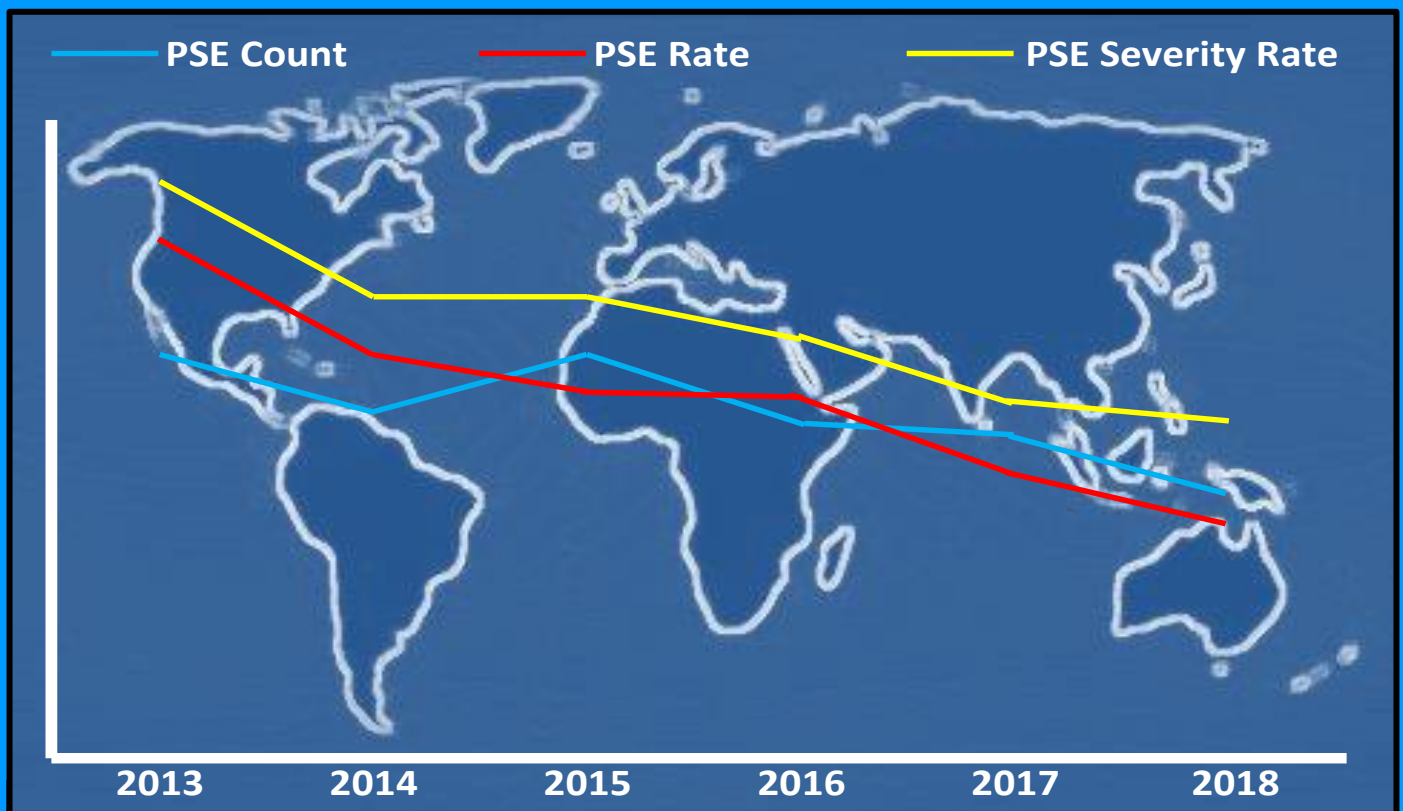




プロセス安全メトリクス

先行及び遅行指標の選定ガイド

Version 3.2



目次

頭字語

前書き

1章 序文

2章 Tier 1—プロセス安全事故の用語

- 2.1 プロセス安全事故の定義
- 2.2 プロセス安全指標の基準
 - 2.2.1 プロセスの関与
 - 2.2.2 報告すべきしきい値
 - 2.2.3 場所
 - 2.2.4 急激な放出
- 2.3 プロセス安全事故確認用フローチャート
- 2.4 適用除外

3章 Tier 1 – プロセス安全事故の指標

- 3.1 Tier 1 プロセス安全事故の指標の目的
- 3.2 Tier 1 プロセス安全事故のしきい値
- 3.3 Tier 1 プロセス安全事故の強度レベル

4章 Tier 2 – プロセス安全事故の指標

- 4.1 Tier 2 プロセス安全事故 (PSE2) の指標の目的
- 4.2 Tier 2 プロセス安全事故の強度のしきい値

5章 プロセス安全事故のメトリクスの報告

- 5.1 比率表現のメトリクス
- 5.2 業界のプロセス安全メトリクス
- 5.3 PSE メトリクスの解釈と事例の紹介

6章 Tier 3 – ニアミス事故の指標

- 6.1 Tier 3 指標の目的
- 6.2 プロセス安全ニアミス事故の定義
- 6.3 プロセス安全ニアミス事故の事例
 - 6.3.1 安全システムへのチャレンジ
 - 6.3.2 プロセスの逸脱や暴走など
- 6.4 管理システムのニアミス事故
- 6.5 ニアミス事故報告を最大限に活用する

7章 Tier 4 –業務規律と安全管理システムのパフォーマンス評価指標

- 7.1 Tier 4 指標の目的
- 7.2 事故の因果関係モデル
- 7.3 プロセス安全リスクの低減
 - 7.3.1 運転規律の定義
 - 7.3.2 運転規律がリスクに与える影響
- 7.4 防護層によるアプローチ
- 7.5 リスクに基づくプロセス安全(RBPS)によるアプローチ
 - 7.5.1 ピラー「プロセスの安全を誓う」の例
 - 7.5.2 ピラー「ハザードとリスクを理解する」の例
 - 7.5.3 ピラー「リスクを管理する」の例
 - 7.5.4 ピラー「経験から学ぶ」の例
- 7.6 ヒューマンファクター
 - 7.6.1 プロセス安全管理システムの監査の例
 - 7.6.2 疲労リスクの管理の例

8章 参考文献

付録

- A 用語の解説と定義
- B PSE 分類判定の詳細事例

「プロセス安全メトリクス」 Ver.3.2 の翻訳にあたって

本書は CCPS が 2019 年 4 月に発行した "Process Safety Metrics: Guide for Selecting Leading and Lagging Metrics" Version 3.2 の日本語訳で、著作権は CCPS にあります。この翻訳は CCPS の承諾の下、化学工学会 SCE・Net 安全研究会の有志で行ったものですが、過去に Version 1.0 と 2.0 についても実施しており、今回が 3 回目となります。従来の和訳については、化学工学会の第 76 年会と第 77 年会において概要発表を行っており、SCE・Net 安全研究会の HP にも掲載して来ました。日本の読者に判り易い様にと意識している箇所もありますので、厳密な訳となっていないこともあります。厳密な内容については、原文をご覧ください。尚、分かり辛いと思われる部分には青字で訳者註を記載しております。プロセス安全に取り組む日本の皆様に、少しでもお役に立つことが出来れば幸いです。

2021 年 3 月 3 日
安全研究会 幹事 竹内亮

頭字語

AICHe	American Institute of Chemical Engineers : アメリカ化学工学会
ANSI	American National Standards Institute : 米国国家規格協会
API	American Petroleum Institute : アメリカ石油協会
CCPS	Center for Chemical Process Safety : 化学プロセス安全センター
COO	Conduct of Operations : 操業の遂行
DGL	Dangerous Goods List : 危険物質のリスト
DOT	U.S. Department of Transportation : アメリカ合衆国運輸省
EHS	Environmental, Health, and Safety : 環境・衛生・安全
ITPM	Inspection, Testing, and Preventive Maintenance Program : 点検・試験・予防保全プログラム
LOPC	Loss of Primary Containment : 一次封じ込めの失敗 (貯蔵容器・配管系からの漏洩)
MOC	Management of Change : 変更管理
OD	Operational Discipline : 運転規律
PRD	Pressure Relief Device : 圧力開放装置 (安全弁、ラプチャーディスクなど)
PSE	Process Safety Event : プロセス安全事故
PSE1	Tier 1 Process Safety Event : Tier 1 プロセス安全事故
PSE2	Tier 2 Process Safety Event : Tier 2 プロセス安全事故
PSE1R	Process Safety Event Rate - Tier 1 Indicator : Tier 1 プロセス安全事故の事故率
PSE1SR	Process Safety Event Severity Rate - Tier 1 Indicator : Tier 1 プロセス安全事故の強度率
PSE2R	Process Safety Event Rate - Tier 2 Indicator : Tier 2 プロセス安全事故の事故率
PSI	Process Safety Incident : プロセス安全事故 (PSE1 と PSE2 を含む)
PSIE	Process Safety Incident Evaluation tool : プロセス安全事故評価ツール
RBPS	Risk Based Process Safety : リスクに基づくプロセス安全
SIS	Safety Instrumented System : 安全計装システム
TIH	Toxic Inhalation Hazard : 吸入毒性の危険
TQ	Threshold Quantity : しきい値
U.S.	United States : アメリカ合衆国 (米国)
UNDG	United Nations Dangerous Goods : 国連危険物

前書き

CCPS¹⁾は、プロセス産業界に対してプロセス事故の予防と緩和、およびプロセスのリスクを効果的に管理する面での支援を行うという明確な目的の下に、1985年にAIChE²⁾により設立された組織である。現在、世界の200を超える会員企業がCCPSの活動を推進している。

訳者註1: CCPS: The Center for Chemical Process Safety, (化学プロセス安全センター)

訳者註2: AIChE: American Institute of Chemical Engineers, (アメリカ化学工学会)

2006年、CCPSの技術運営委員会は、プロセス安全の先行および遅行指標の作成と利用のためのガイドを作成するためにプロジェクト委員会の創設を承認した。技術運営委員会はプロセス安全のパフォーマンス³⁾を評価する際に活用できる化学および石油工業界共通の先行メトリクスと遅行メトリクスを確立することが、業界にとっての突破口になると考えた。この目的達成のために、大手の化学および石油工業界団体のみならず、主要な関係団体からも代表者およびメンバーがこの委員会に積極的に参加したのである。

訳者註3: 本書では“performance”を「パフォーマンス」または「パフォーマンス評価」と訳すことが多い。これらは、何れも安全管理システム遂行の実態を評価するために使用されている。

この2006年のCCPSの活動成果は2007年12月に公表された。2007年に定められた定義は、多くの企業や団体で採用された。これらの定義が基礎となり、新しいANSI/APIの推奨手法、ANSI/API RP754: *Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries*(石油精製及び石油化学業界のためのプロセス安全のパフォーマンス評価指標)が作成された。この推奨手法は2010年4月に完成し、公表された。API標準委員会がAPI RP 754を開発する際には、CCPSおよびCCPSメトリクス委員会の当初のメンバー数名が参加した。

API RP 754の発行後、2011年、CCPSはAPI RP 754との整合を図るために2007年版のこのCCPSガイドを改訂した。その目的は、最上位の階層(tier)のプロセス安全事故の定義に、CCPSとAPIどちらの文書を適用しても事故を同様に分類できるようにすることであった。

2016年4月、APIはAPI RP 754の第2版を発行した。この版では、以前の定義の明確化、新しい定義の追加、事故強度の重み付け(オプション)のガイダンスの組入れ、Tier 1とTier 2のしきい値の改訂が行われた[1]。2006年のCCPSプロジェクトの最終ゴールは業界及び国際的に共通のメトリクスを開発し、その利用を促進することであった。そのためCCPSは業界共通のパフォーマンス評価メトリクスを維持するため、このガイドをAPI RP 754に合わせて再度改訂した。

パフォーマンス評価メトリクスは進化し続けている為、CCPSはプロセス安全メトリクス及びその他の多数のレポートを掲載したウェブページを開設し、常時更新している。このCCPSのウェブページは、様々な情報、研究文献、公的発表、その他の出版物にリンクしており、プロセス安全のパフォーマンス評価メトリクスに関する最新の情報やその情報源を更新し続けている。詳細についてはCCPSメトリクスのウェブページ: [CCPS Metrics](http://www.aiche.org/ccps)を参照のこと。

1 章

序文

CCPS の会員企業は以下によって、企業や業界に役立つ共通の定義やしきい値レベルなど、業界全体の新しいプロセス安全メトリクスに関するビジョンを共有している：

- ・パフォーマンスの継続的改善に活用する為、企業や業界のパフォーマンスの動向を公表する
- ・企業間もしくは業界の分野間のベンチマークを実施する
- ・望ましくない事故を引起す可能性のあるプロセス安全問題の先行指標として役立つ

このことは BP 事故調査委員会⁴⁾と CSB⁵⁾ による、2005 年の BP 社テキサスシティ製油所の爆発事故についての最終報告書の勧告「業界全体のプロセス安全メトリクスの改善」を反映したものである[2, 3]。プロセス安全メトリクスは、この報告書で述べられているように、事故のレベルを分割し、各レベルで追跡・評価できる”指標“を使って測定できるようになっている。そのため、企業はこのプロセス安全メトリクスの評価の結果を見て、プロセス安全のパフォーマンスの改善に取り組むことが出来る。

訳者註 4: 正式には The BP US Refineries Independent Safety Review Panel (通称は ” Baker Panel”)

訳者註 5: CSB : US Chemical Safety Board (米国化学安全委員会)

上記のように、どのような継続的改善プログラムでもその基本はパフォーマンスデータの測定とその傾向分析にある。従って、化学および石油業界の企業は、プロセス安全のパフォーマンスの継続的改善には、先行及び遅行プロセス安全指標を効果的に利用することが重要である。これらのメトリクスには以下のような特徴がある。[1]：

信頼性: 目標値または偏りのない尺度を用いて測定することが可能であること。測定可能であるためには、指標は具体的で明確でなければならない。

再現性: 同じ条件下では同じ結果になること。また、同じ事象や同じ測定ポイントを、訓練を受けた別の人が測定しても同じ結果が得られること。

一貫性: 単位と定義は企業全体で一貫していること。このことは企業内のあるエリアと他のエリアを比較するときには特に重要である。

外部影響からの独立性: 指標は正しい結果を導き出すもので、特定の成果を得ようとする圧力からの影響を受けないこと。

適切性: 指標は測定している分野の運転規律や管理システムの結果を適切に示していること。すなわち、指標には目的があり、望まれる範囲から外れた場合には実行可能な対応に繋がるものであること。

比較可能性: 他の同様な指標と比較可能であること。この比較可能性は時間を越え、企業内、業界内に渡るものである。

本書では、CCPS プロセス安全メトリクス委員会がまとめた企業と業界向けの先行メトリクス及び遅行メトリクスに関する一般推奨事項について解説する。さらなる情報については、プロセス安全メトリクスの選定及び管理について発行された CCPS のガイダンスを参照のこと [4, 5]。

メトリクスには以下の3つのタイプがある。

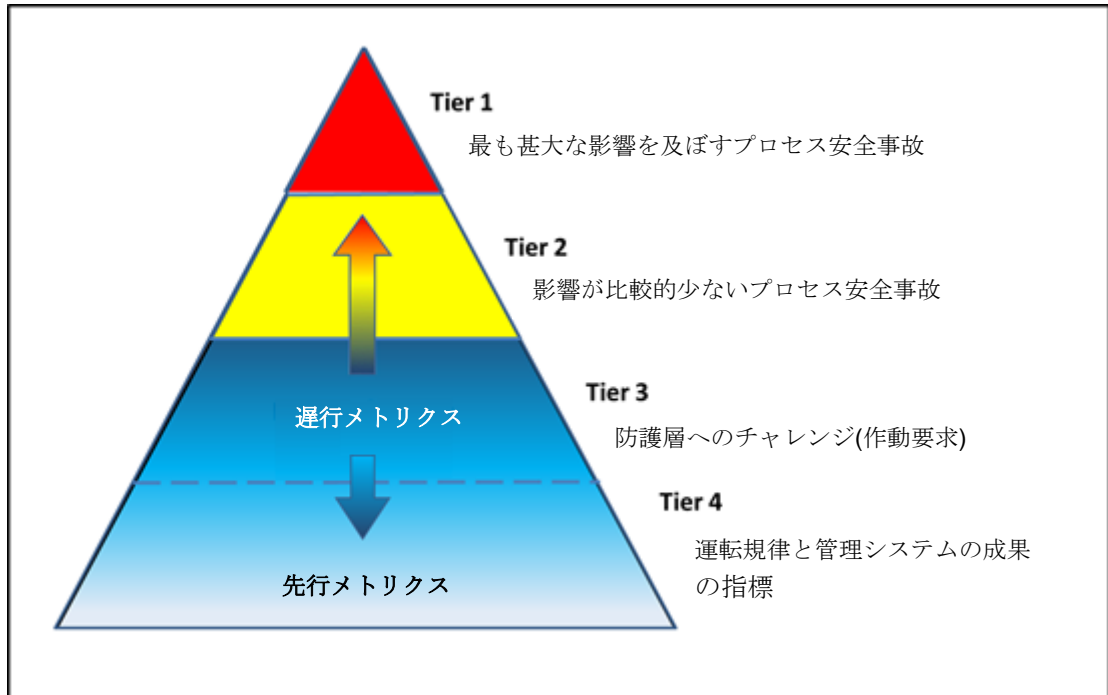
遅行メトリクス (Lagging Metrics) - 過去の実績を振り返るためのメトリクスのセット。
設定された強度 (severity) のしきい値に達した事故に基づくもの。

ニアミスメトリクス (Near Miss Metrics) - 影響がないか、ごく軽微な事故 (すなわち、過去の事象に基づく、遅行メトリクス) もしくはシステムに対する積極的なパフォーマンス評価や観察 (すなわち、予測的、先行メトリクス) によるメトリクスのセット。

先行メトリクス (Leading Metrics) - 重要な作業プロセス、運転規律、及び潜在的な事故防止対策のパフォーマンスを示すメトリクスのセット。

これら三つのタイプのメトリクスは、図1に示す「安全ピラミッド」のそれぞれの階層(レベル)での測定として見る事ができる。「安全ピラミッド」は発生した、または発生の可能性のあった事故の強度に基づいて4つのレベルに分かれている。これらのレベルは API RP 754 [1]で述べられている4つのTier(階層)に対応している。Tier1レベル(遅行メトリクス)は甚大な影響を及ぼした事故の階層で、Tier4(先行メトリクス)は先見的なパフォーマンス評価の階層である。ただし、Tier 3 と Tier 4 の区別は定義されていないので注意が必要である。これは先行か遅行かの区別は不明確であり、その組織のプロセス安全プログラムの成熟度によるためである [6]。

本書では、プロセス安全のパフォーマンスの測定と評価に用いるこれらの Tier と指標について、さらに詳細に説明する。すべての企業がプロセス安全のパフォーマンスをモニターできるように、各 Tier でメトリクスを選定することを強く推奨する。ベンチマークを通じて得た情報を共有することによって、業界全体でプロセス安全のパフォーマンスの継続的な改善を推進するのに役立つであろう。メトリクスは例えば「リスクに基づくプロセス安全」(RBPS)の20のエレメント [7]などプロセス安全のエレメントに対しても選定できる。これらの各 Tier における推奨メトリクスについては、このガイドの後半で詳述する。



注意:

- ・ Tier 3, 防護対策の作動にはニアミス事故(ヒヤリハット)も含む
- ・ Tier 4, 運転規律と管理システムの成果の指標には先見的評価や継続的改善努力を含む、例えば運転規律の調査[8]、マネジメント・レビュー[7]、PSM 監査[9]、現場観察(人の行動に着目した観察)。

図 1

「安全ピラミッド」：各 Tier(階層)と対応するメトリクス

2 章

Tier 1—プロセス安全事故の用語

この章では、プロセス安全事故を表現するための用語の紹介と、関与しているプロセスは何か、報告すべきしきい値は何か、事故が起こったのはどこか（その場所）、急激な放出として何が考えられるかなど、事故を特定する基準についての手引きを示す。また、この章では、事故の特定に役立つ放出の程度に基づいたフローチャートも示す。但し、事故にはプロセス安全事故に該当せず、プロセス安全の遅行メトリクスや先行メトリクスに当てはまらないものもあることに注意のこと。

2.1 プロセス安全事故の定義

プロセス安全リスク管理システムの目指すところは、プロセスに内在する危険性のある物質やエネルギーを特定して、これらの危険に関わるリスクをいかに効果的に管理するか、策定したプロセス安全プログラムをいかに効果的に維持するかを明らかにすることによって、プロセス安全成績を改善することである。この安全プログラムの主眼は、危険な物質やエネルギーの封じ込めの失敗を防ぐために“配管の中に保持”することで、それにより壊滅的な事故を防ぐことである。この原典は2008年版CCPS Process Safety Incident (PSI)に以下の様に記されている。

プロセス安全事故/事象：起こりうる壊滅的な事故、すなわち、健康や環境に大規模な影響を与える可能性のある有害な物質の放出/漏洩に係わる事故。

これが、本書の3章で紹介するAPI RP 754 Tier 1 Process Safety Event (PSE) の基本となる。[1, 10]

API RP 754には、Tier 1 PSEよりも影響の小さいレベルの3つの層が追加されている。従来のCCPSのPSIとAPIによるTier 1、Tier 2 PSEとの違いは、封じ込めの失敗による事故の影響の大きさの違いにある。Tier 1 PSEは、しきい値を超えるレベル（壊滅的事故）であり、一方Tier 2 PSEはしきい値の領域の下限と上限が設定されている（業界の標準メトリクスとしても使われている）。Tier 1またはTier 2のしきい値の具体的説明は、それぞれ、3章と4章で述べる。Tier 3とTier 4の事故（壊滅的ではない事故）は、ニアミスあるいは事前の評価によるものであることを理解しておくことが重要である。Tier 3とTier 4の事故については、それぞれ、6章と7章に詳しく述べる。

2.2 プロセス安全指標の基準

この節では、Tier 1またはTier 2のプロセス安全事故（PSE）は何かを明らかにするための手引き（基準）を記す。

2.2.1 プロセスの関与

以下に挙げることが確かであれば、プロセス安全事故（PSE）が化学品または化学プロセスと関わっているという基準を満たす。

発生した被害にプロセスが直接関与していること。そのために、”プロセス“という言葉は、化学品、石油化学品、石油精製品の製造、反応器、貯槽、配管、ボイラー、冷却塔、冷凍システムなど、事業所の内外の設備に必要な機器や技術に対して広く用いられる。〔1と10より〕化学物質やプロセスに直接関与しない事故、例えば事務所の建物の火災は、例えば建物が事業所内にあっても(プロセス安全事故としての)報告義務はない。

プロセスエリア内で起こった従業員の傷害であっても、プロセスが直接的な役割を果していない場合は、(例えそれが法定の報告すべき傷害であっても)プロセス安全事故として報告する必要はない。この基準の意図するところは、プロセスに関与しない人身事故とは区別して、プロセス安全に関わる事故を特定することにある。例えば、梯子からの落下など休業災害となる事故は、単純にプロセス装置で発生したという理由だけでは報告すべきプロセス安全事故にはならない。しかし、もしその落下が化学品の放出が原因で起こったものであれば、その事故は報告すべきものである。

2.2.2 報告すべきしきい値

報告すべきしきい値は、放出された物質の量に基づく。一次封じ込めの失敗事故は文献 [10]で次の様に定義されている。

一次封じ込めの失敗 (LOPC) : 一次容器⁶⁾ (封じ込め設備・機器・配管)からの計画外または管理されていない物質の放出で、これには非毒性の非可燃性物質 (例えばスチーム、スチームコンデンセート、窒素、圧縮炭酸ガス、圧縮空気) も含む。

訳者註6: 本書では”Primary containment”を「一次容器」と訳している。これは設備・機器・配管など、化学物質などの内容物が外部に漏れないように直接封じ込めている物の総称である。因みに”secondary containment”は「一次容器」から漏れた物質が広がらない様に抑え込む物の総称で「二次容器」と訳す。

API RP 754 では CCPS の用語を発展させて、LOPC をプロセスからの放出が下記リストの結果の1つ以上に該当する放出としている。

注意 : スチーム、スチームコンデンセート、圧縮空気、液化空気の場合は、それらの放出がしきい値の放出だけでなく、その他の危害をもたらす場合にのみ、この定義に含まれる。但し、「国連危険物 (UN Dangerous Good (UNDG)) のクラス 2.2 (Division 2.2) のしきい値」で規定されたその他の非引火性非毒性高圧ガス (例えば窒素、アルゴン、圧縮炭酸ガス) は、しきい値の放出だけの場合も含めすべての結果に対して適用される。

Tier 1 と Tier 2 のプロセス安全事故に関する結果のタイプを表1に示す。Tier 2 のプロセス安全事故には範囲があるが、Tier 1 のプロセス安全事故には上限がないことに注意すること。

表 1
Tier 1 レベルと Tier 2 レベルの結果の比較

Tier1 プロセス安全事故 (PSE1) の結果 (3章参照)	Tier2 プロセス安全事故 (PSE2) の結果 (4章参照)
従業員や請負業者の休業災害および/または死亡災害、あるいは第三者（従業員や請負業者以外）の入院及び/または死亡災害。	従業員、請負業者あるいは下請業者の記録すべき傷害事故。
公式に指示された地域避難場所への避難あるいはシェルターインプレイス ⁷⁾ (警戒のため、地域避難場所へ避難あるいはシェルターインプレイスを含む)	適用外
企業に 100,000 ドル以上の直接コストをもたらす火災や爆発	企業に 2,500 ドル以上 100,000 ドル未満の直接コストをもたらす火災や爆発
1 時間あたりの放出量が表 2 に記載のしきい値よりも多い引火性、可燃性、及び有毒化学品の急激な放出	1 時間あたりの放出量が表 4 に記載のしきい値よりも多く、表 2 に記載のしきい値よりも少ない引火性、可燃性、及び有毒化学品の急激な放出
<p>直接か、下流の除害装置を経由するかにかかわらず、次のいずれか 1 つを生じる圧力開放装置 (PRD)、放出装置からの放出</p> <p>レインアウト⁸⁾ 潜在的に不安全な場所への排出 敷地内のシェルターインプレイスあるいは避難場所への避難 (警戒のためのシェルターインプレイスあるいは避難場所への避難を除く) 実際か警戒のためにかかわらず、公的な防災対策 (例えば道路封鎖) の実施</p>	<p>直接か、下流の除害装置を経由するかにかかわらず、次のいずれか 1 つを生じる圧力開放装置 (PRD)、放出装置からの放出</p> <p>レインアウト 潜在的に不安全な場所への排出 敷地内のシェルターインプレイスあるいは避難場所への避難 (警戒のためのシェルターインプレイスあるいは避難場所への避難を除く) 実際か警戒のためにかかわらず、公的な防災対策 (例えば道路封鎖) の実施</p>
<p>注意:</p> <p>1) いくつか非毒性、非引火性物質 (例えば、スチーム、熱水、あるいは圧縮空気) はしきい値がないが、他の 1 つ結果が起こる可能性があればこの定義に含まれる。</p> <p>2) 圧力開放装置 (PRD)、安全計装システム (SIS)、あるいは手動による緊急脱圧装置からの放出は、計画外の放出による LOPC である。Tier 1 のプロセス安全事故 (PSE) は、次頁に述べられている定義をもとに決定する。</p> <p>3) プロセスからの LOPC によって起こる敷地内の火災や爆発は、Tier 1 の結果を評価するきっかけにはなるが、LOPC が最初である必要はない。</p>	

記者註 7: シェルターインプレイス (shelter-in-place) とは有毒ガスなどが放出され避難できないときに、自宅などの室内で窓や扉にシールをして安全になるまで屋内で避難する (閉じこもる) ことをいう。(事例に学ぶ化学プロセス安全 p97 参照)

記者註 8: レインアウト (rain out) とは、主に液状物質が空中高く放出され地上に落下することをいう。(付録 B、事例 22 参照)

2.2.3 場所

プロセス安全事故は次の場合、場所に関する基準を満たす。

生産、輸送、貯蔵、ユーティリティあるいはパイロットプラントの設備で発生する事故で、メトリクス上の定義上、報告義務のあるもの。これには、そのサイトの管理下にあるタンクファームや付帯設備エリア（例えばボイラーの建屋、廃水処理プラント）及び輸送配管も含まれる。

報告すべき事故は全て、発生した場所の操業責任をもっている企業が報告しなければならない。これは、他の事故と同様、請負業者の作業場所で発生した事故にも該当する。

委託加工請負業者や多数の企業が入っているサイトでは、最初に事故が発生した装置を運転している企業がPSEメトリクスに従って事故を記録し、カウントしなければならない。API RP 754には、“責任を負うべき当事者”と“アクティブな倉庫”の定義についての詳しい記述がある。

国連危険物 (UN Dangerous Goods definitions) に定義されている物質の完全なリストについては、CCPSメトリクスのWebページ([CCPS Metrics](#))に掲載されているCCPSプロセス安全インシデント (PSI) 評価ツール (PSI Evaluation Tool ver. 3.02)⁹⁾を参照のこと。

訳者註9: PSI Evaluation Tool ver. 3.02はマクロを含んでいるエクセルの為、起動時にマクロを有効にする必要がある。

2.2.4 急激な放出

報告すべきTier 1あるいはTier 2プロセス事故に対しては“1時間”ルールが適用されている。一般的に「急激な放出」とは、1時間あるいはそれ以内の放出である。しかし、しきい値に達する放出が1時間内に起こったかどうか、確かめることが難しい場合もある。（例：引火性液体がタンクから、または移送操作前に開けたままのドレン弁から夜通し防液堤内に大量に流出した場合。これらは、何時間も発見されず、いつしきい値を超えたのか正確な時間を把握することは難しい。）放出の継続している時間が確かめられなければ、その時間は1時間であったとみなす。

Tire 1のプロセス安全事故の指針（3章）では、1時間当たりの物質の放出量が報告すべきしきい値 (TQ) に達するか超える量を表2に示している。もし、1時間当たりの放出量が表2に示されたしきい値レベルに達していなければ、Tire 2のプロセス安全事故であるかも知れない。

Tire 2のプロセス安全事故の指針（4章）では、1時間当たりの物質の放出量が報告すべきしきい値の範囲を表4に示している。もし、放出量が、1時間にしきい値のレベルの範囲の最小値に達しないか超えない場合はTire 2のプロセス安全事故として扱われない。もし、表4の最大レベルを超えていれば、その放出はTire 1のプロセス安全事故と見なす。

2.3 プロセス安全事故確認用フローチャート

図 2 はプロセス安全事故の確認のためのフローチャートである。

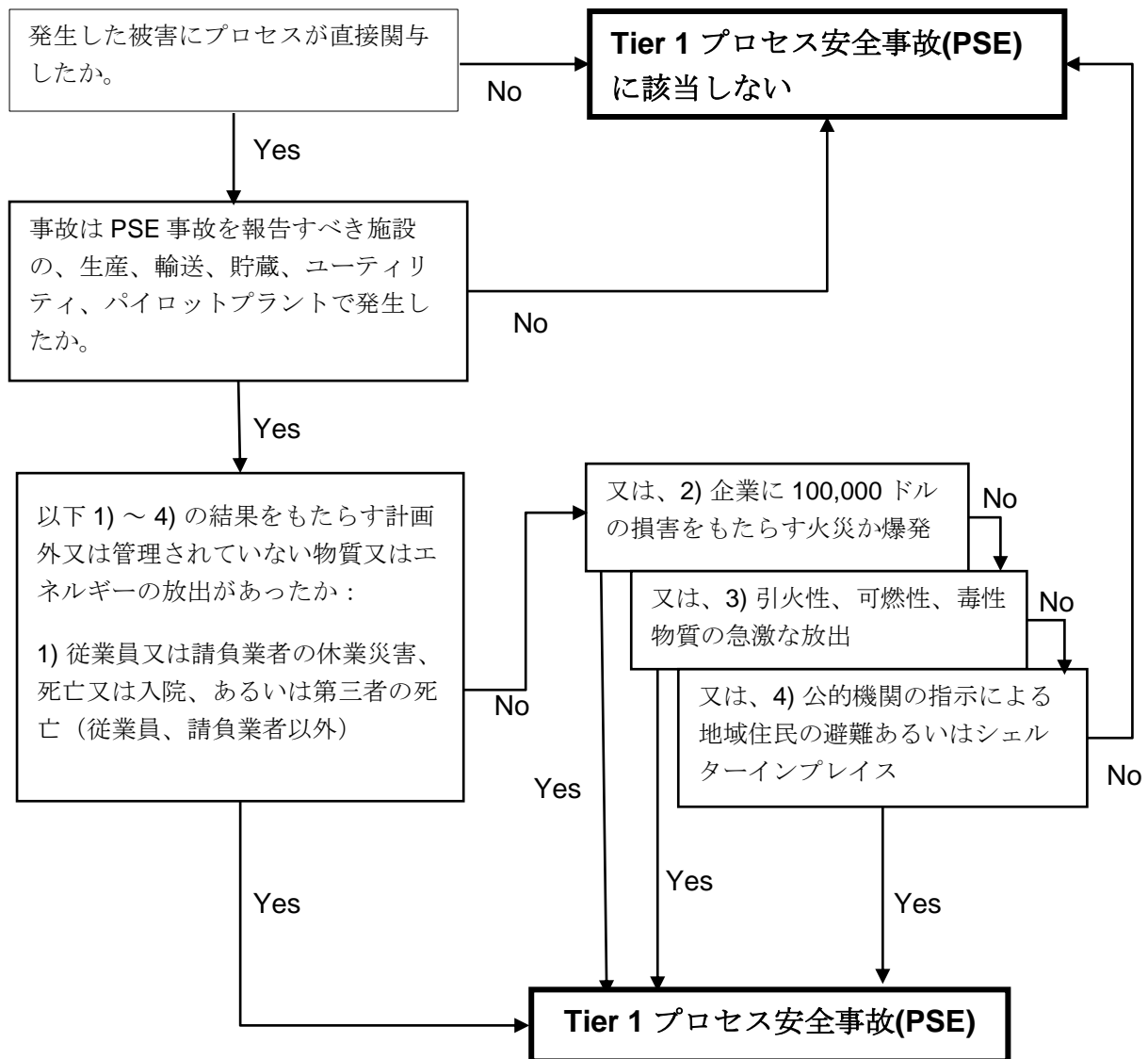


図 2

Tire 1 のプロセス安全事故であるかを判定するためのフローチャート

2.4 適用除外

企業は、自社が所有あるいは運転している設備におけるプロセス事故のメトリクスを記録し、報告することが勧告されている。但し、次の場合は適用を除外する。

1. 管理責任がない限り、企業の資産外で起こった事故
2. 船舶が（例えば、原料や製品の輸送のために）輸送関連の設備に接続されている場合を除いて海上輸送用船舶で発生した事故
3. トラックや鉄道車両が（例えば、原料や製品の輸送のために）設備に接続されている場合を除いてトラックや鉄道で発生した事故。但し、プロセスへの接続や取り外しの作業をしている場合、トラックや鉄道車両がサイトの貯蔵目的で使用されている場合は除外されない。プロセスの貯蔵可能量を超えるために荷揚げを待っているトラックや鉄道車両は、サイトの貯蔵設備とみなす。
注意：「荷降ろし待機」はプロセスへの接続や取外し作業の一部ではなく、サイトの貯蔵と見なすものでもない。「荷降ろし待機」は輸送の一部である。
4. サイトの運転とは関わりのない荷積み・荷下ろしの作業、またはバキュームカー付属の移送ポンプを用いて行うバキュームカーの操作。
5. 許可を受けた、あるいは法定内の定常的な放出。
6. プロセス物質を扱わない事務所、作業場、倉庫の建屋の事故
7. 封じ込めの失敗事故による避難行動やその対応とは直接関係のない“すべり/つまずき/転倒”などの人の事故。
8. 有害物質の排出用に設計された集排液システムへの計画的で管理された有害物質の排出
注意：但し、集排液システムへ供給する一次封じ込め設備・機器からの物質の放出が計画的に管理されていない場合は、除外の対象とはならない。
9. 品質保証（QA）、品質管理（QC）、研究開発（R&D）の実験室における事故
注意：但し、パイロットプラントは除外の対象とはならない。
10. 事業所構内での可動機器や設備など（例えば、ピックアップトラック、ディーゼル発電機、重機）への燃料補給作業。

3 章

Tier 1 - プロセス安全事故の指標

3.1 Tier 1 プロセス安全事故の指標の目的

Tier 1 レベルのプロセス安全事故 (PSE1) は指標値として最も遅行性が高いもので、大きな影響を与える一次封じ込めの失敗 (LOPC) 事故を表し、図 1 には「最も甚大な影響を及ぼす PSE」として示されている。Tier 1 の PSE は、たとえ放出物が二次防護システム内に留まった事故だとしても、複数のバリアや防護システムに弱点があることを示している。PSE1 の事故指標を、より軽度の事故指標と併せて活用すれば、企業全体のプロセス安全成績の評価に役立つ。

3.2 Tier 1 プロセス安全事故のしきい値

Tier 1 のプロセス安全事故 (PSE1) を特定する基準は 2.2 節 で説明した。これらの基準には、どんなプロセスが関係するか、何が報告すべきしきいか、どこで事故が起こったか (その場所)、および何が急激な放出として考えられるか、などが含まれる。

PSE1 の事故強度のしきい値は表 2 に示されている。

Tier 1 および Tier 2 プロセス安全事故の類型別の結果比較を表 1 に示す。

3.3 Tier 1 プロセス安全事故の強度レベル

Tier 1 のプロセス安全事故 (PSE1) の強度レベルは、表 3 に示す影響分野別の強度表に基づいて決められる。

表 2

Tier 1 プロセス安全事故 (PSE1) のしきい値

放出しきい値の分類	物質危険性分類 a, c, d	しきい値 (TQ)	室内放出 ^b に対する推奨しきい値 (TQ)
1	吸入毒性の危険 (TIH) ¹⁰ ゾーン A 物質	5 kg (11 lb)	0.5 kg (1.1 lb)
2	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン B 物質	25 kg (55 lb)	2.5 kg (5.5 lb)
3	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン C 物質	100 kg (220 lb)	10 kg (22 lb)
4	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン D 物質	200 kg (440 lb)	20 kg (44 lb)
5	引火性ガス または 初溜点が35° C (95° F) 以下で、引火点が23°C (73° F) 未満の液体 または 国連番号の容器等級 I の強酸/強塩基を除いた他の物質	500 kg (1100 lb)	50 kg (110 lb)
6	初溜点が35° C (95° F) を超え、引火点が23°C (73° F) 未満の液体 または 容器等級 II の中程度の酸/塩基を除くその他の物質	1000 kg (2200 lb) or 7 bbl	100 kg (220 lb) or 0.7 bbl
7	引火点が23°C (73° F) 以上、60°C (140° F) 以下の液体 または 引火点以上の温度で放出される 引火点が60° Cを超える液体 または 強酸/強塩基 または容器等級 IIIのその他の物質 または 国連番号のクラス 2.2 非引火性非毒性高圧ガス(水蒸気・スチームコンデンセートおよび圧縮・液化空気を除く)	2000 kg (4400 lb) or 14 bbl	200 kg (440 lb) or 1.4 bbl
表 2 の「注意」は次ページに続く			

表 2 - 続き

Tier 1 プロセス安全事故 (PSE1) のしきい値

注意:

kgとlbまたはlbとbb1で示されたしきい値は厳密には等しくない。企業はその組合わせのどちらかを採用しそれを一貫して全ての記録に使用すること。

これらのしきい値を超えない場合、その放出事故はTier 2のプロセス安全事故(PSE2)と考えて良い。PSE2のしきい値は表 4 を参照のこと。

この報告書で使用している分類についてさらに参照したい場合は参考文献[1]を参照のこと。

表の各列の注意 [文献1から適用]:

a) 多くの物質は複数のハザード(危険性)を持っている。物質のハザードゾーンや容器等級の正確な分類は米国運輸省のDOT 49 CFR 173.2 a [文献11] あるいは国連の危険物輸送に関する勧告・セクション2[UNDG: 文献13]に従うこと。

b) ストラクチャー(建屋)は、4つの完全な(床から天井までの)壁と床と屋根から構成される。

c) 国連危険物の分類に掲載されていない溶液については、無水成分としてTIH⁽¹⁰⁾ゾーンや容器等級を決める。溶液のしきい値は成分の乾燥重量のしきい値から逆算すること。

d) 国連危険物の分類が不明の混合物については 各成分の放出のしきい値の重量分率から計算できる。仮に、各成分の分率の合計が100%以上であれば、その混合物はしきい値を超える。混合物に、明らかに個別の毒性や可燃性がある場合は、毒性や可燃性の危険度は個別に計算する。

訳者註 10: TIH = Toxic Inhalation Hazard (吸入毒性の危険) : 吸入時に人体に有毒と推定されるガスまたは揮発性液体。ゾーンの定義については DOT 49CFR 173.116, 173.132, または UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods 参照

- TIH ゾーン A: ガス: LC50 (半数致死量) が 200 ppm 以下
 液体: 飽和蒸気濃度 V が 500 LC50 以上 かつ LC50 が 200 ppm 以下
 Br, HCN, MIC, ホスゲン、ニッケルカルボニルなど
- TIH ゾーン B: ガス: LC50 が 200 ppm を越え 1000 ppm 以下
 液体: V が 10 LC50 以上かつ LC50 が 1000 ppm 以下かつゾーン A の基準を満たさないもの
 BF3, H2S, 塩素、赤色発煙硝酸など
- TIH ゾーン C: ガス: LC50 が 1000 ppm を越え 3000 ppm 以下
 HCl, HF, SO2
- TIH ゾーン D: ガス: LC50 が 3000 ppm を越え 5000 ppm 以下。
 NH3, CO, エチレンオキシドなど

表 3
Tier 1 プロセス安全事故 (PSE1) の分野別強度

強度 点数	影響分野				
	安全/人の健康 ^a	火災・爆発による 直接コスト	1 時間内の 物質放出 ^a	地域への影響	サイト外への 環境影響 ^{b, c}
1 点	<ul style="list-style-type: none"> 従業員 元請業者または下請け業者への応急手当を超える治療が必要な事故 	<ul style="list-style-type: none"> 直接コスト損害額 10 万ドル以上 百万ドル未満の事故 	<ul style="list-style-type: none"> 二次封じ込め設備・機器外への放出量が以下の事故 $1x \leq \text{Tier 1 TQ} < 3x$ 	<ul style="list-style-type: none"> 公式に指示されたシェルターインプレイスまたは公共防災対策 (例: 道路封鎖) (3 時間未満) または 公式に指示された避難 (3 時間未満) 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急環境対応コストが 10 万ドル以上 百万ドル未満の事故
3 点	<ul style="list-style-type: none"> 従業員 元請業者または下請け業者の休業災害事故または 第三者に対する応急手当を超える治療が必要な事故 	<ul style="list-style-type: none"> 直接コスト損害額 10 万ドル以上 1 千万ドル未満の事故 	<ul style="list-style-type: none"> 二次封じ込め設備・機器外への放出量が以下の事故 $3x \leq \text{Tier 1 TQ} < 9x$ 	<ul style="list-style-type: none"> 公式に指示されたシェルターインプレイスまたは公共防災対策 (例: 道路封鎖) (3 時間以上) または 公式に指示された避難 (3 時間以上 24 時間未満) 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急環境対応コストが 10 万ドル以上 1 千万ドル未満の事故 または 水生あるいは陸生野生生物に対する小規模な殺傷事故
9 点	<ul style="list-style-type: none"> 従業員 元請業者または下請け業者 1 名の死亡災害事故または 第三者 1 名の入院事故 	<ul style="list-style-type: none"> 直接コスト損害額 1 千万ドル以上 1 億ドル未満の事故 	<ul style="list-style-type: none"> 二次封じ込め設備・機器外への放出量が以下の事故 $9x \leq \text{Tier 1 TQ} < 27x$ 	<ul style="list-style-type: none"> 公式に指示された避難 (24 時間以上 48 時間未満) 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急環境対応コストが 1 千万ドル以上 1 億ドル未満の事故 または 水生あるいは陸生野生生物に対する中規模な殺傷事故
27 点	<ul style="list-style-type: none"> 従業員 元請業者または下請け業者の複数死亡災害 または 第三者の複数入院事故 または 第三者の死亡事故 	<ul style="list-style-type: none"> 直接コスト損害額 1 億ドル以上の事故 	<ul style="list-style-type: none"> 二次封じ込め設備・機器外への放出量が以下の事故 $27x \leq \text{Tier 1 TQ}$ 	<ul style="list-style-type: none"> 公式に示された避難 (48 時間以上) 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急環境対応コストが 1 億ドル以上の事故 または 水生あるいは陸生野生生物に対する大規模な殺傷事故

注意:

- a 二次封じ込め設備・機器が存在しない場合は、一次封じ込め設備・機器からの放出量 (LOPC) が使われる。二次封じ込め設備・機器が液体のみの貯留用に設計されている場合、放出される気体または蒸気、および液体から発生する気体または蒸気の量は、二次封じ込め設備・機器からの放出量で計算する。
- b 水生あるいは陸生野生生物に対する殺傷事故の規模の大中小の判定は、地域の規制あるいは会社のガイドラインに拠らねばならない。
- c 強度の重みづけ計算には「サイト外への環境影響」および安全/人の健康影響の「応急手当」を超える傷害が含まれているが、それらは Tier 1 PSE のしきい値基準には含まれない。しかし、これらの二つの値を含む目的は、何らかの形で傷害や環境影響を及ぼす事故に対して、強度点に差をつけるためである。

4 章

Tier 2 - プロセス安全事故の指標

4.1 Tier 2 プロセス安全事故 (PSE2) の指標の目的

Tier 2 と算定されるプロセス安全事故 (PSE2) は、図 1 に「影響が比較的少ないプロセス安全事故」と図示した影響がそれほど重大ではない LOPC 事故を指す。PSE2 は、たとえ二次防護層で食い止められてきた事象でも、防護システム全体の弱点を示しており、それは将来、より重大な事故が起こる前兆の可能性がある。その意味で Tier 2 PSE は Tier 1 PSE の先行指標とみなされ、企業がプロセス安全の実態を把握して改善する機会提供となっている。

4.2 Tier 2 プロセス安全事故の強度のしきい値

Tier 2 のプロセス安全事故 (PSE) を特定するための基準については 2.2 節で説明した。これらの基準には、どんなプロセスが関係するか、報告すべきしきい値は何か、どこで事故が起こったか (その場所)、および何が急激な放出として考えられるか、などが含まれている。Tier 2 PSE は、たとえ二次防護層で食い止められた事象でも、将来、Tier 1 PSE となり得るようなより重大な事故の前兆の可能性がある、防御や防護層システムの弱点を示すものである。**防護層およびその弱点がどのように事故を招くかに関しては、第 7 節で更に議論する。**このように、Tier 2 PSE は、より軽度な影響に関連することも学ぶ機会を企業に提供している。Tier 2 PSE の強度のしきい値の範囲は表 4 に示されている。もし最大値が表のしきい値を超える場合は、その事故は Tier 1 PSE と考えられる。(表 2 参照)

Tier 1 および Tier 2 のプロセス安全事故の各種影響比較を表 1 に示す。

表 4

Tier 2 プロセス安全事故 (PSE2) しきい値

放出 しきい値 の分類	物質危険性分類 ^{a, c, d}	しきい値 (TQ)	室内放出 ^b に対する 推奨しきい値 (TQ)
1	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン A 物質	0.5 kg (1.1 lb)	0.25 kg (0.55 lb)
2	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン B 物質	2.5 kg (5.5 lb)	1.25 kg (2.76 lb)
3	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン C 物質	10 kg (22 lb)	5 kg (11 lb)
4	吸入毒性の危険 (TIH) ゾーン D 物質	20 kg (44 lb)	10 kg (22 lb)
5	引火性ガス または 初留点 35 °C (95° F) 以下で引火点 23°C (73 ° F) 未満の引火性液体 または 強酸 / 強塩基を除くその他の容器等級 I 物 質	50 kg (110 lb)	25 kg (55 lb)
6	初留点が 35°C (95° F) を超え 且つ 引火点 が 60°C (140° F) 未満の引火性液体 または 引火点が 60°C (140° F) を超える引火性液 体が引火点以上の温度で放出された場合 または 中程度の酸/塩基を除くその他の容器等級 II および III 物質 または 強酸および強塩基	100 kg (220 lb) または 0.7 bbl	50 kg (110 lb) または 0.35 bbl
7	引火点が 23 ° C (73 ° F) 以上 60 ° C (140 ° F) 以下の液体 または 引火点が 60°C (140° F) を超える引火性液 体が引火点以上の温度で放出された場合 または 強酸 / 強塩基 (定義 3.1.2 を参照) または 空気を除く UNDG Class 2, Division 2.2 (非引火性、非毒性ガス) の物質 または その他の容器等級 III 物質	200 kg (440 lb) または 1.4 bbl	100 kg (220 lb) または 0.7 bbl.
8	引火点が 60°C (140° F) を超える液体が引 火点以下の温度で放出された場合 または 中程度の酸/ 塩基または Division 2.2 の物 質	1000 kg (2200 lb) または 7 bbl	500 kg (1100 lb) または 3.5 bbl

表 4 の「注意」は次ページに続く

表 4 - 続き

Tier 2 プロセス安全事故 (PSE2) しきい値

注意:

kgと1bまたは1bとbb1で示されたしきい値は厳密には等しくない。企業はその組合わせのどちらかを採用し、それを一貫して全ての記録に使用すること。

これらのしきい値が表2に示された最小しきい値を超える場合、その放出事故はTier 1のプロセス安全事故(PSE1)と考える。

この報告書で使用している分類についてさらに閲覧したい場合は参考文献[1]を参照のこと。

表の各列の注意[文献1から適用]:

- a) 多くの物質は複数のハザード(危険性)を持っている。物質のハザードゾーンや容器等級の正確な分類は米国運輸省のDOT 49 CFR 173.2 a [文献11] あるいは国連の危険物輸送に関する勧告・セクション2[UNDG: 文献13]に従うこと。
- b) ストラクチャー(建屋)は、4つの完全な(床から天井までの)壁と床と屋根から構成される。
- c) 国連危険物の分類に掲載されていない溶液については、無水成分としてTIHゾーンや容器等級を決める。溶液のしきい値は成分の乾燥重量のしきい値から逆算すること。
- d) 国連危険物の分類が不明の混合物については 各成分の放出のしきい値の重量分率から計算できる。仮に、各成分の分率の合計が100%以上であれば、その混合物はしきい値を超える。混合物に、明らかに個別の毒性や可燃性がある場合は、毒性や可燃性の危険度は個別に計算する。

5 章

プロセス安全事故のメトリクスの報告

本章では、企業または業界における安全成績の変化を示し、プロセス安全成績の継続的改善に役立てることのできる様、業界全体に共通するプロセス安全のメトリクスの手引きを紹介する。本章に示した比率表現のメトリクス(rate adjusted metrics)やプロセス安全メトリクスは企業や産業部門間のベンチマークとして有用である。本章では、付録Bにある膨大な詳細事例のうち、事故の解釈や事例について一部を取り上げてある。

5.1. 比率表現のメトリクス (rate adjusted metrics)

付録Aにある定義を用いれば、比率を基にした様々な指標を作ることが出来る。その例を示すと：

$$\text{Tier 1 プロセス安全事故率(PSE1R)} = \frac{\text{Tier 1 P S E 事故の総発生件数}}{\text{総労働時間}} \times 200,000$$

$$\text{Tier 2 プロセス安全事故率(PSE2R)} = \frac{\text{Tier 2 P S E 事故の総発生件数}}{\text{総労働時間}} \times 200,000$$

$$\text{Tier 1 プロセス安全事故強度率(PSE1SR)} = \frac{\text{Tier 1 P S E 事故強度の合計点数}}{\text{総労働時間}} \times 200,000$$

PSE1R を決定するにあたっては、表3のプロセス安全事故の分野別強度表を参照して頂きたい。このように、レベル4の事故の各結果に対しては強度ポイントとして1ポイント、レベル3には3ポイント、レベル2には9ポイント、レベル1には27ポイントが割り当てられる。理論的には、PSEは最小が1ポイント（即ち、事故がただ一つの分類のレベル4の結果にのみ合致する場合、 $1 \times 1 = 1$ ）、最大は135ポイント（即ち、事故が5つの分類すべてにおいてレベル1の事故に該当する場合、 $27 \times 5 = 135$ ）となる。

5.2. 業界のプロセス安全メトリクス

各企業には、5.1節で示したTier1やTier2の事故発生件数や事故率、事故強度率を算出し、公開することが推奨されている。

事業者団体やコンソーシアムがこの情報を収集して会員企業に公開することは、企業がベンチマークを実施する際に役に立っている。CCPSのメトリクスのウェブページ([CCPS Metrics](http://www.aiche.org/ccps))に掲載された事例を参照のこと。

5.3. PSEメトリクスの解釈と事例の紹介

この節では、プロセス安全事故が Tier1 と Tier2 のどちらであるかの判断に迷う場合に役に立つ、「メトリクス解釈の手引き」といくつかの事例を紹介する。メトリクスの解釈と事例に関する現時点の情報は、本書の付録Bに記す。ただし、この付録に対する今後の変更については、電子版のCCPSのメトリクスのウェブページ([CCPS Metrics](#))に随時更新されるため留意のこと。

「事業所構内」の事例

1. 事業所構内で協力会社のタンクローリーから引火性物質が漏洩して火災が発生し、設備資産に10万ドル（直接費）の損害が発生した。タンクローリーは協力会社が運用していたものであるが、その時はプロセスに繋がっていた。直接費が10万ドル以上であったため、この事故はTier1PSEに該当する。

「封じ込めの失敗」の事例

5. 10バレル（1.6 m³）のガソリン（1400 kg、3100 ポンド）が配管からコンクリート上に漏洩したが、土壌や水域には到達しなかった。工場の担当者は、漏洩は「一時的」（例えば、1時間以内）なものだったと推定している。このケースは、一次容器からの「引火性液体」1000 kg（2200 ポンド）以上の「一時的」（1時間以内）な漏洩に該当するため、Tier1PSEに該当する。

「急激な放出」の事例

17. ガソリン10バレル（1.6 m³）（1400 kg、3100 ポンド）が、配管から地面に2週間にわたって漏洩した。ざっと計算すると、流出速度は1時間あたり約0.03バレル（4.8 l）（9 ポンド）（4.2 kg）であった。この流出事故は「急激な放出」（例えば、1時間に1000 kg（2200 ポンド）のしきい値を超える）ではなかったため、これはTier1にもTier2 PSEにも該当しないが、会社はこれをTier3のその他の一次容器の漏洩事故として記録する可能性がある。

「圧力開放装置¹¹⁾とそのシステム」の事例

26. 設備の不調によりリリーフ弁が開き、それに対応するためにAPI Standard 521に則って設計された大気ベントに流れ、悪影響を与えることなく大気中にガスが放出された。この事故は、API Standard 521等によれば、Tier1にもTier2 PSEにも該当しない。それは適切に設計された、安全弁、高圧ラプチャーディスクなどの安全装置から大気に蒸気とガスが放出されたためである。（注：この放出の場合、液体の過充填、潜在的に危険な場所・事業所内の避難所への放出、または地域社会の緊急措置（道路の閉鎖など）を引き起してはならず、および圧力開放装置からのしきい値を超える放出はあってはならない[1]）。これは、Tier 1にもTier 2にも該当しない単なる安全弁の作動であるが、会社はこれをTier3事故としてカウントする可能性がある。

記者註 11: 本書では” pressure relief device” を「圧力開放装置」と訳している。基本的に安全弁やラプチャーディスクなどの総称である。

6 章

Tier3—ニアミス事故の指標

様々な業界における経験を基にしたこのガイダンスでは、すべての企業に対し、ニアミス事故 (Tier 3) や管理システムのパフォーマンス評価メトリクス (Tier 4) など、より「先見的な」指標を用いて管理することを奨励している。これらの指標は、図1の事故ピラミッドの底辺にあるように頻繁に起こるが、より軽度な事故に焦点を当てている。典型的なニアミス事故は実際に発生したか潜在的な不安全状態を見出したものであるため、このメトリクスは遅行メトリクス (lagging metric) と定義づけることもできる。

組織が Tier3 ニアミス事故を分析する場合、ニアミス事故の件数が多いことや発生数の増加は、より重大な事故発生の前兆と見なされる。これらは、企業が Tier 2 (悪くすれば Tier 1) の事故が発生する前に把握して対処すべき「警告サイン」であるとされている[13]。したがって、多くの企業では、これらのニアミス指標を先行メトリクス (leading metric) の代わりとしている。

ちなみに、ニアミス指標とするプログラムが導入されると、企業は、ニアミス報告書¹²⁾の増加が (少なくとも初期には) プロセス安全文化の改善の明るい兆しであることに気付くであろう。組織は全階層のプロセス安全への気付きと規律の向上により、全体的なプロセス安全成績の向上を図っている。従って、Tier3 のニアミス事故の報告数の増加に伴い、Tier1 や2 の発生数が減少するという事は起こり得ることである。(図1)

訳者註 12: ニアミスの報告はプロセス安全上の問題に対する気付きである。

プロセス安全やリスク管理のプログラムを効果的に実施するには、どの企業も何らかのニアミス報告システムを実行する事が必須である。既存の報告システムを見直しや更新をする際、あるいは新たな報告システムを導入する際、この節で説明したメトリクスや定義を考慮すべきである。さらに、ニアミスプログラムで収集し傾向分析したデータは、より重大な事故の事前予測と防止に役立てることが出来る。

6.1. Tier3 指標の目的

Tier3 ニアミス事故は、図1に「防護層へのチャレンジ」とあるように、バリアや防護層が機能したことにより Tier1 や Tier2 の事故に繋がらなかった例がその典型である。このレベルの指標は、防護システム内にある弱点を再度特定し、修正する良い機会となる。

Tier 3 指標は、ベンチマークの実施や業界に適用可能な基準の開発には、あまりに施設に固有なものである。それは基本的に社内向けのものであり、地域 (工場) の公開報告に使われることもある。一企業としては以下に例示する指標の全てもしくは一部を採用することが出来る。

- 安全運転限界からの大幅な逸脱 (暴走)¹³⁾ の件数
- 一次封じ込め設備・機器の検査や試験の結果、許容限界外となった件数
- 安全システムへの作動要求の件数

- その他の一次封じ込めの失敗 (LOPC) による事故の件数
- 操業にとって重要なその他の事項における件数

訳者註 13: 本書では ”excursion” を「暴走」とも訳すことがあるが、「大幅な逸脱」の方が近い。「暴走」に対応する英語は ”runaway” であり、「手を付けられない」というニュアンスがある。

6.2. プロセス安全ニアミス事故の定義

“ニアミス事故”には三つ重要な要素がある。業界内では、ニアミスの定義について様々な表現がされているが、以下の要素を含んでいるものが大多数である。

- 想定外の事象の発生や、潜在的な不安全状態の発見。
- その事象や不安全状態が悪化する十分な可能性がある。そして
- それが悪化すると深刻な悪影響をもたらす。

言い換えると、この事故が、死亡災害、大怪我、深刻な環境被害、あるいは重大な物損などを引き起こさなかったのは、単にタイミング（秒）や場所（距離、例えばフィートやメートル）が良かっただけである。本書の目的の為に、以下の“ニアミス”の定義を用いる。 [10]

ニアミス：僅かな状況の違いで、人への危害、資産・設備あるいは環境に対する損害、プロセスの損失などをもたらした可能性のある望ましくない事故

このニアミスの定義は、環境、健康、人の安全やプロセス安全のニアミス報告に用いるなど、EHS（環境・健康・安全）管理プログラムのあらゆる局面で適用することができる。リスクに基づくプロセス安全(RBPS)に基づいて安全管理システムを構築する際には文献を参照して頂きたい [5]。

ニアミス報告プログラムにおいてプロセス安全に関する事故に特別に焦点を当てるため、多くの企業ではプロセス安全ニアミスの定義も作成している。尚、本書では、以下をプロセス安全ニアミスの定義として用いる。

プロセス安全ニアミス

- 遅行マトリクス（表4）にある Tier2 プロセス安全事故のしきい値に達しないかなりの量の危険物質の放出。
- 安全システムへのチャレンジ。これは以下の3つのカテゴリーに分類される。
 - 安全システム（圧力開放装置、安全計装システム、機械的遮断システム）に対する作動要求
 - 一次封じ込め設備・機器の検査や試験の結果が許容限界外となった、あるいは
 - プロセスの正常範囲からの逸脱や暴走(大幅な逸脱)。

6.3. プロセス安全ニアミス事故の事例

6.3.1 安全システムへのチャレンジ

安全システムへのチャレンジに関わるニアミスは次の二つのカテゴリーに分類される。

- 1) 安全システムへの作動要求（チャレンジ）が出され、それが正常に機能した場合
- 2) 安全システムへの作動要求（チャレンジ）が出され、それが機能しなかったが、事故は（Tier2PSE の）しきい値を超えなかった場合

作動要求に対して安全システムの応答が正常もしくは不適切であった事例を挙げると、

- 破裂板、フレアに繋がるまたは大気開放の圧力制御弁、安全弁などが、事前に設定された設定値に到達して作動した。
- システムの条件が事前に設定された設定値を越えたが、破裂板、フレアに繋がるまたは大気開放の圧力制御弁、安全弁などが作動しなかった。
- “許容範囲外”のプロセス変数が検知された際の安全計装システムの作動、例えば
 - ポリエチレン反応器の圧力上限インターロックが作動して、反応や供給が停止した。
 - 吸込み側のロックアウトドラムの液面上限のインターロックが作動して、圧縮機が停止した。
- システムに作動要求が出されたが、安全計装システムが設計通りに機能しなかった全ての場合（即ち、安全装置の作動不能）
- 装置が実際に応答したかどうかとは無関係に、有効な信号により機械的停止システムが作動要求を受けた回数。

注意；LOC(封じ込めの失敗)の防止が目的ではなく、機械保護の為に設けられた機械的停止システムの作動は、プロセス安全のニアミス回数には数えない。

6.3.2 プロセスの逸脱や暴走など

プロセスの逸脱や暴走(大幅な逸脱)のニアミス事例

- 運転パラメーターの大幅な逸脱、例えば圧力、温度、流量が標準運転限界（品質管理上の運転範囲）を外れたが、プロセス安全の限界内にとどまっている場合。
- 予め設定された安全上重要な制御範囲、あるいは緊急停止や緊急対応が必要な限界点を越えたプロセスパラメーターの大幅な逸脱
- パラメーターが機器の設計範囲から逸脱した運転
- 運転パラメーターが設計範囲内かどうかに関わらず、異常または想定外の暴走反応

6.4. 管理システムのニアミス事故

管理システムの弱点や問題点に関するニアミスには以下によって見いだされたものが含まれる；

- 設備の点検・試験・予防保全（ITPM）のプログラム
- 見落としや間違いによる失敗
- 予想外、または計画外の設備の状態
- 容器(封じ込め設備・機器・配管)の物理的損傷

ITPM に関連するニアミスの事例；

- 一次容器(封じ込め設備・機器・配管)の点検や試験の結果が許容限界を超えた。
- 一次容器の点検や試験により、一次容器の許容限界を超えた運転が判明した。
- 機器や部品の交換、機器の校正、機器の供用適性回復のための修理、検査や試験の頻度を上げる、プロセス機器の定格引き下げなどの対応のきっかけとなった ITPM の結果。

(注意：設備の変更管理 (MOC) プログラム [7] 実施のきっかけとなる変更は、これに該当することが多い。)

- 点検や試験により、容器、常圧のタンク、機械、配管が、肉厚検査の許容限界を超える圧力や液面で運転されていたことが判明した。

(注意：

- 各圧力容器や常圧タンクに対しては、許容肉厚以下であると判明した測定結果の数に関係なく、単一の事故として記録する。
- 各配管に対しては、同一の配管ラインで、同じ材質で製作され、同じ用途である限り、許容肉厚以下であると判明した測定結果の数に関係なく、単一の事故として記録する。)
- 試験によって安全システムの不具合が判明した。例えば
 - 作動試験で、圧力開放装置が設定値で作動しなかった。
 - インターロックテストでの作動不良。
 - 無停電電源供給システムの故障。
 - 火災、ガス、毒性ガスなどの検出器の定期検査/試験で欠陥が判明
 - 緊急用ベントラインのヘッダーの調査で、緊急スクラバーの水分がヘッダーに逆流したため、鉄錆びで完全に閉塞していたことが判明
 - 緊急停止システムの試験で、テフロンライニングバルブのテフロンがコールドフロー (常温でのクリープ現象) によってバルブを詰まらせ、開いたままで固着していたことが判明
 - ブリーザー弁¹⁴⁾の点検で、プロセス物質が凝縮(固化)して閉塞していたことが判明

訳者註 14: 原文には “conservation vent” とあるが、ブリーザー弁の一種である為、ここでは「ブリーザー弁」と訳した。

- 安全システムが無効化されていることが判明

- インターロックのバイパスによるプロセス異常発生
- 無効化手順に従わないことによる安全上重要な計器や装置の無効化
- ブロックバルブの現場から離れた後もバイパスが開いたままであった¹⁵⁾

訳者註 15: 配管工事などの為に操作したバルブ類を元に戻すことを忘れた場合など

見落としや間違いによる失敗の事例；

- 重要な配管の閉止板を外し忘れた、あるいはバッチ成分の投入を正しい順序で行わなかった。
- 破裂板の交換作業で、輸送用保護カバーが付いたまま取り付けられていたことが判明。
- プロセス制御の技術者がプロセス設備の DCS に誤って間違った構成をダウンロードした。

予想外、または計画外の設備の状態の事例；

- 損傷または早すぎる／予期しない劣化により、設備が“予想外”の状態になっていた
- 蒸気システム系に不適切なフィッティングが使用されていた
- 熱交換器のチューブなど、機器の不具合により、流体の混合や汚染が生じていた

容器(封じ込め設備・機器・配管)の物理的損傷の事例；

- プロセス設備が破損しない範囲で生じた搬送物や物体の落下¹⁶⁾
- 坑口装置¹⁷⁾にトラックがバックでぶつかる
- 除雪機がガス配管を擦る

訳者註 16: 搬送物 (dropping loads) は触媒や薬品などをクレーンやホイストなどで運ぶ物を指すと思われる。また、物体の落下 (falling objects) は機器部品類の落下に加え、構造物やはしごなどの転倒、氷塊の落下なども対象になり得る。

訳者註 17: ここで、坑口装置 (wellhead) とは油井頂部のコントロール用の装置で破損すれば原油流出のおそれがある。

6.5. ニアミス事故報告を最大限に活用する

ニアミスの報告は、設備のプロセス安全管理システムを改善するための重要なデータ源である。以下の方法により、プロセス安全ニアミスプログラムを最大限に活用することができる。

- プロセス安全遅行指標 (第 3 章、第 4 章の Tier1PSE と Tier2PSE) 、プロセス安全ニアミス事故 (Tier3、本章) 、パフォーマンス評価指標 (Tier4、第 7 章) 、それぞれの発生数を比較して事故報告の傾向が図 1 に示したプロセス安全のピラミッドと合っていることを確認する (Tier1 事故が仮にあったとしても、Tier3、Tier4 事故に比べて少ないはずである) 。
- プロセス安全ニアミス进行评估する時には潜在的な悪影響を考慮すること。ニアミスに対する対応のレベル (即ち、調査、分析、追跡のレベル) は、事故で実際に起きた結果と同様に潜在的な被害も考慮して決定しなければならない。
- 実際の事故の場合と同様に、安全管理システムの欠陥の改善を図るために、ニアミス事故のデータ (因果関係) も管理システムと結び付けて考えること。Bow Tie 分析を用いた分析事例については文献 [14、15、および 16] を参照のこと。

7 章

Tier 4 - 業務規律と安全管理システムのパフォーマンス評価指標

この章では先見的なパフォーマンス評価ベースの先行メトリクスとして役立つ可能性のあるものを数多く紹介している。これらの指標は、組織のプロセス安全とリスク管理プログラムの「健全性」の尺度を示すものである。先行メトリクスについて収集されたデータの変化に着目していると、これらの重要な管理システムにおける劣化の兆しを早期に見つけることができる。これにより、漏洩事故などが発生する前に、これらのシステムの劣化を是正し、その事故に関連するバリアや防護層の機能を回復させることができる。

企業は全て、プロセス安全文化の評価を含み、プロセス安全管理の先行メトリクスを採用し、実施すべきである[17]。しかし、採用できるメトリクスは多数あるため、全ての指標のデータを収集して報告することは現実的ではない。企業は、これらのメトリクスのうち、施設の安全性確保のために、どれが最も重要であるかを特定し、大幅なパフォーマンスの改善が期待できる、最も意味のある先行指標を選択する必要がある。プロセス安全の評価メトリクス（先行と遅行の両方）の選択に関する詳細は CCPS ガイダンスを参照のこと[4, 5]。

本書に掲載されているプロセス安全の先行指標の例は、多くの組織の経験に基づいて選択されたものである。これらのメトリクスには、以下に対する指標が含まれる。

- 危険な物質やエネルギーを管理する作業に内在するハザード(危険性)に対するバリア
- 死亡、負傷、環境被害、物損および事業の中断等の深刻な影響を伴う、危険な物質やエネルギーの封じ込め失敗の事故の直接原因または間接原因に対するバリア。

本章では先行指標の選定について段階的に解説する。まず、スイスチーズモデルとボウタイ分析 (Bow Tie Analysis) による事故の因果関係モデルを簡単に紹介し、次に、プロセス安全リスクの低減のために使用されるアプローチを説明する（運転規律の不徹底が全体のリスクにどのように影響するかを含む）。因果関係モデルは、プロセス安全上のリスクを低減するために設計・実装されたバリア（防護層）の弱点を視覚的に説明するツールである。本章は、CCPS のリスクに基づくプロセス安全 (RBPS) の 4 つのピラー (柱) [7] に関連した先行指標の例を示しながら、RBPS のアプローチを簡単に紹介して終わる。

7.1 Tier 4 指標の目的

Tier 4 指標は、一般的に防護システムにおける個々の対策の評価レベルを表しており、運転規律と管理システムのパフォーマンスから成っている。このレベルの指標は、システム関連の弱点を明らかにし、修正する機会を提供する。Tier 4 指標は、将来、Tier 3 ニアミス、Tier 2 PSE、または最も運が悪ければ Tier 1 PSE を引き起こす可能性のあるプロセス安全システムの弱点を示している。その意味で、Tier 4 指標は、問題を特定し、学習とプロセス安全システム改善の機会提供に役立つものである。Tier 4 の指標はベンチマークを行ったり、業界で適用可能な基準を開発したりするには設備に特化し過ぎており、社内での利用や現場（施設）での報告用として用いられる。

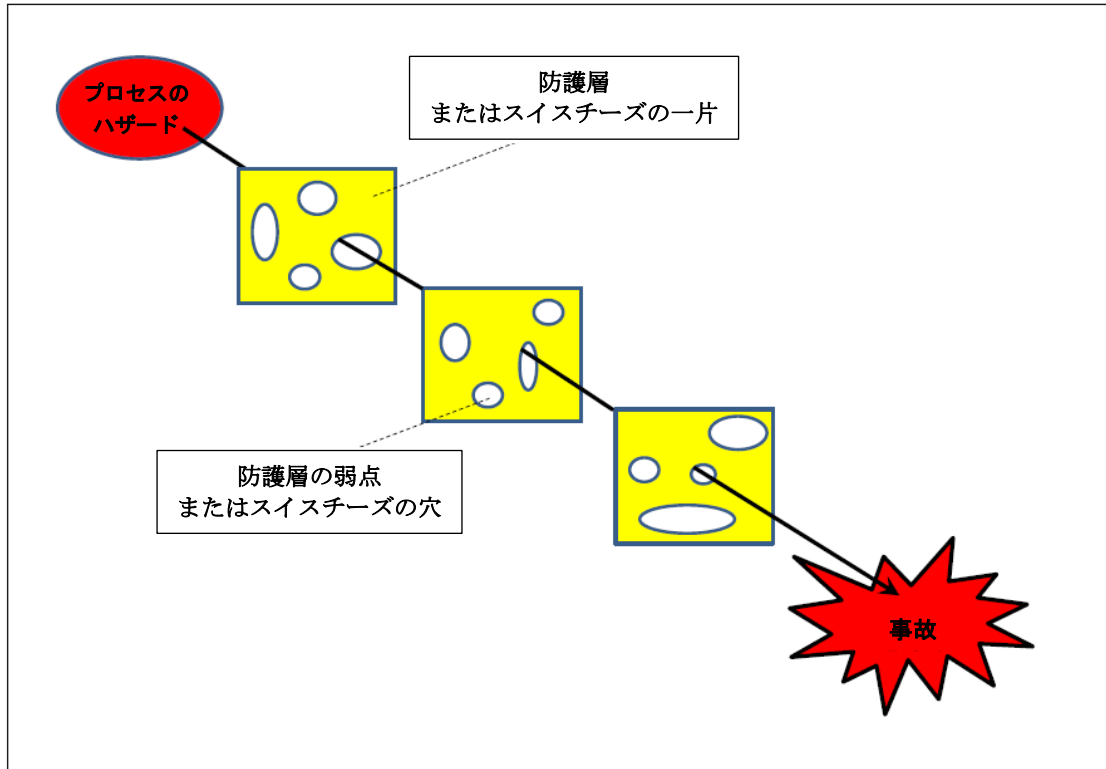
7.2 事故の因果関係モデル

メトリクスでもう一つ考えておくべきことは、ピラミッドの上位にある事故は、事故を防止することを目的とした複数の防護層（物理層と作業プロセス/運転手順層の両方）が機能しなかったことの反映だということである。つまり、他の防護層は機能していたのにピラミッドの下位にある防護層の1つまたは2つが機能しなかった結果である。複数の防護層の概念は、図3にスイスチーズを用いた事故の因果関係モデル[18, 19]で表されている。このモデルは、化学プロセスの管理に内在する複雑さを単純化し過ぎてはいるが、防護層にある問題やプロセス安全システムの弱点を視覚的に説明するには優れたモデルであり、プロセス安全のメトリクスを用いて効果的に監視することができる。

防護層は事故の因果関係モデルのスイスチーズで表されているが、その予防的バリアと緩和的バリアの何れもボウタイ図で表すことができる[16]。図4に示されたこれらの防護層は、これらのバリアの弱点が一直線に繋がると、事故になる可能性があることを改めて示している。本書は、予防的バリアに対する指標（「先行指標」）と緩和的バリアに対する指標（「遅行指標」）を特定するのに役立つことを目的としている。

7.3 プロセス安全リスクの低減

プロセス安全プログラムは、危険な物質やエネルギーを保管、取り扱い、使用する際のプロセス安全リスクを低減するために設計されている。危険な物質には、毒性、引火性、爆発性や反応性（不安定）などの可能性がある。プロセス安全リスクを低減することで、死亡、負傷、環境破壊、設備の損傷、事業の中断、罰金などにつながるような深刻なプロセス安全事故発生の可能性を低減することができる。



スイスチーズモデルの考え方

- ハザード(危険性)は複数のバリア (防護層)によって封じ込められている。
- その防護層には弱点すなわち "穴"があるかもしれない。
- 「穴」が一直線に並ぶと、ハザードが防護層を貫通し、事故になる可能性がある。
- 防護層は、工学的制御であることもあれば、人間の対応や行動を必要とする手順などの管理的制御であることもある。
- 穴は、工学的設備の隠れた欠陥や出始めの欠陥、または人間の間違っただ行動や操作の忘れなどで生じることがある。

図 3

事象の因果関係のスイスチーズモデル[20からの転載]

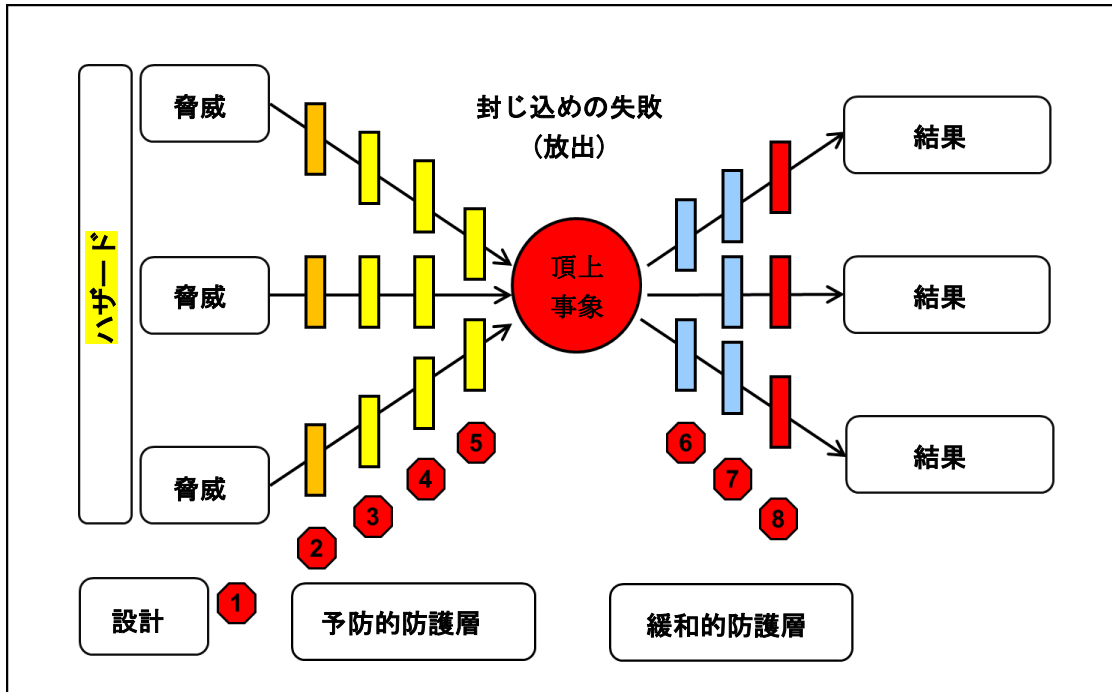


図 4

防護層の弱点を表すために使用されるボウタイ図¹⁸⁾

訳者註 18: ボウタイ図(Bow Tie Diagram)は「頂上事象」(Top Event)が発生する可能性のある「脅威」(Threat)が「頂上事象」に至らない為の予防的防護層(Preventive Barrier)の配備、及び「頂上事象」による好ましくない「結果」(Consequence)の影響度を小さくする為の緩和的防護層(Mitigative Barrier)の配備をデザインするために使用される手法である。図の形が蝶ネクタイに似ていることからボウタイと呼ばれている。図中の「設計」①は「脅威」自体を最小化する「本質安全設計」を意味している。

危険な物質またはエネルギーの放出シナリオに関連するプロセス安全リスクは、以下のように定義できる[10]。

リスク：人身事故、環境被害、経済的損失を、事故の発生確率と損失や傷害の大きさの両方の観点から評価する尺度。この関係を簡単に表せば、事象の発生確率と影響の重大性の積(すなわち、リスク=影響の重大性×発生確率)でリスクを表わすこと、である。

このように、シナリオのリスクは、式1のように潜在的な影響度、例えば、死亡事故、環境破壊、設備損失などの影響度(例：「事故一件当たりの死亡者数」)に、通常、「事故数/年」で表現されるような一年あたりに発生する可能性または頻度を掛け合わせた関数となり、「死亡者数/年」のような単位で与えられる。

$$\text{リスク(R)} = f \left\{ \text{頻度(F)} \times \text{影響度(C)} \right\} \quad \text{式1}$$

発生が考えられる危険な事故の頻度は、プロセス安全システムと複数の防護層の有効性によることが多く、影響度は、物質やプロセスに特有のハザード(危険性)が何かによることが多い。目的は、様々なリスク管理戦略を評価・実践して想定される事故の頻度や影響度を減らすことにより、プロセス安全リスクを減らすことである。プロセス安全の先行指標を測定・監視することにより、組織はプロセス安全管理やリスク管理プログラムの傾向を事前に把握し、より重大な事故の発生を防ぐことができる(図1)。

7.3.1 運転規律の定義

組織の継続的な改善努力は先行指標に焦点を当てているため、Tier4 指標で監視されている「業務規律」の重要な部分である「運転規律」を定義することは有用である。「業務規律」とは、管理、エンジニアリング、オペレーション、メンテナンス、購買など、製造プロセスに特有で、他とは異なる分野における規律である。これらの各分野は、それぞれの業務を効果的に管理するためのシステムを備えていなければならず、企業のプロセス安全リスクを効果的に管理し、プロセス安全成績を維持するために、他の分野と効果的に交流することができなければならない。

すべての規律に適用される「運転規律」¹⁹⁾の現在の定義は以下の通りである[10]。

運転規律 (OD) : すべてのタスクを毎回正確に実行すること。良い OD は毎回正しい方法でタスクを実行することにつながる。個人は OD を通じてプロセス安全への忠誠を示すことになる。OD は、すべての担当者が日々行う活動全般に関わるもので、組織内の人間が「操業の遂行」(COO ; Conduction of Operations) システムを実践することである。

訳者註 19: : 本書では”Operational Discipline”を「運転規律」と訳し、”Operating Discipline”を「業務規律」と訳した。「運転規律」は主に運転員や保守要員などが手順書通りに作業を行うことを指しており、「業務規律」はより広い業務分野で正しく仕事を進めることを指している。

先に述べたように組織は、プロセス安全システム、ポリシー、基準、ガイドライン、設備を管理するすべての人に優れた OD を求めるリーダーシップを持たなければならない。このリーダーシップは、継続的な改善努力のために適切なリソースを提供して、企業のプロセス安全文化を推進するものでなければならない。組織全体のすべての人が良い習慣を身に付け、毎回正しい方法で仕事をするための方法を知っていなければならない。また、COO と OD の関係については、文献 [7, 8, 20] に詳細が記されている。

7.3.2 運転規律がリスクに与える影響

運転規律のレベルが低いとリスクが高まる。運転規律がプロセス安全事故のシナリオのリスクに与える定性的な影響は、式 2 に示すように、式 1 を OD で割ることで表すことができる[21]。

$$\text{リスク(R)} = f \left\{ \frac{\text{頻度(F)} \times \text{影響度(C)}}{\text{運転規律(OD)}} \right\} \quad \text{式2}$$

事故シナリオのリスクに対する OD の影響を計算する際は、例えば OD が 50% であることを表すのに 0.5 のような簡単な割合で表すと良い。OD=0.5 のように担当者が半分しか手順を守らない場合、式 2 は **リスクが 2 倍** になることを示している。運転規律の項（式 1）なしに「計算上の」リスクが出された場合、運転規律の項（式 2）を用いて計算した「実際の」リスクとは異なる結果になる [21]。

リスク、頻度、結果、業務規律の関係は、本節で述べた単純な定性的なアプローチよりも複雑であることを認識していただきたい。

しかし、全員が毎回正しい方法で作業していれば、OD は 100% となり、プロセス安全システムが守られ、そして防護層が正しく設計・維持されていれば、全体的な運転リスクは小さくなるはずである。この節の冒頭で述べたように、OD が悪いとプロセス安全リスクは大きくなる。プロセス安全リスクが大きくなると、より深刻なプロセス安全事故が発生し、組織のプロセス安全性のパフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性がある。このように この節の冒頭で述べたように、OD レベルが低いとプロセスの安全性リスクが高まる。プロセス安全リスクは、より深刻なプロセス安全事故につながり、組織のプロセス安全性を損なう可能性がある。このため、運転規律は、効果的なプロセス安全プログラムに不可欠なプロセス安全の基本的な基盤の一つと考えられている [20]。

7.4 防護層によるアプローチ

管理システムをバリアとして視覚化する一つの方法は、図 5 のように、防護層を一連の壁と見なした構造図を用いることである [15、20、22、23、24]。このフレームワークは「オニオンレイヤー(玉ねぎの層)」アプローチと呼ばれることもある。図 5 の各バリアの「停止」標識として表されるこれらの工学的・管理的制御の階層は、以下の通りである [20]。

1. **設計：** これらの工学的制御は、基本的なプロセスの化学と設計に基づいている。プロセス安全情報は、プロセスを制御・監視するための計装機器の設計を含め、プロセスの安全な運転を確保するための防護層の設計に使用され、事故の引き金となる事象の可能性を最小限に抑えるのに役立っている。この防護層に本質安全設計の原理を用いることは、防護層追加のニーズを減らすのに役立っている [25]。
予防的・緩和的なバリアでリスクを管理する。
2. **プロセス安全システム：** この管理的制御は、危険な物質やエネルギーを扱う施設を安全に運営管理するように設計されたプロセス安全とリスク管理システムなどである。プロセス安全システムは、プロセス安全プログラムが効果的であるための 3 つの基盤の 1 つであり、ハザードの特定及びリスク分析、設備及び資産の健全性、変更管理、訓練及び監査などのいくつかの要素から成っている [5, 7, 20]。
3. **基本的なプロセス制御システム：** 製品の品質確保とプロセスを安全に運転するために設計され、使用される工学的制御のことである。
4. **計装とアラーム：** 通常、動作パラメーターの期待された範囲からの逸脱を検出するために設計された工学的制御のことである。一旦逸脱が検出されると、プロセスを安全な状態に維持するために、自動および/または人間の対応が求められる。これらの対応には、緊急停止やプロセスの安全なシャットダウンも含まれる。

5. **安全計装システム(SIS)** : これは独立した工学的制御で、一次封じ込めの失敗による事故 (LOPC) など危険な放出が発生する前の「最後の防衛線」として設計される。SIS の対応にも、緊急停止やプロセスの安全なシャットダウンが含まれる。
6. **能動的な工学的緩和制御²⁰⁾** : この工学的制御は、危険な放出の影響を軽減または緩和する為のもので、圧力開放装置、フレア、スクラバーなどが含まれる。
7. **受動的な工学的緩和制御²⁰⁾** : この工学的制御も、危険な放出の影響を軽減または緩和する為のもので、防液堤やキャッチタンクなどがある。
8. **緊急時対応** : 緊急時対応システムは、危険な放出の影響を封じ込め、軽減し、緩和するために設計された工学的制御や管理的制御である。工学的制御には泡消火システムなどが、管理的制御には訓練を受けた社員や緊急時対応チームによる緊急時対応計画などが含まれる。緊急時の対応には2つの側面がある。1)内部：施設内の人的資源のみによる場合と、2)外部：社内および地域社会の人的資源による場合がある。

訳者註 20: 本書では”Active Control”を「能動的制御」、「Passive Control」を「受動的制御」と訳している。能動的制御は可動部を持ち、制御にあたり何か動くものであり、受動的制御には可動部が無く、その存在自体が危害の程度の抑制に役立つものである。



図 5

防護層の階層構造の例 [20]より引用

プロセスの安全リスクを効果的に管理するために設計・実施された対策が弱ければ、次の階層の防護層がリスクを引き受けることになる。一次封じ込めの失敗(LOPC)は、検出防護層が機能せず(バリア 3、4、5；図 5 の黄色)、緩和層(バリア 6、7；水色)が起動したときの事態である。そのため、事故の程度がひどくなる従い、これらの防護層が次々と破られて、死亡、負傷、環境被害、物的損害に対する緊急対応が必要な最悪のシナリオに繋がる可能性がある(バリア 8；赤)。

図 1 の安全ピラミッドと図 4 のボウタイ図で示されているように、防護層の機能不全の連鎖は、Tier 4 事故(すなわち、バリア 2 の機能不全)から始まり、Tier 3 のニアミスイベント、Tier 2 PSE、Tier 1 PSE へとつながる。事故の結果、死亡、負傷、環境被害、物的損害、事業の中断などが発生した場合には、必ず緊急対応システムが発動される(バリア 8)。このため、防護層システムの失敗を辿るアプローチでは、Tier4 事象に対する管理システムの運用実績と運転規律の指標を効果的に測定・監視することを重視している(図 1)。

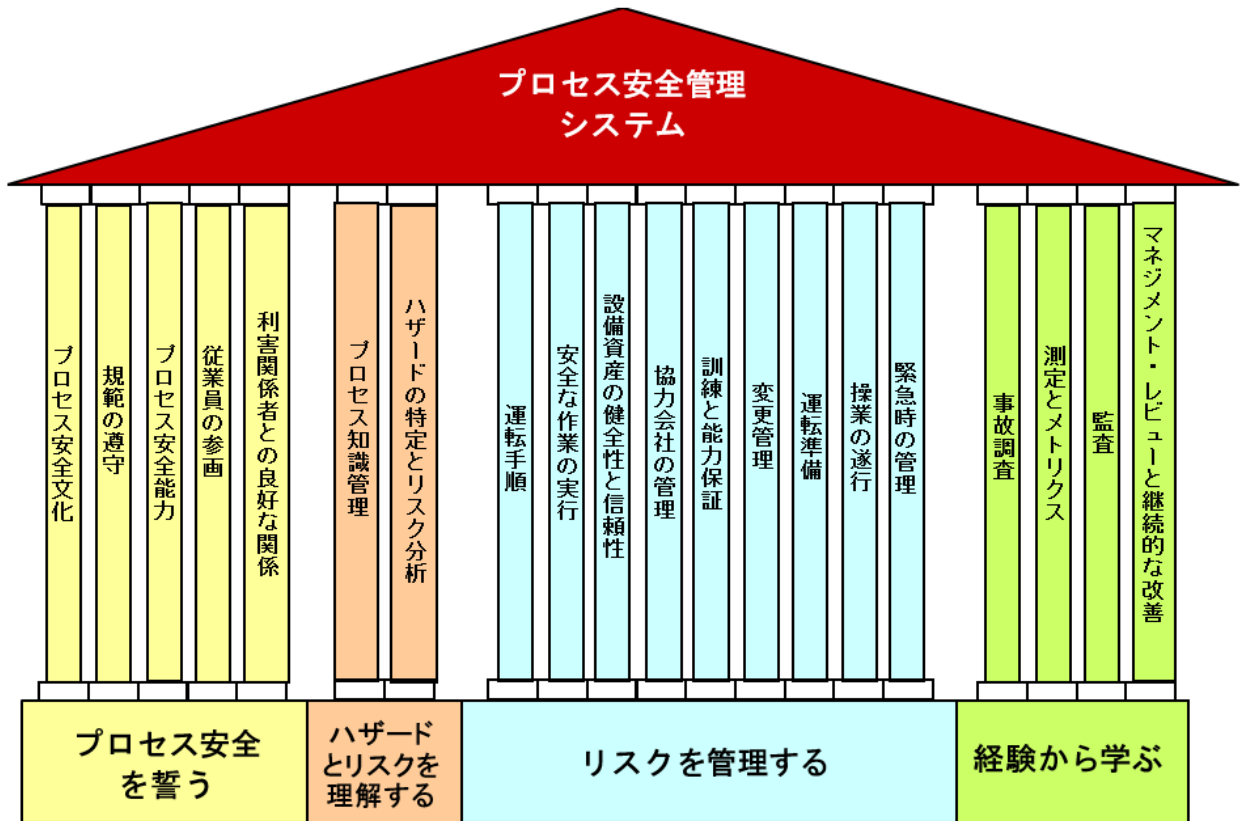
即ち、安全管理システムの一部の弱点(バリア 2；図 5 のオレンジ色)から始まる事故の連鎖は、以下の様なことが合わさって生じている。

- 1) スイスチーズ・モデル(図 3)で示されるように、工学的制御や管理的制御における「見落とし」や「ギャップ」つまり弱点が事故につながる可能性があること。
- 2) ボウタイモデル(図 4)で示されるように、複数の「脅威のシナリオ」が、予防的防護層と緩和的防護層で管理する必要のある「頂上事象」(LOPC)につながる可能性があること。
- 3) 更に、防護層モデル(図 5)に示されるように、ハザードを封じ込めている予防的・緩和的バリア(壁)が、当初から安全管理システムにあった弱点もあり、一部機能していなかった。

このため、Tier 4 の先行指標を測定・監視することは、事故防止のために設計された工学的制御や管理的制御に悪影響を及ぼす可能性のある、管理システムの潜在的弱点を把握するのに役立つ。前述したように、企業が効果的なプロセス安全プログラムを持つためには、プロセス安全文化とリーダーシップ、業務規律、および効果的なプロセス安全システムが必要である[20]。

7.5 リスクに基づくプロセス安全(RBPS)によるアプローチ

先行メトリクスが開発された管理システムは、図 6 に示される CCPS のリスクに基づくプロセス安全(RBPS)モデルに基づいている。RBPS は表 5 [7、26]に示すように、4つのピラーとその 20 のエレメントから構成されている。企業がプロセス安全とリスク管理プログラムの一環として RBPS の 20 のエレメントを効果的に管理できるように、図 7 と表 6 に示す 5つの信条と 4つの社会的テーマを考慮して設計された最新の CCPS Vision20 / 20 の取り組みを参考にされたい[27]。詳細については、[CCPS RBPS](http://www.aiche.org/ccps) ガイドラインおよび [CCPS RBPS Resources](#) の Web ページを参照のこと。



出典: David Guss, Nexen, Inc.

図 6

CCPS リスクに基づくプロセス安全 (RBPS) モデル [28]

表5 リスクに基づくプロセス安全 (RBPS) のピラーとエレメント[7]

ピラー		エレメント	
1	プロセス安全を誓う	1	プロセス安全文化
		2	規範の遵守
		3	プロセス安全能力
		4	従業員の参画
		5	利害関係者との良好な関係
2	ハザードとリスクを理解する	6	プロセス知識管理
		7	ハザードの特定とリスク分析
3	リスクを管理する	8	運転手順
		9	安全な作業の実行
		10	設備資産の健全性と信頼性
		11	協力会社の管理
		12	訓練と能力保証
		13	変更管理
		14	運転準備
		15	操業の遂行
4	経験から学ぶ	16	緊急時の管理
		17	事故調査
		18	測定とメトリクス
		19	監査
		20	マネジメント・レビューと継続的な改善

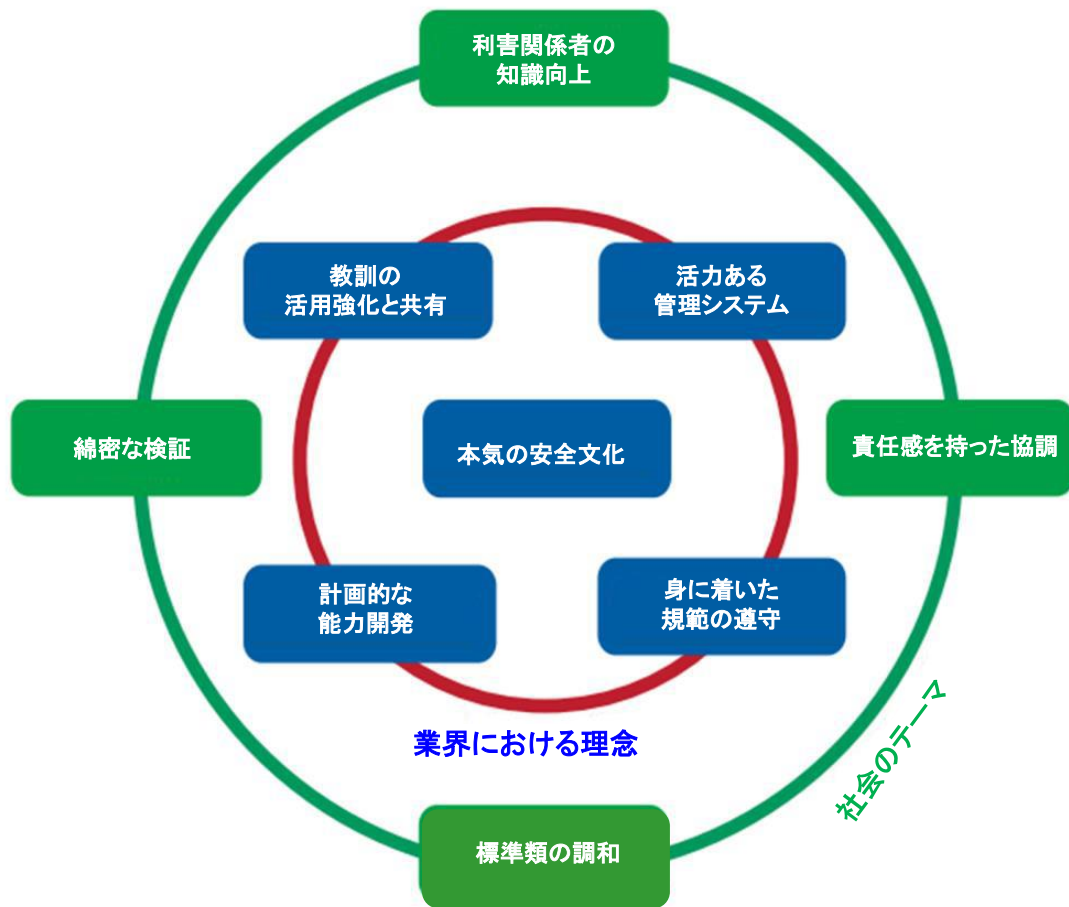


図 7 CCPS Vision 20/20 モデル[27]

表 6 CCPS Vision 20/20 における理念と社会的テーマ[27]

5つの業界における理念	
1	本気の安全文化
2	活力ある管理システム
3	身に着いた規範の遵守
4	計画的な能力開発
5	教訓の活用強化と共有
4つの社会的テーマ	
1	利害関係者の知識の向上
2	責任感を持った協調
3	標準類の調和
4	綿密な検証

7.5.1 ピラー「プロセスの安全を誓う」の例

7.5.1.1 プロセス安全文化

化学プロセスに関わる組織におけるプロセス安全文化の有効性を測定する仕組みは、ベイカーパネル(Baker Panel)レポートの appendix Gにあるような安全文化調査を行うことである。この仕組みは、BP テキサスの製油所における安全文化の妥当性を判断するために用いられ、報告書全体を通じて論じられている[2]。

化学や石油処理のダウンストリーム分野では、「操業の遂行」または「安全文化調査」を用いることを検討すべきである[2, 8 および 17]。匿名による安全文化調査を行うことにより、最善で、公正とも言うべき結果を得ることができるであろう。

プロセス安全文化の調査は組織に固有のものであり、その結果は組織間で簡単に比較（ベンチマーク）できないことに注意が必要である。結果に影響を与える多くの要因が存在するが、この調査を用いて長期にわたり組織内の改善状況をモニターすることは、組織にとって利益になるだろう [17, 27]。

7.5.2 ピラー「ハザードとリスクを理解する」の例

7.5.2.1 プロセスハザード分析 (PHA)

$$\frac{\text{完全なプロセス安全情報(PSI)を用いて実施したPHAの文書化件数}}{\text{実施されたPHAの件数}} \times 100\%$$

注意：プロセス安全情報（PSI）の例として、HAZOP に用いられる、正確で最新の配管計装図（P&I ダイアグラム）の文書が含まれる。

7.5.2.2 PHA の勧告事項

$$\frac{\text{PHA勧告事項の実施が遅延している件数}}{\text{PHA勧告事項の総数}} \times 100\%$$

7.5.2.3 設備配置のリスクアセスメント

$$\frac{\text{設備配置のリスクアセスメントを文書化したPHAの件数}}{\text{全PHA実施件数}} \times 100\%$$

注意：全ての PHA が定量的な設備配置のリスクアセスメントを必要とするわけではないが、もしもの事故の結果が工場の境界を超えて拡大するような場合には、工場の立地とレイアウトの調査が必須となるであろう[29]。

7.5.3 ピラー「リスクを管理する」の例

7.5.3.1 運転手順と保全手順

A. 最新かつ正確な手順

$$\frac{\text{年間に見直し(更新)が行われた運転手順と保全手順の件数}}{\text{測定期間中に見直し(更新)が必要な運転手順と保全手順の総数}} \times 100\%$$

このメトリクスは、見直し(更新)計画の進捗状況を測定するものである。この値が下がってきたら、手順を維持するために、より多くの注意と資源の投入が必要であることを示している可能性がある。

B. 明確、簡潔かつ必要な内容を示す手順

$$\frac{\text{内容が見直された運転手順と保全手順の件数}}{\text{運転手順と保全手順の総数}} \times 100\%$$

このメトリクスでは、明確で、簡潔かつ効果的な運転手順および保全手順の作成の進捗状況を測定する。基準に合った手順書にするため、以下の項目に対処するチェックリストを作成することが必要であろう。

- 文書管理の方法
- 明確で適切に順序付けられた実施手順
- 注意、警告、および留意事項
- 安全運転限界、限界値から逸脱した場合の結果、および安全運転限界内にプロセスを維持するためにとるべき措置
- 運転の制約条件
- チェックリスト (適宜)

C. 手順の信頼性

$$\frac{\text{手順が最新、正確かつ効果的であると信じている運転員や保全要員の数}}{\text{手順に関わる運転員や保全要員の総数}} \times 100\%$$

運転員や保全要員の意見調査の結果は、手順の正確さや有効性に対する変化を早めに示すであろう。この調査によって、手順の更新に必要な時間、正確さ、および使いやすさに対する懸念を明らかにしなければならない。

7.5.3.2 設備資産の健全性

設備資産の健全性管理に関する追加のガイダンスを参照のこと [30, 31]。

A. 予定通りの検査の割合

$$\frac{\text{プラントや機器の安全上重要な検査項目で、期間中に予定通り完了した検査項目数}}{\text{測定期間中に測定すべきプラントや機器の安全上重要な検査項目の総数}} \times 100\%$$

- このメトリクスは、安全上重要なプラントや機器²¹⁾が正しく機能していることを確認するためのプロセス安全管理システムの有効性を測る尺度の1つである。
- これには、安全上重要なプラントや機器について計画された検査に対する実施件数のデータ収集も含まれる。
- このメトリクスの計算には以下のことが必要である。
 - 検査活動の測定期間を明確にする
 - 測定期間中に計画されている安全上重要なプラントや機器の検査回数を決定する
 - 測定期間中に完了した安全上重要なプラントや機器の検査回数を確定する
- 前回の測定期間中に実施されなかった検査は、次回の測定期間に繰り越されるものと仮定する。

訳者註 21: この項目には「プラントや機器」との記述があるが、これはこのメトリクスを計算する際にプラント単位や機器単位でカウントすることがある為で、分母と分子は同じ基準でカウントする必要がある。

定義:

安全上重要なプラントや機器: プラントや機器には、危険な化学物質や保有エネルギーを安全に封じ込めることができ、継続的に安全な運転ができることが期待される。このため、通常は以下のような機器類をプラントの予防保全プログラムに含むであろう。

- 圧力容器
- 貯蔵タンク
- 配管システム
- リリーフおよびベント装置
- ポンプ
- 計器
- 制御システム
- インターロックと緊急時のシャットダウンシステム
- 緊急事態対応機器

B. 欠陥状態での運転時間の割合

$$\frac{\text{安全上重要なプラントや機器が欠陥状態と分かったままで生産していた時間}}{\text{プラントが生産していた時間}} \times 100\%$$

これは、検査や故障によりプロセス安全機器に特定された欠陥が迅速に修理されていることを、安全管理システムが保証できているかを測るメトリクスである。

7.5.3.3 プロセス安全の教育訓練と力量の保証

教育訓練と力量の保証に関する詳細は文献[32]を参照頂きたい。

A. プロセス安全管理 (PSM) 上重要な立場の人の教育訓練

$$\frac{\text{計画されたPSMの教育訓練コースを期間内に完了した受講者の数}}{\text{計画されたPSMの教育訓練コースの数}}$$

定義:

PSM 上重要な立場: 重大事故の防止と事故後の復旧に欠かせない重要な諸手続きについてキーとなる活動、仕事、監督、及びその責任を担う工場内のすべての職位。

プロセス安全管理 (PSM) の教育訓練コース: 重大事故の防止と事故後の復旧に直接関わるプロセス安全管理上重要な立場にある人に対して、それに関する知識、技能や力量を高めるように作成された特別な教育訓練。各個人が、報告対象の期間中に複数の教育訓練コースを受講でき、一つの教育プログラムに複数の教育訓練コースを含めることができる。(例: 複数名が参加する教育訓練クラス)

CCPS 作成の力量に関するガイドラインと調査の文献を参照頂きたい。

[5 (in Appendix G; The Process Safety Personnel Competency Survey) , 32]

B. 教育訓練の有効性評価

$$\frac{\text{計画されたPSMの教育訓練コースを一回で合格した受講者の数}}{\text{期間内に計画された合格確認付きPSM教育訓練コースの数}}$$

定義:

合格: 試験、または力量評価で訓練、試験、力量評価の全部または一部の繰り返しや、やり直しを求められない程度であること。

合格確認付き教育訓練コース: 試験または力量評価により知識または技能を立証することが計画されたプロセス安全管理 (PSM) の教育訓練コース。

C. 手順や安全な作業慣行の不履行

$$\frac{\text{安全作業手順が全ては守られていないことが指摘された安全上重要なタスクの数}}{\text{観察対象となった安全上重要なタスクの総数}} \times 100\%$$

このメトリクスは、作業手順書(SOP)のある安全上重要なタスクに対し、その手順が全て守られているかどうかを作業現場で観察して判断するために用いる。

7.5.3.4 変更管理

変更管理の詳細については文献[33, 34]を参照頂きたい。

A. サンプル検査の結果、サイトの変更管理手順を全て満たした件数の割合

- このメトリクスは、サイトの変更管理手順がいかに厳密に守られているかを測る
- 完了した変更管理文書の定期的監査を必要とする。監査を行なう順序は：
 - 監査の範囲を決める： 時間枠、頻度、および対象部門
 - 適切で統計的にも有意なサンプルサイズ²²⁾を決定する。これは、母集団中の変更管理文書の総数に基づき、広く普及している表などを用いて決定することができる。
 - 完了している変更管理文書を再審査する。これにはハザード分析、および運転指示やP&IDなどのような最新のプロセス安全情報も裏づけ資料として含む。

メトリクスの計算

適切に実行された変更管理の割合 (%) =

$$\frac{\text{適切に実行された変更管理の件数}}{\text{変更管理の総数}} \times 100\%$$

記者註 22: サンプルサイズは1回の標本抽出において調査する標本の数で、母集団比率とサンプルサイズからサンプリング誤差を示す早見表などがWeb上に公開されている。

B. 変更前にサイトの変更管理手順の適用が確認された変更の割合

- このメトリクスは、ある部門やサイトが、(i)サイトの変更管理手順の適用が必要な変更をどの程度認識し、(ii)実際に変更を実施する前に管理手順をどの程度適用しているかを測定するものである。
- 部門やサイトで実施された変更を定期的に監査し、どの変更が変更管理を必要としたかの判断をする必要がある。監査を行なう順序は：
 - 監査の範囲を決める： 期間と対象部門。
 - サイトの変更管理手順が定義する「変更」をベースに（下記の定義参照）判断して、サイトの変更管理手順を省略した可能性のある変更のタイプを特定する。
 - 変更管理手順の省略は以下のように特定する。
 - 保守作業指示書のレビュー、
 - 建設プロジェクトや保守プロジェクトの文書のレビュー、
 - 分散制御システム(DCS)のプログラム変更のレビュー、および/または、
 - 対象部門の従業員へのインタビュー。

メトリクスの計算

$$\text{変更管理手順を適用した変更の割合 (\%)} = \frac{\text{変更管理の件数}}{\text{変更管理の件数} + \text{変更管理を省略した変更の件数}} \times 100\%$$

C. 別のアイデア ;

上記の二つの変更管理のメトリクスは、変更管理により評価すべき変更が正しく特定され、その特定した変更に正しく変更管理が実施されているかを、企業が簡単に評価する手段となっている。

企業が変更管理手順をどの程度正しく実施しているかのメトリクスの質を高めるアイデアの一つは、上記の 変更管理手順を適用したかしなかったかによる評価よりも、変更管理(作業)が如何によく手順に従っているかを格付けするシステムを取り入れることである。例えば、仮にその企業が、変更管理の適切な完了に対して 25 の重要項目を設定し、評価対象の変更管理がこれらのうち 20 項目を満足するならば、その変更管理の評点を 0.8 とする。多数の変更管理を監査すれば、サンプル評価した監査全体の評点の平均値が得られる。さらに優れたアプローチをするなら、変更管理の適切な完了に対するこの 25 の重要項目に重みづけをすることであろう。

考慮すべきもう一つの考えとしては、変更に伴うハザード(危険性)を特定し、解決する上で、サイトの変更管理手順がどの程度効果的であるかを測ることである。その場合、次のことが考えられる ;

変更後の試運転またはスタートアップの際に、プラントの変更に関わる安全上の問題が生じなかったスタートアップの割合

- 試運転(Recommissioning)とスタートアップを行う間に遭遇した安全上の問題も含め、スタートアップ作業の逐次記録を取り、その後、どの問題が実施された変更に関わる根本原因であるかを判断することが必要である。
- 装置やその一部のシャットダウンや再スタートを含み、完了した変更管理に対する定期的な監査が必要。監査を行なう順序は :
 - 監査の範囲を決める : 期間と対象部門
 - 変更を実施後の装置やその一部について、スタートアップ回数を決定する
 - 試運転(Recommissioning)やスタートアップを行う間、設備点検(Checkout)後に変更に関わる安全上の問題が発生したスタートアップの回数を特定する。

メトリクスの計算

$$\text{変更後、安全にスタートアップした割合 (\%)} = \frac{\text{試運転やスタートアップ中に変更に関わる安全上の問題が生じなかった件数}}{\text{変更後のスタートアップの総数}} \times 100\%$$

変更による問題は、スタートアップ後長時間経ってからでないといえない可能性があるということが問題を複雑にしていることを考慮しなければならない。

定義：

変更管理審査を必要とする変更： サイトの変更管理手順では適用する必要がある変更のタイプを明確にしなければならない。通常、これには以下が含まれる：

- 機器や設備の変更、並びに装置のプロセス安全情報で定められた限界を外れた運転パラメーターの変更
- プロセス制御の変更
- 新たな化学物質の導入
- 化学品の仕様や納入業者の変更
- 建物の場所や占有パターンの変更²³⁾
- 人材の能力レベルや業務割当てなどの組織上の問題。

訳者註 23: 占有パターンの変更とは、利用方法の変更などに伴うレイアウトや収容人数の変更を意味している。

設備点検 (Checkout)²⁴⁾： 変更後、化学品その他の危険な物質を導入する前に、システムの健全性を確認する段階。設備点検中に潜在的に危険な条件が特定され、事故を起こすことなく修正できる。

訳者註 24: 「空運転」「チョイ回し」などの作動点検もこれに含まれ、対象設備全体をチェックする。

試運転 (Recommissioning)²⁵⁾： 設備点検後スタートアップの前に化学品をシステムに導入し、圧力/温度を上昇させることができる段階。試運転中に確認された潜在的な危険性は、安全上または環境上の事故に繋がる可能性がある。

訳者註 25: 既存設備に対する試運転 (commissioning) であるため、「re」が付くが、日本語では「再試運転」とは言わない為、「試運転」とした。

スタートアップ： 試運転後の、生産運転を始める段階。スタートアップの間に確認された潜在的な危険性は、安全上または環境上の事故に繋がる可能性がある。

7.5.4 ピラー「経験から学ぶ」の例

7.5.4.1 実施項目のフォローアップ

$$\frac{\text{プロセス安全上の実施項目の中で、期限を過ぎた項目数}}{\text{完了期限が来た実施項目の総数}} \times 100\%$$

このメトリクスは、以下のような特定の期限を過ぎた項目の集計、または複数の個別のメトリクスとして構成できる：

- $$\frac{\text{監査の指摘による実施項目のうち、期限を過ぎた項目数}}{\text{監査の指摘による実施項目で、期限が来た項目の総数}} \times 100\%$$
- $$\frac{\text{PHAの指摘による実施項目のうち、期限を過ぎた項目数}}{\text{PHAの指摘による実施項目で、期限が来た項目の総数}} \times 100\%$$
- $$\frac{\text{事故調査の指摘による実施項目のうち、期限を過ぎた項目数}}{\text{事故調査の指摘による実施項目で、期限が来た項目の総数}} \times 100\%$$
- $$\frac{\text{PHAの指摘による実施項目のうち、期限を過ぎた項目数}}{\text{PHAの指摘による実施項目で、現在実施中または保留中の項目の総数}} \times 100\%$$

定義：

期限が来た (Currently Due)： 現在の日付までに終わっているべき項目

期限を過ぎた (Past Due)： 実施中または保留中で、指定された完了日に終わっていない項目

7.6 ヒューマンファクター

プロセスリスクを管理するために機器やシステムを設計し管理するとき、ヒューマンファクターを考慮することは、必須である [35, 36]。ヒューマンファクターの研究は、主に作業環境における人と機器、システム、および情報との相互作用に関するものである。ヒューマンファクター分析はプロセスの運転や関連する機器・システムの保守を行う際に失敗し易い潜在的な状況を特定して、それを回避することに焦点を当てている。ヒューマンファクターの定義を次に記す [10]：

人間の能力、限界、およびニーズに適合するように、機械、運転方法、作業環境などを設計することに関する分野である。マン-マシンシステムにおけるヒューマンファクターに関連するあらゆる技術的な作業（エンジニアリング、手順書作成、作業者のトレーニング、作業者の選定など）が含まれる。

可能性のあるメトリクスのいくつかをこの節に記す。

7.6.1 プロセス安全管理システムの監査の例

プロセス安全管理システムに対して、問題が発生する前にその有効性とギャップを発見するために、監査を行うことができる [37]。この節では、メトリクスとして利用できる可能性があるヒューマンファクターの監査結果のいくつかを紹介する。

7.6.1.1 ハザードの特定とリスク分析 (HIRA)

$$\frac{\text{ヒューマンファクターに関するHIRAの数}}{\text{HIRAの総数}} \times 100\%$$

7.6.1.2 プロセスハザード分析 (PHA)

$$\frac{\text{ヒューマンファクターに関するPHAの数}}{\text{PHAの総数}} \times 100\%$$

7.6.2 疲労リスク管理の例

ヒューマンファクターの研究の一側面として疲労リスクの管理がある。これについては、文献 [38]に更に詳しく書かれている。この節では、メトリクスとして利用できそうな、いくつかを紹介する。

7.6.2.1 疲労リスクの教育

$$\frac{\text{疲労の原因、リスクおよび潜在的な影響について教育を受けた従業員の数}}{\text{疲労の影響を受ける従業員の総数}} \times 100\%$$

疲労リスクの教育では、疲労の影響を受ける全ての従業員に、睡眠・睡眠障害・覚醒・概日リズムおよび疲労生理学の基礎的な科学的原理を理解させる必要がある。この情報は、本人や同僚、監督者や管理者が、疲労リスクを認識し、軽減するのに役立つだろう。また、この教育内容は家族とも共有できるような注意事項に関する情報を提供すべきである。

7.6.2.2 残業の割合 (中央値、平均、上位 10%)

$$\frac{\text{残業時間数}}{\text{測定期間中の一人当たりの標準作業時間の総数}} \times 100\%$$

7.6.2.3 シフト延長回数

測定期間中の一人当たりのシフト延長回数

シフト延長とは、従業員が定常的なシフト勤務時間外や他のシフトに入り作業を割り当てられている時間のこと。シフト延長には、トレーニング、安全会議、および同様なものに参加するための延長を含む。通常のシフト引継ぎに要する時間は含まない。

8 章

参考文献

- [1] American Petroleum Institute (API), API RP 754, *Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries, 2nd Edition*, April 2016. www.api.org
- [2] The Report of the BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel (The "Baker Report"), January 2007.
- [3] United States Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Investigation Report, "Refinery Explosion and Fire, BP Texas City, Texas, March 23, 2005," Report No. 2005-04-I-TX, issued March 2007.
- [4] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Process Safety Metrics*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2009).
- [5] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Integrating Management Systems and Metrics to Improve Process Safety Performance*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2016).
- [6] Hopkins, A., "Thinking About Process Safety Indicators," *Safety Science*, Vol. 47, No. 4, 2009.
- [7] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Risk Based Process Safety (RBPS)*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2007).
- [8] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Conduct of Operations and Operational Discipline*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2011).
- [9] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Auditing Process Safety Management Systems, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2011).
- [10] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *CCPS Process Safety Glossary*. www.aiche.org/ccps
- [11] U.S. Department of Transportation (DOT), 49 CFR 173.2a—*Classification of a Material Having More Than One Hazard*.
- [12] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), ECE/TRANS/202, Vol. I and II ("ADR 2009"), *European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)*, 2009.
- [13] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Recognizing Catastrophic Incident Warning Signs in the Process Industries*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2012).
- [14] Klein, J. A., "The ChE as Sherlock Holmes: Investigating Process Incidents," *Chemical Engineering Progress*, 2016, 112(10):28-34.
- [15] Vaughn, B. K., and K. Bloch, "Use the Bow Tie Diagram to Help Reduce Process Safety Risks," *Chemical Engineering Progress*, 2016, 112(12):30-36.
- [16] The Center for Chemical Process Safety (CCPS) and the Energy Institute (EI), *Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety*, American Institute of Chemical Engineers, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (Expected 2018).
- [17] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Essential Practices for Creating, Strengthening and Sustaining Process Safety Culture*, American Institute of Chemical Engineers, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (Expected 2018).
- [18] Reason, J., *Human Error*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. (1990).
- [19] Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate Publishing (1997).
- [20] Klein, J. A., and B. K. Vaughn, *Process Safety: Key Concepts and Practical Approaches*, CRC Press (2017). www.crcpress.com
- [21] Klein, J. A., and B. K. Vaughn, "A Revised Program for Operational Discipline," *Process Safety Progress*, **27**:58-65 (2008).
- [22] Blanco, R. F., "Understanding Hazards, Consequences, LOPA, SILs, PFD, and RRFs as Related to Risk and Hazard Management," *Process Safety Progress*, Vol. 33, No. 3, pp. 208-216 (2014).
- [23] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes, Second Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2017).
- [24] Wasileski, R. F., "Think Facility, Act on Integrity," *Process Safety Progress*, **36**:264-272 (2017).

- [25] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Inherently Safer Chemical Processes: A Life Cycle Approach, Second Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2009).
- [26] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Implementing Process Safety Management, Second Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2016).
- [27] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *CCPS Vision 20/20*. www.aiche.org/ccps
- [28] Sepeda, A. L., "Understanding Process Safety Management," *Chemical Engineering Progress*, pp. 26-33, August 2010.
- [29] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Siting and Layout of Facilities, Second Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2018).
- [30] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Asset Integrity Management*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2017).
- [31] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Dealing with Aging Process Facilities And Infrastructure*, American Institute of Chemical Engineers, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2018).
- [32] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Defining Process Safety Competency Requirements*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2015).
- [33] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Managing Process Safety Risks During Organizational Change*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2013).
- [34] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for the Management of Change for Process Safety*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2008).
- [35] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2004).
- [36] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2006).
- [37] The Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Auditing Process Safety Management Systems, Second Edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ (2017).
- [38] American Petroleum Institute (API), API RP 755, *Fatigue Risk Management Systems for Personnel in the Refining and Petrochemical Industries, First Edition*, April 2010. www.api.org

付録 A

用語の解説と定義

<p>注意：この付録で定義される用語の解説は CCPS と API に属する様々な産業のメンバーの共同作業により作成された。これらの用語は、特に本書の範囲内で一貫して適用されることを理解して頂きたい。従って、定義は、様々な出典からのプロセス安全に関する用語となっている。これらの用語は現出版時点では最新のものである。用語の最新情報[10]については CCPS のプロセス安全の用語解説を参照頂きたい。</p>	
<p>アクシデント(事故) Accident</p>	<p>望ましくない結果に至る、意図しない事象や意図しない連続した事象 (訳者註 26：“Incident”よりも結果が重大なイメージがあるが明確な区別はなく、本書では「事故」と訳されている)</p>
<p>荷卸し待機 Active Staging</p>	<p>荷降ろしの遅延理由が、荷降ろし工程（たとえば、荷卸し場の数）の物理的な制約もしくは労力確保の問題（たとえば、日中の時間だけの荷卸し、月曜日-金曜日のための荷卸し）のみによるもので、プロセス内で利用可能な容量による制限ではない場合のトラックまたは鉄道車両などが荷降ろしを待っている状態。荷卸し待機は輸送の一部である。</p> <p>プロセス内で利用できる容量が制約となって、荷卸しを待っているトラックや鉄道車両は現場の貯蔵所と見なされる。</p>
<p>アクティブな倉庫 Active Warehouse</p>	<p>プロセスで使用されたり製造されたりした原料や中間品、最終製品を保管する構内の倉庫。</p> <p>製造プロセスの視点では、アクティブな倉庫とはバルク貯蔵タンクなどが該当する。原料や中間品、最終製品は、単一の大きなコンテナに保管するよりも、むしろ小さな容器（たとえば、トートビンなどの運搬容器、ドラム缶、ペール缶など）に保管されている。 (訳者註 27：生産に関与し、常時保管品が回転している倉庫。長期保管は行わないことが原則。)</p>
<p>バリア Barrier</p>	<p>エネルギーの流れを制御したり、妨げたり、遅らせたりするのに使われるもの全て。工学（設備・機器の設計）と管理（手順や作業工程）を含む。</p>
<p>ボウタイモデル Bow Tie Model</p>	<p>さまざまな脅威がハザード制御の失敗を通して危険な状態に繋がり、多くの望ましくない結果に発展する可能性があることを示すリスクに関する図である。この図には、実施されているすべてのバリア(リスク対策)とその劣化防止対策が記されている。</p>
<p>事故の結果 Consequence</p>	<p>一般的に、火災、爆発、有毒物質の放出を含む一連の事故による、直接的な望ましくない結果。事故の結果の記述は、事故の影響に関する定性的もしくは定量的なものになるであろう。 (訳者註 28：事故により生じた被害の規模や影響を含む事故の結果)</p>
<p>封じ込め Containment</p>	<p>化学設備とその周囲環境との間で、反応物や生産物が行き来しない状態であること。</p>
<p>機器 Equipment</p>	<p>その内部に、機械部品や電気・計装部品を持つことにより形作られる一つの機械設備</p>
<p>機器信頼性 Equipment Reliability</p>	<p>決められた環境条件下で運転するとき、指定された暴露期間において、プロセス設備が計画した機能を適切に発揮する確率</p>

事象(事故) Event	機器の性能や人間の行動、プロセスの外部からの作用によって引き起こされたプロセスに影響を与える出来事 (訳者註 29 : 事故を含む事象であり、本書では「事故」と訳している箇所もある)
爆発 Explosion	圧力の不連続や爆風を引き起こすエネルギーの放出
爆発性物質 Explosive	急な衝撃や圧力、高温にさらされたとき、突然、ほぼ瞬間的に圧力やガス、熱の放出を引き起こす化学物質
失敗 Failure	期待された結果と現実との許容できない違い (訳者註 30 : 設備等の破損や故障もこれに含まれる)
火災 Fire	熱と光と炎とを発生する燃焼反応
引火性 Flammable	ガス状の酸化剤（空気や塩素）を混合して、点火すると炎を伴い燃焼する気体の性質。引火性ガスには、引火点以上の引火性液体や可燃性 (combustible) 液体から発生する蒸気を含む。 (訳者註 31 : 日本の消防法とは、区別の仕方が異なるので注意が必要)
頻度 Frequency	ある事象が単位時間に発生する回数 (たとえば, 1000 年に 1 回 = 1×10^{-3} 回/年).
ハザード Hazard	人や資産、環境にダメージを与える可能性のある、特有の化学的または物理的特性。本書では、危険な物質、作業環境、事故に至る可能性がある意図しない出来事との組み合わせ。
危険な物質 Hazardous Material	広い意味では、健康や人間の安全、環境に有害な影響を与え得る性質を持った物質やそれらの混合物。引火点や沸点に関連して、火災以上の危険を及ぼす物質。これらの危険は、毒性、反応性、不安定性、または腐食性から生じる可能性があるが、これらに限定されるものではない。 (訳者註 32 : 消防法上の「危険物」と区別するため、敢えて「危険な物質」と訳している)
事故 Incident	人に危害を加えたり、環境にダメージを及ぼしたり、設備資産や事業に損失を与えるような、一つ、または、それ以上の望ましくない重大な結果に至る事象やその連続 (訳者註 33 : ニアミスなど実害がない場合も、可能性があれば ” Incident ” と見なされることがある)
指標 Indicator	何かの状態や程度についての情報を与える、特に傾向や事実についての測定値
遅行指標 Lagging Indicator	結果に注目して既に発生した事象を測定する、過去訴求型の測定指標で、潜在的な再発の問題点を指摘するものである。
遅行メトリクス Lagging Metric	設定されたしきい値の強度 (Severity) を超える事故に対する、過去訴求型の一連のメトリクス
先行指標 Leading Indicator	重要な業務の遂行や規則の運用、事故を防ぐ防護層の能力を測定して、将来に備えるための指標
先行メトリクス Leading Metric	重要な業務の遂行や規則の運用、事故を防ぐ防護層の能力を測定する、先を見る一連のメトリクス

<p>確度 Likelihood</p>	<p>事象が発生する期待値や発生頻度。これは発生率（例えば、事象数/year）、ある時間間隔で発生する確率（例えば、年間確率）、条件付確率（例えば、前兆の事象が発生したという条件での発生確率）</p>
<p>メトリクス Metric</p>	<p>何かあることを測定する方法、または、その測定値から得られる結果（訳者註 34：「メトリクス」"Metrics" は"Metric" の複数系であるが本書では"Metric" も日本語として定着している「メトリクス」に統一している）</p>
<p>緩和 Mitigation</p>	<p>危険源に対して、予防的な方法で事故発生の可能性を減らしたり、防御的な方法で事故の規模や、地域住民とその資産への暴露を減らしたりして、一連の事故のリスクを低減すること</p>
<p>ニアミス事故 Near Miss Incident</p>	<p>僅かな状況の違いで、人への危害、資産・設備あるいは環境に対し損害を与えたり、プロセスの損失をもたらしたかもしれない望ましくない事故 安全システムへのチャレンジは以下の様に分類される： <ul style="list-style-type: none"> ●安全システムに対する作動要求（圧力開放装置、安全計装システム、機械的なシャットダウンシステム） ●一次封じ込め設備・機器の点検や各種テストにて結果が許容限界を超えた場合。または、 ●プロセスの正常範囲からのズレや 大幅な逸脱 </p>
<p>予防 Prevention</p>	<p>特定の活動を通して危険やリスクを排除したり、防止したりするプロセス。「予防」は、望ましくない事象の発生頻度を減らすために予め取られる対策を説明する際に用いられることがある。</p>
<p>プロセス安全 Process Safety</p>	<p>優れた設計上の原則や工学的技術および作業慣行に基づいて、危険な物質を取り扱うシステムやプロセスの健全性を管理するための統制の取れた枠組みである。プロセス安全は、危険な物質やエネルギーを放出する可能性がある事故の予防策や制御方法を扱っている。このような事故は毒性の作用や火災、爆発を引き起こし、最終的には、重大な傷害や資産の損害、生産停止、環境への影響といった結果に至る可能性がある。</p>
<p>プロセス安全とリスク管理 Process Safety and Risk Management</p>	<p>危険な物質やエネルギー放出の予防や準備、緩和、対応、復旧に焦点をあてた管理システム。</p>
<p>プロセス安全事象 Process Safety Event</p>	<p>壊滅的になり得る事象、即ち、大規模に健康や環境へ重大な結果を及ぼす可能性がある危険な物質の放出や封じ込めの失敗を伴う事象。プロセス安全事故と同等であるが、本書で説明しているように（Fig.1 参照）、PSE では Tier1 と Tier2 の結果を区別していることに注意。</p>
<p>プロセス安全事故 Process Safety Incident</p>	<p>壊滅的になる可能性がある事象、すなわち、健康や環境へ重大な結果が大規模になる可能性がある危険な物質の放出や封じ込めの失敗を伴う事象。</p>

プロセス安全指標 Process Safety Indicator	特定のプロセス安全に関係した、特に傾向や事実についての測定値である。プロセス安全事象やニアミス事故、防護層へのチャレンジ、運転規律、プロセス安全プログラムにおける管理システムなどの状態やレベルに関する情報を提供する。
プロセス安全メトリクス Process Safety Metric	プロセス安全プログラムの効率や遂行能力の指標からの結果を測定または分析する方法。
プロセス安全システム Process Safety System	プロセス安全システムはプロセスを安全に運転し、維持することを意図した設計や手順およびハードウェアから成る。
信頼度 Reliability	あるアイテムが定められた条件下で、定められた期間、定められた要求に対して、求められる機能を遂行することができる確率。
責任を負うべき当事者 Responsible Party	安全で、基準に準拠した、信頼性のある方法で設備を運転することを課せられた当事者は、責任を負うべき当事者である。一部の国や管轄区において、責任を負うべき当事者は「義務の保持者」や法的に報告義務のある当事者と呼ばれることがある。ここで“責任を負うべき当事者”と言った場合、それは“企業”と同義である。 注意：責任を負うべき当事者が誰かはプロセス安全事故が発生する前から決まっている。責任を負うべき当事者は、設備の所有者または設備運用者の関係にもよるが、そのどちらでも良い。どちらが設備のパフォーマンスに責任があるのか。誰が事故防止計画を開発し、実施することに責任を負うのか。プロセス安全事故が発生した後の事故調査を行い、是正事項を特定し、それを実施することに誰が責任を負っているのか。
リスク Risk	事故の発生確率と損失や傷害の程度の両方の観点から、人への傷害や環境への被害、経済的損失の程度を測る尺度。これを簡潔に表現すると、リスクは、事故の発生確率と影響度の積である。（すなわち、リスク=影響度×発生確率）
リスクに基づくプロセス安全 Risk Based Process Safety (RBPS)	CCPS（化学プロセス安全センター）のプロセス安全管理システムの手法である。プロセス安全管理の活動を設計・修正・改善するために、プロセス安全の活動や人・モノ・金など資源の利用可能度、および現行のプロセス安全文化に対するリスクに基づく必要性和釣り合ったリスクに基づく戦略や戦術を用いたアプローチである。
保護手段や防護機能 Safeguards or Protective Features	原因が結果に至るシナリオの確率を低減したり、強度 (Severity) を緩和したりするために取り入れられた設計上の機能、機器、手順など
安全システム Safety System	事故の連鎖を制限または遮断するために設計された装置および/または手順であり、損失の発生を回避したり、事故の影響を緩和するもの
シャットダウン Shutdown	運転状態から安全かつ運転していない状態にするプロセス
システム System	一連の特定の機能を実現するために組織された人や装置、方法の集合

付録 B

PSE 分類判定の詳細事例

以下の事例は、本書作成時に PSE 分類判定の解説を目的として想定した架空の事例である。最新情報については [CCPS Metrics](http://www.aiche.org/ccps) のウェブサイト参照のこと。

ここでは、以下の分野を対象としている。

- 事業所構内の事故
- 複数の結果をもたらす PSE
- 漏洩
- 急激な放出
- フレアスタック及び排出処理装置
- 圧力開放装置とそのシステム
- 毒性のガス・蒸気・エアロゾル
- 休業災害
- 配管
- 化学物質の放出を伴わない火災
- 海上輸送用船舶
- トラック及び鉄道
- オフィスビル
- マン・マシンインターフェースの事故
- 混合物
- バキュームカーの操作
- 直接費
- 公式に宣言された避難またはシェルターインプレイス

事業所構内の事故

1. 事業所構内で協力会社のタンクローリーから引火性物質が漏洩して火災が発生し、設備資産に 10 万ドル（直接費）の損害が発生した。タンクローリーは協力会社が運用していたものであるが、その時はプロセスに繋がっていた。直接費が 10 万ドル以上であったため、この事故は Tier 1PSE に該当する。
2. 1 番目と同様な事例である。引火性物質を積載したタンクローリーが事業所を出た所で横転して火災となり、タンクローリーが焼失した。この場合は、タンクローリーがプラントに接続されていなかったため、報告すべき PSE には該当しない。
3. パイプラインが漏洩して、1 時間足らずで 2000 ポンド (908 kg) の引火性蒸気が地上に放出された。施設本体と棧橋の間には公道が通っていて、このパイプラインはその施設と棧橋を繋いでいた。漏洩箇所は、事業所の敷地外の公道上を通る配管の一部であった。漏洩は事業所の外で発生したものだが、そのパイプラインを施設が所有し、運用しているため、これは Tier 1PSE に該当する。

複数の結果をもたらす PSE

- 200 バレル (32 m3) の引火性液体がこぼれて大量の引火性蒸気が放出され、着火して火災となった。この火災によって、周辺機器が損傷を受け、報告義務のしきい値を超える有毒ガスが放出され、死者一名を含む数名の休業災害となった。この事故による被害はいくつもあるが、一件の Tier 1 PSE として報告すべきである。影響強度のメトリクスを適用する際は、火災による損傷、化学物質の放出による潜在的影響、人の健康への影響、および地域社会・環境について、それぞれ表 3 から影響強度 (1、3、9、27 ポイント) を適切に選択する。これらの個々の影響の強度の合計を、事故全体の影響強度のメトリクスの計算に用いる。

漏洩

- 10 バレル (1.6 m3) のガソリン (1400 kg、3100 ポンド) が配管からコンクリート上に漏洩したが、土壌や水域には到達しなかった。工場の担当者は、漏洩は「一時的」(例えば、1 時間以内)なものだったと推定している。このケースは、一次容器からの「引火性液体」1000 kg (2200 ポンド) 以上の「一時的」(1 時間以内)な漏洩に該当するため、Tier 1PSE に該当する。
- タンクの液面計の故障のため、「引火性の液体」が入った製品タンクが過充填となった。約 7000kg (15500 ポンド) の液体が防油堤内に流れ出た。この事故は、2200 ポンド (1000 kg) を超える「一時的」流出であるため、二次容器の有無に関わらず、Tier 1PSE に該当する。
- 契約会社の保守作業員がプロセスのバルブを開いて硫酸を浴び、重度の薬傷を負い、休業災害となった。これは Tier1PSE に該当する。これは、危険な物質の漏洩を伴う意図しない出来事である。死亡災害や傷害・病気による休業災害の場合は、放出量のしきい値は適用しない。
- あるオペレーターが、品質管理用のサンプル口から通常通り製品のサンプルを収集していた。ガラス瓶が壊れたために手に怪我をして縫合手術を受けたため、翌日の作業が出来なかった。これは漏洩とは関係がないため、Tier 1PSE には該当しない。
- プラントのシャットダウン工事後、ブリーダーバルブ(エア抜き弁)が開いたままになっていた。プラントを起動した際に燃料油が放出され、これに気付いて閉じるまでに 100°F(38°C)の油が約 10 バレル (1.6m3) (1700 kg、3,750 ポンド) 地面上とプラントの排水システム内に放出された。これは、パッキンググループ III (ハザードクラス 3 -引火性液体) の 440 ポンド(200kg)以上 2000kg 未満の放出であるため、Tier 2PSE に該当する。

(訳者註 35 : パッキンググループは米国連邦法 49 CFR 173.121 セクションに定めるハザードクラス 3 の引火性液体を引火点で分類したものである。因みに、国連分類によりハザードクラスは 1. 火薬類 2. 高圧ガス 3. 引火性液体類 4. 可燃性物質類 5. 酸化性物質類 6. 毒物類 7. 放射性物質類 8. 腐食性物質 9. その他の有害性物質となっている。)

パッキンググループ	引火点 (クローズドカップ)	初期の沸点
I		≤35 °C (95 °F)
II	<23 °C (73 °F)	>35 °C (95 °F)
III	≥23 °C, ≤60 °C (≥73 °F, ≤140 °F)	>35 °C (95 °F)

出典 : 49 CFR § 173.121 - Class 3 - Assignment of packing group

10. 120°F(49°C)で運転中の原油タンクからの排水を専用の排水システムに流していた。オペレーターが現場を離れてバルブを閉じ忘れたため、20 バレル (3.2 m3) の原油が排水システムに流出した。この原油(引火性液体)の流出は意図したものでなく、放出基準の 2,000kg または 4,400 ポンドを超えるため、Tier 1PSE に該当する。
11. 配管が腐食し、550°F (288°C)で運転中の重質潤滑油 (HCO) 10 バレル (1.6 m3) (1,700 kg、3750 ポンド) が地面に流出した。引火点 300°F (149°C)を超える HCO が放出し、Tier2 のしきい値である 200kg (440 ポンド) または 1.4 バレル (224 ℓ) を超えているので、これは Tier 2 PSE に該当する。(訳者註 36 : Tier1 のしきい値は 2000kg (4400 ポンド) または 14 バレル (2240 ℓ)である)
12. オペレーターが、容器洗浄作業の一環として、20 バレル (3.2 m3) の可燃性物質を 1 時間弱の間、油水捕集システムに意図的に排出した。この排出は計画・管理されており、捕集システムはその作業を目的として設計されたものである。これは除外規定に当たるため、報告が必要な PSE には該当しない。可燃性物質が意図せずに流出した場合、または制御不能により、側溝、下水道、その他の捕集システムに流出した場合には PSE に該当する。
13. 炭化水素の蒸気が施設内の QA / QC ラボに流れ込んで火災となり、1500 ドルの損害を被った。その炭化水素の蒸気は、油水排水システムから発生したものだ。この火災は一次封じ込めからの意図しない、または制御不能な漏洩によるものであったが、被害のしきい値である 2500 ドルを超えなかった。そのため、この件は Tier 2PSE には該当しない。
14. プロセスユニット内で資材の運搬作業をしていたフォークリフトの接触によりブリーダーバルブが壊れ、イソペンタンが放出された。蒸気雲が形成されて爆発したことにより、設備資産に 10 万ドルを超える損害が生じた。意図しない、または制御されていない一次容器からの流出により火災または爆発が発生し、かつ 10 万ドルを超える損害が発生しているため、これは Tier 1PSE に該当する。
15. 加熱炉のバーナーの火が消え、火室内の燃料濃度が過剰になって爆発し、加熱炉内部に 10 万ドルを超える損傷が生じた。火室外への放出はなかった。炎が消えた後、燃料ガスの流出を制御できていないため、これは Tier 1PSE に該当する。設計の意図はバーナー部で燃料ガスを燃焼させることであり、燃料ガスを火室内に閉じ込めることではない。
16. 加熱炉のチューブが破裂して (炉の中で) 火災が発生し、加熱炉内部に 10 万ドルを超える損害が発生した (破損したチューブの交換費用以外も含む)。チューブの破損は、プロセス流体の一次封じ込めの失敗(漏洩)であり、10 万ドルを超える損害と合わせると、これは Tier 1PSE に該当する。

急激な放出

17. ガソリン 10 バレル (1.6 m3) (1400 kg、3100 ポンド) が、配管から地面に 2 週間にわたって漏洩した。ざっと計算すると、流出速度は 1 時間あたり約 0.03 バレル(4.8 ℓ) (9 ポンド) (4.2 kg)であった。この流出事故は「急激な放出」(例えば、1 時間に 1000 kg (2200 ポンド) のしきい値を超える)ではなかったため、これは Tier1 にも Tier2 PSE にも該当しないが、会社はこれを Tier3 のその他の一次容器の漏洩事故として記録する可能性がある。
18. 上記と同じ例であるが、10 バレル(1.6 m3)の漏洩が、1 時間 30 分の間にわたって一定の速度で流出したと推定された点が上記と異なる。ざっと計算すると、流出速度は 1 時間あたり 6.7 バレル (1.07 m3) (933kg または 2,060 ポンド)であった。流出速度は、1 時間あたり Tier1 の報告しきい値である 1000kg (2200 ポンド) をわずかに下回るが、Tier2 の報告しきい値である 100kg (220 ポンド) を上回っているため、Tier 2PSE に該当する。
19. 天然ガス流量が通常よりも高い現象に対応中、天然ガスラインの安全弁の再設置が適切でなかったため、ノックアウトドラムを介して大気放出のベントスタックに放出されていることに運転員が気付いた。その後の調査により、6 か月間で合計 100 万ポンド (454 ton) の天然ガスが定常的に留出していたことが判明した。流出速度 (約 100 kg/hr) が引火性蒸気漏洩の Tier1 しきい値 500kg/hr を超えていないので、Tier 1 PSE には該当しないが、Tier 2 の急激な放出のしきい値 50 kg/hr を超えるため Tier 2 PSE に該当する。

20. ある運転員が、2 時間前の最終見回り中には無かったのに、プロセスの熱交換器付近で芳香族の溶媒（ベンゼン、トルエンなど）約 10 バレル(1.6 m³)の液体が流出していることを発見した。実際の流出期間は不明であるため、しきい値を超えているかどうかを判断するには、適切に推算する必要がある（少な目ではなく、多めに見積もるべきである）。流出時間を 1 時間未満と推定するなら、流出した溶媒がパッキンググループ II の物質であり、しきい値の 7 バレル (1.1 m³)を超えるため、この事故は Tier 1PSE に該当する。

除害設備 (フレアスタック、スクラバー、焼却炉、クエンチドラムなど)

21. フレアスタック先端のパイロットバーナーが消えたため、フレアシステムが正しく機能しなかった。その間にプロセス設備の過圧により排出された可燃性蒸気がフレアスタックに送られてきた。安全弁を通過した蒸気量はしきい値よりも多く、高濃度の可燃性混合気が形成されていた。安全弁の吐出量がしきい値量を超えて安全でない放出が発生したため、この件は PSE に該当する。
22. ナフサ液 100 バレル (16 m³) が、安全弁からフレアシステムに間違えて送られた。液のほとんどはフレア用ノックアウトドラムで捕まったが、ごく少量がフレアスタックから地上に落下した。この件は、安全弁から下流の処理装置に放出された量がしきい値を超えて、列記された 4 つの事象の一つ（即ち液の過充填）を引き起こしたため Tier1 PSE に該当する。(訳者註 37 : 表 1 のレインアウトに該当する)
23. 安全弁からしきい値に満たない放出が生じてスクラバーに流れたが、流量がスクラバーの処理能力を超えたために人が有毒な蒸気にさらされて 1 日の休業災害となった。一次容器からの漏洩の結果、1 日の休業災害となったため、これは Tier 1PSE に該当する。圧力開放装置の排出量に対する規制よりも、実際に発生した危害が優先される。
24. そのプロパン用タンクは過圧になった場合はリリーフ弁からフレアシステムに逃がす設計になっていた。フレアシステムのパイロットバーナーが機能しなかったため、プロパン蒸気を燃焼できない状態が 45 分間続いた。推定 1,300 ポンド (590 kg) のプロパンガスが地上及び作業架台の空間に放出された。放出量がしきい値を超えてはいるが、排ガスは下流の処理装置に送られ、特記された事態とは合致しないため、これは PSE には該当しない。会社はこの事故をその他の LOPC(一次容器からの漏洩) Tier3 または Tier3 安全装置の作動要求として記録する可能性がある。
25. 設備の不調により、リリーフ弁が開き、燃料ガスがフレアシステムに流出した。フレアシステムが適切に機能し、リリーフ弁から放出された蒸気を燃焼させた。リリーフ弁からの放出は下流の処理装置に送られ、意図したとおりに処理されたため、これは PSE には該当しない（列記された 4 つの事象のいずれにも合致しない）。会社はこの流出をその他の LOPC(一次容器からの漏洩) Tier3 または Tier3 安全装置の作動要求として記録する可能性がある。

圧力開放装置とそのシステム

26. 設備の不調によりリリーフ弁が開き、それに対応するために API Standard 521 に則って設計された大気ベントに流れ、悪影響を与えることなく大気中にガスが放出された。この事故は、API Standard 521 等によれば、Tier 1 にも Tier 2 にも該当しない。それは適切に設計された、安全弁、高圧ラプチャーディスクなどの安全装置から大気に蒸気とガスが放出されたためである。（注意：この放出の場合、液体の過充填、潜在的に危険な場所・事業所内の避難所への放出、または地域社会の緊急措置（道路の閉鎖など）を引き起してはならず、および圧力開放装置からのしきい値を超える放出はあってはならない[1]）。これは、Tier 1 にも Tier 2 にも該当しない単なる安全弁の作動であるが、会社はこれを Tier3 事故としてカウントする可能性がある。
27. 最近実施した PHA でその塩素用容器に装着されている安全弁は、サイズ不足が指摘されていた。塩素を移送する際に容器が過圧になり、この安全弁から、60 ポンド (27 kg) の塩素ガス (TIH ゾーン B 材料) が 25 分間、安全な場所に放出された。これは、HAZOP の結果とは関係なく、液体の過充填、事業所でのシェルターインプレイス、地域社会の緊急措置、その他の危険な場所への放出とならない限り、Tier1 や Tier2 の PSE には該当しない。ただし、会社はこの放出を Tier3 安全装置の作動要求として記録する可能性がある。

28. 設備の不調があったが、リリース弁が開かなかったため、機器の圧力が過剰になり、引火性ガスがフランジから漏れて「急激」に放出された。流出した量は、500 kg (1 時間以内) のしきい値を超えていた。これは Tier1PSE に該当する。フランジからの漏洩は PSE 報告義務から除外されない。

毒性のガス・蒸気・エアロゾル

29. 高圧の塩酸配管から、1900 ポンド (860 kg) の塩酸が漏洩した。計算によれば、この内 220 ポンド (100 kg) を超える量の塩化水素蒸気が流出したと考えられる。塩酸は強酸に該当するので 1900 ポンド (860 kg) の放出は、しきい値 440 ポンド (200 kg) を超えるため、Tier 2PSE に該当する。しかし、液体が噴出したり、エアロゾルとして噴霧されたりして、蒸気として 1 時間以内に 220 ポンド (100 kg) を超えた場合は、TIH (吸入毒性)ゾーン C の報告しきい値 100 kg (約 220 ポンド) を超えることになる為、この事故は Tier 1PSE に該当する。
30. 10,000vppm (1 体積%) の H₂S を含む二酸化炭素の配管が漏れ、7,000 kg (15,400 ポンド) のガスが短時間 (たとえば 1 時間未満) に放出された。計算によると、この放出には約 55 kg (120 ポンド) の H₂S が含まれていた。TIH (有毒吸い込みの危険性)B 化学物質 (H₂S など) の報告しきい値 25 kg (55 ポンド) を超えるため、この放出は Tier 1PSE に該当する。
31. 二酸化炭素に含まれる H₂S 濃度が 10,000vppm ではなく 50vppm であること以外は上記と同じ場合も、二酸化炭素の放出量がしきい値の 2000kg (4400 ポンド) を超えているため、この事故は Tier 1PSE に該当する。

休業災害

「休業 (または死亡) 災害」が報告義務のあるプロセス安全事故に含まれるかどうかは、物質の漏洩(封じ込めの失敗)によって引き起こされたか、もしくは漏洩事故からの避難または対応行動に直接関連しているか、による。

32. 運転員が歩行中に床で滑って転倒し、休業災害になった。「転倒事故」は、気象条件、油で汚れたままの床、滑りやすい靴などによるものであり、これは報告義務のある PSE には該当しない。物質の漏洩(封じ込めの失敗)事故からの避難または対応行動に直接関連していない「転倒事故」などの労働災害は、明確に PSE 報告義務から除外される。
33. 上記と同様であるが、運転員が引火性液体の小さな漏洩 (たとえば、1 時間あたり 50 kg 未満) 事故に対応中に滑って転倒した点が異なる。この場合は運転員が漏洩事故に対応していたので、PSE 報告義務がある。会社の構内で漏洩が発生し、休業災害または死亡につながった場合は Tier 1 PSE に該当する。死亡災害および休業災害になった場合は、放出量のしきい値は適用しない。
34. 上記と同様であるが、事故が終了してから数時間後にオペレーターが滑って転倒したことが異なる。これは報告義務のある PSE ではない。PSE 報告義務の除外項目における「避難」および「対応」という用語は、漏洩(封じ込めの失敗)事故からの避難または対応行動が進行中であることを意味している。事故が終了した後 (「事故後」の清掃中や修復中など) での滑り/つまずき/転倒事故は、PSE 報告義務からは除外される。
35. 足場組立中の作業員が、近くの機器で発生した漏洩事故から避難する際に足場のはしごから転落し、休業災害を負った。これは Tier1 PSE に該当する。
36. 運転員が、設計の不適切なスチームトラップの前を通り掛かった。スチームトラップから蒸気が吹き出し、運転員は足首に火傷を受け、休業災害となった。蒸気 (炭化水素や化学物質ではない) の漏洩であっても、物質の物理的状態(高温)により休業災害となったため、これは Tier 1PSE に該当する。毒性が無く不燃性の物質は、しきい値の量的基準からは除外されるが、その他の結果に関する基準は適用される。
37. ある閉鎖空間は意図的に窒素でページされていた。ある請負業者が安全規則を無視してその空間に入り、死亡した。これは報告すべき死亡事故であるが、計画外または制御不能による一次容器からの漏洩を伴わないため、Tier 1PSE には該当しない。

注意：この死亡事故は安全規制の下では報告すべきであり、会社の傷病記録に記載する必要があるであろう。

38. 上記と同様であるが、不注意により窒素が閉鎖空間に漏洩したことが異なる。一次容器からの漏洩による死亡事故であるため、これは Tier 1 PSE（および死亡事故）に該当する。
39. 硫化水素(H₂S)のアラームに対応していた運転員が倒れ、「休業災害」となった。アラームが計画外または制御不能による一次容器からの H₂S 漏洩によって発報した場合は、その事故は Tier 1PSE に該当する。アラームが誤警報であった場合は、実際には漏洩していないため、Tier 1PSE には該当しない。

配管

40. 埋設配管が漏洩してディーゼル油（可燃性物質）100 バレル (16 m³) が 3 日間（毎時 1.39 バレル (222 ℓ)）流出した。この流出により土壌が汚染され、その後除染が行われた。安全上の影響はなく、放出量も「急激な放出」のしきい値 毎時 1.4 バレル (224 ℓ) を超えなかったため、これは Tier1 にも Tier2PSE にも該当しない。ただし、会社はこの事故を Tier3 その他の LOPC(一次容器からの漏洩)として記録する可能性がある。
41. 配管が漏洩して、1 時間以内に 2000 ポンド (908 kg) の引火性蒸気が地上に放出された。ただし、その放出は事業所内の遠隔地で発生したものである。「遠隔地」であることは考慮の対象ではなく、放出量がしきい値を超えているため、この事故は Tier 1PSE に該当する。
42. A 社が所有、運営、維持している DOT 規制の対象となる配管が、B 社の敷地を通っている。その DOT 規制対象の配管(一次封じ込め)から、1 時間以内に可燃性ガスが 1500 ポンド (680 kg) 放出されて火災となり、A 社の機器に 10 万ドルを超える損害が生じた。この配管は B 社によって所有、運用、または保守されていないため、この事故は B 社の Tier 1 PSE ではなく、A 社の輸送事故になる。(訳者註 38 : DOT 規制対象とは、米国運輸局法 49 CFR § 195.1 の対象となる危険な物質の輸送に関わるものを指している)

一次容器からの漏洩(LOPC)に関連しない火災またはエネルギーの放出

原則として、火災またはエネルギーの放出は、一次容器からの漏洩(LOPC)が引き金となった場合、または報告義務量を超える量の化学物質の放出があった場合にのみ、PSE 報告義務が生じる。以下はその例である。

43. 電気火災がプロセス設備に及び、4000 ポンド (1.8 ton) のトルエンが放出された。一次容器からの漏洩(LOPC)量がトルエンの報告義務しきい値 2200 ポンド (1.0 ton) を超えたため、この事故は Tier 1PSE に該当する。
44. 電気火災、停電、またはその他ユーティリティの損失によりプラントがシャットダウンされたことで、10 万ドルを超える機器の損傷（例えば、不適切なシャットダウンによる反応器や機器の損傷）が生じたものの、一次容器からの漏洩(LOPC)は発生しなかったという場合は、報告義務のある PSE には該当しない。PSE 報告可義務が生ずるのは、一次容器からの漏洩(LOPC)が生じた場合である。
45. ベアリング火災、電動モーターの焼付き、その他同様の火災が発生して機器に 10 万ドルを超える損傷を与えたが、一次容器からの漏洩(LOPC)による化学物質の放出がなく、誰も怪我をしていないという場合は、報告義務のある PSE には該当しない。
46. 上記の 44 番、45 番はいずれも、負傷者が出るか、あるいはしきい値を超える化学物質の放出が発生した場合は報告義務のある PSE に該当する。
47. 容器内の爆燃により、2,500 ドルを超える機器の損傷が発生したが、容器からの漏洩はなかった。これは重大なプロセス事故であり、調査する必要があるが、一次容器からの漏洩(LOPC)が生じなかったため、報告すべき PSE の定義とは合致しない。
48. 化学物質を貯蔵しているタンクのベントが塞がれ、いつものようにポンプで引いたことにより負圧になり、タンクがつぶれて 10 万ドルを超える機器の損傷となった。一次容器からの漏洩(LOPC)はなかったため、この件は PSE には該当しない。
49. 上記 48 番の例で、タンクの継ぎ目が裂け、その物質のしきい値を超える内容物が流出した場合は、（内容物が防油堤など二次容器内に納まった場合であっても）報告すべき PSE に該当する。

50. 高圧蒸気の配管の近くに置かれた足場板に火が着いたが、直ぐに消火されてそれ以上の損傷はなかった。調査の結果、足場板に何かの油が付着していたと判明したが、その付近での油漏れは見られなかった。計画外または制御されていない LOPC がなかったため、これは報告すべき PSE には該当しない。

海上輸送用船舶

51. ある会社が運営する海上輸送船に搭載していた可燃性物質の内 14 バレル (2.2 m³) 強が「急激」に流出した。船舶が原料または製品の移送目的でプロセスに接続されている場合を除いては、海上輸送用船舶における事故は明確に PSE の除外事項となっているため、この件は報告すべき PSE には該当しない。
52. タグボートに押されていた他社の舢舨(はしけ)が自社のドックに衝突し、舢舨の隔室が破損してディーゼル油 50 バレル (8 m³) が水中に流出した。破損した舢舨は原料または製品の移送の目的でプロセスに接続されていたのではないため、この事故は PSE には該当しない。

トラック及び鉄道

53. 会社の貨車が事業所の外へガソリンを輸送中に脱線して、7 バレル (1.1 m³) 以上のガソリンをこぼした。その貨車は原材料や製品を移送する目的でプロセスに接続されてはおらず、事業所内での貯蔵目的に使用されていたものでもないため、この事故は PSE には該当しない。
54. 会社の敷地内で他社のタンクローリーが横転し、7 バレル (1.1 m³) を超えるガソリンが「急激」に流出した。ローリーが荷積み/荷降ろし施設に接続されていなければ、この事故は報告義務のある PSE には該当しない。ただし、会社は、この事故を輸送事故のメトリクスに数える可能性もある。
55. 契約している運送業者がローリーから高濃度の苛性ソーダ水溶液を荷降ろし中に、ホースが外れて 2500kg の苛性ソーダが噴霧状および液体の状態で放出された。苛性ソーダのしきい値 1000 kg を超えたことと、ローリーが事故直前まで荷積み・荷降ろし施設に接続されていたため、この事故は Tier 1PSE に該当する。(訳者註 39 : 原文には"caustic"とのみ記されているが、しきい値が 1000kg となるのは Class 8 Packing Group II の場合であるが高濃度の苛性ソーダ水溶液とした。低濃度で Class 8 Packing Group III に該当する場合は 2000kg となる。)
56. 塩素を積んだタンク貨車 2 両が事業所の貯蔵タンクに充填するために配送された。1 両目がプロセスに接続されて 2 両目は 1 両目の荷降ろしが終わるまで待機していた。待機場所で 1 両目の作業を待っている間に、2 両目のタンク貨車で漏洩が発生し、1 時間以内に 6 ポンド (2.7 kg) が放出された。トラックや鉄道車両はプロセスに接続されている場合と事業所内での保管に使用されている場合を除き、PSE から明確に除外されるため、これは報告義務のある PSE には該当しない。プロセス内の貯蔵能力に問題がない限り、荷降ろしを待機中の状態は貯蔵とは見なされない。

オフィスビル

57. 事務棟エリアでボイラー火災が発生し、直接的な損害が合計 10 万ドルに上った。プロセスに関連しないオフィスビルの事故は PSE から明確に除外されるため、この事故は報告義務のある PSE には該当しない。

マン・マシンインターフェースの事故

58. ポリマー工場の仕上げ装置の周囲で作業中に、運転技師が負傷した。怪我の原因は、装置の機械的な操作箇所(マン・マシンインターフェース)にあった。計画外または制御不能な漏洩がなかったため、これは PSE に該当しない。

混合

59. ある化学メーカーで、混合プロセスの下流側で複数の化学物質を混合した配合製品 10,000 ポンド (4.54 ton) が流出した。その物質は、特定の製品(熱媒、ブレーキ液など)として販売されているものである。その物質は特定の配合で出荷されるため、会社は国連の定める危険な物質すべての定義(または米国の DOT 規制)に従って混合物を事前に評価し、混合物を「パッキンググループ III」に分類していた。流出がパッキンググループ III の

しきい値 2,000kg (4,400 ポンド) を超えたため、この流出は報告すべき Tier 1PSE に該当する。 (訳者註 40: 「パッキンググループ」については、項目 9 を参照)

60. 特殊化学品プラントの配管の継手が破損し、ホルムアルデヒド 30%、メタノール 45%、水 25%の混合物 4,000 ポンド (1,800 kg) が 1 時間以内に放出された。この液は混合物としては、国連危険物/米国 DOT では危険な物質に分類されていないので、しきい値の混合計算が適用される。純粋な成分の報告しきい値はホルムアルデヒドが 4,400 ポンド (2,000 kg) で、メタノールは 2,200 ポンド (1,000 kg) である。

成分	wt.%	放出量 ポンド (kg)	PSE しきい値 ポンド (kg)	対しきい値率
ホルムアルデヒド	30%	1200 (545)	4400 (2000)	27.30%
メタノール	45%	1800 (817)	2200 (1000)	81.80%
水	25%	1000 (454)	なし	0%
				109.10%

この放出は、個々の成分がそれぞれのしきい値を超えていなくても、対しきい値率の合計が 100%を超えるため、Tier 1PSE に該当する。

注意：これは簡略化した計算方法であり、多少安全サイドの計算結果になる可能性がある。より厳密な計算方法は、米国 DOT 49 CFR 173.2a [11]、または危険な物質の輸送に関する国連勧告のセクション 2 (UN Recommendations on the Transportation of Dangerous Goods, Section 2).によること。

バキュームカーの操作

61. あるバキュームカーが近傍のユニットから廃液を吸い上げた後、廃水処理施設に駐車して施設の運転員からの排出許可を待っていた。待機中にバキュームカーが故障して、プロセス物質を大気に放出した。吸引中、排出中、またはバキュームカーのポンプの使用を除いて、バキュームカーの操作は PSE から除外されるため、これは PSE に該当しない。
62. ベントに活性炭吸着装置を装備したバキュームカーが、流出した炭化水素を吸引していた。活性炭吸着装置に着火して、バキュームカーに 45,000 ドル以上の損害が出た。最初の炭化水素の流出が LOPC であり、その結果、Tier 2 のしきい値 2,500 ドルを超え、Tier 1 のしきい値 10 万ドル未満の火災被害となったため、これは Tier 2PSE に該当する。

直接費

63. ポンプシールが破損したため漏洩した物質に火が着いた。火災は素早く消火され、負傷者もなかった。この火災により、損傷した計装品の修理と断熱材の交換が必要になった。修理、交換、清掃、緊急対応の総費用は 12 万ドルであった。ただし、破損したポンプシールの費用を除くと、コストは 2 万ドルである。火災によって損傷を受けた機器の修理と交換の費用のみが直接費であり、シールの交換費用は直接費の計算に含まれないため、これは Tier 2 PSE に該当しない。

公式に宣言された避難またはシェルターインプレイス

64. チューブの漏れにより、非常に臭いの強い物質が少量、冷却水システムに混入して、その物質が冷却塔から大気中に分散された。当局は避難不要と判断したが、ある小学校の教員は、臭いがきついため休み時間に生徒を外に出さないことを決めた。公的には避難不要とされたため、これは PSE に該当しない。
65. 製油所でローリーから荷降ろしをしている際にフッ化水素ガスが 1 ポンド (0.454 kg) 弱、放出された。現場のセンサーが放出を検知して、ユニットの緊急アラームが鳴った。近隣在住の非番の警察官が、「そのような警報は製油所に問題があることを意味する」ということで、近所の住民に避難を勧めた。この警察官は一民間人として念のための行動を提案したものであり、当局の担当者として避難やシェルターインプレイスを宣言したものではないため、これは PSE に該当しない。

改訂履歴

発行日	改訂番号	変更内容
2007年12月	1.0	CCPS と業界関係者の共同作業による。
2011年2月	2.0	2010年に発行された API RP 754 に合わせて改訂。CCPS のメンバー企業と API の共同作業による。
2018年4月16日	3.0	2016年の API RP 754 の第2版に合わせて再調整し、改訂。CCPS のメンバー企業と API の新たな共同作業による。
2019年2月26日	3.1	表1の誤植を訂正（「\$ 25,000」を「\$ 2,500」に訂正）。
2019年4月22日	3.2	軽微な誤植の訂正

Version 3.2 翻訳参加者の紹介

- 飯濱 慶** 早稲田大学大学院修士課程修了（機械工学）。日機装(株)にて化学プロセスポンプ等の開発設計に従事。デュポン(株)にて合成ゴム工場の建設と運転管理、国内2ヶ所の工場長、安全コンサルタントを経験。デュポン退職後も引き続き、日本とASEANにて安全コンサルティング業務に従事する。
- 今出善久** 同志社大学大学院修士課程修了（電気工学）。デュポン（株）にて主に合成樹脂工場の計装・制御設計、品質・保全・エネルギー・環境・安全に関するマネジメントシステムの構築・運営、関連企業の安全マネジメント改善支援に従事。現在は安全コンサルティング、省エネ診断、地球温暖化防止啓蒙活動に取り組んでいる。
- 牛山 啓** 東京大学大学院修士課程修了（化学工学）、八幡化学株式会社(現 日鉄ケミカル&マテリアル(株))入社後おもに芳香族および誘導体関連設備製造管理、各種プラント設計建設プロジェクト、海外スチレン系樹脂プラント設計建設、研究開発、海外駐在、経営・監査などに従事する。
- 金原 聖** 大阪大学大学院修士課程化学系化学工学修了、東レ株式会社入社後、合成繊維原料およびその関連製品、樹脂の生産管理、技術開発、工場建設、事業管理、さらに全社技術開発支援および全社防災管理体制構築の指導などに従事する。
- 木村 雄二** 慶應義塾大学大学院 博士課程 機械工学専攻修了 工学博士。東京農工大学助手を経て工学院大学化学工学科講師～化学系学科教授。工学教育に永年携わると共に、日本機械学会 化学工学会 日本材料学会等で材料の環境強度・腐食工学について研究。日本機械学会 & JABEE フェロー。
- 塩谷 寛** 千葉大学工学部工業化学科卒、チッソ（現 JNC）株式会社入社後、おもに石油化学製品の製造、設計、ライセンス業務、生産技術、環境安全管理、監査などの業務に従事する。
- 澁谷 徹** 東京大学大学院修士課程修了（化学工学）、旭硝子（現 AGC）株式会社にてフッ素樹脂に関する研究開発、プラント設計・建設、技術導入に従事する。
- 竹内 亮** AIChE 正会員、早稲田大学理工学部 応用化学科卒、米国 Drexel University 化学工学修士。三井造船(株)(現 三井 E&S)にてプロセス設計、マルチパーパスプラントなど新規事業の開発、デュポン(株)にて建設プロジェクトの管理、安全コンサルタントなどを経験。現在は、事故分析・コミュニケーション研究所長、埼玉工業大学非常勤講師などに従事する。
- 山岡 龍介** 北海道大学大学院 修士課程修了(有機合成化学)、東洋高压工業株式会社(現、三井化学)入社。青酸系化合物の製造プラントの運転管理、石油化学原料（エチレン等）の生産計画・管理、高压ガス事業所（エチレン製造工場等）の保安管理に従事。
- 山本 一己** 広島大学大学院修士課程修了（化学工学）、横浜国立大学大学院物質工学専攻博士課程修了、博士（工学）取得。綜研化学株式会社において、一般化学プラントのプロセス設計と建設、アクリルポリマーの生産設備の技術開発と研究開発を経た後、安全推進の業務に従事する。

以上 10 名 (50 音順)