

# プラントの安全性評価

## 第2回 潜在危険性の特定(その1)



日本防災システム協会 理事・副幹事長  
松岡 俊介

### 潜在危険性の特定手法

第1回 安全性評価の概要で、リスクマネジメントの計画段階において最初に行うべき作業は、ハザード分析すなわちプラントの潜在危険性の把握、特定であり、これに適した手法として次のような方法があることを述べた。

- (1) チェックリスト (CL)
- (2) 予備的危険性評価 (PHA)

- (3) What-If (WI)
- (4) What-If / チェックリスト (WI/CL)
- (5) HAZOP
- (6) 故障モード影響 (重大性) 解析 (FMEA/FMECA)
- (7) 作業安全解析 / 誤操作解析 (JSA/HRA)

これらの中でよく知られているのは CL、WI、WI/CL および HAZOP であろう (以上を第1グルー

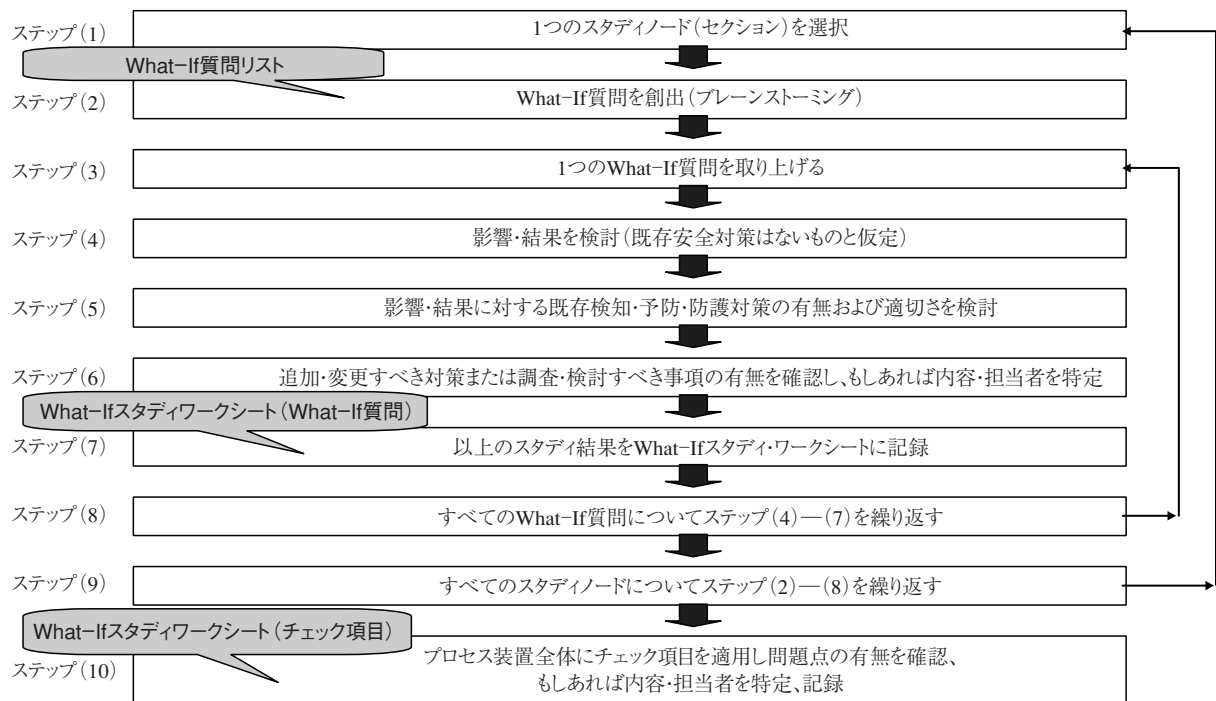


図2 What-If スタディの手順例 (プロセス装置)

表2 HAZOP スタディ・ワークシート（プロセス異常）（一部省略）

工場：  
 スタディの目的：HAZOP 研修会  
 装置／設備名称：原油常圧蒸留装置／LPG 蒸留セクション  
 スタディノード No.：N-1002  
 スタディノード概要：脱プロパン塔 V-1001 塔頂（OH）ペーパー系  
 設計意図／主要運転条件：脱プロパン塔 OH ペーパーの凝縮、塔頂圧力および脱プロパン塔 OH 受槽圧力のコントロール  
 圧力：V-1001 塔頂：15.0kg/cm2G、D-1001：14.6kg/cm2G  
 温度：E-1002A/B シェル側入口／出口：46℃／44℃

P&ID No.：HAZOP-EF-0001

(注)リスク評価はテキスト-3のリスク評価マトリクス(目安-1)による

ずれ	No.	考えられる要因	起こりうる影響・結果	考慮されている対策	リスク評価			アクション No.	アクション内容	担当
					L	S	R			
流れ停止／ 流量減少	1.1	E-1004 炊き上げ停止 (FV-1002 閉止など N-1004 参照)	1.1.1 V-1001 脱プロパン塔圧力温度低下、運転停止	FIC-1002/1005 PIC-1001PAL TI-1002/1003/1014 TI-1005/1012/1015	2	2	A	A-1002-1	FIC-1002 に FAL 設置検討	プロセス／ 運転
			1.1.2 原料 LPG がブタン貯槽に流入し圧力上昇、破損の可能性	AI-1001B1 (C3 in C4 LPG) ブタン貯槽安全弁 (放出ケース要確認) (注)安全弁の作動により破損は回避され運転変動のみに緩和されるが、放出ケースが確認されていないので、安全弁は既存対策に含めない	2	5 安全弁の放出ケースが不明のため	C	A-1002-2	ブタン貯槽の安全弁放出ケースとして、原料 LPG 流入のシナリオが考慮されているか確認	プロセス
	1.2	PV-1001 閉止	1.2.1 V-1001 脱プロパン塔凝縮停止、脱プロパン塔および D-1001OH 受槽圧力温度上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出 (運転変動)	TI-1010、 PIC-1001/1002PAH、 PDIC-1001L、 PSV-1001/1002 PV-1002	2	2	A			
			1.2.2 D-1001OH 受槽液面低下、V-1002 プロパン脱水塔へのフィード停止	LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A	A-1002-3	FIC-1004 に FAL 設置検討	プロセス／ 運転
			1.2.3 最終的に D-1001 液喪失、P-1001A/B 還流ポンプ空引き損傷の可能性	LALL-1003 (P-1001A/B トリップ)	1	4	B	A-1002-4	LALL-1003 による (P-1001A/B) トリップシステムの作動確認試験計画を作成 (online/offline)	プロセス／ 制御／保守
	1.3	PDV-1001 閉止	1.3.1 ホットバイパス喪失により全凝縮状態 (E-1002A/B 能力に余裕があれば過冷却)、OH 受槽圧力温度低下、塔頂圧力制御不能、運転変動	FIC-1002/1005 TI-1010 PIC-1002PAL	2	2	A			
流量増加	2.1	E-1004 炊き上げ増加 (FV-1002 開放など N-1004 参照)	2.1.1 脱プロパン塔過剰炊き上げによりフラッシング、塔頂系圧力温度上昇、破損の可能性	PIC-1001/1002PAH PSV-1001/1002	2	2	A			
			2.1.2 脱プロパン塔塔底液面低下、製品ブタン抽出し停止、運転変動	LIC-1001LAL	2	2	A			
	2.2	V1001 リフラックス停止 (P-1001A/B 閉止、FV-1003 閉止など N-1003 参照)	2.2.1 塔頂ペーパー増大、E-1002A/B 過負荷により圧力温度上昇、破損の可能性	PIC-1001/1002PAH PSV-1001/1002	2	2	A			
	2.3	PV-1001 故障開放	2.3.1 E-1002A/B 凝縮量増大し V-1001 塔頂圧力および D-1001 圧力低下、プロパン製品オフスペックの可能性	PIC-1001PAL PIC-1002PAL AI-1001A2 (C4 in C3LPG)	2	2	A			
	2.4	PDV-1001 開放	2.3.1 OH 受槽圧力上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出、製品プロパンロス 2.3.2 E-1002A/B 凝縮量低下、プロパン脱水塔へのプロパンフィード低下、製品プロパンロス	PIC-1002PAH、 PSV-1002 FIC-1004 LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A			
逆流	3.1	E-1006 炊き上げ停止 (FV-1005 閉止など N-1006 参照)	3.1.1 プロパン脱水塔再沸器炊き上げ停止、塔内圧力温度低下にともない脱プロパン塔側からホット塔頂ペーパーが流入、脱プロパン塔の運転には大きな影響なし	FIC-1005 TI-1005/1012/1015	2	1	A			
異経路流れ	4.1	E-1002A/B チューブ破断	4.1.1 脱プロパン塔塔頂ペーパーが冷却水側に流入し、冷却水配管が過圧損傷の可能性	設計圧力 S/T = 17.3/11.6kg/cm2G、Two-Third Rule により過圧損傷なし	1	1	A			
圧力上昇	5.1	1.2、2.1、2.2、2.4、4.1 に同じ								
	5.2	E-1002A/B 冷却水停止	5.2.1 V-1001 脱プロパン塔凝縮停止、脱プロパン塔および D-1001OH 受槽圧力温度上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出 (運転変動) 5.2.2 D-1001OH 受槽液面低下、V-1002 プロパン脱水塔へのフィード停止	TI-1010、PIC-1001/1002PAH、 PDIC-1001L、 PSV-1001/1002 PV-1001 LIC-1002LAL、 FIC-1004	2	2	A			

プとする)。その他の PHA、FMEA および JSA/HRA (第2グループとする)は、なじみは若干薄い、適用時期や評価対象によっては第1グループ以上に効果を発揮することができる。以下に、2回に分けて第1グループおよび第2グループの各手法の特徴、適用上の留意点などについて解説する。

### チェックリスト

チェックリストは、社会一般において活動や仕事の実施確認などに広く使われており、化学産業の現場でもおなじみの手法である。安全性評価手法としてのチェックリストは、法規要求や設計・運転基準、過去の運転トラブルや事故、作成者の知見・経験などをベースとして作成され、個別の要求や問題に対して現状の設備や運転・作業手順が適合しているか、考慮済みであるかどうかなどを問う質問表である。

その企業で十分に吟味して作成されたチェックリストは、対象とした設備や運転・作業に対して適用する限り大きな威力を発揮する。しかし、異なるタイプ、改造された設備、新規で未経験の設備や運転に対しては不適切または不十分であり、修正・追加を必要とする。同じ理由から、外部で作成されたチェックリストは、そのベースとなったプラント・装置と類似のものに適用する場合はあまり問題ないが、そうでない場合は、自社用または対象装置用のチェックリストを作成する際の参考として活用すべきである。また、チェックリストは、対象とする設備の改造や運転・作業手順の変更などに対応して、継続的に見直す必要がある。

改正消防法による危険要因の把握の要求と時を同じくして、(財)全国危険物安全協会(全危協)企業防災対策支援センターは、危険物保安技術協会(KHKG)の協力のもとに業種共通および業種固有のチェックリストを作成した<sup>3)</sup>。そして、講習会等により普及啓蒙を開始し、法の趣旨に沿った事業者の自主保安活動をサポートしている。業種固有のチェックリストには、石油精製、石油化学、ゴム、合成樹脂といった製造装置別のものが準備されており、高圧ガス認定事業所の危険源特定作業においても参考となろう。

### HAZOP

HAZOP (Hazard and Operability Studies) 手法については本誌 2006年2月号 (Vol.28, No.3) の「HAZOP 研修会を実施して」のなかで解説したの

表3 What-If 質問リスト

適用：各スタディノード (プロセスセクション/設備)

No.	分野	What-If 質問の例
1	取扱物質	正規と異なる物質 不純物混入
2	用役喪失 (Local)	停電 冷却水停止 スチーム停止 計装空気停止 燃料ガス停止 不活性ガス停止
3	誤操作	仕切弁/遠隔操作弁の誤開、誤閉 バント/ドレンの誤開 (閉め忘れ) フレキシブルホースの接続間違い
4	計器、動的機器 の故障	ポンプ/圧縮機の故障停止 ポンプ/圧縮機的能力低下 攪拌機故障停止 AFC ファンの故障停止 制御弁の故障開 制御弁の故障閉 計器の誤指示 (正規より大/多) 計器の誤指示 (正規より小/少) 遮断弁の不作動 (デマンド時) 遮断弁の誤作動 (正常運転時)
5	プロセス異常 (注)1~4の影響・結果としてすでに特定されたプロセス異常は除く。	流れ停止 逆流、他系流れ 流量の増加、減少 圧力の上昇、低下、負圧 温度上昇、低下 濃度/粘度の上昇、低下 液面上昇、低下 異常反応 異常相変化
6	静的機器の損傷	塔、容器の腐食 熱交換器/加熱炉チューブピンホール 熱交換器/加熱炉チューブ破断 配管デッドエンド部での腐食 配管接続部から漏洩 配管破断
7	その他	当該ノード特有の問題

で手法の詳細は省略する。

HAZOP は、潜在的危険性の特定に抜け落ちをなくし網羅性を高めるため、HAZOP ガイドワードと呼ばれる7種類の手引き用語を使用して、設計・運転上の意図からの「ずれ」すなわちプロセス異常をほぼ自動的に想定するように工夫した点が最大の特徴である。対象設備・システムに考えられる「ずれ」を想定した後は、その原因および影響・結果の考察、考えられている安全対策の妥当性の確認、必要な調査・検討事項(アクション項目)の特定といった検討がなされる。

この長所としての網羅性は必然的に多時間消費という避けがたい短所とも表裏一体である。また、HAZOP で取り扱うことのできる危険源、危険要因

表4 設計・運転チェックリスト

適用：設備／装置全体

No.	分野	チェック項目	詳細チェック項目の例
1	過圧対策	安全弁 配管クラス	放出条件、仕切弁のLC/LO、リーク／閉塞 材質、レイティング、クラスブレイク
2	計装	計装システム 計器	CVのFC/FO、ESDのC&E 重複、不整合、不適切位置、
3	機器材料	腐食／エロージョン	水の混入、高差圧弁、 高頻度サイクル操作
4	サンプリング、 ドレン／ベント	サンプリング ドレン ベント	SCのタイプ、取付位置 放出先、配管サイズ、配管レイティング 放出先、フレイムアレスター
5	運転	運転開始 運転停止	スタートアップ用バイパス・機器 緊急運転停止手順、脱圧／脱液
6	メンテナンス	配管 機器、容器	SBのタイプ／挿入箇所、 N2／スチーム、パージ／ドレン UC、MH、スチームパージ対応
7	安全設備、設計	静電気 安全衛生	アース、ボンディング、管内流速 洗眼器の配置、PP保温
8	用役喪失 (Total)	停電 冷却水停止 スチーム停止 計装空気停止 燃料ガス停止 不活性ガス停止	プロセス装置の緊急対応、バックアップ 同上 同上 同上 同上 同上
9	外部事象対応	地震 異常気象 隣接装置火災	設計入力、地震発生時対応措置 設計入力、台風等発生時対応措置 冷却散水システム、火災発生時対応措置
10	事故対応	火災の発生 可燃性ガスの漏洩 毒性ガスの漏洩 可燃性液、石油流出	火災検知警報システム 可燃性ガス検知警報システム 毒性ガス検知警報システム 機器囲い、防液堤、排水系統
11	環境汚染	可燃性ガスの大気放出 消火排水流出 地下埋設容器・配管漏洩	放出頻度、放出量 排水系統の能力 地下漏洩検知、健全性チェック

は原則としてプロセスシステム内部におけるプロセスや運転の異常状態であり、外部火災、停電、地震、漏洩・流出、ガス拡散、火災・爆発といった外部での要因や事象は通常は扱われない。このため、後述するように設計・運転に関するチェックリストとの併用により、これらをカバーする工夫がなされる場合が多い。すなわち、HAZOPよりもHAZOP／チェックリスト手法と呼ぶ方が実態に即しているといえる。HAZOPスタディの実施例を表2に示す。

### What-If および What-If / チェックリスト

What-If は、元来ある仮定・条件から帰結する結果を問う場合に用いられる用語であるが、ウェブ検索では4億5000万件もヒットし、医薬品臨床試験開発ソフト、分子構造モデリングソフト、企業マネジメント診断ソフト、はてはトランプゲームの名前にも使用されている。

安全性評価手法としての起源は定かではないが、

チェックリストに次いで最も古くからある手法といわれている。おそらく欧米の化学産業の運転現場で危険予知の方法として使われていたものと考えられ、1980年代以降の安全関係の図書では主要なプロセス安全性評価手法のなかに加えられている。

What-If手法の原理はいたって簡単であり、対象の設備や運転・操作において起こりうる異常な事柄に関して、チーム・ブレインストーミングにより、次のような質問または問題を提起することがその本質である。

- ・もし、運転中にポンプが止まったら？
- ・もし、違う原料がフィードされたら？
- ・もし、オペレータが間違ってAバルブを開けたら？
- ・停電による運転への影響
- ・水の混入の可能性
- ・装置周辺での漏洩、火災

表 5 What-If スタディ・ワークシート (一部省略)

工場：  
 スタディの目的 : HAZOP 研修会  
 装置/設備名称 : 原油常圧蒸留装置/ LPG 蒸留セクション  
 スタディノード No. : N-1000  
 スタディノード概要 : LPG 蒸留セクション全体  
 設計意図/主要運転条件 :  
 P&ID No. : HAZOP-EF-0001、0002、0003

(注) リスク評価はテキスト-3 のリスク評価マトリクス (目安-1) に従った

分野	What-If 質問/問題点	影響/結果	既存安全対策	リスク評価			アクション No.	アクション内容	担当者
				L	S	R			
1. 取扱物質	1.1 原料 LPG 軽質分過多 (上流脱エタン塔不調)	a. 脱プロパン塔 OH 受槽圧力上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系に軽質分ガス放出 (運転変動)	PIC-1002PAH PSV-1002	2	2	A			
	1.2 原料 LPG 重質分過多 (上流脱ブタン塔不調)	a. 脱プロパン塔の塔底温度上昇、ブタン重質化、製品ブタンオフスペック	TI-1002/1003/1004 SC-1001、AI-1001B2 (C4 in C4 LPG)	2	2	A			
	1.3 原料 LPG 水分過多 (上流系水分離不調)	a. 脱プロパン塔 OH 受槽ブーツ界面上昇、LPG に遊離水同伴、プロパン脱水塔過負荷により製品プロパンオフスペック	LI-1003LAH によりドレン抜き操作 SC-1002	2	2	A	A-1000-1	製品プロパンの水分に対するオンライン分析の必要性について検討	プロセス/運転
	1.4 原料 LPG 硫黄分過多 (上流 LPG Sweetening 装置不調)	a. 脱プロパン塔 OH 受槽ブーツおよび廃水抽出ライン腐食損傷 (長期的な場合)	OH 受槽ブーツおよび廃水抽出ライン材質: CS	1	5	C	A-1000-2	脱プロパン塔 OH 受槽ブーツおよび廃水抽出ラインの腐食対策を確認	プロセス
2. 用役喪失	2.1 停電 (全)	a. 脱プロパン塔運転停止		2	3	B			
	2.2 LP スチーム停止 (全)	a. 脱プロパン塔、プロパン脱水塔の再沸器炊上げ停止、運転停止	FIC-1002/1005 TI-1002/1003/1014 TI-1005/1012/1015	2	3	B	A-1000-3	FIC-1002、FIC-1005 に FAL 設置検討	プロセス/運転
		b. 原料 LPG がブタン貯槽に流入し圧力上昇、破損の可能性	AI-1001B1 (C3 in C4 LPG) ブタン貯槽安全弁 (放出ケース要確認) (注) 安全弁の作動により破損は回避され運転変動のみに緩和されるが、放出ケースが確認されていないので、安全弁は既存対策に含めない)	2	5	C	A-1000-4	ブタン貯槽の安全弁放出ケースとして、原料 LPG 流入のシナリオが考慮されているか確認	プロセス
	2.3a 冷却水停止 E-1002A/B	a. 脱プロパン塔凝縮停止、脱プロパン塔および OH 受槽圧力上昇、PICV-1002 (ハイカット弁) 開き、燃料ガス系にプロパンガス放出 (運転変動)	TI-1010、PIC-1001/1002PAH、PDIC-1001L、PSV-1001/1002	2	2	A			
		b. D-1001OH 受槽液面低下、V-1002 プロパン脱水塔へのフィード停止	LIC-1002LAL、FIC-1004	2	2	A			
		c. 最終的に D-1001 液喪失、P-1001A/B 還流ポンプ空引き損傷の可能性	LALL-1003 (P-1001A/B トリップ)	1	4	B	A-1000-5	LALL-1003 による (P-1001A/B トリップシステムの作動確認試験計画を作成	プロセス/制御/保守
		d. リフラックス停止、冷却水回復しなければ運転停止	FIC-1003	2	3	B	A-1000-6	FIC-1003 に FAL 設置検討	プロセス/運転
	2.3b 冷却水停止 E-1003	a. ブタン貯槽へのブタン抽出し温度上昇し (38℃⇒62℃) 一部フラッシュ、ブタン貯槽圧力上昇、破損の可能性	TI-1001 ブタン貯槽安全弁 (要確認)	2	5	C	A-1000-7	TI-1001 に TAH 設置検討	プロセス/運転
							A-1000-8	ブタン貯槽の安全弁放出ケースとして、高温ブタン流入のシナリオが考慮されているか確認	プロセス
		b. 冷却水回復しなければ運転停止		2	3	B			
2.3c 冷却水停止 E-1005	a. プロパン貯槽へのプロパン抽出し温度上昇し (38℃⇒47℃) 一部フラッシュ、プロパン貯槽圧力上昇、破損の可能性	TI-1013 プロパン貯槽安全弁 (要確認)	2	5	C	A-1000-9	TI-1013 に TAH 設置検討	プロセス/運転	
						A-1000-10	プロパン貯槽の安全弁放出ケースとして、高温プロパン流入のシナリオが考慮されているか確認	プロセス	
	b. 冷却水回復しなければ運転停止		2	3	B				
2.4 計装空気停止 (全)	a. 制御不能、運転停止		2	3	B				

これらの異常事象を洗い出した後は、HAZOPの場合と同様に、それぞれの事象から起こりうる影響・結果の考察、考えられている安全対策の妥当性の確認、必要な調査・検討事項（アクション項目）の特定といった検討がなされる。What-Ifの作業手順例を図2に示す。

上記の質問・問題からわかるように、What-IfはHAZOPとおなじくプロセスライン内部の異常事象の特定に適用することもできるが、外部の要因や事象も合わせて取り上げることができるので、HAZOPよりも幅広い危険源の洗い出しが可能である。またWhat-Ifは、検討範囲（いわゆるスタディノード）をプロセスラインごとではなく、プロセスセクションあるいはプロセス装置ごとに設定することができる。このため、What-Ifをプロセスシステム内部の異常事象の特定に適用した場合の所要時間は、HAZOPに比べ2/3程度に短縮することができる。

一方、異常事象に関する質問や問題はHAZOPのように自動的に提起されるわけではなく、チームメンバーの思いつきに依存するため網羅性に欠けることは否めない。このため、実際にはWhat-If／チェックリスト手法と呼ばれる組み合わせ方式の採用により、質問・問題の提起の網羅性を確保する工夫がなされる。すなわち、予め質問・問題のキーワードを分野別に設定したWhat-If質問リストを用意するとともに、設計・運転チェックリストを併用する。これらの例を表3、表4に示す。

What-Ifの方法自体は簡単でわかりやすいので誰でも参加できるが、対象とするプロセスや設備の特性や運転に対する知見や経験の豊富なメンバーの参加は不可欠である。What-Ifスタディの実施例を表5に示す。

#### 参考文献

- 3) 危険性評価手法（チェックリスト方式）：企業防災対策支援センター、（財）全国危険物安全協会、平成17年8月

