

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8 プロセスセーフティ

#### 8.1 HSE マネジメントシステムとプロセスセーフティマネジメント

##### 8.1.1 はじめに

企業による事業活動に係る全ての人の健康と安全、および地域（広くは地球のエコシステム）との共存が、事業継続に必要不可欠であるとの認識の基、Health, Safety and Environment (HSE)は発展を遂げてきた。火災爆発などの大規模な事故は、一度起きると多くの人を巻き込み、環境にも多大なる影響を及ぼす HSE 事象である。重大事故の例を図 8-1-1 に示す。海外の石油ガス産業界では、複数人の死傷者が発生しうるとような大規模な事故を「重大事故 (Major Accident Event)」として定め、そのリスク管理手法をプロセスセーフティマネジメントと呼んでいる。国によっては、定めた量を超す危険物を保有している設備を、重大危険設備 (Major Hazard Facility)と位置づけ、プロセスセーフティへの対応を義務付けている場合もある。



左：1988年 Piper Alpha（英国）、石油ガス洋上設備、死者 167 名

（出典）Wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Piper\\_Alpha](https://en.wikipedia.org/wiki/Piper_Alpha)

右：2010年 Deepwater Horizon（米国）石油ガス洋上設備、死者 11 名、大規模な環境汚染 [1]

図 8-1-1 重大事故の例

「プロセス」という言葉は、石油業界、化学業界、その他製造業界などにおいては、製造工程（過程）を示す言葉として用いられている。狭義の意味でのプロセスセーフティは、石油ガス生産設備、製油所、化学プラントなどにおける火災爆発、毒ガスの放出などの重大事故に焦点を当てたものである。しかし、HSE の延長線上で進化している広義の意味でのプロセスセーフティは、施設や事象を限定せず、重大事故の発生防止、影響緩和に焦点を当てたものとなりつつある。例えば、石油ガス業界では、洋上施設における構造健全性の喪失（沈没）も重大事故として、プロセスセーフティの事象として扱っている。本テキストでは、広義の意味でのプロセスセーフティを説明する。

重大事故が起きる度に、その教訓をもとに、プロセスセーフティは進化を遂げてい

## 第8章 プロセスセーフティ

る。国際的な一つの大きな潮流が以下の3点を原則とするアプローチである。

- オペレータによる「オーナーシップ」  
(リスクを生み出している事業者がリスクをコントロールする。)
- リスクベース  
(安全操業は、ルールを守るだけでなく、目標を立て、達成することによって、実現される (Goal Setting Approach とも呼ばれる。))
- リスクは As Low As Reasonably Practicable (ALARP) 合理的に達成可能な限り低く  
(全リスクは、許容できる限界より低く、かつ合理的に達成可能な限り低い状態であるべき。「8.2.2 キーワード」にて ALARP について説明している。)

本章では、ALARP と組み合わせたリスクベースのアプローチ (以降、「リスクベースのアプローチ」と呼ぶ) と International Organization for Standardization (ISO) 等で広く使用されているマネジメントシステムという切り口で、プロセスセーフティを説明する。

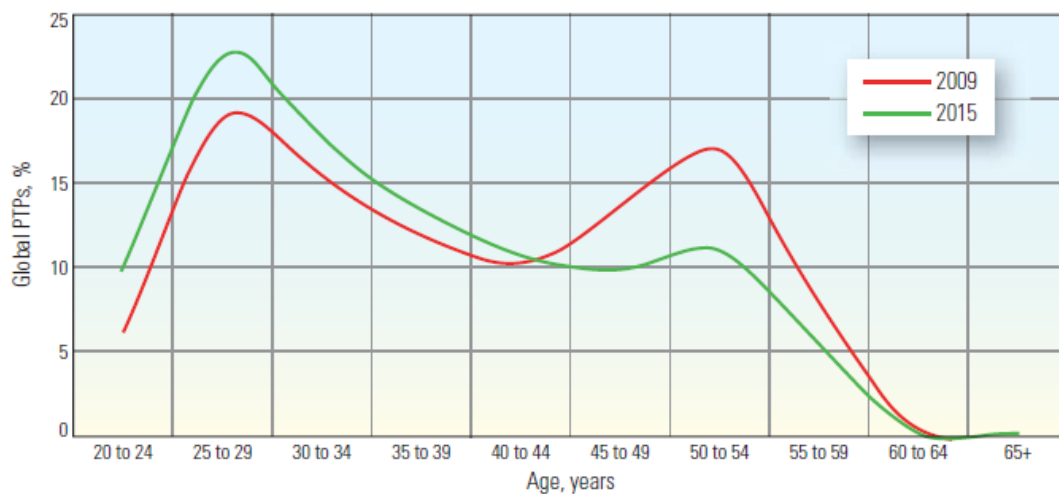
### コラム 日本国内の視点からみたプロセスセーフティの有効性

石油ガス業界 (特に上流) の人員数は、開発計画に左右されるため、大きく波を打つ傾向がある (図コラム-1 参照)。さらに、日本では、団塊世代のリタイヤ等の影響もある。世代ごとの人員数が異なる場合、人から人への作業を通じた技術継承が難しくなることもある。また、設備の老朽化も懸念材料である (図コラム-2 参照)。さらに、昨今のコロナ禍による収益の激減は、老朽化設備のリニューアルを遅延させる可能性もある。他にも要因はあると考えられるが、図コラム-3 を見ると、国内でのプロセスセーフティ関連事象数は増加傾向である。

また、日本の人口密度は、全世界で上位 (24 位、Wikipedia より) にある。これは一般的に、人とハザードの距離が近くなる要因となる。そのため、今まで起きたことのないレベルの重大事故が起きた場合、その影響は大きなものとなる可能性が高い。

日本では、「プロセスセーフティ」という言葉が無くとも、あらゆる側面で重大事故を防ぐ工夫がなされてきた。この、あらゆる側面を「プロセスセーフティ」という言葉で一元的に扱い、「マネジメントシステム」として、熟練者の知識・経験、老朽化設備の管理に対する検討結果を図書・ルールに落とし込むことは、次の世代による安全操業の継続に有効である。

## 第8章 プロセスセーフティ

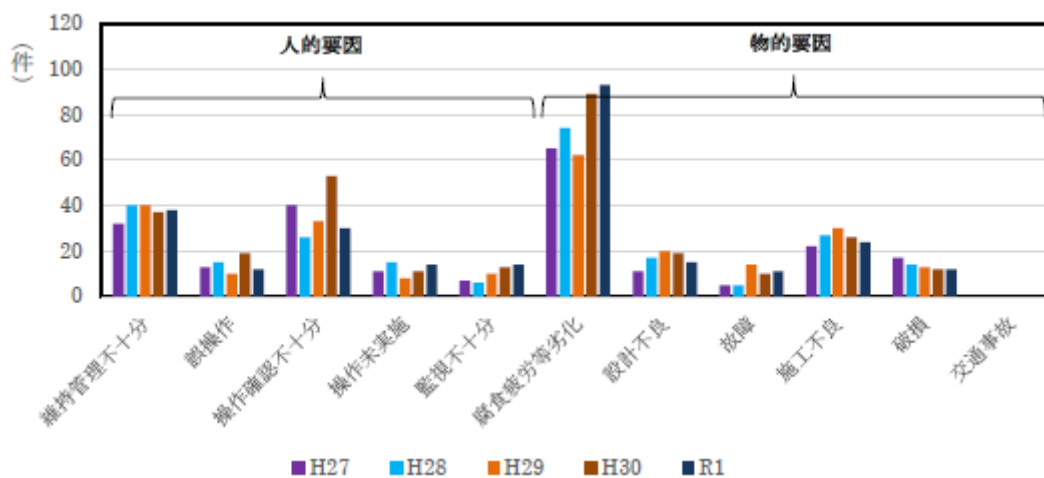


^ Global staffing changes, present and future. The percentage of PTPs per age category illustrates the “great crew change” dilemma. The retirement rate is at 20% for 55- to 59-year-olds, 90% for 60- to 64-year-olds and 100% for those 65 and older. The E&P industry attrition rate is 1.4%. (Adapted from Rostand and Soupa, reference 1.)

出典) Oilfield review Spring 2013: 25, no.1, “Bridging the Talent Gap”

PTPs: Petrochemical Professionals

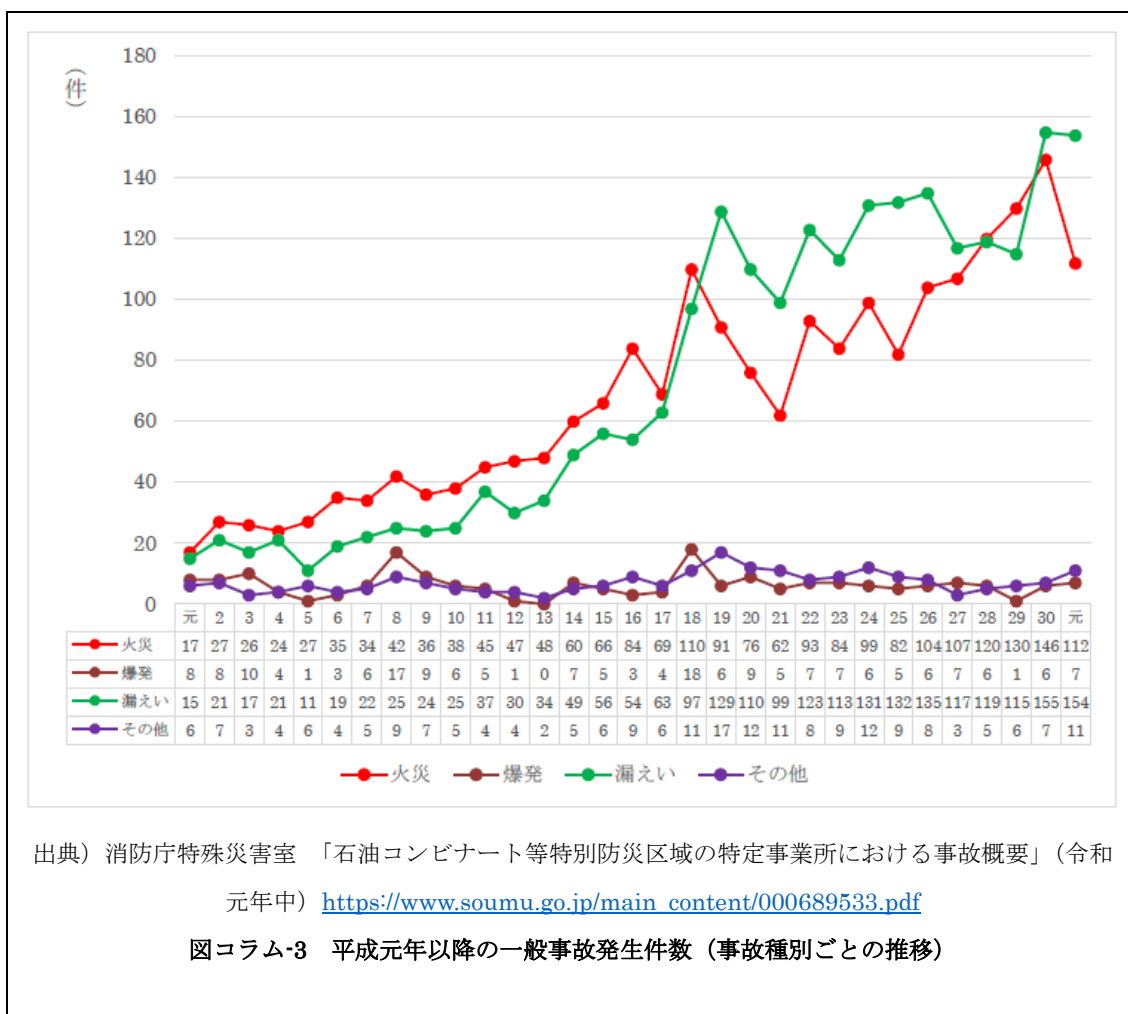
図コラム-1 石油ガス上流における世代ごとの人員数



出典) 消防庁特殊災害室 「石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要」(令和元年中) [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000689533.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000689533.pdf)

図コラム-2 平成 27 年からの 5 年間における主原因別一般事故件数の推移

## 第8章 プロセスセーフティ



### 8.1.2 リスクとは

プロセスセーフティ、リスクベースのアプローチを考える上で最も重要なリスクという言葉について、まず考えてみたい。

リスクとは ISO31000(Risk Management Guidelines)[2]において、「リスク」を「目標に対する不確かさの影響 (effect of uncertainty on objectives)」と定義している。この解釈は、自分が期待する結果から逸れることによって生じる影響の度合いと発生頻度がリスクであるともいえる。広義のリスク管理は、悪いことが起きることによる影響度と発生頻度を最小限に抑え、良いことが起こることによる効果と発生頻度を最大限にし、事業活動を盤石にすることとも言える。

HSE、およびプロセスセーフティでのリスク管理は、主として悪いことが起きることによる影響度を最小限に抑えることをリスク管理と考えている。この章にて、「ハザード」とは、人や環境に害を及ぼす可能性のあるもの、「影響」とは、ハザードが制御を失い、人、環境、資産、世評へ作用を及ぼすこととする。「ハザード」と「影響」の例

## 第8章 プロセスセーフティ

を図 8-1-2 と図 8-1-3 に示す。



図 8-1-2 ハザードの例

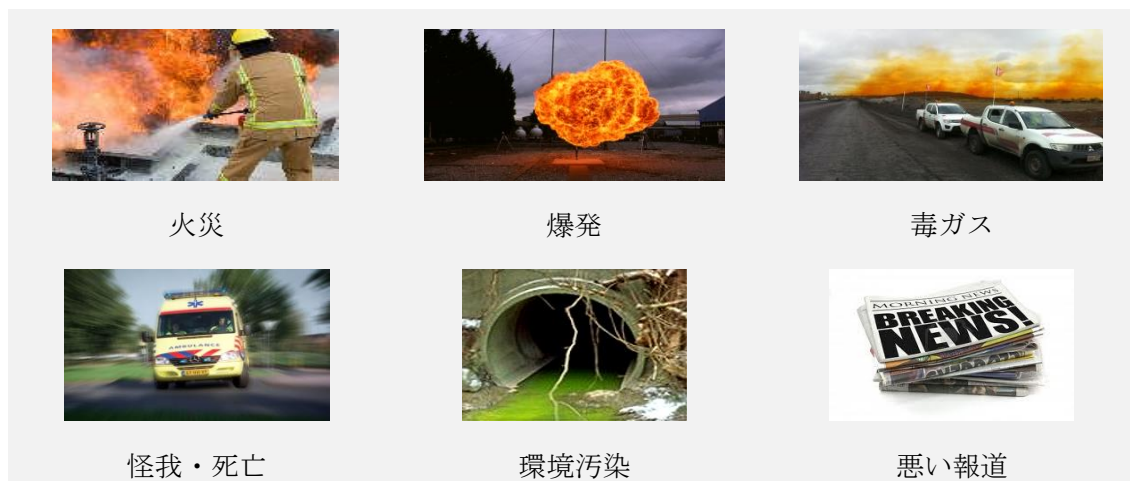


図 8-1-3 影響の例

実際に、工学的設備を操業する際、この「リスク」という言葉は、より複雑になる。日本の労働安全衛生法では、快適な職場環境の実現と労働条件の改善を通じて職場における労働者の安全と健康を確保することが要求されている。個々の職場で、安全文化を築く上で、「ゼロ災（害）」というシンプルな思想が用いられることもある。個々人が事故を起こさないと意識することは職場の安全性向上に大きく寄与し、重要な共有すべき思想である。

このように法的要求と日々向上する安全への意識をもってしても、労働災害のニュースを耳にすることがある。なぜだろうか。もちろん、組織によって、安全への意識に差があることも理由にあるだろう。だが最も根本的なところに立ち返ると、事業を遂行する上で、「ハザード」を完全に排除することが不可能だからである。ハザードを全て取り除き、リスクをゼロにするということは、多くの場合、事業活動を止めることを意味

## 第8章 プロセスセーフティ

する。石油ガス産業の場合、生産物の石油ガス自体が、火災爆発を引き起こしうるハザードであるため、まさにハザード・リスクをゼロにした事業というのはあり得ない。

他の産業、さらには日常生活においても、ハザードを全て取り除くことは難しい。極端な例として、日常生活において、仕事のためオフィスに行くことを考えてみよう。ハザードは、道路を歩くだけでも（高速で走る車、頭上からの落下物など）無数に存在する。一方、リスクを下げることを考えれば、家から出ないことにたどり着いてしまうかもしれない。しかし、家に閉じこもることにより、健康上、経済上のリスクが上昇する。このように、我々はハザードに取り囲まれながら生活しているとも言える。

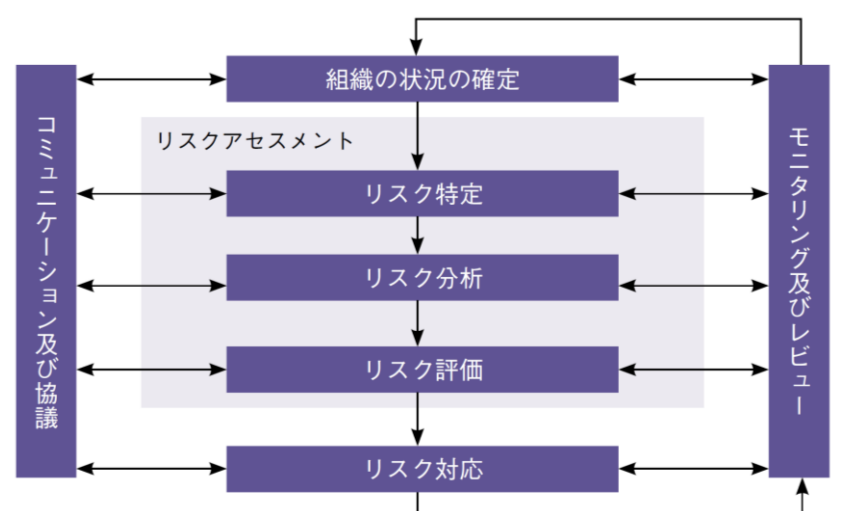
ここで、発想を転換しなければいけないことに気付く。それは、リスクはゼロにするものではなく、管理するものだ（注：可能な限り除去し、対策によりリスクを許容範囲まで下げた後に）ということである。事業活動で考えれば、事業を取り巻くリスクを徹底的に管理することで、積極的に事業に取り組み、利益を得る。日常生活でいえば、リスク管理を行いながら、積極的に色々な事に取り組むということになる。このように考えるとリスク管理は、ネガティブなものではなく、むしろポジティブなものであると言える。また、日本独自の言葉に「絶対安全」というものがあるが、ある特定のことをすれば必ず安全と考えるこの思想に注意喚起を行うものもみられるようになった[3]。

では、リスク管理は、どのようにしたら良いのか。図 8-1-4 に、ISO31000 におけるリスク管理プロセスを示す。状況の把握からはじまり、リスクの特定（ハザードの特定）、リスクの分析（リスクレベル、リスクの特徴、既存のリスク低減策など）、リスクの評価（リスクの閾値と比較することによる追加アクションの検討など）、リスク対応（リスク低減策の実施など）を行う。モニタリング、レビューを行い、管理プロセス全体の有効性を検討する。この結果を用いて、同様のサイクルを回し続けることで、リスクを管理し続け、管理プロセスの有効性を向上させていく。

海外のプロセスセーフティ管理において、このリスク管理手法が採用され、強固な手法となりつつある。海外のプロセスセーフティの具体的な管理手法を説明することで、国内の石油ガス産業に留まらず、種々の洋上の工学的設備（洋上風力など）に益することを期待する。

なお、本章で説明するプロセスセーフティは、国内の法規制とは異なるため、混同しないでほしい。あくまでも、海外での事例紹介として捉えてほしい。

## 第8章 プロセスセーフティ

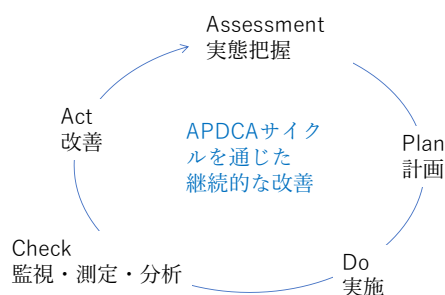


ここでの「組織」とは、リスクと対峙している主体を指す。

図 8-1-4 リスク管理プロセス [4]

### 8.1.3 マネジメントシステムの基礎

マネジメントシステムとは、方針・目標を立て、下図のように「APDCA」のサイクルを回し続けることで、事業活動を改善し続けるものである。「APDCA」のAはAssessment「実態把握」、PはPlan（計画）、DはDo（実施）、CはCheck（監視・測定・分析）、AはAct（改善）を意味する。A（改善）の後、A（実態把握）を行い、サイクルとなる。



「マネジメントシステム」という言葉は、広く用いられているため、以下に ISO での一例とインターネットで公開されている定義を示す。

例1) *set of interrelated or interacting elements of an organization to establish policies and objectives and processes to achieve those objectives*

出典) *ISO-45001 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*

例2) 経営者が立てた方針・目標を、どのようなやり方で達成するのか、誰がどのような役割分担で活動を行うのか、目標が達成できそうにない場合はどのようにして挽回するのか、といった経営目標を達成するための活動の仕組みやルール

出典) <https://gtc.co.jp/iso/info/managementsystem.html>

## 第8章 プロセスセーフティ

例3) マネジメントシステムとはマネジメントのために結びつけられ、目的達成に向けて一緒に機能する一連の要素の集合体

出典) <http://www.ms-jitsumu.com/sub24.html>

上記の定義の例の中で、重要な言葉は、「仕組みやルール」、「一連の要素の集合体」である。マネジメントシステムでは、「組織」を仕組みやルールによって、一連の要素をある方向に向かわせ目標を達成する。ここでは、各要素の役割を明確に定め、要素間での作業の重複を避け、効率を最大化する。これは、特に大規模な組織、エネルギーの高いハードを扱う組織（石油ガス、原子力発電など）、高い信頼性を求められる組織（航空会社など）に有効である。

一方、小さな組織、または革新的なものを生み出す組織においては、目的を共有し、最小限のルールで、各要素の自由な発想と要素間の自由な作用を尊重する「チーム」（本章でのみ、この意味で使用）という考え方もある。我が国の操業現場は、海外と比較すると、法的要求事項を遵守するとともに、この「チーム」という機能が重要な役割を果たしている場合があるのではないかと。熟練者から若手への技術の伝承、明確なボーダーラインを引かず相互協力を主軸においた「チーム」という考えが操業・安全を支えている面もある。長い歴史を持つ操業現場では、「チーム」としての強みを維持しつつ、マネジメントシステムによる「組織」の補強を行うという考え方もできるかもしれない。これは、団塊の世代などの熟年層が職場から一気に離れゆく中で、有効な補強策となりうる。また、新しい技術・設備を扱う操業現場では、マネジメントシステムを主軸にした組織とすることで、機械的かつ効率的に、操業・安全性の確保を行うことができる。海外での ISO の監査員（Auditor）トレーニングでは、新しく事業を始める際、マネジメントシステムと組織（部署の構成）、どちらを先に構築するかという議論をさせる程である。

マネジメントシステムという考え方も、リスク管理同様に、大きな汎用性を持っている。石油ガス産業の HSE マネジメントシステムは、プロセスセーフティを含め、強固に築きあげられてきた。こちらも、種々の洋上の工学的設備（洋上風力など）に益することを期待する。

### 8.1.4 HSE マネジメントシステム

事業会社における HSE マネジメントシステムとは、①必要な HSE 関連文書（規則、要領、指針等）の作成、②HSE 組織の整備、③HSE 教育訓練、④定期的な HSE 監査や HSE レビューの実施、および各種の HSE コミュニケーション活動を中心に、APDCA サイクルを意識し、HSE の継続的改善を行うものである。

マネジメントシステムにおける仕組み・ルールは全て図書（①）に記載される。図 8-1-5 に事業会社における HSE の図書体系の一例を示す。次に、各組織における役割・責任や HSE 専属の組織の追加など、ルール通りに各要素が動くための組織作りを行う（②）。ルールの順守を確立するためには、なぜルールがあるのかという背景を理解す



## 第8章 プロセスセーフティ

るための教育(③)とルール通りに作業するための訓練(③)が必須である。これらの後、第三者による定期的なルール順守の状況確認(④)を行う。この確認作業にて、固有の改善が必要となる場合もあれば、ルールの改善①に立ち戻るケースもある。また、実際に事故が起きた場合は、①から④の全ての過程で、不備もしくは改善事項がないか確認する。

図8-1-6に一事業会社におけるHSEマネジメントシステムの構成要素を示す。マネジメントシステムとは組織の経営者が目標を達成する手段であるため、リーダーシップ(四つの原則の一つ)は、HSEマネジメントシステムにおいても、原点となる。これがないとルールは形骸化し、いつしか守られなくなる。要素3は、組織作りと各要素に求める役割を明確にし、その役割を果たすために求められる能力を定めるものである。能力を評価し、不足している能力は、教育・訓練で補う。要素5の「リスクの評価と制御」とは、HSEリスクを全て洗い出し、全てのリスクを合理的に達成可能な限り低減するものである。

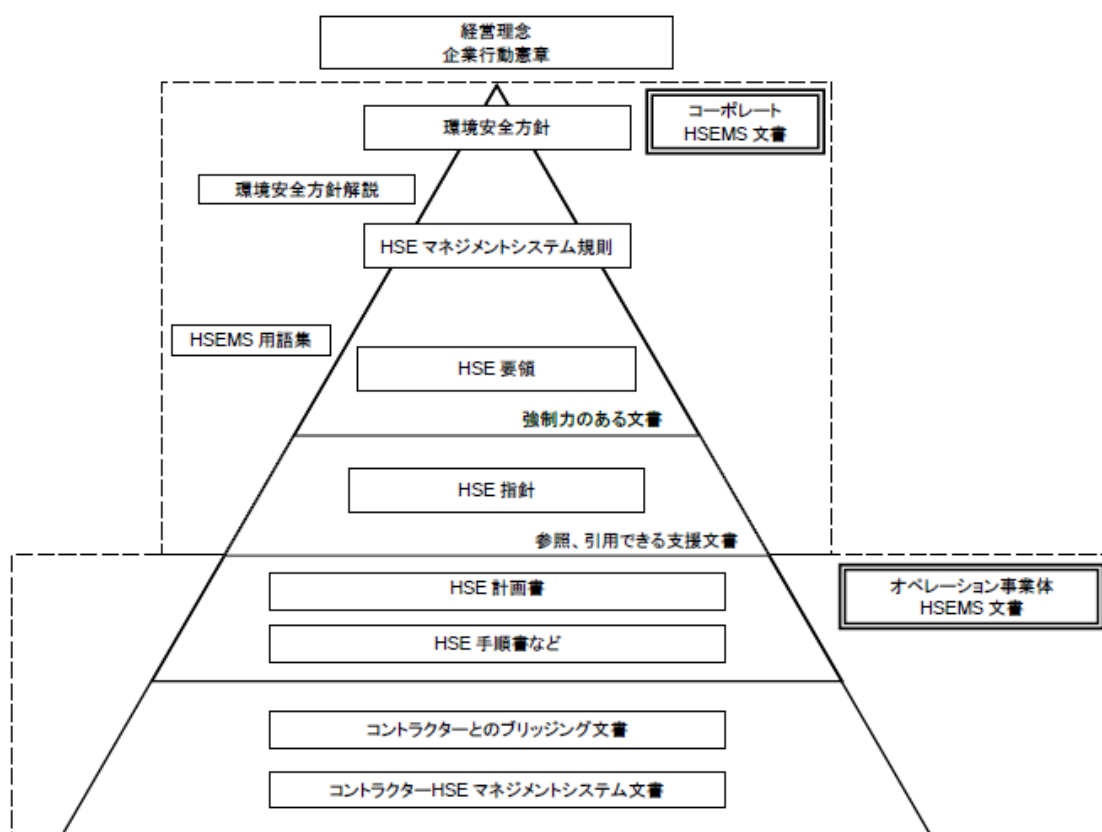


図 8-1-5 HSE マネジメントシステムの図書体系例 [5]

第8章 プロセスセーフティ

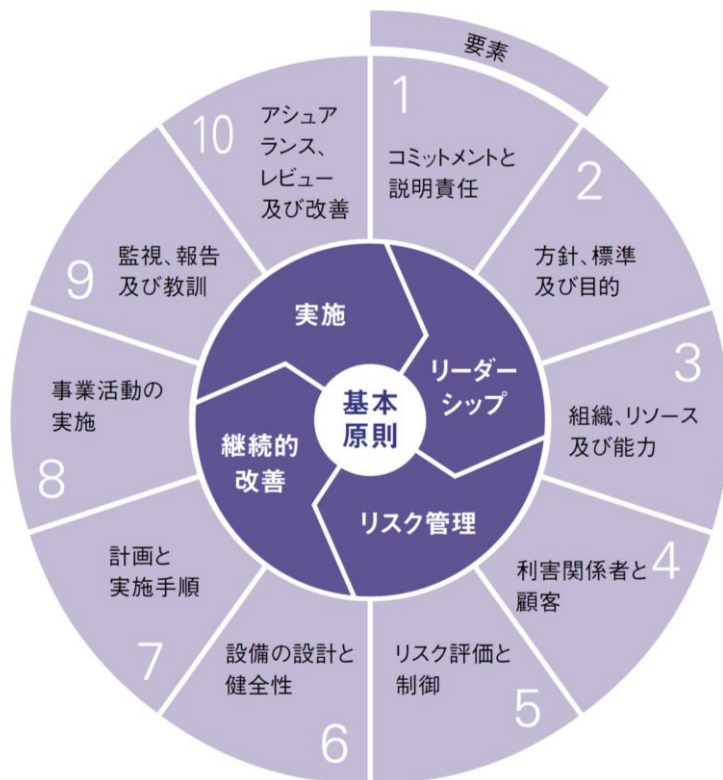


図 8-1-6 HSE マネジメントシステムの構成図例 [4][6]

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.1.5 ハザードに対するバリアの特定と情報の整理

「8.1.2 リスクとは」で、「ハザード」と「影響」について説明した。事業を遂行する上で HSE 上のハザードを網羅的に特定し、その影響を検討・評価することは、HSE 管理の出発点である。次に行うべきことは、特定したハザードに対するリスク低減策（本図書ではバリアと呼ぶ）を特定し、そのバリアの健全性を維持することである。本節では、特定したハザードに対するバリアの特定および情報の整理方法の一例を示す。

まず、ハザードが開放される最初の事象（制御を失った状態）を定める。これを頂上事象(Top Event)とよぶ。例えば、原油を運送するローリー車を例とすると、ハザードはローリー車の中にある原油であり、頂上事象は原油の漏洩である。次に、その頂上事象を引き起こす原因となりうる脅威を特定する。上の例では、滑りやすい路面（転倒、衝突後の漏洩）が脅威となる。次に、頂上事象発生後、起きうるワーストケース（影響）を検討する。上の例では、火災による死亡事故が影響となる。この例を図としてまとめると図 8-1-7 のようになる。



図 8-1-7 ハザード、頂上事象、脅威、影響の例

次に、各脅威に対し、頂上事象の発生を防止するバリアを特定する。上の例では、滑りやすい路面に対し、雪道対策（ルート、タイヤ、運搬を停止する気象レベルの設定など）が、頂上事象に対する発生防止バリアになる。最後に、頂上事象が発生した後に影響を緩和するバリアを特定する。上の例では、原油漏洩時の緊急時対応マニュアルや訓練などがあたる。今まで述べた、ハザード、頂上事象、脅威、影響、バリアを全て図示すると図 8-1-8 のようになる。図が蝶ネクタイに似ていることから、ボウタイ分析 (Bow-tie Analysis) と呼ばれている。ボウタイ分析は、ハザードに対するバリアを図示化

## 第8章 プロセスセーフティ

することで、ハザードに対するバリアの全体像の理解、各バリアの目的を理解するのに役立つ。ボウタイ分析は、重要なバリアの特定、コミュニケーション（従業員へのバリアの説明）、バリアの健全性の図示化、事故発生時に機能不全であったバリアの明示化など、多くの用途がある。図 8-1-9 にボウタイの例を示す。

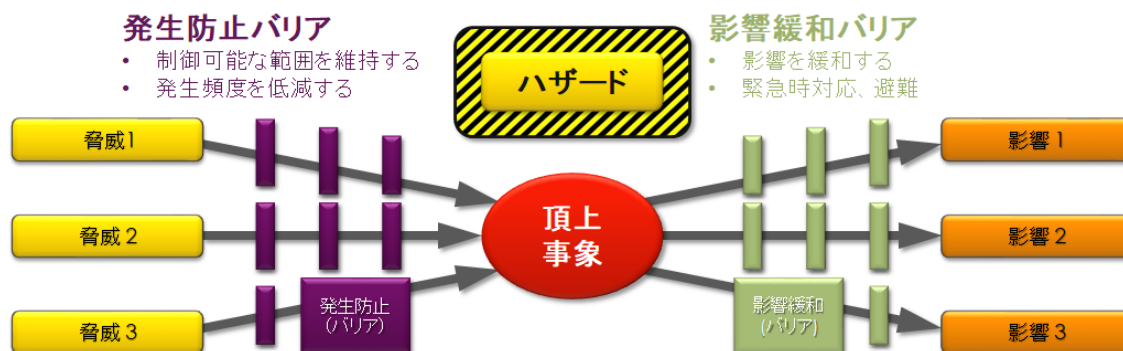


図 8-1-8 ボウタイ分析の概念図

### 「高所作業に携わる作業員」のボウタイ例

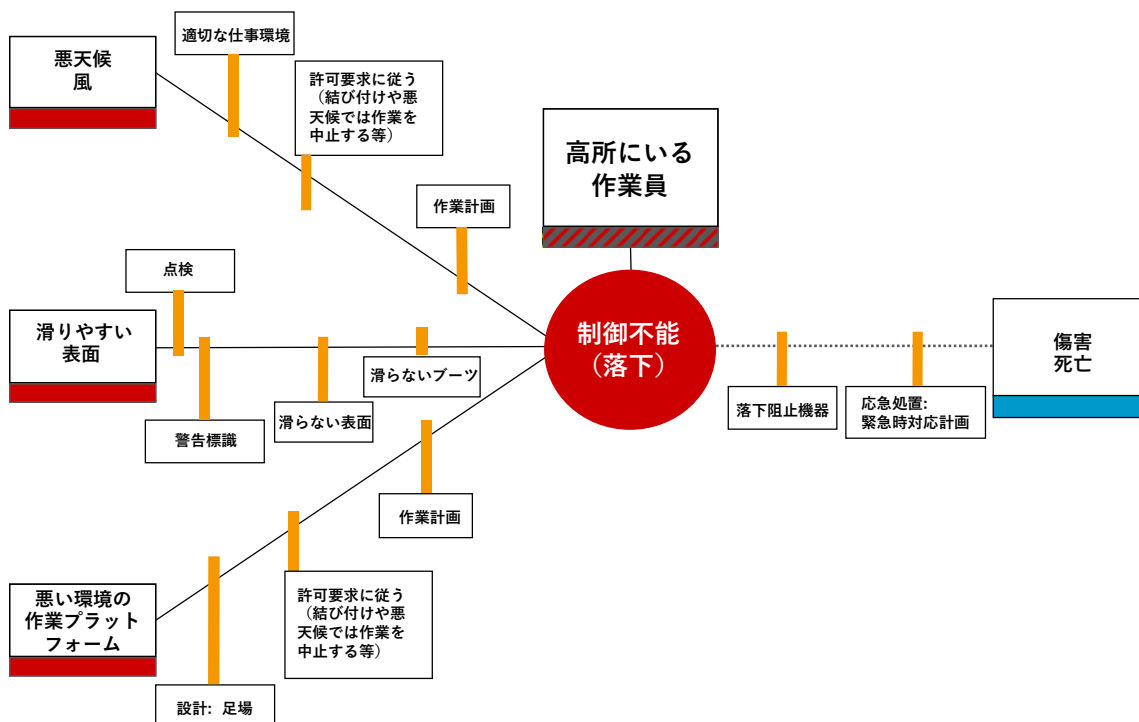


図 8-1-9 ボウタイ分析の例

特定したバリアの管理方法は、千差万別である。バリアが機器、システム、構造物などのハードウェアである場合、作業中の保守点検、設計・建設時の品質保証がバリ

## 第8章 プロセスセーフティ

アの健全性を維持する作業の一例である。バリアが人に頼る場合、手順書や教育・訓練などが健全性を維持するものの一例である。前節で述べたマネジメントシステムは、これらバリアの健全性維持をサポートするものと考えることができる。

IOGP(International Association of Oil & Gas Producer)は、事象、バリア、マネジメントシステムの関係を図 8-1-10 のとおりまとめている。

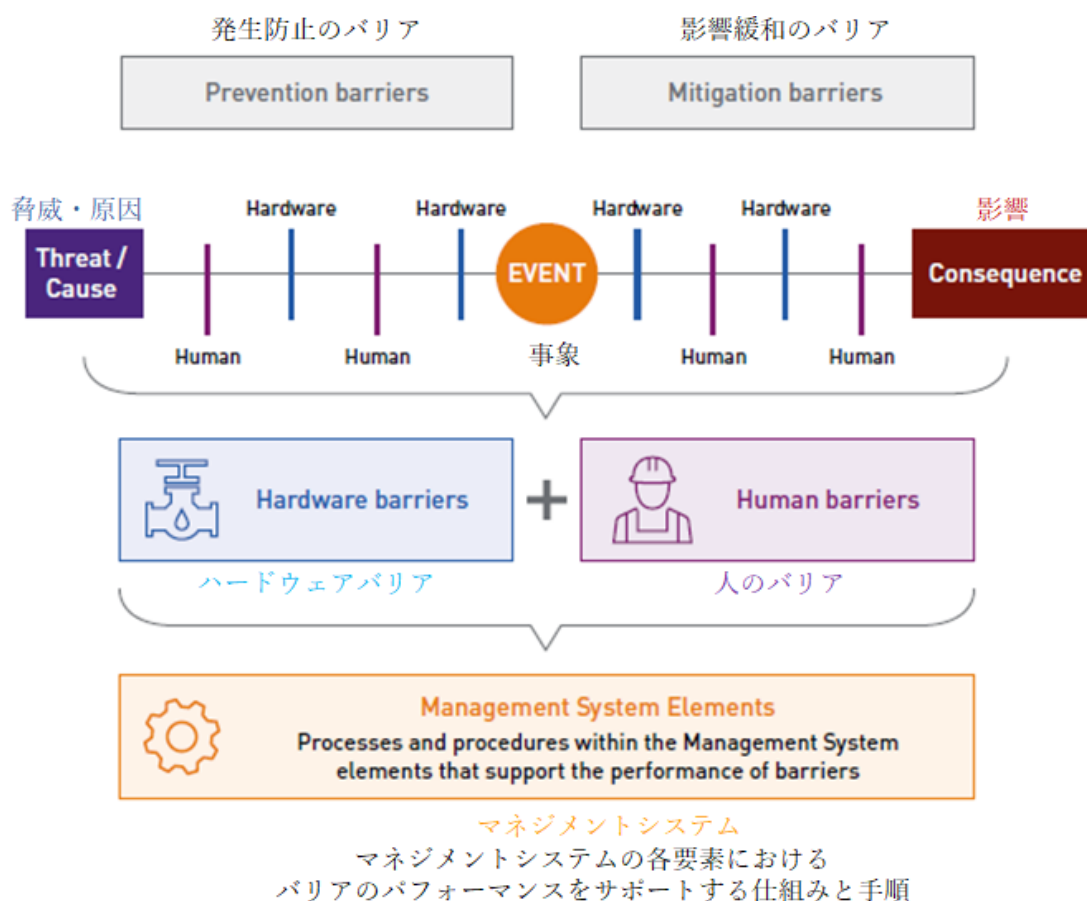


図 8-1-10 バリアの分類例 [10]

事象の発生頻度（リスク発生の可能性）と影響（結果のインパクト）に関する図 8-1-11 のような表をリスクマトリックスと呼ぶ。実際に使用する際は、このマトリックスの抽象的な文言を定量化もしくは明確化する必要がある。特定したハザードに対して、リスクマトリックスを用いて、リスクを定め、一元的に管理するのが望ましい。統一した尺度でリスクを評価することにより、より大きく資源を投入すべきリスクがどれか判断できる。

ここまでで述べた、ハザードに対するバリアの特定と情報整理の手法は、プロセスセーフティに限らず、広く HSE に適用できるものである。

## 第8章 プロセスセーフティ

	Negligible	Marginal	Critical	Catastrophic
Certain	High	High	Extreme	Extreme
Likely	Moderate	High	High	Extreme
Possible	Low	Moderate	High	Extreme
Unlikely	Low	Low	Moderate	Extreme
Rare	Low	Low	Moderate	High

図 8-1-11 リスクマトリックスの例（縦軸：頻度、横軸：影響の度合い）

出典) [https://en.wikipedia.org/wiki/Risk\\_matrix](https://en.wikipedia.org/wiki/Risk_matrix)

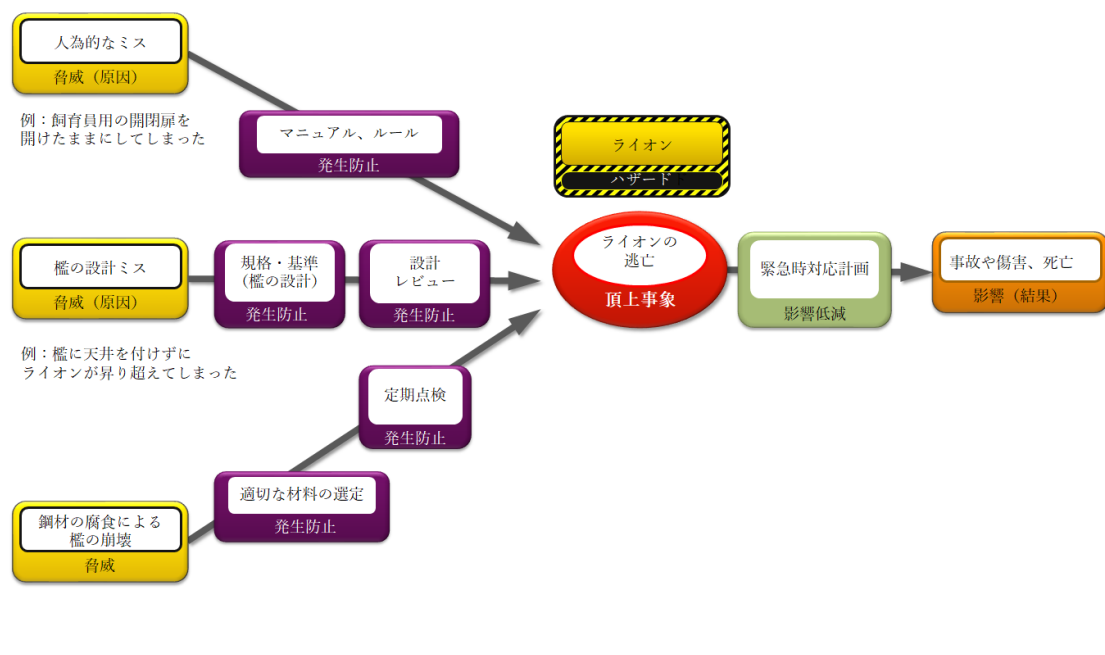
### コラム

#### 例題 1

あなたは動物園の新しいオーナーとなった。これまで動物園には羊とウサギしかいなかったが、より迫力のある動物園にするため、新しくライオンを飼いたいと思っている。以下の問いに答えながら、ライオンを飼うことにより新しく発生するリスクについて、ボウタイを作成せよ。

1. ハザード、頂上事象、起きうる最悪の事象（結果/影響）を特定せよ。
2. 何が望ましくない事象を発生させるか？どうすればそれらを防げるか？
3. もしライオンが逃げ出すとどうなる？その場合はどう対処する？

#### 答えの例



## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.1.6 プロセスセーフティ vs. 労働安全

プロセスセーフティ事故の結果が、火災、爆発、毒性ガス、洋上設備の沈没などによる人の傷害・死亡事故であるため、他の労働安全（落下、窒息、感電、交通事故、衝撃など）による傷害・死亡事故と同様に扱われてしまう懸念がある。しかし、死亡事故の発生に警鐘を鳴らす前段事象（軽微な事故）は、この二つで異なる。労働安全の前段事象は軽微な怪我であるが、プロセスセーフティの前段事象は設備の劣化・故障、軽微な漏洩などである。

また、発生頻度と影響の大きさを比べると、この二つは対称的である。プロセスセーフティは大きい影響で低い発生頻度であるのに対し、労働安全は小さい影響で高い発生頻度である。図示すると図 8-1-12 のようになる。これらの性質より、プロセスセーフティは、下記の特性を持つ。

- 経験しないため直観では分からない
- ハザードを特定するため、より強固な手法が必要である
- 重大な影響に対しては、より信頼性の高い安全設備が必要である
- 事故は、大きくかつその影響（環境影響など）は長期に渡る

上記で説明したように、従来プロセスセーフティは大きい影響で低い発生頻度と考えられてきたが、その発生頻度は、図に示すほど低くないのではないかという声が近年上がっている。図 8-1-13 は、石油ガス業界の上流事業における年間の死亡者数の平均値に対し、各要素の寄与を示したものである。プロセスセーフティ事象の寄与が一番大きいことが分かる。

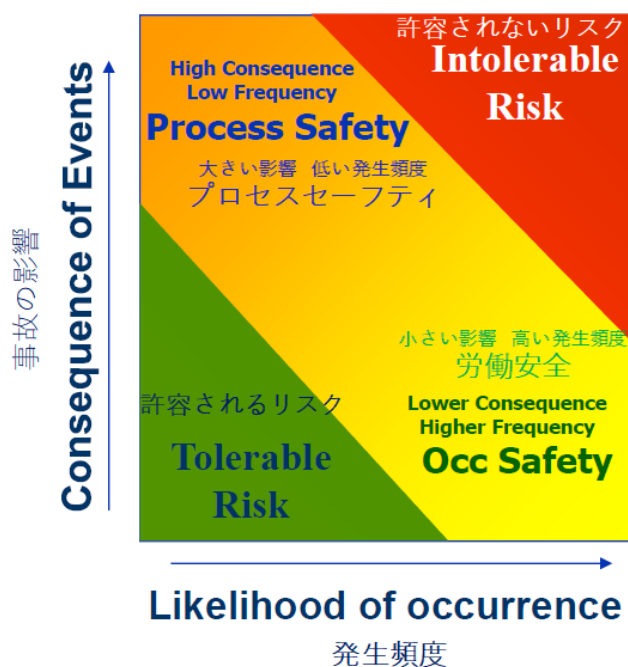


図 8-1-12 労働安全とプロセスセーフティの発生頻度と事故の影響

## 第8章 プロセスセーフティ

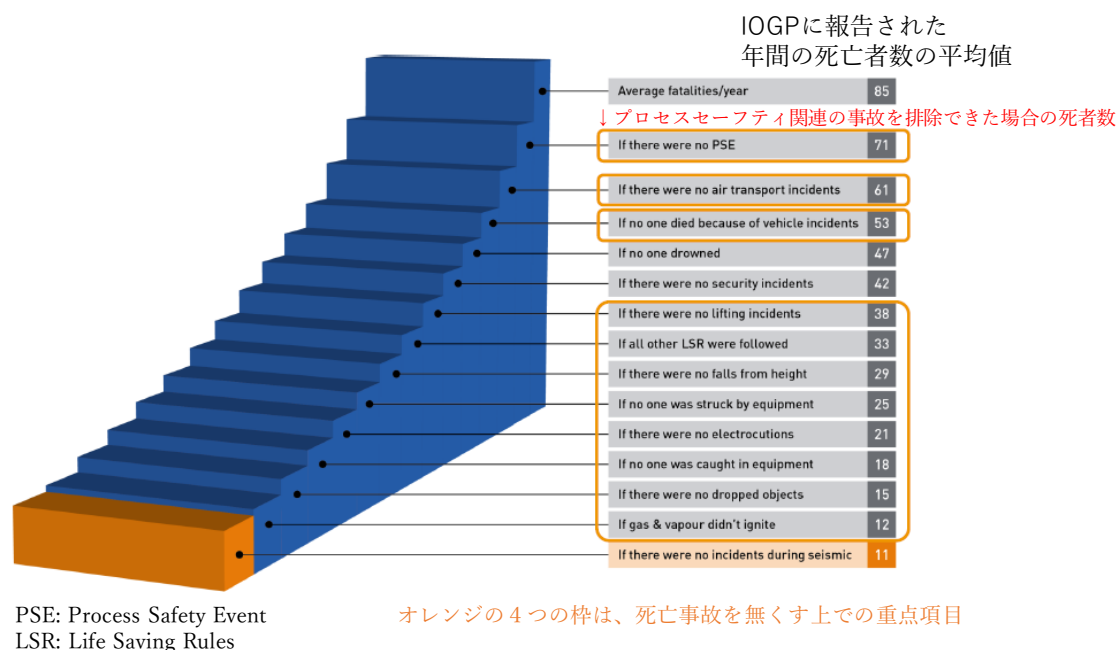


図 8-1-13 2010 年か 2015 年における IOGP に報告された死亡事故の内訳 (staircase 表示) 'Project Safira'[7]

### 8.1.7 重大事故の事例

百聞は一見に如かず。多数の死亡者、操業施設の大規模な損壊、環境への甚大な影響を引き起こした個別の重大事故について、事故調査報告書やインターネット上の画像・動画を見ることで、ハザードのエネルギーの大きさ、毒性の強さ、そしてプロセスセーフティの重要性を実感することができる。設備名と「Accident」をキーワードに、インターネットで検索すると多くの情報が出てくるので、一度見てみると良い。良質な報告書や動画については、参考文献を載せる。石油ガス産業界および化学物質を扱う産業界における重大事故の事例を以下に示す。

1974 年 Flixborough (英国) 化学工場、死者 28 名

炭化水素の漏洩による火災爆発。不適切な変更管理 (バイパスライン) などが原因。

1976 年 Seveso (イタリア) 化学工場、深刻な環境影響 (ダイオキシン)

この事故により重大事故に関する SEVESO 指令 (1982 年) が策定される。2020 年現在も、Seveso-III (Directive 2012/18/EU)[12]が EU に要求されている。

1979 年 Bohai No. 2 (中国) 石油ガス洋上設備、死者 72 名

強風によりポンプが損傷、穴があき沈没。

1980 年 Alexander L. Kielland (ノルウェー) 石油ガス洋上設備、死者 123 名

洋上の石油リグの宿泊向けプラットフォームの構造健全性の喪失による沈没。



## 第8章 プロセスセーフティ

- 1982年 Ocean Ranger (カナダ) 石油ガス洋上設備、死者 84 名  
嵐によりバラスト制御室が浸水し、浮力を失い沈没。
- 1983年 Drillship Glomar Java Sea (中国) 石油ガス洋上設備、死者 81 名  
台風による沈没。
- 1984年 Bhopal (インド) 死者数千人名 (産業界における最悪の事故と言われている)  
有毒ガスの拡散。イソシアン酸メチル貯蔵タンクに水が混入し、化学反応が起こり、過圧により爆発。この事故が、米国における OSHA PSM(29CFR1910.119) 規制を策定する契機に。
- 1984年 Enchova Central Platform (ブラジル) 石油ガス洋上設備、死者 42 名  
ブローアウトによる火災爆発。
- 1988年 Piper Alpha (英国)、石油ガス洋上設備、死者 167 名  
ポンプ 2 台中 1 台の点検のために安全弁を外していた。運転していたポンプが止まってしまった際に、点検中のポンプを動かしてしまい、油が漏洩、火災爆発。この事故により、セーフティケースの質の向上が要求された。
- 1989年 Seacrest Drillship (タイ) 石油ガス洋上設備、死者 91 名  
台風による強風により沈没。
- 1998年 Longford (オーストラリア) 天然ガス生産設備、死者 2 名  
熱交換器の脆性破壊 (低温から高温) による炭化水素の漏洩、火災爆発。この事故によりビクトリア州は重大危険設備に対する規制を開始。
- 2001年 Toulouse (フランス) 化学工場、死者 31 名  
硝酸アンモニウムの爆発。
- 2001年 Petrobras 36 (ブラジル) 石油ガス洋上設備、死者 11 名  
過圧による爆発と炭化水素の漏洩、爆発。
- 2005年 BP Texas City (米国) 製油所、死者 15 名  
スタートアップ時に、液位計の不良などにより、炭化水素液体がシステムからあふれ出し、火災爆発。The U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)より、本事故に対する良質な動画が作成されている。  
<https://www.csb.gov/videos/updated-bp-texas-city-animation-on-the-15th-anniversary-of-the-explosion/>
- 2005年 Buncefield (英国) 石油貯蔵設備、大規模な設備の損壊  
液位計の不良などにより、タンクから油が溢れ出し、火災爆発。  
英国規制当局より、良質な事故調査報告書が一般公開されている[11]。
- 2005年 Mumbai High North (インド) 石油ガス洋上設備、死者 22 名  
サポートベッセルがライザー (水中からの石油ガスの配管) に衝突し、火災爆発。
- 2007年 Usumanchita Jack-up (メキシコ) 石油ガス洋上設備、死者 91 名

## 第8章 プロセスセーフティ

強風により構造物が石油ガスの配管に衝突し、火災爆発。

2010年 Deepwater Horizon (米国) 石油ガス洋上設備、死者 11 名

ブローアウトによる火災爆発。石油流出による大規模な環境汚染。この事故により、EUにて European Offshore Directive [43]が策定された。

2012年 Amuay refinery (ベネズエラ) 製油所、死者 47 名、炭化水素の漏洩爆発

2015年 天津滨海新区倉庫 (中国) 危険物倉庫、死者 165 名

シアン化ナトリウムの漏洩、火災爆発。消防隊員が、発火したコンテナに放水作業を行ったことが二次被害に繋がっているとみられる。

2015年 Gunashli Platform No.10 (アゼルバイジャン) 石油ガス洋上設備、死者 12 名 (行方不明 18 名) 嵐により水中のガスパイプラインが損傷し、ガス漏洩、火災爆発。

2018年 Oklahoma Rig (米国) 陸上の掘削リグ、死者 5 名

炭化水素の漏洩、火災爆発。

2020年 ベイルート (レバノン) 倉庫、死者 192 名

硝酸アンモニウムの爆発。

2010年 Deepwater Horizon 以降、重大事故が起きていないのではないかという指摘があるが、それに反論するデータを図 8-1-14 に示す。これまで示したように、重大事故は絶えず起きており、他人事と考えてはいけないことが分かる。

WHEN	WHERE	ACCIDENT DESCRIPTION	IMPACT
27/10/2016	IRAN/CASPIAN SEA	HELICOPTER CRASH AT SEA NIOC	5 fatalities
24/10/2016	RUSSIA/SIBERIA	HELICOPTER CRASH ON LAND ROSNEFT	19 fatalities
16/12/2016	AZERBAIJAN/CASPIAN SEA	PLATFORM COLLAPSE SOCAR	1 fatality, 9 missing, Total loss of platform
26/09/2016	ANGOLA	HELICOPTER CRASH AT SEA CHEVRON	6 fatalities, 1 helicopter
29/04/2016	NORWAY	HELICOPTER CRASH AT SEA	13 fatalities, 1 helicopter
04/12/2016	AZERBAIJAN/CASPIAN SEA	HIGH PRESSURE SUBSEA PIPELINE DAMAGED/WEATHER SOCAR	32 fatalities
01/04/2015	MEXICO OFFSHORE	FIRE INSIDE 6 PLATFORMS COMPLEX / CORROSION PIPELINE PEMEX	4 fatalities, 3 missing, > 1 Billion \$ property and production loss, massive oil spill
11/02/2015	BRAZIL OFFSHORE	EXPLOSION INSIDE FPSO HULL, PROCEDURAL, DESIGN PETROBRAS	9 fatalities, 28 Injured, > 1 Billion \$ property and production loss
24/08/2013	UK	HELICOPTER CRASH WHILE LANDING TOTAL	4 fatalities, 12 injured and 1 helicopter
07/01/2013	ANGOLA	JACK UP SINKING/CAPSIZE	1 missing, 182 Million \$ property damage
04/12/2011	MEXICO OFFSHORE	FLOTEL SINKING PEMEX	Total loss of Flotel 160 Million \$
18/09/2012	MEXICO ONSHORE	ONSHORE GAS PLANT REYNOSA PEMEX, EXPLOSION VCE	31 fatalities, 42 Injured
02/04/2011	UK	FPSO 10 ANCHORS FAILURE DUE TO STORM WEATHER	450 Million \$
05/13/2010	VENEZUELA	DRILLING RIG SINKING	235 Million \$
21/04/2010	US GULF OF MEXICO : MACONDO	DEEP SEA BLOW OUT BP	11 fatalities, 5 million barrels to sea, > 62 Billion \$

図 8-1-14 Deepwater Horizon 以降の重大事故の例 [8]

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.1.8 プロセスセーフティマネジメントの要素

様々な組織が、重大事故の防止・影響緩和に重要なプロセスセーフティマネジメントの項目を整理している。これらの項目は一般的に要素（Element）という呼ばれ方をしているので、本書でも同様の呼び方をする。

米国では、労働安全衛生局（Occupational Safety and Health Administration（OSHA））が、プロセスセーフティマネジメントの規格として 29 CFR 1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals[13][14]を発行した。これは OSHA PSM と呼ばれている。要求されている要素は、プロセスセーフティ情報、プロセスハザード分析、運転手順書、従業員の参加、トレーニング、請負業者、スタートアップ前の安全レビュー（Pre-Startup Safety Review）、機械の健全性（Mechanical Integrity）、火気作業の作業許可、変更管理、事故調査、緊急時対応と計画、コンプライアンス監査、Trade Secrets（経営側はプロセスセーフティ管理に必要な情報は全て担当者に開示する必要がある）である。また、米国 Center for Chemical Process Safety（CCPS）が「リスクに基づくプロセスセーフティのためのガイドライン Guidelines for risk based process safety (RBPS)」[15]にて、4つの重点項目と 20 の要素を説明している（図 8-1-15）。米国におけるプロセスセーフティマネジメントの歴史と RBPS の概要については、日本の化学工学会（SCEJ）から発行されている「リスクに基づくプロセス安全」[16]を参照するとよい。

<p><b>（重点項目1）</b> プロセス安全を誓う</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. プロセス安全文化</li><li>2. 標準の遵守</li><li>3. プロセス安全能力</li><li>4. 従業員の参加</li><li>5. 利害関係者との良好な関係</li></ol>	<p><b>（重点項目3）</b> リスクを管理する</p> <ol style="list-style-type: none"><li>8. 運転手順</li><li>9. 安全な作業の実行</li><li>10. 設備の健全性と信頼性</li><li>11. 請負業者管理</li><li>12. 訓練と能力保証</li><li>13. 変更管理</li><li>14. 運転準備</li><li>15. 操業の遂行</li><li>16. 緊急時の管理</li></ol>
<p><b>（重点項目2）</b> ハザードとリスクを理解する</p> <ol style="list-style-type: none"><li>6. プロセス情報の管理</li><li>7. ハザードの特定とリスク解析</li></ol>	<p><b>（重点項目4）</b> 経験から学ぶ</p> <ol style="list-style-type: none"><li>17. 事故調査</li><li>18. 測定とメトリクス</li><li>19. 監査</li><li>20. マネジメントによるレビュー及び是正措置</li></ol>

図 8-1-15 RBPS のプロセスセーフティマネジメントの要素

英国の Energy Institute が発行している High Level Framework for Process Safety Management[17]という図書に、プロセスセーフティマネジメントに関する 4 つの重点項

## 第8章 プロセスセーフティ

目と 20 の要素が記載されている (図 8-1-16)。Energy Institute は、これらの各要素一つ一つに対し、指針を発行している (例：要素 1 に対し参考文献[18])。「8.3.2 項目毎にみるプロセスセーフティマネジメント」で各要素を紹介する。

<p>(重点項目1) プロセスセーフティでのリーダーシップ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. リーダーシップ、意思表示と責任</li> <li>2. 法的要求事項及び業界標準の特定と遵守</li> <li>3. 従業員の採用、配置及び能力、健康状態の確認</li> <li>4. 現場作業員の参加</li> <li>5. 利害関係者とのコミュニケーション</li> </ol>	<p>(重点項目3) リスク管理</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. 操業マニュアル及び管理手順書</li> <li>9. プロセス及び操業状態の監視と引継ぎ</li> <li>10. 操業上のインターフェース管理</li> <li>11. 業界標準及び業界慣行</li> <li>12. 変更管理及びプロジェクト管理</li> <li>13. 操業準備とプロセスの運転開始</li> <li>14. 緊急事態への準備</li> <li>15. 検査及び保守整備</li> <li>16. 安全上重要な装置の管理</li> <li>17. 作業管理、作業許可及び作業リスクの管理</li> <li>18. 請負業者、供給業者の選定及び管理</li> </ol>
<p>(重点項目2) リスクの特定及び評価</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. ハザードの特定とリスクアセスメント</li> <li>7. 文書・記録・知識の管理</li> </ol>	<p>(重点項目4) 見直しと改善</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>19. 事故報告及び調査</li> <li>20. 監査、健全性確認、マネジメントによるレビュー及び是正措置</li> </ol>

図 8-1-16 Energy Institute のプロセスセーフティマネジメントの要素

本節で強調したいことは、「8.2.4 様々なリスク評価の手法」にて後述する Hazard and Operability Analysis (HAZOP)やプロセス由来の火災爆発解析など、一部のプロセスハザード分析を行っただけでは、プロセスセーフティマネジメントを実施したと言えないことである。実際の操業で重大事故のリスクをコントロールするためには、上記の OSHA PSM、CCPS の RBPS、および Energy Institute の High Level Framework for Process Safety Management で示されているように多岐に渡る視点が必要となる。経営者から労働者全ての階層を含め、操業部門、保全部門、HSE 部門、請負業者、供給業者など多くの人が様々な要素に関連する。容易ではないが、その全員がプロセスセーフティの重要性を理解し、各々が役割を全うすることが求められる。また、多くの要素は、プロセスセーフティマネジメントという言葉が出てくる前から操業上存在していた。プロセスセーフティマネジメントの付加価値は、これら操業を取り巻く多くの要素に対し、重大事故という観点で横串を刺し、一元的に管理することである。

石油ガス産業界以外の洋上設備においては、重大事故のポテンシャルを持つ場合は、同様のマネジメント方法を採用することができる。もし、重大事故のポテンシャルを持たない場合においても、具体的なリスクと対峙する場合、分析で終わるのではなく、事業の全ての側面をマネジメントシステムという観点で俯瞰することを勧める。

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.2 セーフティケース

#### 8.2.1 はじめに（歴史、記載事項など）

英国を起源とするリスクベースのアプローチにおいて、最も重要な図書がセーフティケースである。セーフティケースは、施設が重大事故の発生を防止し、かつ重大事故発生時の影響を軽減するために十分な対策を施していることの証拠を示す図書である。別の見方をすると、施設が合理的に安全であると事業者が主張する図書とも言える。

セーフティケース作成で、重大事故、およびその発生防止策と影響緩和策の適切性を、秩序立ってレビューすることにより、安全操業をより確固たるものとすることができる。これは、セーフティケース作成時、およびその後も継続されるべきものである。

1970-1972年、英国における Robens ら[19]による労働安全衛生の審議（Inquiry）にて、法への順守だけでは安全を十分に確保できないため、事業者が安全に操業できる「Case (a convincing argument の意味)」を示す必要があると訴えた。この、事業者による自主規制という考えがセーフティケースの起源ともいえる[20]。この考えのもと1974年に制定された Health & Safety at Work Act 1974 [21]は、定められた目標を示し、その達成手段は事業者に自由度があるため、「Goal Setting Approach」、「non-prescriptive model」とも呼ばれる。

1988年、英国にて、生産した原油と天然ガスを石油基地などに送っていたオフショアプラットフォームのパイパーアルファにて大規模な火災が起き、167人が死亡するという凄惨な事故が起きた。パイパーアルファの事故を調査した Cullen 報告書（1990年）[22]は、当時のオフショアのセーフティケースは、質の改善が必要だと強調していた。これを契機に、セーフティケースによって、操業が安全であると自分自身で確認するためにフォーマルセーフティアセスメント（以降の節にて説明）を実施すべきとの考えが生まれた。このフォーマルセーフティアセスメントが現在においてもセーフティケースの根幹であり、この点で、Cullen 報告書が現在のセーフティケースの起源ともいえる。

セーフティケースの構成は、国、企業、対象設備によって異なるが、最も典型的な構成例を以下に示す。

1. 序論

セーフティケースの範囲、施設とオペレータの概要、規制など

2. 施設の記述

立地、環境条件、施設の主要機能、勤務体制と人員配置、危険物の保有量、安全設備など

3. HSE マネジメントシステム

4. フォーマルセーフティアセスメント

5. 安全操業の妥当性証明（Justification）

証明すべき内容の例は以下のとおり。

- 人と環境へのリスクが ALARP（合理的に可能な限り低い状態）となるよ

## 第8章 プロセスセーフティ

うに措置をとっていること。

- 重大事故を管理する上で重要な対策に対して、適切な性能基準（次節にて説明）が定められていること。また、それを確認する方策があること
- セーフティケースの規制要求における原文、その指針の例については、英国における洋上設備に対するものを参照するとよい[23][24]。

### 8.2.2 キーワード

#### 重大事故

重大事故は、一般的には複数人の死傷者がでる事故とされている。石油ガス産業界における重大事故の定義の例を示す。

操業中の施設又はシステムが、以下に挙げる重大事故を引き起こす可能性のある状況になること：

- 施設内にいる者や作業従事者、又は関係者に複数の死亡者若しくは重傷者を出したり、環境に深刻な被害を与えたりするような火災、爆発、危険物質の漏洩
- 施設内にいる者や作業従事者に複数の死亡者又は重傷者を出す、作業活動に起因するその他あらゆる事象
- 施設又は付帯するプラント構造体に重大な被害をもたらす事故、又は施設の安定性のいかなる損失
- ヘリコプターと施設の衝突
- 施設に関連した潜水作業における生命維持装置の故障、潜水用ベルの離脱、又は潜水ベルや海底チャンバー内への潜水土の閉じ込め

#### As Low As Reasonably Practicable (ALARP)

ALARP とは現実的な範囲で最小限という言葉の頭文字を取ったもので、現実的な範囲とはリスクを排除若しくは削減するために必要な時間、投資額、人的資源といった費用とリスクの比較を考慮して決定される。図 8-2-1 に ALARP の概念を示す。残余のリスクに対し、許容限界と一般許容限界の二つの閾値が存在し、以下の三つの領域に分けられる。

- 許容不可

リスクが高く許容できない範囲。操業中に、あるリスクがこの領域にあると判定された場合には、リスクを許容範囲に収めるため早急に対応をしなければならない。

- ALARP なら許容

リスクが中間の範囲にあると判定された場合、あらゆるリスク低減策を検討し、リスクを ALARP まで削減していることを立証しなければならない。

- 広く許容

リスクが一般に許容される程度に低い場合、ALARP 立証は不要で、継続的な改

## 第8章 プロセスセーフティ

善プログラムに沿って、リスクの更なる低減努力を行えば良い。

ALARP の立証については、次項のフォーマルセーフティアセスメントの一部として説明する。

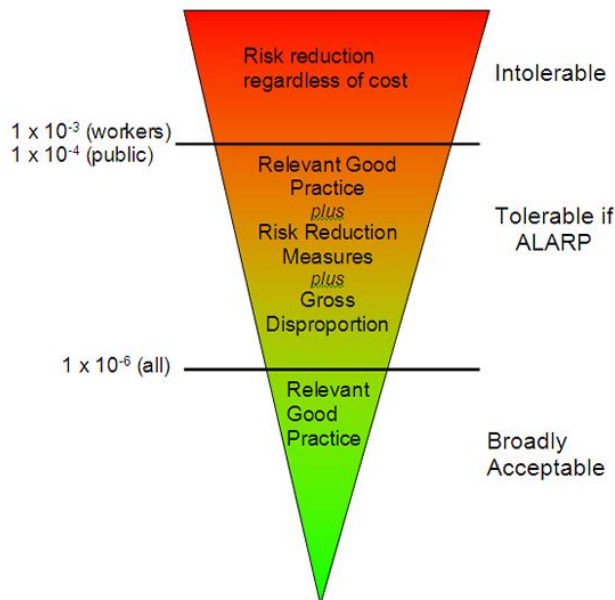


図 8-2-1 ALARP の概念[25]

### Safety Critical Element (SCE) (直訳：安全重要要素)

Safety Critical Element (SCE) とは、正常に機能しなかった場合に重大事故を引き起こす可能性がある、もしくは重大事故を防ぐ、または緩和する設備である。なお、上記に対して著しく寄与が高いものも含む。平たく言えば、プロセスセーフティ上重要なものを特定し、重点的に管理するための用語といえる。

次節にて説明するフォーマルセーフティアセスメントを実施した結果、SCE が定まる。特定した SCE に対し、以下の項目に対する要求を性能基準(Performance Standard)としてまとめる。

- 機能性 – 目的達成のために必要とされる SCE の機能は？
- 可用性(Availability)/信頼性
  - ✓ SCE は、いつ機能しなければならないか？
  - ✓ SCE の故障率の許容できる下限は？
- 生存性 – 事故時・事故後に、機能しなければいけないか？

性能基準の有用性は下記のとおりである。

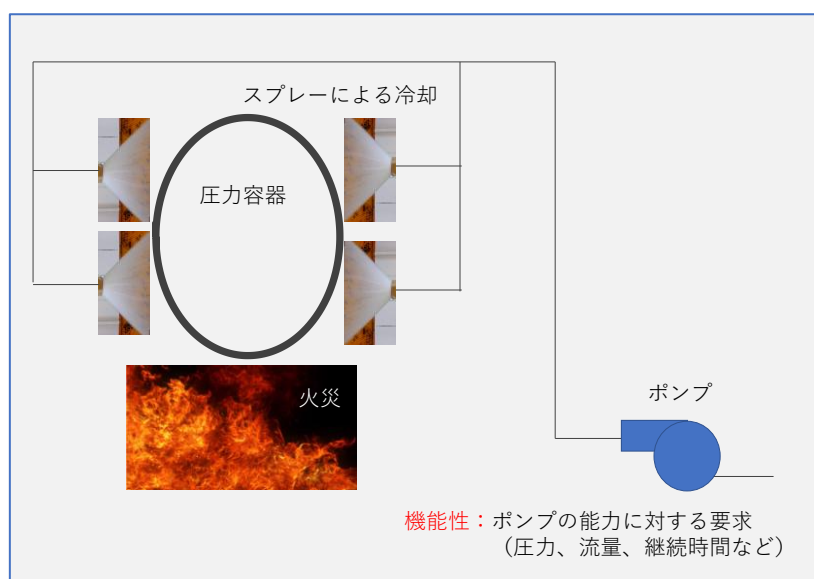
- SCE の性能基準策定により、プラントの安全操業にとって、どの機器のどの機能が重要か明確にし、プラント内で知識を共有することができる。
- SCE の管理において、保守点検項目と健全性の判断基準が整理できる。

## 第8章 プロセスセーフティ

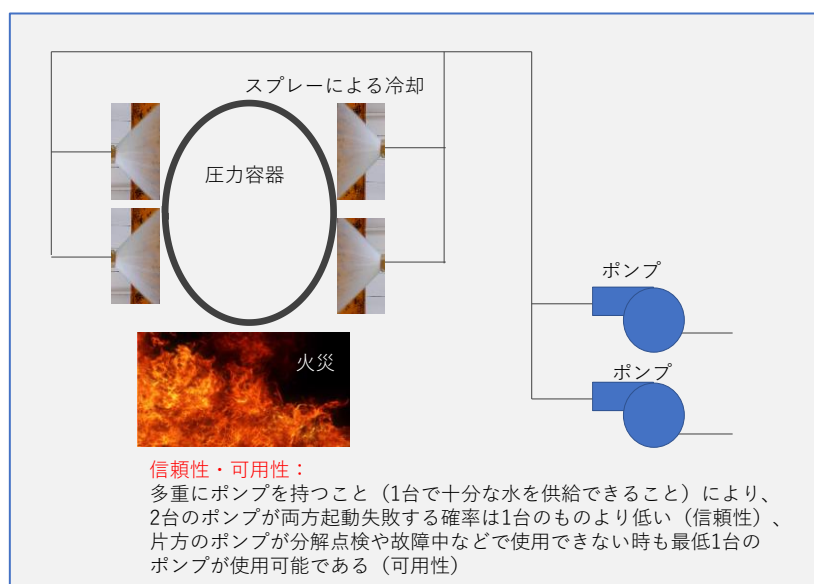
### コラム

#### 仮定の防消火ポンプを例とした機能性、可用性/信頼性、生存性の説明

圧力容器の中にハザードがあり、火災で圧力容器が熱せられ、壁面の温度がある一定以上に到達すると大きな爆発を起こす危険性があると仮定する。火災時にこの爆発を起こさせないため、圧力容器の側面に水をスプレーし、冷却するシステムがあるとする。この場合、水を供給するポンプに対する機能性、可用性/信頼性、生存性の例を図コラム-4から7に示す。

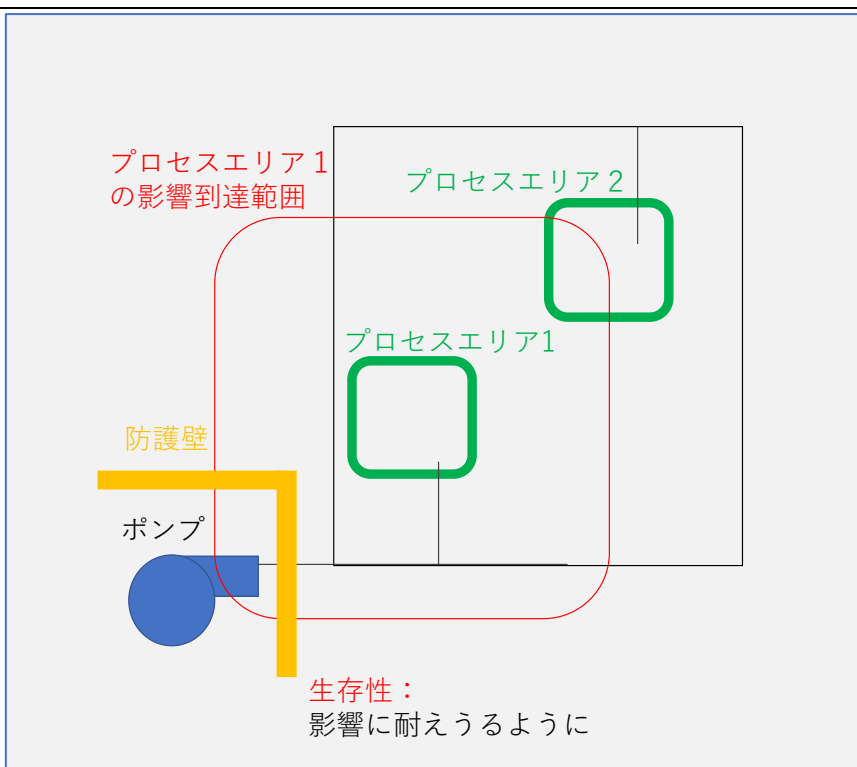


図コラム-4 機能性の要求に関する例

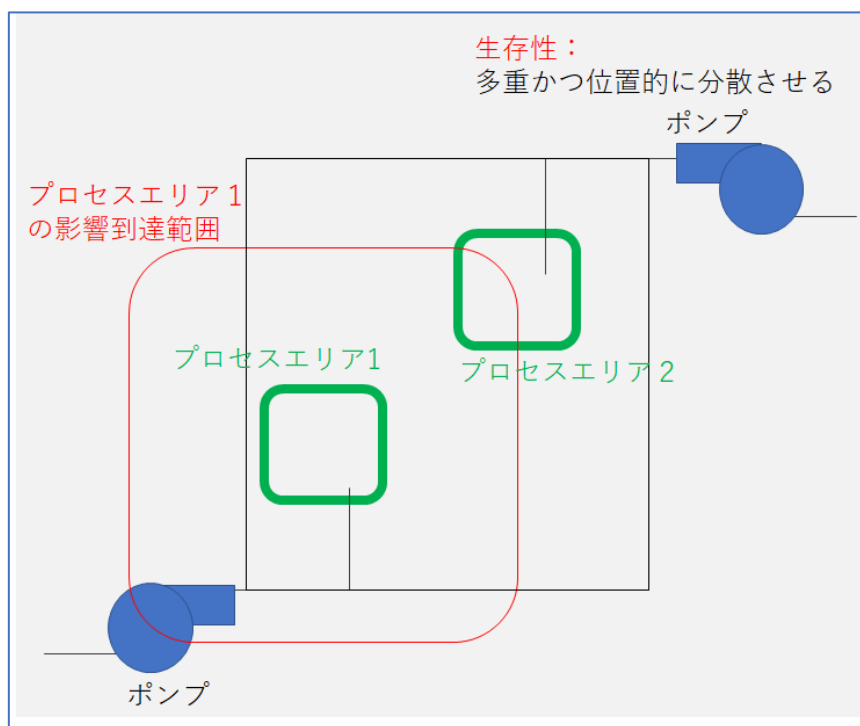


図コラム-5 可用性/信頼性の要求に関する例





図コラム-6 生存性の要求に関する例-1



図コラム-7 生存性の要求に関する例-2

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.2.3 フォーマルセーフティアセスメント

フォーマルセーフティアセスメントは、図 8-2-2 に示すように、以下の 5 つのステップで構成される。

1. ハザードの特定
2. リスクの評価
3. リスク低減策の選択肢
4. 費用対効果分析
5. 意思決定への推奨事項

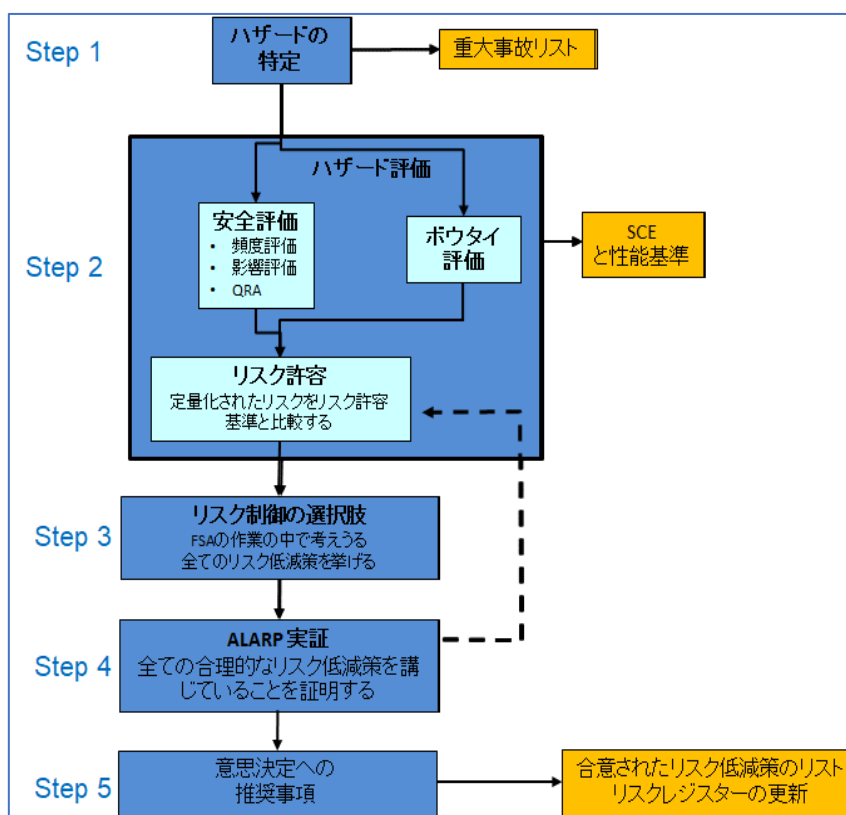


図 8-2-2 フォーマルセーフティアセスメントのフローチャート例

以下に各ステップを説明する。

**ステップ 1**にて、HAZID、HAZOP（「8.2.4 様々なリスク評価の手法」にて説明）などを用いてハザードを特定する。これらのうち、ハザードが引き起こしうる影響が、重大事故（Major Accident Event）の定義に当てはまるものを抽出する。別の言い方をすると、フォーマルセーフティアセスメントは重大事故に対して行う。

**ステップ 2**にて、特定した重大事故を詳細に分析する。ここでは、定量評価と定性評価

## 第8章 プロセスセーフティ

を含めた種々の安全評価を行う。リスクを定量的に評価するというのは、影響の大きさと発生頻度を両方とも定量化させることを意味する。例えば、火災爆発評価であれば、一次的な計算結果は、輻射熱(kW/m<sup>2</sup>)や爆風圧 (mbar) などである。二次的な計算結果として、人や物の脆弱性を追加で考慮することで、人や物への影響に落とし込むことができる。頻度については、発生頻度のデータベースを使う手法や、工学的判断に基づく半定量的な決定手法がある。定性的なリスク評価には、一般的に各重大事故に対しボウタイが作成される。

**ステップ3**にて、追加リスク低減策の必要性を検討する。

定量的に算出できる評価については、許容できるリスクのレベル（以降、「クライテリア」と呼ぶ）が事前に定められている必要がある。リスクに対するクライテリアは、特定の影響のある一定頻度以下に落とすことを要求するものである。以下に、クライテリアの例を示す。

### (ア) (特定の) 個人リスク

ある特定の個人（フィールドオペレーターなど）の全ての死亡リスクの総和に対するクライテリア。Individual Risk per Annum (IRPA)（直訳：年間個人リスク）という指標が Quantitative Risk Assessment (QRA)上用いられる。例えば、火災爆発による死亡リスクは、どの場所にどの程度滞在するかで決まる。労働安全に関するリスクは統計データなどから導きだされる。表 8-2-1 に、IRPA（年間個人リスク）の例を示す。UK Health and Safety Executive (UKHSE) では、本リスクの許容限界を従業員、公衆にそれぞれ  $1 \times 10^{-3}$ /年、 $1 \times 10^{-4}$ /年と定めている[25]。

表 8-2-1 Individual Risk per Annum (IRPA) の例

従業員グループ	Individual Risk per Annum (IRPA、年間個人(死亡)リスク) 単位 (/年)						合計
	炭化水素の漏洩、火災・爆発	構造健全性の喪失 (疲労、腐食、落下物、ヘリコプターの衝突など)	船舶の健全性喪失	船舶の衝突	従業員の移動 (ヘリコプター)	労働災害	
オペレーター	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$
メンテナンス	$6 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-4}$
クレーンオペレーター	$5 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-4}$
サポート人員 (主に船舶内の居住設備内で作業)	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-4}$

注) 仮想の石油ガス洋上設備 (Floating Production Storage and Offloading System (FPSO)) における IRPA を示す。

## 第8章 プロセスセーフティ

### (イ) 社会的リスク（不特定多数のリスク）

ハザードの保有するエネルギーや毒性が大きい場合、それが制御不能に陥った際、複数の人を巻き込むポテンシャルを有する。社会的リスクは、事故の発生頻度の累計と死亡者数の関係を示す F-N カーブを用いて表すことがある。F は Frequency 累計頻度、N は Number of Fatalities 死亡者数 (N) を示す。図 8-2-3 に、F-N カーブに対するクライテリアの例を示す。

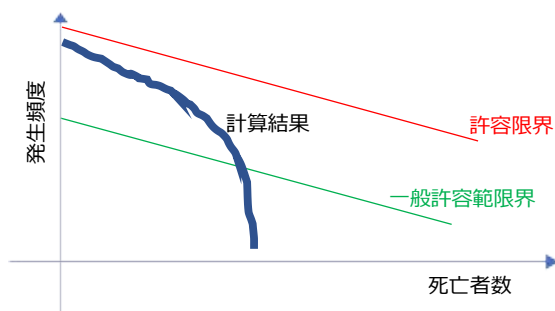


図 8-2-3 F-N カーブに対するクライテリアの例

### (ウ) 場所ごとのリスク

Location Specific Individual Risk (LSIR) は場所ごとの危険度を示す指標で、同一作業員が 24 時間・365 日ある特定の場所にいると仮定した場合に死亡する頻度である。LSIR の単位は各作業員の個別リスク (IRPA) と同じものであり、IRPA 計算の過程で算定される中間計算値でもある。図 8-2-4 に LSIR の例を示す。LSIR が、事業の境界線（購入する土地の範囲）のクライテリアとして用いられることもある。例えば、 $10^{-5}$ /年の LSIR のラインは事業者の敷地内になければならないのであれば、これを含むように土地を購入し、一般公衆が誤って立ち入らないようにフェンスを立てる設計ができる。

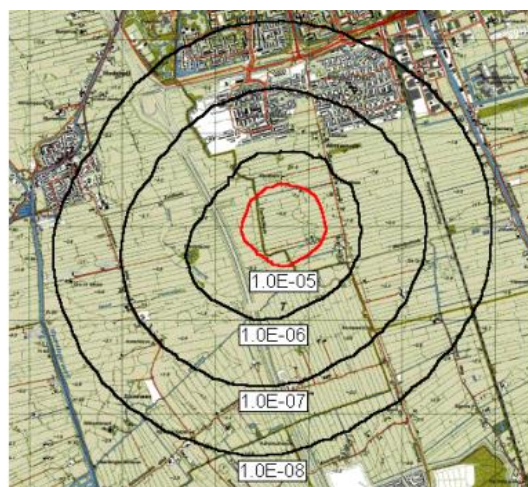


図 8-2-4 LSIR(Location Specific Individual Risk)の例 [26]

単位 ; /年、注 : コンターの中心にプラントがあると想定

## 第8章 プロセスセーフティ

### (エ) Manned Building (重大事故時に人がいる建屋) の崩壊リスク

重大事故時に人がいると想定される建屋（中央制御室、オフィス、避難シェルター）が崩壊すると、一定数の人が巻き込まれる可能性がある。そのため、このような建屋が崩壊する頻度(Impairment Frequency)に対し、要求を設ける場合がある。

### (オ) 著しいエスカレーションのリスク

LNG タンク、大規模な構造物の崩壊などが火災爆発などにより損傷することで、より著しく大きな 二次事象となる場合（エスカレーションという）、これらの発生頻度に要求を設ける場合がある。この場合、上記の建屋と同様に、要求する頻度における詳細な損傷評価（Impairment Analysis）を行う場合がある。

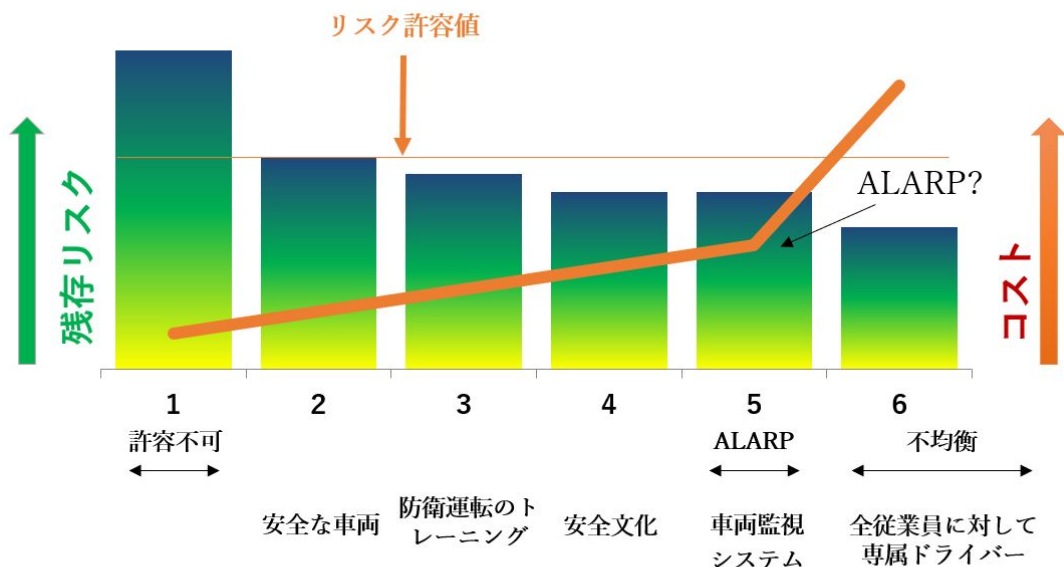
### (カ) 重大事故発生時に使用するシステムが重大事故により損傷するリスク

重大事故発生時に影響を緩和する目的で設置されている設備がある（消火設備、非常用発電機など）。これらの設備が重大事故により故障し使用できない頻度が高いのでは、有効な設備とは言い難い。そのため、上記の建屋と同様に、要求する頻度における詳細な損傷評価（Impairment Analysis）を行う場合がある。

定量評価結果を、このような事前に設定したクライテリアと比較し、追加のリスク低減策が必要となる。定性的にもボウタイ分析などを使用し、合理的に実施可能な対策が漏れていないか確認する。

**ステップ4**にて、重大事故のリスクが ALARP であること（合理的に可能な限り低い状態であること）を示す。ALARP 評価では、実施に必要な費用の総和と得られる利益のバランスを検討する。リスクが ALARP であるとは、追加のリスク低減策の費用が、リスク低減効果に不釣り合いな状態をいう(the sacrifice required to implement further risk reduction is grossly disproportionate to the benefits received)。図 8-2-5 に ALARP の検討例を示す。

ALARP評価の例: 車の運転



注: ヒストグラムの残存リスクの高さは、複数のリスク低減策実施後のリスク値を示している。例えば、ヒストグラムの3は、安全な車両と防衛運転のトレーニングを実施した場合、2は安全な車両の策を実施した場合の値である。

図 8-2-5 ALARP の例

ALARP であると主張するためには、考えるリスク低減策を特定し、各対策の適用が合理的に可能かどうか決めることが意思決定する必要がある。図 8-2-6 に、ALARP の意思決定方法を示す。

リスクのレベルや新規性により、意思決定の種類が三段階 (A、B、C) に分けられる。意思決定の手段は、この種類と影響度により異なる。以下に、各意思決定手段を説明する。

- 業界標準・基準  
 業界標準・基準は、国内外の操業を通じて得られた知識・経験によって定められている。法的要求事項が存在する場合には、これを完全に遵守していることも立証しなければならない。ALARP 立証の際には、業界標準・基準を一部の材料として考えるのが妥当である。リスク低減策が業界標準・基準に含まれている場合、通常はその対策を実施するか、等価な対策があつてそれが ALARP であることを立証しなければならない。
- Good Practice (良好事例)  
 Good Practice は業界標準・基準、工学的判断、操業経験等を統合したものである。政府・規制当局による指針、専門機関、標準を作成する組織など様々な情報

## 第8章 プロセスセーフティ

源が含まれる。Good Practice は、産業界、設備、時代（合理的に入手可能なテクノロジー）毎に異なる。

- 工学的判断  
設計、操業、保全等を通じて得られた経験と知識は、リスク低減のための対策措置を特定・評価に役立つものである。工学的判断を行う場合は、多くの分野の専門家を必要とする。
- リスク及び信頼性分析  
定量的なリスク評価は、意思決定を支援する材料とすることができる。先述したQRAを用いて、費用対効果分析（Cost Benefit Analysis(CBA)）を行うことができる。
- 企業価値  
企業価値を意思決定の尺度とするとは、企業の価値観（values）、誓約（commitments）、企業ブランド（image）を意思決定に反映することである。この場合、企業トップの判断を仰ぐ必要がある。
- 社会的価値  
社会的価値を意思決定の尺度とするとは、周辺地域を含めた社会が有する考え方（views）、懸念（concerns）、認識（perception）を意思決定に反映することである。実際の社外の認識、リスク懸念、利益等は、感情的要素やメディアの報道内容、過去の経験等によって、会社が考えているものとは異なっている場合がある。この場合、判断には外部の利害関係者の意見等も考慮しなければならない。

費用対効果分析は、リスクをALARPに低減していることを示すために有効な方法である。費用対効果分析では、費用、効果を金額で表し、これによって同一基準で対策案を比較検討できるため、意思決定の根拠が明瞭に理解しやすいものとなる。費用対効果分析の実施に際しては、追加のリスク低減策に必要な費用を全て特定し、この合計を計算する。同様に、その対策によって得られる全ての効果も特定して金額で表す。

人命の価値を金額換算しない手法も存在する。これは、如何なる金額の金銭でも生命に代えることは出来ないためである。別の言い方をすると、安全とその他のリスクを一律に扱うことを許容しない社会がある（我が国など）。しかし、既に述べたようにハザードがある限りリスクを0にすることはできない。人命へのリスクを削減するために際限なく投資を行うことは現実的にはできない。このため、安全に対するリスク低減策の費用対効果分析には、Implied Cost of Averting a Fatality (ICAF) を指標として使用する場合がある。しかし、人命を金銭で完全に補償することは出来ないことと同時に組織が有する経営資源は有限であることから、ICAFを絶対的な尺度として使用することは避けねばならない。これは、安全対策に対する費用対効果分析にも同様のことが言える。

## 第8章 プロセスセーフティ

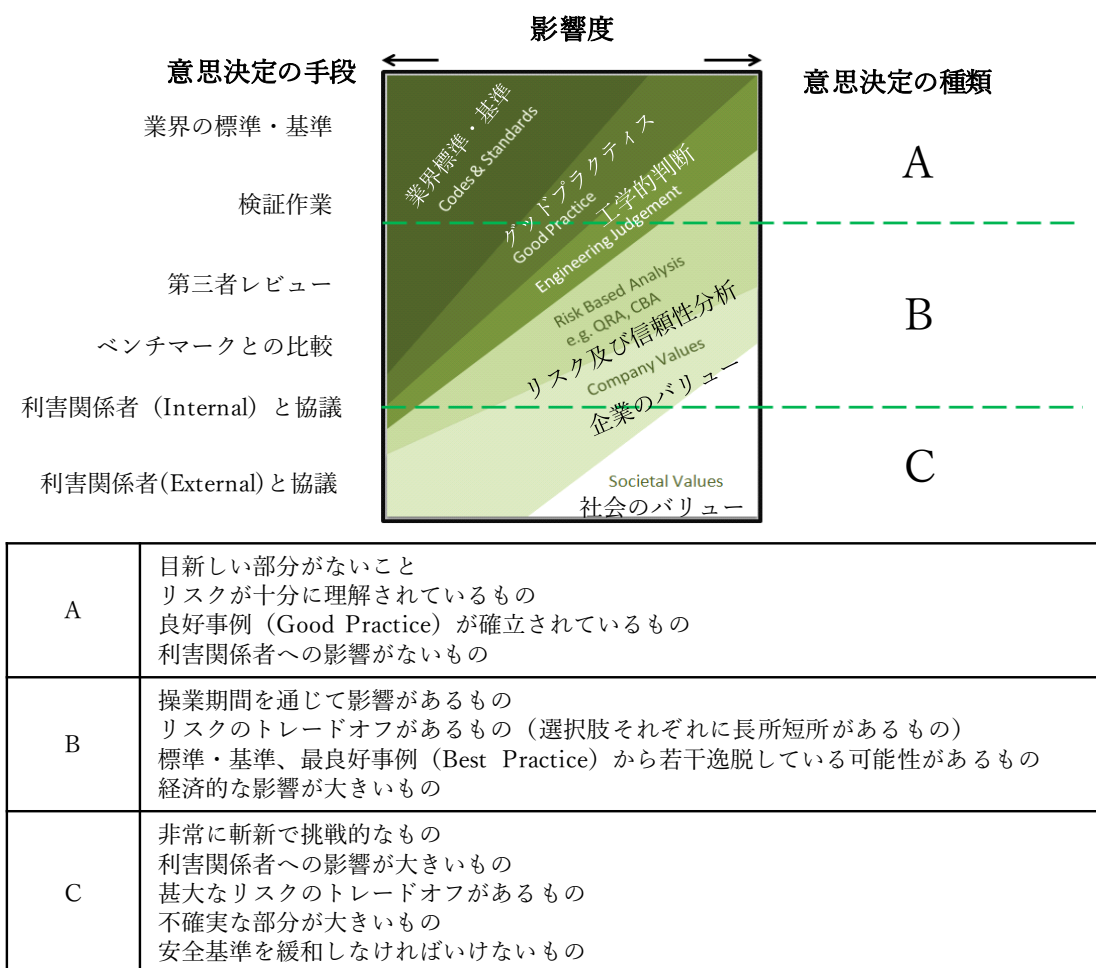


図 8-2-6 ALARP の意思決定方法 [28] [29]

**ステップ 5**にて、以下の点を示す。

- 体系的に、重大事故を起こしうる、合理的に予見可能な全ハザードを特定し、評価したこと。
- 人と環境へリスクを合理的に達成可能な限り低くする (ALARP) 対策がとられていること。(または、将来的にとること。)
- 重大事故の管理に必要な、重要な対策 (安全設備など) に、適切な性能基準が定められていること。それを確認する方策を持つこと。
- ハザード、関連するリスク、および各リスク低減策に関する情報が示されていること。



## 第8章 プロセスセーフティ

### コラム

石油ガス産業以外の洋上設備において、安全以外で費用対効果分析（CBA）を用いる場合を例として挙げる。ある事象 X が下記のとおり分析されたとする。

発生頻度：千年に一回（ $1 \times 10^{-3}$ /年）

プラントの余寿命：10年

影響：設備の大規模な損壊（10億円の損失）

プラントの残りの寿命において事象 X が起きる確率は、発生頻度と余寿命を掛け合わせて1%となる。1%で10億円の損失をするポテンシャルがあることは、1千万円の損失ポテンシャルがあるとも言える。ある対策 Y を施すことで、事象 X の発生頻度が  $1 \times 10^{-6}$ /年に低減できる場合、損失ポテンシャルは1万円になり、損失ポテンシャルは999万円減少したことになる。例えば、対策 Y の費用が100万円であれば、勿論実施した方が良いだろう。では、1億円かかる場合どう判断するか。この場合は、評価の不確実性を加味し、どこまで安全係数を考慮するかという話になる。このような判断は、事業主体ごとに異なるだろうが、複数のリスク低減策に同じ手法を用いることで、コスト効果が高いものを見つけることもできる。

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.2.4 様々なリスク評価の手法

以下の国際標準にて、多くのリスク評価手法が説明されている。

ISO 31010 Risk Management – Risk Assessment Techniques [2]

ISO 17776 Petroleum and natural gas industries - Offshore production Installations - Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment[9]

リスク評価手法には様々なものがあり、施設との相性のよい手法を選ぶべきである。ここでは、石油ガス産業界のセーフティケースにて実施されるリスク評価手法の一部を紹介する。

#### HAZID(Hazard Identification)

石油ガス産業界の HSE 上のハザードの特定には、一般的に HAZID(Hazard Identification)とよばれる体系的なブレインストーミング手法がある。重大事故を引き起こしうるハザードも HSE 上のハザードの一つである。

ハザードの特定において、最も重要なことは、網羅性である。HAZID では、様々な専門性を有する人をワークショップに集め、ガイドワードをたよりに、対象の操業・作業が有するハザードを特定する。ガイドワードを使用することで、過去の検討結果を活かせるとともに、最低限特定しなければいけないハザードの有無を確認できる。特定したハザードに対して、ハザードがもたらしうる影響と原因、リスク低減策などを検討する。

HAZID についてより詳しく知りたい場合は、ISO 17776 (Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Major accident hazard management during the design of new installations) [9]の C.2 および Appendix F を参照するとよい。

#### Hazard and Operability Study (HAZOP)

新規の技術が導入されて設計内容が複雑化していく潮流のなか、ハザードの特定と評価を体系的に行うことが求められている。HAZOP は各方面の専門家によるチームでハザードを特定する方法の一つであり、施設の設計・操業において生産プロセスに関連するハザードを特定する主要な方法となっている。

図 8-2-7 に HAZOP で用いるテンプレートを示す。HAZOP を行う際には、まず、対象設備を分析しやすいように分割する。分割された一つ一つのセクションをノードと呼ぶ。次に、各ノードに対する設計図書を収集し、基本情報（操業圧力、温度など）をまとめる。これらの準備が整った後、ワークショップに各方面の専門家を招集し、ノード毎に分析を行う。操業パラメータ（指標）に対し、ガイドワードをたよりに、設計意図からの逸脱が発生する可能性を特定し、これによって引き起こされる結果（例：圧力超過による炭化水素の漏洩、火災、爆発）を検討する。各シナリオに対し、既存のバリア（対策措置）を特

## 第8章 プロセスセーフティ

定し、追加のバリアが必要か検討する。

より詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

IEC 61882, Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) - Application Guide[32]

プロジェクト名前:		プロセスデータ:	PEFS:		Line	No.:		
		生産物						
		操業圧力 (最低/通常/最大)						
契約番号:		操業温度 (最低/通常/最大)						
		設計圧力・温度						
WBS 番号:		ノードの概要:	HAZOP 実施日:		ノード番号: 1 of 全ノード数 = 全 HAZOP 作業数 =			
乖離状態		原因 どのように? 発生の確実性は?	結果 保護装置の故障? その重要度は?	保護対策措置 HAZOP 前の設計で の対策措置は?	勧告・指摘事項 最大限、勧告に従う こと	追加作業		
指標	ガイドワード					担当者名	優先 順位	番号
圧力	超過							
	未滿							
流量	超過							
	未滿							
	否							
	逆流							
液面	超過							
	未滿							
	否							
温度	超過							
	未滿							

図 8-2-7 HAZOP のテンプレート例

### 影響評価(Consequence analysis)

特定したハザードに対する影響評価は、多くの場合、標準化された手法と合理的に入手可能なツールを用いて実施する。石油ガス業界における重大事故の影響評価は、日々進化する解析技術の恩恵を受け、簡易的に多くの事象を評価したり、リスクの高い事象に対して詳細に評価したりすることを可能としている。影響を与える物理現象の評価の例には以下のものがある。

- 火災爆発評価
- ガス拡散評価 (硫化水素などの毒性ガス、ベントからの排出など)
- 煙ガスの拡散・建屋への侵入評価 (Smoke and gas dispersion and ingress analysis)

また、物理的影響による構造物の健全性評価 (Impairment Analysis) の例には以下のものがある。

- (建屋・構造物に対する) 爆発風圧の影響評価
- 物質の衝突 (船舶衝突、落下物、飛来物など) の影響評価

石油ガス産業界のプロセスセーフティエンジニアになるのであれば、炭化水素の漏洩・火災爆発の物理現象、モデリングの手法、解析ツールなどを理解する必要がある。火災爆発評価の手法をより詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

CPR 14E, Methods for the calculation of physical effects – due to releases of

## 第8章 プロセスセーフティ

hazardous materials (liquids and gases) – (Yellow Book)[30]

### Quantitative Risk Assessment (QRA)

QRA (直訳すると、定量的リスク評価) は、影響評価と発生頻度の算出を組み合わせた評価手法である。例えば、火災爆発事象の頻度を検討する際には、漏洩頻度、風向き・風速の頻度、着火確率などの情報が必要になる。これらの情報と影響評価結果を組み合わせることで、場所毎に、被る輻射熱や爆風圧に対して、(結果 1) 各レベル (例: 12kW/m<sup>2</sup>、37.5kW/m<sup>2</sup>) に対する頻度を計算できる。さらに、人の脆弱性の情報を組み合わせれば、(結果 2) 場所ごとの死亡頻度を計算できる。既に説明した LSIR (同一作業員が 24 時間・365 日、ある特定の場所にいると仮定した場合に死亡する頻度) が、この結果 2 にあたる。場所ごとの平均の人員数を知ることができれば、(結果 3) 社会的リスクを、ある特定の個人の場所ごとの滞在時間を知ることができれば、(結果 4) 個人リスクを計算することができる。また、構造物健全性評価が必要なもの (例: 人が常駐する建屋、甚大なエスカレーションを引き起こす設備、緊急時に使用するシステム) の位置を知ることができれば、(結果 5) その対象物に対する輻射熱や爆風圧に対する超過頻度のカーブ (Exceedance Curve) を得ることができる。この超過頻度のカーブを用いて、ある一定頻度の重大事故に耐えうる設備を設計することができる (例: 10<sup>-4</sup>年の発生頻度にまで耐えうる中央制御室)。結果 3 の社会リスクを用いて、費用対効果分析 (CBA) を行うこともできる。

火災爆発以外のリスクも、発生頻度に関するデータベースがあれば、必要に応じて、イベントツリー解析やフォールトツリー解析などと組み合わせて、分析したい事象の発生頻度を概算することができる。

火災爆発に関する QRA について、より詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

CPR 18E, Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book)[26]

### 避難退避に関する評価

重大事故時の避難、退避に関して、洋上設備では Escape, Temporary Refuge, Evacuation and Rescue Analysis (ETREER)、陸上設備では Escape, Evacuation and Rescue Analysis (EERA) など複数の呼ばれ方で、評価がなされている。洋上の設備においては、退避の失敗により多くの人命が失われた事故が複数存在するため、本評価の重要性は特に高い。本評価では、重大事故が起きた際、施設内にいる人々が、異常に気付き、施設内の安全な場所 (Temporary Refuge, or Muster Point) まで避難(Escape)し、設備から退避 (Evacuate) し、レスキューされるまでの過程を分析し、安全設備の妥当性を確認する評価である。ここでは、一般に洋上設備に用いられる ETREER を説明する。ETREER の手順は次ページのとおりである。

## 第8章 プロセスセーフティ

- ETRER のゴールを定める（以下にて、より詳細に説明）
- ETRER 関連設備、重大事故の情報を整理する
- 重大事故の影響を評価する上で、ETRER 関連設備の損傷クライテリア (impairment criteria)を整理する
- 各重大事故に対し、ETRER のゴールが達成されるまでの過程における、ETRER 関連設備の有効性を評価する
- マスターポイントまでの到達時間、退避するまでの時間を計算する

ETRER のゴールの典型例を以下に示す。

ゴール 1	事故発生の周知	事故発生時に、施設内にいる全ての人が避難・退避の必要性があることに気付くための十分な措置がなされていること。
ゴール 2	避難	全ての重大事故のシナリオに対し、安全な場所にたどり着くための避難経路と非常用照明が備えられていること。
ゴール 3	一時避難場所 Temporary Refuge	全ての重大事故に対し、避難、状況確認、コミュニケーション、退避準備を行うための十分な時間、一時避難場所は健全性を維持すること。
ゴール 4	退避	施設内の全ての人が安全に、施設から退避できること。
ゴール 5	レスキュー	施設から退避した全ての人を安全な場所まで運ぶ備えがあること。

### Emergency System Survivability Analysis (ESSA)

ESSA は、重大事故発生後に使用する設備 (Emergency Systems) が重大事故時でも機能を維持するか(生存性: Survivability)評価するものである。事象のエスカレーションを防止する設備や避難・退避のために必要な設備などが主な対象である。設計時の想定が不足していると、いざ事故が起きた際、これらの設備を使用することができない可能性がある。平たく言えば、安全設備が「お飾りではない」ことを示すことが本評価の目的である。以下の順で生存性を評価する。

脆弱性	重大事故により損傷してしまうか (例: 火災・爆発による物理的損傷)。重大事故の影響に耐え、機能を維持する場合、以下の検討は不要である。
フェールセーフ	設備が故障することにより必要な機能を果たす場合以下の

## 第8章 プロセスセーフティ

(Fail-safe)	検討は不要である。(フェールセーフ設計の例：信号が途切れる事によって作動する緊急遮断弁、火災時にプラグが溶融し空気が抜けることにより作動する緊急遮断弁)
多重性と分散配置	同様の機能を有した設備を複数、位置的に分散して配置することで、単一の重大事故により機能を喪失しないよう設計すること。位置的な分散には、距離を離すこと、防火壁などにより隔離措置を行うことなどが対策となる。

より詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

ISO 15544 Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Requirements and guidelines for emergency response [31]

### Layer of Protection Analysis (LOPA)

LOPA は、直訳すると防護層分析である。図 8-2-8 に多重の防護層のイメージを示す。プラントにおけるある一つのパラメータに着目した場合、平常運転時であれば、計装制御システムなどによって、そのパラメータがある一定の範囲内に収まるよう運転が行われる。例として、ある圧力容器における圧力が上昇することを考えてみよう。何かしらの外乱によって、圧力が平常運転の範囲を超えてしまった場合、警報によって、その異常をオペレーターに認知させ、平常運転の範囲にパラメータを戻させる。これに失敗して、なお圧力が上昇する場合、異常を検知し、自動でプロセスを遮断する。それにも失敗し、圧力の上昇が続く場合には、ある一定の圧力にて、圧力逃がし弁が吹く。それにも失敗し、さらに圧力の上昇が続く場合には、いつしか圧力は、設計値を超え、圧力容器の実耐力を超え、破裂する。このように、起因事象（外乱）の発生に備え、防護層が存在する。LOPA では、起因事象の発生頻度（/年）、防護層・バリアの失敗確率（/デマンド）、およびその他の条件に対する確率（例：着火確率、影響範囲内に人がいる確率）を掛け合わせ、事象の発生頻度（/年）を計算する。一方、その事象の影響の大きさにより、発生頻度に対する要求が決まる。計算される事象の発生頻度（起因事象、各バリアの失敗確率とその他の条件に関する確率の積）が要求される頻度よりも低いことを確認する。

LOPA は、機能安全を有する計装システム（図 8-2-8 における「安全計装機能」）に求められる信頼性（Safety Integrity level(SIL)）を定めるための一つの手法である。安全計装機能とは、上の例でいえば、圧力が高いことを検知し、自動でプロセスを遮断する設備である。安全計装機能の設計・管理はプロセスセーフティ上重要な項目であるので、「8.3.2 項目毎にみるプロセスセーフティマネジメント」における要素 16 内「機能安全マネジメント」にて、より詳細に説明している。

上記の例で述べたようなシナリオは HAZOP にて定性的に検討される。LOPA は、そ

## 第8章 プロセスセーフティ

のシナリオに確率論を加えたようなものである。そのため、HAZOP のアウトプットを LOPA のインプットとして用いると効率的である。

LOPA について、より詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

AIChemE, CCPS Concept Book, Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment, Centre for Chemical Process Safety [33]

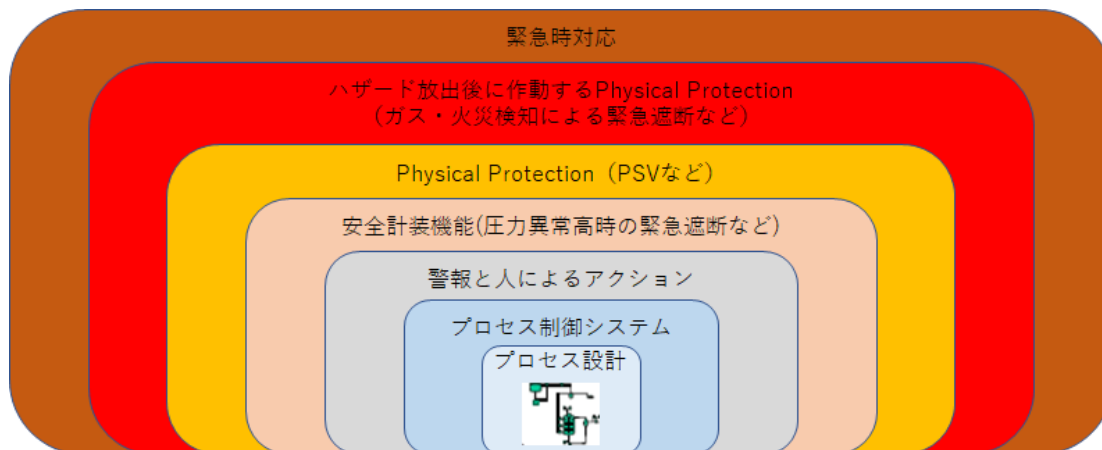


図 8-2-8 多重の防護層のイメージ

### コラム

#### 例題

下記の条件において、SIF-Y に求められる作動失敗確率を計算せよ。

- クライテリア：複数人の死傷者が生じうる火災爆発事象の発生頻度は  $10^{-5}$ /年以下しなければならない。
- 上記影響結果を導きうる起回事象 X の発生頻度は  $10^{-1}$ /年である。
- SIF-Y とは独立したバリア A は、 $10^{-2}$ /デマンド（起動要求を受けた際、100 回に 1 回失敗する）の故障率である。

#### 答え

SIF の作動失敗確率が  $10^{-2}$ /デマンド以下の安全設備を追加する必要がある。

起回事象 X の発生頻度、バリア A と SIF-Y の作動失敗確率を掛け合わせたものが、クライテリアとなうように計算すると、上記の値が得られる。

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.3 ライフサイクルを通じたプロセスセーフティマネジメント

#### 8.3.1 時系列でみるプロセスセーフティマネジメント

全ライフサイクルにて、設備の健全性を確保することは、プロセスセーフティマネジメントを成功に導く条件である。設計の早い段階から、プロセスセーフティを導入することで、より効率的に安全性を高めることができる。ハザードと人との距離をできる限り離すことは、安全性の向上に大きく寄与する。重大事故のポテンシャルを有する設備を人工密集地の中心に作るのがあり得ないという感覚とも一致するだろう。プラントの配置でいえば、オフィスなど常時人がいる建屋に対し、ハザードのレベルの小さいものから近くに配置していくことも効果的である。風向に関するデータをもとに、大量の可燃性物質を有する設備の風下（最も頻度が高い方角）に、フレアなどの着火源を設置しないことも有効である。リスクの高い洋上のプラットフォームであれば、作業中に人が常駐・アクセスする必要性を最小限に設計にすることも有効だろう。これらの例は、本質安全(Inherent Safety)と呼ばれるものである。安全設計の上で重要な概念である**本質安全**と**機能安全**を分かりやすく説明した記事[38]の抜粋を以下に示す。

##### <本質安全>

- ・機械が人間や環境に危害を及ぼす原因そのものを低減、あるいは除去する  
→鉄道为例にすると、線路と道路の交差部を立体交差にすれば、踏み切り上で事故に遭遇する可能性はない。

##### <機能安全>

- ・機能的な工夫（安全を確保する機能）を導入して、許容できるレベルの安全を確保すること  
→鉄道为例にすると、踏み切りの警報機や遮断機の設置（これらが設置されていても絶対的に安全とはいえないが、許容できるレベルの安全は確保している）

本質安全は、設計の早い段階で考慮すべきである。本質安全を初期に組み込んでいない設計では、後の設計で問題が発覚し、追加の安全設備の導入を強いられる可能性が高まる。図 8-3-1 に、バリア（リスク低減策）の種類に対する有効性を示す。本図の上にあるバリアほど効果が高い。本質安全は「除去」、「代替」、「隔離/分離」、機能安全は「工学的な防護措置」に主として含まれる。「組織的な対策」、「手順による対策」、「個人の保護具」などのバリアは、主に作業段階で実施するものだが、その上の4つのバリア（除去、代替、隔離/分離、工学的な防護措置）と比較すると効果は小さい。有効性の高いバリアを設計段階のできるだけ早期に組み込むことで、作業時の安全性は、より効率的に向上する。



## 第8章 プロセスセーフティ

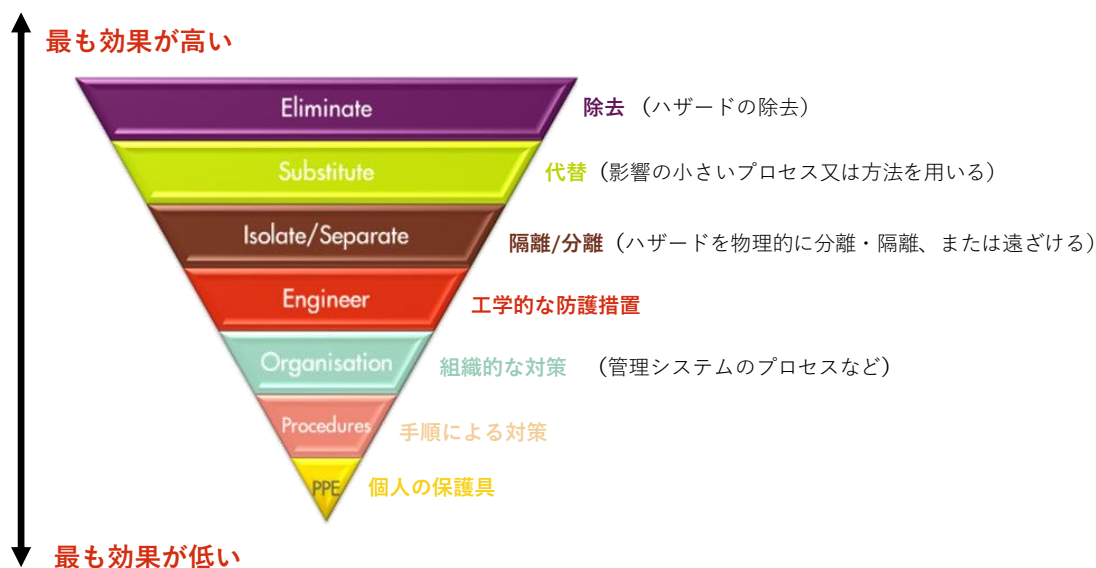


図 8-3-1 バリア (リスク低減策) の有効性

図 8-3-2 に、石油ガス産業界における典型的な操業のライフサイクルと、そこでの設備の健全性に関する概念図を示す。一般的には、操業開始に至るまでの設計・建設・試運転をプロジェクトと呼ぶ。プロジェクトは一般的に Assess、Select、Define、Execute の段階で構成され、プロジェクトにおける試運転完了後、プラントをスタートアップし、操業に移る。

**Assess** の段階では、プロジェクトの実現可能性を検討したり、実行可能な機会 (opportunity) を特定したり、戦略を練ったりする。この段階では、フォーマルな設備の健全性管理に関する要求はないことが一般的である。

**Select** の段階では、概念設計を行う。以下にこの段階での設備の健全性に関する実施項目の例を示す。

- 戦略、計画、ルールなどの作成
- 類似のプロジェクトにおける良好事例や教訓の整理
- 既存設備やマネジメントシステムとの整合性の確認
- 規制要求の確認
- 設備の健全性確保において重要な要素 (安全評価など) に関わる請負業者 (design contractor and additional sub-contractors) の能力要件の明確化 (例：入札案内 (Invitation to Tender (ITT)) において、プロセスセーフティ上の要求が満たされているか確認)
- 暫定的なリスク評価 (Preliminary Risk Assessment Studies) と重大事故の特定

**Define** の段階では、FEED を実施する。FEED とは Front End Engineering Design

## 第8章 プロセスセーフティ

の略で、基本設計のことを意味し、一般的には、設計を通して技術的課題や概略費用などを検討する。本段階にて、一連の安全評価を行い、SCE を特定し、暫定的な性能基準を定める。この性能基準は、次の段階における設計上の安全上の要求となる。

**Execute** の段階では、詳細設計、調達、建設、試運転を行う。**Engineering, Procurement and Construction (EPC)** コントラクターが一括してこの業務を引き受ける場合がある。詳細設計において、SCE と性能基準を完成させ、詳細設計、調達上の仕様が安全上の要求を遵守していることを確認する。建設や試運転時、細分化したシステムおよびシステム全体に対し、点検・試験を行い、記録を残すことを要求する。これらの確認項目に、SCE の性能基準が網羅されていることも重要である。セーフティケースを必須項目としている場合は、**Execute** の段階にて、設計セーフティケース (**Design Safety Case**)の作成も完了させる。品質は、プロジェクト（特に調達・建設）で組み込むべき重要な安全性である。SCE に関わる全てのコントラクターが、各々の品質管理が事業者のプロセスセーフティマネジメントの必要条件となっていることを理解すべきである。

一連のライフサイクルにおける設備の健全性管理は、設計の健全性、技術の健全性、操業の健全性という概念に分けることができえる。

**設計の健全性 (Design Integrity)** は、最初に設備が図書として具現化する際に以下の点を確認するものである。

- 設備に対する安全上の要求が明確になっていること
- その安全上の要求が、規制、業界、企業の規格・基準に適合していること

この健全性には本質安全 (**inherently safe**) の考慮、安全・環境上の目標の構築と（その）コミュニケーション、SCE と性能基準の特定なども含まれる。

**技術の健全性 (Technical Integrity)** は、設計が物理的なものとして具現化する際に以下の点を確認するものである。

- 設備に対する仕様（要求）が正確に理解されていること
- 基本設計で意図（要求）したとおりに、詳細設計、調達、建設、試運転が行われること

技術の健全性確保には、以下の点が必要となる。

- 品質管理と能力管理
- ‘as-built’ design (建設された設備に合わせて更新された図面)、試運転の記録、安全に運転できるパラメータの範囲などの図書の整備
- 故障モードの特定とそれを検知・防止するための保全方法の整備

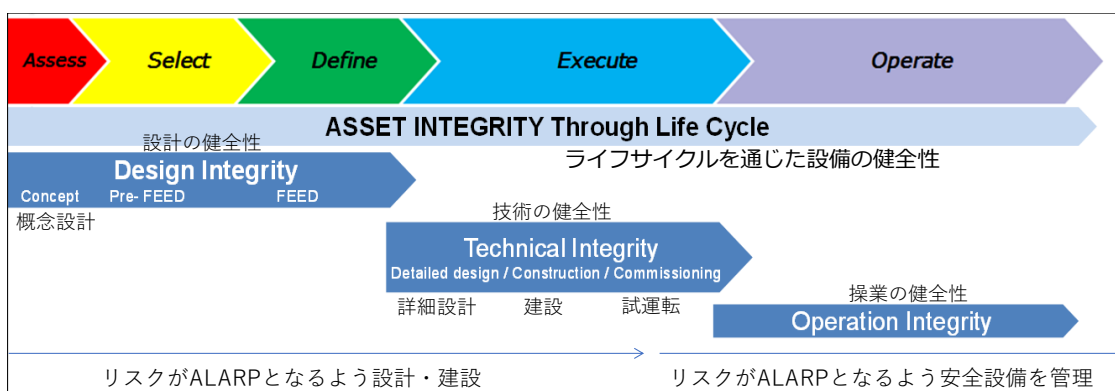
**操業の健全性 (Operational integrity)** は、設計・技術の健全性により構築された安全性を維持するために、以下の点を確認するものである。

- 規律のある（手順書を守った）設備の運用
- 設備の劣化の発見と改善

## 第8章 プロセスセーフティ

- 厳格な変更の管理

プロセスセーフティマネジメントが適切に実施されていることを確認するレビューを各プロジェクトの段階および作業中の一定間隔で行うことが有効である。これは、マネジメントシステムの APDCA サイクルを回すことにもつながる。また、プロジェクトにおいては、次の段階に進むための条件(gate)として設定することもできる。保証レビュー(Assurance Review)とよばれる厳しいレビューでは、プロジェクト・作業から独立した専門家がレビューを行う。保証レビューのスケジュールの例を表 8-3-1 に示す。



FEED: Front End Engineering Design

図 8-3-2 ライフサイクルを通じた設備の健全性

表 8-3-1 保証レビューのスケジュール例

レビュー	時期
保証レビュー #1	Select (概念設計/Pre-FEED) 段階
保証レビュー #2	Define (基本設計/FEED) 段階
保証レビュー #3	詳細設計段階
保証レビュー #4	建設段階
保証レビュー #5	プレコミッショニング (建設完了後の試運転前) 終了時
保証レビュー #6	スタートアップ前
保証レビュー #7	作業期間中 (2 年毎)

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.3.2 項目毎にみるプロセスセーフティマネジメント

「8.1.8 プロセスセーフティマネジメントの要素」にて説明した Energy Institute[17]が提唱する 20 の要素に沿って、ライフサイクルを通じて行うプロセスセーフティマネジメントについて説明する。

#### 要素 1：リーダーシップ、意思表示と責任

プロセスセーフティマネジメントの成功には、目に見えるリーダーシップが必要不可欠である。各組織のリーダーは、プロセスセーフティの基本方針を定め、見通しを示し、プロセスセーフティのパフォーマンス目標を設定するとともに、この達成に向けた組織体制を構築し、経営資源を提供する必要がある。プロセスセーフティに関連する設計、評価、活動（操業、保全など）は多岐に渡るが、各場面での意思決定の積み重ねが安全性のレベルに影響を与える。リーダーが、プロセスセーフティを重要視する姿勢を目に見える形で示し、目標を掲げることは、一つ一つの意思決定に大きな影響を与え、プロセスセーフティマネジメントのレベルを高めることになる。

米国における 2010 年 の Deepwater Horizon の事故では、爆発が起きた当日に、7 年間休業災害が出なかったことを祝うセレモニーが行われていた [1]。要素 19 でも述べるが、プロセスセーフティと労働安全の健全性の度合いを測る指標は異なる。プロセスセーフティの健全性を確認する方法を確立し、リーダーがその健全性の状況に応じて適切なメッセージに従業員に送ることは重要である。

#### 要素 2：法的要求事項及び業界標準の特定と遵守

法令遵守は、操業にとって必要条件である。適用法規をリストアップし、それらに常に遵守していることを確認する必要がある。業界標準については、要素 11 を参照のこと。

#### 要素 3：従業員の採用、配置及び能力、健康状態の確認

操業の管理状況は従業員の能力によって大きく影響される。既存の従業員及び新規採用する従業員が必要な能力を持ち、業務適性があることを確実にすることは安全操業に必要な不可欠である。体系的な方法で、従業員に必要な能力を特定し、訓練及び教育を提供する必要がある。

#### 要素 4：現場作業員の参加

高水準のプロセスセーフティの成果を得るには、事業に係る全員が一丸となってプロセスセーフティマネジメントに取り組む必要がある。プロセスセーフティの推進及び啓発運動を行うことで、従業員及び請負業者のプロセスセーフティ上の問題への意識向上を図ることができる。全従業員でプロセスセーフティ上の危険要因の特定と管理に積極的に協力することは、プロセスセーフティマネジメントのレベルを高めることになる。

## 第8章 プロセスセーフティ

### 要素5：利害関係者とのコミュニケーション

利害関係者との良好な関係の構築及び維持は、操業継続のために重要である。大規模なハザードを保有する場合、リスクがALARPな状態であること、継続的な改善、緊急事態の備えなどを利害関係者とコミュニケーションをとり、良好な関係を築くことが望ましい。

### 要素6：危険要因の特定とリスクアセスメント

体系的なリスク評価を行うことによって、事業のリスクを特定し、評価し、適切に管理することはプロセスセーフティマネジメントの根幹となる。セーフティケースを作成する場合、本要素にとって主要なものとなる。

### 要素7：文書・記録・知識の管理

プロセスセーフティのリスクを特定し、評価し、管理するためには、正確な記録と情報が不可欠である。プロセスセーフティマネジメントに必要な情報を特定し、操業に携わる全ての人々が常に最新の情報にアクセスできるようにする必要がある。例えば、古い情報にアクセスすることによって、あるものを無い、無いものをあるという前提で、リスク評価を行うと異なる結果になってしまう可能性がある。

### 要素8：操業マニュアル及び管理手順書

プロセスセーフティ上、各操業パラメータ（圧力、温度など）を既定範囲内で操業することは重要である。安全操業に必要なマニュアル及び手順書を策定し、これらが利用可能な状態で、正確で最新の状態にあり、内容が理解された上で使用されていることを確実にする必要がある。手順書において、重大事故に関する注意（情報）をハイライトすることが良好事例となっている。

### 要素9：プロセス及び操業状態の監視と引継ぎ

プロセス及び操業状態を監視すること、また作業グループ間での作業引継ぎを正しく行うことは、継続的な安全操業には不可欠である。プロセス及び操業状態の監視と作業引き継ぎにおける必要事項を定め、周知し、実行する必要がある。

英国での1988年のPiper Alphaの事故は、オペレーターのシフト間での引継ぎが不十分であったことが要因の一つである。この事故では、ポンプ2台中1台の点検のために安全弁を外していた。しかし、運転していたポンプが止まってしまった際に、点検中で隔離が不十分なポンプを動かしてしまい、油が漏洩、火災爆発が起きた。

#### アラームマネジメント（要素9の関連トピック）

中央制御室のアラームの発報が日々頻発していたり、一度発報したアラームが解除さ

## 第8章 プロセスセーフティ

れずに長期間放置されたりしていると、重要なアラームへのオペレータの反応やプラントの異常に気付くのが遅れる可能性がある。アラームが誤発報している場合は、原因を除去すればよいのだが、場合によっては、その原因の除去が困難な場合がある。しかし、この場合、不容易にアラームの設定値を非安全側にずらしてはならない。アラームの発報数は減るかもしれないが、いざアラームがなった際、対応時間が短くなるので、対応に失敗する確率が上がる。そのため、慎重なリスク評価が必要になる。アラームの設計根拠が明確になっていれば、このリスク評価も容易になる。そのため、アラームに関しては、全てのライフサイクルに対しアラームマネジメントを適用することが好ましい。アラームマネジメントについて詳しく知りたい場合は、IEC 62682 Management of alarms systems[34]を参照するとよい。

1998年のLongfordの事故（オーストラリア、天然ガス生産設備、死者2名）では、日常的に中央制御室内の多くのアラームがアクティブな状態であったことが確認されており、アラームに対するオペレータの感度が低下していたとも言われている[35]。

### 要素 10：操業上のインターフェース管理

操業を行う上で、他の組織の支援、および他の組織とのコミュニケーションは必須となる。SCEに関連する設備・サービス（保守点検など）を提供する他社、プロセスセーフティ事象に繋がりうる活動（例：地中のパイプライン近くでの掘開作業）を行う他社、緊急時のシナリオに出てくる他の組織（例：消防署）などのプロセスセーフティに関係してくる外部組織とのインターフェースを管理することは、プロセスセーフティマネジメントで見落としとしてはならない点である。外部組織を直接コントロールすることはできないが、重要度に応じて、関与するレベルを上げることで、不確実さを低減することができる。体系的に第三者とのインターフェースを特定し、リスクを評価し、インターフェースを適切に管理することが重要である。

### 要素 11：業界標準及び業界慣行

業界標準を一つのベンチマークすることで、ある一定の安全性を確保することができる。技術は日々進歩しており、より安全性の高い設備が、時代の経過とともに、コストダウンし、広く業界で採用されるようになることもある。業界標準を特定し、他社で採用している良好事例を積極的に採用することは、プロセスセーフティマネジメントのレベルを高めることになる。

ロイヤル・ダッチ・シェル（Royal Dutch Shell plc）などの世界各国で石油ガスを生産している企業では、国際的な技術標準(Global Technical Standard)を作成し、各国で実施しているプロジェクトに対し、設計から操業に対し、企業としての要求をまとめている場合もある。

（出典）<https://www.shell.com/sustainability/safety/process-safety.html>

## 第8章 プロセスセーフティ

### 要素 12：変更管理及びプロジェクト管理

いかなる種類の変更も、適切に管理されていないと、プロセスセーフティのリスクを著しく増加させることがある。発案者の意図しないところに、リスクを上げる可能性が潜んでいることがある。変更前後のリスク評価、承認プロセス、変更後の情報（図書）の更新が確実に実行されるよう変更管理というシステムを構築する必要がある。Flixborough の事故（1974年、英国、死者28名）では、故障した容器を一次的にバイパスする配管から漏洩が起きており、不適切な変更管理が原因で起きた例である[37]。

### 要素 13：操業準備及びプロセスの運転開始

新規又は改造したプラントや装置の試運転、立ち上げはリスクが高い作業である。これらの設備の立ち上げ前又は平常運転への復旧前に、作業員がプラント及び装置を安全な状態に準備していることを検証する体系的方法を導入することで、プロセスセーフティのリスクを低減することができる。

#### スタートアップ前の安全レビュー（要素 13 に関連するトピック）

システムのスタートアップ、もしくはシステムに炭化水素を初めて入れる際、安全確認が不十分だと、重大事故が起きうる。海外の石油ガス産業界では、スタートアップ前の安全確認を Pre Startup Safety Review (PSSR)、Gas in Readiness Review、Verification of Readiness など様々な呼び方と仕組みで管理している。より厳しいレビューを行う際は、第三者によるレビューとする場合もある。

確認項目は、安全設備の状況（試運転が適切に行われたか、バイパスされていないか）をはじめ、組織（設備運転・保守に対する教育が十分行われたか）、緊急時対応策、（プロジェクトにて発覚した問題に対する）アクション管理、避難経路（建設・試運転後の仮設設備撤去・清掃状況）、品質保証記録、完成図書（建設されたものに図面が更新されているか）、変更管理の記録、スタートアップの要領書など多岐に渡る。また、大規模な石油ガス設備のスタートアップにおいては、ハザードからある一定のエリアを操業が安定するまで、立ち入り禁止（Exclusion zone）とする場合もある。

2005年 BP Texas City（米国、製油所、死者15名）が代表的なスタートアップにおける事故である。この事故調査報告書によると[36]、BPはこの事故の2年前から PSSR を全社的に適用していたが、本プラントにおけるプロセスセーフティ担当者は、この全社的な対策を把握しておらず、PSSR を実施していなかった。PSSR を実施していれば、安全設備の健全性が確認されたいだらうと言われている。

### 要素 14：緊急事態への準備

組織が緊急事態に適切な対応を行う備えをしていれば、事故の被害を著しく削減するこ

## 第8章 プロセスセーフティ

とができる。事故発生時に公衆、従業員、請負業者の作業員、環境、プラント及び装置類、企業の世評を守るために必要な対処法を事前に準備する必要がある。

### 緊急事対応（要素 14 に関連するトピック）

重大事故による影響は、緊急時に対する備えができていれば、大幅に低減できる。洋上設備の重大事故においては、緊急時の備えが不十分なことにより、施設からの退避に失敗してしまうことは典型的な例である。重大事故を含め想定される緊急事態に対する対応計画を事前に定めておくことが重要である。この計画書には、緊急時対応時の組織体制、各人の役割と責任、組織内外との連絡体制、人員の動員と機器の運搬方法、広報、復旧作業などをはじめ、事故シナリオ上のあらゆる要素を記載すべきである。

緊急時対応能力を高めるため、緊急時対応訓練を実施することは必須の条件である。緊急時対応訓練及び事故からの教訓を基に、緊急時対応計画の問題点及び改善すべき点を定期的に見直して、最新の計画書を維持すべきである。緊急時対応に必要な機器類、人が常に準備されていることも重要である。緊急時使用する設備の定期点検や常用での使用禁止、また常に要員を招集できるよう当番をきめておくことも有効である。油流出時の対応など、事業会社だけでは対応困難なものについては、事前に第三者及び社外緊急時対応機関との相互支援策を策定、同意しておくことも有効である。

世界標準として知られているインシデントコマンドシステム（Incident Command System (ICS)）を導入すれば、緊急時対応の備えを体系的なものとすることができる。詳しく知りたい場合、「IPIECA/IOGP、Incident Management System for the Oil and Gas Industry」[41]を参照するとよい。また、大きい組織では、緊急事態をレベル分けし、各レベルに応じた責任者を決めておくことで、事象の規模に応じた適切な対応が可能となる。

### **要素 15：検査及び保守整備**

プラント及び装置類の健全性を維持することは、プロセスセーフティに必要不可欠である。プラント又は装置類の不具合による重大事故発生を抑えるために必要な検査及び保守整備に関する要求事項を特定し、確実に実行する必要がある。

### **要素 16：安全上重要な装置（SCE）の管理**

プロセスセーフティの必須要件の一つに、安全上重要な装置類が正しく機能することがある。プロセスセーフティ上重要な装置類を SCE として特定し、適切に管理することで、それらが正しく機能することを確実にする必要がある。

多くの重大事故で、SCE の健全性に関して問題が指摘されている。代表的な事故は、2005 年 Buncefield（英国、石油貯蔵設備、大規模な設備の損壊）や 2005 年 BP Texas City（米国、製油所、死者 15 名）における液位計に関する設備の不具合である。



## 第8章 プロセスセーフティ

### SCE (Safety Critical Element) マネジメント (要素 16 に関連するトピック)

前節にて、プロジェクトの流れを説明する中で SCE と性能基準の作成にも触れた。プロジェクトで定められた SCE は操業に引き継がれる。操業中、SCE の健全性を維持するために、以下の作業を行う。

- SCE に対し操業用の性能基準を作成する。性能基準内の各要求に対しては、その確認方法（点検や試験）とクライテリア（適合の判断基準）を定める。
- 要求事項どおりに健全性を維持するための計画を立てる。
- 各点検・試験項目に対する作業要領書を作成する。
- 点検・試験の結果、SCE が性能基準を満たさない場合、原因追及と修繕、SCE の欠如により増加したリスクに対する暫定的なリスク低減策についても検討する。

### 機能安全マネジメント (Functional Safety Management) (要素 6 の関連)

機能安全を有する計装システムの機能を、Safety Instrumented Function (SIF) と呼ぶ。SIF は対象物の状態を監視しセンサー・スイッチなどにより異常を検知し (Detect)、検知した情報を論理回路で処理し、安全上の措置を実行するための信号を出し (Decide)、弁の開閉や機器の停止などを行いプロセスの安全を確保する (Do)。プラントの設計においては、SIF の集合体は Safety Instrumented System (SIS) とよばれ、通常運転を制御する Basic Process Control System (BPCS) とは独立していることが望ましい。

一般的に、アラームに頼った、オペレータの対応は、人に頼っているため、信頼性という観点では限界がある。そのため、ハザードのエネルギーや毒性が高く、求められるリスククライテリアが高くなるほど、高信頼度の SIF が多く必要となる。

ハザードと影響を特定し、その影響に対し要求されるリスククライテリア（影響に対する発生頻度の要求値）を満たすように SIF の信頼性を高めるという観点でプロセスセーフティの根幹に関わる。機能安全の設計・管理は、計装制御の専門家にしかできないような深い世界があり、機能安全マネジメントを用いた本格的な管理が理想である。このマネジメントシステムは大きく、イメージとしては、プロセスセーフティマネジメントと円が重なりあっているように捉えるのがよいかもしれない。

SIF の信頼性は、SIL (Safety Integrity Level) という形で 4 段階に分類される。SIL を決める手法は複数あるが、「8.2.4 様々なリスク評価の手法」にて説明したように LOPA (Layer of Protection Analysis) を用いるのが主流となっている。SIL を定めた後、SIF に対する安全上の要求 (Safety Requirements Specifications) をまとめ、設計、据え付け、試運転をプロジェクト内で行う。操業中においても、SIF が要求されている信頼性を維持し続けるため、保全作業をはじめ、多くの実施事項がある。

## 第8章 プロセスセーフティ

より詳しく知りたい場合は、以下の図書を参考のこと。

IEC 61508 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems (全産業) [39]

IEC 61511 Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry (プロセス) [40]

なお、プロセスセーフティの影響を考慮して SIL が与えられた SIF は SCE であるため、機能安全マネジメントも SCE マネジメントに含まれるが、あえて特別に説明した。

### 要素 17：作業管理、作業許可及び作業リスクの管理

保守点検やプロジェクト作業の実行は、適切に管理されていないならば、プロセスセーフティのリスクを著しく増可させることがある。作業によって生じるリスクを低減するため、効果的な作業管理、作業許可、作業リスク管理を行う必要がある。

### 要素 18：請負業者、供給業者（ベンダー）の選定及び管理

要素 10 でも述べたように、他社の支援は操業に必須である。中でも重大事故、SCE に関連する請負業者、ベンダーには、特段の注意が必要である。これらの第三者に対するプロセスセーフティの要件を明確にするとともに、第三者選定評価への反映、必要に応じた訓練・教育の提供、意見交換、日常的なパフォーマンスの監視とフィードバックなどが必要となる。

### 要素 19：事故報告及び調査

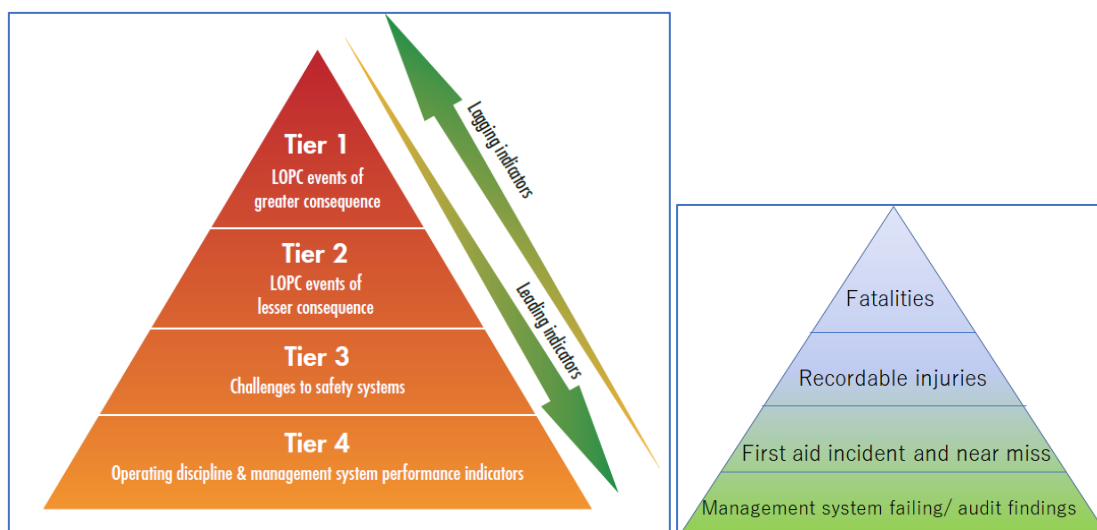
プロセスセーフティのパフォーマンス改善で重要なのは、事故やニアミスから学び、再発防止のための措置を講じることである。事故報告と調査も HSE マネジメントシステムの一部である。労働安全と同様に、プロセスセーフティ関連の事象も、そのポテンシャルに応じた原因調査方法を適用することが好ましい。

#### プロセスセーフティ KPI (要素 19 に関連するトピック)

「ハインリッヒの法則」に従い、報告された事故は、レベル分けして重要指標 (Key Performance Indicator (KPI)) として収集する。「ハインリッヒの法則」とは、事故の発生についての経験則である。1 件の大きな事故の背後には、大きな事故に至らなかった 29 件の軽微な事故が隠れており、さらにその背後には事故寸前だった 300 件の異常、いわゆるヒヤリハット (ヒヤリとしたりハットとしたりする危険な状態) が隠れているというもの。ここで注意しなければいけないことは、労働安全の KPI とプロセスセーフティの KPI は別のものだということである。軽微な怪我の発生が十分に抑制されている場合、労働安全上の上位の事象である死亡事故がおきるリスクも低い状態に抑えられていると考えてよい。しかし、これは重大事故のリスクが低い状態に抑えられて

## 第8章 プロセスセーフティ

いることとは相関が乏しい。プロセスセーフティおよび労働安全事故の KPI を四段階で分類した例を図 8-3-3 に示す。プロセスセーフティマネジメントの状況を確認するために、KPI のデータを確認する定期的（毎月など）な会議を行うことも有効である。プロセスセーフティ KPI について、より詳しく知りたい場合は API RP754 [42]を参照のこと。



左：プロセスセーフティ[42]、右：労働安全

図 8-3-3 プロセスセーフティおよび労働安全事故の分類

### 要素 20：監査、健全性確認、マネジメントによるレビュー及び是正措置

プロセスセーフティマネジメントの要求を遵守していることを定期的に確認及び監査することで、プロセスセーフティのパフォーマンスが目的に合ったものであることを確実にする。これは、プロセスセーフティマネジメントの APDCA サイクルを回す上で必須である。監査で特定された問題には、必要な是正措置を特定し、優先順位を設定して、完了までの工程及び記録を残す必要もある。組織とは独立し、利害関係のない者による外部監査は、問題のより本質的な部分に踏み込むことを容易とするため、有効である。

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.4 プロセスセーフティマネジメントの規制（洋上）・標準

表 8-4-1、表 8-4-2 および表 8-4-3 に各国の洋上の石油ガス設備へのプロセスセーフティに関する規制を比較した結果を示す。

英国やオーストラリアでは、セーフティケースを主軸に重大事故に関するリスクが ALARP であることを示すことが要求される Goal Setting Approach である。これらの国では、SCE に対する性能基準を定め、その健全性を確保することも要求される。EU では、2013 年に定められた European Offshore Directive (DIRECTIVE, 2013/30/EU)[43]にて、Goal Setting Approach、ALARP、SCE 管理を要求する英国モデルが要求されている。EU 各国は、2018 年までに、この要求に対応することが求められている。

米国では、化学産業を中心に適用されている、プロセスセーフティマネジメントの OSHA PSM、Environmental Protection Agency (EPA) の Risk Management Program (RMP) が一般的に広く知られている。一方、洋上(連邦の海域)の石油ガス設備では、2010 年の Deepwater Horizon の事故をきっかけに、2011 年に設立された Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE) が管轄する Safety and Environmental Management System (SEMS) が要求されている。SEMS は、安全・環境に関する情報、ハザード分析、変更管理、運転手順書、安全作業基準、トレーニング、機械の健全性、スタートアップ前のレビュー、緊急時対応と制御、事故調査、監査、記録と追加の BSEE 要求、作業をストップする権限 (Stop Work Authority)、Ultimate Work Authority (要求事項を把握・管理する人の任命)、従業員への参加、不安全な作業場の報告を要素とし、OSHA PSM と類似している。

企業におけるプロセスセーフティマネジメントは千差万別であるが、上記で述べた国際的な潮流は、多くの石油ガス産業界の多国籍企業に影響を及ぼしている。企業によっては、図 8-4-1 のように、Energy Institute の 20 要素、セーフティケースおよび HSEMS を組み合わせてプロセスセーフティマネジメントとしている場合もある。

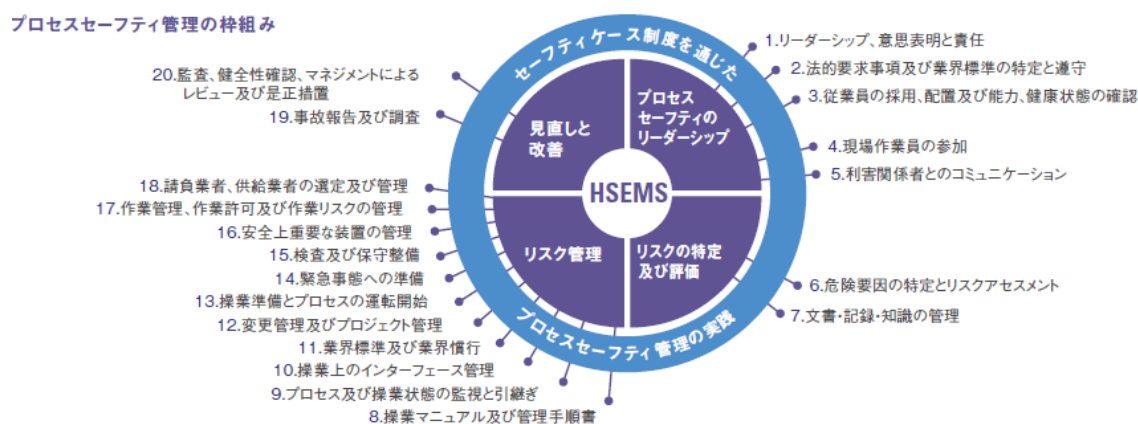


図 8-4-1 プロセスセーフティマネジメントの例 [4]

## 第8章 プロセスセーフティ

表 8-4-1 洋上の石油ガス設備へのプロセスセーフティに関する各国規制の比較 (1/3)

1. 規制	
1.1 規制の種類	
英国	Health & Safety at Work Act 1974が求めるGoal-settingアプローチ。
オーストラリア	Goal-settingアプローチ とリスクベースの規制。 従業員の参加と性能基準の策定も要求されている。 設計、建設、据え付け、および既存設備の大規模改造は、独立した立場の専門家に、検証 (Validation) される必要がある。
ノルウェー	パフォーマンスベース (機能要求) に重きを置く規制。 到達すべき安全レベルが定められているが、その到達方法は示されていない。
EU (デンマーク)	(EU) 英国規制のモデルに基づいた Goal-settingアプローチ。 (デンマーク) 主にGoal-settingアプローチ。一部、prescriptiv (より細かい要求)。
米国	SEMS(Safety and Environmental Management System)に基づく、マネジメントシステムによる規制。
1.2 重大事故に関する規制	
英国	SCR( The Offshore Installations (Offshore Safety Directive) (Safety Case etc.) Regulations 2015) PFEER(Prevention, Fire & Emergency Response Regulations) DCR (Design and Construction Regulations)など
オーストラリア	Petroleum (Submerged Lands) Act 1982 など
ノルウェー	The Activities Regulations (AR) 2010 Facilities Regulations (FR) 2009 Framework HSE Regulations (FWR) 2009 Technical and Operational Regulations 2010 Management Regulations (MR) 2004など
EU (デンマーク)	(EU) European Offshore Directive (DIRECTIVE, 2013/30/EU)など (デンマーク) Danish Offshore Safety Act LBK No.125, 2018など
米国	30 CFR Part 250 – “Oil and Gas and Sulphur Operations in the Outer Continental Shelf – Safety and Environmental Management Systems; Final Rule”など
1.3 指針があるか?	
英国	Approved Codes of Practice (ACoP)
オーストラリア	Guidance notes ALARP評価の手法についても指針あり。
ノルウェー	NORSOK, ISO, DNV, API, NOROG などの業界標準を参照した指針がある。
EU (デンマーク)	Guidance Document
米国	API RP 75 - Safety and Environmental Management System for Offshore Operations and Assets
1.4 一般的な国際基準や国内基準は参照されているか?	
英国	参照されているが、規制要求とはなっていない。
オーストラリア	セーフティケースの指針にて、適用しなければならない標準が定められている。 ただし、事業者は、Justificationとともに、適用する標準を選定できる。
ノルウェー	主にNORSOKを指針にて参照。
EU (デンマーク)	SOLAS (Safety of Life at Sea), MODU (Mobile Offshore Drilling Units) Code, MARPOL(The International Convention for Prevention of Marine Pollution For Ships)
米国	API RP 75 - Safety and Environmental Management System for Offshore Operations and Assets

## 第8章 プロセスセーフティ

表 8-4-2 洋上の石油ガス設備へのプロセスセーフティに関する各国規制の比較 (2/3)

2. セーフティケース	
2.1 操業に必要か？	
英国	必要
オーストラリア	必要
ノルウェー	必要ない。 しかし、提出要求のある図書はセーフティケースに類似している。
EU (デンマーク)	(EU) 重大事故に関する報告書を作成することが推奨されている。 包括的なリスク評価とマネジメントシステムが要求されている。 (デンマーク) 必要(Health & Safety Case)
米国	必要ない。 マネジメントシステムベース。
2.2 設計・建設に必要か？	
英国	設計、建設、移動の前に、規制当局への連絡(Notification)が必要である。
オーストラリア	建設、据え付け、操業、でコミッショニング時に必要である。
ノルウェー	プロジェクトでセーフティケースは必要ない。 ただし、各ステージにおいて、許認可を取得する必要がある。
EU (デンマーク)	(デンマーク) 英国と同等のアプローチ。
米国	プロジェクトでセーフティケースは必要ない。
3. 規制当局	
3.1 規制当局の名称 (海洋、航空に関するものは除く)	
英国	Health and Safety Executive (HSE)
オーストラリア	National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority (NOPSEMA) Commonwealth Waters と州が権限を認めた場合に State Watersにおいて。
ノルウェー	Petroleum Safety Authority (PSA)
EU (デンマーク)	(デンマーク) The Danish Energy Agency (DEA)
米国	Bureau of Safety and Environmental Enforcement (BSEE) U.S. Coast Guard OCS(Outer Continental Shelf)において。
3.2 規制当局はどのように、規制要求への適合を評価する？	
英国	監督およびハイレベルな(俯瞰的な)点検。第三者による詳細点検。
オーストラリア	計画的な施設の点検(一般的に6ヵ月おき)。 事故もしくは危険な事象に関する通知を受けた際の、要求事項への順守状況の確認。
ノルウェー	PSAによる監督(監査、検証(verification)、調査、許可など)。
EU (デンマーク)	(EU) EU加盟国は、十分な能力を有する規制当局が、年間計画を立てていることを確認する必要がある。 その計画には検査も含まれる。 (デンマーク) 規制当局による検査。
米国	BSEEによる現場での検査。 認証を受けた監査機関(Accredited Audit Service Provider)による第三者監査。 監査のチームリーダーは、事業者とは独立した人でなければならない。

## 第8章 プロセスセーフティ

表 8-4-3 洋上の石油ガス設備へのプロセスセーフティに関する各国規制の比較 (3/3)

4. SCEとAssurance (保証)	
英国	事業者がSafety Critical Equipment (SCE)に対する性能基準を策定すること。 また、機器が性能基準の要求を保持するための策（保全計画など）を持つこと。
オーストラリア	事業者がAssuranceの方法をセーフティケース内で定める。 そこには、モニタリング、監査、レビュープログラム、SCEの性能基準を含める必要がある。 また、事業者は検証者（validator）の独立性と能力について説明する必要がある。
ノルウェー	事業者がHSE Critical Equipmentを定める。 施設に関する規制において、設計要求が示されている。
EU (デンマーク)	(EU) 事業者が、Safety and Environmentally Critical Elements (SECEs)を定める。 操業前に、独立した第三者によるSECEsの検証（verification）が必要である。 SECEsのレビュー、メンテナンス計画は、独立した第三者に検証させる必要がある。
米国	全ての新設掘削リグや生産設備において、 機器の損傷が安全、衛生、環境に著しい影響を及ぼすものについて、 合理的に入手可能な範囲で最良のものを選択するよう要求している。
5. リスクの枠組み	
英国	ALARP 許容限界および一般許容範囲も示されている。
オーストラリア	ALARP 許容限界および一般許容範囲も示されている。
ノルウェー	BAT (Best Available Tecnology) やALARPは使われている。 ただし、ALARPについては規制において直接的に言及されていない。 また、重大事故や環境リスクについて、許容できる閾値 (Acceptance Criteria) も示されている。 (The regulations includes provisions on setting acceptance criteria for major accident risks)
EU (デンマーク)	ALARP
米国	SEMSがリスク評価の枠組みを示している。
6. 参考文献	
英国	<a href="https://www.hse.gov.uk/aboutus/index.htm">https://www.hse.gov.uk/aboutus/index.htm</a> <a href="https://www.hse.gov.uk/guidance/index.htm">https://www.hse.gov.uk/guidance/index.htm</a> <a href="https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf">https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf</a>
オーストラリア	<a href="https://www.nopsema.gov.au/">https://www.nopsema.gov.au/</a> <a href="https://www.nopsema.gov.au/about/legislation-and-regulations/">https://www.nopsema.gov.au/about/legislation-and-regulations/</a> <a href="https://www.dmp.wa.gov.au/Safety/Petroleum-safety-legislation-10014.aspx">https://www.dmp.wa.gov.au/Safety/Petroleum-safety-legislation-10014.aspx</a>
ノルウェー	<a href="https://www.ptil.no/en/regulations/all-acts/">https://www.ptil.no/en/regulations/all-acts/</a> <a href="https://www.ptil.no/en/regulations/acts/about-the-regulations/">https://www.ptil.no/en/regulations/acts/about-the-regulations/</a> <a href="https://www.ptil.no/en/supervision/audit-reports/about-supervision/">https://www.ptil.no/en/supervision/audit-reports/about-supervision/</a> <a href="https://www.ptil.no/en/tripartite-cooperation/responsibility/requirements-for-operators-and-licensees/">https://www.ptil.no/en/tripartite-cooperation/responsibility/requirements-for-operators-and-licensees/</a> <a href="https://www.ptil.no/en/about-us/role-and-area-of-responsibility/risk-and-risk-understanding/">https://www.ptil.no/en/about-us/role-and-area-of-responsibility/risk-and-risk-understanding/</a> <a href="https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf">https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf</a>
EU (デンマーク)	<a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0030&amp;from=EN">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0030&amp;from=EN</a> <a href="https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32013L0030">https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32013L0030</a> <a href="https://ens.dk/en/our-responsibilities/oil-gas">https://ens.dk/en/our-responsibilities/oil-gas</a> <a href="https://at.dk/media/3017/125-offshore-safety-act-update-2.pdf">https://at.dk/media/3017/125-offshore-safety-act-update-2.pdf</a> <a href="https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf">https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/SI/2018-07/DNVGL-SI-0166.pdf</a> <a href="https://euoag.jrc.ec.europa.eu/node/11">https://euoag.jrc.ec.europa.eu/node/11</a>
米国	<a href="https://www.bsee.gov/">https://www.bsee.gov/</a> <a href="https://www.bsee.gov/what-we-do/offshore-regulatory-programs/regulations-standards">https://www.bsee.gov/what-we-do/offshore-regulatory-programs/regulations-standards</a> <a href="https://www.bsee.gov/resources-and-tools/compliance/safety-and-environmental-management-systems-sems">https://www.bsee.gov/resources-and-tools/compliance/safety-and-environmental-management-systems-sems</a> <a href="https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2018-09-28/pdf/2018-21197.pdf">https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2018-09-28/pdf/2018-21197.pdf</a> <a href="https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1993-02-02-0">https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1993-02-02-0</a> <a href="https://www.federalregister.gov/documents/2010/10/15/2010-25665/oil-and-gas-and-sulphur-operations-in-the-outer-continent-shelf-safety-and-environmental">https://www.federalregister.gov/documents/2010/10/15/2010-25665/oil-and-gas-and-sulphur-operations-in-the-outer-continent-shelf-safety-and-environmental</a>

## 第8章 プロセスセーフティ

### 8.5 まとめ

プロセスセーフティは、複数人の死傷者が発生しうるような大規模な事故の発生防止・発生時の影響緩和を目的としている。洋上施設におけるプロセスセーフティの対象は、陸上の石油ガス設備、化学プラントなどで扱われる火災、爆発などに加え、構造健全性の喪失（沈没）など洋上特有の事象もある。

本章では、プロセスセーフティの概要を説明した。リスク、マネジメントシステム、HSEというプロセスセーフティの土台となる項目の説明から始まり、プロセスセーフティマネジメントとセーフティケースという二つの重要項目を解説した。この二項目は、海外において、規制要求や企業の自主規制（統治）として、広く用いられている。本章の最終節にて、各国におけるプロセスセーフティの規制についても解説した。個別の項目（安全評価、安全設計、操業上の管理手法など）に関する詳細説明は対象外とし、一部項目出しと簡単な説明を述べることにしている。



## 第8章 プロセスセーフティ

### 参考資料

- [1] Deepwater Horizon Study Group, “Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout” (2011)  
<https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SPE/a6c2d780-4741-4804-b4e0-010e4812ddc0/UploadedImages/2016/DHSGFinalReport-March2011-tag.pdf>
- [2] ISO 31000, “Risk management – Guidelines”, Second edition (2018)
- [3] 福岡労働局・労働基準監督署、<https://jsite.mhlw.go.jp/fukuoka-roudoukyoku/library/fukuoka-roudoukyoku/6anzen/anzen11.pdf>
- [4] INPEX, “Sustainability Report 2020”  
[https://www.inpex.co.jp/csr/pdf/INPEX\\_SustainabilityReport2020\\_J.pdf](https://www.inpex.co.jp/csr/pdf/INPEX_SustainabilityReport2020_J.pdf)
- [5] 米澤哲夫、「海洋プロジェクトにおける HSEMS (HSE マネジメントシステム) の運用について」石油技術協会誌、第 80 巻、第 6 号(2015)
- [6] 米澤哲夫、「低油価時代における HSE への取り組み」石油技術協会誌、第 81 巻、第 2 号(2016)
- [7] IADC SAPC Chapter meeting, IOGP, “Project Safira – Eliminating fatalities in the Upstream Oil and Gas Industry”, (2019) [http://www.sapc-iadc.org/docs/meetings/Meeting\\_Feb142019/003-Project-Safira-IOGP-Presentation.pdf](http://www.sapc-iadc.org/docs/meetings/Meeting_Feb142019/003-Project-Safira-IOGP-Presentation.pdf)
- [8] 30<sup>th</sup> Anniversary of Piper Alpha Presentation Material by Terry Copper, TOTAL  
<https://www.thechemicalengineer.com/features/terry-cooper-preventer-of-major-accidents/>
- [9] ISO 17776, "Petroleum and natural gas industries - Offshore production Installations - Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment", Second Edition (2016)
- [10] IOGP 456, “Process safety - Recommended practice on Key Performance Indicators”
- [11] UK Health and Safety Executive, “Buncefield: Why did it happen? The underlying causes of the explosion and fire at the Buncefield oil storage depot, Hemel Hempstead, Hertfordshire” (2005)  
<https://www.hse.gov.uk/comah/buncefield/buncefield-report.pdf>
- [12] Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council, “on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC” (2012)  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0018&from=EN>
- [13] U.S. Occupational Safety and Health Administration, “Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals (29 CFR1910.119)” (1992)  
<https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.119>
- [14] United States, Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, OSHA 3132 <https://www.osha.gov/Publications/osha3132.html>
- [15] Center for Chemical Process Safety (CCPS) “Guidelines for risk based process safety (RBPS)” (2007)

## 第8章 プロセスセーフティ

<https://www.aiche.org/resources/publications/books/guidelines-risk-based-process-safety>

- [16] 淵野 哲郎、「リスクに基づくプロセス安全」 (2018)  
<http://www.scej.org/docs/publication/journal/backnumber/8211-open-article.pdf>
- [17] Energy Institute, “High Level Framework for Process Safety Management”, 1<sup>st</sup> Edition (2010)
- [18] Energy Institute, “Guidance on Meeting Expectations of EI Process Safety Management Framework, Element 1 Leadership commitment and responsibility”, 1<sup>st</sup> Edition (2012)
- [19] Lord Robens, “Report of the Committee 1970-1972, Safety and Health at Work” (1972)  
<http://www.mineaccidents.com.au/uploads/robens-report-original.pdf>
- [20] Dr Dmitri Zotov, “Safety Case”  
[https://www.asasi.org/papers/2007/Moving\\_From\\_SMS\\_to\\_Safety\\_Case\\_Dmitri\\_Zotov.pdf](https://www.asasi.org/papers/2007/Moving_From_SMS_to_Safety_Case_Dmitri_Zotov.pdf)
- [21] UK Health and Safety Executive, <https://www.hse.gov.uk/aboutus/40/hswa-40.htm>
- [22] The Hon Lord Cullen, “Department of Energy, The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster”, Vol.1 and 2 (1990)  
<https://www.hse.gov.uk/offshore/piper-alpha-disaster-public-inquiry.htm>
- [23] Legislation.gov.uk, <https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/398/contents/made>
- [24] UK Health and Safety Executive, “The Offshore Installations (Offshore Safety Directive)(Safety Case etc) Regulations 2015. Guidance on Regulations”  
<https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l154.pdf>
- [25] UK Health and Safety Executive, “Guidance on ALARP Decisions in COMAH, SPC/Permissioning/37”  
[https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid\\_circs/permissioning/spc\\_perm\\_37/](https://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/)
- [26] CPR 18E, “Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book)” (2005)  
<https://content.publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf>
- [27] API RECOMMENDED PRACTICE 752, “Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings”, Third Edition (2009)
- [28] Sivaneswaran et.al., “As Low As Reasonably Practicable (ALARP) Demonstration: A Case Study on Firewater Curtain Application for LPG (Liquified Petroleum Gas) Sphere”, Pertanika J. Sci. & Technol. 28 (S1): (2020)  
[http://www.pertanika.upm.edu.my/resources/files/Pertanika%20PAPERS/JST%20Vol.%2028%20\(S1\).%202020/07%20JST\(S\)-0546-2020.pdf](http://www.pertanika.upm.edu.my/resources/files/Pertanika%20PAPERS/JST%20Vol.%2028%20(S1).%202020/07%20JST(S)-0546-2020.pdf)
- [29] UKOOA. (1999). A framework for risk related decision support. UK offshore

## 第8章 プロセスセーフティ

- Operators Association. (2018) <https://oilandgasuk.co.uk/product/guidelines-on-risk-related-decision-making/>
- [30] CPR 14E, “Methods for the calculation of physical effects – due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – (Yellow Book)” (2005)  
<https://content.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS2/PGS2-1997-v0.1-physical-effects.pdf>
- [31] ISO 15544, “Petroleum and natural gas industries- Offshore production installations - Requirements and guidelines for emergency response” First Edition (2000)
- [32] IEC 61882, “Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) - Application Guide” (2016)
- [33] AIChE, “CCPS Concept Book, Layer of Protection Analysis, Simplified Process Risk Assessment”
- [34] IEC 62682, “Management of alarms systems”, Edition 1.0 (2014-10)
- [35] Michael et al., Report of the Longford Royal Commission, Government Printer for the State of Victoria, "The Esso Longford Gas Plant Accident"(1999)  
<https://www.parliament.vic.gov.au/papers/govpub/VPARL1998-99No61.pdf>
- [36] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "INVESTIGATION REPORT REFINERY EXPLOSION AND FIRE", 2005-04-I-TX (2007)  
<https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>
- [37] UK Health and Safety Executive, Flixborough (Nypro UK) Explosion 1st June 1974  
<https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/caseflixboroug74.htm>
- [38] <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/0906/15/news091.html>
- [39] IEC 61508, “Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems” Part1 – Part7
- [40] IEC 61511, “Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry” Part 1 – part3
- [41] IPIECA/IOGP, “Incident Management System for the Oil and Gas Industry” (2014)  
<https://www.giwacaf.net/en/publications/incident-management-system-ipieca-gpg>
- [42] ANSI/API Recommended Practice 754, “Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries”, Second Edition (2016)  
<https://www.api.org/oil-and-natural-gas/health-and-safety/refinery-and-plant-safety/process-safety/process-safety-standards/rp-754>
- [43] DIRECTIVE 2013/30/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 June 2013 (on safety of offshore oil and gas operations and amending Directive 2004/35/EC)  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0030&from=EN>