



現場保安力強化のための プラントアラームシステム再構築 —気づきを高める仕組みづくり—

星 川 道 夫 (日本エイアンドエル株式会社)

高 井 努 (アズビル株式会社)

化学プラントにおける重大事故原因の一つに現場保安力の問題が指摘されている。DCS (Distributed Control System) を基幹とする化学プラントの運転監視では、プラントアラームシステムの再構築により、異常時のアラーム洪水を防止し、オペレータが正確に状況を認識できるように個々のアラームについて優先度や閾値を適正化、また具体的にどのような対応操作をとるべきかを検討するアラームマネジメントが有効である。この取り組みは、個々のオペレータやエンジニアの知識の標準化・体系化と取り組みを通して生まれる密なコミュニケーションによりチーム全体の保安力の底上げと安全に貢献する。

キーワード：現場保安力、アラームマネジメント、アラームシステム、アラームフィロソフィー

はじめに

最近、日本の化学プラントで重大事故が連続して発生している。それらの事故調査報告書¹⁾²⁾³⁾によると、共通点として、緊急時や非常運転時において「気づかなかった」というキーワードと共に適切に対応する現場の能力（現場保安力）の問題が見えてくる。2012年10月、消防庁は、化学プラントにおける事故防止等の徹底について、「化学反応を伴う製造工程、自己反応により温度・圧力が上昇するおそれのある化学物質等について、これらを安全に制御するための条件を再確認し、従業者に周知徹底すること」、「異常が生じたかどうかの監視方法や判断指標（温度、圧力等）を再確認し、適切な運転管理を徹底すること」など五つの事項を通知している⁴⁾。また、経済産業省は、現場保安力維持向上の必要性を指摘、2013年に調査研究事業を立ち上げている⁵⁾。

DCS (Distributed Control System) 化の進ん

だ現代の化学プラントにおける現場保安力強化策として、アラームマネジメントによるプラントアラームシステムの再構築を提案する。プラントアラームシステムとは、プラントの状態を自動的にモニタリングし、プロセスの変調や異常または機器の故障など対応操作が求められる変化が生じた場合に、オペレータに知らせ、原因を特定するための情報を提供すると共に、対応操作を促すシステムである。欧米では同様の事故調査報告において、直接的な事故原因だけでなく、被害を拡大した要因として、オペレータに適切な状況認識（気づき、理解、判断）を与え、対応操作を促す安全防護層の役割を担うはずのプラントアラームシステムが適正に機能していないこと、言い換えるならば、貧弱なアラームマネジメントに問題があることを指摘しており⁶⁾、現場保安力向上の基盤強化の一途として、現場レベルでのアラームマネジメントへの取り組みとその手法の標準化を進めている。

本稿は、安全、安心なプラント操業を支える現場保安力の維持向上策としてプラントアラームシステムの再構築事例を紹介する。はじめに取り組み背景と成果について述べる。次に国際標準化が進むアラームマネジメントを概観する。続いて、アラームマネジメントで最も重要なアラームフィロソフィー開発および優先度、閾値の決定方法、最後に重要計器である計装エア圧力のアラーム閾値および対応操作に関する適正検証実験とオペレータ訓練事例を紹介する。

1. 現場保安力の維持向上

日本エイアンドエル（株）愛媛工場（以下、当工場と呼ぶ）は、新居浜地区石油コンビナート等特別防災区域内にあり、ABS樹脂及びSBRラテックスを主に製造している。1966年に操業を開始して以来、これまで大きな事故や災害もなく操業してきた。しかし、2007年問題など時代環境の大きな変化に伴い、ヒューマンファクターに関わるトラブル件数の内、DCS操作・監視ミスが占める割合が2006年から2010年にかけて、33%から57%に増大した⁷⁾。現場保安力の低下に危機感を抱いた当工場では、2010年10月より本格的なアラームマネジメントに着手、アブノーマルコンディションにおいて、オペレータの力量に対して適時性のある気づきの提供、その後の適正な状況判断および対応操作を導くための仕組みを構築、標準化した。また、その仕組みを定期的に見直し常に現場の今に合ったプラントアラームシステムであるためのマネジメント体制を整備した。

最適化されたアラームとそれに対応した操作手順を標準化したことで、オペレータのスキルに左右されない運転監視体制を実現、結果、2012年にはDCS操作・監視ミスによるトラブルの割合は25%まで減少し、確実に成果を挙げてきている（図1）。また、ベテランから若手へのノウハウ継承といった課題の解消にも繋がっ

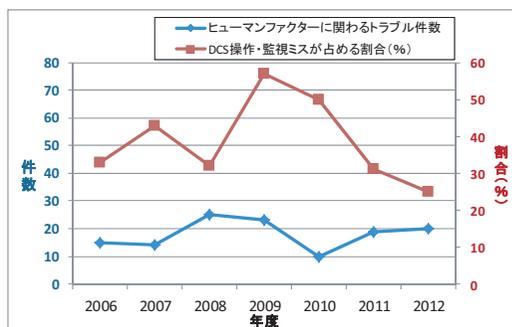


図1 ヒューマンファクターに関わるトラブル件数

た。さらに、運転監視用グラフィック画面も色使い、情報配置、振る舞い、欲しい情報にたどり着くまでの画面展開回数（ストローク回数）の最適化設計など全面的に見直し、気づきやすく、理解しやすくした結果、監視性の向上とオペレータのアラームレスポンスの質の向上を実現した。

2. アラームマネジメント

1990年代、米国と英国を中心にプラントアラームシステムに関する研究が活発化し、人ありきの製造現場において、アブノーマルコンディションにおける適切な状況認識と対応操作を促すための仕組みを整備し、安全、安心な操業を作り出す取り組みとして、アラームマネジメントが徐々に確立される。1999年に Engineering Equipment & Materials Users' Association (EEMUA) が発行した ALARM SYSTEMS - A Guide to Design, Management and Procurement (以下、EEMUA191と呼ぶ)⁸⁾は製造現場レベルでの取り組みを促進させた。2009年には International Society of Automation (ISA) がアラームマネジメントに関する米国標準規格 (以下、ANSI/ISA18.2-2009と呼ぶ)⁹⁾を発行、現在、この ANSI/ISA18.2-2009をベースとして International Electrotechnical Commission (IEC) が国際標準規格化を目指し準備している。

日本でも1990年頃から適切なアラーム機能の構築に着手しており、化学プラントの安全性、生産性に大きく貢献してきた¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、その方法論が現場にとけこみ（暗黙知化されており）伝授されにくいという問題を持つ。また一時的な取り組みが多く、継続されない傾向がある。一方、欧米のアラームマネジメントでは考え方や方法論を伝授しやすい形式で標準化・体系化するため、全体の底上げが進みやすい。また、決められた基準に沿って必要な機能や管理方法を明確にし、その内容を記録するといった文化が染みついており、実施すべき内容を多くの関係者に伝授しやすく、実施した内容も次世

代へと継承されやすい形になっている。さらに、実践を通じて、標準化・体系化されている考え方や方法論そのものが見直され、高いレベルで知識や知恵が蓄積されていくことが期待できる¹²⁾。この標準化や体系化といった欧米の優れた文化を多面的に分析し、取捨選択しながら組み込んでいくことは日本の化学プラントにとっても価値ある取り組みであるとする。

当工場では、EEMUA191の考え方を基にANSI/ISA18.2-2009のアラームマネジメントライフサイクル（図2）に沿って実施した。対象プラントアラームシステムの再構築前後でのアラーム設定状況を表1に示す。

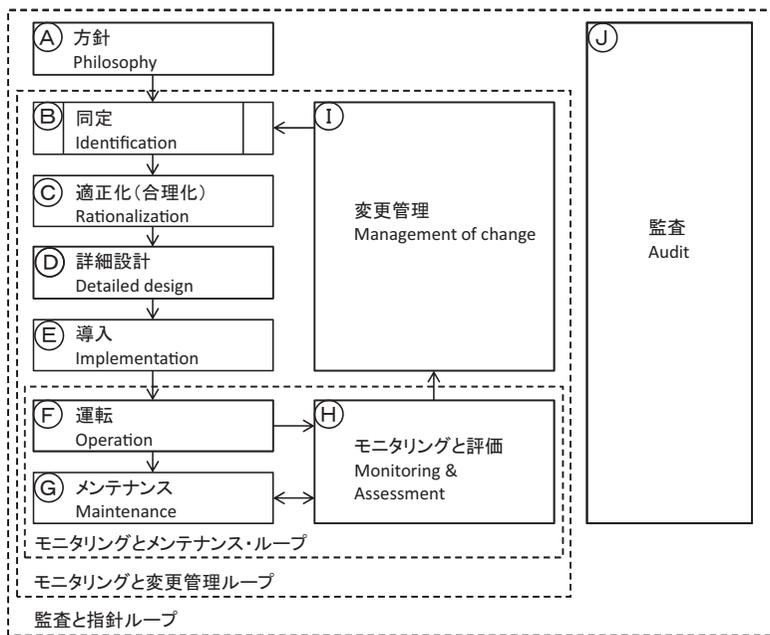


図2 アラームマネジメントライフサイクル⁹⁾

表1 プラントアラームシステム再設計前後でのアラーム設定状況

項目	再構築前 (2010/9現在)	再構築後 (2013/12現在)
1) アラーム設定数	398個 (A)	242個 (A-B+C)
2) 対応操作を伴わないアラーム数	181個	0個
3) 削除したアラーム数		181個 (B)
4) 追加したアラーム数		25個 (C)
5) アラーム優先度設定割合 基準値 Emergency(E) : High(H) : Low(L) = 5 : 15 : 80	0 : 100 : 0	8.7 : 15.5 : 75.8 ^{*1}

*1 対象プラントアラームシステムはアラームを設定した内部計器(Tag)毎の優先度設定となるため、242個のアラームを設定した161Tagを母数として計算した

はじめに (Introduction)	7. HMI設計指針 (HMI design principles)
改訂履歴表 (Table of revision records)	8. アラーム閾値の決定 (Alarm setpoint determination)
1. 適用範囲 (Scope)	9. アラーム優先度の決定 (Prioritization method)
2. アラームシステムの目的 (Purpose of alarm system)	9-1. 重要度評価
2-1. アラームシステムの役割	9-2. オペレータ対応時間
2-2. アラームシステムの管理視点	9-3. アラーム優先度の設定基準
3. 用語定義 (Definitions)	9-4. アラーム優先度分布
4. 参考文献 (References)	10. アラームシステム性能モニタリング
5. 職責 (Roles and responsibilities for alarm management)	(Alarm system performance monitoring)
5-1. アラームシステム責任者	10-1. 定期評価の実施
5-2. アラームシステムコーディネータ	10-2. 数量的適正評価
5-3. ボードオペレータ	10-3. オペレータアンケート
5-4. プロセスエンジニア	11. アラームシステムメンテナンス (Alarm system maintenance)
5-5. I&C (機器および制御) エンジニア	12. アラームのテスト (Testing of alarms)
5-6. アラームマネジメントライフサイクルとその責任者	13. アラームドキュメント (Alarm documentation)
6. アラーム設計指針 (Alarm design principles)	14. 変更管理 (Management of change)
6-1. 一般的な要件	15. トレーニング (Training)
6-2. 使用するアラーム	16. 監査 (Audit)
6-2-1. プロセスアラーム	16-1. 設計、変更手続きの監査
6-2-2. システムアラーム	16-2. 実運転上のアラーム設定値の監査および強制再設定
6-2-3. アナウンシエータ	17. アラーム履歴の保存 (Alarm history preservation)
6-2-4. メッセージ	
6-2-5. アナウンシエータパネル	
6-3. アラーム設計の流れ	
6-4. アラーム設計の見直し時期	
6-5. 絶対アラーム (PH/HHおよびPL/LL) の設計	

図3 アラームフィロソフィー記載項目

3. アラームフィロソフィー開発

アラームマネジメントにおいて最初に取り組むべき大切なステージがプラントアラームシステムの設計、開発、運用、保守、管理に関する方針を定めたアラームフィロソフィーの開発(図2-A)である。野田らは、日本の化学プラントを対象に2008年に実施したアンケート調査の結果、アラームシステムの設計指針が基準化・明文化されていると回答した事業所は全回答の22%と少なく、明文化はされていないが基準はあると回答した事業所を含めると全回答の72%の事業所で、何らかの指針や方向性に従ってアラームシステム設計、構築を実施していると報告している¹³⁾。しかし、逆に言うならば78%の事業所で明確な設計および管理基準が存在せず運用していると言える。ここに、前述の欧米のアラームマネジメントと日本の化学プラントにおける取り組みとの差があり、現場保安

力を維持向上する上での課題と考える。よって当工場では、最初にしっかりと設計および管理、運用基準を定めることで、その後アラームマネジメントライフサイクルを歪みなく円滑に回し続けられるようにした。図3は当工場のアラームフィロソフィーの記載事項である。

3-1. アラームシステムの目的

プラントアラームシステムは、人的被害(死亡や怪我など)、環境被害、経済的損失(機器の故障や生産ロスなど)の発生を未然に防ぐことを目的とする重要なオペレータインタフェースであり、プロセスの自動モニタリング、異常(変動や故障など)の検知、オペレータへそれらの異常を通知し、対応操作を促す役割を有すると定義した。また、プラントアラームシステムの管理視点として、Q(品質)、C(コスト)、D(納期)、E(環境)、S(安全、セキュリティ)を定めた。これは、安全アラーム、環境アラーム、

品質アラームなど、個々のアラームが持つ目的を明確にするためである。

3-2. アラーム設計の流れ

設計不備が発生しないように七つの手順を定めた。

① 目的を決める。(図2-B)

アラームを設定する目的を明文化する。またそのアラームが安全管理を目的とするS区分、環境管理を目的とするE区分、生産性管理を目的とするQ区分(品質)、C区分(コスト)、D区分(納期または量)のどれを目的とするものかを決定する(複数設定可)。

② 検出方法と対応操作を決める。(図2-B)

どのパラメータに対してどんな種類のアラームで検知するかを決める。オペレータによる対応操作を決める(対応操作が無い場合はアラームをつけてはならない)。

③ 優先度を決める。(図2-B)

重要度評価表とオペレータ対応時間から適切な優先度を決定する(3-3項参照)。

④ 重複アラームの有無を調べる。(図2-C)

すでに設定済みのアラームおよび新たに追加するその他のアラームと重複した目的または、現実的に同期してアラームが複数鳴ってしまうか否かを調べる。重複がある場合は、重複する他のアラームも含めて再検討を実施する。

⑤ 閾値を決める。(図2-B-D)

閾値を決定するにはオペレータの運転操作の力量や経験を考慮すること。また、プロセス

の応答速度を考慮すること(3-4項参照)。

⑥ (バッチプロセスのみ)バッチ工程別アラームを検討する。(図2-D)

バッチ工程別運転管理値を考慮して、各工程におけるアラームの閾値の見直しの必要性およびアラームの必要性を検討する。また変更が必要な場合にはシーケンス等を利用した変更方法を決定する。

⑦ 運転状態別アラームを検討する。(図2-D)

スタートアップ、シャットダウン、その他各種運転条件変更など運転状態が大きく変わる際のアラーム設定の見直しを実施する。

3-3. アラーム優先度の決定

アラーム優先度は、複数のアラームが同時期に発生した際に、オペレータが戸惑うことなく、優先度の高いアラームから順番に対応することでプラントの安全に貢献する考え方であり、処理優先度の高い順にEmergency (E)、High (H)、Low (L)の三つの段階がある。優先度の決定には、オペレータがアラームの重要性を適切に判断できるよう一定の基準で設定する必要がある。この基準は、発生したアラームに対し適切に対応できない場合のリスクの大きさ(表2)と、オペレータが対応するまでに許される時間で決定する(表3)。また、優先度設定割合は優先度の高い方から5%、15%、80%程度となるように設計すると定めた。これは1994年TEXACO製油所(英国Milford Haven)で起き

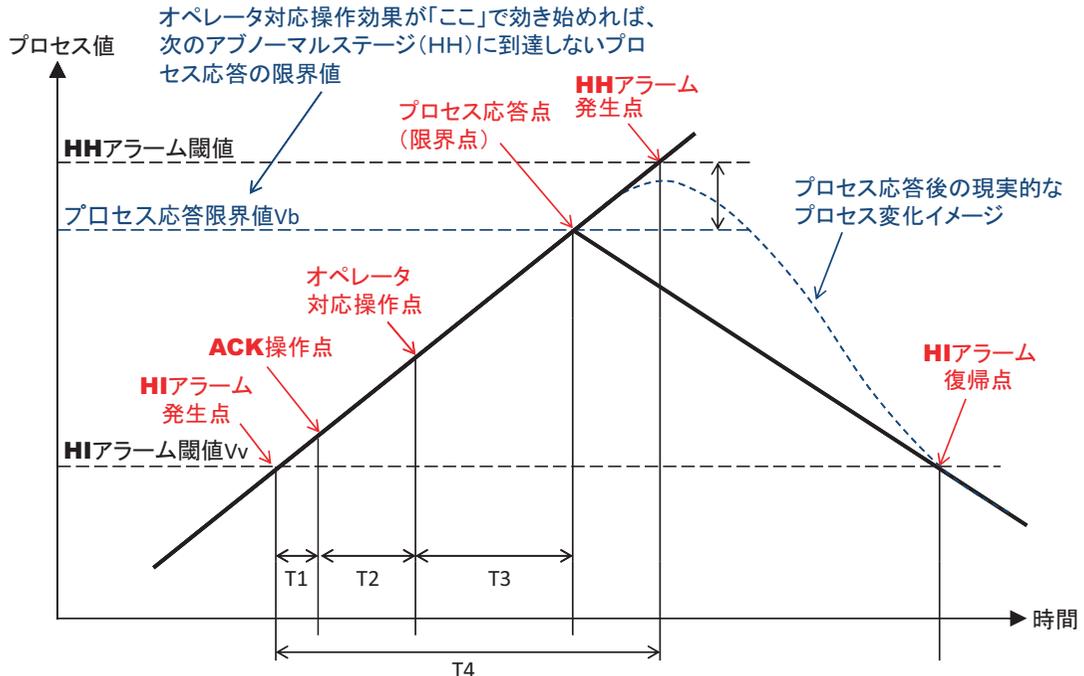
表2 重要度(影響度)評価表フォーマット

大分類	中分類	重要度(影響度)定義			
		なし	小	中	大
生産性(P)	品質(Q)	品質に影響なし			
	コスト(C)	金銭的損害なし			
	納期(D)	納期/生産遅延なし			
環境性(E)		危険性/有害性のある漏洩/放出なし			
安全性(S)	人的被害	人的被害なし			
	爆発、火災	爆発、火災なし			

製造現場/組織毎に各分類に対して重要度(大、中、小)の状態をできる限り具体的に定性的または定量的に定義する。

表3 アラーム優先度決定表

オペレータ 対応時間	影響度(重要度)			
	なし	小	中	大
20分>	アラームなし	Low (L)	Low (L)	High (H)
10分>	アラームなし	Low (L)	High (H)	Emergency (E)
5分>	アラームなし	High (H)	Emergency (E)	Emergency (E)



- T1 ACK遅れ時間(気づき時間)
- T2 オペレータ対応遅れ時間(状況確認, 調査→未来予測→意思決定に要する時間)
- T3 プロセス応答時間
- T4 アブノーマルステージ進行時間(次の異常ステージに到達するまでの時間)

図4 アラーム閾値の考え方

た爆発事故¹⁴⁾からの教訓であり、重大なアラームが他のアラームの中で見逃されないようにするためである。

3-4. アラーム閾値の決定

アラーム閾値の決定は厳密に行う必要がある。閾値決定で重要な点は次の二つである。一つ目は、リスクの高い方から決定することである。例えば、圧力容器の設計限界値は明らかである。よって、その限界値を基準として、緊急シャットダウン起動値→HHアラーム閾値→HIアラーム閾値の順位に決定する。二つ目は、

オペレータの力量、経験を考慮して決定することである。例えば、運転班の平均値よりも少し低めのオペレータレベルに合わせるとよい。決して何々の何パーセントの値としない。プロセス変動およびオペレータの力量を考慮した上で早すぎず、遅すぎず、適時性をもってベストな対応操作を引き出せるようにする。

図4は、HHアラーム閾値が既に決定している際に、HIアラーム閾値を決定する時の考え方を表したものである。手順は次の通りである。

- ① HI アラームの設定目的（何のため）を明確にする。
- ② HI アラーム時のオペレータ対応操作（何をする）を明確にする。
- ③ プロセスダイナミクスを想定する。
- ④ ③を考慮した上で、次なるアブノーマルステージ（HH アラーム閾値）の手前にプロセス応答限界値 V_b を決める。
- ⑤ ③を考慮した上で、プロセス応答時間 T_3 を決める。
- ⑥ オペレータの力量、経験を考慮した上で、アラームに気づいてから対応操作を実施するまでのオペレータ対応時間 T_2 を決める。
- ⑦ オペレータの力量、経験および普段のオペレータ業務負荷等を考慮した上で、アラームが発生してからオペレータが ACK 操作をするまでの ACK 遅れ時間 T_1 を決める。
- ⑧ ③を考慮した上で、 V_b から $T_1 + T_2 + T_3$ 時間前のプロセス値 V_v を決める。
- ⑨ プロセス値 V_v で HI アラームが発生させた時に、オペレータが対応操作を実行するまでの状況確認や意思決定を行う上で判断可能な状況になっていると想定できるかを判断し、問題なければ、 V_v を HI アラーム閾値とする。

4. アラーム閾値の適正検証実験

ここでは、アラームフィロソフィーに定める方法で机上にて設計されたアラームの実運転前

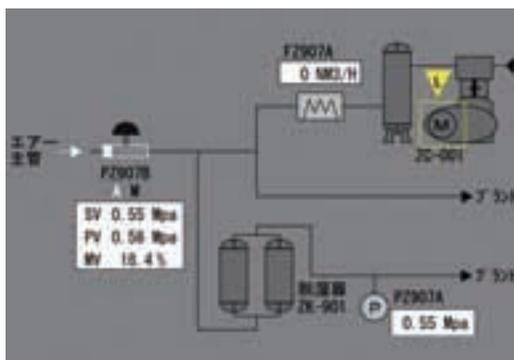


図5 設備概要

の適正検証実験について、Emergency アラームの一つで、当工場連続重合プラントに供給される計装エアの圧力を指示する内部計器 PZ907A の事例を紹介する。PZ907A に関する設備概要を図5に示す。

PZ907A の LO アラーム閾値は、机上設計時に以前の0.50MPa から0.45MPa に変更された。計装エアは、自動弁や各種調節弁などで使用しており、この圧力が低下するとプラントの制御が不能となり、暴走反応などの重大事故に繋がる可能性が極めて高い。エア主管より供給されたエアは脱湿器 ZK-901 を通り計装エアとしてプラントに供給されるが、何らかのトラブルで、エア主管よりエア供給が途絶え PZ907A の LO アラームが発生した場合、非常用エアコンプレッサーである ZC-001 をオペレータが現場で手動起動する必要がある。なお、ZC-001 を起動できず、エア圧力が 0.40MPa 未満になると自動的にエアポンペラインに切替わり、約15分間だけエア圧力を 0.40MPa 以上に保持できる。その間にオペレータは手順書に沿って緊急シャットダウンを実施する。

PZ907A の下限側緊急シャットダウン起動値 0.40MPa と LO アラーム閾値 0.45MPa が適正値であるか検証するため、プラントがシャットダウン中に主管エア圧力調節弁 PZ907B を全閉にして、一時的にエア供給を停止させる実験を行なった（図6）。

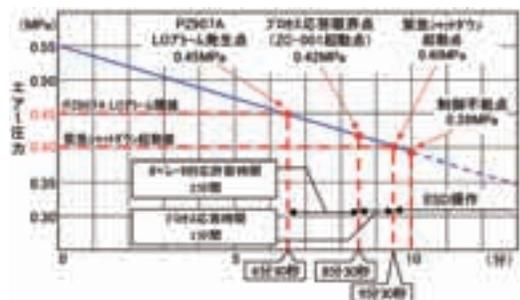


図6 PZ907A エア圧力低下トレンド

● PZ907A は実験開始から10分後に0.55MPa から0.39MPa まで圧力が低下し、プラント内の重要弁5台の内の1台がフェールセーフ側のバルブアクションを始め、計装機器の制御が不能となった。この結果、緊急シャットダウン起動値は0.40MPa が適正值であると確認した。

● ZC-001の起動後、PZ907A が0.40MPa まで昇圧するのに約1分かかることを確認した。また、LO アラーム発生から緊急シャットダウン起動値到達までの時間が3分であることを確認した。この結果、LO アラーム発生後、現場に行って ZC-001を起動するまでのオペレータに許される時間は2分以内であることがわかる。

この実験結果を踏まえ、適正な LO アラーム閾値の再検討を実施した。焦点は LO アラーム発生から2分以内に ZC-001を起動できるかである。関係者で協議した結果は以下の通りである。

- ① オペレータが計器室内でプラントアラームシステムから一番遠い分析室で作業している場合、アラームに気づきプラントアラームシステム前へ移動し、アラーム内容を確認、関連グラフィックを展開して、状況理解と対応操作を判断するまでの時間を30秒。
- ② 次に保護具を着用し、計器室から60m 離れた

た ZC-001に移動する時間を30秒。

- ③ ZC-001起動前準備として8個の弁を操作して冷却水を通水、ZC-001を起動するまでの時間を60秒。

以上の①～③を合計すると2分となり、スムーズに対応操作ができてギリギリの時間であった。よって、PZ907A の LO アラーム閾値を0.45MPa から0.47MPa に変更し、オペレータ対応許容時間を1分増やして、3分間とすることにした。

5. アラーム対応操作時間の適正検証実験とオペレータ訓練

プラント運転シミュレータを使用し PZ907A の LO アラーム発生時の対応操作時間の適正検証実験を、オペレータ訓練を兼ねて実施した(図7、8)。当工場製造部では4直3交替制の勤務形態を取っている。この適正検証実験は、各班から運転経験年数の異なる2名のオペレータに参加してもらい実施した。結果を表4に示す。

この結果、いずれのオペレータも当初想定していた2分以内に対応操作を完了したが時間的な余裕はなかった。天候等も考慮した場合、3分間のオペレータ対応許容時間を見込める0.47MPa が適正值であると判定した。また、定常、非定常運転期間を含む過去3ヶ月間の



図7 アラーム対応操作訓練 (DCS)



図8 アラーム対応操作訓練 (現場機器)

表4 アラーム対応操作訓練結果

所属	オペレータ	運転経験年数	必要時間(秒)			
			①	②	③	合計
A班	A1	6	21	30	53	104
	A2	3	17	28	67	112
B班	B1	10	20	26	59	105
	B2	3	19	23	70	112
C班	C1	8	20	35	55	110
	C2	2	20	30	67	117
D班	D1	5	21	34	58	113
	D2	8	19	35	43	97
平均値			19.6	30.1	59.0	108.8
適正值(協議検討結果)			30	30	60	120

- 備考: ① LOアラーム発生から対応操作判断(意思決定)までの時間
 ② 現場ZC-001までの移動時間
 ③ 現場到着後、ZC-001起動操作までの時間

PZ907A の測定値を調べた結果、0.51～0.56MPaの間で変動しており、0.47MPaを閾値とすることで問題ないことも確認した。更に訓練結果を解析すると、LOアラーム発生から対応操作の判断までの時間(①)には、経験年数の違いによる差は少なく、アラームマネジメントにより確実に気づき、対応操作を判断できるインターフェイスに仕上がっていることが確認できた。なお、現場到着後、ZC-001起動までの時間(③)は、経験年数が高い方が短く、差がでた。この点については適正検証実験後の反省会で、「ZC-001を起動する準備作業で8個の弁(冷却水入口弁3個と払弁5個)を操作しているが、冷却水の入口と出口に大元弁を各1個設置し、冷却水入口弁3個は全開、払弁5個は全閉にしておけば、起動時に冷却水入口出口の大元弁2個を操作(全開)するだけでよく、簡素化により操作時間の個人差を小さくでき、時短できる」との改善案がオペレータから提案された。その他、「PZ907AのLOアラームが発生する前にエアー主管圧力が低下すれば、

PZ907Bを0.55MPaで自動制御しているため調節弁の弁開度が全開になり、PZ907BのHIアラームがPZ907AのLOアラームより先に発生するため、より早く異常に気づけ、時間的余裕をもって適切な対応を実施できる」など活発な意見交換があり、安全操業に対する強い責任感とチームオペレーション体制の重要性を確認できた。

おわりに

本稿は、EEMUA191ならびにANSI/ISA18.2-2009に準拠した本格的なアラームマネジメント手法によるプラントアラームシステムの再構築事例を紹介した。プラント建設当初の人員が退職し、世代交代を果たした現在の製造現場では、安全かつ環境に配慮した上で生産的であるための運転管理手法を、現在のオペレータ、そしてエンジニアの目線で再度見つめ直し、オペレータの気づきを高める仕組みとして、また判断を的確にする仕組みとして、プラントアラームシステムを再構築することが現場

保安力の向上ならびに強固なチームオペレーションを維持向上すると考える。当工場では、現在すべてのプラントでアラームマネジメントを展開し、プラントアラームシステムの再構築による現場保安力強化に着手している。またエアコンプレッサーや非常用発電機などの重要機器は、月に1度作動確認を兼ねて異常時を想定した起動操作演習を実施し、対応操作を含むプラントアラームシステムのマネジメントを実施している。

アラームマネジメントの標準化を進める欧米でも具体的にアラームフィロソフィーやアラーム閾値の決定方法などを紹介する文献は少ない。本稿が今後の化学プラントにおけるプラントアラームシステム改善に役立つこと、また現場保安力の維持向上の礎となり、安全安心なプラント操業に貢献できれば幸いである。悲惨な事故が再び繰り返さぬことを切に願う。

参考文献

- 1) 東ソー株式会社南陽事業所第二塩化ビニルモノマー製造施設爆発火災事故調査対策委員会、南陽事業所第二塩化ビニルモノマー製造施設爆発火災事故調査対策委員会報告書、2012、<http://www.tosoh.co.jp/news/pdfs/20120613001.pdf>
- 2) 三井化学株式会社岩国大竹工場レゾルシン製造施設事故調査委員会、三井化学株式会社岩国大竹工場レゾルシン製造施設爆発火災事故報告書、2012、<http://jp.mitsuichem.com/release/2013/pdf/130123.pdf>
- 3) 株式会社日本触媒事故調査委員会、株式会社日本触媒姫路製造所アクリル酸製造施設爆発・火災事故調査報告書、2013、http://www.shokubai.co.jp/ja/news/file.cgi?file=file1_0111.pdf
- 4) 消防庁危険物保安室長、消防庁特殊災害室長、

「化学プラントにおける事故防止等の徹底について」、消防危第220号、消防特第195号、2012

- 5) 経済産業省、現場保安力向上基盤強化に関する調査研究 0.2億円(新規)、http://www.meti.go.jp/main/yosan2013/pr/pdf/ene_syoho_01.phd
- 6) Occupational Safety & Health Administration, 09/22/2005-OSHA Fines BP Products North America More Than \$21 Million Following Texas City Explosion, OSHA News Release, 2005
- 7) 星川道夫、「Alarm Management 導入事例 ヒューマンファクターとグローバル化への対応」、ISA 日本支部ニューズレター、Vol.16 No.40, 2012
- 8) Engineering Equipment & materials Users' Association, ALARM SYSTEMS-A Guide to Design, Management and Procurement, EEMUA Publication No.191, 1999 (2nd Edition, 2007)
- 9) International Society of Automation, Management of Alarm Systems for the Process Industries, ANSI/IAS-18.2-2009, ISA, 2009
- 10) 佐山隼敏監修、三菱化学水島事業所、続・工場少人数化の進め方-さよなら「ムダ作業」、JIPM ソリューション、1999
- 11) 出光興産、出光のTPM -全員参加の製油所経営、JIPM ソリューション、1994
- 12) 高井努、「化学プラントにおけるアラームマネジメントの動向」、ヒューマンファクターズ、Vol. 12 No.1,2007
- 13) 野田賢ら、日本初のプラントアラームマネジメント手法の確立、ヒューマンファクターズ、Vol. 13 No.2,2010
- 14) Health & Safety Executive, The Explosion and Fires at the Texaco Refinery, Milford Haven, 24 July 1994