

博士論文

運転ログデータに基づいた  
プラントアラームシステムの適正化

樋口 文孝

2011年2月17日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論分は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

樋口 文孝

審査委員：

西谷 紘一	教授	(主指導教員)
松本 健一	教授	(副指導教員)
野田 賢	准教授	(副指導教員)

**Doctoral Dissertation**

**Rationalization of Plant Alarm Systems**

**Based on Plant Logging Data**

**Fumitaka Higuchi**

February 17, 2011

Department of Information Systems  
Graduate School of Information Science  
Nara Institute of Science and Technology

A Doctoral Dissertation  
submitted to the Graduate School of Information Science,  
Nara Institute of Science and Technology  
in partial fulfillment of the requirements for the degree of  
Doctor of Engineering.

Thesis Committee:

Professor Hirokazu Nishitani	(Supervisor)
Professor Kenichi Matsumoto	(Co-supervisor)
Associate Professor Masaru Noda	(Co-supervisor)

# 運転ログデータに基づいた プラントアラームシステムの適正化\*

樋口 文孝

## 内容梗概

プラントアラームシステムは、オペレータがプラントの異常を早期に検知し、正確な異常診断を行い、適正な対応操作を実施するための重要なインタフェースである。監視変数ごとに、安全、品質、コストなどの目的に応じて異なる管理範囲が定められ、これらの範囲を逸脱したときアラームシステムは警報を出しオペレータに注意を喚起する。不適切なアラームシステムはアラームの洪水や迷惑アラームを引き起こし、オペレータの誤判断や重要アラームの見落としを招く。本論文では、最初にアラームシステム適正度を八つの観点から定量的に評価するためのアンケート法を提案した。このアンケートを大型化学プラントであるエチレンプラントの現役オペレータを対象に実施した結果、オペレータの運転経験の違いによってアラームシステムの評価結果が異なることが明らかになった。つぎに、個々のアラームや操作の発生頻度ランキングに基づいて不要なイベントを見つける「トップ10アプローチ」を実プラントの運転ログデータに適用した。その結果、アラーム削減が進んだプラントでは上位にランクされるアラームや操作イベントの割合が小さく、アラームの削減効率が低いことを示した。さらに、プラントログデータから不要アラームや不要な操作を抽出する方法であるイベント相関解析をエチレンプラントの実データに適用した

結果、イベントデータを関連するイベント群にグループ化することによって、膨大なログデータから意味のある情報、例えば連鎖アラーム、ルーティン操作を見つけることによって、不要アラームや削減可能な操作を抽出できることを確認した。本論文の提案手法は、シンプルな手法であるため現場のエンジニアが使いやすい。今後、さまざまな化学プラントへの適用が進み、プラントアラームシステムの適正化に役立つことが期待される。

## キーワード

アラームシステム, イベント相関解析, エチレン装置, トップ10アプローチ, アラーム削減

---

\*奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報システム学専攻学位論文, NAIST-IS-DD0861016, 2011年2月17日.

# **Rationalization of Plant Alarm Systems Based on Plant Logging Data\***

Fumitaka Higuchi

## **Abstract**

Alarm systems are very important for automatically monitoring plant conditions and attracting the attention of plant operators to significant changes that require assessment or action. Alarms are annunciated to the operator when a process measurement passes a defined alarm setting as it approaches a potentially unsafe value. A poorly designed alarm system causes nuisance alarms, standing alarms, and alarm flooding and can even result in incidents or accidents. First, a new questionnaire method is proposed for evaluating an alarm system by considering eight characteristics of a good alarm, namely that it be relevant, unique, timely, prioritized, understandable, diagnostic, advisory, and focusing. A questionnaire was issued to plant operators of an ethylene plant. It was observed that evaluation results changed according to the operation experience of the operators. Next, a “top ten” approach was applied to plant logging data. When the ratio of each alarm on the top ten worst alarm list was very small, it became difficult to achieve any further effective improvement. Finally, an event correlation analysis was performed on alarm data at an Idemitsu Kosan ethylene plant in Japan to reduce the number of plant alarms. This data mining method detects statistical similarities among discrete occurrences of alarms or operations. By grouping correlated events on the basis of the degree of similarity, a policy for reducing alarms can be designed more easily than by analyzing individual alarms and operations. By using an event

correlation analysis, the event data of alarms and the operations of the ethylene plant were divided into a limited number of groups. The results of the analysis were helpful for identifying unnecessary alarms, such as sequential alarms, buried in a lot of noisy plant data. This data mining method is useful for reducing the number of alarms.

**Keywords:**

Alarm system, event correlation analysis, ethylene plant, top 10 approach, alarm reduction

---

. \*Doctoral Dissertation, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0861016, February 17, 2011.



## 目次

1. 序論	1
1.1 独立防護階層とプラントアラームシステム	1
1.2 欧米におけるアラームマネジメントへの取組み状況	7
1.3 国内のアラームマネジメントへの取組み状況	13
1.4 アラーム削減アプローチ	15
1.5 研究目的	16
2. アンケートによるアラームシステムの 8 特性評価	17
2.1 はじめに	17
2.2 アラーム 8 特性	18
2.3 アンケート手順と調査結果	20
2.3.1 8 特性評価対象設問のアラーム特性区分付け	20
2.3.2 設問回答の 4 段階評価化	23
2.3.3 設問の狙い	24
2.4 実プラントのオペレータに対するアンケート調査	28
2.4.1 エチレンプラントの概要	28
2.4.2 エチレンプラントのアラームシステム	29
2.4.3 アンケート手順と調査結果	31
2.5 アンケート数値の有意性確認	36
2.6 まとめ	37
3. トップ 10 アプローチによるアラーム削減	39
3.1 トップ 10 アプローチ	39

3.2 アラーム削減法	42
3.2.1 アラーム設定値変更	42
3.2.2 PID パラメータチューニング	43
3.2.3 運転支援システムの活用	43
3.2.4 新制御法の適用	44
3.2.5 アラームの高度化	45
3.2.5.1 マクロアラームの適用	45
3.3 実プラントへの適用結果	47
3.4 まとめ	48
4. イベント相関解析によるアラーム削減	50
4.1 イベント相関解析法	50
4.2 イベント相関解析による不要イベントの抽出	54
4.3 まとめ	54
5. イベント相関解析のエチレンプラントへの適用	55
5.1 解析対象のイベントデータ	55
5.2 解析結果と考察	56
5.3 アラーム削減の実施	61
5.4 まとめ	62
6. 結論	63
謝辞	66
参考文献	67

Appendix	70
Appendix-A DCS アラームに関するアンケート	70
Appendix-B イベントログ集計ツール	83
研究業績	86

## 目次

図 1-1 独立防護階層(Independent Protection Layer)	1
図 1-2 監視変数に対するアラーム設定	3
図 1-3 DCS 計装	4
図 1-4 パネル計装	5
図 1-5 オペレーター一人当たりのアラーム設定数の推移	5
図 1-6 エチレンプラント緊急停止時のアラーム洪水	6
図 1-7 製造事業所事故の原因別件数	7
図 1-8 アラームマネジメントライフサイクル	8
図 1-9 DCS アラーム／操作回数削減の評価指標	14
図 1-10 アラーム削減活動アンケート結果(2008 年 10 月)	15
図 2-1 エチレンプラントのプロセスフロー	28
図 2-2 アラームシステムの 8 特性評価結果	33
図 2-3 運転経験年数別アラームシステム性能評価結果	35
図 2-4 エチレン課平均値と HSE 調査平均値比較	36
図 2-5 E12 プラントのアラーム削減取組前後のアンケート結果	37
図 3-1 トップ 10 アプローチの流れ	40
図 3-2 運転支援システム	44
図 3-3 制御系の適用基準	45
図 3-4 蒸留塔マクロアラームロジックの例	46
図 3-5 出光興産プラントにおけるアラーム発生状況(2006 年)	47
図 3-6 エチレンプラントのアラーム発生件数推移	48
図 3-7 エチレンプラントのアラームトップ 10 占有率(2008 年 11 月)	48
図 3-8 E12 プラントのアラームと操作の発生状況	49

図 4-1 イベントログデータのバイナリーデータへの変換	52
図 4-2 相互相関関数	52
図 4-3 類似度の定義	53
図 4-4 類似度に基づくクラスタリング	53
図 5-1 エチレンプラントのアラームと操作の発生状況	55
図 5-2 最上位グループの操作数とデコーキング操作	59
図 5-3 6位グループのイベント内訳	62

## 表目次

表 1-1 独立防護階層とリスク低減策	2
表 1-2 平均アラーム発生頻度評価のためのベンチマーク	10
表 1-3 異常発生後のアラーム発生回数ガイドライン	10
表 1-4 アラームシステム適正化のための 7 ステップアプローチ	11
表 1-5 アラームシステムの性能評価指標	12
表 2-1 アンケート項目と評価特性の関係	22
表 2-2 エチレンプラントのユニット名	29
表 2-3 エチレンプラントの重要度分類	30
表 2-4 DCS アラームの種別の例	31
表 3-1 アラームのトップ 10 解析	41
表 5-1 上位 10 位のアラームと操作	56
表 5-2 トップ 10 ワーストグループリスト	57
表 5-3 ワーストグループの内訳	58

## 1. 序論

### 1.1 独立防護階層とプラントアラームシステム

化学プラントで取り扱われる物質の漏洩や爆発等がプラント内外の人間や環境に与える影響は非常に大きく、プラントの設計段階から廃棄に至るまでのすべてのライフサイクルにおいてこれらのリスクを総合的に低減する必要がある。このような化学プラントの体系的なリスク低減手法として、図 1-1 に示す独立防護階層 (Independent protection layer : 以下 IPL) がある<sup>(7)(8)</sup>。IPL の設計では、プラントの物理化学特性、機械設備要素、制御やオペレータ操作などに基づき、表 1-1 に示す種々のリスク低減方策のための防護層を階層的に構築する。これらの防護層は各々独立に機能し、仮に低いレベルの防護層が危険事象の影響拡大の阻止に失敗しても、より高い層の効果に全く影響を及ぼさない。この独立性は化学プラントのリスク評価を簡便にする。

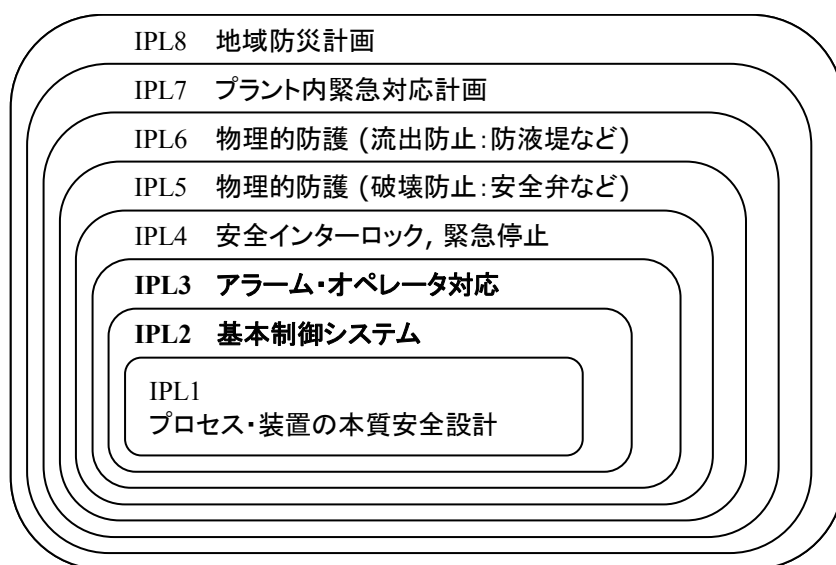


図 1-1 独立防護階層(Independent Protection Layer)

表 1-1 独立防護階層とリスク低減策

階 層	名 称	リスク低減策
第 1 層	プロセス設計	プロセス設計における本質安全の領域。同じ目的のプロセスでも、温度や圧力をより下げられないか、危険物の滞留量を最小化できないか、といった検討を行う。
第 2 層	基本プロセス制御システム (BPCS)	分散型制御システム (DCS) など、通常運転時のプラント監視を主目的とするシステム。BPCS は、プロセス値が設定値から逸脱した際に警報を発し、オペレータの介入を要求する。
第 3 層	BPCS が発する警報と区別された「重要警報」	オペレータの介入のために必要な時間的余裕がある場合に適用される。
第 4 層	自動安全計装システム / 緊急停止装置	計装による安全インターロックシステム (SIS) や緊急停止装置などにより、自動的にプラントを安全に停止させる。
第 5 層	物理的防御 (安全弁)	圧力逃がし弁などの加圧防御システム
第 6 層	物理的防御 (防液堤)	液体の漏洩を局所化するための防液堤など
第 7 層	プラント内緊急対応計画	事業所内の緊急時対応計画

プラントアラームシステムは、オペレータがプラントの異常を早期に検知し、正確な異常診断を行い、適正な対応操作を実施するための重要なインタフェースである。図 1-2 に示すように監視変数ごとに、安全、品質、コストなどの目的に応じて異なる管理範囲が定められ、これらの範囲を逸脱したときアラームシステムは警報を出しオペレータに注意を喚起する。アラームが発生すれば、オペレータはその原



因を見出し、ただちに適切な対応策を見つけ出してアクションを起こし、管理限界値から逸脱した部分を正常に復帰させなければならない。アラームへのオペレータ対応が遅れると、保安問題、品質問題、設備トラブル、生産ロスが発生する恐れがある。

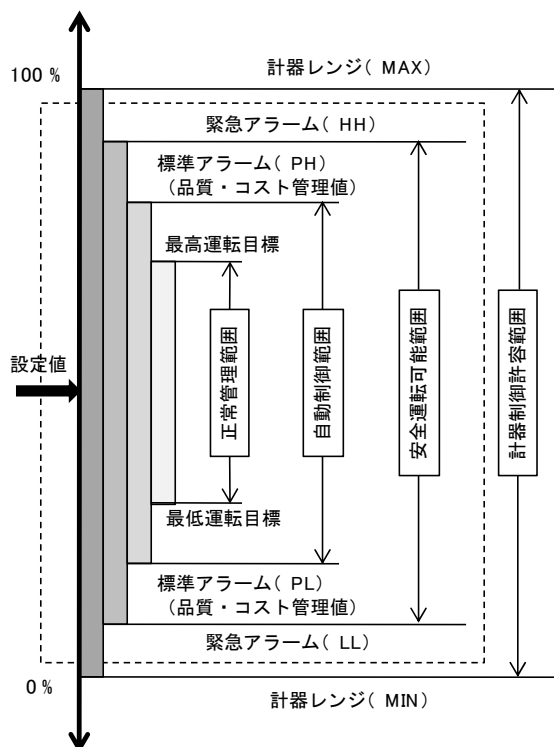


図 1-2 監視変数に対するアラーム設定

プラント運転は、コンピュータ技術の進展により 1980 年代初めに図 1-3 の DCS(Distributed Control System)が導入されるまで、図 1-4 に示すようなパネル計装で行われていた。パネル計装では、すべての計器を一覧しながら運転できるが、DCS では、プラント全体を分割表示した個別画面で運転を行う。一人のオペレータが使用する個別画面表示用のモニターは数台であるため、常時プラント全体を監視することはできない。したがって、DCS による運転では、アラーム発報後に、発報アラームに関連する個別画面を表示してプラント状態を確認するというようなアラームドリブン型の運転が主流となった。パネル計装では、アラーム設置に機器コストがかかるため、必須箇所のみアラームを設置していた。例えば、反応器温度の上昇

など、プロセスを安全に運転管理する上で必須と考えられる運転管理条件に対してのみ、アラームが設定されていた。ところが、DCSではアラームが全ての計器に標準装備されるようになり、ソフト的に追加コストなくアラームを設定できるため、アラームの設定数と発生数が飛躍的に増大した。図 1-5 にオペレーター人当たりのアラーム設定数の推移を示す。不適切なアラーム設計に起因するアラームの洪水や迷惑アラームは、オペレータの誤判断や重要アラームの見落としを招く。アラームシステム構築の低コスト化は皮肉にもプラント事故の一要因となっている。図 1-6 に、プラント緊急停止時のアラーム発生状況を示す。このように、定常運転時には有益なアラームも、緊急停止時にはアラーム洪水を構成する迷惑アラームに変化することがある。



図 1-3 DCS 計装



図 1-4 パネル計装

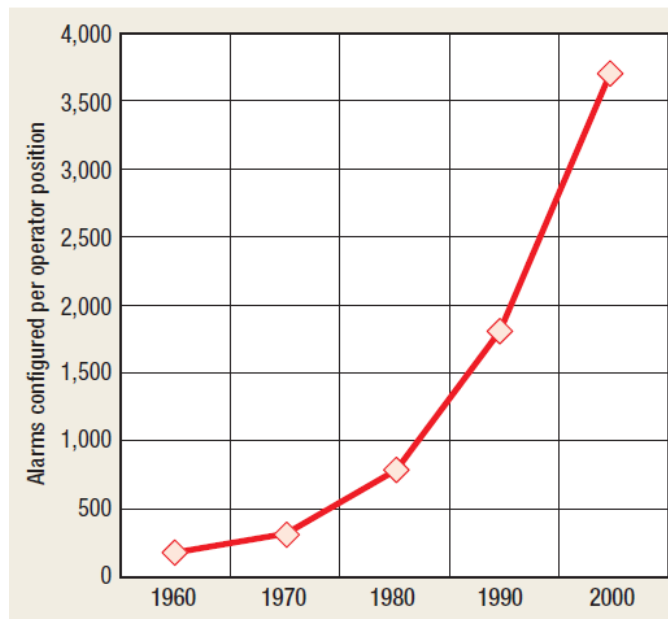


図 1-5 オペレーター人当たりのアラーム設定数の推移<sup>(3)</sup>

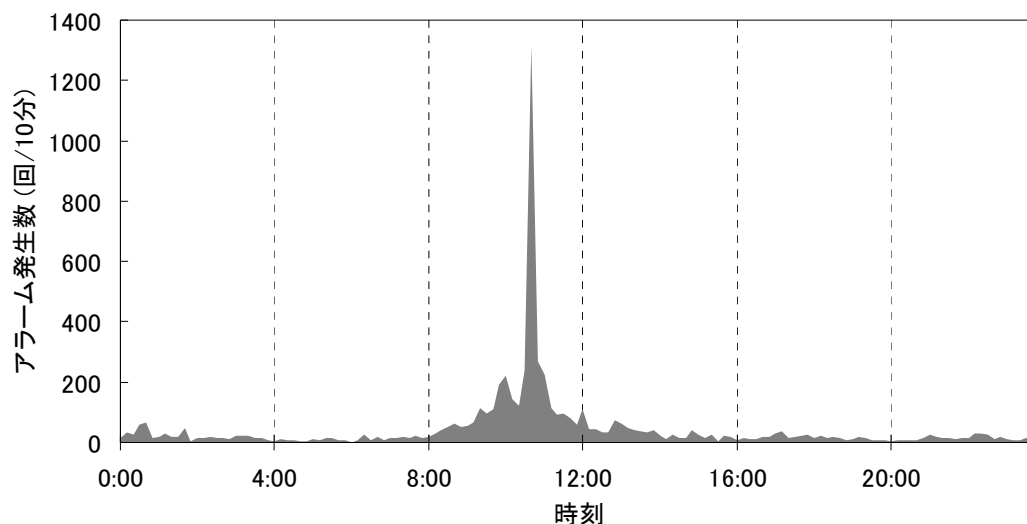


図 1-6 エチレンプラント緊急停止時のアラーム洪水

高圧ガス保安協会の「石油精製業保安対策石油精製プラント等の事故情報調査に関する報告書」によれば、製造事業所事故の原因別件数は、設備の劣化・腐食が最も多く、オペレータの認知確認ミス、誤操作、誤判断が続いている（図 1-7）。また、アラームの不適切な設定や運用が絡む事故も、以下のように毎年報告されている。

- 2006 年 3 月 17 日 重油接触分解装置 水抜き作業中の火災
- 2007 年 2 月 1 日 高圧圧縮機からエチレンガスの漏洩
- 2008 年 5 月 8 日 ポリカーボネート製造装置ベントスタックから塩素ガスが漏洩
- 2008 年 8 月 1 日 冷凍設備の運転ミスによる安全弁からの冷媒漏洩
- 2009 年 4 月 15 日 電解プラントの塩素ガス除害から塩素ガスが漏出

このような状況の中、オペレータの認知確認ミス、誤操作、誤判断を防ぐ方法の一つとして、プラントアラームマネジメントへの取組みが国内外で進んでいる。

## 製造事業所事故の原因別件数(1989年～2009年)

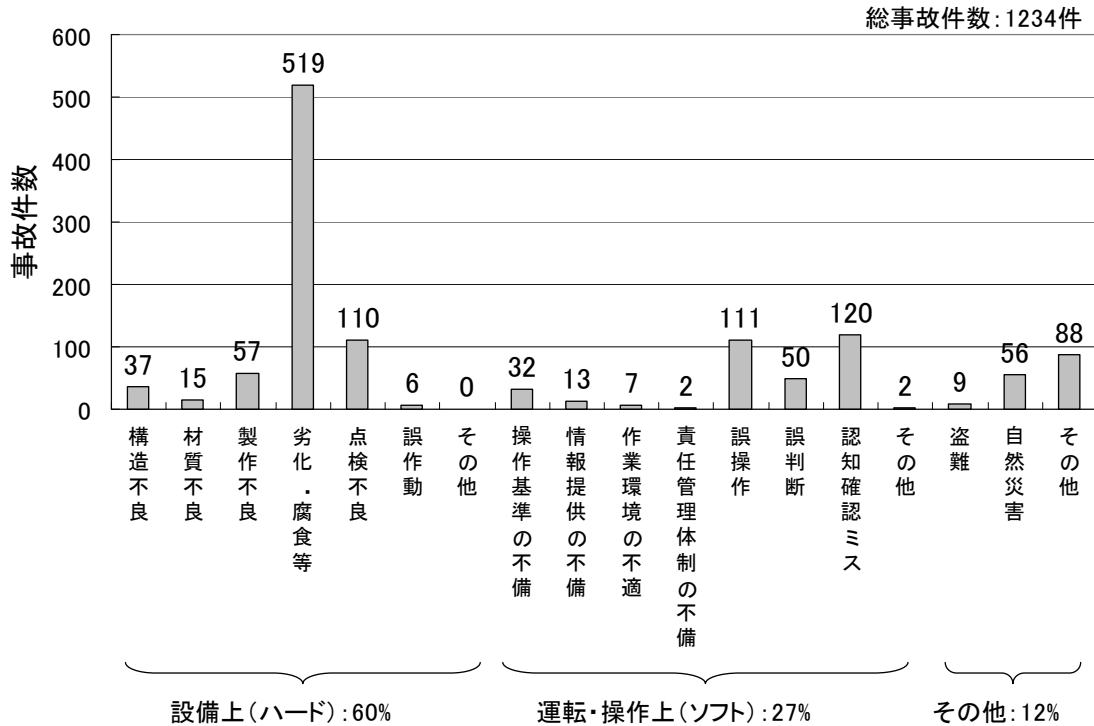


図 1-7 製造事業所事故の原因別件数<sup>(1)</sup>

### 1.2 欧米におけるアラームマネジメントへの取組み状況

欧米では、不適切なアラームシステム設計を原因とするプラント事故の多発を機に、アラームシステムマネジメントの標準化やガイドラインの制定が進んでいる<sup>(13)</sup>。ISA の ANSI/ISA18.2 は、アラームマネジメントを成功させる最も重要なポイントの一つが、一過性の取組みではなく継続性にあるとし、プラント運転のワークプロセスに反映する方向で検討を進めた。その結果として、アラームシステムの目的と具備すべき性能や機能を定義し、図 1-8 に示す A～J からなるアラームマネジメントのライフサイクル標準を提唱している<sup>(12)</sup>。

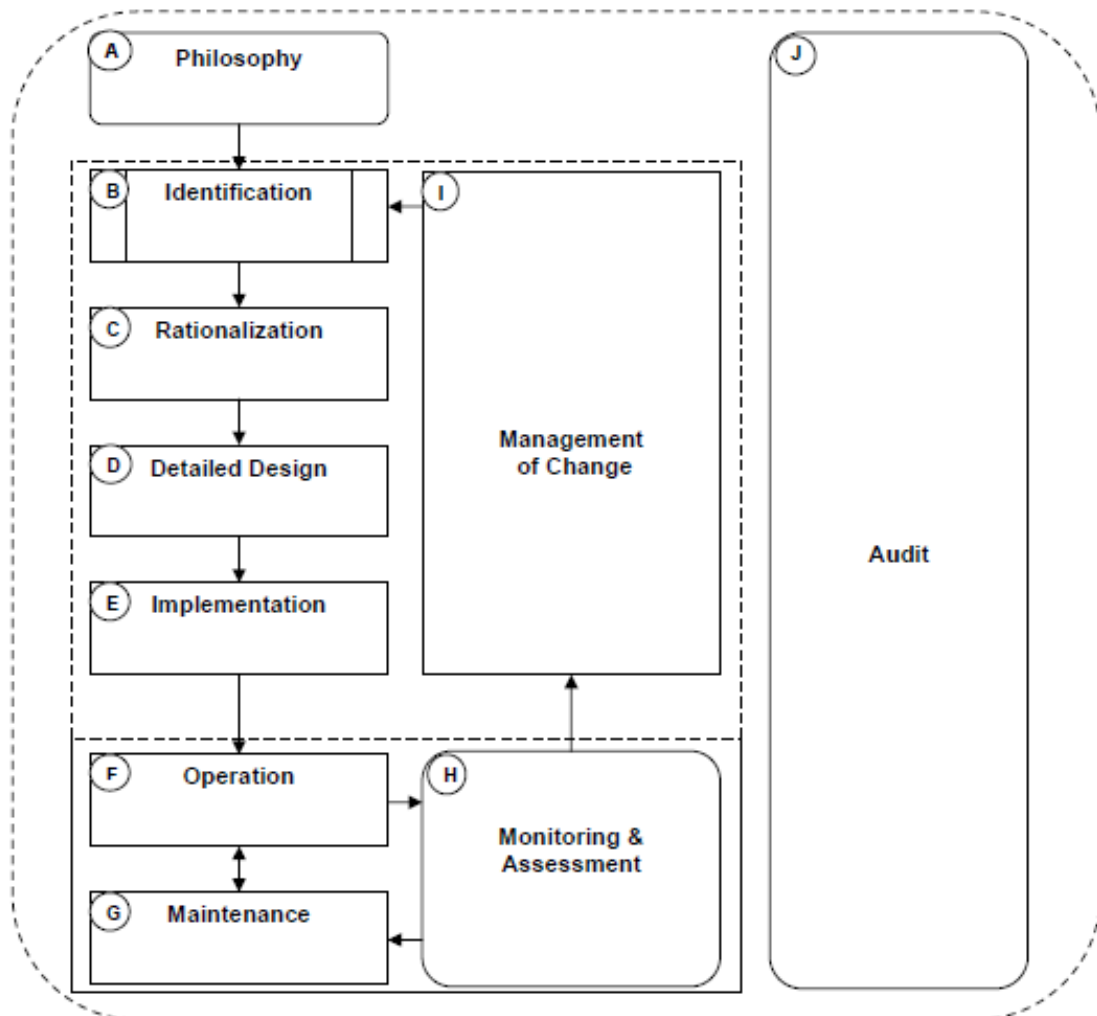


図 1-8 アラームマネジメントライフサイクル<sup>(12)</sup>

A から J の各ステージの概要を以下に説明する<sup>(20)</sup>。

**A. Philosophy** ……アラームの設計思想の決定

新規アラームシステムの設計や既存アラームシステムの改造に先立ち、アラームシステムの目的やそれを実現するための手順をアラーム設計思想として文書化する。アラームの設計思想は、アラームマネジメントライフサイクルのステージ間の整合性を確実にするために、厳密に守らなければならない。

## B. Identification ……アラームの同定

必要なアラームを同定する。同定手法として **Process Hazard Analysis** などがある。

## C. Rationalization ……アラームの適正化

B ステージにおいて同定したアラームとアラームの設計思想の整合性を取る。アラーム設定、優先度、アラームを放置することにより発生する影響、それを防止するためにオペレータのとるべきアクションなどをマスターアラームデータベースとしてまとめる。

## D. Detail Design ……詳細設計

マスターアラームデータベースに記載された個々のアラームについて、制御システムの仕様を考慮して詳細設計を行う。また、HMI、状態ベースドアラームや動的優先度などの手法を含む **Advanced Alarm** を設計する。

## E. Implementation ……アラームの実装

アラームシステムの実装、機能テストやオペレータの教育などを行う。

## F. Operation

構築したアラームシステムを使ってプラント運転を行う。

## G. Maintenance

アラームシステムが部分的または全体で修理や定期的なテストのために機能を停止しているステージ。

## H. Monitoring and Assessment

定期的なモニタリングと評価によってアラームシステムの性能と目標性能との乖離、あるいは個々のアラームの特性と設計思想との乖離などを特定する。これによりアラームシステムの変更、運転手順の変更の必要性を抽出する。

## I. Management of Change (MOC)

H ステージで抽出されアラームシステムの変更が必要とされたものは本ステージで検討、提案、承認される。

## J. Audit

アラームシステムおよびアラームマネジメントの健全性を維持するための定期的なレビューを行う。A ステージで作成されたアラーム思想に対する違反事項などが監査され、その防止のために必要な組織の規範の強化やアラーム思想を含むアラームシステムの修正などを抽出する。

EEMUA (Engineering Equipment and Material Users' Association) の Publication No. 191 (2007) は、人間工学的な観点からアラーム発生頻度のベンチマークとして、表 1-2、表 1-3 に示すようなガイドラインを定めており、デファクトスタンダードとして広く利用されている。たとえば、オペレーター一人に対して、定常運転時の平均アラーム発生数は 10 min 間に 1 回以下であること、異常発生後 10 min 間のアラーム発生数は 10 回未満であることなどを求めている。

表 1-2 平均アラーム発生頻度評価のためのベンチマーク<sup>(2)</sup>

定常運転時の平均アラーム数 (長期間)	許容性
1min 間に 1 回以上	許容困難である
2min 間に 1 回	許容できるが、アラームが過剰である
5min 間に 1 回	許容できる
10min 間に 1 回以下	十分許容できる

表 1-3 異常発生後のアラーム発生回数ガイドライン<sup>(2)</sup>

異常(upset)発生後 10min 間のアラーム発生数	許容性
100 回以上	過剰である オペレータはアラームシステム を利用できない
20 - 100 回	対処しにくい
10 回未満	許容できる ただし、複雑な対応を要求するアラームが複数発生した場合、対処 困難になる可能性がある



また、PAS 社は、アラームシステムの適正化を推進するために、表 1-4 に示す 7 ステップアプローチや、表 1-5 に示すような実際の適正化で利用する性能評価指標を提案している<sup>(3)</sup>。表 1-4 の 3 ステップまでは全ての取組みで必須であるが、4 ステップ以降はコストや時間等の投資と効果を勘案して取組みの要否を判断するとしている。

表 1-4 アラームシステム適正化のための 7 ステップアプローチ<sup>(3)</sup>

Step	項目	内容
1	アラーム設計思想の構築	徹底したリスクアセスメントを通して、アラームの設計思想を構築し、ドキュメント化する。
2	現状分析とベンチマーキング	アラームシステムを分析し、その強み弱みを評価し、実地的な解決手段を計画する。
3	不適切アラームの削減	冗長アラームや頻発アラーム等の迷惑アラームを削減する。
4	質的適正化の実施	アラームの 8 特性に基づく適正化を実施する。
5	変更管理の徹底	適正化されたアラームの変更管理を実施する。維持・管理を徹底するために、自動監査機能や自動是正機能の導入も検討する。
6	アラーム機能の高度化	プラント状態別のアラーム設定機能や、アラーム洪水時に優先順位の低いアラームを一時的にフィルタリングするようなより進んだアラーム抑制技術を導入する。
7	改善業務のワークフロー化	維持・管理をワークフロー化し、常にアラームシステムを適正化する仕組みを構築する。

表 1-5 アラームシステムの性能評価指標<sup>(3)</sup>

性能評価指標	中間目標	最終目標
目標アラーム発生数	300 回／日未満	150 回／日未満
目標平均アラーム発生数を超える時間率	5%	0%
優先順位別アラーム発生分布	Low : 80%, High : 15%, Emergency : 5%以下	
抑制アラーム数	0 (棚上げ機能、洪水抑制機能、状態別設定機能で抑制されているアラームを除く)	
繰り返し発生アラーム数 (1 分間に 3 回以上再発するアラーム)	10 回／週以下	0 回／日
長時間未復帰アラーム数 (24 時間以上持続)	20 回／週以下	0 回／日
アラーム洪水回数 (10 分間当たり 10~20 個のアラーム発生回数)	5 回／日以下	3 回／日以下
アラーム洪水回数 (10 分間当たり 20 個超のアラーム発生回数)	3 回／日以下	0 回／日
運転中におけるアラーム定義の変更操作(プライオリティ変更、抑制、実行ステータス)	権限のない人による変更はない (棚上げ機能、洪水抑制機能、状態別設定機能による変更を除く)	

以上のように様々な組織や企業によりアラームシステム設計のためのガイドラインが提唱されている。それらのアプローチに共通する考え方は、アラームが本来持つべき機能や目的を明確にし、標準化された設計方法や管理方法を通じて、オペレータに何ら有意な情報をもたらさないアラームを徹底的に削除し、適正状態を継続的に維持する仕組みを確立するという点にある。しかし、何れもフレームワークや評価指標等が提案されているだけであり、具体的なアラーム削減方法やマネジメント、アセスメントの方法については示されていない。

### 1.3 国内のアラームマネジメントへの取組み状況

日本では、標準化を中心とした欧米流のアラームマネジメントとは対照的に、1990年代前半から現場での TPM (Total Productive Management) 活動を中心に、運転の安定化やオペレータの業務負荷削減を目的として、運転法の見直し、制御系の改善など日々の地道な改善活動の積み重ねを通じてアラームの削減を進めてきた<sup>(6)</sup>。海外のプラントではオペレータとエンジニアとは明確に区別されており、アラームはエンジニアが設計して設定を行い、オペレータは設定されているアラームが発報した場合に指示されたアクションを行うように役割分担されている。日本においては、日常的なオペレーションにおける DCS のアラームについては、設定値の変更がオペレータやシフトリーダークラスに開放されており、いわゆる「現場の判断」によってアラーム設定値を変更することが許されている場合が多い。これによってきめ細かな運転管理が行われ、図 1-9 に示すように EEMUA のガイドラインを大きく越えた超安定プラントが登場している。大規模な石油化学プラントの場合、アラームを発生する DCS 計器の総数は約 3000 ポイントであるため、3000 ポイント当たり 150 回/日という基準は 100 ポイント当たり 5 回/日に相当する。

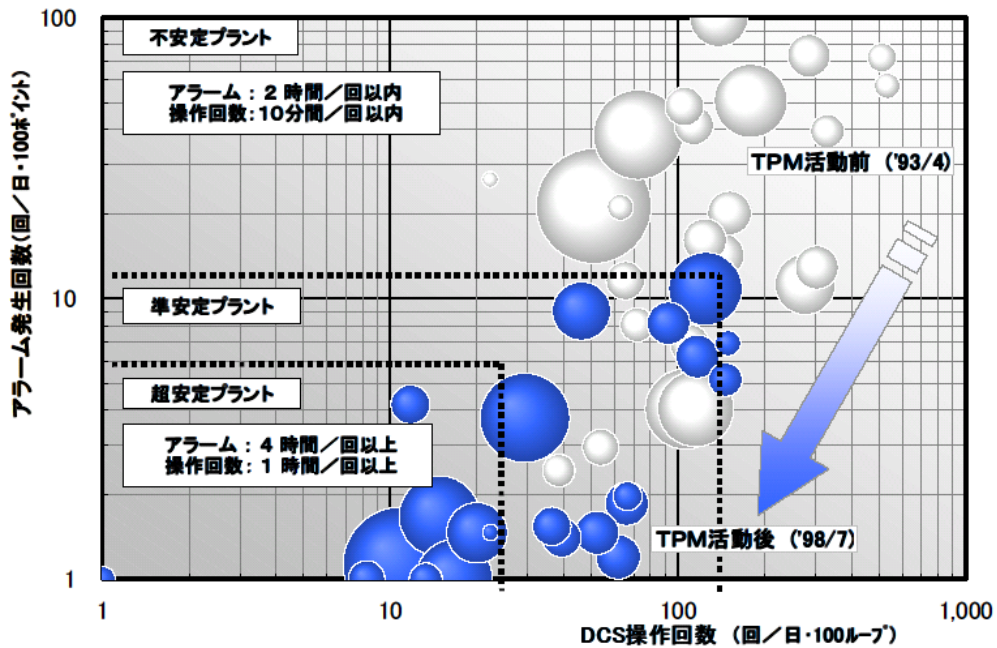


図 1-9 DCS アラーム／操作回数削減の評価指標<sup>(9)</sup>

しかし、必ずしもアラーム削減活動が継続的に行われているわけではない。日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会ワークショップ No.28 が、国内の石油精製・石油化学産業を対象に実施したアラームマネジメントに関するアンケート結果を図 1-10 に示す。グラフから、アラーム設計の基準が明確でなく、アラーム削減活動が継続されていない生産現場が多いことがわかる。アラームを適正に管理するためには、アラームマネジメントの CAPDo (Check→Action→Plan→Do) サイクルを継続するための、新たな方法論が求められている。

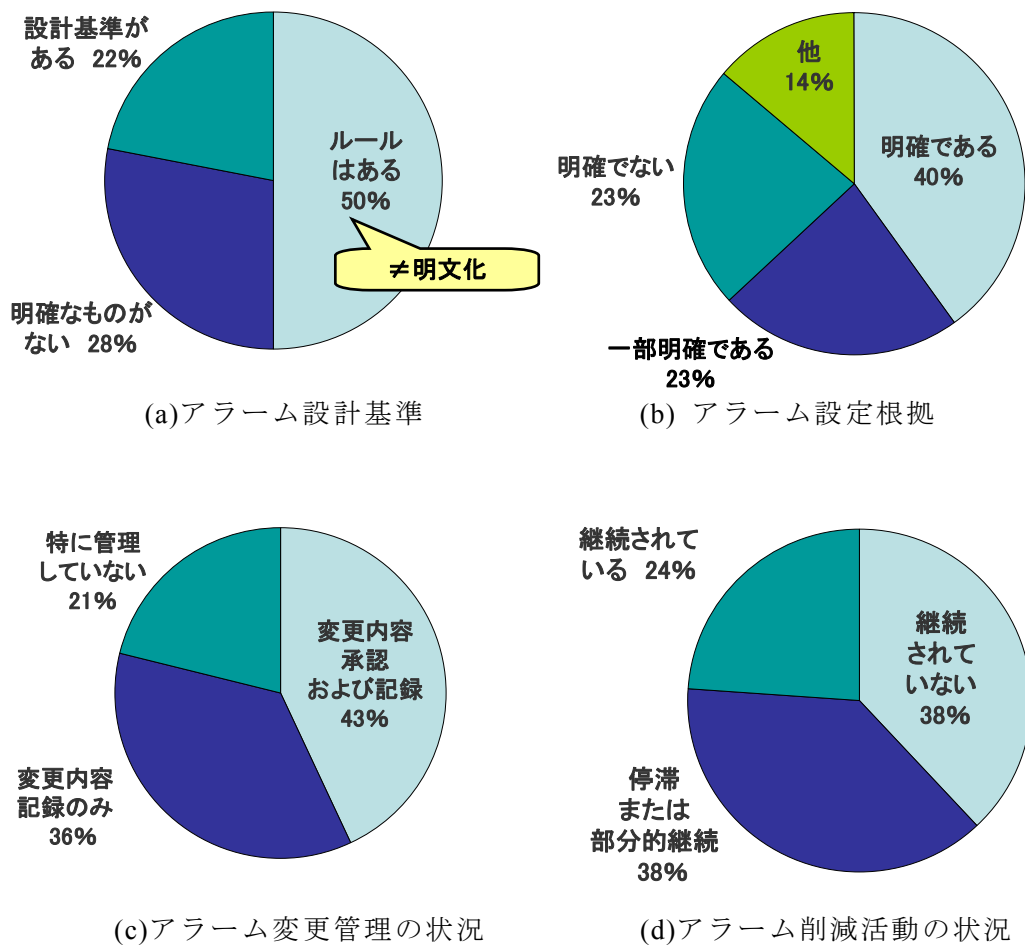


図 1-10 アラーム削減活動アンケート結果(2008年10月)<sup>(20)</sup>

#### 1.4 アラーム削減アプローチ

アラームや操作などのイベントログデータから不要なアラームや操作などのイベントを抽出する方法として、アラームや操作の発生頻度ランキングに基づく方法<sup>(15)</sup>が広く用いられている。しかし、アラームや操作の削減方法については標準的な手法はなく、各社や現場ごとに取り組み方法が異なる。また、評価指標として日平均値やシフト平均値などを用いており、短い時間内に発生するアラーム洪水のようなアラーム発生のパークや、アラームの優先順位には焦点が当てられていないという問題がある。

新たなアラーム削減方法として、西口らが運転ログデータから不要アラームを削減する方法としてイベント相関解析<sup>(22)</sup>を提案している。イベント相関解析は、アラームや操作からなるイベント間の相関関係に基づき、同時的、連鎖的に発生するイベントをグルーピングする方法である。発生頻度ランキングのように個々のイベントに着目するのではなく、関係する複数のイベントを含むグループ単位で対策を検討できるため、効率的なアラーム削減が期待される。しかし、イベント相関解析の適用結果の報告例は仮想的もしくは小規模なプラントに限定されており、石油精製・石油化学プラント等の大型プラントでのアラーム削減効果は検証できていない。

### 1.5 研究目的

本論文では、アラームシステムの適正化を進めるための運転ログデータに基づくアラーム削減方法を提案する。第2章では、アラームシステムの8特性を評価するためのアンケート法を提案する。第3章では、アラームや操作の発生頻度ランキングに基づいて不要なイベントを見つける「トップ10アプローチ」を実プラントの運転ログデータに適用し、そのアラーム削減効率について検証する。そして、単独イベントの発生頻度ランキングに注目した従来の方法に加えて、新たな削減方法が必要であることに言及する。第4章では、プラントログデータから不要アラームや不要な操作を抽出する方法であるイベント相関解析を用いることによって、効率的なアラーム削減が可能となることを示す。第5章では、イベント相関解析を石油化学産業の代表的な大型プラントであるエチレンプラントに適用し、その有効性について検証した結果を報告する。第6章では本論文を総括する。

## 2. アンケートによるアラームシステムの 8 特性評価

### 2.1 はじめに

アラームシステムは、石油プラント、化学プラント、電力プラントなどプロセス産業の安全操業に必要不可欠である。アラームシステムを適切にマネジメントすることは、安全だけでなく、品質や生産性の向上などプラント操業の価値に直結する。一般に既設プラントにおけるアラームマネジメントとは、CAPDo アプローチであり、アラームシステム性能を評価することから始まる<sup>(20)</sup>。この評価結果は、その後の改善活動を効果的に実施するための基本的な情報である。

従来、アラームシステムの評価指標は、アラーム発生率やアラーム発生分布、アラーム持続時間などが用いられていた。しかし、これらは単に警報（シグナル）としてのアラームに着目しており、アラームシステムの役割を捉えていないため、アラームシステムの総合的な評価方法とはなっていなかった。プロセス産業では、危機的事象からプラントを守るためのプロセス安全設計コンセプトとして、8 つの層で構成される独立安全防護階層（図 1-1）が広く適用されている。このコンセプトによると第 2 防護層（IPL2）および第 3 防護層（IPL3）はアラームシステムに関連している。IPL2 の主目的は、分散制御システム（DCS）など基本プロセスコントロールシステム（BPCS）による正常運転下での監視である。プロセス変数とその閾値から逸脱した時、アラームを発生させ、オペレータによる対応操作を要求する。IPL3 は、さらにプロセス状態が深刻化した際のクリティカルアラームとオペレータによるその対応操作である。このようにアラームシステムは常にオペレータと対になって機能する。ゆえに、アラームシステム性能の評価としては、適正な対応操作を導くためのガイダンス機能として、オペレータにとってそのアラームが良いものであるか否かを評価すべきである。

本章では、アラームシステムの適正化研究を進めるにあたり、アラームシステムの性能を評価するためにアンケート法を提案し、実プラントの現役オペレータにアンケートを実施した結果について報告する。

## 2.2 アラーム 8 特性<sup>(2)</sup>

アラームシステムに第一に求められる機能は、オペレータ判断や対処が必要なプラントの状態に対して、タイムリーにオペレータの注意を向けることである。すなわち、アラームシステムはオペレータの状態監視、判断、対処業務を支援し、オペレータの注意を最も重要な問題に向けさせるものでなければならない。

アラームシステムが効果的にオペレータを支援するには、オペレータに提示されるすべてのアラームがオペレータの状況認識、意志決定に役立つものでなければならない。すべてのアラームが、明確なオペレータの行動に結びついている必要があり、アラームへの対処（制御設定値の変更、待機ポンプへの切替え、保全員に対する故障プラント機器の修理依頼など）は一対一であるべきである。場合によっては、アラームへの対処は、そのときのプラントの状態に依存する。例えば、オペレータはグラフィック画面を選択し、プラントの状態を確認し、ある状況のときだけ制御操作を行うケースなどである。また、アラームへの対処を頭の中で行うだけの場合もある。例えば、プラント停止アラームやスタートアップシーケンス完了アラームへの対処は、監視画面の切替え等の監視方法の変更だけである。緊急の制御操作が必要な訳ではなく、運転状態に対する認識の切替えが重要となる。重要なことは、全てのアラーム（またはアラームの組み合わせ）は、アラーム設計者が明確に定義した何らかの対処に対応していなければならないということである。もし対処が定義されていなければ、その信号はアラームではない。

オペレータが全てのアラームに対処することを期待するならば、有用なアラームシステムは、オペレータが定められた対処を行うための時間を考慮したものでなければならない。設計時点で全てのアラームに対処が定義されていれば、その情報はアラーム対処手順やトレーニング資料を作成するときの良い材料にもなる。また、アラームは、オペレータが問題を解決するのに十分早いタイミングで発報すべきである。さらに、アラームの発生量は、オペレータが処理できる範囲を超えてはならない。オペレータは通常、様々な業務と役割を持っている。全ての役割が果たせるように、人間の能力の限界をきちんと考慮して、アラームシステムが設計されることが重要である。他の活動に割ける時間は、アラーム対応の作業負荷の量によってしばしば厳しく制限される。これはアラームシステム設計全般において、非常に重要な意味を持っている。

アラームシステムに求められる機能として EEMUA は以下の八つの特性を定義し



ている。これらの特性はアラームシステムに求められる機能要件を端的に示しており、総合的かつ効果的にアラームシステム性能を評価するための指標として用いることができる。

- **Relevant**（操作関連性）

アラーム発報時の対応操作が明確に定義されていること。

- **Unique**（一意性）

アラームと異常状態は1対1に対応していること。1つの異常状態を通知するために複数のアラームが発生しないこと。

- **Timely**（適時性）

アラームはオペレータによる対応操作のための許容時間を持って早過ぎず、遅すぎず、適切なタイミングで発生すること。アラーム発生後、その対応操作がある一定の時間内に実施されること。

- **Prioritized**（優先度適性）

アラームの重大性と対応の優先性を示す優先度がアラームに適切に設定されていること。

- **Understandable**（理解可能性）

アラームはその状況の優先度、現在の状況と予測される将来の状況、そして取るべき対応操作を示すアラームメッセージをオペレータが理解しやすい明快で簡単な情報として提供するように設計されていること。

- **Diagnostic**（診断性）

アラームは、発生時にオペレータがプラントの状況を理解し、異常原因を診断するための情報を提供すること。

- **Advisory**（操作支援性）

アラームは、オペレータによる対応操作ガイドをアラーム発生時にメッセージとして提供するように設計されていること。

- **Focusing**（注目性）

アラームは、オペレータに異常状態に素早くかつ確実に気づかせるために、視聴覚など五感に訴えるよう設計されていること。

これら8つのアラーム特性は、アラームの受け手であるオペレータの感性に強く

影響されるものとそうでないものとに大別することができる。操作関連性、一意性、適時性、優先度適性の4つは、ヒューマンファクターに影響されない。一方、理解可能性、診断性、操作支援性、注目性の4つは、ヒューマンファクターに大きく影響される。

### 2.3 アンケート調査法

オペレータアンケートによるアラームシステム性能測定法としては、HSE (Health and Safety Executive, UK) により開発されたアラームシステムに関するアンケートがある<sup>(5)</sup>。このアンケートは、アラームシステム全般にわたる24項目で構成され、13サイト96オペレータに対して実施された調査結果が公開されている。しかし、本アンケートは、アラーム8特性の視点からのアラームシステム性能評価用とはなっていない。そこで、本アンケートの設問内容をベースに、新たに26項目からなるアラーム8特性によるアラームシステム評価のためのアンケートシートを開発した。Appendix-Aにアンケートシートを添付する。

プラントの運転状態は、大きく定常時とトラブル時に分かれる。直接的に8特性の良し悪しを質問すると、回答者が、この二つのどちらを前提とするか、あるいは両方の平均を前提とするかによってその評価が変わってくる。また、同じプラントにおいても、オペレータ全員が大きなトラブルを経験したことがあるとは限らない。前提条件が混在した回答でも、アンケート数が多くなれば平均点としては差がないかもしれないが、改善のポイントが絞り込めない。そこで、アンケートでは、定常運転時とトラブル時の二つの状態を分けて把握できるように設問を設けている。トラブル時についてはもちろんのこと、定常時においてもオペレータの経験度合いによりその回答内容が異なることが予想されるため、運転経験年数の設問を設け、層別して分析できるように配慮した。

#### 2.3.1 8 特性評価対象設問のアラーム特性区分付け

アンケートシートの設問と評価特性の関係を表2-1に示す。評価特性毎の設問数は以下の通りである。共通設問とはすべての特性に共通の設問であり、専門設問とは特定の特性に対する設問であることを意味する。各特性は独立して評価されるため、特性間の設問数の差による評価結果への影響はない。8特性評価対象以外の設問については、8特性の評価結果を解釈する上で参考にする。

- 操作相關性 7 問 (共通設問 2、專門設問 5)
- 一意性 4 問 (共通設問 2、專門設問 2)
- 適時性 2 問 (共通設問 2、專門設問 0)
- 優先度適性 4 問 (共通設問 2、專門設問 2)
- 理解可能性 5 問 (共通設問 2、專門設問 3)
- 診斷性 4 問 (共通設問 2、專門設問 2)
- 操作支援性 4 問 (共通設問 2、專門設問 2)
- 注目性 4 問 (共通設問 2、專門設問 2)

表2-1 アンケート項目と評価特性の関係

設問 番号	内 容	評価特性						
		操 作 関 連 性	一 意 性	適 時 性	優 先 度 適 正	理 解 可 能 性	診 断 性	操 作 支 援 性
1	職種	参考情報						
2	経験年数							
3	定常時にアラームは役に立つか	○	○	○	○	○	○	○
4	トラブル時にアラームは役に立つか	○	○	○	○	○	○	○
5	アラーム発生数の多寡	○					○	○
6	定常時、ボードマン一人、1時間当たりのアラーム数	○	○					
7	5分で再発するアラームの割合	○						
8-1	重要度が不適切なアラームの発生頻度				○			
8-2	SDしているプラントからのアラーム発生頻度	○						
8-3	同一原因からの複数アラームの派生頻度		○					
8-4	定常時に有効なアラームの、大規模トラブル時の発生頻度	○						
9	定常時メッセージはどの程度役立つか					○		
10	メッセージを理解し、その対応方法が分かるか							○
11	定常運転時の代表10アラームに対する特徴確認	参考情報						
12	大規模なトラブル発生時のアラーム数							
13	大規模なトラブル時、アラーム画面をずっと表示するか							
14	大規模なトラブル時、アラーム画面をどの程度見るか							
15	大規模なトラブル発生時、アラームを理解できないと感じる頻度				○			○
16	大規模なトラブル時、アラームを理解することなく受入れる頻度					○		
17	大規模なトラブル時、安全を揺るがす事象発見に役立つか					○	○	○
18	アラームに関する各種設定変更手順	参考情報 No.20-25は記述式						
19	エンジニアは制御と比べアラームの改善を実施しているか							
20	今のアラームシステムのどのようなところが気に入っているか							
21	今のアラームシステムのどのようなところが良くないと思うか							
22	今のアラームシステムにどのようなことを追加したいか							
23	今のアラームシステムのどのようなことを修正したいか							
24	今のアラームシステムに対する自由コメント							
25	想定した大規模トラブルは何か							
26	どの程度のアラーム数までなら対応可能か							

### 2.3.2 設問回答の4段階評価化

アンケートは、中心化傾向を排除するために、4段階評価とした。アンケートの設問には、四者択一式や三者択一式、または数値回答式などがあり、設問によって回答方式が異なる。そこで、評価対象設問を4点満点で評価し、各特性の平均点を求め、小数点第2位以下を四捨五入した値をその特性の評価点とした。配点例を以下に示す。

- 評価対象設問の内、選択回答が四者択一式のものは、評価の高い方を4点とし、評価の低い方を1点とした。

例：定常運転時、そのアラームシステムはどの程度役立っていますか？

大変良い (4点)	良い (3点)	悪い (2点)	大変悪い (1点)

- 評価対象設問の内、選択回答が三者択一式のものは、中間評価のものを2.5点とした。

例：アラーム発生時に、各アラームメッセージを十分に理解し、その対応操作がわかりますか？

常に分かる (4点)	大抵分かる (2.5点)	時々分かる (1点)

- 評価対象設問の内、数値回答式は4段階評価基準値を設定した。配点の区分けについては、表 1-2、表 1-3 の EEMUA のベンチマークやガイドラインを参考にした。

例：定常運転時、オペレータ 1 人当たりのアラーム数は 1 時間当たりどの位ですか？

回/時	備考
	4点：6未満、3点：60未満、2点：600未満、1点：600以上

### 2.3.3 設問の狙い

開発したアンケートはHSEアンケートをベースとしているが、各設問の狙いを明確にし、回答内容を理解するために不足と考えられる部分については設問を追加した（設問25、設問26）。各設問の狙いを説明する。

#### （設問1）職種

- 回答者のプロフィールを把握する。（同一サイトでもプラントによってアラームシステムが異なる場合があるため）

#### （設問2）経験年数

- 経験年数をキーとした傾向分析を目的に回答者のプロフィールを把握するための質問。なお、DCS 運転経験も結果に影響を与えると考え、質問を追加した。

#### （設問3）定常時にアラームは役に立つか

- 定常運転におけるアラームシステムのサポートが適切か、オペレータの印象を把握する。

#### （設問4）トラブル時にアラームは役に立つか

- トラブル時におけるアラームシステムのサポートが適切か、オペレータの印象を把握する。設問3とあわせてアラームシステム改善のポイントを把握できる。

#### （設問5）アラーム発生数の多寡

- 現状のアラーム発生数に対する認識を把握する。アラームが多いことが問題なのか、また、少ないことが問題なのかが判断できる。

#### （設問6）定常時、ボードマン一人、1時間当たりのアラーム数

- 運転員の感覚的なアラーム負荷を把握する。定常時にアラーム数が多すぎる場合は、アラームが多いと判断する。設問3の結果と相関を考慮する必要もある。

(設問7) 5分で再発するアラームの割合

- 再発するアラームの割合を把握することで、アラーム削減の可能性を探る。再発アラームの割合が高い場合は、アラーム設定等を工夫することで、アラーム削減の可能性はある。

(設問8) 迷惑アラームの発生頻度

- 繰り返しアラームを除く、4種類の迷惑アラームのうちどれがもっとも迷惑と感じているのかを把握する。効果的なアラーム削減ポイントを把握する。

(設問9) 定常時メッセージはどの程度役立つか

- メッセージの有用性を理解可能性の面から把握する。設問3、設問4の繰り返し質問ともいえ、設問5～設問8の裏づけを確認する意図もある。

(設問10) メッセージを理解し、その対応方法が分かるか

- アラームの有用性を改めて質問。設問3、設問4の繰り返し質問でもあり、設問5～設問8の裏づけを確認する意図もある。

(設問11) 定常運転時の代表10アラームに対する特徴確認

- 代表的なアラームの内訳から、有用アラームの具体的割合を把握する。

(設問12) 大規模なトラブル発生時のアラーム数

- トラブル発生後のアラーム発生推移を確認し、あとの設問で相関を考察する。

(設問13) 大規模なトラブル時、アラーム画面をずっと表示するか

- アラーム画面の必要性を確認する設問。頻繁に確認するのであれば、アラーム専用のスクリーンを追加することで、運転負荷低減の可能性はある。

(設問14) 大規模なトラブル時、アラーム画面をどの程度見るか

- 設問 13 と合わせて、トラブル時にアラーム画面を確保できる状況かを把握する。

(設問15) 大規模なトラブル発生時、アラームを理解できないと感じる頻度

- アラーム洪水により運転意思決定が阻害される状況にあるかを確認する。設問 12 の補足質問でもある。頻度が高いと感じる割合が多い場合は、アラームシステムが運転員の判断能力を低下させている可能性があり、改善の必要がある。

(設問16) 大規模なトラブル時、アラームを理解することなく受入れる頻度

- トラブル時のアラーム受入状況から、アラームを見落としているか可能性を推測する。理解することなく受け入れている割合が高い場合は、トラブル時に重要なアラーム見落としている可能性がある。

(設問17) 大規模なトラブル時、安全を揺るがす事象発見に役立つか

- アラームシステムの安全性関連のサポート状況を把握する。あまり役立たない、迷惑と感じる割合が多い場合は、トラブル時の重要項目である安全性確保に対して効果を発揮していないと考えられ、改善が必要である。

(設問18) アラームに関する各種設定変更手順

- オペレータにとってアラームシステムの変更（改善）がしやすい環境かを把握する。制限され過ぎ、あるいは厳格である場合は、システムの変更に時間がかかると判断される。

(設問19) エンジニアは制御と比べアラームの改善を実施しているか

- アラームシステムの改善がおろそかにされている可能性を把握する。設問 18 と合わせて考察する。



(設問20) エンジニアは制御と比べアラームの改善を実施しているか

(設問21) 今のアラームシステムのどのようなところが良くないと思うか

(設問22) 今のアラームシステムにどのようなことを追加したいか

(設問23) 今のアラームシステムのどのようなことを修正したいか

(設問24) 今のアラームシステムに対する自由コメント

- 設問 20～24 は、オペレータのアラームシステムに対する印象や改善要望を詳細に確認する。

(設問25) 想定した大規模トラブルは何か (追加設問)

- トラブルの定義をこれまでの回答の前提条件として把握しておくための質問である。

(設問26) どの程度のアラーム数までなら対応可能か (追加設問)

- オペレータの自己評価と実際の運転ログデータから求めた数値的評価とのギャップを確認する。

8 特性評価対象以外の設問は、例えば設問 25 のように回答の前提条件を確認する等、8 特性評価設問への回答結果を適切に解釈する上で参考にする。特に、異なる装置間でのアンケート結果を比較する場合には重要な情報となる。

また、記述式の設問からは、現在のアラームシステムの特徴や課題、例えば、優先順位をつけられない等や、今後の具体的な改善の方向性を調べることができる。

## 2.4 実プラントのオペレータに対するアンケート調査

出光興産株式会社千葉工場のエチレンプラントの運転を担当するオペレータを対象に、アンケート調査を実施した。

### 2.4.1 エチレンプラントの概要

対象としたエチレンプラントは、1985年に運転を開始し、年間生産量は約37万tである。エチレンプラントは、DCSを用いて4直3交替制（1シフト（直）のオペレータは6名）により24時間連続運転されている。

エチレンプラントのプロセスフローを図2-1に、図中の機器番号と装置名の対応関係を表2-2に示す。エチレンプラントは、主原料ナフサを600℃に余熱後、分解炉で約860℃で熱分解し、二次反応を防止するため300℃に急冷する。冷却した分解ガスを圧縮、水分を除去した後、蒸留処理工程で、主製品であるエチレンおよびプロピレンを分離精製する。

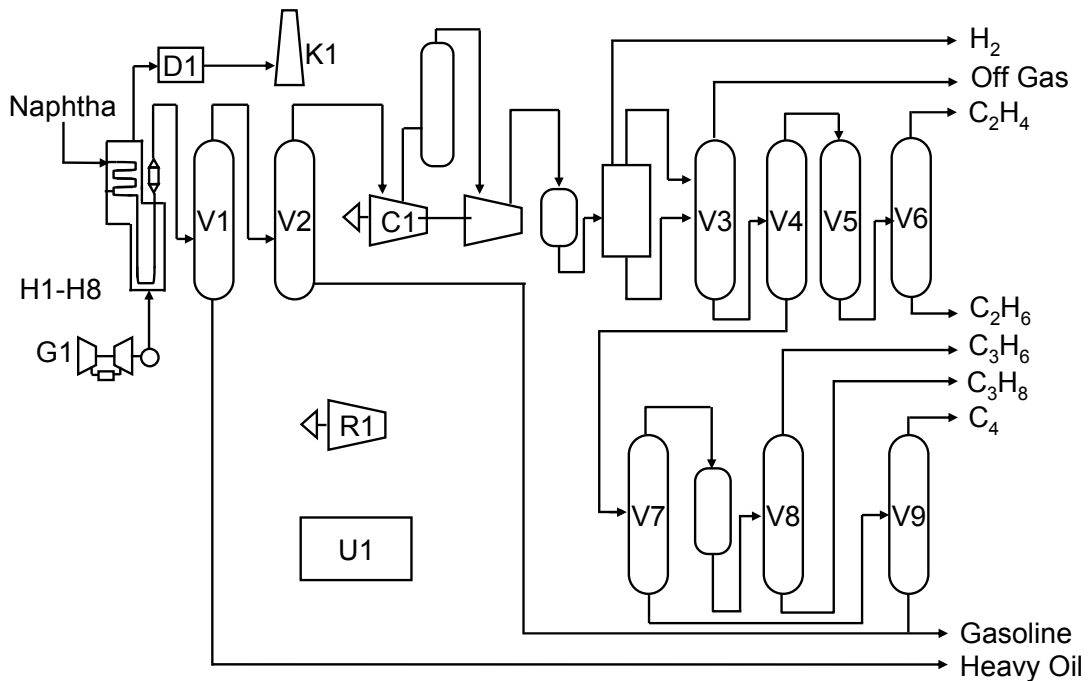


図 2-1 エチレンプラントのプロセスフロー

表 2-2 エチレンプラントのユニット名

Unit No.	Unit name
H1-H8	Cracking furnace No.1-8
D1	DeNOx section
K1	Exhaust gas stack
G1	Gas turbine
C1	Cracked gas compressor
R1	Refrigeration compressor
U1	Utility section
V1	Primary fractionator
V2	Quench water tower
V3	Demethanizer
V4	Deethanizer
V5	Acetylene absorber
V6	Ethylene fractionator
V7	Depropanizer
V8	Propylene fractionator
V9	Debutanizer

#### 2.4.2 エチレンプラントのアラームシステム

エチレンプラントでは、アラームを重要度別に表 2-3 に示すような 3 グレードで管理している。グレード 1、2、3 は、それぞれ独立防護階層の IPL4、IPL3、IPL2 に相当する。グレード 1 が発生した場合は、自動緊急停止シーケンス等が作動し、該当プロセスを停止する。アラームは発生するが、オペレータの関与はない。オペレータは、グレード 2 及び 3 のアラームに対して対処を実施する。図 1-3 がエチレンプラントの DCS であるが、グレード 2 のアラームについては、DCS 上部に個別のランプを設置し、アラーム発生時は該当するランプを点滅させる。グレード 3 のアラームは DCS 画面上のアラーム表示画面のみに表示される。運転変動時にはアラームが大量発生するが、アラームの洪水状態になった場合に DCS のアラーム表示画面だけでは重要アラームを見逃す恐れがあるため、グレード 2 のアラームの見落と

しを防ぐために分離している。また、直長を始めとする他のオペレータとの重要アラームの共有化の目的もある。

表 2-3 エチレンプラントの重要度分類

グレード	内容
1	装置の安全確保上、緊急停止・回避措置を取る必要がある場合の警報
2	装置停止や運転変動につながるものであるが、正常運転に復帰可能な警報
3	運転を管理するために設定した警報

オペレータが運転に使用している DCS の画面上には、プラントの各所に取り付けられた流量計、圧力計、温度計等の数値が表示されている。オペレータは、その数値を見て現在の運転状況を把握する。例えば、流量計には F001 のように Flow rate の頭文字と数値からなるユニークなタグ名を割振り、他の流量計と識別している。

エチレンプラントの DCS 監視タグには、プロセス変数タグと操作変数タグがある。本論文では、プラントで発生するイベント名として DCS 監視タグ名を用いる。プロセス変数および操作変数に設定されたアラームが発報することを、アラームイベントが発生したとよび、プロセス変数もしくは操作変数のタグ名により区別する。DCS により運転員が何らかの操作を行うことを、操作イベントが発生したとよび、操作変数のタグ名により区別する。プラントでアラームイベントもしくは操作イベントが発生したとき、イベント名とその発生時刻がイベントログデータに記録される。

エチレンプラントの DCS 監視タグには、2461 個のプロセス変数タグと 775 個の操作変数タグがある。プロセス変数および操作変数の両方にアラーム設定ができることから、エチレンプラントでは、3236 種類のアラームイベントと 775 種類の操作イベントが発生する可能性がある。オペレータは、各監視タグに、上限値アラームや下限値アラーム等を設定し、監視を行う。また、流量制御等の制御機能が組み込まれた操作変数タグには、監視用アラームに加えて目標値と現在値との偏差アラームのような制御用のアラームも設定される。DCS アラームの種別の例を表 2-4 に示す。

表 2-4 DCS アラームの種別の例

Type	Description
DV+	Deviation (PV-SV) +Limit
DV-	Deviation (PV-SV) -Limit
ANS+	Answer Back Error
ANS-	Answer Back Error
CAL	Calibration
HH	PV High-High Limit
PH	PV High Limit
PL	PV Low Limit
LL	PV Low-Low Limit
VEL	PV Velocity Limit
MH	MV High Limit
ML	MV Low Limit
IOP	Input Open (Error)
OOP	Output Open (Error)

PV : Present Value (現在値)

MV : Manipulated Value (出力値)

### 2.4.3 アンケート手順と調査結果

#### (1) 事前説明

アンケート実施対象者およびその長に対して、アンケート調査の目的を説明した。本アンケートは、アラーム管理の実状を掌握することで今後の改善への一助とすることを目的とする。また、過去に HSE が欧州における 13 サイト 96 オペレータに対して実施した同様のアンケート結果と比較することで、現状のアラーム管理状況の強み・弱みを把握することを目的とする。

● アンケート調査の対象（装置/設備、他）

1)対象設備 : エチレン課担当 DCS（横河電機社製 CENTUM V および CS3000 統合システム）

2)対象者 : エチレン課のスタッフを除く全員（26名）

- ・経験 10 年未満 6 名 （平均経験年数 2 年）
- ・経験 10～19 年 11 名 （同 15 年）
- ・経験 20 年以上 5 名 （同 22 年）
- ・直長 4 名 （同 22 年）

● アンケート調査の実施期日または期間

2008 年 12 月前半（2 週間）

(2) 集計方法

最初に、表 2-1 に示す各設問への回答の平均値を算出し、次に、8 特性に関するポイントを計算する。例えば、操作関連性であれば、関連する 7 つの設問の平均点を合計し、設問数で割ってその平均値を計算する。実際には、回答用紙に記載された各設問回答を Excel に転記し、Excel 上で全体平均、経験別平均を集計した。HSE 調査結果も同一 Excel へ転記し集計した。この際、提案する 8 特性からのアラームシステム性能評価用アンケート回答に変換を実施した。設問について定めた配点から各特性の評価点を求めた（詳細は Appendix-A 参照）。集計作業（データ転記からレポート作成）には、1 人で 3 日（8 時間×3 日）程度要した。

内訳：

- 1)HSE 調査結果の変換と新しい評価点の算出 : 4 時間
- 2)エチレン課 26 名分のデータ集計および評価点の算出 : 8 時間
- 3)総合レポート作成 : 12 時間

(3) 評価結果の検証

集計結果について、エチレンプラントの運転経験が 20 年以上の熟練者と一緒にアンケート結果の評価を実施した。

① 全体評価結果

図 2-2 に各特性の評価結果を示す。図 2-2 より、対象とするアラームシステムの特徴として以下の 2 点が挙げられる。

1)各特性ともに 2.5 点以上、つまり良い評価となっている。

エチレンプラントでは、過去からアラーム削減活動を実施してきており、妥当な評価と考えられる。

2)優先度適性がその他の特性に比べて劣っている。

優先度適性が劣っている理由としては、記述式の設定問 21 の回答(Appendix A-3)にあるように、現在使用している DCS はアラームの優先順位がつけられず、表 2-3 の“グレード 3”アラームのみとなるが運用上は優先順位を分けたいこと、また、本来はグレード 2 相当のアラームであるが、DCS 上部のランプ追加が運転中には実施できず、グレード 3 で運用していること等があげられる。

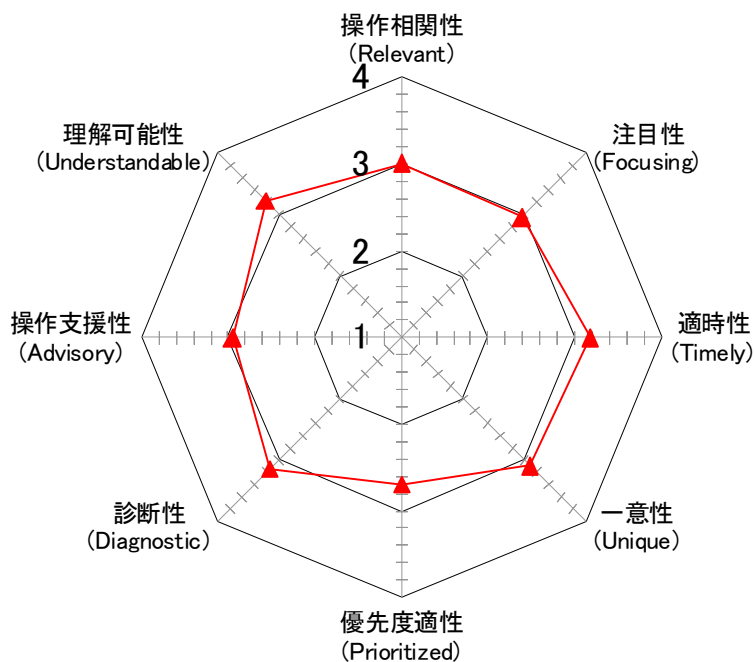


図 2-2 アラームシステムの 8 特性評価結果

## ② 運転経験別の評価結果

図 2-3 に運転経験年数別の評価結果を示す。図 2-3 から、運転経験によって評価結果に以下のような違いがあることがわかった。

- 1) すべての特性において 20 年以上の経験者による評価がもっとも高い。

これは、プラント運転開始の 1985 年から熟練者は現システムを自らが構築・使用しており、現システムを熟知していることにより評価が高いと考えられる。

記述式の設定問 22 や設定問 24 の回答（Appendix A-2）にあるように、新人オペレータはアラームの設定根拠、確認ポイント、操作をガイダンスしてくれる仕組み等を要望している。

- 2) 10 年未満と 20 年未満の組と 20 年以上と直長の組で優先度評価が二極化している。

現システムへの慣れが比較的浅いオペレータは、優先度設定ができない現システムに満足していないことを表わしていると考えられる。

- 3) 20 年以上の者とそれ以外の者とで、注目性の評価結果に大きな違いがある。

これは、プラント運転の熟練度が影響していると考えられる。経験 20 年以上の者は定期修理が 1 年周期の時代に豊富な経験を積んでいる。定期修理は、その後、2 年周期、4 年周期と間隔が延びている。一般に、プラントの運転ノウハウは、プラントスタートアップ時の過渡状態での運転経験で多くを獲得することができるといわれている。アラームが発生した場合に何に注目すれば良いのか、熟練者ほどの確かな判断をしている。

評価結果の検証①、②に示すように、記述式の設定問は具体的な評価の際に有効であった。



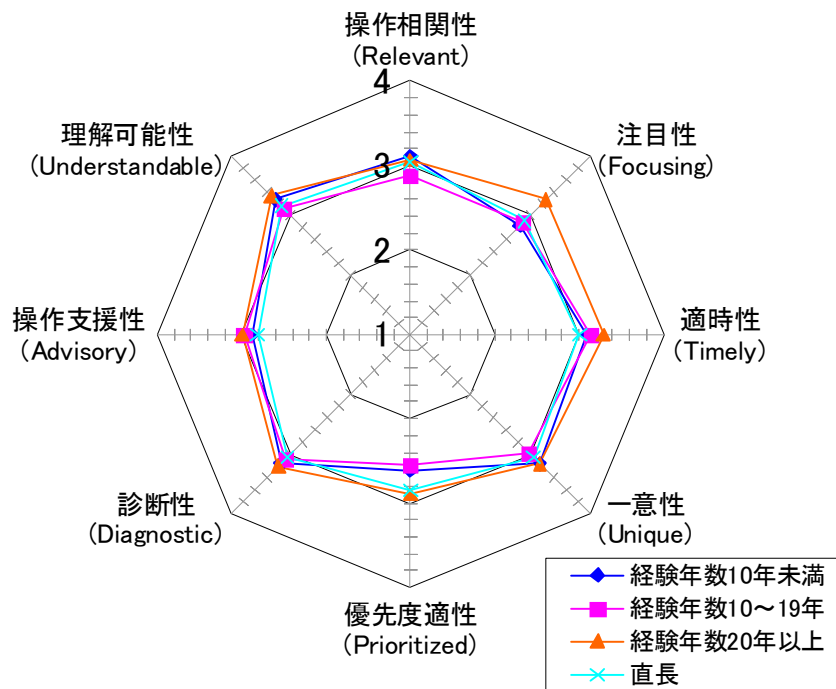


図 2-3 運転経験年数別アラームシステム性能評価結果

### ③ 英国 HSE 調査結果との比較

図 2-4 は、1998 年に公開された英国 HSE の調査結果とエチレンプラントのアラームシステム性能評価結果である。HSE 調査に参加した 13 サイトの平均値と比べて、エチレンプラントのアラームシステムが、操作相関性において優れていることが判る。これは、1990 年代から実施してきたトップ 10 アプローチと呼ばれる活動を中心にアラーム削減や制御性改善、運転支援環境構築などに努めてきた成果が現れているものと推測できる。その他の特性については、大きな開きはない。その理由の一つに、DCS の性能が挙げられる。エチレンプラントで使用している DCS は、1985 年に導入されたもので、通常、DCS は 20 年以上使用する。HSE のアンケート時期から、エチレンプラントと同世代の DCS を使用している。複雑なロジックは組み込めないため、理解可能性、操作支援性、診断性を向上させようとするれば、DCS の外部に機能を持たせることになる。アラームシステムは DCS 内にあるため、インフラが同等であれば顕著な差異は発生しない。結果として、過去のアラーム削減活動の成果が発報するアラーム数の差に現れたものと解釈できる。

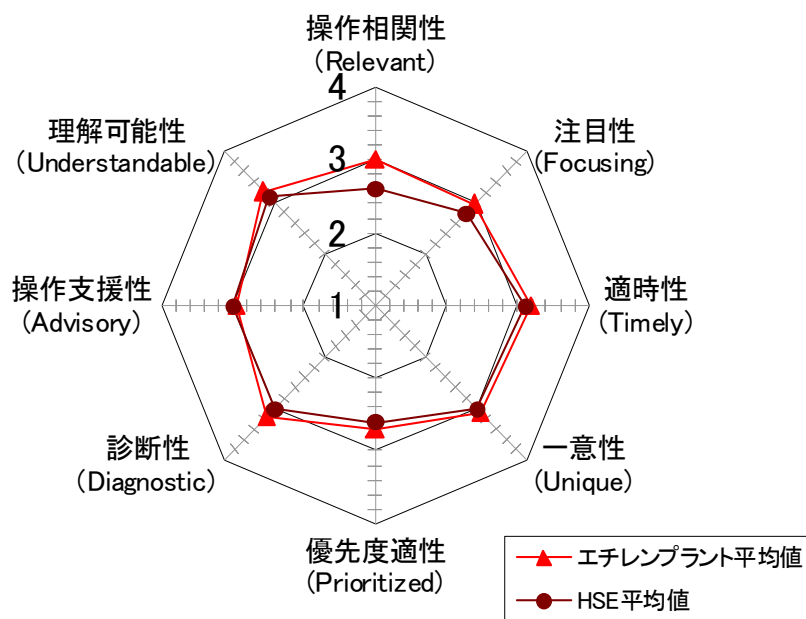


図 2-4 エチレン課平均値と HSE 調査平均値比較

## 2.5 アンケート数値の有意性確認

アンケートが数値的にどの程度有意であるかを確認するために、本スタディ対象の大規模化学プラントであるエチレンプラントの約半分の規模のプラント（後述の図 3-5 の E12）において、アラーム削減の前後でアンケートを実施した。対象オペレータの人数は 8 名である。スタディ結果を図 2-5 に示す。数値は、8 名のオペレータの平均値である。平均アラーム発生数は、アラーム削減前は 10 分あたり約 6 個で、アラーム削減取組み後、ほぼ半減した。本プラントの情報は社外秘扱いとされているために改善内容の詳細は記述できないが、図 2-5 より、アラーム改善効果が本アンケートにより相対的に把握できることが確認された。アラーム半減の改善効果は、アンケート数値の約 0.4 に相当すると考えられる。

アラーム数の大幅な削減は全項目の評価を上げる傾向があり、さらに個別の特性の改善に取り組んだものは改善幅が大きくなっている。一例を示すと、従来、アラームに優先度がつけられなかったが、高優先度のアラームについては専用の画面を新規に設置する等の改善を実施しており、優先度適性、一意性が他の特性よりも改善

幅が大きい結果が得られたものと評価できる。

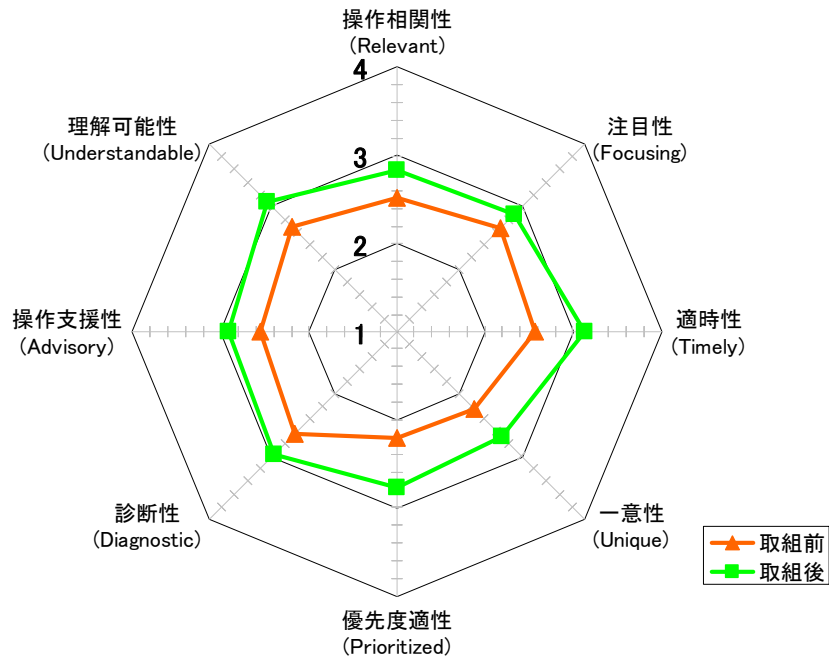


図 2-5 E12 プラントのアラーム削減取組前後のアンケート結果

## 2.6 まとめ

アラームシステムの 8 特性を定量的に評価するアンケート法を提案した。8 特性を定量評価することで、効果的なアラームシステムの性能改善に向けた着目すべき特性の抽出が期待できる。さらに、回答の背景を確認する補助的な質問やオペレータのアラームシステムに対する要望等を記述回答する設問により、アラームシステムの具体的な改善の方向性を調査できる。今後、各社のニーズに応じた設問を追加したり、実際に発報したアラーム数等のデータ解析からの評価値を加えれば、より実用性の高い評価ができるものとする。

今回対象としたエチレンプラントのアラームシステムは熟練者向けに作られている。しかし、今後数年で熟練者は一線を退き、運転経験の少ないオペレータと入

れ替わる。新操業員が運転する環境は、熟練者が経験してきた環境とは異なり、高度制御の適用や定期修理間隔の長期化により平常運転時そして変動時の操作機会が少なく、平常運転時と異常発生時とのギャップは以前よりも大きくなっている。そのような状況の下、比較的経験が少ない操業員に限られた時間の中で冷静に判断、処置を行うためには、これまで以上にアラームシステムの質的向上に向けた取組みが必要である。

表 1-5 に示すような既存のアラームシステムの数値的な性能評価指標だけでは、プラントの規模や特性、操業員の熟練度等の諸条件は考慮されていないため、本当に安心してオペレーションができるレベルが達成されているのかどうかは単純に判断できない。アラームシステムの性能を評価するには、ユーザーである操業員の立場からの評価を加味すべきと考える。そのために、提案するアンケート法は役立つと期待される。

### 3. トップ 10 アプローチによるアラーム削減

個々のアラームや操作の発生頻度ランキングに基づいて不要なイベントを見つける「トップ 10 アプローチ」がある。本章では、トップ 10 アプローチを実プラントの運転ログデータに適用し、アラーム削減が進んだプラントでは上位にランクされるアラームや操作イベントの割合が小さく、アラームの削減効率が低いことを示す。そして、新たなアラームの削減手法が必要であることを提言する。

#### 3.1 トップ 10 アプローチ

「トップ 10 アプローチ」は、イベントログデータからの発生頻度ランキングに基づく不要アラームおよび操作の削減方法である。通常、アラーム削減開始前は、トップ 10 アラームが 20-80%を占める<sup>(3)</sup>。

発生頻度の高い順にアラームイベントリストおよび操作イベントリストを作成し、リストの上位にランキングされたイベントから一つずつ精査し不要イベントを削減する。上位 10 個のイベントが削減できれば、新たに発生頻度ランキングを作成し、上位 10 位までにランキングされたイベントの削減を継続する。

図 3-1 にトップ 10 アプローチの流れを示す。

##### (1)アラーム・操作イベントの集計

最初に、DCS のイベントログデータを利用して、イベントの発生頻度を集計する。集計と解析は、オペレータが実施する。目的に適合した集計が手間をかけずに実施できるように集計ツールを用いる。集計ツールについては Appendix-B に紹介する。

アラーム削減活動は、一ヶ月間のデータを対象に行うことが多い。これは、異なる条件変更が日々発生するため、一日や一週間では、ベンチマークとしてのデータには適切でないためである。一ヶ月間の発生アラームの種類は数百に及ぶ。トップ 10 アプローチでは、アラームに加えて操作の削減も対象になる。適切なアラームはオペレータにアクションを促すものという考え方からすれば、操作も同時に解析、削減することはアラームの削減に寄与する。

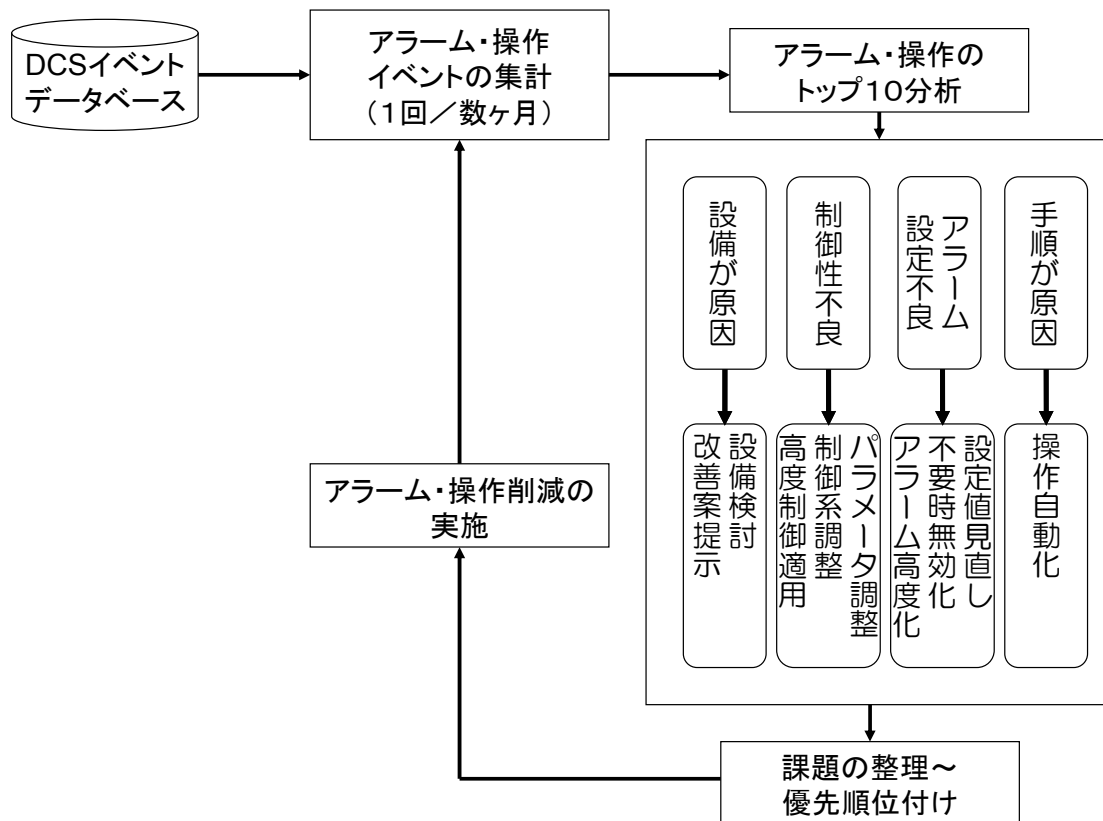


図 3-1 トップ 10 アプローチの流れ

## (2) アラーム・操作のトップ 10 解析

トップ 10 にランキングされたアラームや操作の要因について分析する。分析では、プラントの運転経緯に関する情報が必須のためオペレータが主体となる。オペレータは、アラームや操作イベントの発生状況を確認し、その原因と思われるものを整理する。原因は、設備の不具合、アラーム設定値の不良、制御性の不良、オペレータの操作手順の 4 つに大別される。アラームのトップ 10 解析の一例を表 3-1 に示す。実際の活動では、設定した削減目標を達成するために 10 位までにこだわらず必要な順位までを取組み範囲とする場合もあれば、毎日のワースト 1 位に着目して活動するような場合もある。

表 3-1 アラームのトップ 10 解析

Worst	タグ名	メッセージ	必要	設備		設定値		制御性			手順
				プロセス改善	機器是正	広げる	対象から外す	チューニング	制御方法変更	高度制御	
1	T9953	CCR TEMP:HI			○						
2	TC7271	V720B DT:LO									
3	ZK0709	C3 Rx sel:HI				○					
4	F1013	3S E101:HI				○					
5	ZK7002	V740 R/D:LO				○					
6	FK4079	V440BALA:LO				○					
7	X7220A	RX OUT:HI								○	
8	X1431A	O2 INLET:LO								○	
9	X2835A	MHN(IBP):HI	○								
10	P7506	V750 DP:HI				○					
11	F1524	V150BLOW:HI			○						
12	P7506	V750 DP:LO				○					
13	FK7050	V730BALA:LO				○					
14	P7501	V750 O/H:LO				○					
15	P7306	V730 DP:HI				○					
16	F1620	H160 BFW:LO		H160停止しての工事実施のため							
17	P7006	V700 DP:LO				○					
18	P4201	V420 O/H:DV+				○		○			
19	L5504	V550:HI									○
20	F2003	Q.O V200:DV-				○		○			
21	ZK7735	CD5/TCG RATIO:HI									○

### (3)課題の整理と優先順位付け

設備の不具合については、コストやプラント停止時にしか工事できない等の制約があり、実際の改善は、主にシステム面でのソフト的な対策が実行される。DCSにおけるアラームの設定値変更や運転支援システム（操作手順をグラフィカルにプログラム化できるツール）を利用した操作手順の自動化についてはオペレータ自身に取り組めるが、PID パラメータの高度なチューニング、DCS 制御ロジックの改造、新たな制御の適用等については制御エンジニアの協力が必要となる。数ヶ月の取組み期間とマンパワー、利用できる手段を勘案して実行の優先順位付けを行う。

過去に実施したアラーム削減活動は、主にオペレータのみで解決できる部分しか取組まなかったため削減手段が手詰まりとなり、継続性を失った側面がある。技術スタッフも加え、解決手段を豊富に準備することが、活動継続の一つのポイントである。

### (4)アラーム・操作削減の実施

優先順位に基づいて実行計画を作成し、アラーム・操作の削減を実施する。(1)

～(4)のサイクルを、アラーム・操作の削減目標を達成するまで、数ヶ月単位で繰り返す。削減目標達成後も、良好状態を維持するためには、定期的にこのサイクルを回す必要がある。例えば、季節変動により、冷媒として使用している海水や工業用水の水温は変化し、燃焼に用いている空気の温度も変化するため、アラーム設定値を一定で放置すればアラームが漸増してしまう。

## 3.2 アラーム削減法

代表的なアラーム削減手法について解説する。

### 3.2.1 アラーム設定値変更

アラームの設定値変更による不要アラームの削除である。大別して、以下のようないケースがある。

(1) 運転条件が変化し、現在では不要となった。

現在の運転状態に基づき、必要時以外にアラームが発報しないように適切な値に設定値を変更する。不要であれば、削除する。

(2) 定常運転時には適切な設定ではあるが、条件変更時の変化には設定が厳しすぎてアラームが多発している。この場合は、運転条件の変化に合わせて、設定値を変更するロジックを DCS 上に構築する必要がある。条件変更時は、一時的に使用されない計器（入力レンジオーバーするもの）について、そのステータスを検知してアラームを一時的に OFF にする方法も有効である。

(3) 制限値付近のハンチングによるアラームの多発

機器的な制約に基づく比較的優先順位が高いアラームの設定値を変更することは難しい。そこで、設定値付近でプロセス値は変動し、短時間に多くのアラームが発報しているケースには、DCS のヒステリシス機能（発報後、設定値付近での発報を抑制する機能）が有効である。

上記の対策は、DCS の機能を利用すれば容易に実現できるように思われるが、現場で使用されている 10～20 年前に導入した DCS には、機能が十分揃っていないケースも多い。したがって、後述する運転支援システムを利用した改善が良く行われている。



### 3.3.2 PID パラメータチューニング

プラントの制御システムの95%以上はPID制御である。PID制御が良好に機能していなければ、当然のことながらプラントの変動は大きくなり、アラームを誘発する。PID制御ループの数は、一人のDCSオペレータあたり通常200~400ループである。運転条件が変われば最適なPIDパラメータも変化する。PIDパラメータの調整は、日本の場合、通常、オペレータに許されているが、数も多いため、常時、全ての制御ループで最適なPIDパラメータを維持することは困難である。そこで、アラームの多発等で改善の必要性が顕在化した際にPIDパラメータを見直しているのが現状である。最近では、PID制御のパフォーマンス指標を常時監視し、その変化を捉えて、チューニングを実施している例もある<sup>(29)</sup>。しかし、全ての制御ループに対して適用しようとする、通信負荷やデータベースサーバ側のパフォーマンス上の制約にかかるため、全てのプラントには容易に展開できない。オペレータによるPIDパラメータのチューニング方法は、試行錯誤によるものが多く、最適なパラメータ付近にチューニングできていないケースが時々ある。PIDチューニングツールを活用したり、教育を実施したりして、チューニングの効率化を図ることも必要である。

### 3.2.3 運転支援システムの活用

運転操作に伴って発生するアラームについては、運転支援システムを用いて、操作を標準化、自動化し、運転操作に起因するプロセス変動を小さくするとともに、運転条件の変化に追従してアラーム設定値を変更することでアラームの発生を抑制することができる。運転支援システムの例を図3-2に示す。運転支援システムは、アイコンと呼ばれる部品をフローチャート形式で接続してロジックを作成するツールで、特別なプログラミング技術を必要とせず、運転ノウハウを持つオペレータが容易に構築できるものである。

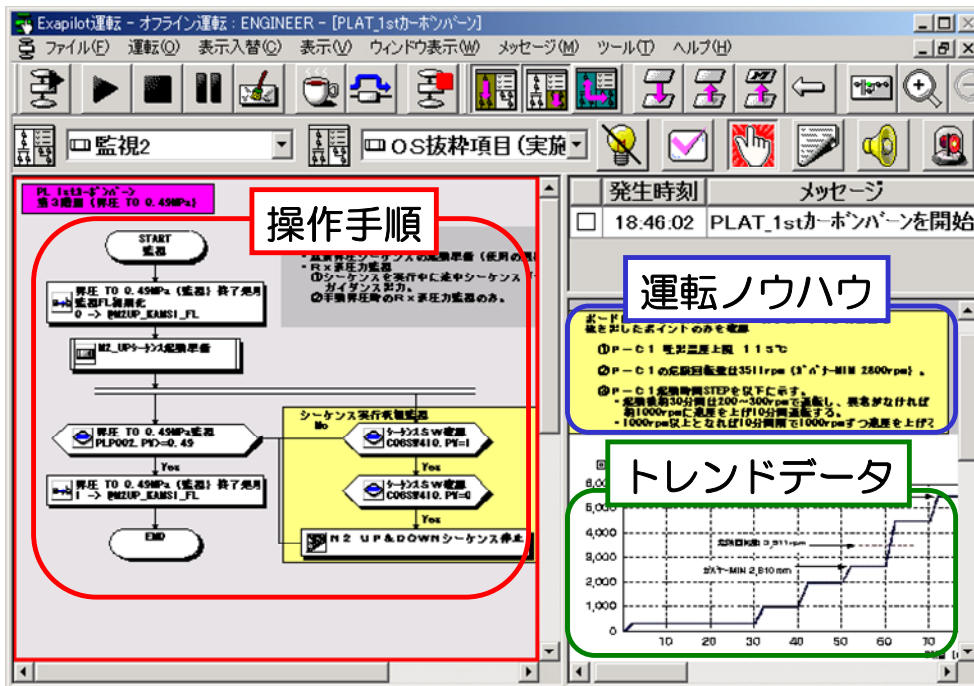


図 3-2 運転支援システム<sup>(23)</sup>

### 3.2.4 新制御法の適用

PID 制御のチューニングや多変数モデル予測制御等では、安定化できないプロセスがある。PID 制御は  $L/T$  (無駄時間 / 時定数) が大きくなると制御性が悪化する。多変数モデル予測制御は、 $L/T$  が大きな制御対象に適用できるが、組成の変化等によりプロセス特性が変化すると使用しているモデル精度が低下し制御性が劣化する。そこで、PID パラメータの可変変化や、非線形制御等の新たな制御手法を用いて安定化を図る。しかし、運転の安定化は通常、経済効果に直結しないため、コストや手間は最小限にしたいのが実情である。そこで、DCS 上で構築できる制御として、 $L/T$  が比較的大きな制御対象に適用できるアドバンス型 PID(A-PID)制御<sup>(27)(28)</sup>が提案されている (図 3-3)。原料性状の変化に起因する蒸留特性の変化等で、多変数モデル予測制御では良好な制御が実現できなかった箇所に A-PID 制御を適用することで、制御性を改善できる場合がある。

## コントローラーの適用基準概要

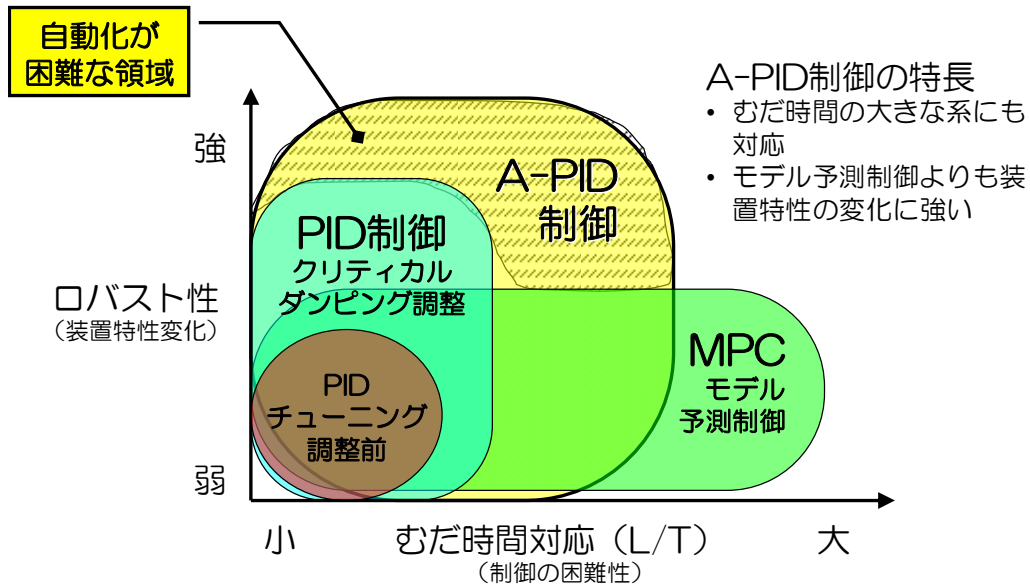


図 3-3 制御系の適用基準

### 3.2.5 アラームの高度化

プラント運転では、各プロセス変数（温度、圧力、流量等）のトレンドやしきい値によるアラーム発報時に、オペレータが、これまでの経験や事例等を基に不調・故障を判断し回避操作を取っている。したがって、異常兆候の早期検出・判断・処置能力にはどうしても個人差が存在する。異常の早期発見と対応操作の標準化及びシステム化が達成できれば、安定運転の強化とアラーム発生の低減につながる。

#### 3.2.5.1 マクロアラームの適用<sup>(24)</sup>

温度、圧力、流量等の従来の監視項目に加えてプロセス変数を各機器の状態変数に加工し、総合的判断により正常か異常かを判断する機能を構築する。これにより、機器の健全性確認・異常兆候の早期検出を容易にし、早期に対処することによって、異常の伝播範囲を小さくするで、将来発生するアラーム数を低減することができる。マクロアラームの例を図 3-4 に示す。

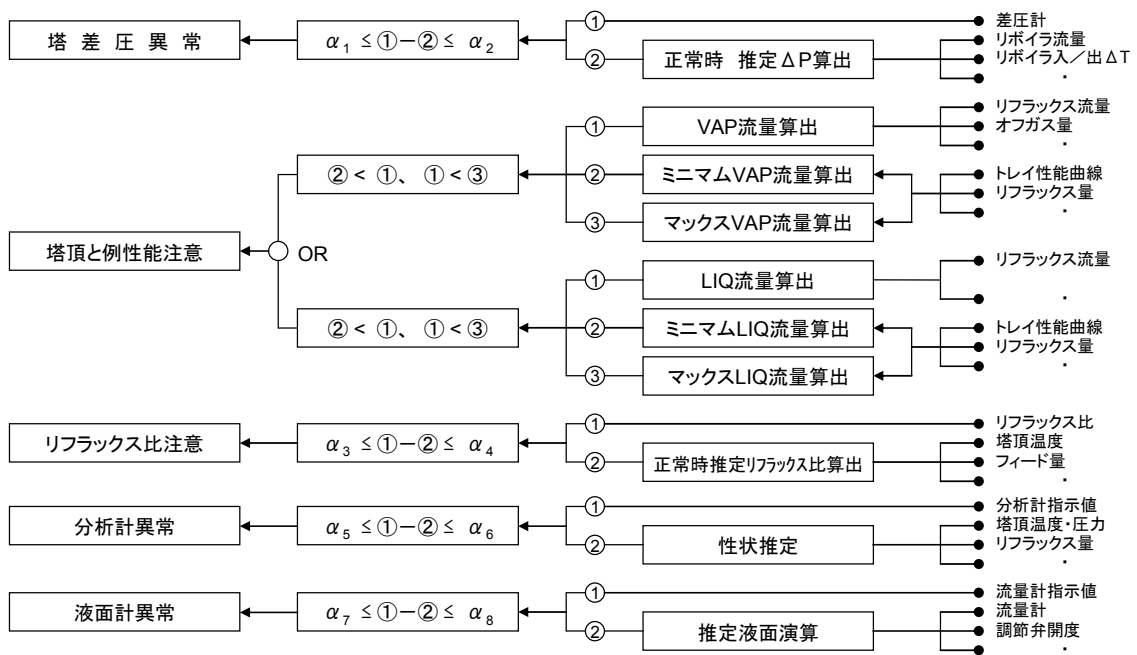


図 3-4 蒸留塔マクロアラームロジックの例

マクロアラームの開発ステップは、以下のとおりとなる。

- ① ボードマンの業務分析
- ② ボードマンの思考パターン分析
- ③ 従来のアラーム（しきい値情報）と必要診断項目との体系化－必要な診断項目の抽出
- ④ 診断項目に対するロジック開発

### 3.3 実プラントへの適用結果

出光興産の石油精製・石油化学プラントでは、1990年代後半よりトップ10アプローチを中心としたアラーム削減活動に取り組んできた。2006年のアラーム発生状況を図3-5に示す。EEMUAが提示する定常時1回/10分の基準を達していない装置が約半数あることがわかる。アラーム数が多いプラントは、通常、アラーム設定総数が多い大規模プラントや、運転条件の変更が頻繁に行なわれる装置である。

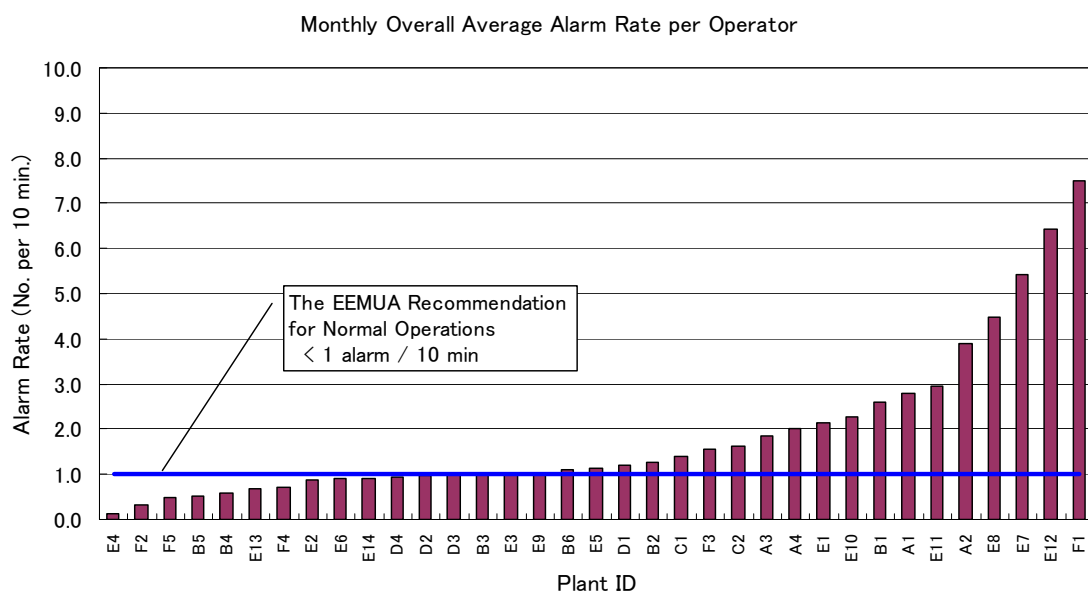


図 3-5 出光興産プラントにおけるアラーム発生状況(2006年)

エチレンプラント(E1)を対象として、アラーム削減活動に取り組んだ結果を図3-6に示す。活動当初と比較して、アラーム件数が約2/3に減少していることがわかる。途中で、アラーム件数が増加している箇所があるが、これはプラントの異常やシャットダウン、スタートアップによるものである。エチレンプラントでは、2003年にトップ10アプローチによるアラーム削減活動を本格的に開始した。その結果、2006年には平均アラーム発生数約2回/10分を達成した。しかし、その後、削減が停滞している。この停滞時のエチレンプラントのアラームトップ10の占有率を図3-7に示す。トップ10の占有率は20%未満となり、トップ10を中心に改善に取り組んでも大きな成果が得られないことがわかる。しかし、エチレンプラントのアラーム発生件数は、EEMUAが提案している定常時1回/10分の約2倍であり、さらなる改善が

必要とされていることがわかる。

エチレンプラントの月平均アラーム発生件数(2003年6月-2009年3月)

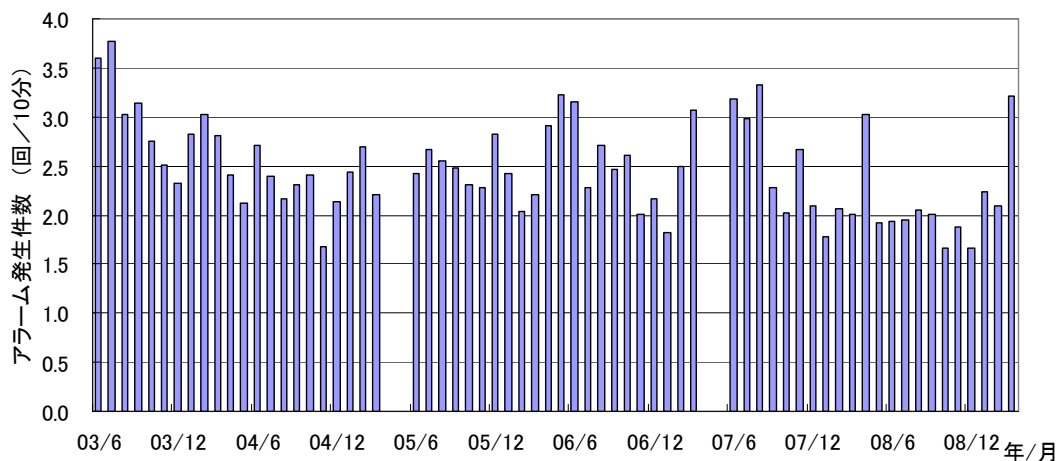


図 3-6 エチレンプラントのアラーム発生件数推移

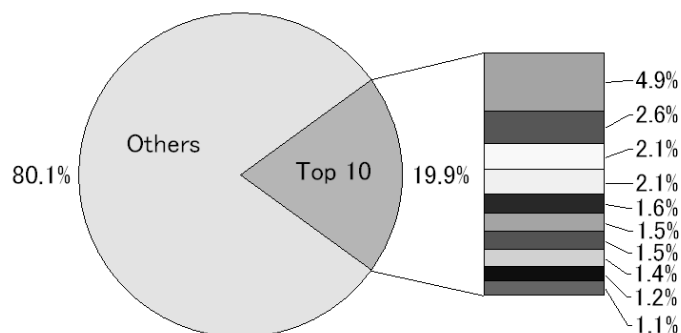


図 3-7 エチレンプラントのアラームトップ 10 占有率(2008年11月)

### 3.4 まとめ

トップ 10 アプローチのような発生頻度ランキングによるイベント削減は、ランキング上位のイベントの占有率が高い初期段階では効果的である。しかし、不要なイベントの削減が進み上位のイベントの占有率が下がってくるにしたがって削減効

率は低下する。図 3-7 に示すように、上位 10 位までのアラームイベントの占有率が 20%程度になると、上位のイベントを削減できたとしても、全体のイベント発生数に対する削減効果は限定的で、アラーム削減活動が停滞する。また、単独のイベントからだけでは、そのイベントが発生した根本原因を見つけることが難しい場合がある。図 3-8 に図 3-5 の E12 プラントのアラームと操作の発生状況を示す。図 3-8 から、アラーム発生と操作発生との間には何らかの相関性が確認できる。したがって、アラームイベントと操作イベントを分離して利用するよりも一緒に利用した方が、イベント発生の原因を見つけることが容易になると期待される。

EEMUA が提案している適正化の基準を満足するためには、従来の個々のイベントに着目したトップ 10 アプローチ等の方法に加えて、新たなアラーム削減手法が必要である。

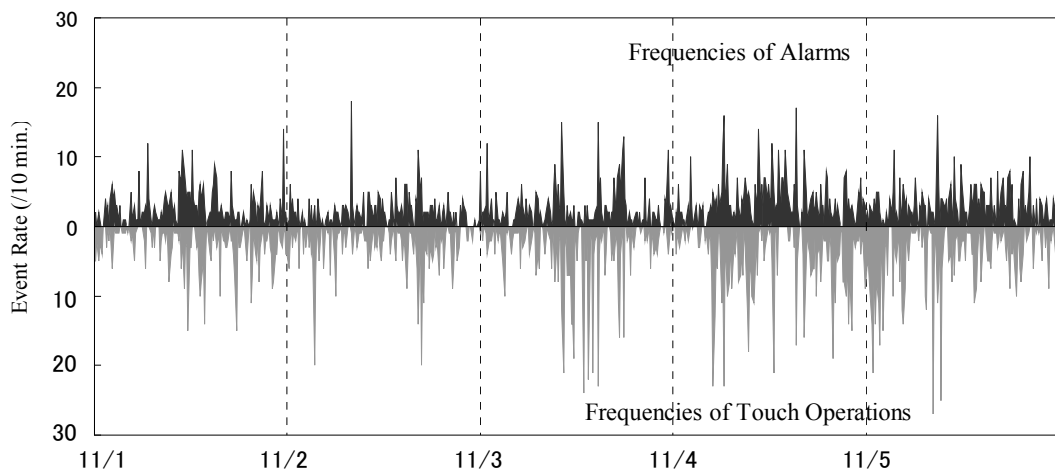


図 3-8 E12 プラントのアラームと操作の発生状況

#### 4. イベント相関解析によるアラーム削減

新たなアラーム削減手法として、単独のイベントに着目するのではなく、関係する複数のイベントをグループ化し、グループ単位で削減することを考える。グループ内に含まれるイベント間の関係を調べることで、それらのイベントが発生した根本原因が見つけやすくなる。個々のイベントの発生数の占有率が低くても、グループ全体としての占有度が大きければ、削減効率は高くなる。「トップ 10 アプローチ」では、発生回数ランキングリストをアラームイベントと操作イベント別に作成していた。アラームイベントと操作イベントの間に相関関係があることが予想されるため、アラームイベントと操作イベントを区別せずにまとめてグループ化する。本章では、イベント間の類似度に基づくクラスタリング手法であるイベント相関解析を用いたアラーム削減法<sup>(22)</sup>について説明する。

##### 4.1 イベント相関解析法

イベント相関解析とは、離散的に発生するイベントとその発生時間からなるイベントデータからの知識抽出法である。

イベント相関解析では、まずアラームや操作とそれらの発生時刻を記録したイベントログデータを 0-1 データ  $s_i(k)$  に変換する (図 4-1)。イベント  $i$  が  $T_s + (k-1)\Delta t$  と  $T_s + k\Delta t$  の間に発生したとき  $s_i(k) = 1$ 、発生しないとき  $s_i(k) = 0$  とする。ここで、 $T_s$  はイベントデータの記録開始時刻、 $\Delta t$  は 1 ステップの時間幅である。

タイムラグを  $m$  としたときの、二つのイベント  $i$  と  $j$  の相互相関関数  $c_{ij}(m)$  は、(1) 式で計算できる。

$$c_{ij}(m) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{T/\Delta t - m} s_i(n)s_j(n+m) & 0 \leq m \leq K \\ c_{ji}(-m) & -K \leq m < 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $K$  はタイムラグの上限値、 $T$  はイベントログデータの記録時間である。 $c_{ij}(m)$  の計算例を図 4-2 に示す。 $c_{ij}(m)$  が、最大値を取るときのタイムラグを  $m_{ij}^*$ 、そのときの値を  $c_{ij}^*$  とする。

イベント  $i, j$  が互いに独立であるとする、その同時発生確率  $p_{ij}$  は、それぞれの



発生確率  $p_i$  および  $p_j$  から(2)式で求められる。

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j = \frac{\Delta t^2}{T^2} \sum_{n=1}^{T/\Delta t} s_i(n) \cdot \sum_{n=1}^{T/\Delta t} s_j(n) \quad (2)$$

同時発生確率  $p_{ij}$  が十分小さいとき、イベント  $i$ 、 $j$  の相互相関関数  $c_{ij}(m)$  の確率分布  $P(c_{ij}(m)=k)$  は、(3)式のポアソン分布で近似される。

$$P(c_{ij}(m) = k) \approx \frac{\nu^k e^{-\nu}}{k!} \quad (3)$$

ここで、 $\nu$  は  $T/\Delta t$  期間におけるイベント  $i$ 、 $j$  の相互相関関数  $c_{ij}(m)$  の期待値であり、(4)式により求められる。

$$\nu = T / \Delta t \cdot p_{ij} \quad (4)$$

このとき、所与の範囲内のタイムラグ ( $-K \leq m \leq K$ ) で  $c_{ij}(m)$  が  $c_{ij}^*$  以上になる確率は、理論的に(5)式のように導かれる<sup>(30)</sup>。

$$P(c_{ij}(m) \geq c_{ij}^* \mid -K \leq m \leq K) \cong 1 - \left( \sum_{l=0}^{c_{ij}^*-1} \frac{\nu^l e^{-\nu}}{l!} \right)^{2K+1} \quad (5)$$

(5)式は、独立な二つのイベントの相互相関関数値が所与の範囲内のタイムラグで  $c_{ij}^*$  以上となる確率である。 $c_{ij}^*$  の値が大きくなればなるほど、その確率は小さくなる。(5)式を二つのイベントの独立性の指標と考えると、1 からその確率を引いた値は二つのイベントの類似度(従属性)を表す指標とみなすことができる(図 4-3)。そこで、イベント  $i$ 、 $j$  間の類似度  $S_{ij}$  は、(6)式のように定義される<sup>(22)</sup>。類似度  $S_{ij}$  が大きいほど、イベント  $i$ 、 $j$  の相関関係は強い。

$$S_{ij} = 1 - P(c_{ij}(m) \geq c_{ij}^* \mid -K \leq m \leq K) \quad (6)$$

すべての二つのイベント間の類似度を(6)式によって求め、階層的なクラスタリング手法である最短距離法を用いて、イベント間の類似度に基づきイベントをグループ

化する(図 4-4)。最短距離法の最短距離は、二つのグループに含まれるイベント間の類似度の最小値で定義した。二つのイベントの類似度が類似性の有無判定のしきい値以上であるとき、これらのイベントは同一のグループに分類される。

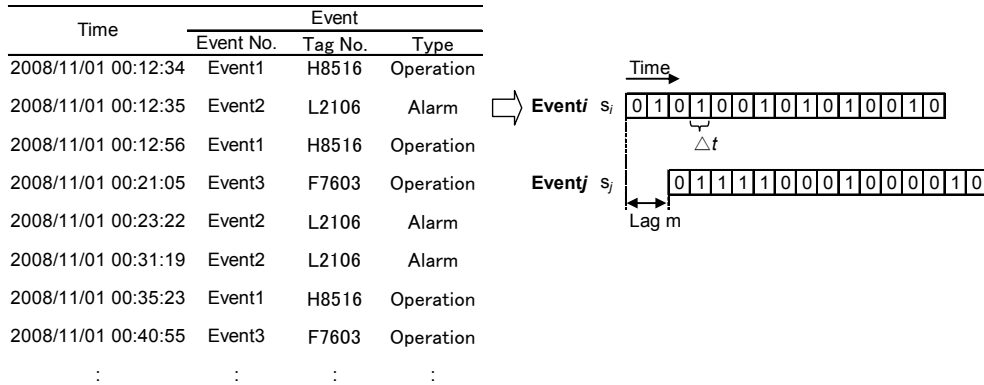


図 4-1 イベントログデータのバイナリーデータへの変換

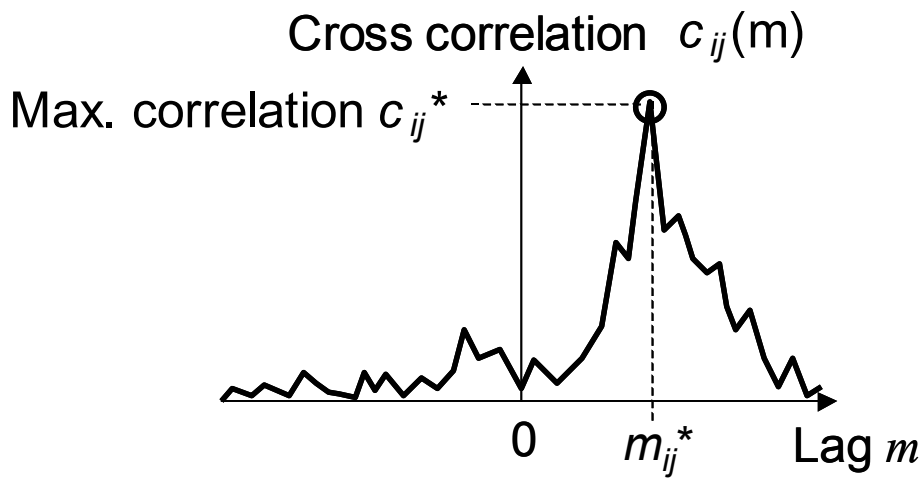


図 4-2 相互相関関数

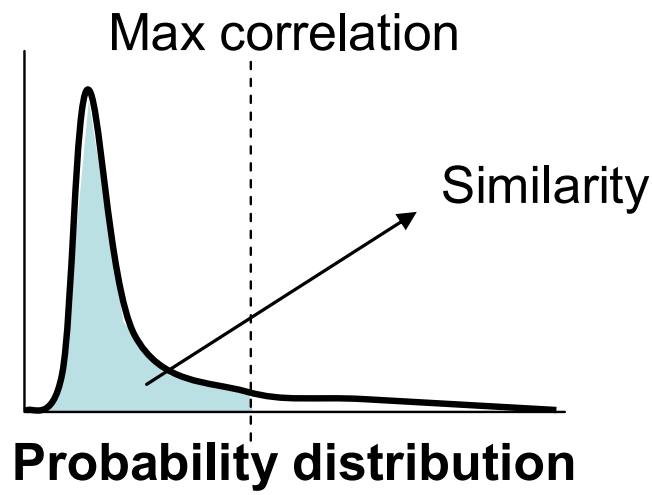


図 4-3 類似度の定義

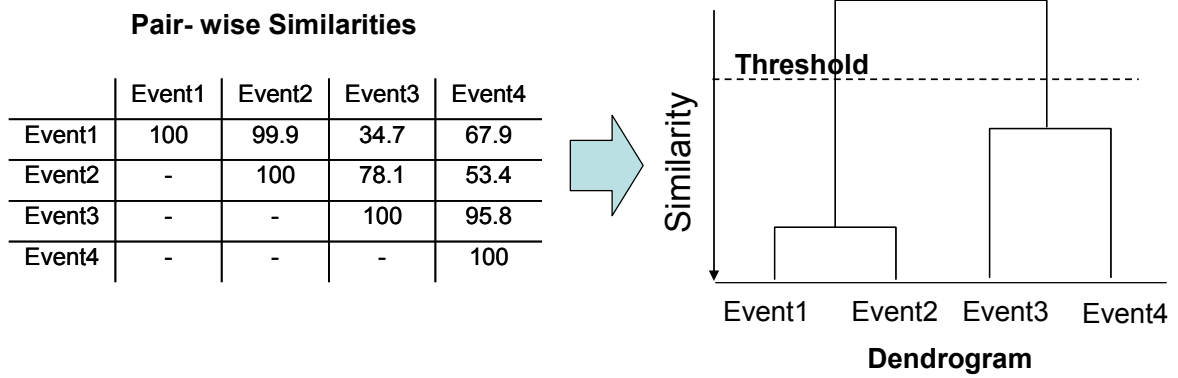


図 4-4 類似度に基づくクラスタリング

## 4.2 イベント相関解析による不要イベントの抽出

イベント相関解析によりグループ化されたイベント群を解析することで、以下のような不要イベントの抽出が考えられる。

### (1) 連鎖アラーム

同一グループ内に複数のアラームイベントが含まれているとき、それらのアラームイベントは連鎖アラームであると考えられる。連鎖アラームとは、一つの異常原因に対して連鎖して発生するアラーム群であり、ファーストアラーム以外のアラームはオペレータに有用な情報を与えないばかりか、アラーム洪水の原因となる。連鎖アラームは、アラーム設定値を見直すことで削減できる。

### (2) 定型操作

同一グループに含まれる操作イベント群が定期的に発生するとき、それらの操作イベント群は定型操作であると考えられる。定型操作は、操作の自動化により削減できる。定型操作に付随して発生するアラームイベントは、定型操作時にアラーム設定値を自動変更することで削減できる。

### (3) 不要アラーム・冗長操作

同一グループ内にアラームイベントのみが含まれるとき、対応操作が不要な不要アラームである可能性が高い。不要アラームであれば削減できる。また、操作のみのイベントは、操作理由を明確にし、冗長的な操作であれば削減できる。一方、アラームが伴わないトレンド画面等の監視結果に起因するものであれば、必要に応じて新たなアラーム設置等の検討を行なう。

## 4.3 まとめ

新たなアラーム削減手法として、従来の単独イベントではなく、イベント間の相関に着目して、複数イベントをグルーピングするイベント相関手法について説明した。しかし、イベント相関解析の適用結果の報告例は仮想的もしくは小規模なプラントに限定されており、石油精製・石油化学プラント等の大型プラントでのアラーム削減効果は検証できていない。次章では、石油化学の大規模プラントであるエチレンプラントにイベント相関解析を適用した結果を示す。

## 5. イベント相関解析のエチレンプラントへの適用

図 5-1 に、2008 年 11 月 1 日から 11 月 5 日の 5 日間に、エチレンプラントで発生した 10 min あたりのアラームと操作のイベント発生数を示す。グラフに示すように、アラームイベントの発生頻度にはピークがあり、その最大値は 10 min 間あたり 20 回以上と EEMUA のガイドライン（定常運転時の平均アラーム発生数は 10 min 間に 1 回）を大きく超えている。このことから、エチレンプラントにおけるアラーム削減の必要性がわかる。しかし、図 3-7 に示すように、アラームのトップ 10 占有率が低いため、トップ 10 アプローチによるアラーム削減は効率的ではない。本章では、イベント相関解析をエチレンプラントのログデータに適用し、その有効性を検証する。

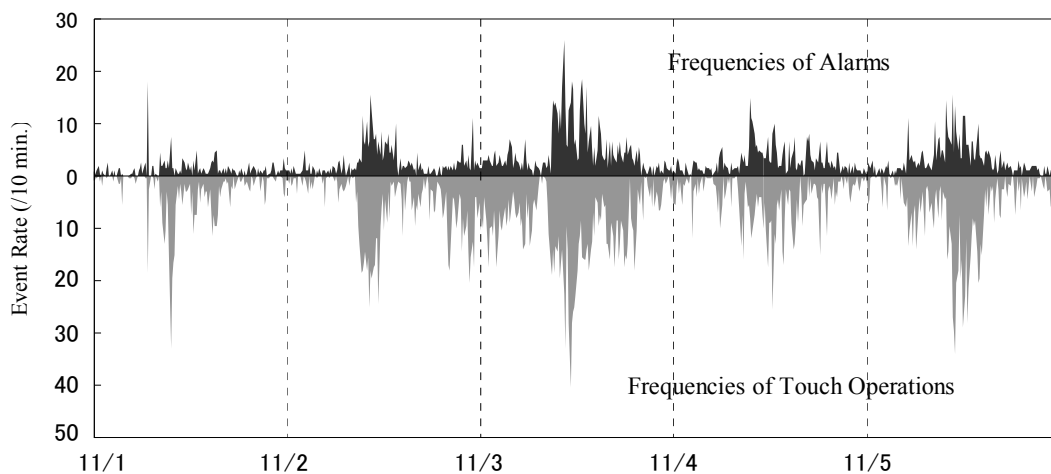


図 5-1 エチレンプラントのアラームと操作の発生状況

### 5.1 解析対象のイベントデータ

イベント相関解析を用いた不要なアラームおよび操作の削減方法に対する有効性を検証するために、エチレンプラントの 1 ヶ月分のイベントログデータにイベント相関解析を適用した。イベントログデータには、1771 種類のイベントが含まれ、イベントの総発生回数は 51640 回であった。

発生回数上位 10 位までのアラームイベントおよび操作イベントを表 5-1 に示す。表中のイベント名は、機器名とセンサや操作端の種類組み合わせによって記述し

た(図 2-1、表 2-2 参照)。発生回数上位 10 位までのアラームイベント発生回数の合計は 6456 回、操作イベント発生回数の合計は 4895 回で、全体のイベント発生回数に対する割合はそれぞれ 12.5%、9.5%であった。イベント相関解析のパラメータには、 $\Delta t = 10 \text{ min.}$ 、 $K = 3$ 、イベント間の類似性の有無判定のしきい値として 0.995 を用いた。

表 5-1 上位 10 位のアラームと操作

Rank	Tag	Number of alarm events	Rank	Tag	Number of operation events
1	U1-Press1	2319	1	G1-Power1	545
2	U1-Flow1	1193	2	V2-Flow1	541
3	V2-Level1	938	3	H4-Press1	531
4	V8-Level1	451	4	H1-Press1	508
5	V5-Ratio1	392	5	V1-Flow1	493
6	H6-O <sub>2</sub>	316	6	H6-O <sub>2</sub>	481
7	H7-Flow1	222	7	V2-Level1	456
8	H2-O <sub>2</sub>	210	8	V2-Flow2	452
9	H1-O <sub>2</sub>	209	9	H5-Press1	446
10	H2-Flow1	206	10	V2-Temp1	442

## 5.2 解析結果と考察

### (1) イベントのグループ化結果

イベント相関解析によりイベントログデータをグループ化した結果、1771 種類のイベントが 657 のグループに分類された。グループに含まれるイベントの発生回数の合計が多い上位 10 グループを表 5-2 に示す。表中には、グループごとのアラームイベントおよび操作イベントの総発生回数、アラームイベントおよび操作イベントの種類の数、グループに含まれるイベントに最も関連する機器名をまとめた。

上位 10 グループに含まれるイベントの総発生回数は 16420 回で、すべてのイベン

トの総発生回数 51640 回に対する割合は 31.8%であった。これは、表 5-1 に示す上位 10 位までのアラームイベント発生回数の総イベント発生回数に対する割合（12.5%）の約 2.5 倍、上位 10 位までの操作イベント発生回数の総イベント発生回数に対する割合（9.5%）の約 3.3 倍である。このことから、イベント相関解析による不要イベントの削減効率の高さが期待される。次に、上位 10 位までの各グループを詳細に分析する。

表 5-2 トップ 10 ワーストグループリスト

Gr.No.	Number of events			Number of tags			Related unit
	Total	Alarm	Operation	Total	Alarm	Operation	
1	4,198	0	4,198	15	0	15	V2
2	3,570	3,570	0	3	3	0	U1
3	1,314	0	1,314	8	0	8	H8
4	1,223	83	1,140	10	4	6	H4
5	1,158	47	1,111	5	1	4	H6
6	1,072	141	931	13	7	6	G1,D1,K1
7	1,034	213	821	9	4	5	H2-4,7
8	1,003	0	1,003	4	0	4	V6
9	938	938	0	1	1	0	V2
10	910	62	848	5	1	4	-

## (2) グループの分析

イベント相関解析によって分類された上位 10 グループについて発生要因を詳細に分析した。最上位のグループに含まれる 15 種類のイベントの内訳を表 5-3 に示す。表中には、イベント名、発生回数、個々のイベント発生数のランキング順位を示す。最上位のグループに含まれる 15 種類のイベントはすべて操作イベントであった。15 イベントのうちイベントごとの発生回数ランキング 10 位以内に含まれるイベントは 3 種類のみで、従来の個別ランキングに基づく方法では削減対象とならないイベントが 12 種類含まれている。

表 5-3 ワーストグループの内訳

No.	Tag	Number of events			Worst tag rank	
		Total	Alarm	Operation	Alarm	Operation
1	V2-Flow1	541	0	541	-	1
2	V2-Flow2	493	0	493	-	5
3	V2-Level1	456	0	456	-	9
4	V2-Flow3	452	0	452	-	10
5	V2-Temp1	442	0	442	-	11
6	V2-Level2	401	0	401	-	14
7	V2-Flow4	265	0	265	-	29
8	V2-Flow5	200	0	200	-	46
9	V2-Level3	191	0	191	-	52
10	V2-Level4	185	0	185	-	57
11	V2-Level5	153	0	153	-	72
12	V2-Level6	152	0	152	-	74
13	V2-Tevel2	125	0	125	-	103
14	V2-Level7	84	0	84	-	136
15	V2-Switch1	58	0	58	-	185

イベント名から、このグループに含まれるイベントは装置 V2(Quench water tower) に関係していることが推測された。イベントの発生タイミングと分解炉のデコーキング期間の関係を調べた結果、これらのイベントが図 5-2 に示すように分解炉のデコーキング期間と同期して発生していることが判明した。さらに操作イベントを詳しく調べたところ、表 5-3 に示した 15 種類のイベントはデコーキング時の一連の作業であることがわかった。分解炉の下流にある V2 では、デコーキング操作の前後に流入蒸気量が大きく変動する。デコーキング期間に同期して V2 に関係するイベントが多数発生する要因は、運転員による V2 安定化のための対応操作であることがわかった。デコーキング操作とは、原料を高温で熱分解する分解チューブ内壁に



堆積する炭素質コークを除去する作業で、一つの分解炉ごとに約3週間の間隔で実施している。原料を一時カットし、コークを燃焼により除去する。

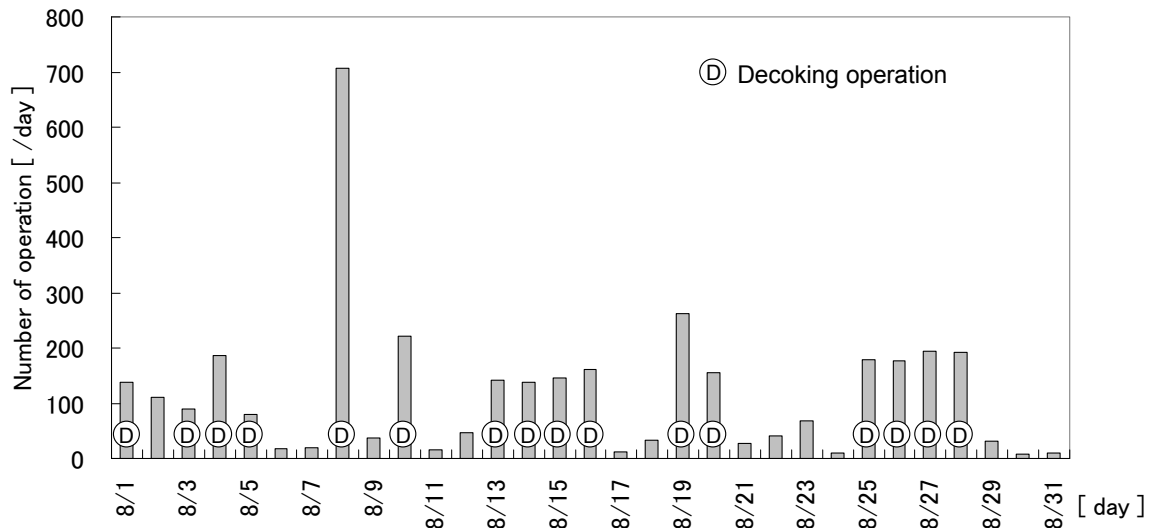


図 5-2 最上位グループの操作数とデコーキング操作

同様に、第3-5位、第7位のグループに含まれるイベントも分解炉のデコーキング作業に関連する操作イベントおよびアラームイベントであることがわかった。分解炉のデコーキングに関連する操作イベント数は、エチレンプラントで発生する総操作イベント数の約30%を占める。コストの問題から、分解炉のデコーキング作業をただちに自動化し削減することはできないが、これらのデータは運転員の作業負荷低減を検討する際の基礎データとなる。また、デコーキング作業に起因するアラームイベントが343回発生していることも判明した。デコーキング作業中に発生したほとんどのアラームはデコーキング作業時以外の別の目的のために設定されたもので、デコーキング作業時には不要なアラームである。これまで、デコーキング作業によってどのようなアラームがどの程度の頻度で発生しているか把握できていなかった。デコーキング作業中にこれらのアラームの管理範囲を変更することで、これらの不要アラームを削減できることがわかった。

第2位のグループに含まれるイベントはすべてアラームイベントで、装置 U1 (用

役装置)に関連している。グループ内にアラームイベントに対応する操作イベントがないことから、不要アラームである可能性が高い。これらのアラームを詳しく調べた結果、海水配管の差圧変動を原因とするチャタリングアラームであることがわかった。チャタリングアラームとは、発報と復帰を短い時間間隔で繰り返すアラームで、発報するたびにオペレータによる確認を要求するためオペレータの負担は大きい。夏場のプラントは、高い海水温のため冷却用の海水を循環する装置能力の限界付近で運転されている。そのため、海水温の変化によりチャタリングアラームを発生しやすい。チャタリングアラームは、フィルタリング手法の一種であるマスキングによって削減することができる<sup>(26)</sup>。マスキングとは、同一のアラームイベントが短時間間隔で発報と復帰を繰り返したときに、最初に発生したアラームを除いてオペレータにアラーム情報を意図的に伝達しない方法である。発報したアラームを見かけ上見えなくする方法であるため注意して用いる必要があるが、オペレータをアラームの洪水から守る有効な手段である。

第8位のグループに含まれるイベントはすべて操作イベントで、装置V6(エチレン精留塔)に関連している。V6では、塔頂から製品エチレンの一部を蒸気のまま出荷し、残りを冷却・液化し出荷する。第8位グループに含まれる操作イベントは、蒸気出荷先の装置における消費量の急激な減少に対応するために行う液出荷を増加させる出荷調整操作であることがわかった。出荷調整操作の手順は定型化できるものであり、本イベントは自動化により削減できる。

第9位のグループには、装置V2(Quench water tower)に関するアラームイベントが種類だけ含まれていた。このアラームイベントに対応する操作イベントは最上位のグループに含まれていて、本アラームが発報する前にすでに必要な操作が実施されていることがわかった。第1位のグループと第9位のグループに含まれるイベント間の類似度は高かったものの、しきい値(0.995)より小さかったため別グループに分類されたと考えられる。このアラームは不要アラームと判定した。

第10位のグループは、デコーキング作業に関係するグループで、一つの分解炉の操作イベントと全分解炉に共通するアラームイベントと操作イベントが含まれていた。イベント間に関係はあるものの、他の分解炉のデコーキング作業に関するイベントが入っていないため、本グループのイベント構成は不十分と判定した。それゆえアラーム削減の対象にはならなかった。

表5.2の各グループ番号を用いて、4.2節で示した不要イベントの種類別に整理す

ると、以下のように分類された。

- (1)連鎖アラーム：2, 9
- (2)定型操作：1, 3, 4, 5, 6, 7, 8
- (3)不要アラーム・冗長操作：該当なし

### 5.3 アラーム削減の実施

イベント相関解析を適用した結果、分解炉のデコーキング操作に関連するグループが多く抽出されたが、デコーキング操作には現場のオペレータの手作業も入るため、自動化は容易ではない。アラーム・操作削減への取組みの優先順位は、実行時の難易度も考慮して決定する。本論文では、優先順位が高かった第6位のグループを取り上げた。

第6位のグループに含まれるイベントの内訳を図5-3に示す。タグ名より、これらのイベントは装置G1（ガスタービン）、D1（脱硝装置）、K1（排ガススタック）に関連することがわかる。イベントの発生タイミングを詳しく調べた結果、これらのイベントが同期して発生していること、発生のタイミングが毎週1～2回行われるタービンプレードの洗浄作業（非定常作業）期間に対応することがわかった。そこで、運転支援システムを用いてタービンプレード洗浄作業の自動化、洗浄作業中のアラーム管理範囲の自動変更を行った。この結果、グループ6に含まれる操作イベントの発生回数を99%、アラームイベントの発生回数を68%削減することができた。

グループ6には、発生回数の少ないイベントが多数含まれている。No.3～No.13のイベントは、単独イベントの発生頻度ランキングでは30位以降のイベントである。イベント相関解析は、従来の方法では削減対象となりにくかった発生回数が少ないイベントの削減にも有効であることが実証できた。

No.	Tag No.	Number of Events		Generation Pattern of events									
		Alarm	Operation										
1	G1-Power1		545	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	G1-Flow1		265	#	+	+	#	+	+	+	+	+	+
3	D1-Flow1		56	++	+	+	+	##	+	+	+	+	+
4	G1-Temp1	55		+++##	##++++#	++#####	++#####	++	+++	++	++	+	++
5	G1-Temp2	30		+++##	++	+++	++	++					
6	G1-Switch1		25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7	G1-Switch2		20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8	G1-Switch3		20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	G1-Message1	18		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10	G1-Temp3	15		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11	K1-Ana1	10		+	+	+	++	+	+	+	+	+	+
12	D1-Ana1	7		+	+	+	++	+	+	+	+	+	+
13	G1-Temp4	6		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Total		141	931	← 1 Month →									

図 5-3 6 位グループのイベント内訳

#### 5.4 まとめ

エチレンプラントのイベントログデータにイベント相関解析を適用し、イベント間の類似度に基づき操作イベントおよびアラームイベントをグループ化した。個々のグループを詳細に分析した結果、実際に関係のあるイベント同士がグループ化されていることが確認でき、イベント相関解析が有効であることが実証できた。この結果を受けてグループ内に含まれるイベント情報からアラームや操作の削減方針を検討することの有意性が確認できた。個々のイベント情報からだけではわかりにくいイベント群の発生原因を的確に見つけることができることを示した。その中で、従来の方法では削減対象とならなかった、発生回数の少ないイベントが削減対象として抽出できた。イベント相関解析を用いることで、削減対策ごとにイベント発生回数削減効果が定量的にわかるため、費用対効果の観点からイベント削減対策に優先順位をつけることができる。

## 6. 結論

プラントアラームシステムは、オペレータがプラントの異常を早期に検知し、正確な異常診断を行ない、適正な対応操作を実施するための重要なインタフェースである。不適切なアラームシステムはアラームの洪水や迷惑アラームを引き起こし、オペレータの誤判断や重要アラームの見落としを招く。本論文では、アラームシステムの性能を定量的に評価するための手法を提案し、アラームや操作のログデータから連鎖アラームや繰り返し操作などを抽出するイベント相関解析の有効性について実プラントデータにより検証した。

第2章では、アラームシステム適正度を8つの観点から定量的に評価するためのアンケート法を提案した。このアンケートを大型化学プラントであるエチレンプラントの現役オペレータを対象に実施した結果、オペレータの運転経験の違いによってアラームシステムの評価結果が異なることが明らかになった。提案手法により、プラントアラームシステムの適正度を評価できる。

第3章では、個々のアラームや操作の発生頻度ランキングに基づいて不要なイベントを見つける「トップ10アプローチ」を実プラントの運転ログデータに適用した。その結果、アラーム削減が進んだプラントでは、上位にランクされるアラームや操作イベントの割合が小さく、アラームの削減効率が低いことを示した。トップ10アプローチは手法の簡便さから多くの運転現場で用いられている。しかし、アラーム削減が進んだプラントではイベント相関解析のようなイベント間の関連に着目した新しい手法が求められる。

第4章および第5章では、プラントログデータから不要アラームや不要な操作を抽出する方法であるイベント相関解析について説明し、エチレンプラントの実データに適用した。イベントデータを関連するイベント群にグループ化することによって、膨大なログデータから意味のある情報、例えば連鎖アラーム、ルーティン操作を見つけることによって、不要アラームや削減可能な操作を抽出できることを確認した。化学プラントのDCSには日々の運転で発生する膨大な量のイベントログデータが蓄積されているものの、それらのデータはプラントオペレーションの改善に十分活用されていない。イベントログデータを関連するイベント群にグループ化することによって、膨大なイベントログデータに潜む意味のある情報を抽出することができる。

提案したアンケート法やイベント相関解析はシンプルな手法であるため、現場の

エンジニアが使いやすい。最新の DCS では、従来のアラームと操作のイベント情報以外にも、オペレータによる DCS 画面の呼出等の新たな情報が得られる。今後、提案手法のさまざまなプラントへの適用が進み、アラームシステムの適正化によるプラントオペレーションの改善に役立つことが期待される。

#### ● 次世代アラームシステムへの提言

最後に、本研究を通して得られた知見を、次世代アラームシステムに対する提言としてまとめる。

エチレンプラントに本論文で提案したイベント相関解析手法を適用し、トップ 10 アプローチ適用後、さらに数十パーセントのアラームを削減することができた。しかし、表 1-3 に示す定常運転時のアラーム数が 10min 間に 1 回以下のベンチマークをクリアできていない。残念ながら、現在使用している 20 年以上前の DCS アラームシステムの機能では、これ以上の大きな改善は難しい。

現在、日本の多くのプラントで、DCS の寿命更新の時期を迎えている。そこで、抜本的なアラーム削減に向けて、次世代のアラームシステムが具備すべき機能について提言する。エチレンプラントで実施した 8 特性アンケートの記述式設問への回答結果や出光興産での 20 装置を越えるアラーム削減検討に取り組んできて得られた知見から、次世代アラームシステムに必要な機能として、(1)定常時の頻発アラームの防止、(2)変動時の不要アラームの削減、(3)長期発報アラームの忘れ防止、(4)アラーム設定値の戻し忘れ防止、(5)アラームへの対処支援ガイダンスが挙げられる。これらを機能として整理すると、それぞれ、以下のようになる。

#### <次世代アラームシステムに必要な機能>

- (1)運転状態別アラーム設定機能：運転状態ごとにアラーム値を設定でき、運転状態の変化に応じて自動的に変更する機能。
- (2)フィルタリング機能：例えば変動時のアラーム洪水を防止するために、定常時には必要だが変動時には優先度が下がるようなアラームを、変動時のみ OFF とする機能。
- (3)アラーム再発報機能：長時間発報しているアラームを、一定時間経過後に再度発報させる機能。
- (4)アラーム監査機能：アラーム発報を一時的に抑制するために変更した設定

値が本来の値に復帰されているか定周期で監視する機能。

- (5)アラーム発報に対する判断・処置支援機能：アラーム発報時に注目すべきポイント、想定される異常の内容、処置等をボードマンにガイダンスしてくれる機能。本機能は、種々の技術情報へのアクセスを考えると、DCS の外部機能の方が良いと考えられる。

さらに、本研究を通して得られた知見から、以下の機能を具備すべきと考える。

- (6)アラーム優先度が4種類以上設定できること。

対応への緊急度による優先順位付けの他に、安全、環境、経済性等の分類が必要と考えられる。重要アラームが優先度の低いアラームと混在すべきではない。優先順位を明確にし、アラーム発報時のオペレータの感度を高めることにつながる。

- (7)イベントログデータへのオペレータの全DCS操作の記録

オペレータが運転操作を実施するケースは、アラーム発報時だけではなく、常時表示しているトレンド表示画面で異常の兆候を察知した場合や、ルーティン操作を実施する場合がある。また、アラーム発報後にいくつかの画面で状況を把握後、正常状態への復帰傾向が確認されたため、運転操作を実施しないケースもある。画面展開情報が記録されれば、オペレータが実際に行なっている業務がより詳細に把握できる。その結果、例えば、アラームが発報したら、必要情報が表示されている画面やトレンド、支援情報等を自動的に提供することができ、経験の浅いオペレータでも安心して運転業務を遂行することができるようになると考えられる。世代交代による運転ノウハウの喪失が問題となっているが、オペレータ業務を詳細に分析し標準化を進めていけば、技術伝承問題の緩和の一助となると考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、主指導教員として温かいご指導と研究の場を与えてくださった奈良先端大科学技術大学院大学情報科学研究科システム制御・管理講座西谷紘一教授に深く感謝いたします。論文審査員としてご助言をいただきましたソフトウェア工学講座 松本健一教授に深く感謝いたします。そして、貴重なご意見及びご支援をいただいた野田賢准教授に深く感謝いたします。オペレータアンケート関係では、日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会ワークショップ No.28「アラームマネジメント」の検討結果と知見を活用させていただきました。また、株式会社山武の高井努氏、西口純也氏、出光興産株式会社の山本一三氏には、貴重なご意見とご助言をいただきました。ここに、謝意を表します。



## 参考文献

- (1) 高圧ガス保安協会, 石油精製業保安対策石油精製プラント等の事故情報調査に関する報告書 (2010)
- (2) The Engineering Equipment and Material Users' Association, Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement Publication No. 191 2<sup>nd</sup> edition, EEMUA, London (2007)
- (3) Bill Hollifield and Eddie Habibi, The Alarm Management Handbook, PAS, Houston (2006)
- (4) Health & Safety Executive, Better Alarm Handling. HSE Information Sheet – Chemicals Sheet No. 6, HSE, UK (2000)
- (5) Bransby, M. L., Jenkinson, J., The management of alarm systems, pp.163-171, HSE, UK (1998)
- (6) 出光の TPM, 日本プラントメンテナンス協会 (1994)
- (7) 池田博康, 齋藤剛, 杉本旭, コンピュータを用いるプラント設備の安全制御設計手法と安全性評価, 産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-NO.27, pp.77-85 (2002)
- (8) AIChE/CCPS, Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes, AIChE, p.14 (1993)
- (9) 吉田一夫, 浅沼章宏, 佐藤俊成, 小林靖典, 非定常運転自動化のためのシステム構築の考え方・進め方, 月刊計装, Vol.42, No.1, pp.37-42 (1999)
- (10) Ian Nimmo, The Operator as IPL, *Hydrocarbon Engineering*, September, pp.1-4 (2005)
- (11) Junya Nishiguchi and Tsutomu Takai, IPL2&3 Performance Improvement Method for Process Safety Using the Event Correlation Analysis, *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol.27, pp.1221-1226 (2009)
- (12) International Society of Automation, ANSI/ISA-18.2-2009 Management of Alarm Systems for the Process Industries, North Carolina (2009)
- (13) 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, pp.10-23 (2007)
- (14) Lane Desborough and Randy Miller, Increasing Customer Value of Industrial Control

- Performance Monitoring—Honeywell’s Experience, *Proceedings of the 6th Annual International Chemical Process Control Meeting*, pp.169-189, Tucson (2001)
- (15) 井上敬, アラームマネジメントとアラーム・操作削減活動, 化学工学会 SIS 部会プラントオペレーション分科会第 107 回研究会 (2007)
- (16) Iman Izadi, Sirish L. Shah, David S. Shook, Sandeep R. Kondaveeti and Tongwen Chen, A Framework for Optimal Design of Alarm Systems, *Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, pp.651-656, Barcelona (2009)
- (17) Sandeep R. Kondaveet, Sirish L. Shah and Iman Izadi, Application of Multivariate Statistics for Efficient Alarm Generation, *Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, pp.657-662 Barcelona (2009)
- (18) 樋口文孝, プラント運転におけるアラームマネジメント, 出光技報, Vol.53, No.3, pp.58-65 (2010)
- (19) 生産革新研究会, 化学／プロセス産業における革新的生産システムの構築～新たな生産方式の胎動～, 生産革新研究会報告書 (2008)
- (20) 日本学術振興会プロセスシステム工学第 143 委員会, ワークショップ No. 28 「アラームマネジメント」報告書 (2010)
- (21) 沖本正則, アラーム削減によるロス／ムダの改善, 装置工業の少人化のための改善事例研究会, pp.83-97 (1993)
- (22) Nishiguchi, J. and T. Takai, IPL2 and 3 Performance Improvement Method for Process Safety Using the Event Correlation Analysis, *Computers & Chemical Engineering*, Vol.34, Issue 12, pp.2007-2013 (2010)
- (23) 竹内健史, 谷哲次, 樋口文孝, ボード業務支援システムによる運転の標準化とシステム化, 出光技報, Vol.50, No.2, pp.88-95 (2007)
- (24) 森澤研二, マクロアラーム (状態診断) システムについて, 出光技報, Vol.40, No.2, pp.8-14 (1997)
- (25) 石塚雄二, 藤本孝治, 製油所知的統合生産システムにみる設備管理の考え方とマクロ異常診断, 月刊計装, Vol.40, No.1, pp.16-21 (1997)
- (26) 横河電機株式会社, アラームマネジメントハンドブック (2006)
- (27) 藤井憲三, 山口博光, 岡室敏夫, 三戸英明, 岡崎克孝, IMC, PID チューニング手

- 法を用いた DCS ベースの高度制御と無操作化ー常圧蒸留装置への適用ー, 月刊計装, Vol.45, No.4, pp.19-26 (2002)
- (28) 平田貴久, 林隆則, ノンタッチ技術の適用による蒸留塔安定化への取組み, 第35回日本芳香族工業会大会技術・研究発表要旨集, pp.12-20 (2001)
- (29) 布川了, 山本哲彦, 化学プラントの安定化と PID チューニング, 計測技術, pp.51-56, No.7 (2002)
- (30) Heikki Mannila and Dmitry Rusakov, Decomposition of Event Sequences into Independent Components, Proceedings of 2001 SIAM International Conference on Data Mining, pp.1-17 (2001)
- (31) Eddie Habibi and Bill Hollifield, Alarm systems greatly affect offshore facilities amid high oil prices, World Oil, September, pp.101-105 (2006)
- (32) 芝田安弘, アラーム削減活動について, 化学工学会 SIS 部会プラントオペレーション分科会第 107 回研究会 (2007)

## Appendix-A : DCS アラームに関するアンケート

### A-1 オペレータへのアンケート

#### DCSアラームに関するアンケート

(回答欄に配点を示す)

1. あなたのお仕事は次のどれですか？ 該当欄に○印を記入して下さい。

直長	直長補佐	ボード (経験者)

あなたの担当プロセスは何ですか？ (例：エチレン)

担当プロセス

あなたの担当プロセスの運転形態は次のどれですか？ 該当欄に○印を記入して下さい。

連続	バッチ	混在	ユーティリティ

2. あなたの上記（設問1）担当プロセスにおける運転経験はどのくらいですか？

	年		ヶ月
--	---	--	----

あなたは現在のDCSでの運転を担当されてどのくらいですか？

	年		ヶ月	・初めてボードマンになってから現在までの経験年数
--	---	--	----	--------------------------

3. 定常運転時、そのアラームシステムはどの程度役に立っていますか？

次の4つより1つ選んで○印を記入して下さい。

良い			悪い
4	3	2	1

4. トラブル時、そのアラームシステムはどの程度役に立っていますか？

次の4つより1つ選んで○印を記入して下さい。

良い			悪い
4	3	2	1

5. あなたにとって、現状のアラーム発生数をどう思われますか？

次の4つより1つ選んで○印を記入して下さい。

多すぎる	多いが 必要	少ないが 困らない	少な すぎる
2	3	4	1

**Normal Steady Operation / 定常運転時**

6. 定常運転時、ボードマン1人当たりのDCSアラーム数は1時間当たりどの位ですか？

右表	回/時間	4: 6未満
		3: 60未満
		2: 600未満
		1: 600以上

7. 上記(設問6)のアラームの内、5分以内に再発するアラームの割合はどの程度ですか？

次の4つより1つ選んで○印を記入して下さい。

70-100%	40-70%	20-40%	20%未満
1	2	3	4

8. 次の迷惑アラームの発生頻度はどの程度ですか？

優先度が不適切に設定されているアラーム

頻繁	時々	希
1	2.5	4

シャットダウンしているプラントからのアラーム

頻繁	時々	希
1	2.5	4

同じ現象(原因)を示す複数のアラームが、同時に発生する

頻繁	時々	希
1	2.5	4

定常時に役に立つアラームが、大規模なトラブル発生時に迷惑アラームとして発生する

頻繁	時々	希
1	2.5	4

9. 定常運転時、アラームメッセージはどの程度役立っていますか？

以下の4つより1つ選んで○印を付けてください。

すべて 必需品	大変 役に立つ	余り役に 立たない	殆ど役に 立たない
4	3	2	1

10. アラーム発生時に、各アラームメッセージを十分に理解し、その対応操作がわかりますか？

常に 分かる	大抵 分かる	時々 分かる
4	2.5	1

11. 定常運転時にける代表的なアラームを10個想定してください。

その10個のアラームに対して以下をお答えください。

(1) 対応操作に繋がるアラーム数は10個中何個ですか？ (例、バルブ操作 or 誰かに指示をする、など)

個／10個

(2) 何らかの確認／監視を実施するアラーム数は10個中何個ですか？

個／10個

(3) 役立つ情報ではあるが、注意喚起の為のアラームであり、操作や確認などのアクションを伴わないアラーム数は10個中何個ですか？

個／10個

(4) 読みはするがすぐに忘れてもよいアラーム数は10個中何個ですか？

(例えば、シーケンスからの終了メッセージのアラーム)

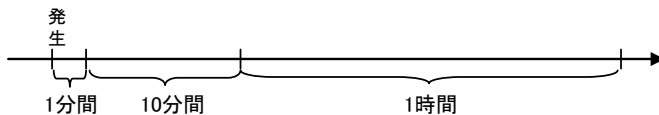
個／10個

Plant Faults and Trips／トラブル (機器故障、何らかの理由によるプロセス変動)

12. 大規模なトラブル発生時のアラーム数はどのくらいですか？ 感覚でお答えください。

次の3つの時間帯すべてについて、それぞれにおけるアラーム数を回答下さい。

(1) アラーム発生直後の1分間	(2) アラーム発生1分後から10分間	(3) アラーム発生11分後から1時間
個	個	個



13. 大規模なトラブル発生時、あなたはその間アラーム画面をずっと表示していますか？

はい	いいえ

14. 大規模なトラブル発生時、あなたはその間アラーム画面をどの程度見ますか？  
次の4つより1つ選んで○印を記入して下さい。

1分間に数回	2分間に1回	10分間に1回	10分間に1回 未満

15. 大規模なトラブル発生中に、1つのアラームが発生してから次のアラームが発生するまでの時間が短すぎて、その事象を理解するのに追いつかないと感じることは、どの程度ありますか？

頻繁	時々	希
1	2.5	4

16. 大規模なトラブル発生時、あなたはアラームをその内容を読み、理解することなく受け入れてしまうことはどの程度ありますか？

常に	かなり 頻繁	時々	希
1	2	3	4

17. 大規模なトラブルが発生している間、アラームシステムはあなたが重要な安全関連事象に気づくためにどの程度役立っていますか？

確実に 役立つ	多少 役立つ	余り役に 立たない	迷惑
4	3	2	1

General / 全般的な質問

18. アラームに関する各種の設定変更をする際の手順について、次の4つより1つ選び○印を付けて下さい。

制限されすぎ 厄介である	厳格であり 安全である	容易である為 慎重に実施 する必要有	特に決められ た 手順はない
2	4	3	1

19. サイトエンジニアは、制御システムに関する他の改善と比べて、アラームに関する改善はどの程度実施していますか？

非常に良く 実施している	概ね良好	少なすぎる
4	2.5	1

20. 現在のアラームシステムのどんなところが気に入っていますか？

--

21. 現在のアラームシステムのどんなところが良くないと感じていますか？

--

22. もし現在お使いのアラームシステムを変更するとしたら、あなたはどのようなことを追加したいですか？

--

23. もし現在お使いのアラームシステムを変更するとしたら、あなたはどんなところを修正したいですか？

--

24. アラームシステムについて、是非あなたのコメントを自由にお聞かせください。

--

25. 大規模なトラブルとはどのような事象を想定して回答されましたか？

--

26. あなたはどの程度のアラーム数までなら対応可能だと感じていますか？

次の4つより1つ選び○印を付けて下さい。

10回未満／10分間	50回未満／10分間	100回未満／10分間	100回以上／10分間
1	2	3	4



A-2 アンケート数値回答結果

設問	平均	直長	熟練	中堅	若手
2-1	18.0	25.6	24.1	20.9	3.3
2-2	14.5	22.0	22.1	15.0	2.2
3	3.2	3.0	3.3	3.2	3.2
4	3.1	3.0	3.2	3.1	3.0
5	2.7	2.8	2.7	2.5	2.8
6	25.0	20.0	20.9	23.2	34.5
7	3.3	3.0	3.6	2.9	3.5
8-1	2.5	3.3	2.7	2.2	2.8
8-2	3.3	4.0	3.3	2.9	3.8
8-3	3.0	3.3	3.2	2.6	3.5
8-4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
9	3.1	3.0	3.2	3.0	3.2
10	2.8	2.5	2.7	3.0	2.5
11-(1)	3.0	2.0	2.2	3.5	3.5
11-(2)	4.8	6.5	4.9	4.4	5.3
11-(3)	4.2	5.8	5.1	4.0	3.0
11-(4)	2.7	4.0	3.8	2.1	2.2
12-(1)	50.7	39.0	30.7	29.1	14.7
12-(2)	163.1	194.8	121.0	63.2	69.7
12-(3)	480.4	627.5	347.8	213.6	167.7
13	2.3	1.0	2.0	1.8	3.5
14	3.2	2.3	2.8	3.4	3.7
15	1.9	2.1	2.5	1.7	1.5
16	3.0	3.3	3.2	2.7	3.3
17	3.6	3.5	3.7	3.5	3.7
18	3.4	3.8	3.6	3.2	3.5
19	2.0	2.5	2.3	1.8	1.8
26	1.6	1.8	1.7	1.5	1.7

2-1、2-2 は経験年数を表す。

11-(1)～11-(4)、12-(1)～12-(3)はアラーム個数を表す。

他は A-1 の配点に従い集計した。

### A-3 アンケート記述回答の内容

設問 20. 現在のアラームシステムのどんなところが気に入っていますか？

- 【若手】・グレード別の音の違い、表示場所の違いにより、重要度の違いがよく分かる。
- ・グレード2がDCS以外に表示されるため、重要度の切り分けが分かり易い。普段あまり見ない所でも位置が固定されているので異常があると発見できる。
  - ・グレード3アラームの変更が直ぐ可能である。
  - ・アラームをチェックしなければフリッカーしたままで置いておける。
  - ・アラーム（CALやMH/ML）によって色が異なるため判別しやすい。
  - ・発生したアラームの記録が残っていていつでも確認できること。
  - ・ブローダウン関連のレベルアラームがグレード2として頻繁になるが、ポンプの起動レベルを変更するかして、異常時以外鳴らさないようにした方が良いと思う。
- 【中堅】・発報アラームをチェックしないと点滅解除できないところ。操作経歴を調べられるところ。
- ・グレードによる表示場所、音の違い。
  - ・グレード2がANN表示されるため、重要度の切り分けが分かり易い
  - ・異常を気付かせてくれる
  - ・グレード別になっている
- 【熟練】・グレード2がDCS以外に表示されるため、重要度の切り分けが分かり易い。
- ・グレード1、2、3とグレード分けされている為、対処しやすい。
- 【直長】・新機種は2段階のアラームを持っている。
- ・グレード2がDCS以外に表示されるため、重要度の切り分けが分かり易い。
  - ・DCSになった事で、グレード3のアラーム設定が、ボードマンにより（直長の確認は必要であるが）変更管理できる事。

設問 21. 現在のアラームシステムのどんなところが良くないと感じていますか？

【若手】・同じアラームが頻繁に出る。

- ・運転状態によって、変化すべきアラーム設定値が一定のままで運用されているものが殆どである。グレード2アラームが連発する、分解炉の燃料ガス圧力など DCS 上に無いタグで停止中はアラームが点灯したままになるものがあるが、これを AOF（アラームオフ）してしまおうとスタート後に AOF の解除を忘れてしまおうし、AOF しなければ不必要なアラームが点きっぱなしになる。
- ・運転状態によって、変化すべきアラーム設定値が一定のままで運用されているものが殆どである。
- ・同時に多数発報したら、見逃す可能性ある。
- ・クランプ機能は、良いところと、悪いところがある。全閉し、AUT にしたいのに出来ない時がある。
- ・同じアラームが何度も発生するところ。アラームと復帰をいったりきたりすることにより発生するもの。
- ・グレード3アラームの発報が多すぎると感じる。

【中堅】・アラームが頻繁になる原因として、アラームを確認しても、アラーム近辺にいるとすぐに発報する。

- ・DCS ではアラーム音が同じなので緊張感がない（グレード1、2はランプ点灯とその位置により発報で緊張感があがる）
- ・NORへの自動復帰が早く、同じアラームが連続してなり易い。特にグレード2に関しては、ピンポイントでの値でアラーム発生のため、繰り返しが多く、別のグレード2アラーム発報に気づかない恐れがある。
- ・グレード2以上のアラームがサマりに残らない。
- ・グレード2レベルのアラーム表示が不足している。（分解炉 COIL 温度等）
- ・グレード3を超えて運転していてもボードマンが気付いていない場合がある。
- ・気付いている異常を何回も知らせる。
- ・グレード3の設定値をグレード2の外に設定できる。

【熟練】・グレード3の設定値が変更し易いところ。運転状態によって変化すべきアラーム設定値が一定のままで運用されているものがある。

- ・グレード2のアラームが繰り返し発報しすぎ。

【直長】・グレード3アラームでグレード2レベルのアラームを管理している。未使用のアラームが点灯のまま（グレード2にマスク等）。

- ・繰り返しアラームが出る（アラームポイントにおいてアラームを繰り返す）。運転上のメッセージ（運転支援システムのメッセージ）は変動時に出さな  
いで欲しい。また、グレード3は多すぎるので、厳選して設定するべきで  
ある。例えば、水質管理用などはDCSよりも外付けのチャートの方が管理  
し易いと考える。グレード2に関して言えば、これも繰り返し同じアラ  
ームが頻繁に出るが、アラーム窓を押してACK（その当該アラームのみ消音  
可能にする）したら音だけ消して、フリッカーはする状態を作るシステム  
が欲しい。音はボードマンをイライラさせる。
- ・アラームが復帰後、直ぐにアラーム値に達すると又発報する繰り返しアラ  
ームが多い。
- ・グレード3アラームにより運転管理をしていると言う事もあるので、ある  
程度は致し方ない点もあるが、トラブルになれば、頻繁に鳴るアラームに  
対応出来なくなる。（見落としが、出てくる可能性がある）。

設問 22. もし現在お使いのアラームシステムを変更するとしたら、あなたはどのよ  
うなことを追加したいですか？

【若手】・発報したアラームに対して、どのような操作を行えば良い方向に調整で  
きるか教えてくるシステム。

- ・ある運転状態になった場合、関連グループを自動的にアラームオフにでき  
る機能。
- ・ある運転状態になった場合、関連グループを自動的にアラームオフにでき  
る機能。
- ・分解炉消火、点火やチャージイン、チャージカット等時まとめてCALや  
AOFできる機能。
- ・グレード3アラームとMH、MLアラームの表示場所を区別して表示する。  
（今は色で分けている）

【中堅】・不感帯みたいな領域を設定し、アラームを確認してからある領域を離れ  
ないとアラーム状態を脱しないようにする。

- ・本当に重要な事象を起こす可能性の高いアラームは、音声アラームなどアラームの種類を多岐に分類して欲しい。

(E T Cのように「ポン・・・ドライヤーの切替時間になりました」なんて)

- ・CAL や AOF をしている TAG を一括で見れるようにしたい。できれば系などの範囲でも検索ができて、実施日、時間なども表示できたらよい。
- ・アラームサマリの文字大きさが任意で変えられる (今後の高齢化対策)。
- ・アラームサプレス機能 (運転条件によってアラーム設定値を変更する)。
- ・グレード2アラーム追加

**【熟練】**・対象アラームに対してのガイダンスが出るようにしたらもっと良いのでは。

- ・シャットダウン、スタートアップ等で自動的にアラームオン・オフできる機能。
- ・重要アラームの区別がない又は少ないので追加したい。

**【直長】**・アラームに関連 TAG の確認項目のメッセージを付ける。

- ・ある運転状態になった場合、関連グループを自動的にアラームオフにできる機能。
- ・繰り返しアラームを出さないように、ヒステリシスを設ける。上位の操業システムや運転支援システムからの運転管理アラームを遮断する。
- ・グレード2に関して言えば、これも繰り返し同じアラームが頻繁に出るが、アラーム窓を押して ACK (その当該アラームのみ消音可能にする) したら音だけ消して、フリッカーはする状態を造るシステムが欲しい。音はボードマンをイライラさせる。
- ・過去のアラーム設定値が一覧となって確認出来るようにする。
- ・アラームのリセットを簡単に出来る様にする。(例 警報停止の様にボタン一つで、リセットできれば便利)

設問 23. もし現在お使いのアラームシステムを変更するとしたら、あなたはどんなところを修正したいですか？

**【若手】**・運転状態によって自動的に変更するものを増やす (絶対値として守らなければならないものは固定値)。隠れタグを無くす。

- ・分解炉消火、点火やチャージイン、チャージカット等時まとめて CAL や

AOF できる機能。

- ・アラームに区別をつけて見やすくしたらよいと思う。例えば、LOW アラームと High アラームの色を変える等・・・。

**【中堅】**・2箇所の検出を1つのアラームでかねているところ（例えばグレード2のレベル H/L）を単独に。

- ・グレード2アラームをリセットタイプにしたい。
- ・タイプ別のアラームリストページ。(HI/LO、MH/ML、システム等。
- ・また、アラームサマリの文字大きさが任意で変えられる。(今後の高齢化対策) アラームサプレス機能(運転条件によってアラーム設定値を変更する)。
- ・アラームリセットの閾値を変更したほうが良い。
- ・常時、発報しているアラームの解除(ずっと ML 発報など)
- ・運転状態(負荷)により自動的に変更される

**【熟練】**・重要アラームは勝手に変更できないようにする。

- ・設定値を変更してアラームをクリアした場合、自動で元の設定値に戻す機能が欲しい。

**【直長】**・全てのアラームで2段階の設定が出来、一括でアラームを変更出来る(S/D: シャットダウン、S/U: スタートアップ用)。

- ・運転状態によって自動的に変更するものを増やす(絶対値として守らなければならないものは固定値)。
- ・運転変更により自動的にアラーム値が変更するシステム(分解炉デコッキングと通常運転時等)。
- ・系ごとに一括アラームが、変更出来ると便利になると思うのだが(例 分解炉が、停止になった場合など、一括でアラーム OFF にする)。

設問 24. アラームシステムについて、是非あなたのコメントを自由にお聞かせください。

**【若手】**・どのような原理で発報しているか詳しいことがよく分からない。

- ・設定値付近で繰り返し発報するものがあり、これを削減する必要がある。
- ・省エネ、最適化などのアラームと、安全、環境に係わるものを明確に分ける必要がある。

- ・別システムでもよいから、発報したアラームに対する確認ポイント並びに対処方法をガイダンスしてくれるものがあるとよい。
- ・発報したアラームに対する確認ポイント並びに対処方法ガイダンスがあると新人ボードマンは参考になると思う。

**【中堅】**・以前、多発アラームベスト○○削減活動をやっていたが、こういった活動を一貫性をもって継続して実施していくこと。

- ・トラブル時などのアラーム多発は仕方ない。多発する状態であるからトラブル時である。通常運転時で生きなければ意味をなさない。基本的に今のアラームシステムで問題ないように思う。
- ・アラームの種類（お知らせアラーム、安全、環境に関わる等）によって発報音、表示場所を任意に設定可能であれば、アラームに対する対処方法が楽になる。
- ・設定値付近で繰り返し発報するものがあり、これを削減する必要がある。

**【熟練】**・運転支援システムのアラームガイダンスは通常運転ではあまり必要ないので無くしてもよい。

- ・グレード3アラームの中でもさらにグレード分けして管理する。

**【直長】**・流量アラームはチャージ量で変えていく。（安定した時点で）

- ・設定値近辺での繰り返し発報対応。
- ・アラーム発報時に値の妥当性を判断する。
- ・変化無し、動き無し等の判断をするアラーム。
- ・設定値付近で繰り返し発報するものがあり、これを削減する必要がある
- ・省エネ、最適化などのアラームと、安全、環境に係わるものを明確に分ける必要がある。
- ・アラームの色、例えばポイント上に示される「赤」やオーバービューに表示される「赤」は管理値を外れている限り「赤」であるが、管理値内に向かっていている場合は、黄色とかに変わるようにしたら、多くのアラームでも「赤」のまま存在しているものに注意できる。「黄色」は管理値外であるが、戻りつつあると判断できる。
- ・設定値付近で繰り返し発報するアラームがたくさんあり削減する必要あり  
シャットダウン、スタートアップ時に、自動的にアラーム変更が可能なシステムを組む。（運転支援システムを組んだ S/D 系はあるらしいが？）

- ・温度アラーム等、設定値の近辺で繰り返し発報するアラームは、何とかならないだろうか。

設問 25. 大規模なトラブルとはどのような事象を想定して回答されましたか？

【若手】・分解炉チャージイン・チャージカット。

- ・分解炉デコーキングに関する一連の操作で、設計温度、圧力を超えそうになった場合。
- ・運転が、継続出来るか、出来ないかギリギリの状態。
- ・分解炉入替え、頻度の少ない操作（リアクターの切替等）。
- ・分解炉デコーキングに関する一連の操作。

【中堅】・装置内の一部の装置の不調で。全装置停止には至らないが変動要因が大きいこと。分解炉1炉停止、付帯装置の停止、給水ポンプのトリップなど。

- ・部分トラブル（運転可能な程度）。
- ・大幅で急激なチャージダウン。
- ・分解炉1炉 S/D。
- ・分解炉1炉 S/D、品質異常トラブル時、全装置 S/D につがらないが、単体機器の S/D 等。
- ・部分的なインターロック作動。ポンプトリップ。
- ・通常運転時の大きな運転変動。
- ・分解炉1炉停止 ポンプトリップ。

【熟練】・分解炉1炉停止。

- ・部分トラブルで全装置に影響を与えるの。
- ・大きなチャージ変動等で運転調整可能な状態。

【直長】・チャージダウンを伴うトラブル。

- ・分解炉デコーキングに関する一連の操作。
- ・課内で部分トラブルとして対応が明確になっているトラブル。
- ・ユーティリティーの変動でコンプレッサーの運転が変動し、プロセス、冷凍系の変動。
- ・分解炉一炉停止。
- ・分解炉チャージイン、チャージカットに伴う負荷変動、エキスパンダーのスタート&シャットダウン等。



## Appendix-B イベントログ集計ツール

トップ 10 アプローチの足回りとして重要な、DCS イベント集計ツールに関して説明する。DCS のイベントログデータは、表 B-1 に示すように、アラームの発生・復帰情報、オペレータの操作に関するデータの変更や制御モードの変更情報が記録されている。この他にも、オペレータにガイドするメッセージを出力した記録、計器を点検のために OFF にした情報やシステム的なエラー等も記載される。生のイベントデータは種々の情報を含み、通常の対象期間となる一ヶ月間では数万～数十万件が記録される。そのイベントログデータを仕分け、アラームや操作の発生イベントのみを抽出し、発生頻度を集計する作業となる。アラーム削減活動は、数ヶ月単位で実施する。この作業を、実際の活動の中心となるオペレータが継続的に実施するのは困難であることが、容易に想像できる。

表 B-1 DCS イベントログデータ

発生日時	タイプ	メッセージ
2009/6/1 11:04	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW MV = 21.1 % OLD = 21.3
2009/6/1 11:17	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW MV = 20.6 % OLD = 21.1
2009/6/1 11:17	データ変更	T4125 V412 BTMTEMP SV = 134.1 °C OLD = 134.3
2009/6/1 11:22	データ変更	T4125 V412 BTMTEMP SV = 134.0 °C OLD = 134.1
2009/6/1 11:23	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW MV = 21.1 % OLD = 20.6
2009/6/1 11:31	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW MV = 21.5 % OLD = 21.1
2009/6/1 11:37	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW MV = 21.8 % OLD = 21.5
2009/6/1 11:38	モード変更	F4126 E411 STMFLOW CAS
2009/6/1 11:38	データ変更	T4125 V412 BTMTEMP SV = 134.3 °C OLD = 134.0
2009/6/1 11:51	アラーム復帰	L2908 D238 LEVEL PV = 90.2 % IOP RECOVER
2009/6/1 11:51	アラーム復帰	L2908 D238 LEVEL PV = 63.2 % HI RECOVER
2009/6/1 11:51	アラーム通知	L2908 D238 LEVEL PV = 18.1 % LO
2009/6/1 11:52	アラーム復帰	L2908 D238 LEVEL PV = 41.7 % LO RECOVER
2009/6/1 11:52	アラーム通知	L2908 D238 LEVEL PV = 83.7 % HI
2009/6/1 11:53	アラーム通知	L2908 D238 LEVEL PV = 100.0 % IOP
2009/6/1 11:53	データ変更	T4125 V412 BTMTEMP SV = 134.4 °C OLD = 134.3
2009/6/1 11:53	アラーム復帰	L2908 D238 LEVEL PV = 93.9 % IOP RECOVER
2009/6/1 11:53	アラーム復帰	L2908 D238 LEVEL PV = 77.4 % HI RECOVER
2009/6/1 12:11	モード変更	F4029 V412FEEDFLOW AUT
2009/6/1 12:11	データ変更	F4029 V412FEEDFLOW SV = 1.19 TN/H OLD = 1.22
2009/6/1 12:15	メッセージ	V405水 抜き出し開始
2009/6/1 12:28	アラーム通知	C4056C V406 F/D PV = 1.40 HI
2009/6/1 12:31	アラーム復帰	L4081 V408 LEVEL PV = 83.0 % HI RECOVER
2009/6/1 12:34	アラーム復帰	C4056C V406 F/D PV = 1.30 HI RECOVER
2009/6/1 12:45	アラーム通知	X4165 V416 OUT水分計 PV = 2.0 PPMW HI

継続的な活動を行うためには、最初に、イベントログデータの集計負荷の問題を解決しなければならない。イベントログデータを自動的に収集し、オペレータが行う解析に役立つ程度に加工して提供する仕組みが必要である。図 B-1 に開発したイベントログデータ集計システムを示す。

実運転では、プラントのメンテナンス作業に伴う一部装置の停止や、小規模な変動が発生する。そのような場合には、アラームが通常より多く発生し、一ヶ月分の集計結果に影響を与える。そこで、指定日のデータやタグのイベントを除外する機能等、信号処理のノイズカットに相当する機能を付加している。アラーム集計の一例を表 B-2 に、アラーム件数トレンドグラフを図 B-2 に示す。表 B-2 の例では、一ヶ月の集計値だけでは何に起因してアラーム発生が多いのか把握できないため、日ごとの発生件数も合せて提示している。

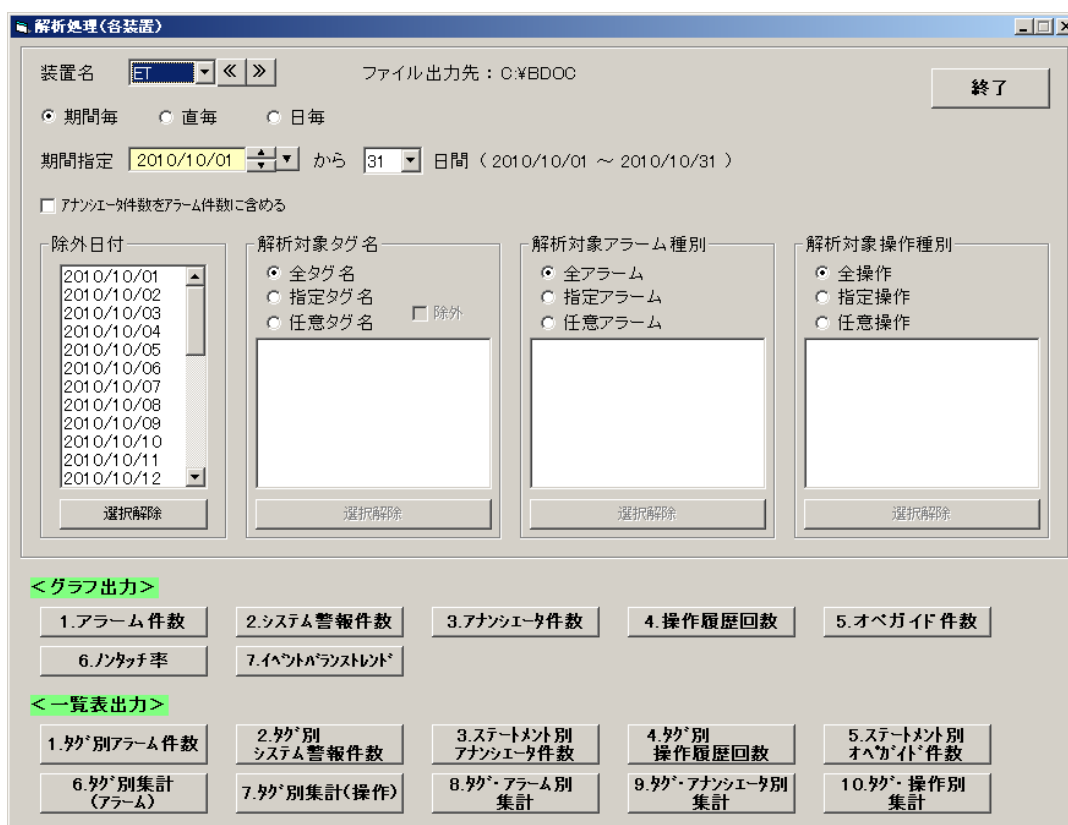


図 B-1 イベントログデータ集計システム

表 B-2 アラーム集計例

順位	タグ名, アラーム	09/01	09/02	09/03	09/04	09/05	...	09/28	09/29	09/30	TOTAL	%
1	PP404, HI			13	10	21		1	20		562	5.7%
2	HL223, HI		12	14	5	26		16	27	16	441	10.3%
3	RP227, HI	1	56	3	1	1			5	11	414	14.5%
4	PP234, HI			23							307	17.6%
5	HF207, HI	2	42	21	49			23	1	32	304	20.7%
6	RP210, MLO	11	10	6	6	16	...	9	11	10	302	23.8%
7	HL223, LO			34	17			19	11	7	176	25.6%
8	RF2513, LO	14	2	4	2	6		4	2	3	175	27.4%
9	RF2511, LO	13	2	3	3	3		5	2	3	169	29.1%
10	RF2509, LO	12	1	4	2	3	...	4	2	3	162	30.8%
11	RP115, HI	6	10	1				1	14	1	155	32.4%

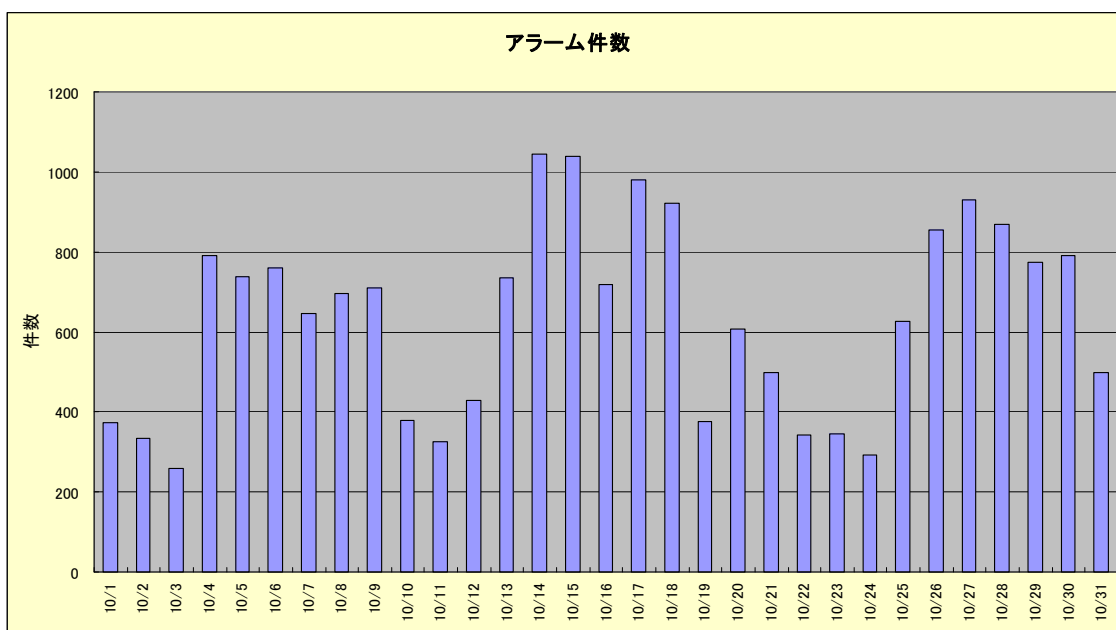


図 B-2 アラーム件数トレンドグラフ例

## 研究業績

### 1. 学術雑誌論文

- 1) 樋口文孝, 野田賢, 西谷紘一: イベント相関解析によるエチレンプラントのアラーム削減, 化学工学論文集, 第 36 巻, 第 6 号, pp. 576-581 (2010), 第 4 章, 第 5 章

### 2. 国際会議プロシーディングス

- 1) Fumitaka Higuchi, Ichizo Yamamoto, Tsutomu Takai, Masaru Noda, Hirokazu Nishitani: Use of Event Correlation Analysis to Reduce Number of Alarms, *Proceedings of 10th International Symposium on Process Systems Engineering*, pp. 1251-1256, Salvador, August 16-20 (2009), 第 4 章, 第 5 章
- 2) Fumitaka Higuchi, Ichizo Yamamoto, Tsutomu Takai, Masaru Noda, Hirokazu Nishitani: Rationalization of Plant Alarm System Using Event Correlation Analysis, *Proceedings of the 5th International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes*, pp. 1395-1401, Singapore, July 25-28 (2010), 第 5 章
- 3) Tsutomu Takai, Fumitaka Higuchi, Akirou Shimameguri, Masaru Noda, Taketoshi Kurooka: A Comprehensive Evaluation Method of Alarm System from the Standpoint of 8 Characteristics, *Proceedings of the 5th International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes*, pp. 832-841, Singapore, July 25-28 (2010), 第 2 章

### 3. 国内学会発表

- 1) 樋口文孝, 山本一三, 高井努, 野田賢, 西谷紘一: イベントデータの相関解析によるエチレンプラントのアラーム削減, 化学工学会第 41 回秋季大会講演要旨集, 広島大学, 2009 年 9 月
- 2) 樋口文孝, 山本一三, 高井努, 野田賢, 西谷紘一: プラントアラームシステム適正化のための運転ログデータのイベント解析, 第 52 回自動制御連合講演会講演要旨集, 大阪大学, 2009 年 11 月
- 3) 樋口文孝, 山本一三, 高井努, 野田賢, 西谷紘一: イベント相関解析による迷惑アラームの抽出, 化学工学会第 75 年会講演要旨集, 鹿児島大学, 2010 年 3 月
- 4) 高井努, 樋口文孝, 島廻昭朗, 黒岡武俊, 野田賢: 8 特性によるアラームシステム

の総合評価方法:イベント相関解析から, 化学工学会第 42 回秋季大会講演要旨集, 同志社大学, 2010 年 9 月

4. 特許

なし

5. その他

- 1) 樋口文孝, プラント運転におけるアラームマネジメント, 出光技報, Vol.53, No.3, pp.58-65 (2010)