化学プロセス産業におけるリスクアセスメント及びリスク低減措置の検討に関する調査研究†

島田 行 恭*¹ 北 島 禎 二*² 木 村 新 太*³

リスクアセスメント (Risk Assessment ; 以下, RA と略す) の目的は, 事故・災害発生を防止するためのリスク低減措置を事前に検討・実施するために, 対象となるプラント (設備) や作業環境などに潜在するハザードに対するリスクを評価することである. RA に基づく労働災害の未然防止を図ろうとする行政施策の下, 「RA 等を実施している」とする事業場の割合は増えている. しかしながら, 実際の操業現場などで実施されている RA 等では, RA の目的, 評価方法, 評価結果に基づくリスク低減措置の検討などが正しく理解されていない場合が多く, 真に有効なリスク低減措置が実施されているとは言い難い.

本調査研究では, 大手, 中小規模十数社の工場見学を通じての安全管理担当者への聞き取り調査と, 化学工学会安全部会におけるワーキンググループ活動での企業有識者との議論を通じて, 化学プロセス産業 (石油, 石油化学, 化学などを含む) の操業現場を対象とした, RA 及びリスク低減措置の検討・実施と, プラントに潜在する危険性情報共有に関する現状と課題についてまとめた. また, それらの課題を解決することを目的とした, プラントライフサイクルエンジニアリングによる統合的リスクマネジメントの進め方の検討について報告する.

キーワード: リスクアセスメント, リスク低減措置, 労働安全, プロセス安全, 独立防壁

1 はじめに

化学プロセス産業の各事業場・プラントでは, 自主的な安全管理活動の実施が要求され, リスクアセスメント (Risk Assessment ; 以下, RA と略す), 危険予知訓練 (KYT), ヒヤリハット情報の収集, 体感教育など, 様々な活動を行っている. 長期的に見れば, 化学物質に起因する爆発・火災事故による労働災害発生件数は減少傾向にあるが, ここ数年, 事業場外の周辺地域住民をも巻き込むような大事故が多発している¹⁾.

プラントでは, 取り扱い物質の異常反応, 設備の不具合, 人為的エラーなど, 様々な要因が事故の直接的原因となり得る. また, 安全管理体制に不備があること, RA 及びリスク低減措置の検討・実施が不十分であること, 安全管理のための作業や業務に関する知識・情報共有が不十分であること, 緊急時対応を含めた安全管理の規範となるべき標準・基準が整備されていないことなどが事故の背景要因として指摘されている²⁾.

本調査研究では, 大手, 中小規模十数社の工場見学を通じての安全管理担当者への聞き取り調査と, 化学工学会安全部会におけるワーキンググループ活動での企業有識者との議論を通じて, RA 及びリスク低減措置の検討・実施と, プラントに潜在する危険性情報共有に関する現状と課題についてまとめた. またこれらの課題を解決することを目的としたプラントライフサイクルエンジニアリングによる統合的リスクマネジメントの進め方の検討について報告する.

2 リスクアセスメント (RA) 等に関する現状と課題

1) 化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針

労働安全衛生法第 28 条の 2 では労働災害防止を目的として RA を実施することが努力義務とされている. さらに, 労働安全衛生法第 28 条の規定に基づいて『化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針』が公表されている. この指針の第 10 項(1)では, リスク低減の考え方として, 1) 本質安全対策, 2) 工学的対策, 3) 管理的対策, 4) 個人用保護具の使用, の優先順位に従ったリスク低減措置の検討と実施を求めている.

また, 労働安全衛生マネジメントシステムの運用においても, 「危険源の継続的特定, RA 及び必要な管理策の決定の手順を確立し, 実施し, 維持すること」が要求されている³⁾.

2) 労働安全衛生基本調査 (アンケート結果) より

平成 22 年労働安全衛生基本調査のアンケート結果⁴⁾によると, 大規模事業場のほとんど (約 9 割) は「RA を実施している」と回答し, 「職場に存在するリスクの情報を共有することができた」, 「本質安全化に向けた対策が実施できた」などの効果が報告されている. 一方, 中小規模事業場では, 「十分な知識を持った人材がいない」, 「実施方法が判らない」などの理由から, 「RA を実施していない」と回答している事業場が多い.

RA の目的は事故・災害発生を事前に防止することであるが, 上記アンケート結果に示されるように必ずしも RA 及びリスク低減措置の検討・実施が的確に実施されているとは言えず, 時間と労力を掛けて RA を実施しても事故の発生防止に寄与していない場合がある.

† 原稿受付 2013 年 03 月 11 日

† 原稿受理 2013 年 06 月 26 日

*1 (独)労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ

*2 東京農工大学大学院 工学研究院

*3 (独)海上技術安全研究所 海洋リスク評価系

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

(独)労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ 島田行恭*¹

E-mail: shimada@s.jniosh.go.jp

3) 製造業における RA 等に関する問題

製造業における RA 等実施を妨げている要因と RA 等実施に関する問題について以下に示す¹。

(1) RA 等の実施を妨げている要因

RA 等の的確な実施を妨げている要因としては以下のようなことがあると考える。

① RA は手間が掛かるものと認識されている。

・RA 実施に関する参考資料や書籍の多くは、「経営トップによる RA 導入宣言」、「実施体制の確立」、「関係情報（資料）の収集」、「RA 教育の実施」などを RA 導入時必須事項として挙げている。このため、予め多くの準備作業をしなければ RA を実施することはできないと解釈され、導入を試みようとした段階で「RA は手間の掛かるもの」と判断し、現場では「RA のような面倒なことをやっている暇は無い」と諦めてしまうこともある。

② 現場に負担を掛ける割に効果が感じられない。

・安全管理担当者は RA 等実施による「先取り」安全管理の有用性を説くが、すぐに効果が現れず、現場ではその意義が理解されない。

③ ヒヤリハット情報の収集と共有、KYT など実施しており、これで安全性に関しては十分であると考え。

・これらの活動は現場作業者の直感に依存するものであり、必ずしも潜在するハザードを網羅的に発見するものではない。

④ 一度 RA を実施した後は放置されている。

・RA 実施結果が紙媒体で記録として残されただけで、具体的なリスク低減措置が実施されないままとなっている場合がある。

(2) RA 等の実施に関する問題

RA 等の的確な実施に対して、以下のような問題がある。

① 潜在的なハザードを見付けられない。

・現場診断、事故事例／ヒヤリハット情報の活用、KYT などは作業現場でのハザード発見の助けにはなるが、作業者の経験などへの依存度が大きく、潜在ハザードを漏れなく抽出するのは難しい。

② 「ハザード発生頻度」と「ハザードによる影響の大きさ」をどのように評価し、リスクレベルを決定すれば良いか判らない。

・ハザード発生頻度を求めるためのデータが揃っていない。
・ハザードによる影響を客観的に定性・定量評価することが難しい。

③ リスクはより低く見積もりたいと考える。

・リスクマトリクス法を用いる場合、ハザード発生頻度とハザードの影響をどのように定義するかにより、リスクレベルが変動してしまう。

・適切なリスク低減措置が検討・実施されていないにもかかわらず、「リスクレベルが下がる」と結論付けてい

る場合がある。「監視体制を強化すること（管理的対策）」は「災害発生の可能性」や「危険に近づく頻度」を下げることはあっても、「災害の重大性」を低くすることに直接的には繋がらない。例えば、表 1 に示すように、「ガス濃度を定期的に測定する環境を整備し、標準化する（毎月測定）」としても、原材料や反応条件などが同じであれば、災害発生時の重大性は変わらない。このように、リスク低減措置の検討・実施が的確に実施されず、時間と労力を掛けて RA を実施しても事故の発生防止に寄与していない場合がある。

④ ハザードによる深刻な影響が軽視されてしまう。

・頻度×影響としてリスクが見積もられた場合、恣意的な定量化などによって頻度が（影響に対して相対的に）極端に低い値に設定されてしまい、影響が致命的で深刻なものであってもリスクレベルが低いと判定され、ハザードの深刻さが隠されてしまう²。

・本来は許容できないほどのリスク領域であっても、「発生頻度【低】の場合、ハザードは起こりえないから大丈夫」と判断され、ハザードによる影響を緩和するための対策が検討されなくなる。

⑤ 現状のリスク低減措置を信頼し過ぎている。

・既に実施されているリスク低減措置は異常発生時（緊急時）に必ず機能すると考えているが、リスク低減対策そのものがメンテナンスされていなかったか、そもそもリスク低減措置が不適切な場合もある。

⑥ ALARP (As Low As Reasonably Practice) 領域の意味が間違って解釈されている。

・現状のリスク領域が ALARP 領域（図 1）にある場合、残留リスクが許容可能な無視しうるリスクと同程度と捉えられ、ハザードの存在も忘れられてしまう。

・リスク領域を下げるための有効な対策が無い、またはコスト面も含めて容易に対策が実施できないまま、ALARP 領域にあると判断された場合、目標とするリスク領域を満足していないにもかかわらず、「できる限りの対策を実施したのでこれ以上は不要」と解釈してしまう。

図 1 ALARP の原則

2 平成 23 年 3 月の大震災以降、よりシビアなリスク評価を行うことが求められるようになっていく。特にハザード発生による影響の評価では、具体的な対策が実施されない限り、リスクレベルは下がらないような仕組みを導入する企業もある。

1 参考文献 5)なども参照

表1 正しいリスク評価？（ある RA 実施事例より）

No.	災害原因 (想定も含む)	災害が発生するプロセス	リスク評価 (現状)					リスク 低減対策	リスク評価 (リスク低減措置実施後)				
			災害 の重大 性	災害 発生 の可 能性	危険 に近 づく 頻度	合 計 点	リ ス ク レ ベ ル		災害 の重大 性	災害 発生 の可 能性	危険 に近 づく 頻度	合 計 点	リ ス ク レ ベ ル
2	装置 A 内でガスが滞留しやすく、着火の恐れがある	装置 A 内ガス濃度が突然上昇し、爆発する可能性がある	10	4	3	17	IV	ガス濃度を定期的に測定する環境を整備し、標準化する（毎月測定）	3	2	1	6	I

4) 化学プロセス産業における RA 等の課題

製造業の中でも化学プロセス産業は、化学物質の反応挙動などを含んだ危険性を正確に評価することが難しく、真に効果のあるリスク低減措置の検討が為されにくい。プラントに対する RA としては、爆発・火災防止のための化学物質 RA、プラント設備の安全設計のための設備 RA、作業者の安全確保のための作業安全 RA を実施する必要がある。これら三つの RA 及びリスク低減措置の検討・実施を統合的に実施することで、労働災害発生防止だけでなく、プロセス災害発生防止と事故・災害が発生した場合の被害の局限化を可能とするリスク低減措置の検討を行うことができる。

化学プロセス産業の事業場・プラントにおける RA 等の実施に関する課題を以下に示す。

- ① 多くの企業が「RA を実施している」と回答しているが、実際には上記三つの RA のうち何れか一つを実施しているだけの事業場も多い。
 - ・上記三つの RA を全て実施していなければ、化学物質そのものの危険性が認識されていない場合、プラント設備へのリスク低減措置の検討が不十分である場合、労働災害を防止するための作業環境が整備されていない場合がある。
 - ・三つの RA 及びリスク低減措置の検討・実施を統合的に行っていないと、例えば、化学物質 RA では爆発・火災の三要素（可燃物、酸素、着火源）の有無のみに焦点が当てられ、設備トラブルや現場作業員の介在（ヒューマンファクター）などに関するリスクが考慮されない場合がある。
- ② 化学物質の挙動の把握には専門的知識を必要とする。
 - ・目に見えない化学物質とその反応・挙動の危険性はハザードとして認識されにくい。
 - ・現場の作業環境は必ずしも毎日同じではなく、条件によっては、生産や安全に影響を与える場合もある。
 - ・作業者の服装なども関係する静電気発生の問題なども考慮する必要がある。
- ③ 事業場毎、プラント設備毎に（バッチプラントでは処理毎にも）取り扱い物質やその特性が異なり、他社での事例（RA 等実施結果、事故事例などを含む）を直接、参考にすることが難しい。

・多くの場合、物質の処理方法、反応条件などのノウハウ、ノウハウは公開されない。

- ④ リスク低減措置として、本質安全対策は難しく、工学的対策は経営面からでもできるだけ避けたいと考えられ、的確な RA 及びリスク低減措置検討・実施の妨げとなる。
 - ・ハザード自体を取り除くことができず（本質安全対策を実施せず）、マニュアルの整備や点検回数を増やすなどの管理的対策のみを実施した場合には、ハザードの発生確率を減らすことはできても、ハザードの影響そのものは緩和されていない。
 - ・マニュアルの整備などの管理的対策を実施することで十分と結論付けられる。そのため、多くの事故が管理ミスなどのヒューマンエラーであると結論付けられてしまう。
 - ・安全インターロックシステムや安全弁設置などの工学的対策は正常運転時も含めて常に作動可能となっていることを確認しておくことなどが重要であるが、一度設置されるとメンテナンスが行われていないままとなっている場合がある。
 - ・長期的な化学品の製造事業を行う場合、初期投資として工学的な対策を講じることが可能であるが、短期的な化学品の製造請負などの事業では、化学品に応じてプロセスの変更が頻繁に行われるため、工学的対策への投資が避けられる場合がある。
- ⑤ プラント設備の設計・建設担当と操業事業場が異なる。
 - ・特に中小規模事業場では、プラント設備は他のエンジニアリング会社などにより設計・建設される場合が多いが、建設されたプラントの詳細なプロセス安全情報（設計ノウハウ、ノウハウなど）まで現場作業者に伝えられることは稀である。
 - ・大規模事業場においても、プラント設計は他社または他部署が担当している場合があり、安全設計に関する論理的な情報までは伝えられない（同じ社内でも部署が違えば機密事項となることがある）。
- ⑥ 現場での労働災害防止だけでなく、プラント設備、事業場内外への減災対策も重要となる。

- ・事業場内での緊急時対応策の立案だけでなく、事業場外（社会）に与える影響も考慮する必要がある。
- ⑦ 設備保全に関わる RA 等実施や作業条件変更に伴う RA 等実施も必要となる。
- ・設備の長期的使用による劣化や社会的・経済的背景の変化に伴う作業条件の変更などに対しても的確なタイミングで RA 等を実施する必要がある（変更管理に関する課題については 5）でも説明）。
- ⑧ 機械類の安全性を確保するための国際標準規格である ISO12100 を基本的な枠組みとして参照することはできるが、個別レベルでは化学プロセス産業の特性に合わせた規格となっていない。
- ・化学プロセス産業では、取扱物質、反応条件、操作条件などが多様化しており、それらが原因となってプラント設備などに及ぼす影響は更に多様なものとなる。そのため、安全性・危険性に関する標準化が進んでいない。
- ⑨ 複数の省庁における法規制への対応が必要とされる。
- ・労働安全衛生法、高圧ガス保安法、消防法などへの対応を要求されるが、これらの法規制に対応することが、爆発・火災防止から減災対策までを含めた統合的なプロセス安全を実現する仕組みとは一致していない。
- ⑩ 化学プロセスの爆発・火災防止及び減災対策の実施例を紹介した資料はほとんどない。
- ・従来の RA 等実施事例集などで紹介されている事例には化学物質の挙動、プラント設備、作業などに関するリスク評価方法、対策が含まれていない場合が多い。

5) 変更管理と RA

化学プロセス産業では、原材料や触媒の変更、操作条件の変更、プラント設備の改造・改良、作業者の配置変更などが行われた際の「変更管理」が課題となっている。特に現場では、「変更している（いつの間にか変更されている）」という認識が無く、そのため、RA が実施されず、リスク低減措置が検討・実施されないままとなっている場合が多い。

労働安全衛生規則第 24 条の 11、及び「化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針」の第 5 項目では、次のような変更を伴う場合には RA を実施することとされている。

- ア) 化学物質等に係る建設物を変更するとき
- イ) 化学設備等に係る設備を変更するとき
- ウ) 化学物質等である原材料を変更するとき
- エ) 化学設備等に係る作業方法又は作業手順を変更するとき
- オ) その他

OHSAS18002: 2008⁶⁾の 4.3.1.5「変更のマネジメント」では、変更管理の実施時期などについて、次のように述べており、RA 及びリスク低減措置の検討・実施が重要であるとしている。

組織は、OH&S 危険源及びリスクに作用する又は影響を及ぼす可能性のあるいかなる変更も管理し、マネジメントするとよい。これらの変更には、組織体制、要員、マネジメントシステム、プロセス、活動、原材料の使用などに対する変更を含む。そのような変更については、その実施に先立って、危険源の特定及びリスクアセスメントを適用して評価するとよい。

組織は、組織における現行の作業、製品、サービス又は供給者などの変更と同様に、設計段階において新規のプロセスや作業に関する危険源及び潜在的なリスクを考慮するとよい。次の事項は、変更のマネジメントのプロセスを始めるべき状態の例である。

- －新規又は変更された技術（ソフトウェアを含む）、設備、施設、作業環境
 - －制定又は改訂された手順書、作業慣行、計画、使用又は規格
 - －異なる種類又は等級の原料
 - －請負者の使用を含むサイトの組織体制及び人員配置の著しい変更
 - －安全衛生装置／設備又は管理策の変更
- 変更のマネジメントプロセスは、新規又は変更されたいかなるリスクも受容できることを確実にするために、以下のような疑問に対して考慮するとよい。
- －新しい危険源が作り出されるか？
 - －新しい危険源に関連するリスクは何か？
 - －その他危険源からのリスクに変化はあるか？
 - －その変更は現行のリスク管理策に悪影響を及ぼすことがあるか？
 - －有用性、受容性、及び直近、長期双方のコストに配慮し、最も適切な管理策が選ばれているか？

その他、高圧ガス保安法、米国 OSHA/PSM⁷⁾、米国化学工学会（AIChE）の化学プロセス安全センター（CCPS: Center for Chemical Process Safety）のガイドライン⁸⁾などでも変更管理の重要性を認め、該当する変更を実施する場合には必ず RA 及びリスク低減措置の検討・実施を行うことを要求している⁹⁾。

3 潜在する危険性・有害性に関する情報共有の課題

化学プロセスでは様々な化学物質を原材料や触媒などとして用い、製品を製造する。行政対応としては、国連勧告（GHS ; The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals）や厚生労働大臣告示などで、化学物質の危険性・有害性情報をラベル表示することを義務付けている。

製品・プロセスの研究・開発の際に、安全・安定に製造するための反応条件や操作条件だけでなく、製造プロセスに潜在する危険性に関する多くの情報が得られる。またプラント設備の安全設計の際には、様々な RA 手法を用いて設備のどこにどのような危険源が存在するかが洗い出され、その結果に基づくリスク低減措置の検討が為される。この時、リスク低減措置が実施されていない

部分や実施されてはいるものの依然としてリスクの大きな部分（残留リスク）についての危険性情報も把握されている。しかしながら、これらの危険性に関する情報（知見）は、実際に操業現場で働く作業員（運転員や保全員）に提供されておらず、「なぜそのような作業（操作）を行うのか（いわゆるノウホワイ）」、あるいは「何をしたら危険か」といったことを作業員が認識していない場合が多い。

中小規模事業場では、原材料を受け入れ、製造のみを実施するような業務形態の場合もある。この時、受入原材料や反応に関する危険性情報を把握していなかったり、さらに製造に用いるプラント設備が他のエンジニアリング会社や装置メーカーにより建設されている場合には、プラント設備に潜在する危険性情報が正確に伝えられていないことが多い。大規模事業場においても組織が分断され、部署間での情報のやり取りが的確に行われていなければ、同様の状態となっている場合が多く、危険性情報の把握が不十分である状況は最近の事故発生に共通している要因でもある。

製品・プロセスの研究・開発やプラント設備設計時の RA で得られる危険性情報及びそれに対するリスク低減措置の目的（設計意図）と、その時点で未対応となっている危険性（残留リスク）に関する情報などを操業現場で働く作業員にも確実に伝えること（リスクコミュニケーション）が重要である。また、2 章の 5) で述べたような変更のマネジメント時の RA の結果とリスク低減措置の検討・実施に関する情報を記録として残し、関係する作業員間で情報共有することも重要である。このようなプラントに潜在する危険性情報共有の仕組みは対象とするプラント設備の危険性に関する感受性を高めることにも貢献する。

4 化学プロセス産業における統合的リスクマネジメントに関する検討

1) リスクマネジメントの進め方

ISO/IEC Guide 51¹⁰⁾ (JIS Z 8051¹¹⁾) には、RA を含むリスク低減プロセスが示されているが、具体的なリスク低減措置の検討・実施については明確には述べられていない。本来、RA 等実施の目的は、潜在する危険性・有害性要因を抽出・評価することと、適切なリスク低減措置（ハード面、ソフト面）を検討・実施することである。ここでは RA 及びリスク低減措置の検討・実施までをリスクマネジメントとして捉え、以下にその進め方をまとめる。

i) ハザードを抽出（特定）する。

ある一定の流れ（プロセス、プラント設備、操作手順など）に沿った分析を行い、三つの RA の観点から網羅的にハザードを抽出する。例えば、作業標準書、SQDC 工程管理表¹²⁾などを準備する段階での分析も有用である。

ii) ハザード発生頻度、影響、及びリスクを見積もる。

現状のリスク低減対策は施されていないものとして、

最悪の事態を踏まえたリスクの見積りを行い、ハザードの存在を明示的にする。

iii) リスク低減措置を検討し、実施する。

① 現状のリスク低減措置の効果を確認する。

そのリスク低減措置はどのようなハザードに対して、どのような効果があるのか（ハザードの発生頻度をどこまで下げることができるのか？、ハザードによる影響をどこまで緩和することができるのか？）を確認する。

② 厚生労働省の指針などに示された優先順位に従って有効なリスク低減措置を検討し、ALARP 領域以下のリスクとなるように、可能な限りすべてのリスク低減措置を実施する。

③ 新規のリスク低減措置について、次の点を明らかにしておく。

ーどのハザードに対して有効な措置なのか？

ーハザードの発生頻度を下げするための措置か、ハザードによる影響を緩和するための措置か、またはその両方への措置か？

iv) 残存リスクを把握し、現場作業員に意識させる。

① 本質安全対策及び工学的対策として実施されたリスク低減措置については、現場作業員もその設置理由（設計意図）を十分に把握するとともに、緊急時に利用されることを踏まえて、常に機能が維持されていることを確認しておく。

② 管理的対策と保護具使用はリスク低減措置の一部であるが、日常業務の中では疎かになる場合が多く、リスク低減措置として機能していない場合がある。これを防ぐため、管理的対策と保護具使用が如何にリスク低減に寄与しているかという重要性を明確にしておく。

2) プラントライフサイクルエンジニアリングによる化学プラント設備のリスクマネジメント

厚生労働省が平成 12 年 3 月に策定した「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」¹³⁾では、化学プラントの試運転開始までに安全性を評価することとされている。一方、図 2 に示すように化学プラントのリスク低減措置（安全対策）は、研究・開発からプラントの設計、建設・工事、生産（運転・保全）及びプラントの廃棄を加えたライフサイクル全般にわたるそれぞれのエンジニアリング段階において実施される¹²⁾。労働災害、健康障害などが発生するのは生産業務開始後の生産（運転・保全）の現場であるが、その現場において取り扱う原材料や製品の物質特性や操業条件を決定するとともに、作業員への健康影響や環境への影響を把握するのは研究・開発段階であり、それらの検討事項に基づいて実プラントでの安全衛生対策を検討・決定するのは設計段階である。設計結果を基に建設・工事段階でプラント設備が建設され、現場でさらに様々な調整が図られる。

図2 プラントライフサイクルにわたるリスク低減措置と生産業務実施時の変更管理要求への対応

表2 プラントライフサイクルの各段階で実施すべきRA及びリスク低減措置の検討・実施（対象と目的）

	RAの検討対象と目的	研究・開発		設計	建設・工事	生産	
		研究・開発，設計，運転・保全	開発，設計，運転・保全			運転・保全	保全
化学物質RA (物質特性，反応特性，毒性評価)	対象物質（検討候補も含む）に関する安全 (建設・工事，生産へのRA結果情報の伝達・共有)	対象となるすべての物質及び反応などに対するRA	開発プロセス(プラント設備)に関係する物質及び反応操作などのRA	定量的RA(影響評価)，プラント設備の材質を考慮したRA	建設・工事で取り扱う物質(資材などを含む)に関するRA	対象プラント設備で取り扱われる物質に対するRA	
設備RA (対象機器，プラント設備，プロセス，オペレーション)	対象プラント設備（検討候補も含む）に関する安全 (建設・工事，生産へのRA結果情報の伝達・共有)	研究対象となるプラント設備に対するRA	開発対象となるプラント設備に対するRA	設計対象となるプラント設備に関するRA	建設・工事の対象となるすべてのプラント設備に対するRA	対象プラント設備のRA	
作業安全RA (作業形態，作業環境)	各段階の作業者に対する労働災害防止 建設・工事担当者，運転員，保全員に対する労働災害防止 (建設・工事，生産へのRA結果情報の伝達・共有)	研究者の作業環境(実験室など)における労働安全衛生のためのRA 運転員，保全員の労働安全衛生のためのRA	プロセス開発者の作業環境における労働安全衛生のためのRA 建設・工事担当者，運転員，保全員の労働安全衛生のためのRA	設計者の作業環境における労働安全衛生のためのRA 建設・工事担当者，運転員，保全員の労働安全衛生のためのRA	建設・工事担当者の作業環境における労働安全衛生のためのRA 建設・工事担当者，運転員，保全員の労働安全衛生のためのRA	運転員・保全員の作業環境における労働安全衛生のためのRA 建設・工事担当者，運転員，保全員の労働安全衛生のためのRA	
					設計段階までのRA結果の確認・把握	建設・工事段階までのRA結果の確認・把握	

表 2 にプラントライフサイクルの各段階で実施すべき三つの RA の対象と目的を示す³。

研究・開発段階では、開発プロセスに関係する物質、反応操作などの化学物質 RA を実施するとともに、パイロットプラントなどの建設・工事を視野に入れた設備 RA も実施する。さらに研究者やプロセス開発者の作業環境だけでなく、建設・工事及び生産時の作業者の作業環境を想定した作業安全 RA を実施する。

設計段階では、原材料、触媒などによる爆発・火災発生を想定した定量的影響評価などの化学物質 RA と、ハザード発生時のリスク低減措置の検討・実施を含む安全設計のための設備 RA (HAZOP など) を実施する。また、設計者の作業環境だけでなく、建設・工事及び生産時の作業者の安全を確保する為の作業安全 RA も実施する。

建設・工事段階では、取り扱う資材などに関する化学物質 RA を実施することで、火災・爆発の発生などを防ぐだけでなく、対象となるプラント設備の設備 RA、建設機器や使用する工具などを使用する際の安全確保を目的とした作業安全 RA も実施する。また、建設・工事時には、研究・開発及び設計段階で得られている危険性・有害性情報を把握し、対象となる化学プロセス、プラント設備の取り扱いにも注意する。

生産（運転・保全）段階では、研究・開発及び設計段階で実施された化学物質 RA、設備 RA の検討内容（どのようなハザードの発生を想定し、それに対してどのようなリスク低減措置が実施されているか？）を十分に把握するとともに、関係する運転員、保全員などが作業を行う現場についての作業安全 RA を実施する。また 2 章の 5) で述べたように、運転・保全時に何か不具合が発生する又は変更を実施する場合（運転や保全段階から変更が要求された場合）には、必要に応じて、研究・開発または設計段階にまで遡り、RA 等を再度実施する。

以上のように、それぞれのエンジニアリング段階での対象に合わせて三つの RA 及びリスク低減措置の検討・実施を統合的に実施することで化学プロセスにおける労働災害及びプロセス災害を防止するためのリスク低減措置を検討・実施することができる。

3) 統合的なリスク低減措置の検討及び実施

化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針は、主に作業者の安全確保の面から示されたものである。一方、AICHe/CCPS が提唱した独立防御層 (IPL ; Independent Protection Layer) は化学プラントの安全設計を体系的に実施するための概念である¹⁴⁾。ここでは、これらの組合せにより、化学プラント及び化学プラントに携わる作業者の安全を確保するためのリスク低減措置の検討及び実施について改めて整理し、設計段階を通じて具体的なリスク低減措置を実現するための考え方を示す。

(1) 独立防御層

AICHe/CCPS は多重防護の考え方をより具体的に区分した独立防御層の概念による設計の根本的な考え方を提唱している。図 3 に独立防御層の概念図と各層の目的及び具体例を示す。独立防御層は多重の独立した防御システム層によりプラント設備を包み込むことで、潜在的な危険が事故や災害につながることを未然に防ごうとするものである。また内側の防御層が損なわれたとしても、その外側の防御層が機能することにより、事故を未然に防ぎ、被害（災害）を最小限に食い止めることを目的としている。各防御層のリスク低減効果と妥当性とを鑑み、化学プロセス・プラントの安全性だけでなく、事業場内外への対応を設計として盛り込むための具体的なリスク低減措置の実現手段に注目した設計概念である。

IPL	概要
1	プロセス設計（本質安全）
2	BPCS, プロセスアラーム, 操作員監視
3	クリティカルアラーム （操作員監視と割り込み操作）
4	自動安全インターロックシステム
5	物理的防御（安全弁など）
6	物理的防御（防液堤など）
7	事業場内の緊急対応計画
8	地域住民・公共設備への緊急対応

図 3 独立防御層

(2) 厚生労働省指針と独立防御層の関連付け（労働安全衛生とプロセス安全）

化学プロセス産業の事業場・プラントの現場改善に繋がる論理的なリスク低減措置を検討するための RA 等の進め方の枠組みについて提案する。図 4 に厚生労働省の指針と独立防御層によるリスク低減措置検討の関係を示す。

3 表 2 は検討中のものである。

図4 厚生労働省指針と独立防御層によるリスク低減措置検討の関係

「本質安全対策」は最優先事項であり、独立防御層でも IPL 1 に位置付けられている。危険物質の代替や触媒・溶媒の選択による低温低压運転の可能性や危険物質の滞留時間の短縮化などの検討による安全なプロセスの採用に加え、単体機器の健全性設計、機器の信頼性確保、誤操作防止設計などにより異常を発生させないようにする。

「工学的対策」は独立防御層では、おもに IPL 2～6 に相当する。正常運転（通常作業）における安全を確保するための IPL 2、異常発生時への対応となる IPL 3～5、漏洩物の拡散などを防ぐための IPL 6 の対策を RA の結果を基にバランスよく実施することが重要となる。IPL 3 は異常発生時に運転員（作業員）の介入により対処することを目的としているが、異常発生に伴う影響の大きさを的確に評価し、作業員の安全確保を第一に考えた上で、IPL 4 及び IPL 5 の工学的対策が必要となる。

「個人用保護具の使用」については独立防御層の概念では明確に示されていないが、IPL 3, 6, 7 において、作業員の労働災害防止のための最終手段であることを明示した上で着用を義務付けることが重要である。

「管理的対策」には、緊急時対応を含めたプラント運転マニュアルやプラント保守点検のための管理基準の整備、本質安全対策の意図把握や個人用保護具の確実な着用などが含まれ、IPL 1～6 のすべてに共通する対策である。また、指針では明確に示されていないが、IPL 7 及び IPL 8 は事業場内外への被害を軽減するために必要な措置であり、マニュアルの作成や組織の構築だけでなく、定期的な訓練なども含めて実施しておく。

独立防御層の考え方では、基本的に何らかの異常が発生した際に、その被害を最小限に留めるための防御のあり方を論じている。そのため、IPL 1～8 のすべての防御層を独立に備えることが基本方針となる。その観点からは厚生労働省の指針の四つの対策は、それらのうちのどれかひとつを備えれば良いということではなく、四つの対策をすべてとりつつ、さらにそれぞれの対策も複数の

独立した手段・措置によって実現することが望ましいと捉えるべきである。

5 おわりに

本稿では、化学プロセス産業（石油、石油化学、化学などを含む）の操業現場を対象として、RA とリスク低減措置の検討・実施に関する課題を整理するとともに、労働災害及びプロセス災害防止に寄与する RA とリスク低減措置の検討・実施の統合的な実施方法及び潜在する危険性・有害性の情報共有に関する課題についてまとめるとともに、プラントライフサイクルエンジニアリングによる統合的リスクマネジメントの進め方の検討について報告した。

RA 及びリスク低減措置の検討と実施は、事故・災害発生を未然に防止するための手段であり、これらを的確に実施することにより、労働災害及びプロセス災害を未然に防ぐ、または被害を軽減することに貢献する。平成 18 年の改正労働安全衛生法施行以降、RA についての重要性は認められるようになっているが、化学プロセス産業において、リスク低減措置の検討・実施までを含めて的確に実施するためには、多くの課題が残されている。今後は 4 章で述べた考え方を基に、より有用な RA 等の手法を確立するための議論を続ける。

文 献

- 1) 若倉正英. 最近の化学事故と安全文化. Safety & Tomorrow. 2013; 147: 21-27.
- 2) Kletz T. What went wrong?, 5th ed.. IChemE; 2009.
- 3) 厚生労働省告示第 113 号. 労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針. 平成 18 年 3 月 10 日改訂. 2008.
- 4) 厚生労働省. 平成 22 年労働安全衛生基本調査の概況; 2011.
- 5) 濱田勉. 主なき安全～リスクアセスメントの暴走～. 労働調査会; 2010.
- 6) OHSAS 18002: 2008. 労働安全衛生マネジメントシステム—OHSAS18001:2007 実施のための指針. 日本規格協会; 2011.
- 7) Occupational Safety and Health Administration, 29CFR 1910.119. Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals; 1992.
- 8) AIChE/CCPS. Guidelines for Management of Change for Process Safety. WILEY; 2008.
- 9) 化学工学会安全部会. 変更管理のあり方を探る. 化学工学テクニカルレポート No.43; 2012.
- 10) ISO/IEC Guide51; 1999. Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards; 1999.
- 11) JIS ハンドブック㊿安全 (基本). JIS Z 8051: 2004 (2008 確認). 安全側面—規格への導入指針. 日本規格協会; 2010: 85-91.
- 12) 労働安全衛生総合研究所技術資料. 生産業務と安全管理業務との協調による労働安全衛生マネジメントの推進. 労働安全衛生総合研究所; 2011: JNIOHS-TD.No.1.

- 13) 厚生労働省基発第 149 号. 化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針 ; 2000.
- 14) AIChE/CCPS. Guidelines for Engineering Design for Process Safety. Wiley; 1993: 9-10.

用語の定義

プロセス安全 : 危険物質を取り扱うプロセス (プラント) における異常や火災, 爆発, 漏洩などの事故の発生を防止するとともに, 事故が発生した場合にその被害を最小限に抑えるための方策も検討する.

プロセス災害 : 爆発, 火災, 漏洩などにより, 事業場及び周辺地域を含むプラント・設備などに損傷を与えることをいう.

作業安全 : 運転員, 保全員などの作業者が作業をする環境において, 転落や滑り, はさまれ, 巻き込まれなどを防止するためのリスク低減措置などについて検討する.

労働災害 : 労働者の就業に係る建設物, 設備, 原材料, ガス, 蒸気, 粉じん等により, 又は作業行動その他業務に起因して, 労働者が負傷し, 疾病にかかり, 又は死亡することをいう.

Investigation Study on Risk Assessment and Implementation of Risk Controls in The Chemical Process Industries

by

Yukiyasu SHIMADA^{*1}, Teiji KITAJIMA^{*2} and Arata KIMURA^{*3}

The purpose of risk assessment (RA) is the determination of a quantitative and/or qualitative value of risk related to a concrete situation and a recognized hazard. The results of it are used to consider risk controls for preventing occupational and process accidents. The number of workplaces which carry out RA is increasing under administrative measures for industrial disaster prevention based on RA. However, it is most often the case that the original purpose of RA are not understood correctly and truly effective risk controls based on the appropriate risk estimation are not implemented.

We focused on the workplaces in the chemical process industries (petroleum refinery, petroleum chemical, chemical, etc.) and carried out a hearing investigation and held a discussion with safety experts. The current states and issues, which are related to the RA and the implementation of risk controls, and the subjects of risk information sharing through the life-cycle of a chemical process plant were clarified. For these issues and subjects, we propose a tentative integrated approach to RA and the implementation of risk controls for preventing occupational and process accidents.

Key Words: risk assessment, risk control, occupational safety, process safety, independent protection layer

^{*1} Chemical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

^{*2} Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

^{*3} Maritime Risk Assessment Department, National Maritime Research Institute