

プロセス安全メトリック

— CCPSが提案する新しい
プロセス安全測定基準の紹介—

化学工学会 産学連携センターSCE・Net

牛山 啓・渋谷 徹・小谷卓也

本日の内容

1. はじめに—CCPS紹介、CCPSとSCE-Netの関係
2. CCPSメトリック作成経緯
 - BP Texas Cityの事故、メトリックの必要性の指摘
 - グローバル化を目指したプロジェクトの発足
3. CCPSメトリックの内容と利用法
 - CCPSメトリックと他のメトリックの関係
4. 計算例と評価
5. まとめ

1.はじめに

1-1. CCPS 紹介

正式名称:

Center for Chemical Process Safety
AIChE(アメリカケミカルエンジニア協会)の一部

設 立: 1985年 — 印度Bohpalの事故の翌年

目的と方法:

- ・ プロセス安全に関する最先端技術や手法の開発改善
- ・ プロセス安全情報の提供
- ・ 関係者の安全知識と意欲の向上
- ・ などによるプロセス事故(による災害)の防止

サービス:

- ・ 各種プロジェクトの遂行および成果の提供(別紙リスト参照)
- ・ 事故情報データベース(PSID)の提供
- ・ 各種図書の出版
- ・ Process Safety Beacon (PSB)の無料配布
- ・ メンバー会社従業員の教育

1-2. CCPSとSCE-Net安全研究会

～2005 - CCPS資料の教材利用などで接触

2006 - CCPSの依頼を受けProcess Safety Beacon の
日本語版作成開始

2008 - メンバー4名がProcess Safety Metricsの内容を
検討、正式許可を得て要訳を発表

2009 - Process Safety Metrics 全訳発表 ならびに
化学装置誌11月号に抄訳を掲載

- OPCW(化学兵器禁止機関)とMOFA(外務省)
共催の「プロセス安全」に関するセミナーで、
CCPSの依頼を受け東アジア諸国代表に
メトリックの内容を紹介

2-1. テキサスシティの大事故

図-2 事故状況写真その1

事故前 [出典：CCPS PSB]

ほとんどぎりぎりまで入った車



事故後 [出典：BP Final Report]



2-1. テキサスシティの大事故

図-3 事故状況写真その2



[出典：CSB 報告書]

2-1. テキサスシティの大事故

お粗末安全文化による誘因：

財 政： 生産と予算厳守

98～00年 固定費25%削減（合併前のアモコ社でも削減）

安 全： 業務上災害率削減に注力 ⇒ プロセス安全軽視

教育・トレーニング・監督 不行き届き：

トレーニングセンタースタッフ 30人 ⇒ 8人

トレーニングセンター予算 04年には98年の半分

ISOMプラントのトレーナーがトレーニングに使った時間は5%のみ

計器の作動確認不徹底 チェック完了前に立上げた

事故当日前30日間連続長時間勤務をした者がいた

引き継ぎの際、警報の吹鳴・不吹鳴を伝達しなかった

2-2. メトリックプロジェクト

テキサスシティ事故後の動き

- 2006年 CCPSが新規メトリック検討のプロジェクトを立上げ
- 2007年 BPの事故を調査した委員会(The BP US Refineries Independent Safety Review Panel 通称Baker Panel)が報告書の中で“業界共通のメトリック”の作成を勧告
注)CSB [US Chemical Safety (and Hazard Investigation) Board]も同様の勧告を行った
- 2007年 12月 Process Safety Leading and Lagging Metricsを発表
- 20011年 1月 改訂版を発表

2-2. メトリックプロジェクト

目 的:

- 共通して使用できる先行および遅行プロセス安全メトリックの開発
 - 成績改善への貢献
 - 有意義なトレンドデータの提供
 - 比較融合可能な共通フォーマットの確立
- 世界中の関係者に受け入れられる基準の確立

3. CCPSメトリックの内容

3-1. CCPSメトリックの概念と用語

3-2. 遅行メトリック

実際に起こった事故の強度を示すもの、
つまり過去の実績

3-3. 先行メトリック

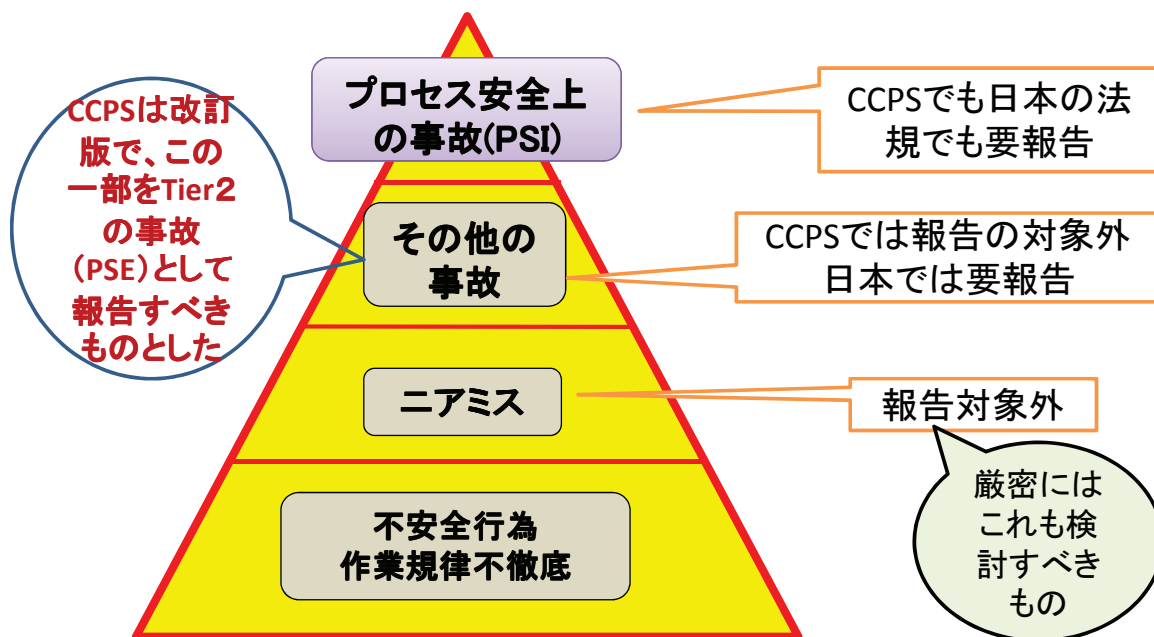
事故前の安全対策の実施状況の健全性を
示すもの

3-4. ニアミスおよびその他の遅行メトリック

遅行メトリックの一種、同時に先行基準的

3-1. CCPSメトリックの概念

図-4 CCPS安全ピラミッド概念



3-2. 遅行メトリック

プロセス安全事故(PSI)とは？

以下の条件を満たす場合PSI(Tier I 事故)と定義する

1. 化学品または化学プロセスが関わっていること
2. プラントの(またはプラントに直結した)場所であること
3. 報告すべき閾値以上であること
 - 1) 従業員等の負傷・休業/死亡災害
 - 2) 直接コスト\$25,000米ドルの火災/爆発
 - 3) 一次防護設備からの閾値(表-1)を超える化学品の放出
 - 4) 地域避難の公式声明発表または地域避難所の設定
- 4) 急激な放出であること(閾値以上の化学品放出)

3-2. 遅行メトリック

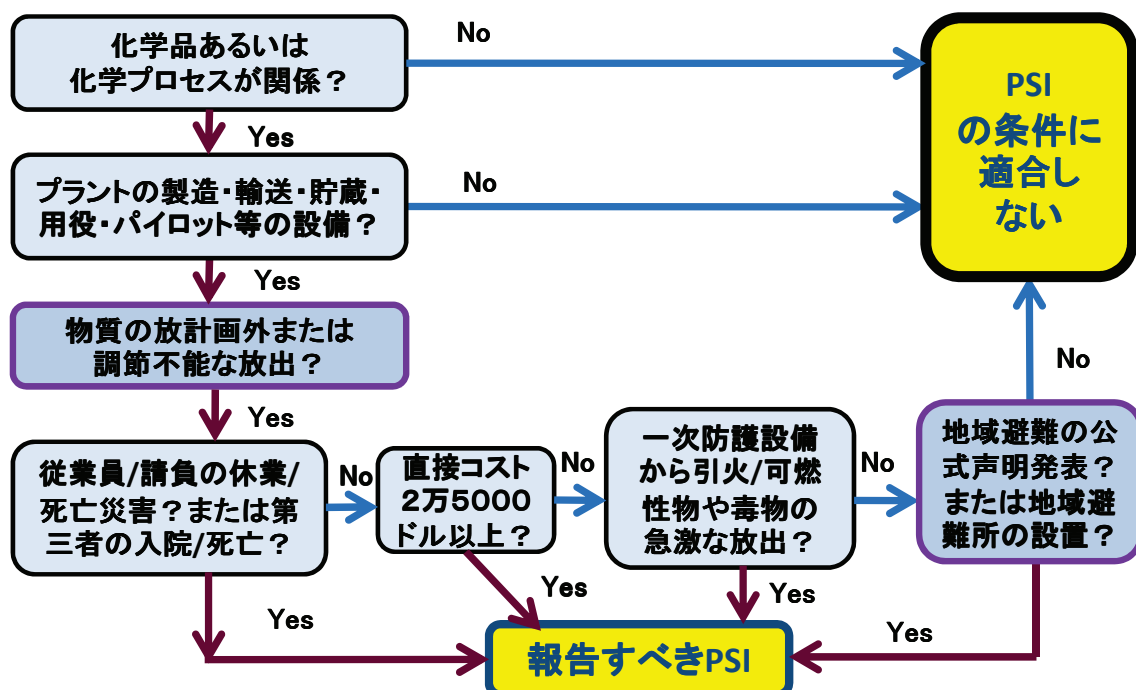
表-1 プロセス安全事故化学品放出閾値

カテゴリー	物質の危険等級	閾値(kg)	室内推奨閾値(オプション)(kg)
1	TIHゾーンA物質 ($LC_{50} \leq 200\text{ppm}$)	5	2.5
2	TIHゾーンB物質 ($200\text{ppm} < LC_{50} \leq 1000\text{ppm}$)	25	12.5
3	TIHゾーンC物質 ($1000\text{ppm} < LC_{50} \leq 3000\text{ppm}$)	100	50
4	TIHゾーンD物質 ($3000\text{ppm} < LC_{50} \leq 5000\text{ppm}$)	200	100
5	引火性ガス、または初溜点 (IBP) $\leq 35^\circ\text{C}$ かつ引火点 (FP) $< 23^\circ\text{C}$ の液体、または強酸強塩基以外のその他容器等級Ⅰの物質	500	250
6	$35^\circ\text{C} < \text{IBP}$ かつ $\text{FP} < 23^\circ\text{C}$ の液体、または中程度の酸塩基以外のその他容器等級Ⅱの物質	1000	500
7	$23^\circ\text{C} \leq \text{FP} \leq 60^\circ\text{C}$ の液体、または $60^\circ\text{C} < \text{FP}$ の液体で引火点以上の温度で放出されるもの、または強酸強塩基、またはその他容器等級Ⅲの物質、またはDivision 2.2 の非引火性、非毒性ガス(スチーム、熱凝縮水、圧縮あるいは液化空気を除く)	2000	1000

注) TIH: 米国運輸省規則に基づく吸引毒性物
容器等級: 国連危険物定義に基づく化学品

3-2. 遅行メトリック

図-5 PSIフローチャート



3-2. 遅行メトリック

表-2 PSI強度表

レベル	加算値	人の安全	火災爆発過圧	化学品放出の影響	社会環境への影響
NA	0	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満
4	1	応急手当	直接コスト25000～10万ドル	放出が二次防護施設内または装置内	短期的な改善対応
3	3	負傷休業	直接コスト100万～1000万ドル	化学品の敷地内放出または蒸気雲爆発の可能性のない放出	予防的なシェルター使用または100万ドル未満の改善または地域的報道
2	9	オンサイトの死亡事故あるいは複数の休業災害、または一人以上のオフサイト休業	直接コスト100万～1000万ドル	オフサイトで死亡の可能性のある放出または大損害を被る可能性のある場所に侵入するような蒸気雲を生ずる引火物の放出	シェルター使用または地域避難、または100万～250万ドルの環境改善 州政府による調査・監視または地域メディアの報道か全国メディアの簡単な報道
1	27	オフサイト死亡または複数のオンサイト死亡	直接コスト1000万ドル超	オンサイトまたはオフサイトでかなりの負傷者が出る可能性のある化学品の放出	数日間の全国メディアによる報道または250万ドルを超える環境改善。 連邦政府による調査監視または地域に対する重大な影響

3-2. 遅行メトリック

1. プロセス安全合計事故率(PSTIR)

$$\frac{(\text{合計PSI数}) \times 200,000}{(\text{従業員および請負の合計作業時間})}$$

2. プロセス安全事故強度率(PSISR)

$$\frac{(\text{全PSIに対する合計強度}) \times 200,000}{(\text{従業員および請負の合計作業時間})}$$

3. レベル“X”のプロセス安全事故率

$$\frac{(\text{強度レベル“X”の合計PSI数}) \times 200,000}{(\text{従業員および請負の合計作業時間})}$$

3-2. 遅行メトリック

Tier II プロセス安全小事故 (PSE)

- 改訂版では先に示したPSIの閾値に達しない軽度な事故に対して、Tier II のプロセス安全小事故 (PSE)を新たに設定した。
- PSEの内容
 - 1) 従業員や請負業者の負傷事故
 - 2) 直接損害額2500ドル以上
 - 3) 表3に示す数値を超える化学品の急激な放出

3-2. 遅行メトリック

表-3 プロセス安全小事故閾値

カテゴリー	物質の危険等級	閾値 (kg)	室内推奨閾値 (オプション) (kg)
1	TIHゾーンA物質 ($LC_{50} \leq 200\text{ppm}$)	0.5	0.25
2	TIHゾーンB物質 ($200\text{ppm} < LC_{50} \leq 1000\text{ppm}$)	2.5	1.2
3	TIHゾーンC物質 ($1000\text{ppm} < LC_{50} \leq 3000\text{ppm}$)	10	5
4	TIHゾーンD物質 ($3000\text{ppm} < LC_{50} \leq 5000\text{ppm}$)	20	10
5	引火性ガス、または初溜点 (IBP) $\leq 35^\circ\text{C}$ かつ引火点 (FP) $< 23^\circ\text{C}$ の液体、または強酸強塩基以外のその他容器等級 I の物質	50	25
6	$35^\circ\text{C} < \text{IBP}$ かつFP $< 60^\circ\text{C}$ の液体、または $60^\circ\text{C} < \text{FP}$ の液体で引火点以上の温度で放出されるもの、またはその他容器等級 II および III の物質で中程度の酸塩基または強酸強塩基以外のもの	100	50
7	$60^\circ\text{C} < \text{FP}$ の液体で引火点未満の温度で放出されるもの、または中程度の酸塩基、またはDivision 2.2 の非引火性、非毒性ガス (スチーム、熱凝縮水、圧縮あるいは液化空気を除く)	1000	500

3-3. 先行メトリック

- 安全管理システムの重要な要素の健全性を示す
- CCPSにおける検討で沢山の要素が考えられた（一説には900くらい）中から7つの重要指数を選定
 1. 機械的健全性
 2. 要処理事項の追跡管理
 3. 変更管理
 4. オペレーター能力
 5. 安全文化
 6. 運転・保守手順
 7. 疲労リスク管理

3-3. 先行メトリック

1. 機械的健全性

$$\frac{\text{（期間内に検査されるべき安全上重要な項目の中で
期間中に完了したプラント機器の検査項目数）}}{\text{（期間中に測定すべきプラント機器の安全上重要な検査項目の数）}} \times 100 \%$$
$$\frac{\text{（検査または故障の結果判明した安全上重要なプラント
機器が欠陥状態で生産していた時間）}}{\text{プラントが生産していた時間}} \times 100 \%$$

2. 要処理事項の追跡管理

$$\frac{\text{（プロセス安全上の要処理項目の中で、期間超過
および/または延期を承認された項目数）}}{\text{（実施中または未処理の要処理事項の総数）}} \times 100 \%$$

3-3. 先行メトリック

3. 変更管理

$$\text{適切に実行された変更管理の割合} = \frac{(\text{適切に実行された変更管理の数})}{(\text{変更管理の総数})} \times 100 \%$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{変更管理手順を} \\ \text{利用した変更の割合} \end{array} \right] = \frac{(\text{変更管理の数})}{(\text{変更管理の数} + \text{変更管理を省略した変更の数})} \times 100 \%$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{変更後の安全な} \\ \text{スタートアップの割合} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{リコミッショニングやスタートアップ中に} \\ \text{変更に関わる安全上の問題のなかった} \\ \text{スタートアップの数} \end{array} \right]}{(\text{変更後のスタートアップの総数})} \times 100 \%$$

3-3. 先行メトリック

4. プロセス安全の訓練および能力

$$\frac{(\text{予定通りにプロセス安全管理の訓練課程を修了した人数})}{(\text{計画されたプロセス安全管理の訓練課程参加者合計人数})} \times 100 \%$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{計画されたプロセス安全管理の訓練課程を} \\ \text{一回で首尾よく完了した受講者の数} \end{array} \right] \times 100 \%$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{その期間に計画された完了時評価付きプロ} \\ \text{セス安全管理の訓練課程受講者の総数} \end{array} \right]$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{関連する安全作業手順全部を守っていない} \\ \text{ことが指摘された安全上重要なタスクの数} \end{array} \right] \times 100 \%$$
$$(\text{監査された安全上重要なタスクの合計数})$$

3-3. 先行メトリック

5. 安全文化

安全文化は会社毎に異なり比較が難しいので、BPテキサスシティ事故の際、報告されたベーカーパネルレポートのAppendix G に記載されている安全文化調査方法を参考 のこと。

6. 運転・保守手順書

$$\frac{(\text{年間に再調査や改訂した運転または保全手順書数})}{(\text{測定期間に再調査や改訂が必要な運転または保全手順書総数})} \times 100 \%$$

$$\frac{(\text{再調査した運転または保全手順書数})}{(\text{運転または保全手順書総数})} \times 100 \%$$

$$\frac{\left[\begin{array}{c} \text{手順書が最新、正確かつ効果的と信じる} \\ \text{運転または保全技術者の数} \end{array} \right]}{(\text{手順書に関わる運転または保全技術者総数})} \times 100 \%$$

3-3. 先行メトリック

7. 疲労リスク管理

$$\bullet \frac{\left[\begin{array}{c} \text{疲労の原因、リスク、潜在的な結果等に関する} \\ \text{教育を受けた関係従業員数} \end{array} \right]}{(\text{関係従業員総数})} \times 100 \%$$

$$\bullet \frac{(\text{合計残業時間})}{(\text{測定期間の合計標準作業時間})} \times 100 \%$$

$$\bullet \text{測定期間の一人当たりシフト延長回数}$$

3 - 4.ニアミス

● ニアミスとは

- まかり間違えば人・財産・装置・環境に損害を与えたり、内容物の損失（LOPC）を招いたりするような出来事
- 不安全状態の発見
- エスカレートする可能性の高い不安全状態
- エスカレートすれば悪影響を及ぼしたと思われる出来事

● プロセス安全ニアミス

- プロセス安全に関する事故のしきい値に達しない相当量の危険物の放出
または
- 安全システムの問題
 - 安全システム（圧抜き装置、安全計装システム、機械的シャットダウンシステム等）の作動
 - 一次防護設備の点検検査結果が許容範囲を逸脱
 - プロセスの正常範囲からの逸脱、暴走

4. CCPSメトリック計算例と評価

表-2 PSI強度表（再掲）

レベル	加算値	人の安全	火災爆発過圧	化学品の影響	社会環境への影響
NA	0	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満	レベル4閾値未満
4	1	応急手当	直接コスト25000～10万ドル	放出が二次防護施設内または装置内 (放出量:TQの1～3倍)	短期的な改善対応(会社内の汚染除去等)
3	3	負傷休業	直接コスト100万～1000万ドル	化学品の敷地内放出または蒸気雲爆発の可能性のない放出 (放出量:TQの3～9倍)	予防的なシェルター使用(地域への警告)または100万ドル未満の改善または地域的報道
2	9	オンサイトの死亡事故あるいは複数の休業災害、または一人以上のオフサイト休業	直接コスト100万～1000万ドル	オフサイトで死亡の可能性のある放出 または 大損害を被る可能性のある場所に侵入するような蒸気雲を生ずる引火物の放出 (放出量:TQの9～20倍)	シェルター使用または地域避難(局所被害)、または100万～250万ドルの環境改善 州政府による調査・監視 または地域メディアの報道か全国メディアの簡単な報道
1	27	オフサイト死亡または複数のオンサイト死亡	直接コスト1000万ドル超	オンサイトまたはオフサイトでかなりの負傷者が出る可能性のある化学品の放出 (放出量:TQの20倍以上)	数日間の全国メディアによる報道または250万ドルを超える環境改善。 連邦政府による調査監視または地域に対する重大な影響(大規模損壊)

4. CCPSメトリック計算例と評価

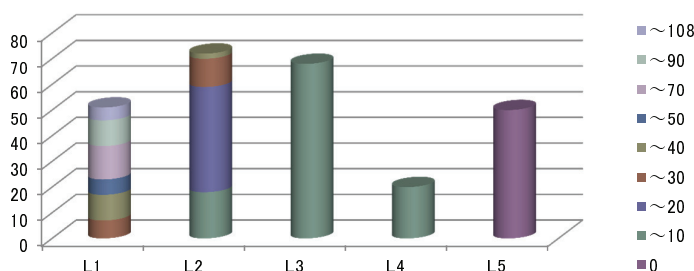
表-4 事故事例強度計算例

事故例	強度点数計算
●各種の化学品を製造する工場の単蒸留と精留切り替えの蒸留設備の一つで爆発事故が起こった。パッチの生産を終えて蒸留装置にメタノールを張り、加熱蒸発させ最初に単蒸留系を洗浄していた。次に精留系の洗浄にはいる時、誤って発生蒸気のパルブを全て閉めたため、圧力上昇して破裂し、爆発火災になった。 死者0、負傷者2名、工場、隣接事務所の屋根、ガラス、防火戸損壊。蒸留釜1基大破、蒸留釜1基及び20号タンク1基損壊。危険物配管及び電気配線等損壊あるも損害額1400万円、火災により隣接の畑のビニールハウス3張りの各一部焼損。爆発により住宅15棟のガラス破損影響あり	・人的被害: 負傷者(休業災害と推定)あり⇒9点 ・物的損害: 損害額1000万円以上⇒3点 ・化学品の影響: メタノール放出量不明⇒0点 ・環境・社会への影響: 局所的な被害有⇒9点 ・合計: 21点で最大レベルが2であり、この事故はレベル2の事故
●2007年5月11日17時18分ごろ、重油脱硫装置の原料油フィルター付近より火炎が出ているのを現場近くで巡回をしていた運転員が発見した。6個あるフィルターの内、Fからの出火を確認したため、重油脱硫装置の緊急停止と脱圧を行った。自衛消防隊と公設消防隊による冷却注水を実施し、18時10分に鎮火した。 人的災害なし。物的損失不明。	・人的被害: なし⇒0点 ・物的損害: 約1時間の火災で損害はかなりと推定されるが損害額不明⇒0点 ・化学品の影響: 重油放出量不明⇒0点 ・環境・社会への影響: なし⇒0点 ・合計: 0点でレベル4未満の事故
●2007年6月16日14時30分船舶から荷揚げ中のガソリントankのシール部からガソリンが吹き上げ、ルーフ上のドレン排出弁から防油堤に漏洩しているのを運転員が発見した。直ちに荷揚げ作業を中止し、回収作業を実施した。漏洩したガソリンは約220L。 人的物的損失なし。	・人的物的被害、環境・社会gへの影響: いずれもなく各々0点 ・化学品の影響: ガソリン漏洩220LでTQ(1000 kg)以下⇒0点 ・合計: 0点でレベル4未満の事故もが、放出量がTQの1/10以上でTier II のPSE。

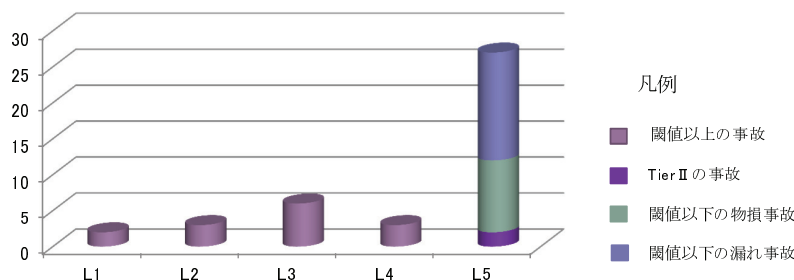
4. CCPSメトリック計算例と評価

図-6 事故事例強度計算結果

●JST失敗事例事故評点(事故総数261件)



●PECSAFER事故評点(総数件48件)



4. CCPSメトリック計算例と評価

●事故評価上の問題点

- 1) 化学品の漏れ量が不明確 記載あってももれ時間不明で急激な漏れかどうか不明
- 2) 損害金額も不明確・・簿価か？再取得金額か？金額を明確にしていない案件多数
- 3) 環境・社会への影響・・環境以外データ記載殆どなし
- 4) 日本の法規制上どんな小さな漏れ事故でも報告が必要なため、閾値以下の事故でも報告対象

●事故評価の今後の取組

- 1) データ蓄積を図り評価を進める
- 2) 一時的には社会影響のように評価が難しい点を一部除外することも可能 ⇒ 石油化学工業協会の取組

4. CCPSメトリック計算例と評価

参考 石油化学工業協会の取組

●小規模事故の評価

石災法では全ての事故について報告義務が有



レベル4に到達しない事故に対し、火災爆発・化学品の影響の項目に対しレベル5を設定 強度点数を各0.3点とする

●環境・社会への影響

社会への影響は判定が現状客観的と言い難く、当面は環境の影響のみ評価し、社会への影響は記録のみとする(当面評価の基準とせず)

●評価データ採取

本年4月よりデータ採取開始

5.まとめ

- CCPSの提唱するメトリックスについて、直近の改訂版(2011年1月)も含め紹介した グローバル化を視野に入れ、膨大なマンパワーを費やして作成した方法であり、安全管理の一つの方法としてうまく利用する価値があると思われる
- 事事故例による強度計算により、事故の定量的な評価が可能なことを示した しかし、レベル4に満たない事故でも、わが国の規制上全ての事故を報告する義務があり、この評価方法が今後の課題である
- 従来の事故情報において、事故の定量的な評価を行うにはまだ十分なデータが得られていないが、今後データ採取・評価を進め、各企業業界での最適なメトリックスに改善していくことが望まれる 石油化学工業協会の取組はその一つになろう
- 先行メトリックスは事故防止に利用可能と思われるが、データが公表されていないため、ここでは活用例の紹介ができなかったが、各企業ではその情報もあると思われ、今後の活用を期待したい

プロセス安全メトリック参考文献

1 メトリック関係

- 1) Process Safety Leading and Lagging Metrics (2007) CCPS
- 2) Process Safety Metrics全訳, SCE-Net安全研究会 (2009)
- 3) Process Safety Metrics抄訳, SCE-Net安全研究会 (2009) 化学装置 Vol.51, No.11 工業調査会
- 4) Guidelines for Process Safety Metrics (2010) A John Wiley & Sons
- 5) Process Safety Leading and Lagging Metrics, Revised Edition(2011) CCPS

2 BP事故関係

- 1) Fatal Accident Investigation Report ,BP (December, 2005)
- 2) US CSB Investigation Report, Refinery Explosion and Fire (March 2007)
- 3) The Report of The BP US Refineries Independent Safety Review Panel (2007)

プロセス安全メトリック

ご静聴ありがとうございました