロアニリンを製造するバッチ水添反応器で、微量の硝酸イオンが混入したため、不安定な中間体が生成、蓄積し、破壊的な暴走反応が起きた。</p> <p>事例 4:ヒドロキシルアミン 50%水溶液の再蒸留塔が運転中に突然爆ごうした。</p>

(次ページへ続く)

³⁷ プラント・設備で危険源となりうる物理条件の例を参考資料の表 A7 に示している。

質問	どちらかに○	説明・事例
13.対象とするプロセスプラントは、常温・常圧ではない箇所（高温、低温、高圧、真空（低圧）、繰り返し昇温・降温、昇圧・降圧）が存在するか？	はい いいえ	<p>説明: 常温・常圧ではない箇所は、温度の観点では高温、低温、繰り返し生じる昇温・降温があり、圧力の観点では高圧（高圧ガス保安法の規制に該当しない程度の圧力も含む）、真空（低圧）、繰り返し生じる昇圧・降圧がある。そのような箇所が存在すると、シール部分の劣化などにより内容物が漏洩する可能性がある。また、逆に大気などがプロセス内に侵入し、内容物と反応する可能性がある。</p> <p>事例 1: 製油所において、肉盛り補修した箇所です内部腐食が進行し、減肉・開口に至り、内部の油と重質軽油のガスが漏れ、高温部分により発火した。</p> <p>事例 2: アセチレン除去器の配管が低温脆性による破壊を生じ、管内の液体酸素が側溝（油、ボロなどのある溝）に流出。低温脆性により破壊したすき間より流出した液体酸素と側溝内に蓄積されていた油、ボロなどの接触により燃焼、続いて配管内のアセチレンガス体に引火爆発した。</p> <p>事例 3: 繊維工場において、高圧染色槽（圧力容器）の運転を開始してから約 90 分後、突然蓋が蒸気圧により飛散して、蒸気、染色用の熱湯、糸くずなどが上方に飛散したため、工場の屋根や窓ガラスなどが破損した。原因は、安全装置の整備不良があり、電磁弁用空気操作圧力の不足、あるいは、ロックピンと空気抜き回転弁とのずれによりロックピンが外れたためである。</p> <p>事例 4: 半導体原料の製造工場の実験室において、自然発火性のトリメチルインジウムを昇華反応により小分け充填する装置の充填試験を実施中、真空度が上がらないので設計者が作業を引き継ぎ、漏れ試験をしようとバルブを開いたところ、十数秒後にトリメチルインジウムの中間容器が破裂した。真空充填装置と装置の架台が変形破損し、2 名が負傷した。原因は、バルブの開閉状況を正確に確認しないままバルブを開いたため空気が混入し、トリメチルインジウムが自然発火した。</p> <p>事例 5: 割れ部分から漏れた高温ナフサが自然発火し、小炎になった。当該溶接部の形状が不良のため、配管の熱伸縮に伴う繰り返し応力が形状不良部に集中し、割れに至った。</p> <p>事例 6: 70MPa 圧縮水素スタンドにて充填試験終了後、充填ホースの圧力が急激に低下した。作業員が水素の漏洩音を確認したため、設備を手動で停止した。その後、漏洩箇所がデイスベンサー充填ホース上部であることを確認した。何らかの原因でホース内面に発生した亀裂が、加圧の繰り返しによって進展し、貫通したことにより水素の漏洩が生じた。</p>
14.対象とするプロセスプラントは、大量保管をしている箇所が存在するか？	はい いいえ	<p>説明: SDS で危険源が表示されない物質であっても、大量の可燃性物質（ごみ固化燃料、木材チップ、シュレッダーダスト、瓦礫、天ぷらかす、油分が付着した布など）が保有されると、微生物発酵や空気酸化を受け、蓄熱発火し、火災となる可能性がある。また可燃性物質以外にも、大量に保有された硝酸アンモニウムは昔から大爆発を起こしている。</p> <p>事例 1: ごみ固化燃料に存在した微生物が活動した結果、タンク内で発熱が起きて、その冷却作業中に内部で発生したメタンなどのガスが爆発した。</p> <p>事例 2: 大量に保管していた肥料用硝酸アンモニウム約 400t が突然爆発した。</p>

Ⅲ. その他の要因による危険源

質問	どちらかに○	説明・事例
15.対象とするプロセスプラントは、腐食が進みやすい箇所が存在するか？	はい いいえ	<p>説明: 金属で構成されている設備・装置は、不適切な鋼種の選択、不適切な環境での使用などにより腐食し、内容物の漏洩の原因となる。また、腐食孔から空気、水等が侵入し、内容物と反応する可能性がある。さらに、腐食部分の強度が低下するため、加圧されている場合には設備・装置が破裂するおそれがある。腐食の原因には、腐食性物質によるものはもちろんのこと、異種金属の接触によるもの、内容物の速い流れによるもの、材料にかかった応力が影響するものなど多種多様である。</p> <p>事例 1: 有機質肥料工場において、蒸煮器(压力容器)を使用し、牛の角と蹄を蒸煮して加水分解中、容器に長さ約 1.8m の亀裂が生じて蒸気と内容物が噴出し、建屋の一部が破損した。原因は、有機質原料からは腐食性の強いガスと液体が生成し、8 年半の使用で腐食が進行して、圧力に耐えきれずに破裂したとみられる。</p> <p>事例 2: 重質軽油水素化脱硫プラントで低圧分離された油からナフサ分を分離する脱硫放散塔から漏れ出したナフサが発火した。ナフサが漏出した孔は、1 年半前に肉盛溶接により補修した箇所であり、クラッド鋼の外側部分の炭素鋼溶融金属が内側部分のステンレス鋼溶融金属面から露出し、硫化水素などを含む腐食環境にさらされ、異種金属間の電位差による腐食が進行し、内部から減肉して開口に至ったとみられる。</p> <p>事例 3: 合成アルコールの製造設備の定常運転中、反応工程において、エチレンリサイクルガス昇温用加熱炉入口側のリサイクルガス配管の T 字管部が腐食(エロージョン・コロージョン)して、破損・開口し、エチレンリサイクルガスが漏洩して静電気により着火し火災となった。</p> <p>事例 4: 酒類製造工場内で、アルミ製の酎ハイの樽を洗浄する機械の温水調圧タンク(80～85℃、压力容器、2m³、最高使用圧力 5 気圧)の設定圧力の調整中、温水調圧タンクの底面鏡板の溶接部が破断し、熱水を浴びて被災した。原因は、設置後 22 年間で内面腐食が進み、今回の 2.8 気圧から 3.0 気圧への水圧の昇圧調整に耐えられず、応力腐食割れが起きたと推定された。</p>
16. 対象とするプロセスプラントは、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)が存在するか？	はい いいえ	<p>説明: 雨水による外面腐食、紫外線による材料劣化などは、作業・操作に関する不具合、設備・装置の不具合、自然災害などの外部要因から検討する潜在する危険源の洗い出しで見落とされがちな影響要因である。</p> <p>事例: 製油所の常圧蒸留装置の定期修理後、スタートアップ時だけ使用するバイパス配管を使用して高温の水素を容器に流し昇温中、当該配管が突然破損し、漏れた水素が爆発して火災となった。原因は、破損部分の保温材には切り欠きがあり、塩分を含む雨水が浸透して腐食が進み、熱応力により破損したとみられる。</p>
17.対象とするプロセスプラントは、高電圧／高電流の箇所が存在するか？	はい いいえ	<p>説明: 感電はもちろんのこと、短絡・地絡を起こすとそれ自体が着火の原因となる可能性がある。ジュール熱によって電線素材の爆発を引き起こす可能性もある。</p> <p>事例: ゴム引き加工工場で製品を乾燥中、ゴム糊中のトルエンが爆発した。原因は、乾燥設備の静電気除去用のバー型電極が長期間稼働しておらず表面が汚れており、メーカーの修理点検で未稼働の指摘を受け修理した。事故当日から通電を再開したため、汚れが過電流のジュール熱による高熱面で着火したもの。</p>

3.4 STEP 2：リスクアセスメント等の実施

STEP 1 で実施された取り扱い化学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、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

プロセスプラント内に潜在する危険を顕在化させる事象を網羅的に特定するために、(i)作業・操作に関する不具合、(ii)設備・装置に関する不具合、及び(iii)外部要因を引き金事象（初期事象）として想定し、プロセス災害発生に至るシナリオを同定する。

- (1) リスクアセスメント等の対象とする作業・操作又は設備・装置の目的を確認する（実施シートに記入）。
- (2) 次の3種類を潜在する危険を顕在化させる事象として特定する。(i)～(iii)はどの順番で実施してもよい。

- (i) 作業・操作に関する不具合
- (ii) 設備・装置に関する不具合
- (iii) 外部要因

Point

- ・本来、リスクアセスメント等では、潜在する危険を顕在化させる事象（引き金事象）を網羅的に特定することが重要であり、すべての作業・操作、設備・装置に関する不具合について検討する。このことは、一度にすべての引き金事象を特定し、リスク低減措置を検討・実施する必要があるという意味ではなく、その都度、リスクアセスメントの対象範囲を絞り込み、何回かに分けて実施するなどしてもよい。
- ・リスクアセスメント等は、作業・操作の変更、装置の劣化、担当者（現場の作業員だけでなく、管理責任者も含む）の異動があった場合の他、技術の進歩、経営環境の変化、他社で災害が発生した場合などにも実施する必要がある、継続的に実施すること。

(i) 作業・操作に関する不具合などの想定

作業・操作の不具合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。運転マニュアル、作業手順書（工程表）、操作手順書などを基に、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、充填量などのパラメータが定められているが、表5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。例えば、次のような不具合を想定することができる。

操作・作業などの不具合の例

- ・ 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）。

Point

- ・機器の操作手順などが記載された詳細な運転手順書などを基本とする場合には、特定される不具合の数が膨大となる。この場合、作業・操作の目的（作業意図、運転意図など）を明確にすることで、いくつかの作業・操作をまとめ、そのまとめた作業・操作の目的を達成できなくなるような不具合（作業ミスなど）を特定し、どのような結果を導くかをシナリオとして同定する。ひとまとめにした作業内での操作の順番などを気にする必要がある場合には、詳細に分割して検討するとよい。

(ii) 設備・装置に関する不具合などの想定

設備・装置の不具合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。プロセスフロー図や配管計装図などを基に、解析対象としている工程・作業・操作に関わる設備・装置などをリストアップし、それらの設備・装置に不具合が発生した場合を想定することで、引き金事象を特定する。

表 6 に設備・装置の不具合の例とそれぞれにより引き起こされる可能性のあるプロセス異常の例を示す。表 6 を参考に設備・装置毎に様々な不具合を想定する。

設備・装置の不具合の例（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、液レベル高など）
- ・ ポンプの故障停止（流れ無しなど）
- ・ 配管の閉塞（流れ無し、圧力増加など）
- ・ 熱交換器のチューブ破断（圧力増加など）

(iii) 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。これらのプラント外での異常事象を引き金事象として特定する。

表 7 に外部要因の例を示す。これらの事象は(i)作業・操作の不具合、(ii)設備・装置の不具合につながり、また、複数の不具合が同時に発生することもある。

表 5 作業・操作に関する不具合を検討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
	逆の順番で作業・操作を実行する
	一部の作業・操作のみを実行する
	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
	作業・操作の実行が遅過ぎる
作業・操作の時間	作業・操作時間が長過ぎる
	作業・操作時間が短過ぎる
充填量	充填量がゼロ
	充填量が多過ぎる
	充填量が少な過ぎる

表6 設備・装置に関する不具合の例

(a) 容器・配管系の破損

容器・配管系	説明	不具合, 及び引き起こされるプロセス異常の例
配管	流量, 耐圧, 耐食性などにより, 多種多様なものがある。振動が伝わりと劣化が進みやすく, ジョイント部も含めた点検・管理が必要である。	閉塞, 圧力損失の増大, 内圧低下, 減圧不良, 逆流, 漏洩, 漏れ込み, 圧力の急変 (水撃) など
ダクト	配管と比べると径が大きく大流量であることが多い。給気系や排気系などでしばしば共通設備として使われる。	配管と同様の不具合。一般に耐圧性能や構造強度は配管よりも劣る。共通設備では, 流れ込み防止施策がないと異常時に逆流が起きる。設計条件 (温度, 圧力, 風量) を超えて凝縮性プロセス流体が流れた場合には, ダクト内で凝縮することがあり, 漏洩や堆積, 可燃性・蓄熱性の変性物の生成につながる。
タンク	気体用と液体用が一般的だが, 粉体に使われることがある。一時貯留から長期保管まで用途は様々である。	漏洩, 漏れ込み, 破裂, 貯留中の物性 (粘度, 温度など) の変動, 揮発分喪失, 保温あるいは加温・冷却不良, 不均一な温度分布, 液面計と液面の不一致が起こりうる。ジャケットや内部コイル付きのタンクでは, その内部の熱媒・冷媒が漏れることがある。
容器	タンクと比べると容量は少なめのもの。平常時に高圧であったり減圧であったりすることが多い。	タンクと同様の不具合が考えられる。高圧あるいは減圧の場合には, 破裂, 内圧低下, 減圧不良, 圧力の急変に注意が必要となる。
コンテナ	輸送用又は保管用の入れ物で, 蓋あるいは栓により密閉できるもの。メンテナンス不良でのトラブルが散見されるので, 点検・管理が重要である。	漏洩, 漏れ込み, 酸欠, 内容物の劣化が考えられる。移動用のものでは, コンテナ自身の劣化が起こりやすい。
フレキシブルホース	振動がある箇所や地震対策, 作業範囲の拡大に必須である配管部品。浸透性と耐久性に応じた素材の選定の他, ジョイント部の緩みなどの点検と管理がポイントである。	配管と同様の不具合。一般に耐圧性能や材料強度, 経年劣化が問題になりやすい。
サイトグラス	覗き窓や液面計のこと。金属部とのシール部分が弱点であり, メンテナンスが必要である。	配管と同様の不具合。透明部分 (ガラス, プラスチック) は一般に強度が低い。
ガスケット／シール	部品間の密閉性を保つための消耗部品。消耗品であり, 交換時には同一規格のものをを用いる。	配管と同様の不具合。内圧低下, 減圧不良, 漏洩, 漏れ込みなどの原因になりやすい。

(b) 機器故障

機器	説明	不具合、及び引き起こされるプロセス異常の例
圧力放出弁・安全弁	設備・機器内の圧力を下げるための弁	動作せず、閉塞、流量不足、平常時の漏洩・漏れ込み、大気放出をした時には、放出完了後に大気の逆流が起こりやすい。また、放出時の摩擦や静電気により着火する場合や、放出部に存在する異物（錆など）がトラブルの原因になる場合がある。
ポンプ	吸い込み型と送り出し型がある。ポンプだけでなく送り側及び受け側の状態も合わせて見るのがポイントである。	流れの停止、流量の増減、気泡の混入、圧力の増減、吸込圧力上昇、構成部品の混入、漏洩、漏れ込みなどが起こる。また、受け側の圧力との差圧により意図しない流れが起きる。
コンプレッサー	気体を圧縮して昇圧するもの。圧縮時に発熱する。	ポンプと同様だが、特に流量減と圧力低下が起きやすい。可燃性蒸気を扱う場合には、発火することがある。
攪拌機	液体と液体の混合や液体に固体を溶かす時に使用される。分離防止用のものもある。設計範囲外の運転はトラブルに直結する。	混合した物質の分離、温度や濃度の不均一、構成部品の混入が考えられる。攪拌軸とそのシール部が弱点であり、疲労破壊の他、漏洩や混入が起きることがある。
バルブ	開閉バルブと調整バルブ、手動操作式と動力操作式がある。遠隔操作ができることもある。	閉のまま開かない、開いたまま閉まらない、全閉にならず漏れがある。全開にならず流量不足が起こりうる。調整バルブでは、上記の他、開度が変わらない、開度が指示と異なるといった不具合もある。これらの不具合により、液面や圧力レベルの変動、熱媒用のものであれば、温度の変動が起きる。
センサーと計測器	圧力や温度、流量などを計測する。制御用のものと監視用のものがある。	計測値が想定範囲以外の場合、計測値が実際値よりも過小又は過大表示となる。計測値に時間遅れ。信号が来ても読み取れない場合もある。計測値にぶれがあり不安定。外部要因による信号途絶や表示装置の不具合（過小、過大、ぶれ、表示せず）を考える必要がある。
コントロール系	動作用の動力源が必要。多重化などの対策が可能。異常に気付かずに運転を継続することを含む。	指示と異なる動作や動作をしないなど、コントロール先の機器において、すべての不具合があり得る。異常状態が別の異常状態の原因となりやすい。停止することが危険である場合がある。
ベント	容器などにおいて、内圧と外気圧をバランスさせるもの	配管・ダクト及び圧力放出弁・安全弁と同様のトラブルと配慮が必要である。

(c) ユーティリティ喪失

ユーティリティ	説明	不具合、及び引き起こされるプロセスのずれの例
電気	制御用、動力用、照明用、熱源用など用途は幅広い。	停電が起きた直後から、回転機器を始めとして、電気機器のすべてが停止したり、機能が低下したりする。なお、バックアップ電源が備わっていれば、損失を回避できるが、バックアップ可能な時間には制限がある。
窒素	不活性ガス雰囲気用や酸素濃度の調整用のもの。液体窒素が極低温の保温用に使用されることがある。	供給停止による即座の影響は少ないが、不活性ガス環境や酸素濃度を調整した空間が乱される。液体窒素では極低温が保持されなくなる。
水	水温により、冷水、常温水、温水がある。動力用に使用されることがある。	加温又は冷却用の場合は、目標温度からずれが生じる。希釈用の場合は、その目的物質の濃度にずれが生じる。動力用の場合は、対象機器が動作しなくなったり動作不良を起こしたりする。
冷媒・熱媒	熱を移動させるための媒体。ヒートポンプに使われる。	送給先において、冷却又は加熱の目標温度からのずれが生じる。
空気	希釈用、燃焼用、動力用、空冷用、乾燥用などとして用いられる。	空気不足により、希釈用ならば目的物質の濃度のずれが起きたり、燃焼用ならば燃焼不良が起きたりする。この他、乾燥不良、冷却不良が起きることがある。動力用の場合は、対象機器が動作しなくなったり動作不良を起こしたりする。
換気	有害物質や粉じんなどを運び出す場合と、消費された空気を補う場合がある。	有害物質の濃度上昇、不純物の混入、粉じん濃度の上昇、作業環境の悪化、酸素不足による燃焼不良や酸欠事故などの可能性がある。
蒸気	熱媒・熱源であることが多いが、動力用に使われる場合がある。	熱媒に準じる。凝縮水がトラブル（閉塞、腐食など）の原因となりやすい。

表7 外部要因の例

外部要因の例	不具合、及び引き起こされるプロセスのずれの例
停電	すべての電気機器・電気設備の停止に伴う不具合。
極端な天候	豪雨、洪水、高波、高潮、積雪、冷温害、高温害、落雷、雷障害、突風、竜巻、雹（ひょう）、台風、気圧変化、結露など。
大規模な自然災害（地震・津波・地割れ・地盤の隆起と沈下・土砂崩れ・地滑り・雪崩・噴火など）	原料を積み上げているところ（ストックヤード）；転倒防止が必要、オフサイト系も含めてプロセスと考える。地震を始めとする自然災害は、同時に多くの要因を引き起こす可能性があり、例えば、設備の破壊と電力や水などの喪失が同時に起こりえる。さらに、防災設備・消火設備までもが使用できなくなる可能性がある。
近隣の事故による影響	火災の延焼、飛翔物の飛来、爆風、停電、共同ユーティリティの停止、可燃性ガスや引火性液体、毒性物質の流入など。
車両衝突	車両同士ならば、車両の燃料による危険性に加え、車両に積載中の化学物質の危険性が発現する。車両と設備の衝突ならば、車両の燃料による危険性に加え、その衝撃の大小に応じて、その設備が有する危険性が発現する。
破壊行為／妨害	侵入可能な区域にあるすべての機器、設備における不具合。

(3) 引き金事象からプロセス災害発生に至る過程をシナリオとしてまとめる。

(2)で特定された引き金事象により起こるプロセス異常³⁸（流量、温度、圧力などのずれや、設備装置の異常状態）からプロセス災害に至るシナリオを同定する。

表 8(a)にプロセス災害発生の例、表 8(b)にプロセス災害発生の影響として起こりうるその他の被害の例を示す。表 1 に示したリスクアセスメント等の実施に必要な情報、STEP 1 の表 4 の質問票の中で「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、及び表 8 のプロセス災害の例などを参考に、特定された引き金事象からプロセス災害発生に至る経路（シナリオ）を同定する。

以下、シナリオ同定の考え方を、具体的に参照する情報などとともに示す。

シナリオ同定の考え方（具体例³⁹）

【STEP 1 物質・プロセスについての危険源の把握】（SDS、運転条件、表 4 の質問票の右欄などを参照する）

- 1) 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、表 4（右欄）のそれぞれの説明・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。
- 2) 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、表 4（右欄）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。

【STEP 2 (1)(2) 引き金事象の特定】（操作手順書、機器情報、図面類、表 5～7 の引き金事象の例を参照する）

- 1) 操作「空気ラインを閉（V109）とする」を検討対象とする。
- 2) この操作の目的は「T100 内での粉じん爆発の防止」である。
- 3) 表 5 に示した「作業・操作に関する不具合を検討するためのずれの例」から、「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。

【プロセス災害に至る経路（シナリオ）の検討】（その他、プラスチック関係の教科書などを参照する）

- 1) 「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、酸素供給源、着火源）のうちの 2 つ（可燃物、酸素供給源）が存在する。
- 2) 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」。
- 3) 1)、2)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。

Point

- ・特定された引き金事象に対して、どのようなプロセス異常（流量増加、温度上昇、設備の異常など）が発生するかを想定しながら検討する。シナリオ同定の際には、既存のリスク低減措置は設置されていないものとして検討する。これにより、そのリスク低減措置がどのように有効かを確認することができる⁴⁰。
- ・火災・爆発に至るシナリオを検討する際には、図 3 に示した燃焼の 3 要素（可燃物（可燃性物質）、酸素供給源（支燃物）、着火源）の有無を念頭に入れるとよい⁴¹。
- ・設備・装置の不具合は内容物の漏洩を引き起こし、結果として、火災・爆発に至る場合もある。また、漏洩

³⁸ 流量、温度、圧力などのずれや、設備装置の異常状態のこと。「中間事象」ともいう。

³⁹ ここで示す例は、5.2 節の解析事例で示す例と同じである。

⁴⁰ シナリオ検討の際に既存のリスク低減措置が機能することを前提として検討すると、プロセス災害に至るシナリオとして抽出されない場合があり、このとき、「リスク低減措置が機能せず、プロセス災害発生に至る」というシナリオを見逃すことにつながる。

⁴¹ 燃焼とは熱と光の発生を伴う酸化反応のことで、3 つの要素『可燃物（可燃性物質）』、『酸素供給源（支燃物）』、『着火源』のうち、どれか一つでも欠ければ、燃焼は起こらない。つまり、燃焼の未然防止のためにはこの 3 要素の少なくとも一つが存在しない状態にすればよい。『着火源』としては、火気、火花、静電気、摩擦熱などが考えられる。

場所に作業者が滞在する場合には、労働災害につながる。

- ・シナリオ同定の目的はプロセス災害を発生させる引き金事象が存在することへの気付きを促すことでもあり、リスクアセスメント等の実施者だけでなく、現場の作業者が普段、不安に感じている点なども参考にし、できる限り、網羅的に検討する。
- ・シナリオの記載については、後から見直す際にも理解できるように、引き金事象からプロセス災害に至る状況を、できるだけ詳しく記載しておく方がよい。必ずしも文章でなくてもよい。

表 8 起こりうる事故影響の例

(a) プロセス災害（漏洩、火災、爆発、破裂）

損失イベントの例	説明
漏洩	容器や配管などの中に閉じ込められていた物質が、その外側に噴出・漏洩する。
火災	意図に反して発生・拡大した燃焼のこと。その状態によって以下の種類がある。
プール火災	滞留した可燃性液体の表面で着火し、燃焼している状態。
ジェット火災	容器や配管の穴から噴出している可燃性液体に着火し、燃焼している状態。大規模な現象になると火炎が建物を貫くことがある。
フラッシュ火災	漏洩した可燃性液体が蒸発し、可燃性の蒸気となった状態で着火し、短時間だけ燃焼する現象。漏洩量によっては火災の範囲が大規模になり、それによる熱の影響が大きい。
ファイヤーボール	容器が大規模に破壊されるなどして、大気中での可燃性蒸気の着火、火災が大規模で起こると、大気中に巨大な球状の火炎を形作る。この球状の火炎をファイヤーボールという。熱を遮るものが少なくなるため、熱の影響が著しい。
爆発	蓄えられた、あるいは急激に発生した圧力が解放され、急激に体積が膨張する現象。化学反応で発生するエネルギーによる場合と、圧縮された気体の膨張による場合がある。
内部爆発 （装置内、屋内）	密閉された空間（装置内、屋内）で可燃性物質や反応性の物質が燃焼・反応し、爆発する現象。もし生じた圧力が構造物の耐圧を超えると、構造物が破壊される。
蒸気雲爆発	大気中に形成された可燃性蒸気・ガスの雲が急速に燃焼することによって発生する爆発。爆風が広範囲の構造物に影響を及ぼす。
平衡破綻型爆発	高圧の容器内で、液体とその液体の蒸気が平衡状態にあったが、容器が破壊することにより平衡が破れ、急激に液体が気化することにより発生する爆発。
BLEVEs （沸騰液膨張蒸気爆発）	可燃性液体を入れている容器で、高圧の状態では液体とその蒸気が平衡状態になっていたところで、容器が破壊することにより平衡が破れて平衡破綻型爆発が起き、さらにその可燃性蒸気に着火して蒸気雲爆発を起こす現象。一気に大量の可燃性蒸気に着火するため、極めて大きな被害となりがちである。
粉じん爆発	粉じんが空気中に浮遊・分散して、ある濃度範囲で空気と混合した時、何らかの着火源により発火して、急激に燃焼することにより発生する爆発。空気中で燃える固体といくつかの種類の金属は、細かくすれば粉じん爆発を起こす危険性がある。
爆ごう	火炎の伝播速度が音速を超えて衝撃波を伴いながら燃焼する現象。爆発圧力が極めて大きくなり、破壊力が格段に大きくなる。
液体と固体の爆ごう	火薬などの爆ごう。気体の爆ごうと比べると爆ごうが伝播する速度が一般に速く、発生する圧力がさらに大きくなる。
破裂	高圧の気体を入れている容器が破損した結果、圧力が解放され、周囲への爆風や容器の破片の飛散が起きる現象。容器の破損には、容器内の圧力が容器の耐圧を超えた場合と、材料又は構造上の問題により容器の耐圧が低下した場合がある。

(b) プロセス災害発生に伴い、引き起こされるその他の影響

その他影響の例	説明
影響	
毒性	漏洩した物質が毒性を持つものであれば、人に影響を及ぼす。
腐食	腐食性を持つ物質が漏洩すると、人の眼・皮膚などに影響を及ぼす。また、周りの構造物を腐食させる可能性がある。
熱的影響	火災などで高温にさらされることにより、火傷など、甚大な影響を及ぼす。また、周りの構造物の強度を低下させる可能性がある。
過圧影響	爆発などにより圧力を受けると、人であれば鼓膜、肺などの損傷などの甚大な影響を及ぼす。また、周りの構造物を破壊する可能性がある。
飛翔物	爆発などで破壊した構造物の破片が飛翔することで、人にあたると怪我などの影響がある。また、周りの構造物を破壊する。
その他への影響	
コミュニティ	大規模なプロセス災害が発生すると、地域住民や家屋などにも被害が出る。
従業員	プロセス災害が発生すると、最も影響を受けやすい人は従業員である。また、身近な人が被害を受けることで、精神的な混乱や動揺も起きやすい。
環境	毒性・有害性を持つ物質が大規模に放出されると、プロセス外の環境への生態系にも影響を及ぼす。
資産	プロセス災害の発生によって、プラントや製品などが損傷することで、資産にも影響が出る。
生産・製造	プロセス災害の発生によってプラントが損傷することで、生産・製造ができなくなる。直接の被害がなくとも、規制当局の指導などによって操業ができなくなる。



図3 燃焼の3要素

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、次の手順により、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) 引き金事象、プロセス異常（プロセス変数のずれなどの異常伝播）、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を確認する。既存のリスク低減措置が存在する場合には、その内容と種類及び目的を記入する。

リスク低減措置の種類：表 9 に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⁴²。

リスク低減措置の目的：表 10 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）と事例を示す⁴³。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。

- (2) 既存のリスク低減措置が設置されていない（機能しない）場合を想定して、リスク見積りとリスク評価（その 1）を行う。

「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 11 にリスク見積りのための「(a)危害の重篤度」，「(b)危害発生の頻度」，及び「(c)リスクレベル（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）」の基準（例）を示す⁴⁴。リスクの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）。

- (3) (1)で確認したリスク低減措置が機能した場合のリスク見積りとリスク評価（その 2）を行う。

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事ができていない場合（リスク低減措置が有効に機能していない場合）には，STEP 2③での追加のリスク低減措置の検討を行う。

- (4) (1)で既存のリスク低減措置が存在しない場合には，表 2 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。

⁴² 「保護具の着用」の主目的は労働災害防止であり，本技術資料で目的とするプロセス災害防止には直接的には結びつかないが，実際の作業現場では，当然のこととされる。

⁴³ 多重防護の考え方については，参考資料 B も参照のこと。

⁴⁴ 表 11 に示すリスク見積りの基準はあくまで参考であり，各事業所の実態に合わせて，決定すること。

Point

- ・リスクの見積りとリスク評価は、以下の点に注意する。
 - 1) 2段階（その1、その2）で実施する。これは、既存のリスク低減措置がどのような効果があり、リスクレベルを下げることに寄与しているかどうか（リスク低減措置の有効性）を確認するためである。
 - 2) 作業や運転員による作業・操作に対する信頼性やインターロックなどの工学的対策の信頼性についても考慮する。
 - 3) 重篤度の見積りについては、最悪の状況を想定すること。
 - 4) どのように考えて○、△、×と判断したか（判断の根拠）を明確にしておくことが重要であり、必要に応じて、備考欄に記載しておき、再度、見直しをする際などに役立てる。
- ・リスク低減措置がどんな役割を担っているか（設計意図）を把握するために、次の2点を明記する。
 - 1) リスク低減措置の「種類」は表9に示すいずれに該当するか？
 - － リスク低減措置の「種類」を明示することにより、優先順位が高いものほど（A→B→C→Dの順番）リスク低減措置の機能として信頼性が高いことをリスクアセスメントの実施者及び現場の作業員も認識しておく。
 - 2) リスク低減措置の「目的」は表10に示す多重防護のいずれに該当するか？
 - － プロセス災害防止の基本は、「a)異常発生防止対策」、「c)事故発生防止対策」、「d)被害の局限化対策」を目的とした防護層を構成すること（多重防護の考え方）である。
 - － リスク低減措置の「目的」を明示することにより、そのリスク低減措置を実装し、機能を維持することの重要性をリスクアセスメントの実施者及び現場の作業員にも認識してもらう。
- ・リスク低減措置が存在する場合のリスクの見積りについて、「本質安全対策が実装されていなければ、危害の重篤度は下がらないこと」、そのため「実質的にリスクレベルを下げるためには、危害発生の頻度を下げることが基本となること」を念頭に置くこと⁴⁵。

表9 リスク低減措置の種類（優先順位）

優先順位	リスク低減措置の種類	説明
1	A) 本質安全対策 ⁴⁶	危険性若しくは有害性が高い化学物質等の使用の中止又は危険性若しくは有害性のより低い物への代替 化学反応のプロセス等の運転条件の変更、取り扱う化学物質等の形状の変更等による、負傷が生ずる可能性の度合又はばく露の程度の低減
2	B) 工学的対策	化学物質等に係る機械設備等の防爆構造化、安全装置の二重化等の工学的対策又は化学物質等に係る機械設備等の密閉化、局所排気装置の設置等の衛生工学的対策
3	C) 管理的対策	作業手順の改善、マニュアルの整備、教育訓練・作業管理等の管理的対策
4	D) 保護具の着用 ⁴⁷	安全靴、保護手袋など個人用保護具の使用

⁴⁵ 従来のリスクアセスメントでは、本質安全対策となっていない場合でも、危害の重篤度が下がると見積もり、リスクレベルが下がると評価されていた例が散見された。危害の重篤度を下げることができるのは本質安全対策を実装したときのみであり、工学的対策、管理的対策などでは、危害発生の頻度が下がるのみであることに注意を要する。

⁴⁶ 本質安全設計については、参考資料Cも参照のこと。

⁴⁷ 静電気発生対策のための作業着等の着用は、本質安全対策に含まれる。その他の保護具の着用は労働災害防止のために利用されるが、実際の作業現場等へ入る際に当然のことである。

表 10 プロセス災害防止のための多重防護によるリスク低減措置と事例⁴⁸

リスク低減措置 の目的	説明	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
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、異常が発生させない、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。	単体の健全設計： ・最大負荷での機器設計 ・腐食に対する適切な材料選定など 誤操作防止設計： ・バルブ・計器の誤操作防止対策 ・人間特性を考慮した作業環境設計 参考資料 C (表 C1) の「除去と代替」及び「より安全な条件」なども含む	基本プロセスシステム (BPCS)：フィード組成の変化のような予想される変化や傾向、蒸気圧力、冷却水温度、外気状況の変化、徐々に蓄積される熱交換器 (特にチューブ) の汚れのようなユーティリティパラメータの変動に適切に対応 機器の信頼性設計： ・信頼性の高いセンサーの使用 ・予備機の設置、冗長化、機能としての信頼性向上など ユーティリティの信頼性設計： ・電力計装用空気 ・冷却水系などの冗長化による信頼性確保 (冷却系は予備機の自動起動などのバックアップ機能) その他： ・相互に接触してはならない物質が接触する可能性を減らすための分離装置、専用機器、その他設備 ・プロセス配管や機器に影響を与えるメンテナンス活動や車両交通による外的要因の可能性を減らすための防護措置 (ガードや防護壁)	作業 (操作) 手順書の改訂： ・主要な封じ込めシステム の適切な設計と設置とそれらの機能を維持するための検査、テスト、メンテナンス ・不適切な作業手順の可能性を減らすための 手順 (書) の改訂 (改訂に伴う運転員教育・訓練) ・物質、機器、手順、人、技術に関する変更管理 ・正常運転からの逸脱 (ずれ) の原因を特定する仕組み	
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、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) 異常発生防止策、c) 事故発生防止対策、又は d) 被害の局限化対策でどのように対応するかを考える。		異常検知・警報システム： ・プロセス特性に応じた検知器の設置 ・検知すべきパラメータの決定 ・ガス・油検知警報システム		

(次ページへ続く)

⁴⁸ 表 10 ではリスク低減措置の事例をマッピングしているが、必ずしも a)～d) の目的に分類されるわけではなく、複数の目的をカバーするリスク低減措置もある。

リスク低減措置の目的	説明	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
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。		<p>フェイルセーフ設計：機器故障が発生しても安全な方向に移行する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計装空気喪失時の調節弁の開閉方向安全インターロック（人がいない場合、人がいても対応できない（時間的余裕が無い）場合）：特定された異常状態の検知に基づきシステムを自動的に安全な状態にする ・計装防護システム <p>着火源管理：引火性混合体が存在する中での着火の可能性を減らし、またそれによる火災、粉じん爆発、蒸気雲爆発（屋内・屋外）の損失事象を防ぐ</p> <p>圧力放出設備：容器の過剰圧力を軽減し、容器爆発による損失事象を防ぐ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・緊急脱圧システム ・安全弁 <p>その他：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・手動放出や急冷システム 	<p>運転員対応（時間的余裕がある場合）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・損失事象が発生しうる前に手動でプロセスをシャットダウンするための安全警報あるいは異常状態対応（マニキュアルの整備と教育・訓練） 	
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、又は避難などにより被害を許容可能なレベルまで下げる。	<p>参考資料 C (表 C1) の「保有量の低減」なども含む。</p>	<p>流出量の局限化：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・漏洩箇所の自動又は遠隔駆動遮断弁 ・工程毎の緊急遮断弁 ・緊急脱圧弁 ・緊急移液設備 <p>流出液体の拡大防止：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵設備の防油堤／防波堤 ・ユニット区画毎の仕切堤 ・プラント設備区画毎の仕切堤 <p>着火源の管理：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防爆電気設備 ・可燃性ガスの希釈・拡散のためのスチームカーテン・ウォーターカーテン ・静電気安全対策 ・避雷針 <p>火災・爆発発生時の拡大防止：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備間距離 ・設備レイアウト ・火災検知器、消火設備、散水設備、泡消火器 ・蒸気緩和システム ・ウォーターカーテン ・防火壁 ・耐火・防爆構造 	<p>緊急時対応：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・避難経路の確保 ・緊急対応管理計画 	<p>緊急時の個人用保護具：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ゴーグル（保護眼鏡） ・耐火服 ・避難時人工呼吸器

表 11 リスク見積りのための基準

(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（×）	<ul style="list-style-type: none"> ・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（△）	<ul style="list-style-type: none"> ・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（○）	<ul style="list-style-type: none"> ・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) 危害発生頻度（可能性）

発生頻度	発生頻度の目安
高い又は比較的高い（×）	<ul style="list-style-type: none"> ・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（△）	<ul style="list-style-type: none"> ・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（○）	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

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（例えば、リスクレベルがⅢとなるシナリオを無くすこと）を達成することができていなければ、次の手順により、追加のリスク低減措置を検討し、実施する。

(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基づき、表 10 に示した a), c), d) の 3 種類のリスク低減措置対策を順番に検討する。

- a) 異常発生防止対策：特定された引き金事象を除去する（異常発生を防ぐ）又は正常状態に戻す
- c) 事故発生防止対策：同定されたシナリオにおけるプロセス異常発生（異常伝播）を防ぐ
- d) 被害の局限化対策：プロセス災害が発生した場合の被害をなるべく小さくする

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。

(2) 追加するリスク低減措置を実施した場合を想定し、再度、リスクを見積り、評価する（その 3）。

(3) 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。

既存のリスク低減措置との兼ね合いやその他制限などを考慮し、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しておく。

Point

- ・「多重防護の考え方」は異常発生を防止すること、プロセス災害発生を防止すること、万が一発生した場合にも被害を許容可能なレベルまで下げることが目的としており、a), c), d) の目的を満足するリスク低減措置をバランス良く実装することが望ましいが、それぞれのシナリオについて、目標とするリスクレベルを達成しているなら、必ずしも 3 種類のリスク低減措置すべてを実装する必要はない。
- ・あるシナリオに対して提案されたリスク低減措置が複数のシナリオのリスクレベルを下げる場合もあるので、実装を検討する際に考慮する（STEP 3 の②）。
- ・A) 本質安全対策の実施について、以下の 2 点に気を付ける。
 - －本質安全対策を実施することができない限り、危害の重篤度を下げることができない。
 - －本質安全対策を実施することが難しい場合には、B) 工学的対策、C) 管理的対策を実施することになるが、これらの対策は危害発生頻度（可能性）を下げるのみであること。
- ・ここでは、「リスクレベルⅢのシナリオを無くすこと」を目標として説明しているが、リスクレベルⅡ、Ⅰのシナリオについては対応しなくてもよいという意味ではなく、これらのシナリオについても、レベルⅡのシナリオから順番にリスク低減措置の検討・実施をすることが望ましい。

(4) 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員への注意事項を記載する。

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しておく。

- (5) 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者に特に伝えておくべき事項があれば、記入する。

その他、リスクアセスメント等の結果について、特に生産開始後の現場作業者に伝えておくべきことがあれば、記載しておく。生産開始後の現場作業者は、教育、訓練などにより、これらを把握する。

Point

- ・リスクレベルがⅢとなっているシナリオに対して追加のリスク低減措置が実装されていない場合には、追加のリスク低減措置が実装されるまでは、生産を開始すべきではない。
- ・現場作業者は、リスク低減措置の目的と種類を確認し、次のような現場での対応について把握しておく。
 - － 本質安全対策となっている理由とその機能を維持するための方法など⁴⁹。
 - － インターロック起動アラームの動作確認、防護壁の日常確認など。
 - － マニュアルに記載した注意点やマニュアルを順守しなかった場合にどのような結果になるかなど。
 - － 保護具着用の徹底についての作業前確認などの指示表示など。
- ・「追加のリスク低減措置が不要」と判断された場合にも、その理由（例えば、既存のリスク低減措置だけで十分と判断された理由など）を明示し、関係者に知らせておく。
- ・残留リスク（例えば、リスクレベルがⅡ以下の引き金事象、シナリオ）が存在する場合には、プロセス災害発生可能性があることを意識させるとともに、現場でどのように対応するかを決めておく。
- ・現場の作業者への伝達事項などは、運転マニュアルなどにも記載しておくことで、確実に対応されるようにする。

④ ①～③の繰り返しによるリスクアセスメント等の実施

①～③を繰り返す。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。

Point

- ・本来、できる限り網羅的に引き金事象を特定し、シナリオを検討する必要があるが、必ずしも一度にすべての対象について実施することを考えず、その都度、対象を絞り込むなどして、継続的にリスクアセスメント等を実施し（PDCA サイクルを回すこと）、少しずつでも取り組んでいくという姿勢が大事である。

⁴⁹ 何らかの変更を加えた際に、本質安全対策としての機能を失う場合があり、多くの災害の原因にもなっている。変更について検討する際には、再度リスクアセスメント等を実施する必要があることを明記しておく。

3.5 STEP 3：リスク低減措置の決定

- ① 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 2）を一つのリスクアセスメント等実施結果シート（表 3）にまとめる。

STEP 2 で記入したリスクアセスメント等実施シートを，リスクレベルが高いシナリオ（Ⅲ→Ⅱ→Ⅰ），あるいは重篤度の大きいシナリオ（×→△→○）の順番に並べる。

Point

シナリオ毎のリスクレベル判定のばらつきなどがあれば，必要に応じて修正する。

- ② 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。

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。

Point

- ・複数のシナリオに対して同一のリスク低減措置が提案されている場合には，まとめて実装することができる。
- ・新しく提案されたリスク低減措置については，既存のリスク低減措置，あるいは同時に提案された複数のリスク低減措置がそれぞれ干渉しあい，効果を打ち消しあうことにならないか？ なども確認する。

第4章 生産開始後のリスクマネジメント（現場作業による対応）

図4にリスクアセスメント等実施結果の周知と生産開始後の現場対応及びリスクの見直し要求の関係を示す。生産開始前に実施したプロセス災害防止のためのリスクアセスメント等の結果には、生産開始後の現場で安全な製造活動（運転・作業）を続けるための重要な情報が含まれている。また、実際に建設・工事を行う際にも、現場の状況を配慮した修正や追加の安全対策が行われる場合もある。そのため、作業を行う関係者全員（運転員・保全員など）は、「生産開始前に実施されたリスクアセスメント等により、どのような危険源があるか？、プロセス災害を発生させるどのような危険が潜在するか？ そのプロセス災害発生を未然に防ぐために、どのような対策が実施されているのか？ あるいは残されたリスクは存在しないのか？」などといったリスクアセスメント等の実施結果を把握しておくことが重要となる。リスクアセスメント等実施シートやリスクアセスメント等実施結果シートには、これらの検討結果（情報）が明記されるように工夫されている。また、建設・工事の際に実施された作業の内容なども情報として記録しておくことが重要である。

生産開始後のリスクマネジメントとして、現場の作業員は上記のリスクアセスメント等の結果などの情報を把握（理解）し、対応することで、プロセスプラントを利用した安全な生産活動を行うことができ、プロセス災害防止につながる。また、現場で不具合が生じたり、修正・変更を実施する必要性が生じた場合などには、再度、リスクアセスメント等を実施することを依頼する。

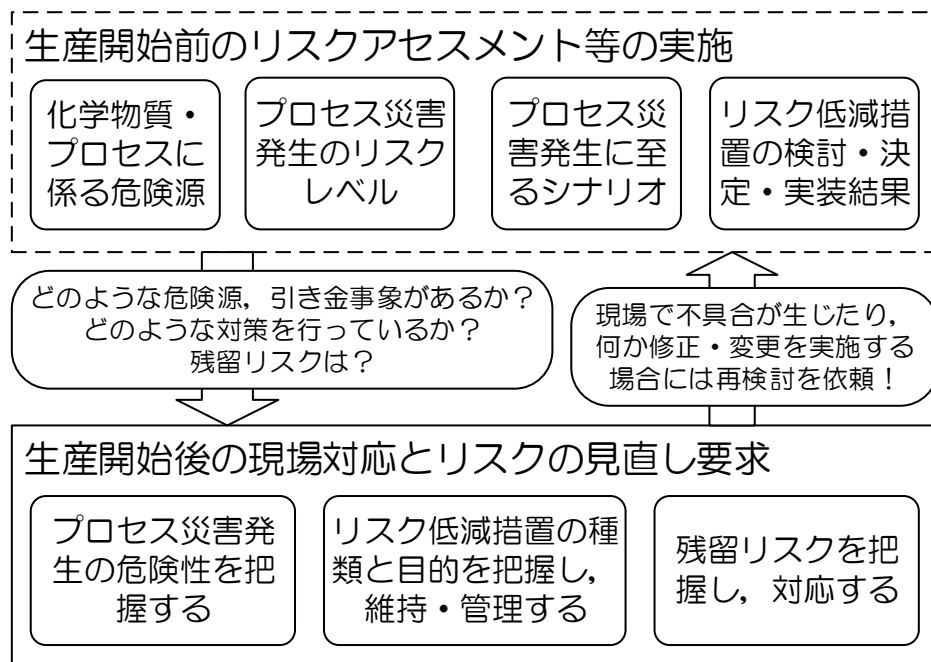


図4 リスクアセスメント等実施結果に対する現場対応とリスク見直し

以下、リスクアセスメント等の結果を参照し、現場で意識して実行すべき内容（例）を示す。

(1) リスク低減措置の種類・目的の把握と維持・管理

- 1) 化学物質、プロセスプラントに潜在する危険源、引き金事象、プロセス災害発生の可能性の有無などを把握する。
 - ・ どのようなプロセス災害発生可能性があるか？
 - ・ 残留リスクはないか？ ある場合には、それにどのように対応すべきか？
- 2) リスク低減措置の種類・目的などを把握する。
 - ・ そのリスク低減措置は、いつどのようなシナリオが発生した時に機能するか（役立つか）？
 - ・ そのリスク低減措置は、次のどの種類となっているか？（優先順位；信頼性の高いものか？）
 - 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
 - ・ そのリスク低減措置は、次のどれを目的（意図）としているか？
 - a) 異常発生防止対策
 - b) 異常発生検知手段
 - c) 事故発生防止対策
 - d) 被害の局限化対策
- 3) リスク低減措置が必要なときに使えるように機能を維持・管理しておく。
 - ・ 必要な時（例えば反応器内の圧力上昇時）にリスク低減措置（安全弁など）が確実に作動するように、平常時からメンテナンスを実施しておく（例えば安全弁の動作確認など）。

(2) 追加のリスク低減措置が実装されていない場合への対応と残留リスクへの対応など

- 1) リスクレベルがⅢとなっているシナリオに対して、追加のリスク低減措置が実装されていない場合には、追加のリスク低減措置が実装されるまでは、生産活動を行ってはならない。
- 2) 残留リスク（例えば、リスクレベルがⅡ以下のシナリオ）がある場合には、次のような対応を行う。
 - ・ プロセス災害発生の可能性が残されていることを意識するとともに、現場でどのように対応するか？意識しておくか？を決めておき、それに従う。
 - ・ 既存のリスク低減措置の目的と種類を確認し、それぞれの機能を維持するための対応を把握しておく。
 - ・ マニュアルを順守することの重要性を理解しておく。
 - ・ プロセス災害が発生した場合でも、保護具の着用は被害を軽減するのに役立つ。
 - ・ その他

第5章 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施事例

5.1 例題プロセスの紹介

本資料に示されたリスクアセスメント等の進め方に従った実施事例を示す。図5に事例プロセスを示す。原料などの特定の物質名は記載していないが、「主原料（粉体）と副原料（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の混合プロセスである。

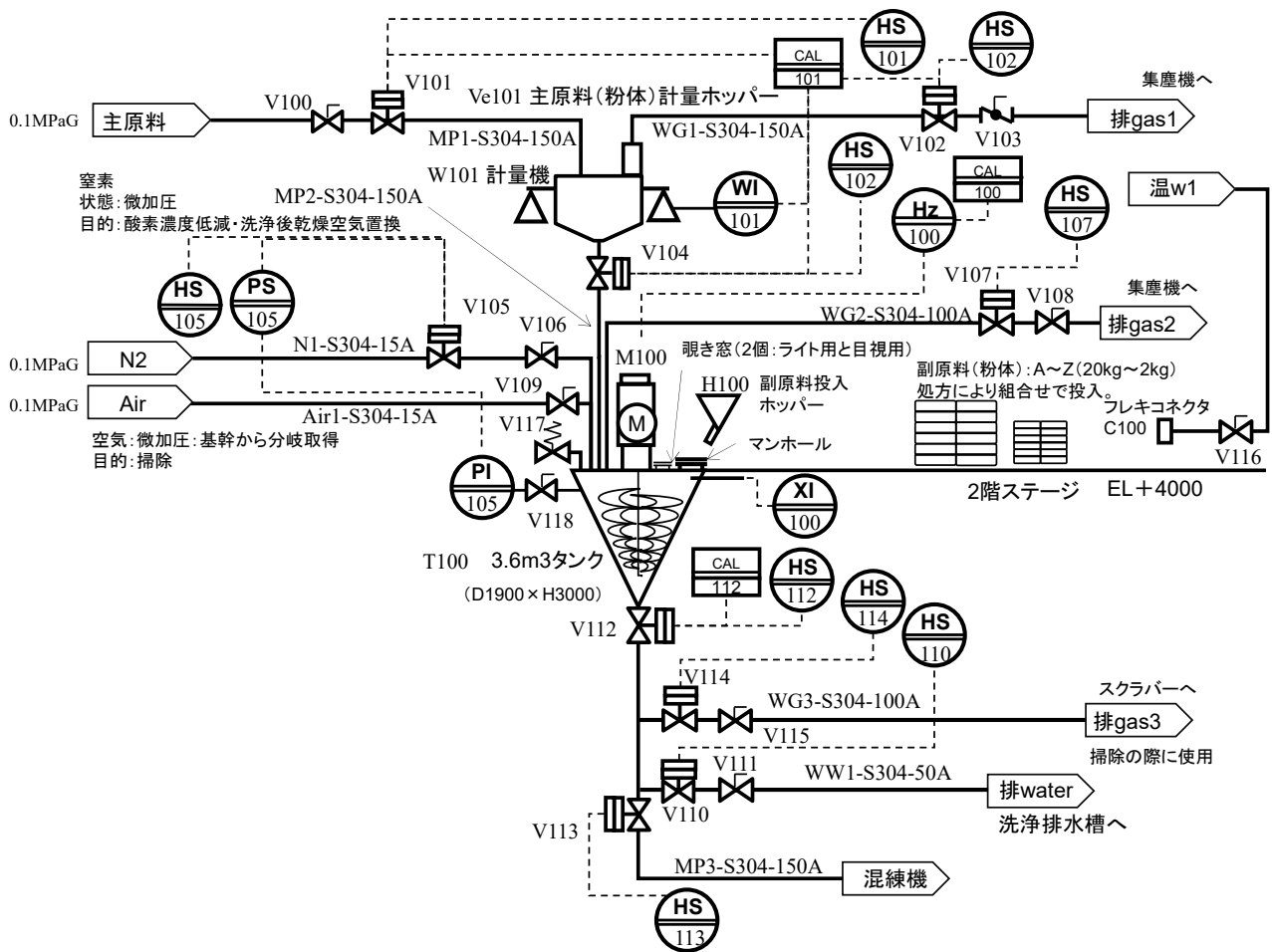


図5 事例プロセス

【工程の概要】

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。
ただし、内部確認（上部覗き窓）。

3. 掃除

- ①窒素と空気にて、槽内掃除（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。

【操作手順】

1. 準備

①T100 の内部確認（残留物など含む）

窒素供給ライン閉となっていることを確認する。

V105 が閉となっていることを確認する。

V106 が閉となっていることを確認する。

全仕込みラインが閉となっていることを確認する。

V101 が閉となっていることを確認する。

V104 が閉となっていることを確認する。

払い出しラインが閉となっていることを確認する。

V110 が閉となっていることを確認する。

V112 が閉となっていることを確認する。

V113 が閉となっていることを確認する。

V114 が閉となっていることを確認する。

ただし、V100 が常時開となっていることを確認する。

V111 が常時開となっていることを確認する。

V115 が常時開となっていることを確認する。

マンホールを空ける。

槽内酸素濃度計で酸素濃度測定する（濃度 20%以上）。

酸素濃度不足の場合、Air 投入する（排 gas2：開）。

内部に異物がないか確認する。

異物がある場合は洗浄する（方法は異物状態による）。

マンホールを閉める。

②窒素置換

マンホールが閉まっていることを確認する。

窒素供給ラインが閉となっていることを確認する。

V105 が閉となっていることを確認する。

V106 が閉となっていることを確認する。

ラインを作成する。

全仕込みバルブを閉とする。

V101 を閉とする。

V104 を閉とする。

全排出バルブを閉とする。

V110 を閉とする。

V112 を閉とする。

V113 を閉とする。

V114 を閉とする。

ただし、V100 が常時開となっていることを確認する。

V111 が常時開となっていることを確認する。

V115 が常時開となっていることを確認する。

空気ラインを閉（V109）とする。

排気ガスラインを確保する。

V107 開とする。

V108 は 70%とする（バルブに付けた目印まで）。

窒素投入する。

V106 を 70%開とする（バルブに付けた目印まで）。

PS105 の SP を 1.0kPa とする。

V105 を開とする。

PS105 を ON とする。

所定圧になってから約 10 分で窒素供給停止する。

PS105OFF で V105 を閉とする。

V106 を閉とする。

排ガスラインを全閉とする（V107 のみ）。

2. 操作（仕込み・混合・払い出し）

全排出バルブを閉とする。⁵⁰

V110 を閉とする。

⁵⁰ 網掛け部分の作業・操作に対する解析結果を表 13 に示している。

V112 を閉とする。
V113 を閉とする。
V114 を閉とする。
ただし、V100 が常時開となっていることを確認する。
V111 が常時開となっていることを確認する。
V115 が常時開となっていることを確認する。

空気ラインを閉 (V109) とする。
窒素供給ラインが閉となっていることを確認する。
V105 が閉となっていることを確認する。
V106 が閉となっていることを確認する。
V105 は PS105OFF で閉とする。

①主原料投入

上流にて加圧槽経由する。
V100 は常時開とする。
V103 は 50% とする。
排ガスラインを確保する。
V107 を開とする。
CAL101 SP は指示書とおり設定する。
CAL101 をスタートする (秤量完了後、自動投入)。

②副原料

マンホール開とする。
指示書とおり、粉体袋の必要数を副原料投入ホッパーへ投入する。
マンホール閉とする。

③窒素置換

上記 1. の②と同じとする。
ただし、窒素投入時の V106 は 35% まで開とする。
(バルブに付けた目印まで)

④混合

必要時間と回転数を入力後自動運転
指示書に従い、CAL100 に回転数と混合時間入力する。
CAL100 をスタート (終了後ホールド)。

⑤払い出し

混練機のスタンバイを確認する。
ラインを作成する。
V113 を開とする。
V114 を閉とする。
(V115 は常時開となっていることを確認する)
排 gas2 の V107 を閉とする。
窒素投入する。
V106 を 70% 開とする (バルブに付けた目印まで)。
PS105 の SP を 1.0kPa とする。
V105 を開とする。
PS105 を ON とする。
CAL112 にタイマーセットしてスタートする。
終了後は窒素供給停止する。
PS105OFF で V105 を閉とする。

V106 を閉とする。
排ガスラインを全閉とする (V107 のみ)。
内部を確認する。
(上部覗き窓が 2 箇所; 一方から電灯で照らし、他方から覗く)

3. 掃除

攪拌機を停止する。
窒素供給ラインが閉となっていることを確認する。
V105 が閉となっていることを確認する。
V106 が閉となっていることを確認する。
全排出バルブを閉とする。
V110 を閉とする。
V112 を閉とする。
V113 を閉とする。
V114 を閉とする。
ただし、V100 が常時開となっていることを確認する。
V111 が常時開となっていることを確認する。
V115 が常時開となっていることを確認する。

空気ラインを閉 (V109) とする。
全仕込みバルブを閉とする。
V101 を閉とする。
V104 を閉とする。
排 gas2 の V107 を閉とする。

①排 gas3 の V114 を開とする。
払い出バルブ V112 を開とする。
排出バルブ V113 を開とする。

窒素投入

V106 を 70% 開とする (バルブに付けた目印まで)。
PS105 の SP を 2.0kPa とする。
V105 を開とする。
PS105 を ON とする。

空気投入

V109 を開とする。
10 分で V109 を閉とする。
V113 を閉とする。

②マンホールを開ける。

温水 (フレキ) を使い、V110 閉のまま温水投入する (満杯)。
CAL100 で 10rpm×10 分攪拌する。
V110 を開として払い出す。

以上、2 バッチ繰り返す。

③掃除エアーにて混合槽から排 gas3 で空気洗浄する。
マンホールを閉とする。
V110 を閉とする。
V113 を開とする。
V109 を開とする。
30 分後、V109 を閉とする。

内部を確認する (1.①と同様)。

5.2 解析事例（各 STEP の実施と参考情報の使い方）

第 3 章で解説したリスクアセスメント等の実施手順に沿って、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）の実施例を示す。

5.1 節に示した事例プロセスの操作手順 2. 操作（仕込み・混合・払い出し）の「空気ラインを閉（V109）とする」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 ）とした場合の解析事例を示す。

表 12 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。

表 13 に 5.1 節に示した事例プロセスの操作手順 2. 操作（仕込み・混合・払い出し）の「全排出バルブを閉とする」、「空気ラインを閉（V109）とする」、「窒素供給ラインが閉となっていることを確認する」、及び「①主原料投入：上流にて加圧槽経由する」におけるシナリオ検討結果をまとめたリスクアセスメント等実施結果シートを示す。

STEP 1：取り扱い物質及びプロセスに係る危険源の把握

表 4 に示した質問票を用いて、対象とするプロセスプラント（図 5）における取り扱い物質及びプロセスに係る危険源を把握する。

質問	質問に対する考え方	回答
1	ポリエチレン及びポリスチレンは、リスクアセスメントの実施が義務化された特定の化学物質（参考資料の表 A1）に該当しない。	「いいえ」
2	SDS から、ポリエチレン及びポリスチレンは GHS 分類（参考資料の表 A2）に該当しない。	「いいえ」
3	ポリエチレン及びポリスチレンは可燃物である。	「はい」
4	ポリエチレン及びポリスチレンは、参考資料の表 A3 に示す爆発性に関わる原子団及び参考資料の表 A4 に示す自己反応性に関わる原子団を持っていない。	「いいえ」。
5	取り扱いポリエチレン及びポリスチレンは有機物の粉体である。	「はい」
6	ポリエチレン及びポリスチレンは、参考資料の表 A5 に示す過酸化物を生成する物質には該当しない。	「いいえ」
7	ポリエチレン及びポリスチレンは、参考資料の表 A6 に示す重合反応を起こす物質ではない。	「いいえ」
8	ポリエチレン及びポリスチレンは、液化ガスではない。	「いいえ」
9	ポリエチレン及びポリスチレンは、SDS がある物質であるため、該当しない。	「いいえ」
10	事例プロセスでは、意図的に反応を起こしていない。	「いいえ」
11	事例プロセスでは、主原料と副原料の混合を行うが、温度が上がるほどの激しい混合は行わない。	「いいえ」
12	事例プロセスにおいて取り扱われるポリエチレン及びポリスチレンは、SDS によれば極めて安定な物質であり、それらの混合や、意図していない物質の混入によって、表 4 の 12 の(1)～(4)に示す現象を引き起こす可能性は考えにくい。	「いいえ」
13	事例プロセスでは、主原料を圧送しているため、高压の箇所が存在する。また、主原料の圧送を繰り返すため、繰り返し圧力がかかる箇所が存在する。	「はい」
14	事例プロセスでは、ポリエチレン及びポリスチレンは大量に保管されていない。	「いいえ」
15	事例プロセスでは、腐食が進みやすい箇所は存在しない。	「いいえ」
16	事例プロセスでは、装置などは屋内にあるため、外界の影響は受けない。	「いいえ」
17	事例プロセスでは、主原料と副原料を混合するための攪拌機を稼働させるため、高電圧／高電流の箇所が存在する。	「はい」

以上より、対象とするプロセスプラントでは、取り扱い物質及びプロセスの危険源が存在する。

・質問3の回答が「はい」

表4の説明より、火災・爆発を引き起こす可能性がある。

・質問5の回答が「はい」

表4の説明より、可燃性の粉じんが大気中に分散され、着火することにより、爆発を引き起こす可能性がある。また、堆積すると自然発火する可能性がある。

・質問13の回答が「はい」

表4の説明より、シール部分の劣化などにより内容物が漏洩する可能性がある。また、逆に大気などがプロセス内に侵入し、内容物と反応する可能性がある。

・質問17の回答が「はい」

表4の説明より、短絡・地絡を起こすと着火源となる可能性がある。また、ジュール熱によって電線素材の爆発を引き起こす可能性がある。

これらの結果を参考に、次のSTEP2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。

使用した関連情報 取り扱い物質のSDS、GHSなどの情報、プロセスの情報

ポイント 事故事例データベースの活用などで、取り扱っている物質やプロセスを扱った場合のプロセス災害発生の可能性についても調査する必要がある。また、作業員の経験なども踏まえてくまなく取り扱い物質及びプロセスに係る危険源を調査する。

表4の質問票で「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、及び表8に示された「起こりうる事故影響の例」を参考に、特定された取り扱い物質及びプロセスに係る危険源により発生しうるプロセス災害を想定する。

STEP2：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

(1) リスクアセスメント等の対象とする作業・操作又は設備・装置の目的を確認する（実施シートに記入）。

【操作手順】から「2. 操作（仕込み・混合・払い出し）：空気ラインを閉（V109）とする」を選択する。

使用した関連情報 マニュアル類

ポイント 事故となりそうな操作を選択しがちだが、隠れた引き金事象を見つける際には先入観を持たないこと。ここでは、起こりうる故障・誤操作を想定する対象を選ぶ。過去に経験した故障・誤操作と同種の故障・誤操作の発生しうる対象がないかを検証する。その際、表5～表7を参考にして、不具合が生じうる可能性を検討する。

本操作の目的は、「ライン内を不活性雰囲気にし、粉じん爆発を防ぐ」ことである。

使用した関連情報 プロセスの情報、マニュアル類、図面類

ポイント 同じ作業・操作、設備・装置でも、目的が異なっている場合は、それぞれに引き金事象の特定及びシナリオの同定を行うこと。

(2) 次の3種類を潜在する危険を顕在化させる事象として特定する。(i)～(iii)はどの順番で実施してもよい。

- (i) 作業・操作に関する不具合
- (ii) 設備・装置に関する不具合
- (iii) 外部要因

(i)について、「V109 を誤って開とする」を引き金事象（初期事象）として特定する。

使用した関連情報 マニュアル類、図面類

ポイント 表 5「作業・操作の不具合を検討するためのずれの例」、表 6「設備・機器に関する不具合の例」、表 7「外部要因の例」を参照する。

(3) 引き金事象からプロセス災害発生に至る過程をシナリオとしてまとめる。

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、その後の「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し、「T100 内で粉じん爆発が発生する可能性」がある。

使用した関連情報 取り扱い物質の SDS、GHS などの情報、燃焼の 3 要素、プロセスの情報、マニュアル類、図面類

ポイント シナリオを同定するには既存のリスク低減措置はないものと仮定して検討する。

② シナリオに対するリスクの見積りとリスク評価

(1) 引き金事象、プロセス異常（プロセス変数のずれなどの異常伝播）、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を確認する。既存のリスク低減措置が存在する場合には、その内容と種類及び目的を記入する。

不活性雰囲気での混合操作は、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。（理由；酸素濃度を低く保てば爆発は起きないからである（燃焼の 3 要素））。

不活性雰囲気での混合操作：

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 の内部漏れ）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。

使用した関連情報 マニュアル類、図面類、現状のリスク低減措置リスト

ポイント 燃焼の 3 要素等で危険性の内容を把握した上で、既存のリスク低減措置が「a）異常発生防止対策」、「b）異常発生検知手段」、「c）事故発生防止対策」、「d）被害の局限化対策」のいずれを目的としているか？ 及び「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」のいずれに該当するのかを明記する。図面・書類上で設定されていても、実際には無効化されているものがないかを確認する。

(2) 既存のリスク低減措置が設置されていない（機能しない）場合を想定して、リスク見積りとリスク評価（その 1）を行う。

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かと判定する。これより、危害発生の頻度は、「可能性がある（△）」と評価した。

結果としては粉じん爆発が想定され、粉じん爆発は事業場内外の施設、生産に壊滅的なダメージを与える可能

性がある。これより、危害の重篤度は「致命的・重大（×）」とした。
以上より、リスクレベルはⅢとなる。

使用した関連情報 プロセスの情報、マニュアル類、図面類

ポイント リスク低減措置が無い場合を想定しているので、リスクを過小評価しないよう注意する。

(3) (1)で確認したリスク低減措置が機能した場合のリスク見積りとリスク評価（その2）を行う。

ラインの窒素置換を行い、不活性雰囲気中で混合操作を行う操作手順となっているが、操作を間違えたことに気付く方策がないため、空気が T100 内に流入することには気付かないと思われる。そのため、危害発生頻度及び危害の重篤度のレベルは変わらない。

以上より、リスクレベルはⅢのままとした。

使用した関連情報 プロセスの情報、マニュアル類、図面類、現状のリスク低減措置リスト

ポイント 対策に関して、再度不具合を検討する。

(4) (1)で既存のリスク低減措置が存在しない場合には、表 2 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。

リスク低減措置が存在するので、本項目は検討しない。

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）

(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。

- イ) 異常発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、リミットスイッチの ON, OFF 状態から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)工学的対策, a)異常発生防止対策】。ただし、操作フェーズが分からないと的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。
- ロ) 異常発生検知のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、V109 閉時に流量を確認し、漏れが見られた場合にはバルブを交換するように手順を改定する【(C)管理的対策, a)異常発生防止対策】。
- ハ) 事故発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】、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、酸素濃度が高い時には混合操作ができないようにする【(B)工学的対策, c)事故発生防止対策】。
- ニ) 被害の局限化のために、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)工学的対策, d)被害の局限化対策】。

(2) 追加するリスク低減措置を実施した場合を想定し、再度、リスクを見積り、評価する（その3）。

- イ) 異常発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、リミットスイッチの ON, OFF 状態から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)工学的対策, a)異常発生防止対策】。ただし、操作フェー

ズが分からないと的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。

インターロックの導入により、V109を間違えて開にして運転することが小さくなるため、危害発生の頻度は「ほとんどない(○)」に減ずることができる。なお、危害の重篤度は変わらず「致命的・重大(×)」である。

以上により、リスクレベルはⅡとした。

- ロ) 異常発生検知のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、V109閉時に流量を確認し、漏れが見られた場合にはバルブを交換するように手順を改定する【(C)管理的対策, a)異常発生防止対策】。

V109が閉となっていないことが検知され、漏れがある場合にはバルブが健全なものに交換されるため、危害発生の頻度は「ほとんどない(○)」に減ずることができる。なお、危害の重篤度は変わらず「致命的・重大(×)」である。

以上により、リスクレベルはⅡとした。

- ハ) 事故発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】、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)工学的対策, c)事故発生防止対策】。

インターロックの導入により、T100内に高濃度の酸素が混入したときに運転する可能性が小さくなるため、危害発生の頻度は「ほとんどない(○)」に減ずることができる。なお、危害の重篤度は変わらず「致命的・重大(×)」である。

以上により、リスクレベルはⅡとした。

- ニ) 被害の局限化のために、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)工学的対策, d)被害の局限化対策】。

爆発放散口の設置により、T100が破損する可能性が小さくなるため、危害発生の頻度は「ほとんどない(○)」に減ずることができる。なお、危害の重篤度は変わらず「致命的・重大(×)」である。

以上より、リスクレベルはⅡとした。

(3) 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。

- イ) 異常発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、リミットスイッチのON, OFF状態から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)工学的対策, a)異常発生防止対策】。ただし、操作フェーズが分からないと的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。

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。

- ロ) 異常発生検知のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】。併せて、異常発生防止のために、V109閉時に流量を確認し、漏れが見られた場合にはバルブを交換するように手順を改定する【(C)管理的対策, a)異常発生防止対策】。

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。

- ハ) 事故発生防止のために、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)工学的対策, b)異常発生検知手段】、攪拌起動時の酸素濃度高警報によって機能するインターロックを導入し、酸素濃度が高い時に混合操作ができないようにする【B)工学的対策, c)事故発生防止対策】。

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。

- ニ) 被害の局限化のために、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)工学的対策, d)被害の局限化対策】。

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。

(4) 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員への注意事項を記載する。

- 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) 〇か月に 1 回の頻度で V109 の漏れ試験を行う。

- ニ) 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いないことを確認する。

(5) 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、記入する。

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。本作業において粉じん爆発の可能性があること、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。

表 12 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（記載例）

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	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○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): 空気ラインを開(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)		
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
		×	△	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
		×	△	III
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)		
		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)		
		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)		
		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)		
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, ○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, ○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, ○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: 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				

表 13 プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等実施結果シート（記載例）

取り扱い物質・プロセスに係る危険源の把握結果				作業・操作、設備・装置とその目的									実施担当者と実施日			実施担当者と実施日		
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				(操作)2. 操作(仕込み・混合・払い出し): 全排出バルブを閉とする.						(目的)ライン内を不活性雰囲気にし, 粉じん爆発を防ぐ			理須区一郎		○年○月○日			
No.	①引き金事象特定とシナリオ検討			②既存のリスク低減措置の確認	②リスクの見積りと評価 (その1) 既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合			②リスクの見積りと評価 (その2) 既存のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の検討	③リスクの見積りと評価 (その3) 追加のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の実装可否	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	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	
	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)		重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル		重篤度	頻度	リスクレベル				
1	V110 を誤って開とする.	粉じんが洗浄排水槽に流れ込み, 槽の排ガス口から粉じん及び窒素が放出される可能性がある.	工場外に粉じんが漏洩する.	無し	○	△	I	－	－	－	既存のリスク低減措置が無い場合は記入しない.						全排出バルブを閉にしておかないと内容物が工場外に漏洩する可能性があることをマニュアルなどに明示し, 定期的に作業員への教育を行う.	
2	同上	粉じんが洗浄排水槽に流れ込み, 槽の排ガス口から粉じん及び窒素が放出される可能性がある. 槽の排ガス口付近に高濃度の窒素が滞留する可能性がある.	洗浄排水槽の排ガス口付近で酸欠となる可能性がある.	無し	×	△	III	－	－	－	イ) V110 自動弁化によるインターロックシステムを導入する. (B-a)ただし, 操作フェーズが分からないと, 的確に動作しないため, シーケンスの製作導入が必要となる. ロ) V111 の開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示灯を設置する. (C-a) ハ) 払い出し時は, 槽類の放出口や周辺で作業しないようにマニュアルなどに明示する. (C-c)	×	○	II	イ)については, シーケンスの製作導入を行うことで実装可能である. ロ), ハ)については, 既存のリスク低減措置などと干渉しあうことがないので, 実装可能である.	イ) 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, 定期的にインターロックの動作確認を行う. ロ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ハ) 毎日の巡視において, 不安全行動がないかを確認する. また, 定期的にマニュアルなどの監査を行い, 明示されていることを確認する.	本作業において酸欠災害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し, 定期的に作業員への教育を行う.	
3	同上	粉じんが洗浄排水槽に流れ込み, 槽の排ガス口から粉じん及び窒素が放出される可能性がある. 放出された粉体が粉じん気を形成し, 静電気放電などにより着火する可能性がある.	洗浄排水槽の排ガス口付近で粉じん爆発が発生する可能性がある.	無し	×	△	III	－	－	－	イ) V110 自動弁化によるインターロックシステムを導入する. (B-a)ただし, 操作フェーズが分からないと, 的確に動作しないため, シーケンスの製作導入が必要となる. ロ) V111 の開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示灯を設置する. (C-a) ハ) 洗浄排水槽の排ガスをスクラバーに通す設計とする(スクラバー能力増を含む). (B-c) ニ) スクラバー, 特にガス放出口はアースを取っておく(B-c) ホ) 払い出し時は, 槽類の放出口や周辺で作業しないようにマニュアルなどに明示する. 同様に, 火気取扱注意の旨を明示する(C-c)	×	○	II	イ)については, シーケンスの製作導入を行うことで実装可能である. ロ), ハ), ニ)については, 既存のリスク低減措置などと干渉しあうことがないので, 実装可能である. ホ)については, 上記の対策に含めて火気取扱注意の掲示を行うことで可能である.	イ) 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, 定期的にインターロックの動作確認を行う. ロ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ハ) 洗浄排水槽については, 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, 定期的にスクラバーの点検, 清掃を行う. ニ) 接地線が断線していないことを定期的に確認する. ホ) 毎日の巡視において, 不安全行動がないかを確認するとともに, 表示がされていることを確認する.	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し, 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.	
4	V112 を誤って開とする.	V112-V113 間の配管に主原料及び副原料が混合されない形で, 払い出し時に混練機に移送する.	無し(品質の劣化が生じる可能性がある.)								網羅的にシナリオを検討すると, プロセス災害に至らないシナリオも出てくる.							
5	V113 を誤って開とする.	V110, V112, V114 が稼働していればプロセスの異常には移行しない.	無し															
6	V114 を誤って開とする.	粉じん及び窒素がスクラバーの能力以上に流れ込み, 粉体を分離できず粉体及び窒素が外気に放出される可能性がある. また, 分離不能となった粉じんによって循環水が詰まり, 循環水ポンプが故障することにより, 粉体があるまま外気に放出される可能性がある. さらに, 分離不能となった粉じんにより循環水槽がオーバーフローし, その循環水が工場内を経由して一般雨水口流れ込む可能性がある.	工場外に粉じん若しくはスクラバーの循環水が漏洩する.	無し	○	△	I	－	－	－							全排出バルブを閉にしておかないと内容物が工場外に漏洩する可能性があることをマニュアルなどに明示し, 定期的に作業員への教育を行う.	

7	同上	粉じん及び窒素がスクラバーの能力以上に流れ込み、粉体を分離できずに、粉体及び窒素が外気に放出される可能性がある。 その結果、スクラバーの排ガス口付近に高濃度の窒素が滞留する可能性がある。	スクラバーの排ガス口付近で酸欠となる可能性がある。	無し	×	△	Ⅲ	－	－	－	イ) V114 自動弁化によるインターロックシステムを導入する。(B-a)ただし、操作フェーズが分からないと、的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。 ロ) V115 の開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し、バルブに開・閉表示札を設置する。(C-a) ハ) スクラバーで全量処理できるように粉体量の最大値を定める。(C-c)あるいは、スクラバーで全量処理できるようにスクラバーの能力増強を行う。(B-c) ニ) 払い出し時は、スクラバーの放出口や周辺で作業しないようにマニュアルなどに明示する。(C-c)	×	○	Ⅱ	イ)については、シーケンスの製作導入を行うことで実装可能である。 ロ), ハ), ニ)については、既存のリスク低減措置などと干渉しあうことがないので、実装可能である。	イ) 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、定期的にインターロックの動作確認を行う。 ロ) 毎日の巡視において、表示がされていることを確認する。 ハ) 日常の点検で、粉体量の最大値の表示を確認する。あるいは、粉体量の最大値のスクラバーについて、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、定期的にスクラバーの点検、清掃を行う。 ニ) 毎日の巡視において、不安全行動がないかを確認する。また、定期的にマニュアルなどの監査を行い、明示されていることを確認する。	本作業において酸欠災害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し、定期的に作業者への教育を行う。
8	同上	粉じん及び窒素がスクラバーの能力以上に流れ込み、粉体を分離できず粉体及び窒素が外気に放出される可能性がある。 また、分離不能となった粉じんによって循環水が詰まり、循環水ポンプが故障することにより、粉体がそのまま外気に放出される可能性がある。 その結果、放出された粉体が粉じん気を形成し、静電気放電などにより着火する可能性がある。	スクラバーの排ガス口付近で粉じん爆発が発生する可能性がある。	無し	×	△	Ⅲ	－	－	－	イ) V114 自動弁化によるインターロックシステムを導入する。(B-a)ただし、操作フェーズが分からないと、的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。 ロ) V115 の開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し、バルブに開・閉表示札を設置する。(C-a) ハ) スクラバー、特にガス放出口はアースを取っておく(B-c) ニ) スクラバーで全量処理できるように粉体量の最大値を定める。(C-c)あるいは、スクラバーで全量処理できるようにスクラバーの能力増強を行う。(B-c) ホ) 払い出し時は、スクラバーの放出口や周辺で作業しないようにマニュアルなどに明示する。同様に、火気取扱注意の旨を明示する(C-c)	×	○	Ⅱ	イ)については、シーケンスの製作導入を行うことで実装可能である。 ロ), ハ), ニ)については、既存のリスク低減措置などと干渉しあうことがないので、実装可能である。 ホ)については、上記の対策に含めて火気取扱注意の掲示を行うことで可能である。	イ) 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、定期的にインターロックの動作確認を行う。 ロ) 毎日の巡視において、表示がされていることを確認する。 ハ) 接地線が断線していないことを定期的に確認する。 ニ) スクラバーについては、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、定期的にスクラバーの点検、清掃を行う。 ホ) 毎日の巡視において、不安全行動がないかを確認するとともに、表示がされていることを確認する。	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し、定期的に作業者への教育を行う。 点検記録などのルール及び管理規則や記録を確認する。

取り扱い物質・プロセスに係る危険源の把握結果		作業・操作、設備・装置とその目的		実施担当者と実施日		実施担当者と実施日	
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		(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	理須区一郎	○年○月○日		

No.	①引き金事象特定とシナリオ検討			②既存のリスク低減措置の確認	②リスクの見積りと評価(その1)既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合			②リスクの見積りと評価(その2)既存のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の検討	③リスクの見積りと評価(その3)追加のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の実装可否	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	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
	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)		重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル		重篤度	頻度	リスクレベル			
9	V109 を誤って開とする。	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。	T100 内で粉じん爆発が発生する可能性がある。	不活性雰囲気での混合操作(B-c)	×	△	Ⅲ	×	△	Ⅲ	イ) V109 にリミットスイッチを設置し、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)ただし、操作フェーズが分からないと的確に動作しないため、シーケンスの製作導入が必要となる。 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)併せて、V109 閉時に流量を確認し、漏れが見られた場合にはバルブを交換するように手順を改定する。(C-a) ハ) 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、酸素濃度が高い時には混合操作ができないようにする。(B-c) 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	リスクレベルを下げることで、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。	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、○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) ○か月に 1 回の頻度で V109 の漏れ試験を行う。 ニ) 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、○か月に 1 回の頻度で損傷などがないことを確認する。	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し、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。
本文の事例																	

取り扱い物質・プロセスに係る危険源の把握結果				作業・操作、設備・装置とその目的									実施担当者と実施日		実施担当者と実施日				
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				(操作)2. 操作(仕込み・混合・払い出し): 窒素供給ラインが閉となっていることを確認する					(目的)原料を入れる前に縁切りする.				理須区一郎	○年○月○日					
No.	①引き金事象特定とシナリオ検討			②既存のリスク低減措置の確認	②リスクの見積りと評価 (その1) 既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合			②リスクの見積りと評価 (その2) 既存のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の検討			③リスクの見積りと評価 (その3) 追加のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の実装可否	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	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
	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)		重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル						
10	PI105 の誤指示によって V105 が誤って開となる.	2. 操作: ②副原料時にマンホールを開にした時に, 2 階ステージに粉じんが漏洩する. 漏洩した粉じんが粉じん気を形成し, 静電気放電などにより着火する.	2 階ステージで粉じん爆発が発生する可能性がある.	無し	×	△	III	—	—	—	イ) V106 開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示札を設置する. (C-a) ロ) V106 の後段のラインに流量計(ロータメータ)を設置し, 窒素流量を検知する(B-b)マンホールを開ける前に流量を確認し, 確実に窒素ラインが閉になっていることを確認するように手順を改定する(C-a)			×	○	II	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.	イ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ロ) 定期的に流量計の校正を行う.	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し, 定期的に作業員への教育を行う.
11	同上	粉じんと共に窒素ガス(空気より少し重い)が漏洩する. マンホールを開けた際, 窒素が放出され, 周りが低酸素雰囲気となる可能性がある.	作業員が酸欠となり倒れる. 場合によってはマンホールより落下する.	無し	×	△	III	—	—	—	イ) V106 開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示札を設置する. (C-a) ロ) 携帯用酸素濃度計を必ず着用する. (D-b)アラームが鳴った時には速やかにマンホールから離れ, 作業を停止する(C-d) ハ) エアラインマスクを使用する. (D-d)作業標準に盛り込む. (C-d)			×	○	II	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.	イ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ロ, ハ) 毎日の巡視において, 装備の不備がないかを確認する. また, 作業員同士でも作業前に確認しあう.	本作業において酸欠災害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し, 定期的に作業員への教育を行う.
12	V106 を誤って開とする.	2. 操作: ②副原料時にマンホールを開にした時に, 2 階ステージに粉じんが漏洩する. 漏洩した粉じんが粉じん気を形成し, 静電気放電などにより着火する.	2 階ステージで粉じん爆発が発生する可能性がある.	無し	×	△	III	—	—	—	イ) V106 開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示札を設置する. (C-a) ロ) V106 の後段のラインに流量計(ロータメータ)を設置し, 窒素流量を検知する(B-b)マンホールを開ける前に流量を確認し, 確実に窒素ラインが閉になっていることを確認するように手順を改定する(C-a)			×	○	II	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.	イ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ロ) 定期的に流量計の校正を行う.	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し, 定期的に作業員への教育を行う.
13	同上	粉じんと共に窒素ガス(空気より少し重い)が漏洩する. マンホールを開けた際, 窒素が放出され, 周りが低酸素雰囲気となる可能性がある.	作業員が酸欠となり倒れる. 場合によってはマンホールより落下する.	無し	×	△	III	—	—	—	イ) V106 開・閉状態が外部から見て分かるような表示装置を設置し, バルブに開・閉表示札を設置する. (C-a) ロ) 携帯用酸素濃度計を必ず着用する. (D-b)アラームが鳴った時には速やかにマンホールから離れ, 作業を停止する(C-d) ハ) エアラインマスクを使用する. (D-d)作業標準に盛り込む. (C-d)			×	○	II	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.	イ) 毎日の巡視において, 表示がされていることを確認する. ロ, ハ) 毎日の巡視において, 装備の不備がないかを確認する. また, 作業員同士でも作業前に確認しあう.	本作業において酸欠災害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し, 定期的に作業員への教育を行う.

取り扱い物質・プロセスに係る危険源の把握結果				作業・操作, 設備・装置とその目的							実施担当者と実施日		実施担当者と実施日									
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				(操作) 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する.					(目的) T100 に主原料を投入する.			理須区 一郎	○年○月○日									
No.	①引き金事象特定とシナリオ検討			②既存のリスク低減措置の確認	②リスクの見積りと評価 (その 1) 既存のリスク低減措置が無いと仮定した場合			②リスクの見積りと評価 (その 2) 既存のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の検討			③リスクの見積りと評価 (その 3) 追加のリスク低減措置の有効性確認			③追加のリスク低減措置の実装可否	③リスク低減措置の機能を維持するための現場作業者への注意事項等	③その他, 生産開始後の現場作業者に特に伝えておくべき事項			
	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)		重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル	重篤度	頻度	リスクレベル									
14	V100 を誤って閉とする.	主原料が計量ホッパーに移送されない.	無し																			
15	計量完了間隙で V100 を閉じる.	粉体移送の窒素停止の反動で計量機が計量完了と誤認識する. 計量完了後, 粉体が混合槽に移送されるが, 窒素による加圧がないため, 計量ホッパーから移送ラインに粉体が残る. そのため, V104 に粉体が噛み込む. 窒素による加圧がないため, 排ガスラインから逆に空気が漏れこむ. 窒素シールが破れる. その状態で攪拌機を回すと, 粉じん雲と静電気を発生させ, 静電気火花で発火する可能性がある.	槽内で粉じん爆発が起こる可能性がある. また, 粉体を噛み込んだバルブから被害が拡大する. 注)このシナリオは, V104 が噛み込んだ場合のすべてのシナリオに通じる.	無し	×	△	Ⅲ	－	－	－	イ) V100 にリミットスイッチを設置し, 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)ただし, 操作フェーズが分からないと的確に動作しないため, シーケンスの製作導入が必要となる. ロ) 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, 酸素濃度が高い時には混合操作ができないようにする. (B・c) ハ) V105 と V106 を開けて粉体移送の妨げにならないように窒素を T100 に投入しながら, 粉体移送(計量ホッパー→T100)を行うようにシーケンスを組み入れる. (B・c)			×	○	Ⅱ	イ)の対策を施した時			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.	イ), ロ), 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, 定期的にインターロックの動作確認を行う.	本作業において粉じん爆発の可能性があること, 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し, 定期的に作業者への教育を行う.
16	V103 を開け過ぎて 50%より開度が大きくなる.	集じん機に移行する粉じんが多くなるため, 集じん機の能力を超える粉じんが移行し, フィルタが早く目詰まりを起こす可能性がある. そのまま稼働し続けると, フィルタが破損し, 開口部から主原料が漏洩する可能性がある. 漏洩した粉じんが粉じん気を形成し, 静電気放電などにより着火する可能性がある.	排 gas1 につながる集じん機付近で粉じん爆発が発生する可能性がある.	無し	×	△	Ⅲ	－	－	－	イ) V103 が設置されている配管 (WG1・S304・50A)を細いものに変更し, V103 を撤去する. (A・a) ロ) V103 の 50%の開度の部分にマーキングする. (C・a) ハ) 集じん機に粉じん爆発圧力放散型の集じん機を導入する. (B・d)			○ (×)	○	Ⅰ (Ⅱ)	ロ), ハ)の対策を施した時			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.	イ) 当該配管の径を適切に設計することにより, バルブを用いることなく粉体の移行量を適切に制御することができる. 当該配管の径の設計根拠をマニュアルなどに明記し, 配管を変更する時にはその妥当性を検討することとする. ロ) 表示がされていることを毎日の点検で確認する. ハ) 爆発放散口については, 定期的に目視により外観に異常がないか確認する.	本作業において粉じん爆発の可能性があること, 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し, 定期的に作業者への教育を行う. 点検記録などのルール及び管理規則や記録を確認する.

第6章 結 言

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?」であった。従来のリスクアセスメント手法では、いきなり「如何に現実的に起こりうるシナリオを同定するか?」を導出することが求められ、熟練者であっても実施は容易ではなく、実施したとされる場合でも、その結果は不十分である例が多かった。

本技術資料は、プロセスプラント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について、段階的にまとめた。実施事例を参考にしつつ、順番に考えを進めることでリスクアセスメント等の実施の手助けになる。また、リスクアセスメント等実施シートへの記載は、シナリオ同定の過程を明示的に記録することになり、さらに現場作業員への注意事項もまとめておくことで、現場でのリスク認識、対応を促すことにもつながる。

一方、本技術資料では触れていないが、プロセスプラントは設備・装置の状態や運転・製造条件、作業・操作の内容などが絶えず変化するというよい。このため、プロセス災害防止のためのリスクアセスメント等は一度実施すればそれで十分というものではなく、変化の度に見直しをする必要がある。つまり、変更管理の徹底が重要となる。さらに、網羅的な実施が望まれるが、それには多くの労力と時間を必要とするという問題がある。リスクという概念を適用して安全を担保するためには、リスクアセスメント等を定期的に（繰り返し）実施し、少しずつでもリスクを下げていくという姿勢で臨むことが重要となる。

参考文献

- OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems- Requirements (労働安全衛生マネジメントシステム—要求事項) 英和対訳版, 初版, 日本規格協会 (2007)
- OHSAS 18002:2008 Occupational health and safety management systems - Guidelines for the implementation of OHSAS 18001:2007 (労働安全衛生マネジメントシステム—OHSAS 18001:2007 実施のための指針) 英和対訳版, 第2版, 日本規格協会 (2008)
- OSHA; 29CFR 1910.119, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals. Occupational Safety and Health Administration (1992)
- 高圧ガス保安協会, リスクアセスメント・ガイドライン (Ver.1) (2015)
- ジャパンバッチフォーラム, S88 入門 (2004)
- 中央労働災害防止協会, 厚生労働省, 化学工業における元方事業者・関係請負人の安全衛生管理マニュアル (2011)
- 中央労働災害防止協会, 化学設備等における非定常作業の安全—「化学設備の非定常作業における安全衛生対策のためのガイドライン」の見直しに関する調査研究報告書— (2015)
- 一般社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会, 厚生労働省委託, 平成 26 年度リスクアセスメント研修事業, 受講者用テキスト, リスクアセスメント担当者養成研修 (2015)
- 独立行政法人労働安全衛生総合研究所: 生産業務と安全管理業務との協調による労働安全衛生マネジメントの推進, 労働安全衛生総合研究所技術資料, JNIOOSH-TD-No.1, <http://www.jniosh.go.jp/publication/TD/pdf/TD-No1.pdf> (2011)

参考資料 A STEP 1 の質問票に対する回答を得るための参考情報

表A1 通知対象物質の一覧⁵¹

(物質名の頭の記号は対象となる範囲(重量%)を示し, ●は0.1%以上, ○は1%以上, ◎はすべてが対象)

●ジクロルベンジジン及びその塩	●3-アミノ-1H-1, 2, 4-トリ アゾール(別名アミロール)	(別名フェナミホス)
○アルファ-ナフチルアミン及び その塩	○4-アミノ-3, 5, 6-トリクロロ ピリジン-2-カルボン酸(別名 ピクロラム)	○イソプロピルアミン
●塩素化ビフェニル(別名 PCB)	○2-アミノピリジン	●イソプロピルエーテル
●オルト-トリジン及びその塩	○亜硫酸水素ナトリウム	○3'-イソプロポキシ-2-トリフ ルオロメチルベンズアニリド(別 名フルトラニル)
●ジアニシジン及びその塩	○アリルアルコール	○イソペンチルアルコール(別名 イソamilアルコール)
●ベリリウム及びその化合物	●1-アリルオキシ-2, 3-エポ キシプロパン	●イソホロン
●ベンゾトリクロリド	●アリル水銀化合物	○一塩化硫黄
●アクリルアミド	●アリル-ノルマル-プロピルジ スルフィド	●一酸化炭素
○アクリル酸	○亜りん酸トリメチル	○一酸化窒素
●アクリル酸エチル	○アルキルアルミニウム化合物	●一酸化二窒素
●アクリル酸ノルマル-ブチル	●アルキル水銀化合物	○イットリウム及びその化合物
●アクリル酸2-ヒドロキシプロピ ル	●3-(アルファ-アセトニルベ ンジル)-4-ヒドロキシクマリン (別名ワルファリン)	○イブシロン-カプロラクタム
●アクリル酸メチル	●アルファ, アルファ-ジクロロ ルエン	●2-イミダゾリジンチオン
●アクリロニトリル	●アルファ-メチルスチレン	●4, 4'-(4-イミノシクロヘキサ -2, 5-ジエニリデンメチル) ジアニリン塩酸塩(別名CIベ ィックレッド9)
○アクロレイン	●アルミニウム水溶性塩	○インジウム
○アジ化ナトリウム	●アンチモン及びその化合物(三 酸化二アンチモンを除く。)	●インジウム化合物
○アジピン酸	●アンモニア	○インデン
○アジポニトリル	●3-イソシアナトメチル-3, 5, 5-トリメチルシクロヘキシル= イソシアネート	●ウレタン
●アセチルサリチル酸(別名アス ピリン)	●イソシアン酸メチル	●エタノール
●アセトアミド	●イソブレン	○エタンチオール
●アセトアルデヒド	●N-イソプロピルアニリン	●エチリデンノルボルネン
○アセトニトリル	●N-イソプロピルアミノホスホ ン酸O-エチル-O-(3-メチ ル-4-メチルチオフェニル)	○エチルアミン
○アセトフェノン		●エチルエーテル
●アセトン		○エチル-セカンダリーペンチル ケトン
○アセトンシアノヒドリン		●エチル-パラ-ニトロフェニル チオノベンゼンホスホネイト(別 名EPN)
●アニリン		●O-エチル-S-フェニル=エ
○アミド硫酸アンモニウム		
●2-アミノエタノール		
○4-アミノ-ターシャリーブチル -3-メチルチオ-1, 2, 4-トリ アジン-5(4H)-オン(別名 メトリブジン)		

⁵¹ 物質：労働安全衛生法施行令（昭和47年政令第318号）別表3第1号及び別表第9、裾切値：労働安全衛生規則（昭和47年労働省令第32号）第34条の2及び第34条の2の2。なお、本表は平成28年6月施行の労働安全衛生規則改正（平成27年6月）の内容を反映したものである。最新の情報は、e-GOVの法令検索ページ（<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>）から「労働安全衛生法施行令」又は「労働安全衛生規則」と検索することで調べることができる。

チルホスホノチオロチオナート
(別名ホノホス)
●2-エチルヘキサノ酸
●エチルベンゼン
○エチルメチルケトンペルオキシ
ド
○N-エチルモルホリン
●エチレンイミン
●エチレンオキシド
○エチレングリコール
○エチレングリコールモノイソプロ
ピルエーテル
●エチレングリコールモノエチル
エーテル(別名セロソルブ)
●エチレングリコールモノエチル
エーテルアセテート(別名セロ
ソルブアセテート)
●エチレングリコールモノノル
マル-ブチルエーテル(別名
ブチルセロソルブ)
●エチレングリコールモノメチル
エーテル(別名メチルセロソル
ブ)
●エチレングリコールモノメチル
エーテルアセテート
●エチレンクロロヒドリン
●エチレンジアミン
●1, 1'-エチレン-2, 2'-ビ
ピリジニウム=ジブロミド(別名
ジクアット)
○2-エトキシ-2, 2-ジメチル
エタン
○2-(4-エトキシフェニル)-2
-メチルプロピル=3-フェノ
キシベンジルエーテル(別名エ
トフェンブロックス)
●エピクロロヒドリン
○1, 2-エポキシ-3-イソプロ
ポキシプロパン
●2, 3-エポキシ-1-プロパナ
ール
●2, 3-エポキシ-1-プロパノ
ール
●2, 3-エポキシプロピル=フェ
ニルエーテル
○エメリー

●エリオナイト
●塩化亜鉛
●塩化アリル
○塩化アンモニウム
○塩化シアン
●塩化水素
○塩化チオニル
●塩化ビニル
●塩化ベンジル
○塩化ベンゾイル
○塩化ホスホリル
○塩素
●塩素化カンフェン(別名トキサフ
ェン)
○塩素化ジフェニルオキシド
●黄りん
●4, 4'-オキシビス(2-クロロ
アニリン)
●オキシビス(チオホスホン酸)O,
O, O', O'-テトラエチル(別
名スルホテップ)
○4, 4'-オキシビスベンゼンス
ルホニルヒドラジド
○オキシビスホスホン酸四ナトリウ
ム
○オクタクロロナフタレン
●1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 8-オクタ
クロロ-2, 3, 3a, 4, 7, 7a-
ヘキサヒドロ-4, 7-メタノ-1
H-インデン(別名クロルデン)
○2-オクタノール
○オクタン
●オゾン
●オメガ-クロロアセトフェノン
●オーラミン
●オルト-アニシジン
○オルト-クロロステレン
○オルト-クロロトルエン
○オルト-ジクロロベンゼン
○オルト-セカンダリーブチルフ
ェノール
●オルト-ニトロアニソール
○オルト-フタロジニトリル
●過酸化水素
●ガソリン
●カデコール

●カドミウム及びその化合物
●カーボンブラック
○カルシウムシアナミド
○ギ酸
○ギ酸エチル
○ギ酸メチル
●キシリジン
●キシレン
●銀及びその水溶性化合物
●クメン
●グルタルアルデヒド
●クレオソート油
●クレゾール
●クロム及びその化合物(クロム酸
及びクロム酸塩並びに重クロム
酸及び重クロム酸塩を除く。)
●クロム酸及びクロム酸塩
○クロロアセチル=クロリド
●クロロアセトアルデヒド
○クロロアセトン
●クロロエタン(別名塩化エチル)
●2-クロロ-4-エチルアミノ-
6-イソプロピルアミノ-1, 3,
5-トリアジン(別名アトラジン)
●4-クロロ-オルト-フェニレン
ジアミン
●クロロジフルオロメタン(別名H
CFC-22)
○2-クロロ-6-トリクロロメチル
ピリジン(別名ニトラピリン)
●2-クロロ-1, 1, 2-トリフル
オロエチルジフルオロメチルエ
ーテル(別名エンフルラン)
○1-クロロ-1-ニトロプロパン
○クロロピクリン
●クロロフェノール
●2-クロロ-1, 3-ブタジエン
○2-クロロプロピオン酸
○2-クロロベンジリデンマロノニ
トリル
●クロロベンゼン
○クロロペンタフルオロエタン(別
名CFC-115)
●クロロホルム
●クロロメタン(別名塩化メチル)
●4-クロロ-2-メチルアニリン

及びその塩酸塩

- クロロメチルメチルエーテル
- 軽油
- けつ岩油
- ケテン
- ゲルマン
- 鉍油
- 五塩化りん
- 固形パラフィン
- 五酸化バナジウム
- コバルト及びその化合物
- 五弗化臭素
- コールタール
- コールタールナフサ
- 酢酸
- 酢酸エチル
- 酢酸1, 3-ジメチルブチル
- 酢酸鉛
- 酢酸ビニル
- 酢酸ブチル
- 酢酸プロピル
- 酢酸ベンジル
- 酢酸ペンチル(別名酢酸アミル)
- 酢酸メチル
- サチライシン
- 三塩化りん
- 酸化亜鉛
- 酸化アルミニウム
- 酸化カルシウム
- 酸化チタン(IV)
- 酸化鉄
- 1, 2-酸化ブチレン
- 酸化プロピレン
- 酸化メシチル
- 三酸化二アンチモン
- 三酸化二ほう素
- 三臭化ほう素
- 三弗化塩素
- 三弗化ほう素
- 次亜塩素酸カルシウム
- N, N'-ジアセチルベンジジン
- ジアセトンアルコール
- ジアゾメタン
- シアナミド
- 2-シアノアクリル酸エチル
- 2-シアノアクリル酸メチル
- 2, 4-ジアミノアニソール
- 4, 4'-ジアミノジフェニルエーテル
- 4, 4'-ジアミノジフェニルスルフィド
- 4, 4'-ジアミノ-3, 3'-ジメチルジフェニルメタン
- 2, 4-ジアミノトルエン
- 四アルキル鉛
- シアン化カリウム
- シアン化カルシウム
- シアン化水素
- シアン化ナトリウム
- ジイソブチルケトン
- ジイソプロピルアミン
- ジエタノールアミン
- 2-(ジエチルアミノ)エタノール
- ジエチルアミン
- ジエチルケトン
- ジエチル-パラ-ニトロフェニルチオホスフェイト(別名パラチオン)
- 1, 2-ジエチルヒドラジン
- ジエチレントリアミン
- 四塩化炭素
- 1, 4-ジオキサン
- 1, 4-ジオキサン-2, 3-ジイルジチオビス(チオホスホン酸)O, O, O', O'-テトラエチル(別名ジオキサチオン)
- 1, 3-ジオキソラン
- シクロヘキサノール
- シクロヘキサノン
- シクロヘキサン
- シクロヘキシルアミン
- 2-シクロヘキシルビフェニル
- シクロヘキセン
- シクロペンタジエニルトリカルボニルマンガ
- シクロペンタジエン
- シクロペンタン
- ジクロロアセチレン
- ジクロロエタン
- ジクロロエチレン
- 3, 3'-ジクロロ-4, 4'-ジアミノジフェニルメタン
- ジクロロジフルオロメタン(別名CFC-12)
- 1, 3-ジクロロ-5, 5-ジメチルイミダゾリジン-2, 4-ジオン
- 3, 5-ジクロロ-2, 6-ジメチル-4-ピリジノール(別名クロピドール)
- ジクロロテトラフルオロエタン(別名CFC-114)
- 2, 2-ジクロロ-1, 1, 1-トリフルオロエタン(別名HCFC-123)
- 1, 1-ジクロロ-1-ニトロエタン
- 3-(3, 4-ジクロロフェニル)-1, 1-ジメチル尿素(別名ジウロン)
- 2, 4-ジクロロフェノキシエチル硫酸ナトリウム
- 2, 4-ジクロロフェノキシ酢酸
- 1, 4-ジクロロ-2-ブテン
- ジクロロフルオロメタン(別名HCFC-21)
- 1, 2-ジクロロプロパン
- 2, 2-ジクロロプロピオン酸
- 1, 3-ジクロロプロペン
- ジクロロメタン(別名二塩化メチレン)
- 四酸化オスミウム
- ジシアン
- ジシクロペンタジエニル鉄
- ジシクロペンタジエン
- 2, 6-ジ-ターシャリーブチル-4-クレゾール
- 1, 3-ジチオラン-2-イリデンマロン酸ジイソプロピル(別名イソプロチオラン)
- ジチオリン酸O-エチル-O-(4-メチルチオフェニル)-S-ノルマル-プロピル(別名スルプロホス)
- ジチオリン酸O, O-ジエチル-S-(2-エチルチオエチル)(別名ジスルホトン)

- ジチオリン酸O, O-ジエチル-S-エチルチオメチル(別名ホレート)
- ジチオリン酸O, O-ジメチル-S-[(4-オキソ-1, 2, 3-ベンゾトリアジン-3(4H)-イル)メチル](別名アジンホスメチル)
- ジチオリン酸O, O-ジメチル-S-1, 2-ビス(エトキシカルボニル)エチル(別名マラチオン)
- ジナトリウム=4-[(2, 4-ジメチルフェニル)アゾ]-3-ヒドロキシ-2, 7-ナフタレンジスルホナート(別名ボンソーMX)
- ジナトリウム=8-[[3, 3'-ジメチル-4'-[[4-[(4-メチルフェニル)スルホニル]オキシ]フェニル]アゾ][1, 1'-ビフェニル]-4-イル]アゾ]-7-ヒドロキシ-1, 3-ナフタレンジスルホナート(別名CIAシッドレッド114)
- ジナトリウム=3-ヒドロキシ-4-[(2, 4, 5-トリメチルフェニル)アゾ]-2, 7-ナフタレンジスルホナート(別名ボンソー3R)
- 2, 4-ジニトロトルエン
- ジニトロベンゼン
- 2-(ジ-ノルマル-ブチルアミノ)エタノール
- ジ-ノルマル-プロピルケトン
- ジビニルベンゼン
- ジフェニルアミン
- ジフェニルエーテル
- 1, 2-ジブロモエタン(別名EDB)
- 1, 2-ジブromo-3-クロプロパン
- ジブromोजフルオロメタン
- ジベンゾイルペルオキシド
- ジボラン
- N, N-ジメチルアセトアミド
- N, N-ジメチルアニリン
- [4-[[4-(ジメチルアミノ)フェニル][4-[エチル(3-スルホベンジル)アミノ]フェニル]メチリデン]シクロヘキサ-2, 5-ジエン-1-イルイデン](エチル)(3-スルホナトベンジル)アンモニウムナトリウム塩(別名ベンジルバイオレット4B)
- ジメチルアミン
- ジメチルエチルメルカプトエチルチオホスフェイト(別名メチルジメトン)
- ジメチルエトキシシラン
- ジメチルカルバモイル=クロリド
- ジメチル-2, 2-ジクロロビニルホスフェイト(別名DDVP)
- ジメチルジスルフィド
- N, N-ジメチルニトロソアミン
- ジメチル-パラ-ニトロフェニルチオホスフェイト(別名メチルパラチオン)
- ジメチルヒドラジン
- 1, 1'-ジメチル-4, 4'-ビピリジニウム=ジクロリド(別名パラコート)
- 1, 1'-ジメチル-4, 4'-ビピリジニウムニメタンスルホン酸塩
- 2-(4, 6-ジメチル-2-ピリミジニルアミノカルボニルアミノスルフォニル)安息香酸メチル(別名スルホメチロンメチル)
- N, N-ジメチルホルムアミド
- 1-[(2, 5-ジメトキシフェニル)アゾ]-2-ナフトール(別名シトラスレッドナンバー2)
- 臭化エチル
- 臭化水素
- 臭化メチル
- 重クロム酸及び重クロム酸塩
- しゅう酸
- 臭素
- 臭素化ビフェニル
- 硝酸
- ◎硝酸アンモニウム
- 硝酸ノルマル-プロピル
- しょう脳
- シラン
- シリカ
- ジルコニウム化合物
- 人造鉱物繊維
- 水銀及びその無機化合物
- 水酸化カリウム
- 水酸化カルシウム
- 水酸化セシウム
- 水酸化ナトリウム
- 水酸化リチウム
- 水素化リチウム
- すず及びその化合物
- スチレン
- ステアリン酸亜鉛
- ステアリン酸ナトリウム
- ステアリン酸鉛
- ステアリン酸マグネシウム
- ストリキニーネ
- 石油エーテル
- 石油ナフサ
- 石油ベンジン
- セスキ炭酸ナトリウム
- セレン及びその化合物
- 2-ターシャリーブチルイミノ-3-イソプロピル-5-フェニルテトラヒドロ-4H-1, 3, 5-チアジアジン-4-オン(別名ブプロフェジン)
- タリウム及びその水溶性化合物
- 炭化けい素
- タングステン及びその水溶性化合物
- タンタル及びその酸化物
- チオジ(パラ-フェニレン)-ジオキシービス(チオホスホン酸)O, O, O', O'-テトラメチル(別名テメホス)
- チオ尿素
- 4, 4'-チオビス(6-ターシャリーブチル-3-メチルフェニール)
- チオフェノール
- チオリン酸O, O-ジエチル-O-(2-イソプロピル-6-メチル-4-ピリミジニル)(別名ダイアジノン)
- チオリン酸O, O-ジエチル-

- エチルチオエチル(別名ジメトン)
- チオリン酸O, O-ジエチルーO-(6-オキソ-1-フェニル-1, 6-ジヒドロ-3-ピリダジニル)(別名ピリダフェンチオン)
- チオリン酸O, O-ジエチルーO-(3, 5, 6-トリクロロ-2-ピリジル)(別名クロルピリホス)
- チオリン酸O, O-ジエチルーO-[4-(メチルスルフィニル)フェニル](別名フェンスルホチオン)
- チオリン酸O, O-ジメチルーO-(2, 4, 5-トリクロロフェニル)(別名ロンネル)
- チオリン酸O, O-ジメチルーO-(3-メチルー4-ニトロフェニル)(別名フェニトロチオン)
- チオリン酸O, O-ジメチルーO-(3-メチルー4-メチルチオフェニル)(別名フェンチオン)
- デカボラン
- 鉄水溶性塩
- 1, 4, 7, 8-テトラアミノアントラキノン(別名ジスパースブルー1)
- テトラエチルチウラムジスルフィド(別名ジスルフィラム)
- テトラエチルピロホスフェイト(別名TEPP)
- テトラエトキシシラン
- 1, 1, 2, 2-テトラクロロエタン(別名四塩化アセチレン)
- N-(1, 1, 2, 2-テトラクロロエチルチオ)-1, 2, 3, 6-テトラヒドロフタルイミド(別名キャプタフォル)
- テトラクロロエチレン(別名パークロルエチレン)
- 4, 5, 6, 7-テトラクロロ-1, 3-ジジヒドロベンゾ[c]フラン-2-オン(別名フサライド)
- テトラクロロジフルオロエタン(別名CFC-112)
- 2, 3, 7, 8-テトラクロロジベンゾ-1, 4-ジオキシン
- テトラクロロナフタレン
- テトラナトリウム=3, 3'-[(3, 3'-ジメチルー4, 4'-ビフェニレン)ビス(アゾ)]ビス[5-アミノ-4-ヒドロキシ-2, 7-ナフタレンジスルホナート](別名トリパンプルー)
- テトラナトリウム=3, 3'-[(3, 3'-ジメトキシ-4, 4'-ビフェニレン)ビス(アゾ)]ビス[5-アミノ-4-ヒドロキシ-2, 7-ナフタレンジスルホナート](別名CIダイレクトブルー15)
- テτραニトロメタン
- テトラヒドロフラン
- テトラフルオロエチレン
- 1, 1, 2, 2-テトラブromoエタン
- テトラブromoメタン
- テトラメチルこはく酸ニトリル
- テトラメチルチウラムジスルフィド(別名チウラム)
- テトラメトキシシラン
- テトリル
- テルフェニル
- テルル及びその化合物
- テレビン油
- テレフタル酸
- 銅及びその化合物
- 灯油
- トリエタノールアミン
- トリエチルアミン
- トリクロロエタン
- トリクロロエチレン
- トリクロロ酢酸
- 1, 1, 2-トリクロロ-1, 2, 2-トリフルオロエタン
- トリクロロナフタレン
- 1, 1, 1-トリクロロ-2, 2-ビス(4-クロロフェニル)エタン(別名DDT)
- 1, 1, 1-トリクロロ-2, 2-ビス(4-メトキシフェニル)エタン(別名メキシクロル)
- 2, 4, 5-トリクロロフェノキシ酢酸
- トリクロロフルオロメタン(別名CFC-11)
- 1, 2, 3-トリクロロプロパン
- 1, 2, 4-トリクロロベンゼン
- トリクロロメチルスルフェニル=クロリド
- N-(トリクロロメチルチオ)-1, 2, 3, 6-テトラヒドロフタルイミド(別名キャプタン)
- トリシクロヘキシルすず=ヒドロキシド
- 1, 3, 5-トリス(2, 3-エポキシプロピル)-1, 3, 5-トリアジン-2, 4, 6(1H, 3H, 5H)-トリオン
- トリス(N, N-ジメチルジチオカルバメート)鉄(別名ファーマム)
- トリニトロトルエン
- トリフェニルアミン
- トリブromoメタン
- 2-トリメチルアセチルー1, 3-インダンジオン
- トリメチルアミン
- トリメチルベンゼン
- トリレンジイソシアネート
- トルイジン
- トルエン
- ナフタレン
- 1-ナフチルチオ尿素
- 1-ナフチルーN-メチルカルバメート(別名カルバリル)
- 鉛及びその無機化合物
- 二亜硫酸ナトリウム
- ニコチン
- 二酸化硫黄
- 二酸化塩素
- 二酸化窒素
- 二硝酸プロピレン
- ニッケル
- ニッケル化合物
- ニトリロ三酢酸
- 5-ニトロアセナフテン
- ニトロエタン
- ニトログリコール
- ◎ニトログリセリン
- ◎ニトロセルローズ

- N-ニトロソモルホリン
- ニトロトルエン
- ニトロプロパン
- ニトロベンゼン
- ニトロメタン
- 乳酸ノルマルーブチル
- 二硫化炭素
- ノナン
- ノルマルーブチルアミン
- ノルマルーブチルエチルケトン
- ノルマルーブチル-2, 3-エポキシプロピルエーテル
- N-[1-(N-ノルマルーブチルカルバモイル)-1H-2-ベンゾイミダゾリル]カルバミン酸メチル(別名ベノミル)
- 白金及びその水溶性塩
- ハフニウム及びその化合物
- パラ-アニシジン
- パラ-クロロアニリン
- パラ-ジクロロベンゼン
- パラ-ジメチルアミノアゾベンゼン
- パラ-ターシャリーブチルトルエン
- パラ-ニトロアニリン
- パラ-ニトロクロロベンゼン
- パラ-フェニルアゾアニリン
- パラ-ベンゾキノ
- パラ-メキシフェノール
- バリウム及びその水溶性化合物
- ◎ピクリン酸
- ビス(2, 3-エポキシプロピル)エーテル
- 1, 3-ビス[(2, 3-エポキシプロピル)オキシ]ベンゼン
- ビス(2-クロロエチル)エーテル
- ビス(2-クロロエチル)スルフィド(別名マスタードガス)
- N, N-ビス(2-クロロエチル)メチルアミン-N-オキシド
- ビス(ジチオリン酸)S, S'-メチレン-O, O, O', O'-テトラエチル(別名エチオン)
- ビス(2-ジメチルアミノエチル)エーテル
- エーテル
- 砒素及びその化合物
- ヒドラジン
- ヒドラジン-水和物
- ヒドロキノ
- 4-ビニル-1-シクロヘキセン
- 4-ビニルシクロヘキセンジオキシド
- ビニルトルエン
- ビフェニル
- ピペラジン二塩酸塩
- ピリジン
- ピレトラム
- フェニルオキシラン
- フェニルヒドラジン
- フェニルホスフィン
- フェニレンジアミン
- フェノチアジン
- フェノール
- フェロバナジウム
- 1, 3-ブタジエン
- ブタノール
- フタル酸ジエチル
- フタル酸ジ-ノルマルーブチル
- フタル酸ジメチル
- フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)(別名DEHP)
- ブタン
- 1-ブタンチオール
- 弗化カルボニル
- 弗化ビニリデン
- 弗化ビニル
- 弗素及びその水溶性無機化合物
- 2-ブテナール
- フルオロ酢酸ナトリウム
- フルフラール
- フルフリルアルコール
- 1, 3-プロパンスルトン
- プロピオン酸
- プロピルアルコール
- プロピレンイミン
- プロピレングリコールモノメチルエーテル
- 2-プロピン-1-オール
- ブromoエチレン
- 2-ブromo-2-クロロ-1, 1, 1-トリフルオロエタン(別名ハロタン)
- ブromoクロロメタン
- ブromoジクロロメタン
- 5-ブromo-3-セカンダリーブチル-6-メチル-1, 2, 3, 4-テトラヒドロピリミジン-2, 4-ジオン(別名ブロマシル)
- ブromoトリフルオロメタン
- 2-ブromoプロパン
- ヘキサクロロエタン
- 1, 2, 3, 4, 10, 10-ヘキサクロロ-6, 7-エポキシ-1, 4, 4a, 5, 6, 7, 8, 8a-オクタヒドロ-エキソ-1, 4-エンド-5, 8-ジメタノナフタレン(別名デイルドリン)
- 1, 2, 3, 4, 10, 10-ヘキサクロロ-6, 7-エポキシ-1, 4, 4a, 5, 6, 7, 8, 8a-オクタヒドロ-エンド-1, 4-エンド-5, 8-ジメタノナフタレン(別名エンドリン)
- 1, 2, 3, 4, 5, 6-ヘキサクロロシクロヘキサン(別名リンデン)
- ヘキサクロロシクロペンタジエン
- ヘキサクロロナフタレン
- 1, 4, 5, 6, 7, 7-ヘキサクロロビシクロ[2, 2, 1]-5-ヘプテン-2, 3-ジカルボン酸(別名クロレンド酸)
- 1, 2, 3, 4, 10, 10-ヘキサクロロ-1, 4, 4a, 5, 8, 8a-ヘキサヒドロ-エキソ-1, 4-エンド-5, 8-ジメタノナフタレン(別名アルドリン)
- ヘキサクロロヘキサヒドロメタノベンゾジオキサチエピンオキサイド(別名ベンソエピン)
- ヘキサクロロベンゼン
- ヘキサヒドロ-1, 3, 5-トリニトロ-1, 3, 5-トリアジン(別名シクロナイト)

- ヘキサフルオロアセトン
- ヘキサメチルホスホリクトリアミド
- ヘキサメチレンジアミン
- ヘキサメチレン=ジイソシアネート
- ヘキサン
- 1-ヘキセン
- ベーターブチロラクトン
- ベータープロピオラクトン
- 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8-ヘプタクロロ-2, 3-エポキシ-3a, 4, 7, 7a-テトラヒドロ-4, 7-メタノ-1H-インデン(別名ヘプタクロロエポキシド)
- 1, 4, 5, 6, 7, 8, 8-ヘプタクロロ-3a, 4, 7, 7a-テトラヒドロ-4, 7-メタノ-1H-インデン(別名ヘプタクロル)
- ヘプタン
- ペルオキシ二硫酸アンモニウム
- ペルオキシ二硫酸カリウム
- ペルオキシ二硫酸ナトリウム
- ペルフルオロオクタン酸アンモニウム塩
- ベンゼン
- 1, 2, 4-ベンゼントリカルボン酸1, 2-無水物
- ベンゾ[a]アントラセン
- ベンゾ[a]ピレン
- ベンゾフラン
- ベンゾ[e]フルオラセン
- ペンタクロロナフタレン
- ペンタクロロニトロベンゼン
- ペンタクロロフェノール(別名PCP)及びそのナトリウム塩
- 1-ペンタナール
- 1, 1, 3, 3, 3-ペンタフルオロ-2-(トリフルオロメチル)-1-プロペン(別名PFIB)
- ペンタボラン
- ペンタン
- ほう酸ナトリウム
- ホスゲン
- (2-ホルミルヒドラジノ)-4-(5-ニトロ-2-フリル)チアゾール
- ホルムアミド
- ホルムアルデヒド
- マゼンタ
- マンガン
- ミネラルスピリット(ミネラルシンナー、ペトロリウムスピリット、ホワイトスピリット及びミネラルターペンを含む。)
- 無機マンガン化合物
- 無水酢酸
- 無水フタル酸
- 無水マレイン酸
- メターキシリレンジアミン
- メタクリル酸
- メタクリル酸メチル
- メタクリロニトリル
- メタージシアノベンゼン
- メタノール
- メタンスルホン酸エチル
- メタンスルホン酸メチル
- メチラール
- メチルアセチレン
- N-メチルアニリン
- 2, 2'-[[4-(メチルアミノ)-3-ニトロフェニル]アミノ]ジエタノール(別名HCブルーナンバー1)
- N-メチルアミノホスホン酸O-(4-ターシャリーブチル-2-クロロフェニル)-O-メチル(別名クルホメート)
- メチルアミン
- メチルイソブチルケトン
- メチルエチルケトン
- N-メチルカルバミン酸2-イソプロピルオキシフェニル(別名プロボキスル)
- N-メチルカルバミン酸2, 3-ジヒドロ-2, 2-ジメチル-7-ベンゾ[b]フラニル(別名カルボフラン)
- N-メチルカルバミン酸2-セカンダリーブチルフェニル(別名フェノブカルブ)
- メチルシクロヘキサノール
- メチルシクロヘキサノン
- メチルシクロヘキサン
- 2-メチルシクロペンタジエニルトリカルボニルマンガン
- 2-メチル-4, 6-ジニトロフェノール
- 2-メチル-3, 5-ジニトロベンズアミド(別名ジニトルミド)
- メチル-ターシャリーブチルエーテル(別名MTBE)
- 5-メチル-1, 2, 4-トリアゾロ[3, 4-b]ベンゾチアゾール(別名トリシクラゾール)
- 2-メチル-4-(2-トリルアゾ)アニリン
- 2-メチル-1-ニトロアントラキノン
- N-メチル-N-ニトロソカルバミン酸エチル
- メチル-ノルマル-ブチルケトン
- メチル-ノルマル-ペンチルケトン
- メチルヒドラジン
- メチルビニルケトン
- 1-[(2-メチルフェニル)アゾ]-2-ナフトール(別名オイルオレンジSS)
- メチルプロピルケトン
- 5-メチル-2-ヘキサノン
- 4-メチル-2-ペンタノール
- 2-メチル-2, 4-ペンタンジオール
- 2-メチル-N-[3-(1-メチルエトキシ)フェニル]ベンズアミド(別名メプロニル)
- S-メチル-N-(メチルカルバモイルオキシ)チオアセチミデート(別名メソミル)
- メチルメルカプタン
- 4, 4'-メチレンジアニリン
- メチレンビス(4, 1-シクロヘキシレン)=ジイソシアネート
- メチレンビス(4, 1-フェニレン)=ジイソシアネート(別名MDI)
- 2-メトキシ-5-メチルアニリ

- ン
- 1-(2-メトキシ-2-メチルエトキシ)-2-プロパノール
 - メルカプト酢酸
 - モリブデン及びその化合物
 - モルホリン
 - 沃化メチル
 - 沃素
 - ヨードホルム
 - 硫化ジメチル
 - 硫化水素
 - 硫化水素ナトリウム
 - 硫化ナトリウム
 - 硫化りん
 - 硫酸
 - 硫酸ジイソプロピル
 - 硫酸ジエチル
 - 硫酸ジメチル
 - りん化水素
 - りん酸
 - りん酸ジ-ノルマル-ブチル
 - りん酸ジ-ノルマル-ブチル=フェニル
 - りん酸1,2-ジブromo-2,2-ジクロロエチル=ジメチル(別名ナレド)
 - りん酸ジメチル=(E)-1-(N,N-ジメチルカルバモイル)-1-プロペン-2-イル(別名ジクロトホス)
 - りん酸ジメチル=(E)-1-(N-メチルカルバモイル)-1-プロペン-2-イル(別名モノクロトホス)
 - りん酸ジメチル=1-メトキシカルボニル-1-プロペン-2-イル(別名メビンホス)
 - りん酸トリ(オルト-トリル)
 - りん酸トリス(2,3-ジブromoプロピル)
 - りん酸トリ-ノルマル-ブチル
 - りん酸トリフェニル
 - レソルシノール
 - 六塩化ブタジエン
 - ロジウム及びその化合物
 - ロジン
 - ロテノン

表 A2 SDS に表記される GHS 分類

物理化学的 危険性	説明 ⁵²	事故事例 ⁵³
爆発物	それ自体の化学反応により、周囲環境に損害を及ぼすような温度及び圧力並びに速度でガスを発生する能力のある固体物質又は液体物質若しくは物質の混合物及び非爆発性で持続性の発熱化学反応により、熱、光、音、ガス又は煙若しくはこれらの組み合わせの効果を生じるよう作られた物質又は物質の混合物	火薬類製造工場において、火薬類一時置き場に火薬類（無煙火薬など約8t）をアルミ製容器に入れて保管中、突然爆発し炎上した。原因は、長期間の保管中に太陽光などで劣化し自然発火したと推測されている。
可燃性／ 引火性ガス	標準気圧 101.3kPa で 20℃において、空気との混合気が爆発範囲（燃焼範囲）を有するガス	化学工場の高圧ポリエチレン製造施設を通常運転中、破裂板が作動すると同時に配管のフランジ部から未反応のエチレンガスが漏れ出して出火した。原因は、反応器内で起きた異常反応による圧力上昇で破裂板が動作した際、その衝撃圧力によって下流側にある高圧分離器の逆止弁に曲げモーメントがかかり、フランジ部にできたすき間から漏れ、噴出帯電の静電気により着火したとみられる。
エアゾール	圧縮ガス、液化ガス又は溶解ガス（液状、ペースト状又は粉末を含む場合もある）を内蔵する金属製、ガラス製又はプラスチック製の再充填不能な容器に、内容物をガス中に浮遊する固体若しくは液体の粒子として、又は液体中又はガス中に泡状、ペースト状若しくは粉状として噴霧する噴射装置を取り付けたもの	工場内の全体朝礼終了後、グループミーティングのため3名がストーブの周りに集まったところ、ストーブの上にスプレー缶が倒れていた。軍手をはめて持ち上げようとした時に突然破裂し、飛び散った内容液とガスにより3名が被災した。原因は、全体朝礼の前に別の労働者が補修塗装のためストーブのフレーム上に置いていたもの。蓋が飛んだ時にストーブ上に倒れ、加熱により破裂したと思われる。
支燃性／ 酸化性ガス	一般的には酸素を供給することにより、空気以上に他の物質の燃焼を引き起こす、又は燃焼を助けるガス	半導体装置洗浄用ガスの3フッ化窒素製造ラインの充填工程において、2度爆発が起きた。原因は、圧縮機の部品の破損で漏れた潤滑油が高温となった3フッ化窒素と接触して激しく酸化反応し、圧縮機が溶損。この影響による逆流で充填元の液体容器内でも同反応が起き、破裂したとみられる。
高圧ガス	20℃、200kPa（ゲージ圧）以上の圧力の下で容器に充填されているガス又は液化又は深冷液化されているガス	病院のMRI室において、機器の入れ替え作業のため、機器会社の3名が、液体ヘリウムを徐々に気化させて外気への放出作業中、ヘリウム槽が破裂した。MRI機器類は大破し、作業員ら8名が重軽傷を負った。原因は、作業手順書に反して、前日の同様の作業時に破裂板を取り外して放置したので、ダクト内に流入した空気が氷結して管が詰まり、過圧による破裂に至ったとされた。
引火性液体	引火点が 93℃以下の液体	香料工場内において、ガラス製蒸留釜の洗浄作業を行った。コンデンサで液化された廃トルエンを金属製容器に移し、産業廃棄物用ドラム缶に漏斗を用いて移し替えていたところ、ドラム缶から火炎が立ち上り、作業員が火傷を負い死亡した。原因は、ドラム缶内部のトルエン蒸気が何らかの着火源により引火、炎上したと推定される。

(次ページへ続く)

⁵² 原典：化学品の分類および表示に関する世界調和システム（GHS）改訂4版⁵³ 労働安全衛生総合研究所 爆発火災データベース（第4次）より抜粋

物理化学的 危険性	説明	事故事例
可燃性固体	易燃性を有する、又は摩擦により発火あるいは発火を助長するおそれのある固体。易燃性固体とは、粉末状、顆粒状、又はペースト状の物質で、燃えているマッチなどの発火源と短時間の接触で容易に発火しうる、また、炎が急速に拡散する危険なもの	原料工場内の粉碎設備で、金属珪素の塊状品を粉体へ粉碎する施設で、夜間無人で 24 時間自動運転を行っていた。内部の水平移動部分にバケットガイド(鉄製の棒)があり、この部位でバケットが帯電し、静電気によりバケット内の珪素(粉末)に着火し、粉じん爆発が発生したもの。
自己反応性 化学品	熱的に不安定で、酸素(空気)がなくとも強い発熱分解を起しやすい液体又は固体の物質あるいは混合物	エアバッグ用ガス発生剤を製造のため、インフレーター工室の混合室でアジ化ナトリウムと酸化銅をV型混合器で混合中に突然爆発。V型混合器が全壊し、工場の窓やスレートが破れた。原因は、回転軸摺動部付近の摩耗でできたすきまに混合粉が付着し、回転による摩擦熱で発火、爆発したと推定される。
自然発火性 液体	たとえ少量であっても、空気と接触すると5分以内に発火しやすい液体	石油化学製品製造用の触媒であるアルキルアルミニウム類を製造している工場内において専用容器(シリンダー)に製品であるトリエチルアルミニウムを充填作業中、シリンダーが過充填となり、ベントラインのトラップを越えて屋外の放出口から漏洩し、大気に触れて自然発火した。原因は、秤量台にシリンダーが正しく載っておらず、重量が実際よりも少なく測定されていたためである。
自然発火性 固体	たとえ少量であっても、空気と接触すると5分以内に発火しやすい固体	無機化学工場の5フッ化リン反応器において、反応器へ赤りんの投入作業中、投入ホッパー内に白煙と蛍火を確認したため、内容物を反応器内へ落とす作業を数回行った。白煙がなくなってから、残りの赤りんを若干量投入した際、ホッパー内から突然炎が上がった。原因は、反応器内にて副生した黄りんが反応器への窒素供給を止めていないためにホッパー内に流入していて、空気との接触で自然発火し、赤りんに引火したとみられる。
自己発熱性 化学品	自然発火性液体又は自然発火性固体以外の固体物質又は混合物で、空気との接触によりエネルギー供給がなくとも、自己発熱しやすいもの。この物質又は混合物が自然発火性液体又は自然発火性固体と異なるのは、それが大量(キログラム単位)に、かつ長期間(数時間又は数日間)経過後に限って発火する点にある。	鋼板製貯蔵サイロ群の一つにおいて、固化した飼料用副原料(とうもろこしの胚芽の皮)を貯蔵中、突然サイロが爆発した。原因は、飼料粉の湿潤部分にカビが発生し、発酵熱と太陽の輻射熱が粉体層内で蓄積して自然発火し、一酸化炭素などの熱分解ガス、あるいは、ある種の菌が放出した水素、が空気と混合し爆発し、粉じん爆発も併発したもの。
水反応可燃 性化学品	水との相互作用により、自然発火性となるか、又は可燃性/引火性ガスを危険となる量発生する固体又は液体の物質あるいは混合物	製鉄所の溶鉱炉で燃焼補助用に使用する保温剤を製造する工場において、商品一時保管庫から異臭がするので確認したが、蒸気が発生していると判断して持場に引き上げる途中、一時保管庫内で爆発が起き、火災となった。原因は、保温剤はカーバイド塵が原料であり、含有するカーバイドが水や湿気に触れて発熱分解してアセチレンを発生し、自然発火を起こしたと推定された。

(次ページへ続く)

物理化学的 危険性	説明	事故事例
酸化性液体	それ自体は必ずしも可燃性を有しないが、一般的には酸素の発生により、他の物質を燃焼させ又は助長するおそれのある液体	無機化学工場において、高純度赤りんの製造設備の試運転中、蒸留黄りんから不純物を除去するための硝酸処理槽が爆発し、2名が死傷した。原因は、硝酸処理槽における反応温度が高過ぎたこと、硝酸濃度が高過ぎたこと、攪拌速度が速過ぎたことが考えられる。
酸化性固体	それ自体は必ずしも可燃性を有しないが、一般的には酸素の発生により、他の物質を燃焼させ又は助長するおそれのある固体	有機化学工場のポリイミドの製造工程において、溶解槽（圧力容器）に硝酸アルミニウムとエチレングリコールを入れ、攪拌しながら溶解中、突然溶解槽が破裂し、爆風と飛散物により工場の壁、窓、天井の一部が破損した。原因は、高粘度により濃度と温度が不均一であり、高温箇所での製品の化学反応により NO_x が急激に発生して圧力が上昇し、耐えきれずに破裂したと推定された。
有機過酸化 物	2価の $-\text{O}-\text{O}-$ 構造を有し、1あるいは2個の水素原子が有機ラジカルによって置換されるので、過酸化水素の誘導体と考えられる。この用語はまた、有機過酸化物組成物（混合物）も含む。有機過酸化物は熱的に不安定な物質又は混合物であり、自己発熱分解を起こすおそれがある。さらに、以下のような特性を一つ以上有する。 (a) 爆発的な分解をしやすい (b) 急速に燃焼する (c) 衝撃又は摩擦に敏感である (d) 他の物質と危険な反応をする	有機過酸化物 (HPO) を生成する酸化反応器の緊急停止時のインターロック解除により、酸化反応器へ供給されていた窒素が停止し、液相の攪拌が停止した。その結果、冷却コイルのない液相上部の HPO の分解熱が除熱できず、温度が上昇した。温度上昇により、HPO の分解反応が加速し、酸化反応器の圧力上昇が起こり、破裂に至った。
金属腐食性 物質	化学反応によって金属を著しく損傷し、又は破壊する物質又は混合物	石油精製工場において、運転中の重油直接脱硫装置の空気冷却器のフィンチューブ1本が突然破裂してガス（主成分は水素）が噴出して火災となった。原因は、フィンチューブ内面が生成していた塩酸によって腐食して穴があき、噴出帯電により着火したと推定された、また、原油の重質化に伴い腐食速度が増加していたと考えられた。

表 A3 爆発性に関わる原子団の例⁵⁴

原子団	例
不飽和のC－C結合	アセチレン類, アセチリド類, 1,2－ジエン類
C－金属, N－金属	グリニャール試薬, 有機リチウム化合物
隣接した窒素原子	アジド類, 脂肪族アゾ化合物, ジアゾニウム塩類, ヒドラジン類, スルホニルヒドラジド類
隣接した酸素原子	パーオキシド類, オゾニド類
N－O	ヒドロキシルアミン類, 硝酸塩類, 硝酸エステル類, ニトロ化合物, ニトロソ化合物, N－オキシド類, 1,2－オキサゾール類
N－ハロゲン	クロルアミン類, フルオロアミン類
O－ハロゲン	塩素酸塩類, 過塩素酸塩類, ヨードシル化合物

表A4 自己反応性に関わる原子団の例⁵⁵

原子団	例
相互反応性グループ	アミノニトリル類, ハロアニリン類, 酸化性酸の有機塩類
S＝O	ハロゲン化スルホニル類, スルホニルシアニド類, スルホニルヒドラジド類
P－O	亜りん酸塩類
歪のある環	エポキシド類, アジリジン類
不飽和結合	オレフィン類, シアン酸化合物

⁵⁴ GHS 分類において、分子内に爆発性に関わる原子団がない物質は、火薬類の分類が「分類対象外」とされる。

原典：「危険物の輸送に関する国連勧告，試験および判定基準のマニュアル」の付録 6 の表 A6.1

⁵⁵ GHS 分類において、分子内に爆発性に関連する原子団、及び自己反応性に関わる原子団のいずれも含まない物質は、自己反応性物質の分類が「分類対象外」とされる。

原典：「危険物の輸送に関する国連勧告，試験および判定基準のマニュアル」の付録 6 の表 A6.2

表A5 過酸化物を生成する物質の例⁵⁶

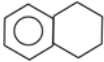
化学構造の一部	説明
有機化合物	
$\text{CH}_2-\text{O}-\text{R}$	α 位に水素を持つエーテル、特に環状エーテルや一級、二級アルコール族に関するエーテルは、空気及び光の暴露で危険な爆発性の過酸化物を生成する
$\text{CH}(-\text{O}-\text{R})_2$	α 位に水素を持つアセタール
$\text{C}=\text{C}-\text{CH}$	ほとんどのアルケンを含むアリル化合物(アリル位に水素を持つオレフィン)
$\text{C}=\text{C}-\text{X}$	ハロオレフィン(例:クロロオレフィン、フルオロオレフィン)
$\text{C}=\text{CH}$	ビニルエステル、ビニリデンエステル・エーテル、スチレン
$\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{C}$	1,3-ジエン
$\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH}$	α 位に水素を持つアルキルアセチレン
$\text{C}=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{CH}$	α 位に水素を持つビニルアセチレン
	テトラヒドロナフタレン
$(\text{R})_2\text{CH}-\text{Ar}$	三級水素を持つアルキルアレーン(例:クメン)
$(\text{R})_3\text{CH}$	三級水素を持つアルカン及びシクロアルカン(例: <i>tert</i> -ブタン, イソプロピル化合物, デカヒドロナフタレン)
$\text{C}=\text{CH}-\text{CO}_2\text{R}$	アクリレート, メタクリレート
$(\text{R})_2\text{CH}-\text{OH}$	二級アルコール
$\text{O}=\text{C}(\text{R})-\text{CH}$	α 位に水素を持つケトン
$\text{O}=\text{CH}$	アルデヒド
$\text{O}=\text{C}-\text{NH}-\text{CH}$	窒素に結合している炭素に水素を持つ置換ウレア, アミド, ラクタム
$\text{CH}-\text{M}$	炭素に結合している金属を持つ有機金属化合物
無機化合物	
アルカリ金属	カリウム, ルビジウム, セシウムなど
金属アミド	NaNH_2 など
金属アルコキシド	ナトリウム- <i>tert</i> -ブトキシドなど

表 A6 重合する物質の例⁵⁶

アクロレイン	エチレン	プロピオンアルデヒド
アクリルアミド	エチレンシアノヒドリン	プロピレンオキシド
アクリル酸	エチレンオキシド	スチレン
アクリロニトリル	エチレンイミン	テトラフロロエチレン
1,2-ブチレンオキシド	アクリル酸-2-エチルヘキシル	テトラヒドロフラン
アクリル酸ブチル	シアン化水素	トルエンジイソシアネート
1,3-ブタジエン	イソブレン	トリメキシシラン
ブチルアルデヒド	メタクリル酸	酢酸ビニル
クロトンアルデヒド	アクリル酸メチル	ビニルアセチレン
ジクロロエチレン	イソシアン酸メチル	クロロエチレン
ジケテン	メタクリル酸メチル	ビニルエーテル
ジビニルベンゼン	メチルビニルケトン	ビニルトルエン
エピクロロヒドリン	メチルクロロメチルエーテル	1,1-ジクロロエチレン
アクリル酸エチル	プロパルギルアルコール	

⁵⁶ 原典: AICHE/CCPS: Essential Practices for Managing Chemical Reactivity Hazards

表A7 プラント・設備で危険性がある物理条件の例

物理条件 ⁵⁷	説明	事件事例 ⁵⁸
高温	常温では安定である対象物質が分解あるいは発火を起こす可能性がある高温状態のことをいう。すなわち、対象物質によって高温の温度帯は変わる。高温物に接触することにより労働者が火傷する可能性がある。	製油所において、肉盛り補修した箇所です内部腐食が進行し、減肉・開口に至り、内部の油と重質軽油のガスが漏れ、高温部分により発火した。
低温	構造材の材料強度の低下が起きたり、液体酸素が生成したりするような低温の状態のこと。内容物の凍結により容器破損が起こる低温状態も含む。	アセチレン除去器の配管が低温脆性による破壊を生じ、管内の液体酸素が側溝(油、ボロなどのある溝)に流出。低温脆性により破壊したすき間より流出した液体酸素と側溝内に蓄積されていた油、ボロなどの接触により燃焼、続いて配管内のアセチレンガスに引火爆発した。
高圧	平常時よりも圧力が高くなった結果、シール部分などからの漏洩、あるいは、構造物自体が破壊する状態のこと。また、気相での反応では高圧下では反応性が高い状態となることが多い。	繊維工場において、高圧染色槽(圧力容器)の運転を開始してから約 90 分後、突然蓋が蒸気圧により飛散して、蒸気、染色用の熱湯、糸くずなどが上方に飛散したため、工場の屋根や窓ガラスなどが破損した。原因は、安全装置の整備不良があり、電磁弁用空気操作圧力の不足、あるいは、ロックピンと空気抜き回転弁とのずれによりロックピンが外れたためである。
真空	常圧よりも圧力が大幅に低下し、シール部分などから外気が入り込む状態、あるいは、構造物自体が破壊する状態のこと。あるいは、現に真空状態にあって外気が入り込むことが異常につながる状態のこと。	半導体原料の製造工場の実験室において、自然発火性のトリメチルインジウム(TMI)を昇華反応により小分け充填する装置の充填試験を実施中、真空度が上がらないので設計者が作業を引き継ぎ、漏れ試験をしようとバルブを開いたところ、十数秒後に TMI の中間容器が破裂した。真空充填装置と装置の架台が変形破損し、2名が負傷した。原因は、バルブの開閉状況を正確に確認しないままバルブを開いたため空気が混入し、TMI が自然発火したものの。
繰り返し圧力(加圧、減圧)	上記の圧力要因(「高圧」「真空」)よりも圧力変動幅は狭いが、長期間多数回の変動によりシール部分の漏れが起きたり構造物が破壊したりする状態のこと。	70MPa 圧縮水素スタンドにて充填試験終了後、充填ホースの圧力が急激に低下した。作業員が水素の漏洩音を確認した。設備を手動で停止した。その後、漏洩箇所がディスペンサー充填ホース上部であることを確認した。何らかの原因でホース内面に発生した亀裂が、加圧の繰り返しによって進展し、貫通したことにより水素の漏洩が生じた。
繰り返し温度(昇温、降温)	上記の温度要因(「高温」「極低温」)よりも温度変動幅は狭いが、長期間多数回の変動によりシール部分の漏れが起きたり、構造物が破壊したりする状態のこと。	割れ部分から漏れた高温ナフサが自然発火し、小炎になった。当該溶接部の形状が不良のため、配管の熱伸縮に伴う繰り返し応力が形状不良部に集中し、割れに至った。
振動／水撃	振動を長期間受けることによったり、非連続的な圧力変動を受けたりすることにより、シール部分の漏れや構造物の破壊が起きる状態のこと。	製油所の重油直接脱硫装置の減圧蒸留塔において、運転中に減圧蒸留塔下部付近から黒煙が出て火災となったので緊急停止し、消火活動を行った。原因は、蒸留塔底部の配管がポンプにより振動したため、ドレンバルブが緩んで脱硫重油が流出し、付近の高温配管により着火したとみられる。

(次ページへ続く)

⁵⁷ 原典：AICHE/CCPS Guideline for Hazard Evaluation Procedures (Second Edition)

⁵⁸ 労働安全衛生総合研究所 爆発火災データベース(第4次)より抜粋

物理条件	説明	事事故事例
電離放射線	中性子環境下では、構造材が劣化して破壊しやすくなり、その他の放射線は構造材の腐食や脆化を促進させ、内容物が漏洩する可能性がある。また、放射線により内容物が分解することにより可燃性ガス、反応性の物質が生成する可能性がある。	2006年に報告されたBWRハフニウム板型制御棒のシース材(SUS316L)の割れ損傷の原因は照射誘起応力腐食割れ(ある程度以上の中性子照射(しきい照射量)を受けて材料が変質した場合の応力腐食割れ)であるとされた。
高電圧／ 高電流	感電はもちろんのこと、短絡・地絡を起こすとそれ自体が着火の原因となる可能性がある。ジュール熱によって電線素材の爆発を引き起こす可能性もある。	ゴム引き加工工場で製品を乾燥中、ゴム糊中のトルエンが爆発した。原因は、乾燥設備の静電気除去用のバー型電極が長期間稼働しておらず表面が汚れており、メーカーの修理点検で未稼働の指摘を受け修理した。事故当日から通電を再開したため、汚れが過電流のジュール熱による高熱面で着火したもの。
大量保管	化学物質を大量に保管しているというのは、大量のエネルギーをもっているということと同じなので、異常な状態になるとその大量のエネルギーが解放されて大規模な災害につながる可能性がある。また、大量保管は自己反応性物質や自己発熱性物質の発火・爆発の可能性を高める。	石炭塔内の粉碎・乾燥させた石炭を貯炭していた炭槽(約100tを貯炭中)において、温度上昇、一酸化炭素濃度の上昇が確認され、その後黒煙が発生。炭槽下部からの払い出しによる対応を行っていたところ爆発が発生した。粉碎・乾燥させ高温となった石炭を、高い気温の中で炭槽の中で大きな塊として、長時間(3日間以上)放置したことにより内部の発熱が滞留し、温度が上昇し火災に至ったものである。
液化ガス	気体状のガスよりも密度が高いため、破壊・噴出すると大量のガスが発生する。なお、液化ガスの多くは極低温であるので、低温の項も参照のこと。	化粧品工場内の容器に整髪料と噴射剤を充填するスプレー容器の充填機において、噴射剤を窒素からLPGに切り替えて運転を開始したところ、爆発して充填機が火災となり、7名が火傷を負った。原因は、充填ホースの接続を誤っていたため運転中にLPGが漏洩し、部品加温用の電気乾燥機(非防爆)の電気火花により着火したとみられる。

表A8 取り扱う物質単独や物質の反応・混合の物理化学的危険性を
評価するための試験法の例⁵⁹

【GHS分類の物理化学的危険性の評価試験（抜粋）】⁶⁰

物理化学的危険性の種類	評価試験法		
爆発物	・国連ギャップ試験 ・ケーネン試験 ・時間／圧力試験	・BAM落つい感度試験 ・BAM摩擦感度試験	・75℃熱安定性試験 ・小規模燃焼試験
可燃性／引火性ガス	・爆発限界測定		
エアゾール	・火炎長（着火距離）試験	・密閉空間着火試験	・泡試験
支燃性又は酸化性ガス	・酸化性ガスの試験		
引火性液体	・引火点測定	・燃焼持続性試験	・初留点測定
可燃性固体	・予備的スクリーニング試験	・燃焼速度試験	
自己反応性化学品と 有機過酸化物	・国連爆ごう試験 ・包装品の爆ごう試験 ・時間／圧力試験 ・爆燃試験	・包装品爆燃試験 ・ケーネン試験 ・改良型トラウズル試験 ・包装品の熱爆発試験	・国連SADT試験 ・断熱貯蔵試験 ・蓄熱貯蔵試験
自然発火性液体	・自然発火性液体の試験		
自然発火性固体	・自然発火性固体の試験		
自己発熱性化学品	・自己発熱性物質の試験（ワイヤーバスケット試験）		
水反応可燃性化学品	・水と接触して可燃性ガスを放出する物質の試験		
酸化性液体	・酸化性液体の試験		
酸化性固体	・酸化性固体の試験		
金属腐食性物質	・金属腐食に関する試験		

【消防法危険物の評価試験】⁶¹

危険物の種類	評価試験法		
第一類（酸化性固体）	・粉粒状確認試験 ・燃焼試験	・落球式打撃感度試験 ・大量燃焼試験	・鉄管試験
第二類（可燃性固体）	・小ガス炎着火試験	・引火点測定試験	
第三類（自然発火性物質 及び禁水性物質）	・自然発火性試験	・水との反応性試験	
第四類（引火性液体）	・引火点測定 ・燃焼点測定 ・発火点測定	・液状確認試験 ・可燃性液体量確認試験 ・動粘度測定	・沸点測定 ・水溶性確認試験
第五類（自己反応性物質）	・熱分析（DSC）試験	・圧力容器試験	
第六類（酸化性液体）	・燃焼試験		
指定可燃物	・酸素指数測定	・燃焼熱量測定	

⁵⁹ 危険物輸送に関する国連勧告 試験及び判定基準のマニュアル，危険物確認試験実施マニュアル（絶版），産業安全技術総覧，実践・安全工学 シリーズ1「物質安全の基礎」等から作成

⁶⁰ 表4の質問2を中心とした物質単独の危険源の把握に関連する。

⁶¹ 表4の質問3～6などの物質単独の危険源の把握に関連する。

【物理化学的危険性のその他の主な評価試験】⁶²

物理化学的危険性の種類	評価試験法		
ガス爆発, 粉じん爆発	・爆発限界測定 ・最小着火エネルギー測定	・最大爆発圧力測定 ・限界酸素濃度測定	・最大圧力上昇速度(K_G 値, K_{ST} 値)測定
液体・固体の爆発	・鉄管起爆試験 ・弾動臼砲試験	・弾動振子試験 ・圧力容器試験	・殉爆感度試験
着火, 燃焼	・BAM着火性試験 ・発火点測定	・燃焼速度測定 ・自然発火性試験	・コーンカロリーメーターによる発熱性試験
熱分解性・熱安定性	・分解熱量測定 ・高感度熱量測定	・断熱測定(暴走までの残り時間, 最大発生圧力など) ・爆燃試験	・熱分析(DTA, TG等)
混合危険	・USCG反応危険性試験	・改良鉄皿試験	・大規模混触発火試験
反応危険性	・反応熱量測定 ・反応速度測定	・ベントサイジング用専用装置による測定 ・断熱測定(断熱温度上昇, 最大発生圧力など)	
静電気特性	・体積・表面抵抗率測定	・帯電電荷量測定	

⁶² 表4の質問3～7,9などの物質単独の危険源, 質問10,12,14などの物質の反応や混合などの要因による危険源の把握に関連する

参考資料 B 多重防護の考え方と独立防護層

(1) 化学プラントの安全設計—プロセスの異常から事故への進展とその対策⁶³

プラントは基本的にはあらかじめ想定された変動や計画された負荷条件の範囲内で運転される限り、安全なように設計されている。しかし、構成機器の突発的なあるいは経年劣化による損傷、あるいはオペレータの誤操作などを引き金として正常状態から逸脱し、プロセス異常、緊急事態、さらには機材の破裂や危険性物質の流出という事故にまで発展する。図 B1 にプラントが正常状態から逸脱し、事故、災害に至るまでのそれぞれの段階での基本的な安全対策の例を示す。プラントの安全確保にあたっては、事故防止（予防対策）のみならず、事故が発生した際の拡大防止（防災対策）という両面から設計がなされなければならない。

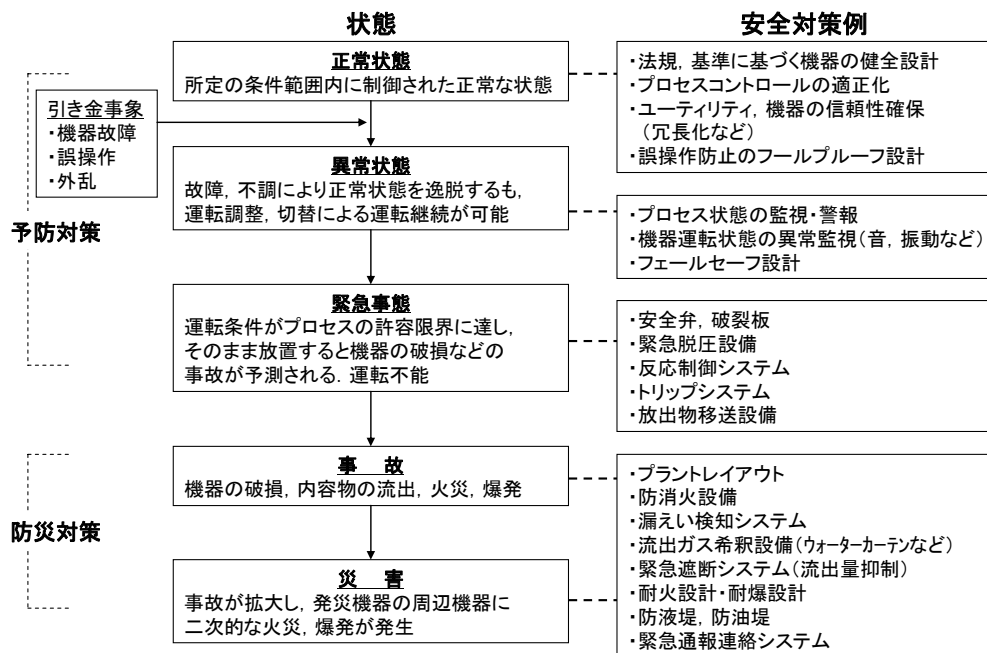


図 B1 化学プラントにおける異常から事故への進展とその対策

プラント内での異常発生から事故への発展を防ぐために次の三つの側面からの多重防護の考えに従って安全設計が行われている。

- ① プロセス異常を発生させない設計（異常の発生予防）
- ② プロセス異常が発生しても事故にまで発展させない設計（事故の発生予防）
- ③ 事故の拡大を阻止し、被害を局限化する設計（被害の局限化）

プラントを構成する一つの機器の不調・故障は、その機器周辺にだけに影響を与えるものではなく、機器の上流あるいは下流に思わぬ不調や異常を引き起こすことがある。このため機器の故障、オペレータによる誤操作あるいは外乱などに起因するプロセス異常が発生した場合でも事故にまで進展させないための安全設備、安全システムの設置が必要である。さらに可燃性物質や毒性物質の漏出事やプラント内で火災などが発生した際には、それらの事故の拡大を防止し、被害を局限化するためのプラントエリアの区分け、機器相互間の隔離距離や緊急時の道路確保といったレイアウト上の配慮の他、適切なガス検知警報設備や防火設備の配置、構造物の耐火被覆など、防災面からの安全設計も必要となる。また、運転面からは日常の点検活動、オペレータの教育・訓練、緊急時の対応手順、及び計画、防災訓練なども実施される。

⁶³ 化学工学会編、「改訂六版 化学工学便覧」、丸善(1999)

(2) 独立防護層⁶⁴

米国化学工学会（AIChE）の化学プロセス安全センター（CCPS）は多重防護の考え方をより具体的に区分した独立防護層（Independent Protection Layer ; IPL）の概念による安全設計を提唱している。独立防護層は多重の独立した防護システムによりプラントを包み込むことで、潜在的な危険が事故や災害につながることを未然に防ごうとするもので、たとえ内側の防護層が損なわれたとしても、その外側の防護層が機能することにより、事故を未然に防ぎ、被害（災害）を最小限に食い止めることを目的としたものである。図 B2 に概念図を、表 B1 に各階層の目的と具体例をそれぞれ示す。

IPL1 はプロセス自身の安全に関わる階層であり、本質安全の領域である。触媒や溶媒の選択により、より低温低压運転の可能性を見出す、あるいは危険物質の滞留時間の短縮化を図るなど、より安全なプロセスを採用することで異常発生の可能性を下げようとする階層である。

IPL2 は基本プロセス制御の領域であり、安全な領域での安定な運転によりプロセスが異常な状態に陥ることを防護する階層である。定常運転時の制御、正常値からの逸脱に対する警告、及びオペレータによる監視・介入だけでなく、正常スタートアップ、正常シャットダウンといった非定常運転時に対しても同様に制御し、正常な領域からの逸脱に対する警告及びオペレータによる監視・介入を含める。従来、警告システムは定常状態に基づき設計され、スタートアップ、シャットダウンなどの非定常状態に対しては軽視されがちであったが、事故の多くが非定常操作において発生していることや、バッチプロセスにおいては、その操作のほとんどが非定常操作であることから、安全管理においては、非定常操作に対して如何に防護層を設計するかが重要な課題である。

IPL3 は IPL2 における警告とは区別される重要警告を発し、オペレータ、あるいはシステムの介入を促すことで、緊急状態に陥ることを防ぐ階層である。この場合も非定常操作において如何に重要警告システムを設計するかが重要である。

IPL4 はオペレータやシステムの介入が間に合わない場合、自動的にかつ安全にプラントを停止させる安全インターロックシステム（Safety Interlock System ; SIS）、緊急停止システム（Emergency Shutdown System ; ESD）による防護層である。

IPL5 及び **IPL6** は物理的な防護層であり、安全弁、破裂板による脱圧、液体の漏洩に対する防液堤による防護などが含まれる。

IPL7 及び **IPL8** は事業所内及び事業所外の緊急時対応計画などによる防護層である。

独立防護層のうち、IPL1 から IPL6 はプラント設計に大きく関与する。IPL1 及び IPL2 は、正常時運転において小さな異常や変動を制御することを目的とし、IPL3 から IPL6 は正常時の制御範囲を超えた異常時に対して、警告、オペレータやシステムによる監視、介入、停止などの操作により安全に対処することを目的としている。従って、これら独立防護層は各防護層に対応した操作を前提にして設計する必要がある。

⁶⁴ AIChE/CCPS, Guidelines for Engineering Design for Process Safety, WILEY (1993)

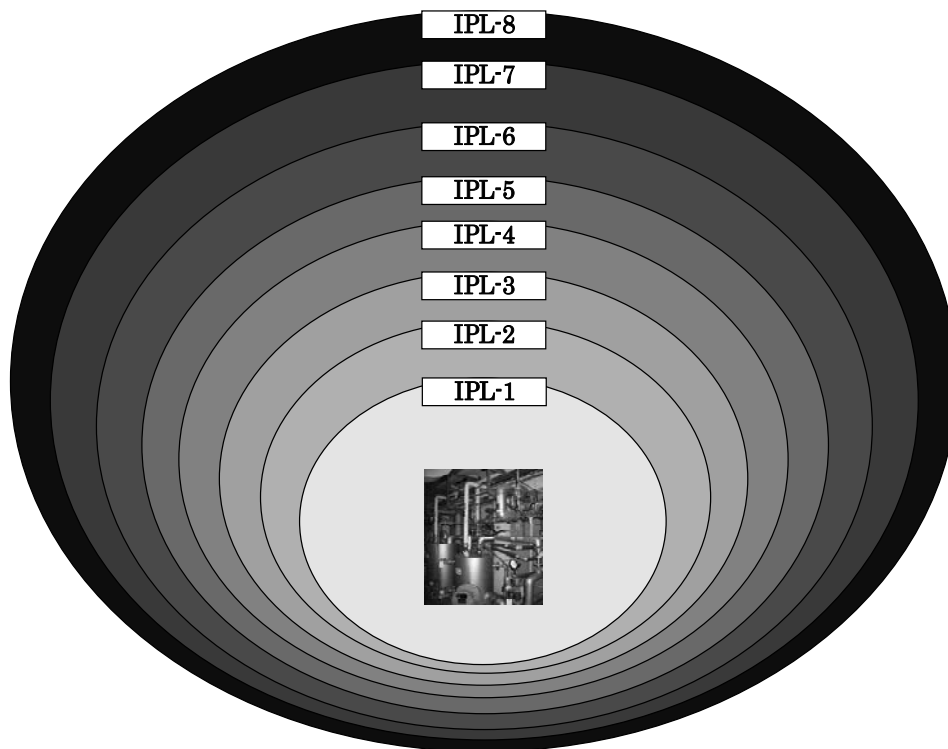


図 B2 独立防護層の概念図

表 B1 独立防護層の内容⁶⁵

IPL	概要
1	プロセス設計(本質安全)
2	BPCS, プロセスアラーム, オペレータ監視
3	クリティカルアラーム(オペレータ監視と割り込み操作)
4	自動インターロックシステム
5	物理的防護(安全弁など)
6	物理的防護(防液堤など)
7	事業所内の緊急対応計画
8	地域住民・公共設備への緊急対応

⁶⁵ 本文中(表 10)にも事例を示しているので参照のこと。

参考資料 C 本質安全対策の例

表 C1 本質安全対策の例⁶⁶

<p>A. 除去と代替</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロセスあるいはケミストリーの代替により，危険な原料，中間製品，副製品を除去できないか． ・ケミストリーあるいはプロセス条件を替えることによりプロセス内の溶媒を除去できないか． ・不燃性の溶剤，揮発性の低い原料，毒性の低い原料，反応性の低い原料，より安定な原料に代替できないか．また，より危険性の少ない最終製品溶剤への代替などにより危険性を低減できないか． ・高温で不安定になる，あるいは低温で凍結する物質を保有する機器に対しては，最高，最低温度に限界のある熱媒，冷媒が使用できないか．
<p>B. より安全な条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原料の供給圧力は供給先の容器の使用圧力より低くできないか． ・触媒を使用することにより，あるいはよりよい触媒を使用することにより反応条件（温度，圧力）を緩和できないか． ・それほどシビアでない条件で運転ができないか．それが反応収率を低下させるなら，原料のリサイクルにより補完できないか． ・無水アンモニアに替わってアンモニア水，塩酸に替わって塩酸水，発煙硫酸に替わって硫酸の使用など，希釈により危険性のポテンシャルを低減できないか．
<p>C. 保有量の低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プロセス中間タンクの危険物質の保有量は最小化されているか．また中間タンクは本当に必要か． ・すべてのプロセス機器は危険物質の保有量を最小にするように設計されているか． ・プロセス機器は危険物質の配管の長さを最短にするよう配置されているか． ・配管は保有量を最小になるようにサイズが設計されているか． ・保有量を低減するために単位操作機器は別のタイプにできないか．例えば，抽出塔に替わっての遠心式抽出機，バッチ反応器に替わって連続式，混合容器に替わってラインミキサーなど． ・液相反応に替わって気相反応プロセスが使用できないか． ・液に替わってガスでの危険物質の配管移送ができないか．

⁶⁶ 高木伸夫：プロセスプラントの安全設計基礎講座（4），安全工学，Vol.38，No.5，pp.330-336（1999）

労働安全衛生総合研究所技術資料 JNIOSH-TD-NO. 5 (2016)

発行日 平成 28 年 2 月 15 日 発 行
発行者 独立行政法人 労働安全衛生総合研究所
 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1丁目4番6号
 電話 (042)491-4512(代)

印刷所 株式会社 国際文献社

TECHNICAL DOCUMENT
OF
THE NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH
JNIOOSH-TD-NO.5 (2016)

Risk assessment and risk reduction for preventing
process accidents in chemical process industries



JNIOOSH

NATIONAL INSTITUTE OF
OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

1-4-6, Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, JAPAN