



化学プラントの セーフティアセスメント

東洋エンジニアリング(株)
エンジニアリング統括本部
HSEエンジニアリング部
角田 浩



東洋エンジニアリング株式会社

Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

1



目次

- 化学プラントにおけるセーフティアセスメント(リスク評価)(一般論)
- HAZOP(Hazard and Operability)について



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

2

化学プラントにおけるリスク評価 (一般論)



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

3



リスク評価における基本的な認識

- 物(機器や計器)は、時の経過と共に劣化するものである。
 - 機能劣化、機能喪失、耐圧機能劣化・喪失、シール機能劣化・喪失、
 - 制御システムの要素機能劣化・喪失等による制御システム機能劣化・喪失等
- 人は、誤りを冒すものである。
- システムの運転・操作において、実行しようとする
こと(意図)を、何時も**間違いなく100%達成でき
るとは限らない。**



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

4

リスク評価手法の分類

- プロセスユニットの相対的な危険度を比較評価する手法
- 異常の発生・伝播のメカニズムを追求して潜在危険を同定することを目的とした定性的手法
(プロセス危険解析; 異常伝播のシナリオ分析)
- 危険事象の発生頻度を定量的に解析する手法
- 危険事象の影響規模を定量的に解析する手法
- 災害影響規模および災害発生頻度に基づいてリスクを定量的に評価する



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

5

(定性的)リスク解析の基本的なアプローチ

- システムに異常が発生した場合を想定し、
 - 異常を発生させるきっかけに気づくことが出発点
 - システムを機能させている要素(機器、計器、制御、人)の何れかの不調(故障、破損、誤操作)
- その異常がさらに伝播し、
- 最終的にどのような状態に至るのか、
- システムに潜在する本質的な危険性を同定し、
- 既に考慮されている対策の妥当性・整合性を検証する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

6

HAZOP (Hazard and Operability) について



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

7



化学プロセス産業におけるプロセス危険解析

- 化学プロセス産業では、安全性および運転性評価手法として、HAZOP([Hazard](#) and [Operability](#))という手法が、1970年代から用いられている。
- HAZOPは、今では、化学プロセス産業におけるプロセス危険解析手法の標準となっていると言っても良い。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

8

HAZOPの特徴

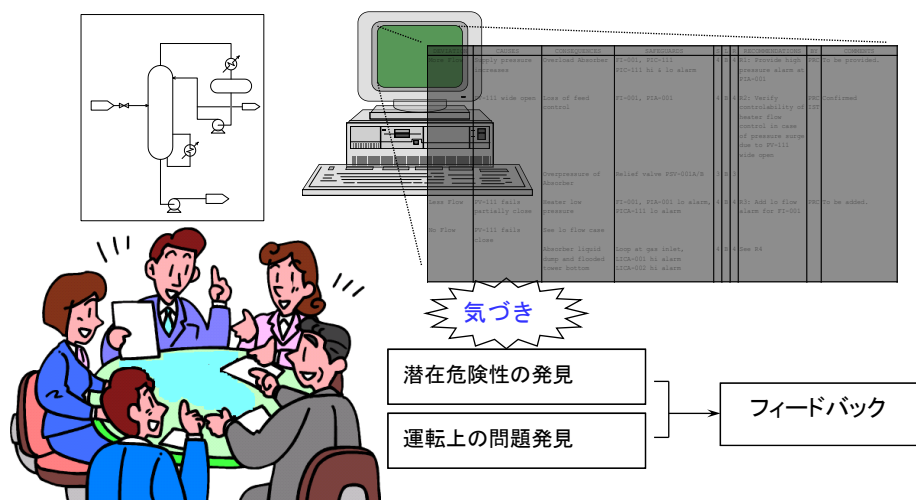
- **系統的で仕組みが簡単な解析手法**
 - さまざまな運転モードに適用できる。
 - 連続運転、スタートアップ・シャットダウン、再生運転、バッチ運転等
 - 運転手順書、保全手順書のような、手順そのものにも応用できる。
- **定性的解析手法**
- プロセス・運転等の異なる専門知識を持ったメンバーで構成されるチームで実施する。(異なる視点)
- ノード(サブシステム)単位で進める
- 全てのライン(配管)、および機器について「ずれ」を系統的に検討する。
 - 見落としの少ない、網羅的な解析ができる。
- 異常伝播のシナリオを記録したワークシートが成果物
 - デビエーション(ずれ)、潜在原因、潜在危険性・運転上の問題、対策、提案(追加対策、検討)



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

9

Hazard and Operability Study (HAZOP)



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

10

HAZOP の基本ステップ

1. 通常状態あるいは設計・運転意図から**ずれ**の可能性を想定する。
2. 「ずれ」の原因となり得る制御機器の不調(故障)、あるいは人間の誤操作等を仮定する。
3. その結果システムに発生し得る影響(異常)を同定する。
 - この時、対策(防護設備)はないものとして、プロセスに潜在する本質的なハザードを同定する。
 - 制御(DCS)は機能している。(二重故障ではない)
4. 現状の対策が充分であるか否かを判断する。
原因の発生(故障・誤操作)に対して予防的に働くもの、あるいは影響の検知・緩和に働くものが十分に備えられているかどうかを検証する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

11

HAZOPの本質

- 異常発生のかげに気づくために、「**ずれ**」の視点を用いる。
 - 目標とする管理値(設計意図あるいは運転意図)からの「ずれ」
 - 流量、温度、圧力、液面高さ、組成等の運転パラメータの目標値
 - 手順における操作目標
- ガイドワードと呼ばれるHAZOP特有のキーワードとプロセスパラメータを組み合わせ、設計意図あるいは運転意図からの「ずれ」の可能性を系統的に想定する。
 - 例;

■ No + Flow	= No Flow
■ More + Pressure	= High(er) Pressure



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

12

HAZOPガイドワード

ガイドワード	定義	意味
No/None	設計意図の否定	設計で意図したことが全く起こらない
More	量的増加	設計で意図した最大値を超えることが起こる
Less	量的減少	設計で意図した最小値を下回ることが起こる
Reverse	論理的反意	設計意図と反したことが起こる
As Well As	質的增加	設計及び運転で意図したことはすべて達成されるが、その他に余分なことが起こる
Part Of	質的減少	設計及び運転で意図したことの一部しか達成されない
Other Than	完全な置換	設計意図は全く達成されず、全く異なることが起こる。上記のガイドワードで表されない事象、項目に適用する。
Sooner Than	時間的早まり	設計で意図した時期、タイミングより早く実行する。
Later Than	時間的遅れ	設計で意図した時期、タイミングより遅れて実行する。
Longer Than	長時間(期間)	設計で意図した時間(期間)より長く実行する。
Shorter Than	短時間(期間)	設計で意図した時間(期間)より短く実行する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

13

システムへの影響の検討

- 現在既にある安全対策(インターロック、安全弁等)はないものとして影響を検討する。
- プロセス制御系はプロセス変動に応答するが、安全設備とは考えない。
- ずれ発生原因の上流側、下流側の順に分けて影響を検討する。(例:バルブの上・下流、ポンプの上・下流)
- 影響の検討範囲は対象ノード外に出ることもある。
- 直近の機器等に発生する直接影響、あるいは制御の応答の結果による影響までを検討し、その下流への影響は次のノードで検討する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

14

プラントで発生し得るリスクの種類

- 安全性 (HAZARD) :
 - 安全 (S) 問題; 機器の破損、損傷による危険性物質の系外への漏洩・流出に伴って発生する、火災・爆発・毒性影響 (主として、人命の喪失、傷害)
 - 健康 (労働衛生) (H) 問題; 低濃度長期暴露、操作・保全時の労働災害
 - 環境影響 (E); 有害性物質の系外への漏洩・流出に伴う環境影響
- 運転性 (OPERABILITY) :
 - 品質・生産損失; 機器故障・破損等による長期運転停止に伴って生じる生産損失、逸失利益
 - 製品の品質を達成できないことによって生じる損失



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

15

バッチプロセスに特有なずれの例

パラメータ	Guide word	Deviation	ずれ
ステップ	No	No Step	実行せず
	More	More Step	余分なステップ
	Less	Less Step	ステップをとばす
	Reverse	Reverse Step	逆のステップ実施
	Part Of	Part Of Step	一部のみの実行
	As Well As	As Well As Step	余計なことの実行
	Other Than	Other Than Step	異なることの実行
時期	Sooner Than	Sooner Than Intended Timing	早すぎ
	Later Than	Later Than Intended Timing	遅すぎ
時間	Longer Than	Longer Than Intended Time	長すぎ
	Shorter Than	Shorter Than Intended Time	短すぎ
充填量	No	No Charge	無し
	More	More Charge	過多
	Less	Less Charge	過少



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

16

バッチHAZOPにおける影響の同定

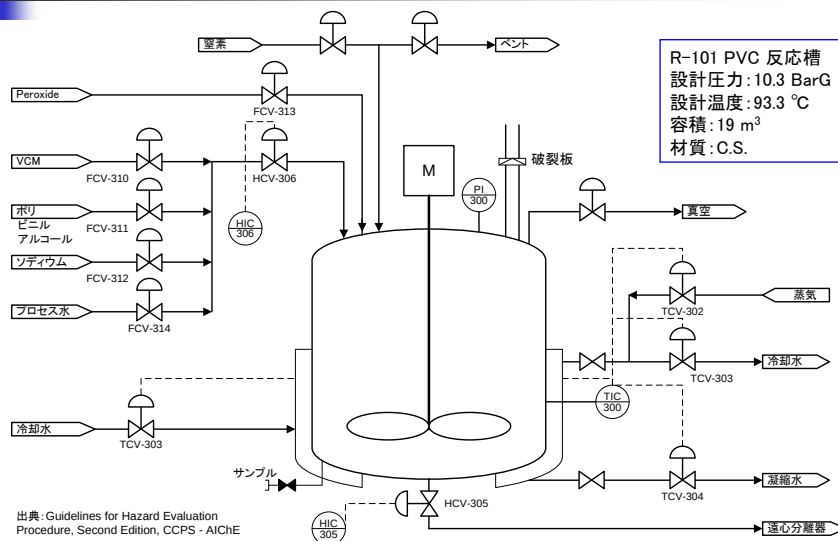
- 通常のHAZOPと同様
 - 影響を同定する際、安全対策(防護設備)はないものとして、プロセスに潜在する本質的なハザードを同定する。
 - 制御(DCS)は機能している。(二重故障ではない)
- バッチHAZOPで、加えて考慮すること
 - あるステップにおける「ずれ」が、(時間経過; 運転進行後)後において、システムや運転員等に及ぼす影響を同定する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

17

PVC反応槽のP&ID



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

18

ステップ	操作
1	PVC反応槽への全ての供給ライン配管のバルブが閉じており、反応槽内が空であることを確認する。
2	真空ラインのバルブを開け、反応槽内の圧力を70kPaまで下げる。
3	水ラインのバルブを開け、8.5m ³ の水を反応槽内に入れる。(水ラインの積算流量計を使用する。)
4	アジテーターを作動させる。
5	真空ラインのバルブを閉じる。
6	添加剤1ラインのバルブを開け、0.025 m ³ のポリビニルアルコールを投入する。次に、添加剤2ラインのバルブを開け、0.007 m ³ のソディウム・イソブチルナフタレン・スルフォネートを投入する。
7	添加剤3ラインのバルブを開け、0.025 m ³ の過酸化水素剤を投入する。
8	VCMラインのバルブを開け、6.4 m ³ のモノマーを投入する。
9	反応槽の温度設定値を50℃にして、8時間加温する。(50℃で、8時間維持)
10	反応槽の圧力が51kPaまで下がったら、真空ラインを開けて、15分間放置する
11	反応槽を16℃まで冷却する。その後6時間維持する。
12	窒素ラインのバルブを開け、ベントを大気圧に開放する。
13	吐出ラインのバルブを開けて、反応槽内のポリマーを遠心分離機に送るために受け槽に落とす。

(出典: Guidelines for Hazard Evaluation Procedure, Second Edition, CCPS - AIChE)

バッチHAZOPワークシート例(1/2)

ノート	Ref.	ずれ	ずれの原因	システムへの影響	影響の分類	現状の対策	Rec #	追加対策あるいは検討事項
1	1-1	No確認 (No Step 1)	運転ミス(ステップ1を飛ばす)	モノマーライン弁が開いていた場合、過剰なモノマーの存在により、モノマー回収(Step 10)後もモノマーが残存し、ドライヤー(Hot Air Dryer)に送られた際に、火災を引き起こす可能性がある。	S	運転手順書 運転員の訓練 FCV-310 (VCM) の下流に HCV-306 がある。	R1-1	バッチ運転チェックリストを作成する
1	1-2						R1-2	すべてのバルブの開閉信号をシーケンサーで確認して、ステップとの整合をチェックさせる。
1	1-3			前のバッチの排出が完了していない場合、水を投入した際に、オーバーフィルとなる可能性があり、フィードライン、窒素・ベントライン、真空ラインに流れ込む可能性がある。(運転トラブル)	O	運転手順書 運転員の訓練	R1-3	PVC反応槽 R-101に液面計を設置し、レベル高アラームを表示する。
1	1-4	Part Of 確認 (Part Of Step 1)	運転ミス(バルブの確認を一部見落とし)	Ref. 1-1, 1-2参照				
2	2-1	No真空引き (No Step 2)	運転ミス(ステップ2を飛ばす)	槽内に空気が残存し、モノマー投入のステップで、モノマーと空気による混合気を形成する可能性があり、槽内火災となる危険性がある。	S	運転手順書 運転員の訓練 PI-300		
2	2-2		真空装置起動せず	槽内に空気が残存し、モノマー投入のステップで、モノマーと空気による混合気を形成する可能性があり、槽内火災となる危険性がある。	S	PI-300 真空装置故障(重・軽)警報		

「ずれ」の想定で、有効と考えられるもののみについて、解析する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

バッチHAZOPワークシート例(2/2)

ノード	Ref.	ずれ	ずれの原因	システムへの影響	影響の 分類	現状の対策	Rec #	追加対策あるいは検討事項
2	2-3	More 真空引き	真空ポンプ制御不調により、70kPa以下まで引きすぎ	R-101が Full Vacuum 設計となっていない場合、破損する可能性がある。	O	PI-300	R2-1	R-101が Full Vacuum 設計となっているか、あるいは構造上 Full Vacuum に耐えられるようになっているか、確認する。
2	2-4						R2-2	真空装置の能力が、R-101設計圧力（負圧）を超えるかどうかを確認する。
2	2-5		PI-300誤指示（読み値高）	R-101が Full Vacuum 設計となっていない場合、破損する可能性がある。	O	PI-300定期点検・校正	R2-3	R-101圧力計を冗長化することを検討する。（A/Bの比較によって計器のドリフトを補足できる。）
2	2-6	Less 真空引き	真空ポンプ不調により、70kPaA まで引けない	槽内に空気が残存し、モノマー投入のステップで、モノマーと空気による混合気を形成する可能性があり、槽内火災となる危険性がある。	S	PI-300 真空装置故障（重・軽）警報		
2	2-7		PI-300誤指示（読み値低）	槽内に空気が残存し、モノマー投入のステップで、モノマーと空気による混合気を形成する可能性があり、槽内火災となる危険性がある。	S	PI-300定期点検・校正		R2-3参照



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

21

まとめ

- 人間の活動において、リスクは必ず存在する。
リスクと共存するために、
- リスクを理解して、
 - どのような危害があるか
 - どの程度起りそうか（発生頻度）
- リスクとの付き合い方を考える。
 - 予防・緩和策を講じて備える。
 - 戦略的にリスクに対応する。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

22



ご清聴ありがとうございました。



Copyright © 2011 Toyo Engineering Corporation. All Rights Reserved.

23