

# プロセス産業における安全管理の体系化と具体的な進め方

島田行恭<sup>\*1</sup>

プロセス産業における事故・災害を減少させ、労働災害防止に寄与するための安全管理の体系化について検討し、次の①から③について、具体的な安全管理業務の進め方についてまとめた。①化学プラントの安全運転管理としてどのような業務を実施すべきかをモデル化するために PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルによる業務実施とそれぞれの業務に必要な資源提供の関係を明示したテンプレートを提案し、安全運転管理業務プロセスモデルを構築した。②プラントライフサイクルにわたる HSE (Health, Safety, and Environment) 管理業務体系について提案するとともに、HSE 管理のための業務及び業務実施に必要な資源の具体例を整理した。③現場レベルでの安全管理業務として、安全性 (Safety)、品質 (Quality)、生産性 (Delivery)、コスト (Cost) の観点からの管理項目を明示した SQDC 工程管理表による安全管理業務の推進について提案した。さらに、HAZOP の結果として得られたハザードシナリオを利用したフォールトツリー (Fault Tree : FT) の自動生成とこの FT のトップ事象発生確率 (ハザード発生頻度) の計算結果に基づくリスクの評価及びリスク低減対策の立案を支援するシステムを開発した。

**キーワード:** プロセス産業, プロセス安全管理, プラントライフサイクルエンジニアリング, 業務プロセスモデル, HSE (Health, Safety, and Environment) 管理, SQDC (Safety, Quality, Delivery, Cost) 工程管理表, リスク管理支援システム

## 1 はじめに

平成 11 年、労働現場における事故・災害の一層の減少を図ることを目的として、労働安全衛生マネジメントシステム (Occupational Safety and Health Management System ; OSHMS) の導入と普及・定着に向けた「労働安全衛生マネジメントシステムに関する指針」が公表された。この指針は、平成 17 年の労働安全衛生法の改正によりリスクアセスメントが努力義務化されたことなどに合わせて平成 18 年に改正されている。OSHMS では、①トップの安全衛生方針に基づき、適切かつ有効に実施・運用していくための全社的な推進体制の整備、②リスクアセスメントの実施、③PDCA (Plan ; 計画, Do ; 実施, Check ; 評価, Act ; 改善) サイクルの自主的な活動の継続実施及び④手順化、明文化及び記録化により安全衛生管理を推進することとされている<sup>1)</sup>。

一方、化学プラントの安全管理は反応物質の危険性評価だけでなく、安全なプラント設計、健全なプラント建設、生産業務実施時の運転、保全業務などを含めたプラントライフサイクルを通じて実現されることから、これらの業務の体系化が強く望まれている。また、通常の生産業務に対して安全管理業務の必要性とその位置付けを明確にし、管理の目的と仕組み、業務の流れ、関係する情報やその流れなどを明示した業務プロセスを論理的に体系化することが重要となる。この時、次の三点が重要となる<sup>2,3)</sup>。①現場で実行できる安全管理の仕組みを考えること。②管理の仕組み全体と個別技術との関係を明らかにすること。③技術と組織との関係を明確にする仕組みを考えること。

平成18年4月より開始したプロジェクト研究「災害多発分野におけるリスクマネジメント技術の高度化と実用化に関する研究」のサブテーマ3「化学プロセスに対するリスクマネジメント技術の体系化と安全管理技術情報

基盤の開発・普及」(以下、「本研究」という)の目的は、プロセス産業における事故・災害を減少させ、労働災害防止に寄与する安全管理(プロセス安全管理)の体系化について提案するとともに、安全管理の方法や内容を検討する際に参考となる具体的な業務の例や手法を示すことである。この目的を達成するために、プロセス産業における安全管理に精通した企業有識者及び学識経験者で構成される委員会(表1及び表2)を設置し(二期4年間、全44回開催)、安全管理のあるべき姿を構築するための議論を行った。委員会では、企業有識者から提起された安全管理の実務上の課題に対して著者及び学識経験者が安全管理業務のあるべき姿を提案し、これを企業の実務に即し、確実に実施できる安全管理の仕組みとして明示するための議論を行った。その結果、安全運転管理業務プロセスモデルを構築するとともに、管理担当者レベルでのHSE管理業務体系を提案し、その枠組みの中で実施する具体的な業務の例を表形式で整理した。さらに現場レベルでの安全管理業務として、既に企業でも導入され、その有用性が認められているSQDC工程管理表の作成と活用についてまとめた。これらの成果は独立行政法人労働安全衛生総合研究所技術資料(JNIOOSH-TD-No.1)として公表している<sup>4)</sup>。

一方、労働安全衛生法第 28 条の 2 には、リスクアセスメントを実施することが努力義務として明確にされ、化学物質管理の対象等を従前より広く捉えてリスクアセスメントを実施し、その評価結果に基づいてリスク低減措置を講じることが求められている。プロセス産業におけるリスクアセスメントの対象は化学物質だけでなく、それらを取り扱う化学プラントについても評価を行わなければ、事故・災害発生の防止、被害の局限化を目的としたリスク低減対策について検討することはできない。化学プラントのリスクアセスメント手法としては HAZOP (Hazard & Operability Study)、フォールトツリー解析 (Fault Tree Analysis ; FTA)、故障モード影

<sup>\*1</sup> 化学安全研究グループ

響解析 (Failure Modes and Effects Analysis) など、様々な手法があるが、解析には多くの時間と労力、経験的知識を必要とするなどの課題がある。本研究では HAZOP 結果に基づく FT 作成, FTA によるリスク評価及び独立防衛層の概念を取り入れたリスク低減対策立案を支援するリスク管理支援システムを開発した<sup>5)</sup>。

表1 第一期『化学プラントの安全運転管理モデル検討委員会』(平成19年度～平成20年度)

委員氏名	委員の所属 (当時)
<b>(委員長)</b> 仲 勇治	東京工業大学
<b>(委員)</b> 白井 修	三井化学(株)
川端鋭憲	お茶の水女子大学 (元新日本石油(株))
北島禎二	東京農工大学
斉藤日出雄	富士石油(株)
佐藤嘉彦	(独)産業技術総合研究所
角田 浩	東洋エンジニアリング(株)
尾藤清貴	(株)カネカ
淵野哲郎	東京工業大学
本山 均	ダイキン工業(株)
<b>(事務局)</b> 島田行恭	(独)労働安全衛生総合研究所
熊崎美枝子	(独)労働安全衛生総合研究所

表2 第二期『化学プロセス産業の中小規模事業場における安全管理支援環境検討委員会』(平成21年度～平成22年度)

委員氏名	委員の所属 (当時)
<b>(委員長)</b> 仲 勇治	東京工業大学
<b>(委員)</b> 白井 修	三井化学(株)
川端鋭憲	生命科学技術普及センター (元新日本石油(株))
北島禎二	東京農工大学
斉藤日出雄	斉藤 MOT ラボ (元富士石油(株))
角田 浩	東洋エンジニアリング(株)
武田和宏	静岡大学
尾藤清貴	(株)カネカ
淵野哲郎	東京工業大学
本山 均	ダイキン工業(株)
山室 昇	日本ゼオン(株)
<b>(オブザーバ)</b> 頼昭一郎	三菱商事(株)
菊池康紀	東京大学
<b>(事務局)</b> 島田行恭	(独)労働安全衛生総合研究所

2 業務プロセスモデルに基づく統合的な安全管理

図1に業務プロセスモデルに基づく統合的な安全管理体系を示す。プラントライフサイクルにわたるエンジニアリングの業務プロセスモデルを参照モデルとして企業の各レベル(事業場(経営), 管理担当者, 現場)における安全管理を体系化するとともに, 具体的な安全管理業務の整理を行った<sup>4)</sup>。

最初に①安全運転管理業務プロセスモデルを構築した。これにより, 既に構築されている設計及び保全業務プロセスモデルと合わせ, プラントライフサイクルエンジニアリングの業務プロセスモデルの基礎が用意された(研究・開発, 建設・工事については未構築)。次に②管理担

当者レベルにおける HSE 管理業務体系と具体的な HSE 管理業務の整理を行うとともに, ③現場レベルでの SQDC 工程管理表による安全管理業務推進について提案した。図1中の事業場(経営)レベルにおけるプロセス安全管理のフレームワークは OSHMS 構築の基礎となるものであるが, (社)化学工学会安全部会の活動により提案されているものであり, 詳細は参考文献6)を参照のこと<sup>6)</sup>。以下, 本研究で検討した図1内の①～③及びリスク管理支援システムの概要についてまとめる。

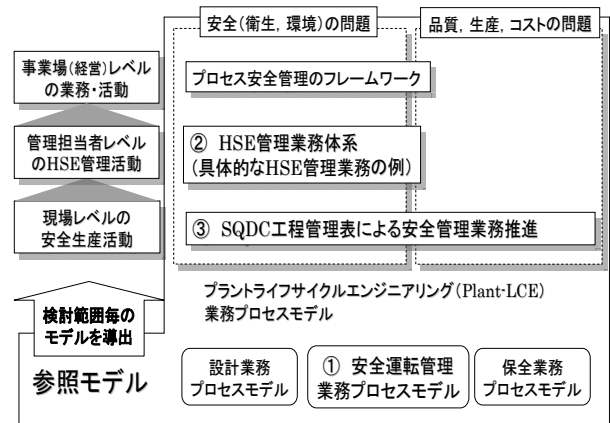


図1 業務プロセスモデルに基づく統合的な安全管理体系

3 安全運転管理業務プロセスモデルの構築

プロセス産業における事故・災害の多くはプラント運転中に発生しており, プラント運転に関する業務の標準化と安全管理の体系化は重要な課題とされている。従来, 化学プラントを対象とした業務の体系化としては, 設計及び保全業務プロセスモデル構築が行われていたが<sup>7,8)</sup>, 設計と保全の二つの業務を結び付け, 労働安全問題の主体となる安全運転管理業務プロセスモデル構築については取り組まれていなかった。本研究では化学プラントの安全運転管理のために実施すべき業務プロセスとして参照することを目的とした安全運転管理業務プロセスモデルを構築した<sup>4,9,10)</sup>。

1) PDCA サイクルと資源提供のテンプレート

業務の PDCA サイクルとそれぞれの業務実施に必要な資源提供の関係を明示するために, 図2に示す基本型(テンプレート)を提案した。業務プロセスモデルの表現形式として IDEF0 (Integrated DEfinition for Functional model, Type-zero method) 形式を用いている<sup>11)</sup>。従来の PDCA サイクルと異なるのは次の点である。

- Plan, Do, Check, Act のそれぞれの業務を実施するために必要な「資源提供」という業務を追加し, これをテンプレートという形で明示している点
- 業務実施結果や業務実施により発生した不具合に関する情報を収集し, 記録することで実現されるプロセス安全情報共有を明示している点

- 基準類の整合性を確保し、各業務に提供する仕組みを明示している点

テンプレート内の各業務の役割は次のように定義される。

**(T1) Manage の役割**

階層内の業務全体の進捗状況を管理する。具体的には業務の目的（目標）を明示し、実施計画の作成を指示する。また、以下(T2)-(T4)の Plan, Do, Check の業務に必要な資源提供を要求する。

**(T2) Plan の役割**

与えられた目的（目標）に対する実施計画を作成し、実施を指示する。

**(T3) Do の役割**

資源を利用しながら、基準類に従って計画を実施する。実施上の不具合などがあれば修正（変更）を要求する。

**(T4) Check の役割**

次の四点について評価する。

- 業務実施計画（指示）に対する結果
- 基準類の遵守
- 資源提供
- 基準類の妥当性

**(T5) Act の役割**

各業務からの修正（変更）要求を受け、次のような改善のための対応を決定する。

- 実績からの問題点、改善点を踏まえた基本方針、管理目標の見直し
- 実績からの問題点、改善点を踏まえた実施計画の修正（変更）指示
- 各業務（設計、製造、保全など）からの変更要求などに対する方針検討指示
- 上記要望などに対応する具体策の作成指示

必要に応じて上位へ（例えば現場レベルから管理担当者レベルへ）の修正（変更）を依頼する。最終的な判断

はManageの役割として実施する。

**(T5) 資源提供（Provide Resource）の役割**

Plan, Do, Check, Act のそれぞれの業務実施結果などの情報収集と情報伝達を一元的に管理する。また、経営資源を含め、それぞれの業務を実施するために必要な資源（人、モノ、情報、基準類）を提供する。各業務実施時に不具合があればその情報を含む修正（変更）要求を集約し、改善のために(T1)Actに戻す。

IDEF0形式でテンプレートを表現することにより、次のような利点もある。

- IDEF0形式の階層構造を用いることによりPDCAのスパイラルアップによる改善のようすが表現できる。
- 改善提案（Act）業務の位置付けが明瞭になる。
- 通常のPDCAサイクルで検討する際には見逃しがちな(T1)Manageと(T5)資源提供（Provide Resource）の重要性が明確になる。

図2に示すテンプレートに従って業務及び業務の流れを整理すれば、PDCAサイクルで業務を実施するとともに、業務実施に必要な資源提供、基準類の整備などを一元的に管理することを明示した業務プロセスモデルが構築される。

**2) 安全運転管理業務プロセスモデルの構築**

図2のテンプレートを基に、化学プラントの安全運転管理に関する業務を整理し、業務に関係する情報及び情報の流れを明示した業務プロセスモデルを構築した。図3に安全運転管理業務プロセスモデルの一部（“(A5344) 運転する”に対する業務プロセスモデル）を示す（すべてのモデルについては参考文献4）を参照のこと）。IDEF0形式で表された業務プロセスモデル内の各業務の説明とモデル参照上の注意点、用語の定義などを整理した補足説明（グロッサリ）を作成している<sup>4)</sup>。

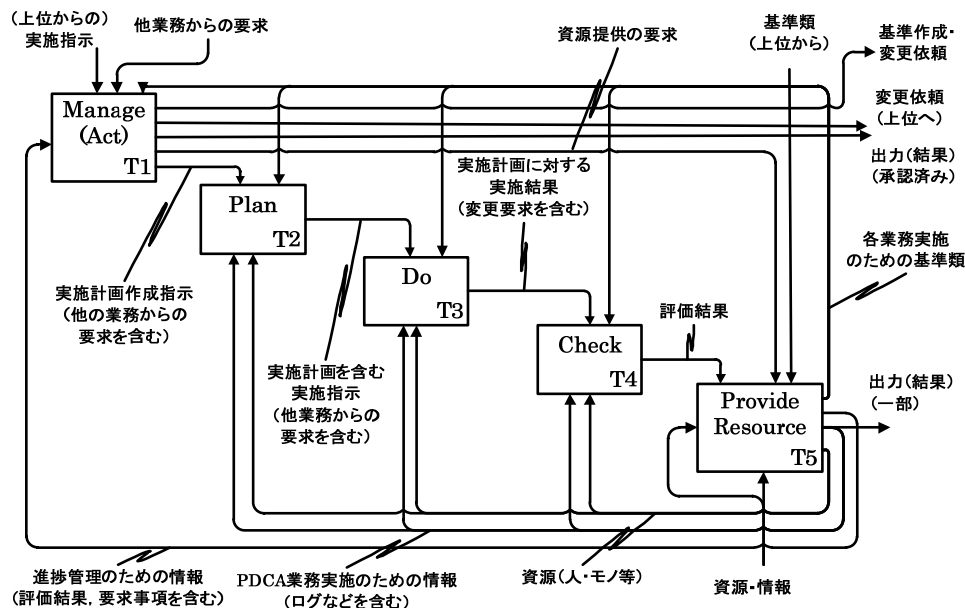


図2 PDCA サイクルと資源提供の関係を明示したテンプレート

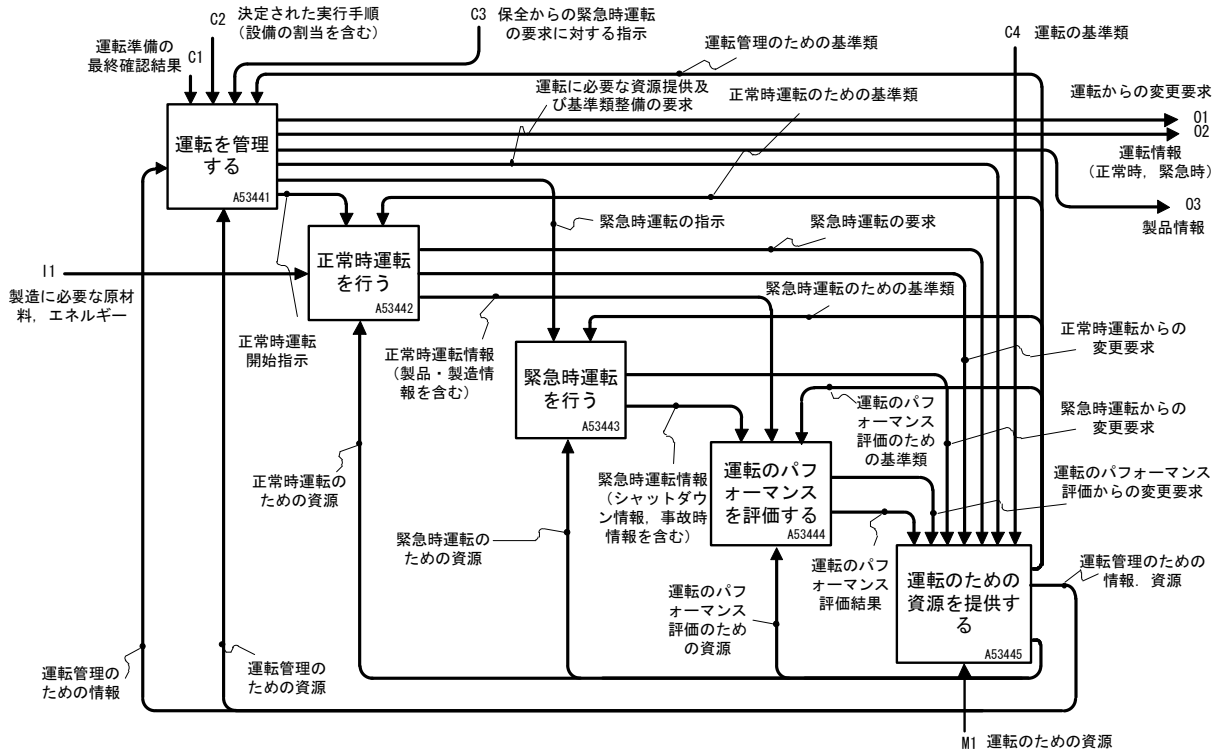


図3 安全運転管理業務プロセスモデルの一部 (“A5344 運転する”に対する業務プロセスモデル)

### 3) 業務プロセスモデルの活用

業務プロセスモデルはPDCAサイクルを回す形での業務実施と資源提供業務の関係を示している。図4に業務プロセスモデルの活用のイメージを示す。具体的には業務プロセスモデル上で次の二点を確認する。

- ①PDCA サイクルを構成する業務と資源提供の業務の明示的な実施の確認
- ②情報伝達、資源（人、モノ、情報、基準類）提供内容の確認

①はPDCAサイクルの仕組みが作られているだけでなく、「業務として明示され、実施されているかどうか」を確認するとともに、「PDCAの各業務を実施するために必要な資源提供と管理基準・技術標準などの基準類が整備されているか」を確認する。②は「業務の実施に関する指示や結果情報が伝達されているか」、「必要な資源が的確に与えられているか」、「基準類は必要な時に参照できる形で提供されているか」などを確認する。これにより、業務の実施状況や業務に関する情報伝達のあり方などの根本的な問題点の抽出が可能となるだけでなく、管理者間、作業員間及び両者の間の業務のあり方（論理性・整合性確保）、情報の流れなどを共通認識することができ、さらに準備・提供すべき人、モノ、情報などの資源の内容確認、業務に即した組織改善などに役立つ。その結果、プラントでの異常事象発生や事故・災害発生の防止にも繋がる。

本研究で構築した安全運転管理業務プロセスモデルは化学プラントの安全運転管理に関する業務のあるべき姿を表した参照モデルとして、目的に応じた多様な分析、

検討に活用することができる。特に安全面からは次の二つの目的に対する確認（検証）が可能となる。

- ①現状の業務に対する分析とその結果に基づく事前対策（異常事象や事故・災害の発生防止）
- ②既に発生した異常事象や事故・災害の事後対策（災害発生の根本原因の推定と再発防止）

①では安全運転管理業務プロセスモデルと現在実施している業務との比較分析を行うことで、本来のあるべき姿とのズレを修正する。例えば、事前に「実施計画を立案する業務が明示化されていない」、「業務間で情報が伝達されていない」、「業務実施に十分なスキルを持った人材が配置されていない」などの問題点を明らかにし、対策を行うことで、業務実施方針・目的などを理解しないままでの作業の実施、作業員間での情報伝達ミス、作業員の知識不足による操作ミスなどを防ぐことができる。また十分な対策を実施するまではプラントの稼働を停止することなども検討する。その結果、異常事象や事故・災害の発生を未然に防ぐことができる。

②では異常事象、事故・災害発生後に業務分析を行うことにより、「情報共有の不具合の問題」、「人材の教育と提供の問題」などの根本原因を特定し、対策を行うことで、再発防止に繋げる。

安全運転管理業務プロセスモデルについては既に、①現状の安全運転管理業務の改善を目的とした安全運転管理業務フロー作成、②事業所内で発生した運転トラブルに対する解析などに活用されている（参考文献3）の中で事例が紹介されている。また保全業務プロセスモデルについても事故事例解析への活用などが進められている。

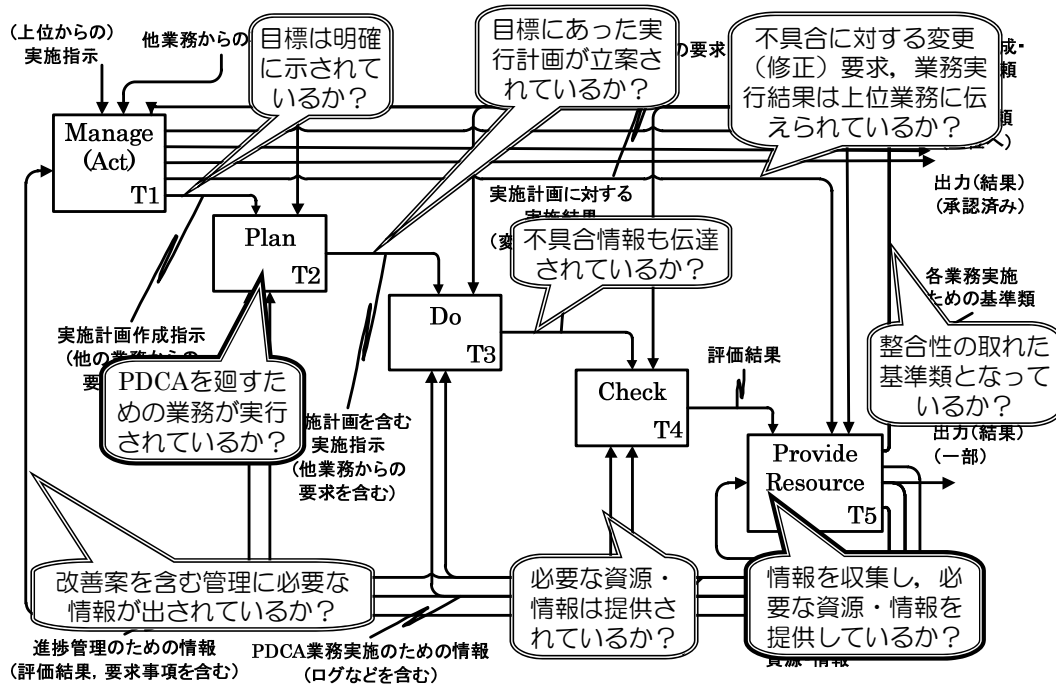


図4 業務プロセスモデルの活用のイメージ

#### 4 HSE 管理業務の体系化

管理担当者レベルにおける安全管理業務として、プラントライフサイクルにわたる HSE 管理業務の体系化について検討するとともに、HSE 管理に関する具体的な業務及び業務に関係する資源の分析と整理を行った<sup>4,10)</sup>。ここでは委員会における提案として、安全 (Safety) 管理業務だけを取り上げるのではなく、労働衛生 (Health) 及び環境影響 (Environment) に対する管理業務も同時に整理してはどうかという意見があり、HSE 管理業務としてまとめている。

図5に企業理念の下でのプラントライフサイクルにわたる HSE 管理業務の実施体系を示す。HSE 管理業務担当者は事業場 (経営) レベルで示された HSE 管理方針に従って、プラントライフサイクルの各ステージでの基本方針、管理目標を定め、HSE 管理の対象と目的を明示する。この基本方針に対する業務実施計画作成、業務実施及び評価、問題点・改善点の抽出に基づく改善のプロセスを明確にすることにより、各ステージにおいても HSE 管理業務のスパイラルアップを図ることが可能となる。

HSE 管理業務体系に従ってプラントライフサイクルの各ステージで実施すべき具体的な HSE 管理業務及び業務に関係する資源 (人, モノ, 情報, HSE 基準類) の分析と整理を行った。表3に HSE 管理業務の具体例を整理するためのフォーマットを示すが、研究・開発、設計 (概念, 基本, 詳細), 建設・工事, 生産 (運転, 保全に分ける) の各ステージにおいても PDCA サイクルを構成している (HSE 管理業務の具体例は参考文献4)に示されている)。

一方、研究・開発ステージでは取扱う物質や反応に関する危険性評価、設計ステージではプロセスに潜在する

危険性の評価、事故・災害や被害の拡大を防ぐための安全対策の検討が行われ、これらの結果を基に安定・安全な生産業務を実現するための設備・プラントが建設される。

このようなプラント建設までに検討されたプラントの設計意図、想定された運転方針 (例: 運転トラブルが発生しないように高度な制御システムを導入する, 異常を検知したらすぐに停止することができるプラントとする), HSE 管理方針 (例: 許容されるリスクレベルをどのように設定するか) などは、対象プラントのリスク低減対策実施の根拠となる情報を含んでいる。このため、生産業務に関係する作業員 (運転員, 保全作業員など) も、これらの情報を含む文書 (設計図書など) の内容を十分に理解しておくとともに、必要に応じてすぐに参照できるように文書などにより整備しておくことが重要である。また、作業員は生産 (運転及び保全) 業務に関する管理基準, 技術基準などの基準類を遵守するとともに、運転及び保全業務において作成 (追加・修正) される情報 (文書) も整備し、常時参照できるようにしておく必要がある。

本研究では、生産業務実施前に検討された内容を記した文書の中で生産業務実施時に必要となる文書及び生産業務実施時に追加 (作成, 修正) すべき文書の例を一覧表にまとめた。表4に設計ステージで作成される文書で生産業務実施時に必要となるもの (一部) を示す (すべての文書一覧については参考文献4)を参照のこと)。図5の HSE 管理業務体系, 表3及び表4の具体例を参考に、各事業場の特性に合わせた HSE 管理業務を体系化し、生産現場で必要とされる文書を整理, 提供する環境を整備すれば、管理担当者レベルにおける HSE 管理業務の確実な実施が可能となる。

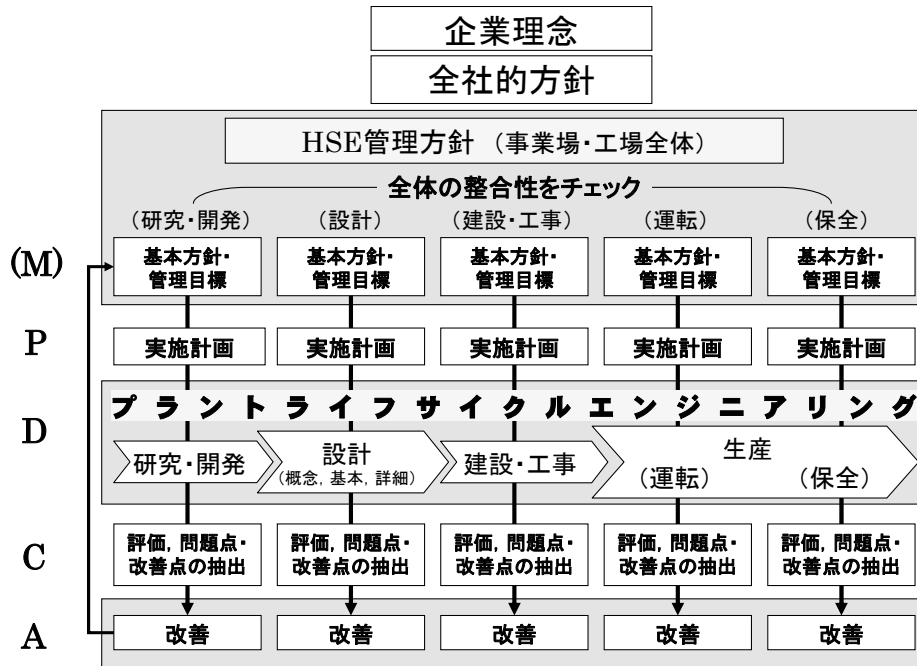


図5 プラントライフサイクルにわたるHSE管理業務体系

表3 HSE管理業務の具体例を整理するためのフォーマット (表全体の構成)

		ステージ →	研究・開発	設計			建設・工事	運転	保全
				概念	基本	詳細			
Manage & Act		当該ステージの業務全体の管理, 見直し・改善							
Plan		HSE管理業務実施計画立案「要求事項・実施要領」							
Do	Occupational Health	プラント操業従事者に対する労働衛生対応 直接担当者に対する労働衛生対応							
	Process Safety	プロセス安全対応(労働安全対策を含む)							
	Environment Protection	事業場内外への環境影響対策							
Check		HSE管理業務実施計画の実施結果及びパフォーマンスの評価及び問題点・改善点の抽出							
HSE管理のための資源提供		人(組織)							
		モノ(設備)							
		安全性評価手法(設計ステージ)情報							
		HSE基準類							

表4 生産業務実施時に必要となる文書(設計ステージで作成されるもの;一部抜粋)

	<input type="checkbox"/> 内容
1	<input type="checkbox"/> 基本仕様書 <input type="checkbox"/> 安全性, 経済性, 立地など基本となる考え方を記載したもの <input type="checkbox"/> プロセス安全性確保に関する基本方針文書 <input type="checkbox"/> 廃棄物量, 排水量, 排ガス量, HC量, CO <sub>2</sub> 量, PRTRなど環境に関するデータ
2	<input type="checkbox"/> プロセス設計資料 <input type="checkbox"/> 各種図面類 ○ PFD      ○ P&ID      ○ 基本レイアウト図      ○ 機器スペックシート <input type="checkbox"/> 安全設備計算書 ○ 安全弁      ○ 除害塔      ○ 防消火設備      ○ 通気ライン      ○ フレアー <input type="checkbox"/> 化工計算書 <input type="checkbox"/> プロセス関係図書 ○ 研究開発・各種テスト・文献(特許など含む)資料 ○ プロセスの調査・検討・選定資料 ○ 設備能力, 品質規格に関する資料 ○ プロセスの詳細検討資料

5 SQDC 工程管理表による現場安全管理業務の推進

プロセス産業における製造現場の安全活動として様々な取り組みが為されているが、各社の安全管理担当者は「現場の作業員に安全衛生に関する意識を浸透させるのは難しい」、「品質管理、生産管理を重視することは避けられず、安全に関する活動に時間を割くことができない」などの課題を抱えている。また技術伝承の問題として取り上げられているように、現場では特定の作業員だけが実施できる熟練作業や理解できる情報があり、他の作業員はその作業に関する背景情報を知らないために作業を行うことができない場合、あるいは作業実施の根拠となる情報を知らないまま作業を行い、トラブルや事故・災害を引き起こしてしまうような場合もある。

本研究では、プロセス産業における製造現場での安全管理業務を推進するための方策について検討を行った。従来から製品の品質維持・向上など目的として用いられている QC (Quality Control ; 品質管理) 工程図<sup>12)</sup>に、SQDC (Safety ; 安全性, Quality ; 品質, Delivery ; 生産性, Cost ; コスト) の観点からの管理項目 (作業) を加え、拡張することで、通常の業務の枠組みの中で事故・災害を防止する業務を行うとともに、品質、生産性を高め、その結果、コスト削減にも寄与するような SQDC 工程管理表とこれに基づく現場安全管理業務の推進を提案した<sup>4)</sup>。図 6 に SQDC 工程管理表による現場安全管理業務推進の PDCA サイクルを示す。SQDC 工程管理表作成による工程の整理 (Plan)、SQDC 工程管理表を用いた業務の実施 (Do)、SQDC 工程管理表及び SQDC 工程管理診断・点検のためのチェックシート (別途作成) による業務実施状況の確認・評価 (Check) 及び工程・業務の見直しや基準類の整備などの改善 (Act) という PDCA サイクルを廻す形で運用することにより、現場での安全管理レベルの向上に繋がる。

表 5 に SQDC 工程管理表に記載する項目を示す。「工程」、「管理特性 (SQDC)」、「管理要領」、「基準類」及び「注意事項 (留意点)」で構成され、各項目はさらに具体的な内容に分けて記載する。図 7 に SQDC 工程管理表の

例を示すが、表 5 に示された項目を一枚の用紙になるべく簡潔に整理することで、現場での取り組みを推進させる (SQDC 工程管理表の作成方法及び図 7 に示す SQDC 工程管理表の詳細などについては参考文献 4) を参照のこと)。

SQDC 工程管理表を活用して安全管理業務を推進することにより次のような効果が期待できる。

- 作業員に対して新しく別の業務を要求するのではなく、SQDC 工程管理表に記載された管理項目などの確認・作業を確実にを行うことを要求する。その結果、品質面、生産面だけでなく、安全面についてもそれぞれの工程において漏れや重複の無い工程管理を実施することが可能となる。さらにコスト削減にも繋がる。
- どのように作業を実施するのか (know-how) だけでなく、なぜその作業を実施するのか (know-why) などを確認し、理解しながら作業を行うことができるようになる。
- 図 6 では業務実施に必要な資源提供については明示していないが、SQDC 工程管理表の「基準類」の欄に示されたマニュアルや作業標準書などの整合性を確保し、各工程実施のための資源として提供することで、製造現場での工程・業務の改善が進められるとともに、作業員間での作業のバラツキや管理の失敗、点検ミスなどの防止に繋がる。

表 5 SQDC 工程管理表に記載する項目

工程	設備の繋がり、物、情報の流れなどの観点から見た「工程フローチャート」、「工程名」及び「設備名称」
管理特性 (SQDC)	SQDC の観点から見た「管理項目」、「管理基準・判定水準」、「頻度」及び「備考 (参照情報)」
管理要領	作業の観点から見た「担当者」、「管理方法・管理記録」及び「管理責任者」
基準類	作業手順書、検査基準書など
注意事項 (留意点)	工程に関する注記や参考情報 (参照先など) (例) 管理実績から見た「クレーム、工程異常、労働災害など」に関する情報、過去の類似事例情報 (異常、事故・災害など)

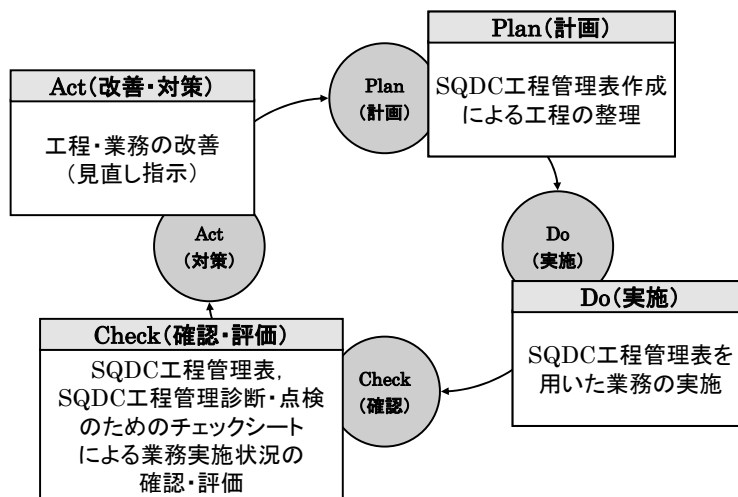


図 6 SQDC 工程管理表による現場安全管理業務推進の PDCA サイクル

工程管理表

品名 機場		DOP 可塑剤製造係		検査 △ 停業		作成 審査	
記号	加工	運搬	検査	作成	審査	作成	審査
<p>工程フローチャート</p>							
原材料/副工程	工程名	設備 名称No.	管理項目	管理特性(SQDC)	備考(参照情報)	担当者	管理方法 管理記録
01 生産計画	1) 原料受入		数量、納期、系列、原車	注文毎		管理課長	生産計画作成規則
	2) 反応準備	T-001~T-012	品名、数量、ロット、補換	受入れ毎	ガス検知器点検	製造課長	受入基準書
	3) 原料仕込み	R-101	品名、数量(レベル) ライン設定	毎バッチ	技術標準、P&IDなど	同上	タンク保管基準
	4) 反応1	R-101	反応温度、時間 P&ID、数量、レベル	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	5) 反応2	R-101	反応温度、反応時間 投入時操作停止	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	6) 回収	R-101	攪拌速度 温度	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	7) 中和	R-101	攪拌速度 反応機温度 PW・数量 KOH・数量・レベル	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	8) 精製	R-101	攪拌速度 反応機温度 反応機圧力 反応機圧力	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	9) 減速	R-101	攪拌速度 反応機温度 反応機圧力 反応機圧力	1バッチ	異常処置基準、技術標準	同上	反応記録表
	10) 品名初書		開放安全 クレーニング状況	切替毎	開放時機器ロック図 クレーニング基本図	製造課 (〇〇班)	作業日報
	11) 品名検査		品質(色度) 品質(不純物)	製品クレーン 私出時	品質検査表	品質課	品質検査表
	12) 出荷		品名/数量/ロット 確認	出荷毎	出荷表	管理課長	作業手順書
<p>注：1) 原料受入管理基準、安全基準 2) タンク管理下限以上 3) 1bar×3回、酸濃度=ND 4) 1トン×4m3hrで投入 5) 40rpm±5rpm 6) 150℃±5℃ 7) 150℃、5時間 8) 投入時操作停止 9) 150℃、5時間 10) 3トン×15m3hrで投入 11) 攪拌モード：STRONG 70rpm・投入時操作停止 12) 反応温度上限(210℃) 13) 排水基準 14) 所定値(KOH 0.1mg/g)以下 15) 攪拌モード：MILD 40rpm±5rpm 16) ハルゲン化エチレン 50l/ott、2時間 17) 80℃ 18) 7600ott 19) 10l×2回 20) 4%、0.2l×1、19℃、30分 21) 150℃ 22) 3bar 23) 20l/ott 24) 30℃以下 25) 1bar 26) 攪拌停止 27) 攪拌開始 28) 攪拌開始 29) 攪拌開始 30) 攪拌開始 31) 攪拌開始 32) 攪拌開始 33) 攪拌開始 34) 攪拌開始 35) 攪拌開始 36) 攪拌開始 37) 攪拌開始 38) 攪拌開始 39) 攪拌開始 40) 攪拌開始 41) 攪拌開始 42) 攪拌開始 43) 攪拌開始 44) 攪拌開始 45) 攪拌開始 46) 攪拌開始 47) 攪拌開始 48) 攪拌開始 49) 攪拌開始 50) 攪拌開始 51) 攪拌開始 52) 攪拌開始 53) 攪拌開始 54) 攪拌開始 55) 攪拌開始 56) 攪拌開始 57) 攪拌開始 58) 攪拌開始 59) 攪拌開始 60) 攪拌開始 61) 攪拌開始 62) 攪拌開始 63) 攪拌開始 64) 攪拌開始 65) 攪拌開始 66) 攪拌開始 67) 攪拌開始 68) 攪拌開始 69) 攪拌開始 70) 攪拌開始 71) 攪拌開始 72) 攪拌開始 73) 攪拌開始 74) 攪拌開始 75) 攪拌開始 76) 攪拌開始 77) 攪拌開始 78) 攪拌開始 79) 攪拌開始 80) 攪拌開始 81) 攪拌開始 82) 攪拌開始 83) 攪拌開始 84) 攪拌開始 85) 攪拌開始 86) 攪拌開始 87) 攪拌開始 88) 攪拌開始 89) 攪拌開始 90) 攪拌開始 91) 攪拌開始 92) 攪拌開始 93) 攪拌開始 94) 攪拌開始 95) 攪拌開始 96) 攪拌開始 97) 攪拌開始 98) 攪拌開始 99) 攪拌開始 100) 攪拌開始 101) 攪拌開始 102) 攪拌開始 103) 攪拌開始 104) 攪拌開始 105) 攪拌開始 106) 攪拌開始 107) 攪拌開始 108) 攪拌開始 109) 攪拌開始 110) 攪拌開始 111) 攪拌開始 112) 攪拌開始 113) 攪拌開始 114) 攪拌開始 115) 攪拌開始 116) 攪拌開始 117) 攪拌開始 118) 攪拌開始 119) 攪拌開始 120) 攪拌開始 121) 攪拌開始 122) 攪拌開始 123) 攪拌開始 124) 攪拌開始 125) 攪拌開始 126) 攪拌開始 127) 攪拌開始 128) 攪拌開始 129) 攪拌開始 130) 攪拌開始 131) 攪拌開始 132) 攪拌開始 133) 攪拌開始 134) 攪拌開始 135) 攪拌開始 136) 攪拌開始 137) 攪拌開始 138) 攪拌開始 139) 攪拌開始 140) 攪拌開始 141) 攪拌開始 142) 攪拌開始 143) 攪拌開始 144) 攪拌開始 145) 攪拌開始 146) 攪拌開始 147) 攪拌開始 148) 攪拌開始 149) 攪拌開始 150) 攪拌開始 151) 攪拌開始 152) 攪拌開始 153) 攪拌開始 154) 攪拌開始 155) 攪拌開始 156) 攪拌開始 157) 攪拌開始 158) 攪拌開始 159) 攪拌開始 160) 攪拌開始 161) 攪拌開始 162) 攪拌開始 163) 攪拌開始 164) 攪拌開始 165) 攪拌開始 166) 攪拌開始 167) 攪拌開始 168) 攪拌開始 169) 攪拌開始 170) 攪拌開始 171) 攪拌開始 172) 攪拌開始 173) 攪拌開始 174) 攪拌開始 175) 攪拌開始 176) 攪拌開始 177) 攪拌開始 178) 攪拌開始 179) 攪拌開始 180) 攪拌開始 181) 攪拌開始 182) 攪拌開始 183) 攪拌開始 184) 攪拌開始 185) 攪拌開始 186) 攪拌開始 187) 攪拌開始 188) 攪拌開始 189) 攪拌開始 190) 攪拌開始 191) 攪拌開始 192) 攪拌開始 193) 攪拌開始 194) 攪拌開始 195) 攪拌開始 196) 攪拌開始 197) 攪拌開始 198) 攪拌開始 199) 攪拌開始 200) 攪拌開始</p>							

図7 SQDC 工程管理表の例(可塑剤製造バッチプロセス)



6 化学プラントのリスク管理支援システムの開発

化学プラントを安全、安定に操業するためには、プラントに潜在するハザードの同定及びリスク評価を行い、評価結果に基づいて必要なリスク低減対策を検討、実施することが重要である。本研究では、化学プラントに対するリスクアセスメントとリスク低減対策立案の一元化を目的とし、HAZOPによる定性的評価とFTによる定量的評価を組み合わせたリスク評価及び表6に示す独立防御層（Independent Protection Layer：IPL）<sup>13)</sup>の概念に基づくリスク低減対策立案を支援するシステムを開発した<sup>5)</sup>。

表6 独立防御層の構成

IPL 番号	概要
1	本質安全設計
2	基本プロセス制御システム、プロセスアラーム
3	クリティカルアラーム、運転員介入操作
4	自動インターロックシステム（SIS）
5	物理的防御（安全弁等）
6	物理的防御（防液堤等）
7	事業所内の緊急対応計画
8	地域住民・公共設備への緊急対応

図8にリスク管理支援システムの概要を示す。HAZOP支援システム（HazopNavi®）により出力された解析結果（HAZOPログ）<sup>14)</sup>をFT作成、リスク評価及びリスク低減対策立案の基となるデータとして利用する。図9にHAZOPログの例を示す。FT作成のための準備からリスク低減対策立案までの一連の手順は大きく次の四つに分かれる。

（手順1）FTAシート準備

- ①HAZOPシナリオの整理
- ②現状の検知手段の有無とリスク低減対策の確認
- ③リスク低減対策の機能失敗の原因事象と故障率データなどの入力

（手順2）FT自動生成

- ①トップ事象の選定
- ②事象の展開

- ③複数のトリガー機器に対する故障形態からの異常伝播が存在する場合のFTの結合

④FTの表示

（手順3）リスク評価

- ①FTA実施（FTのトップ事象発生頻度の計算）

- ②リスクマトリクスによるリスク評価

（手順4）IPLの概念を用いたリスク低減対策検討

- ①現状のリスク低減対策の有効性確認

- ②追加リスク低減対策の検討

図10にリスク管理支援システムによる出力結果の例を示す。事象の左の数字はそれぞれの事象の発生頻度を表す。例えばトップ事象「T-01 暴走反応による破損」の発生頻度は5.14E-07（1/yr）であることを示している。図10中の右上はHAZOPによる求められたハザードの影響度（図10ではA～Dの4段階に分類）とFTのトップ事象発生頻度（L1～L6の6段階に分類）によるリスクマトリクスを示し、リスクレベルがIであることを示している。

以下に、リスク管理支援システムの特徴をまとめる。

● HAZOPとFTA実施のための情報共有

従来、HAZOPとFTAは別々に実施されていたが、HAZOP結果である異常伝播のシナリオと現状のリスク低減対策の確認及び追加のリスク低減対策の提案に対して、FT作成、定量的なFTA実行及びリスクマトリクスによるリスク評価の仕組みを加えることで、それぞれの解析結果の一元化を行い、HAZOPとFTAの特徴を有効に活用したリスク管理を支援する。

● 独立防御層の概念に基づくリスク低減対策立案

リスク低減対策として独立防御層の概念を導入することで、異常発生防止（IPL2）、事故・災害発生防止（IPL3～5）による体系化された安全設計が可能となる。

● リスク管理支援システム開発による効率化

FT作成、FTA、リスクマトリクスによるリスク評価をPC上で実行できる支援システムを開発した。これにより、様々な条件でのリスク低減対策の検討が容易に行える。

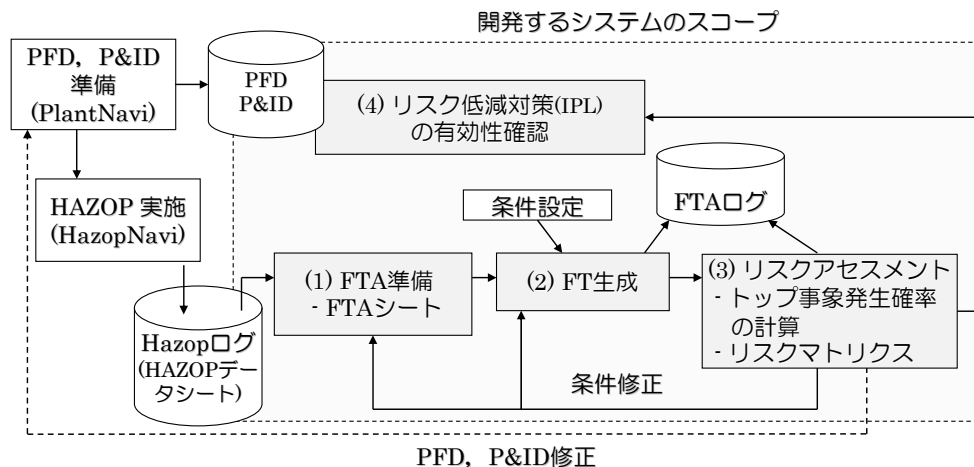


図8 リスク管理支援システムの概要（フローチャート）

No	トリガー機器	故障形態	検出可否	内部ズレ	ポートズレ	進展事象	SOEQ	影響度	ハザード	選別対策: (1)検知	選別対策: (2)間接ズレ検知	選別対策: (3)防備	選別対策: (4)運転対応	提案・追加検討
1	FrRC-02	比例制御不調	X:検知不可	流量増加(F↑)	流量増加(F↑)	T-01内の反応が活発化し暴走反応発生	S:Safety	D:プラントの大規模な損傷、人的損失を引き起こす	T-01暴走反応による破損		①TRA-03 ②TA-04			安全弁の必要性を検討する
2	CV-02	故障閉	P:パネル室可	流量なし(F0)	流量なし(F0)	T-01での脱硫反応不調	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	水添反応が行われず製品エチレンがオフスペック	①FrRC-02 ②TA-04 ③TRA-03			なし	
3	CV-14	故障閉	X:検知不可	流量なし(F0)	温度下降(T↓)	T-01での脱硫反応不調	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	水添反応が不十分で製品エチレンがオフスペック	①TRA-03 ②TA-04			スチーム調節弁の計器室での開度表示を検討する	
4	CV-14	故障閉	X:検知不可	流量なし(F0)	温度上昇(T↑)	T-01内の反応が活発化し暴走反応発生	S:Safety	D:プラントの大規模な損傷、人的損失を引き起こす	T-01暴走反応による破損	①TRA-03 ②TA-04			スチーム調節弁の計器室での開度表示を検討する	
5	CV-21	誤操作閉	X:検知不可	流量なし(F0)	流量なし(F0)	T-01原料なし	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	プロセス運転不調				なし	
6	CV-21	誤操作閉	X:検知不可	流量なし(F0)	流量なし(F0)	L-120原料なし、脱エタン塔の圧力上昇	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	脱エタン塔の保護装置で危険なし	①FA-01 ②FrRC-02			なし	
7	CV-22	誤操作閉	X:検知不可	流量なし(F0)、圧力上昇(P↑)	流量なし(F0)	上流側設備圧力上昇	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	上流側設備圧力上昇する。しかし、保護装置で危険なし				なし	
8	RV-01	内部リーク	X:検知不可	流量増加(F↑)	流量増加(F↑)	製品外部リーク	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	製品ロ				安全弁の必要性を検討する	
9	E-06_Shell	伝熱不良	P:パネル室可	温度下降(T↓)	温度下降(T↓)	T-01での脱硫反応不調	O:Operation	A:負傷者の発生はないが、運転操作上の問題を引き起こす	水添反応が不十分で製品エチレンがオフスペック	①TA-04 ②TRA-03			なし	

評価機器	内部ズレ	ポートズレ	検出可否	評価機器	内部ズレ	ポートズレ	検出可否	評価機器	内部ズレ	ポートズレ	検出可否	評価機器	内部ズレ	ポートズレ	検出可否
.....	T-01	温度上昇(T↑) 圧力上昇(P↑)	--	P:パネル室可											
.....	T-01	流量なし(F0)、 温度下降(T↓)	--	P:パネル室可											
.....	E-01_Shell	温度下降(T↓)	--	X:検知不可	E-01_Tube	温度下降(T↓)	--	V-04	温度下降(T↓)	温度下降(T↓)	X:検知不可	T-01	温度下降(T↓)	--	P:パネル室可
.....	E-01_Shell	温度上昇(T↑)	--	X:検知不可	E-01_Tube	温度上昇(T↑)	--	V-04	温度下降(T↓)	温度下降(T↓)	X:検知不可	T-01	温度上昇(T↑) 圧力上昇(P↑)	--	P:パネル室可
.....	T-01	流量なし(F0)	--	X:検知不可											
.....	E-01_Tube	流量なし(F0)	--	流量なし(F0)	E-06_Shell	流量なし(F0)	--	P:パネル室可	L-120	流量なし(F0)、 圧力上昇(P↑)	--	X:検知不可			
.....	T-01	流量なし(F0)、 圧力上昇(P↑)	--	X:検知不可											
.....	T-01	流量増加(F↑)	--	X:検知不可											
.....	E-01_Tube	温度下降(T↓)	--	温度下降(T↓)	T-01_body	温度下降(T↓)	--	--							

図9 HAZOPログ(HAZOPデータシート)の例

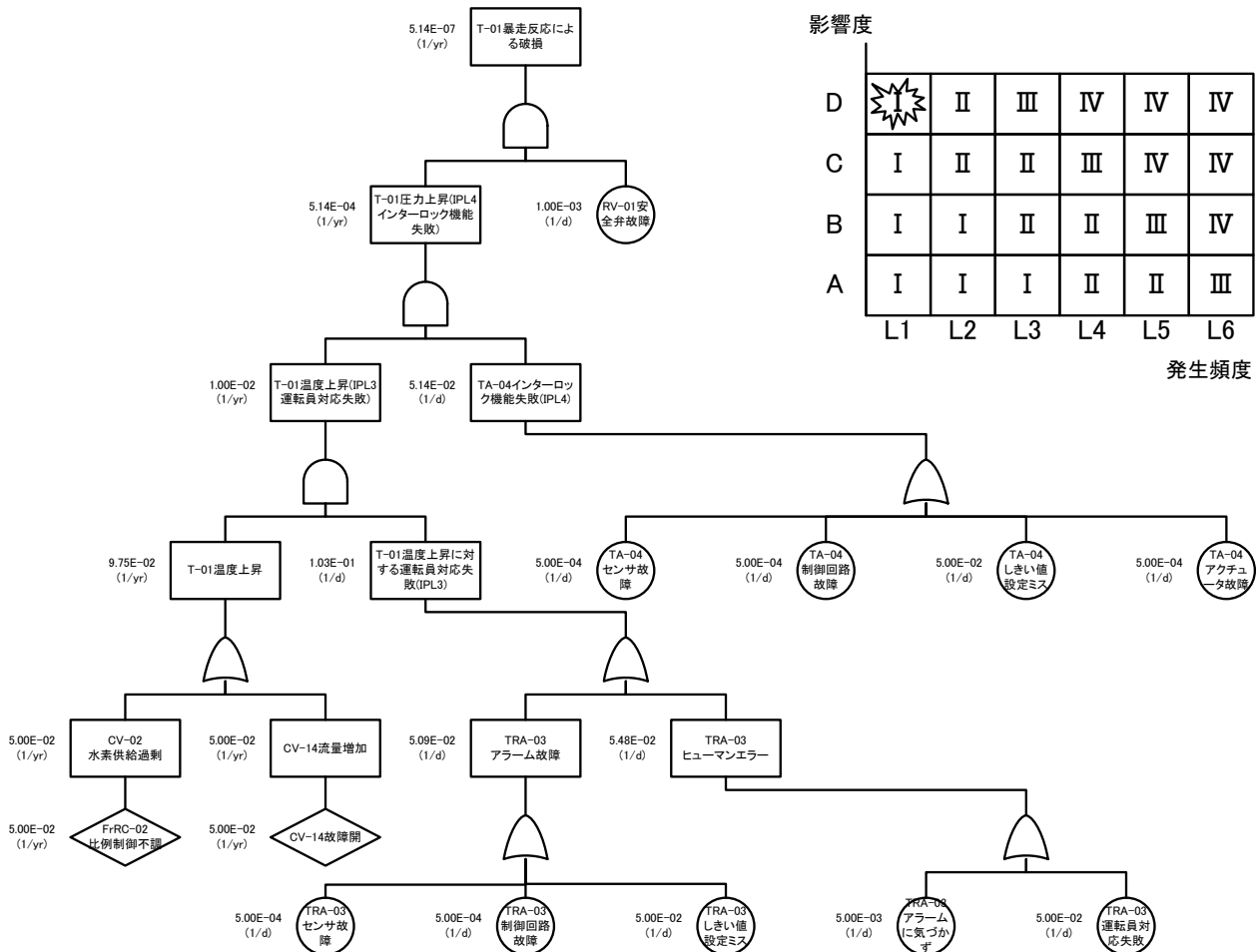


図10 リスク管理支援システムによる出力結果(出力画面)の例

● 複数の HAZOP シナリオに対する FT 作成

同一のハザードを持つ複数の HAZOP シナリオを同時に考慮した FT 作成についても、PC 内で同一の異常事象を同定する処理を行うことにより対応することができる。

● HAZOP と FTA の統合的活用による解析結果の充実  
HAZOP と FTA を併用することで一方の解析手法により気付かなかった異常事象が他方の解析結果で明らかにされる場合もある。

7 おわりに

本研究で設立した委員会における議論の根底にあったことは、「安全管理の基本は決められたことを決められた通りに実施すること」である。多くの事業場では、決められたことが明示的にされておらず、担当者（作業員）の経験に基づいて業務が実施されていることが多い。このため、何か不具合が発生した際にも過去の経験に照らし合わせた対応で安全が維持されている、または不具合状況に対応できず、異常発生、事故・災害発生に至っている。では、「決められたこと」とは何か？「決められた通りに実施する」とはどういうことか？これらの課題を解決するための基本要件として考えられたのが、「業務のすべての場面で PDCA サイクルを確実に実施すること」、「業務に必要な資源を確実に提供すること」である。提案した安全運転管理業務プロセスモデル、HSE 管理業務体系、現場レベルでの SQDC 工程管理表による安全管理業務の推進は、これらの基本要件を満たしている。つまり明示された目標（目的）に対して業務実施計画を定め（Plan）、基準類等に従って計画通りに業務を実施する（Do）とともに、業務実施結果を評価する（Check）。この時、何か不具合が発生した場合でもその対策を検討し、次の業務では改善する（Act）という業務の流れを確立している。さらに業務を実施するために必要となる人・モノ・情報・基準類などの資源を整備し、提供することで Plan, Do, Check, Act のそれぞれの業務を確実に実施できる仕組みとしている。このことは労働安全衛生マネジメントシステム（OSHMS）を仕組みとして構築するだけでなく、確実に運用することのできる環境を整備することで、事業場の安全管理が確立されていくことを意味しており、システムを構築・運用する側（事業場）だけでなく、システムの運用を審査する側（認定審査機構など）も共通に認識しておかなければならないことである。

本研究ではプロセス産業における安全管理（管理担当者レベルでは HSE 管理）を対象として仕組みの提案や具体例の整理を行ったが、製造業の他の多くの分野や建設業などにおいても共通に適用できる考え方であり、多くの事業場で参考にすることができる。

本稿で用いられる言葉の意味

HSE

次の3つからなる。

H : Health (労働衛生)

作業員への健康障害を取り除くための方策について検討することである。

S : Safety (「プロセス安全 (管理)」の項を参照)

E : Environment (環境影響対策)

通常、地球規模での環境影響を防ぐための対策の検討を含むが、本研究では主に事業場内外への環境影響対策についても含めて検討している。

IDEFO

業務プロセスモデルのための表現形式。業務 (Activity) の内容だけでなく、業務実施に必要な情報 (Input)、法規制、社会的要求などの制約 (Control)、業務実施のための人、モノ、ツールなど (Mechanism) と業務の結果 (Output) に分類し、これら情報の収集、整理の目的、情報伝達の間接関係を明示できる。

PDCA サイクル

事業活動における生産管理や品質管理などの管理業務を円滑に進めるマネジメントサイクルの一つ。Plan (計画) → Do (実施) → Check (評価) → Act (改善) の四段階を繰り返すことにより、業務を継続的に改善する。1950年、Demingにより提案された (Deming cycle または Shewhart cycle と呼ばれる)。

P&ID

Piping & Instrument (Flow) Diagram または Piping & Instrumentation Diagram (配管計装図)。

PFD

Process Flow Diagram (プロセスフロー図)

QC 工程図

品質管理 (Quality Control) を目的として工程を管理するために、何を作っているかについてプロセス順に記載し、各工程での管理・検査内容をまとめた図または表のこと。

SQDC 工程管理表

従来の QC 工程図に対して、SQDC (Safety, Quality, Delivery, Cost ; 安全・環境、品質、生産性・納期、原価・コスト) の観点からの管理項目 (作業) に拡張した工程管理表。

プラントライフサイクル

プロセスの研究・開発ステージから設計 (概念、基本、詳細)、建設・工事及び生産 (運転及び保全) までの各ステージをまとめたもの。

プロセス安全

危険物質を取扱うプロセス (プラント) における異常や火災、爆発、漏洩などの事故・災害の発生を防止するとともに、事故・災害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

含めて総合的に検討すること。化学物質の特性などだけに着目した「物質安全」とは区別している。

#### プロセス安全管理

従業員の管理、教育・訓練、プロセス安全情報の管理、プロセスハザード解析の実施、操作手順の文書化、緊急時対応計画、協力会社の管理、変更管理、事故調査、コンプライアンスなどの要素から成る総合的な安全管理のこと。

#### プロセス産業

主に化学、石油化学、石油精製、ファインケミカル、食品、製薬などの装置型製造業を対象としている。

#### 安全運転管理業務

化学プラントの運転業務のこと。本研究では、全ての業務が安全に関わっていることを強調するために「安全運転管理業務」としている。

#### 化学プラント

化学プラント、石油化学プラント、石油精製プラントなどを総称して「化学プラント」と呼ぶ。

#### 基準類

安全に関する法規則などに準拠した業務実施の基準となる管理基準、技術標準など。

#### 業務プロセス

特定のサービスまたはプロダクトを創り出す活動またはタスクの構造と関係の集合。

#### 業務フロー

「業務プロセスモデル」を参照し、企業独自の業務、情報などをそれぞれの用語に置き換えた事例。

#### 業務プロセスモデル

業務のあるべき姿を表した業務プロセスを明示的にモデル化したもの。

#### 資源提供

PDCA サイクルの各業務実施結果として出力された情報を収集し、一元管理するとともに、各業務実施に必要な資源を整理し、提供すること。

#### 生産業務

生産業務は建設されたプラント（設備）を用いて製品を製造するための運転業務とプラント（設備）の機能を維持するための保全業務からなる。

#### 参照モデル

様々な基本目標（目的）あるいはアイデアを具体化する際に参照となるよう汎用的に抽象化されたもの。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省, 労働安全衛生マネジメントシステム～効果的なシステムの実施に向けて～, [www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/ms\\_system.pdf](http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei14/dl/ms_system.pdf), 2006.
- 2) 仲勇治編著, 統合学入門, 工業調査会, 2006.
- 3) 化学工学会, (特集) 安全管理業務の見える化～問題解決へのアプローチ～, 化学工学, 74, 12, 2010: 676-708.
- 4) 島田行恭, 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安全資料, JNIOOSH-TD-No.1, 2011.
- 5) 島田行恭, 北島禎二, 凌元錦, 化学プラントのフォールトツリー自動解析とリスク低減対策立案, 第7回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR 2011), 2011.
- 6) 化学工学会安全部会, 安全管理の見える化～化学プラント安全管理のための業務フローモデルの提案～, テクニカルレポート No. 42. 2011.
- 7) Fuchino T, Shimada Y, Kitajima T, Takeda K, Batres R, Naka, Y. Business Process Model for Process Design being Conscious of Independent Protection Layer. Proceedings of 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering, ESCAPE-21, Chalkidiki (2011), Greece, A: 326-330.
- 8) Fuchino T, Shimada Y, Kitajima T, Naka Y. Management of Engineering Standards for Plant Maintenance based on Business Process Model. Proceedings of 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, ESCAPE-20, Ischia, 2010, Italy: 1363-1368.
- 9) 島田行恭, 北島禎二, 武田和宏, 瀧野哲郎, 仲勇治, 労働災害防止を目的とした化学プラント安全運転管理業務モデリングー運転管理業務のための参照モデルー, 労働安全衛生研究, 2, 2, 2009: 91-98.
- 10) Shimada Y., Kumasaki M., Kitajima T., Takeda K., Fuchino T., and Naka Y., Reference Model for Safety Conscious Production Management in Chemical Processes, 13th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, 1, 2010: 629-632.
- 11) NIST. Integration Definition for Function Modeling, Federal Information Processing Standards Publication, 183, National Institution of Standards and Technology, Available from: <http://www.itl.nist.gov/fipspubs/idef02.doc>. 1993.
- 12) 宗 裕二, 安孫子靖生, よくわかる QC 工程表の見方・使い方, 日刊工業新聞社, 2009.
- 13) AIChE/CCPS, Layer of Protection Analysis, 2001
- 14) K.Kawamura, Y.Naka, T.Fuchino, A.Aoyama and N.Takagi, HAZOP Support System and Its Use for Operation, Proceeding of 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, ESCAPE-18, 2008: 1003-1008