

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に基づく プラントアラームシステムの変更管理

武田 和宏¹・瀨口 孝司²・木村直樹³・野田賢⁴

¹ 静岡大学大学院工学研究科, 432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

² 名古屋工業大学大学院工学研究科, 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

³ 九州大学大学院工学研究院化学工学部門, 819-0395 福岡市西区元岡 744

⁴ 福岡大学工学部化学システム工学科, 814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

キーワード：プラントアラームシステム，アラームマネジメントライフサイクル，業務プロセスモデル，変更管理

ISA (International Society of Automation) により，プラントアラームシステムに対するアラームマネジメントライフサイクルが提案されている。このサイクルを実現するためには，プラントアラームシステムの変更管理を適切に実行するための業務プロセスモデルが必要となる。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に基づき，ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿った業務プロセスモデルを構築し，そこからプラントアラームシステムの変更管理を行うための業務フローを導出する方法が有効だと考えられる。業務の列挙だけでなく，業務間で交換される情報，当該業務にて利用するツールや手法などを業務プロセスモデルや業務フロー上に明示することで，プラントアラームの設計や性能監視用に開発されてきた既存のツールや手法の位置づけ，および，新たにどのようなツールや手法が必要とされるかが明確になる。本論文では，プラントアラームシステムの変更管理の業務プロセスモデルと業務フローのあり方，および，プラントアラームの設計や性能監視用にこれまで提案されてきたツールや手法について概説する。

結 言

化学プラントの安全な操作を実現するため，正常な運転状態からの逸脱を早期検知し，適切な対応操作をする必要がある。このような異常時対応はオペレータが担っており，プラント監視制御システムの重要な構成要素の1つとして，オペレータを支援するためのプラントアラームシステムがある。

化学プラントの事故発生防止と影響緩和を目的とする8階層からなる多重防護層 (Independent Protection Layers : IPL) が **Figure 1** に示す構造で定義されている (CCPS, 2001, 2012)。プラントアラームシステムは，IPLにおけるIPL3「アラームとオペレータ対応」に位置づけられる。プラント監視制御システムはIPL2からIPL4に関与するが，IPL2とIPL3におけるプラント監視制御システムは，DCS (Distributed Control System) を用いて実現されており，IPL4とは独立に稼働することが求められる。

近年のプラント監視制御システムの急速な高性能化は，大量の監視変数にアラームを低コストで設定できる環境をもたらした。その結果，個々のアラームの必要性やアラーム発報に関する設定値の妥当性が十分に精査されないままプラントアラームシステムが設計・運用されている運転現場も多い。1960年代には，一人のオペレータが監視するアラーム数の平均は数百個程度であったが，2000年代には4000個程度にまで増加している (Hollifield and Habibi, 2006)。このため，プラントが正常な運転状態であっても発報する「誤報アラーム」，プラントが正常な運転状態から逸脱した際，連鎖的に多数のアラームを生ずる「連鎖アラーム」や周期的に発報と復帰を繰り返す「繰返しアラーム」などの「迷惑アラーム」に加え，同時期に数多くのアラームが発報するアラーム洪水と呼ばれる状況も発生することでプラント事故になることが問題となっている。このような問題を抑制するために，プラ

ントアラームシステムに対して，継続的なアラームマネジメント

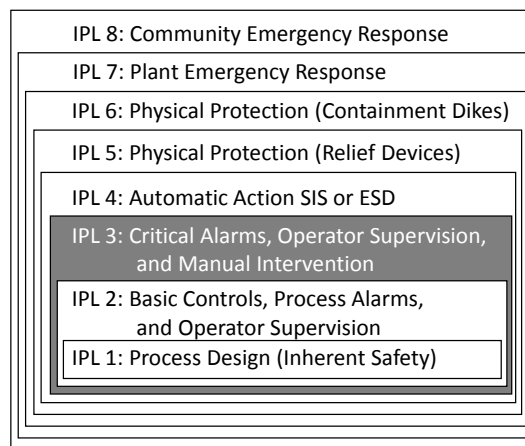


Fig. 1 Independent protection layers

トの実施を保証する仕組みの必要性がますます高まっている。

そのため，プラントアラームシステムに関する様々なガイドラインや規則が定められている。米国の Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 1992) は，「重要アラーム」の文書化，および，オペレータがアラームを正しく理解し，適切な対応操作を行うための訓練の実施を規則 (Ch. 17 Section 1910.119 in Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals) で定めている。Engineering Equipment & Material Users' Association (EEMUA, 2007) は，人間工学的観点からプラントアラームシステムの性能監視用 KPIs (Key Performance Indicators) と具体的なベンチマークを与えている。また，ISA (International Society of

Automation) は、次章で述べる標準的なアラームマネジメントライフサイクルを提唱し、プロセス産業への普及を推進している (ISA, 2009). 現在, IEC (International Electrotechnical Commissions) において, アラームマネジメントの国際標準策定作業が進められている. しかし, ISA が提案するアラームマネジメントライフサイクルを実現するためには, プラントアラームシステムの変更管理を適切に実行するための業務プロセスモデル (Business process model: BPM) が必要となる.

この BPM として, ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿った BPM を構築し, そこからプラントアラームシステムの変更管理を行うための業務フローを導出する方法が有効だと考えられる. 関連するすべての業務を階層的に表現し, かつ, それらの業務に必要とされる情報の流れ (使用するツールや手法も情報として含む) を表現するのが BPM である. BPM では, 業務を実行するタイミングやトリガーは一般に記述されない. これに対して, 個別案件の業務の流れを表現する業務フローでは, 業務を順番に列挙するだけでなく, その案件の業務で使用する情報を入手するタイミングやトリガー, 使用するツールや手法なども明示する必要がある. 本論文では, プラントアラームシステムの変更管理の BPM と業務フローのあり方, および, 設計や性能監視に関する既存のツールや手法について概説する.

1. プラントアラームシステムの変更管理の業務プロセスモデル

1.1 アラームマネジメントライフサイクル

ISA は, Figure 2 に示す標準的なアラームマネジメントライフサイクルを提唱し, プロセス産業への普及を推進している (ISA, 2009). アラームマネジメントライフサイクルは, Figure 2 における 10 種類のステージから構成される. 各ステージの内容を以下に概説する.

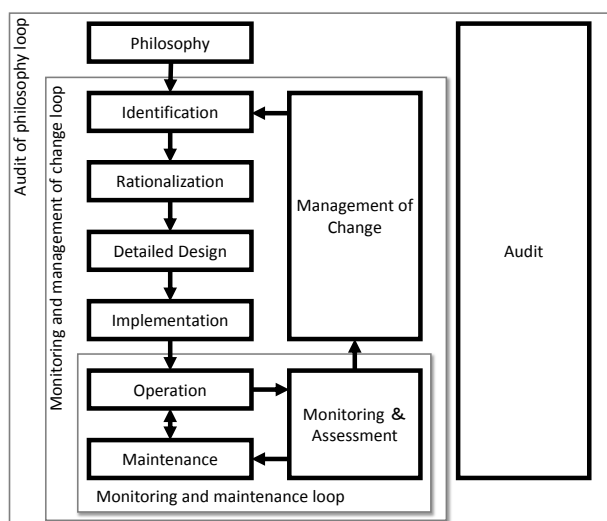


Fig.2 Alarm management lifecycle

Philosophy (理念): プラントアラームシステムの目的, および, 目的を達成するためのプロセスを文書化する.

Identification (同定): プロセスハザード解析などに基づき, アラーム候補を集める.

Rationalization (適正化): Philosophy に整合するプラントアラーム

システムを構築するため, 各アラームの必要性を吟味し, 設計に必要な要件を文章化する.

Detailed design (詳細設計): Rationalization で定まった要件にもとづき, アラームを設計する.

Implementation (実装): アラームをプラント監視制御システムとして実装する. 試運転, および, オペレータに対する訓練も実施する.

Operation (運転): 実運転においてプラントアラームシステム稼働させる. オペレータに, Philosophy と各アラームの目的の両方をリフレッシュ研修する.

Maintenance (保守): プラントアラームシステムを停止させるか, 代替システムに置き換えた上で, 定期的な保守を行う.

Monitoring and assessment (監視評価): プラントアラームシステム全体, および, 各アラームに対して, Philosophy で定めた性能を達成しているかどうかを継続的に監視する. 運転からのデータの監視評価は, 保守, および, プラントアラームシステムや運転手順における変更の必要性を同定するトリガーとなりうる.

Management of change (変更管理): プラントアラームシステムに対する修正を提案し, 承認する.

Audit (監査): アラームマネジメントのプロセスとプラントアラームシステムの健全性を定期的に監査する.

アラームマネジメントライフサイクルには, 下記 3 種類のループが定義されている.

1. **Monitoring and maintenance loop**: 【Maintenance】ステージで扱うべきアラームを同定するためのループ. 【Maintenance】ステージが完了したアラームは【Operation】ステージに復帰させる.
2. **Monitoring and management of change loop**: 設計どおりには動いているが, 【Philosophy】ステージで定められた理念に一致していないアラームに対して, 設計の見直しを検討するループ.
3. **Audit and philosophy loop**: ライフサイクルそのもの.

アラームマネジメントライフサイクルの開始ステージとして, 【Philosophy】, 【Monitoring and assessment】, 【Audit】の 3 つが想定されており, アラームマネジメントを始める状況によって選択すべき開始ステージが異なる. たとえば, 新規プラントでは【Philosophy】が開始ステージとなり, 既存プラントアラームシステムにおいては, 【Monitoring and assessment】, もしくは, 【Audit】が開始ステージとなる. いずれの開始ステージを選んだとしても, 3 種類のループを用いた適切なアラームマネジメントを実現するためには, 全ステージが必要とされる.

1.2 アラームマネジメントライフサイクルの業務プロセスモデルと業務フロー

ISA は, アラームマネジメントライフサイクルの枠組みは提案しているが, 実装を行うために必要な具体的な BPM や業務フローは提示していない. また, ISA 以外の団体からもアラームマネジメントライフサイクルに沿った BPM や業務フローは示されておらず, それらを提案する論文も存在しない. このような状況下, 化学プラントの現場では様々なアラームマネジメントに関する業務を行っているため, ISA のアラームマネジメントライフサイクルを認識して合わせようとしていても, 提案に沿っていない状態となっている可能性がある. 現場で適切なアラームマネジメントライフサイクルを実現するため, ISA のアラームマネジメント

ライフサイクルに沿った業務フローを提示する必要がある。ただし、業務フローは、案件ごとに異なると考えられるので、標準的な土台となる BPM から、案件ごとの業務フローを導出することが望ましい。

BPM を考える上で、ISA のアラームマネジメントサイクル上には記載されていない要因も考慮する必要がある。たとえば、プラントライフサイクル内で発生する設備や装置などの見直し要求、プラントライフサイクル外で発生する関係法規や経営方針の変更など、プラントアラームシステムに起因しない要因もプラントアラームシステムに対するエンジニアリングの見直しのトリガーとなりえる。これらの要因も考慮したアラームマネジメントサイクルの変更管理には、プラントライフサイクル全体を視野に入れた BPM が必要となる。この BPM について、次節で述べる。

1.3 プラントライフサイクル全体のエンジニアリングの業務プロセスモデル

ハードウェアとしてのプラントのライフサイクルであるプラントライフサイクルを Figure 3 に示す。

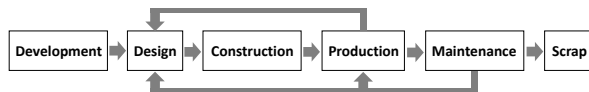


Fig. 3 Plant lifecycle

プラントライフサイクルは、Development (開発)、Design (設計)、Construction (建設)、Production (運転)、Maintenance (保全)、Scrap (廃棄) の 6 種類のステージから構成される。

プラントにおける変更は、このプラントライフサイクル全体にわたり、整合性を維持しながら網羅的に管理されねばならない。そのためには、プラントライフサイクルの業務プロセスを明示化した BPM が必要である。プラントライフサイクル全体のエンジニアリングを Plant-LCE (Plant lifecycle engineering) と呼び、Plant-LCE の BPM が島田らによって提案されている (Shimada *et al.*, 2012)。Plant-LCE の BPM に含まれる活動の一部を Figure 4 に示す。Plant-LCE の BPM は、「Perform Plant-LCE」を最上位階層の活動とする階層ツリー構造をもった活動群として展開される。各ボックスが活動である。活動間で交換される情報は省略している。

Plant-LCE を確実に実施できるように、PDCA サイクルに対応させた活動を (Plan) (Do) (Check) (Act) と記載している。また、PDCA サイクルを実施させるために必要な資源提供の活動として「Provide resources for performing Plant-LCE」が陽に表現されている。各活動の詳細活動として定義されて作成されている下位階層も、PDCA サイクルおよび資源提供のテンプレートに従って表現されている。

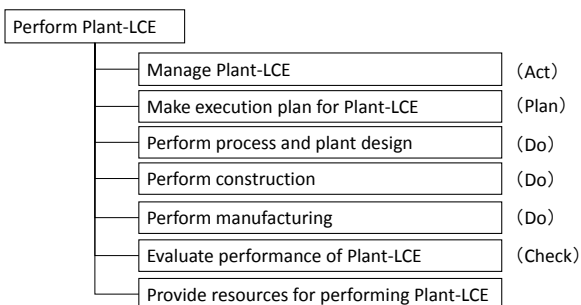


Fig. 4 A part of activities in BPM of Plant-LCE

1.4 プラントアラームシステムの変更管理

プラントアラームシステムの変更管理は、プラントの変更管理の一部と考えることができる。よって、プラントアラームシステムの変更管理の BPM は、プラントの変更管理の BPM に含まれていると考えることができる。

武田らは、プラントにおける変更管理を下記の「変更のリスク管理の部分」と「変更の統合管理の部分」に区分し、「変更の統合管理の部分」の管理下において、個別案件ごとに「変更のリスク管理の部分」が実行されるとした。また、Plant-LCE の BPM 上で、「変更のリスク管理の部分」の業務フローがトレースできることを示した (Takeda *et al.*, 2013)。

- ①変更のリスク管理の部分：個別の変更案件に対するエンジニアリング
- ②変更の統合管理の部分：事業所全体にわたる管理

ここで、上述した ISA のアラームマネジメントライフサイクルと「変更のリスク管理の部分」と「変更の統合管理の部分」の関係を説明する。BPM そのものを健全に維持するためのループが Audit of philosophy loop であり、「変更の統合管理の部分」に相当すると考えられる。また、BPM にもとづいて変更管理を実行するループが Monitoring and management of change loop であり、「変更のリスク管理の部分」に相当すると考えられる。

プラントにおける変更管理における「変更のリスク管理の部分」の業務フローがプラントライフサイクル全体のエンジニアリング Plant-LCE の BPM 上で、トレースできるならば、同様に、プラントアラームシステムの変更管理における「変更のリスク管理の部分」に相当する Monitoring and management of change loop の業務フローも、Plant-LCE の BPM 上でトレースできると考えられる。

Plant-LCE の BPM は ISA のアラームマネジメントライフサイクルとは独立に構築されているため、ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿っているとは限らない。その場合は、ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿うように BPM を拡張した上で業務フローを適切に導出することができれば、ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿ったプラントアラームシステムの変更管理ができるようになる。拡張された BPM は、Plant-LCE の BPM をベースにしているため、プラントライフサイクル全体にわたって整合性を維持しながら、網羅的なプラントアラームシステムの変更管理の実現を期待できる。

2. プラントアラームシステムのツールや手法

2.1 業務プロセスモデルに基づくツールや手法

プラントアラームシステムの変更管理の業務フローを提示するには、業務を順番に列挙するだけでなく、その案件の業務で使用する情報を入手するタイミングやトリガー、使用するツールや手法なども明示する必要がある。プラントアラームの設計や性能監視のために提案されてきた既存のツールや手法は、当該する業務は想定していても、BPM を念頭において開発されたわけではない。よって、Plant-LCE をベースとしたプラントアラームシステムの変更管理の BPM に各種ツールや手法をマッピングし、各業務におけるツールや手法のニーズ、既存ツールや手法の他業務への応用性などのシーズを明確にしておく必要がある。

2.2 プラントアラームシステムの変更に対するリスク評価

上述した新規ツールや手法の開発や既存ツールや手法の見直しも含めて、プラントアラームシステムの変更に関するトリガーを適切につかむため、プラントアラームシステムの設計や性能を評価する適切な指標が必要である。この指標に基づき、開発や変更の計画を立案し、その計画の実施によってプラントの安全性がどのように改善されるかを評価した上で、計画実行の承認を受けるといったリスク評価を行う仕組みが構築されねばならない。

この仕組みが適切に機能するためには、それまでの評価結果の履歴とその論理的根拠が陽に記載され、かつ、BPMに基づき、異なる観点を持つ各業務の担当者にとっても入手しやすい形で記録されている必要がある。この仕組みが実現できれば、時間・労力・コストなどをかけずに、開発や変更前の評価を一からやり直さずに済み、かつ、変更に伴うプラントアラームシステムへの影響を推定することが可能となる。

2.3 Rationalization のためのツールや手法

本節では、Figure 2 のアラームマネジメントライフサイクルにおける【Rationalization】ステージにて用いられる既存のツールや手法について概説する。

プラントアラームシステムの設計アプローチは唯一には定まらないが、ここではプラントモデルや知識ベースを構築して、プラントアラームシステムを設計している場合を想定する。プラントアラームシステムにおいて変更を行う場合、これらのプラントモデルや知識ベースの情報も変更して、整合性を維持し続けなければならない。したがって、設計情報のメンテナンス性を確保することも重要な因子となる。

プラントアラームシステムの設計において、何に対してアラームを発報させるかを決めなければならない。この議論を行うにあたって、プラントにおいて発生しうる異常原因や異常状況を想定する必要がある。その上で、想定された異常原因や異常状況に対して、前述した IPL に基づいて、網羅的に安全設計がなされることが望ましい。ここでは、想定された異常原因の部分集合がプラントアラームシステムにおけるアラーム対象であると、HAZOP (Hazard and operability studies) 手法等を用いて絞り込まれていると仮定する。

プラントアラームシステムにおいて、アラーム対象として「識別したい異常原因」の集合が求められ、それが、温度、流量などのプロセス変数やバルブなどの操作量などの状態変数に 1 対 1 に割り当てられた場合を想定する。

与えられた識別したい異常原因が当該の状態変数にて発生した場合、定性的には、それらを確実に識別できるプラントアラームシステムの構築可能性を判別する仕組みとして、武田らは状態変数間の因果関係にもとづく CE (Cause-effect) モデルを用いた手法を提案している (Takeda *et al.*, 2010a, 2010b)。CE モデルは状態変数を点、状態変数間の因果関係を有向枝で表現したグラフ表現となっており、論理的、かつ、メンテナンス性にも優れ、設計根拠をハンドリングしやすい形式となっている。

この手法を用いた結果、識別したい異常原因が定性的には識別不可能と判定されれば、識別したい異常原因の絞り込みを再検討する必要がある。識別したい異常原因を適切に絞り込みできなければ、迷惑アラームを防ぐことはできない。そこで濱口らは階層 CE モデルを用いて、識別したい異常原因に対して構造的に識別

が不可能となっている異常原因の組み合わせを容易に把握できる手法を提案している (Hamaguchi *et al.*, 2012)。また、識別可能と判定された識別したい異常原因に対して、各アラームの発報に必要な設定値を論理的に決定する手法が木村らにより提案されている (Kimura *et al.*, 2013)。

このように想定を陽にし、1 つずつ論理的な根拠をクリアにして積み重ねていく仕組みをツールや手法として構築していくことがプラントアラームシステムの設計において重要である。

2.4 Monitoring and assessment のためのツールや手法

本節では、Figure 2 のアラームマネジメントライフサイクルにおける【Monitoring and assessment】ステージにて用いられる既存のツールや手法について概説する。

既に述べたように、アラームマネジメントライフサイクルにおいて、プラントアラームシステムの性能を常時監視し、評価結果をプラントアラームシステムの適正化に継続的にフィードバックすることが求められている。

EEMUA は、プラントアラームシステムの性能監視用の KPIs として、単位時間あたりのアラーム発報数の平均や最大値に加え、アラーム発報に関する設定値を一時的に変更している棚上げアラームの数、発報しているアラームの優先度割合などを提案し、人間工学的な観点から、それらの具体的なベンチマークを与えている。しかし、これらの KPIs は、警報としてのアラームに注目しているだけで、オペレータの状況認識や意思決定に役立つアラームであるかどうかという観点は考慮されていない。そのため、KPIs に基づくプラントアラームシステムの評価は、プラントに異常が発生したときに、オペレータがプラントアラームシステムによって異常を早期検知し、状況を正しく把握させることが可能かどうかといった、プラントアラームシステムに対する本質的な評価にはならないことが指摘されている。

また、プラントで発生したアラームや操作などのイベントの種類と発生時刻が記録されたプラント運転ログデータを用いて、迷惑アラームを抽出する方法が提案されている。たとえば、トップ 10 アプローチと呼ばれる方法では、アラームや操作などのイベントを発生頻度でランキングし、ランキング上位のイベントからプロセス改良やオペレーションの見直しなどを通じて不要イベントを削減する簡便な手法であるため、広く運転現場で用いられている。しかし、この手法では不要イベントの削減が進むにつれ、ランキング上位のイベントの占有率が低下し、アラームの削減効率が低下するという問題がある。

この問題を解決する方法として、プラント運転ログデータからイベント相関解析を用いて、迷惑アラームを抽出する方法が提案されている (Nishiguchi and Takai, 2010)。イベント相関解析はイベント間の発生系列の類似性に基づき、関連するイベント群をグループ化する。関連するイベント群単位で対策を検討できるため、個々のイベントに着目したトップ 10 アプローチに比べ、不要イベントの効率的な削減が期待できる。イベント相関解析法はエチレンプラントの運転ログデータに適用され、その有効性が実証されている (Higuchi *et al.*, 2010, Takai *et al.*, 2011)。同様な方法に、プラント運転ログデータに含まれるアラームイベントの発生系列の類似性を Jaccard Similarity Index (Lesot *et al.*, 2009) で評価し、Alarm Similarity Color Map を用いて可視化する方法 (Kondaveeti *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2012) がある。

イベント相関解析法は、運転ログデータを一定のタイムウィンドウ幅でバイナリ変換し、イベントの発生系列間の類似性を最大相互相関値に基づき判定する。このとき、類似性を持つ二つのイ

ベントの発生点間のタイムラグの分散が大きいと、その間の類似性を正しく検出できない問題が指摘されている (Nishiguchi and Takai, 2010). タイムラグの分散が大きなイベント間の類似性評価では、バイナリ変換時のタイムウィンドウ幅を大きくする方法が提案されているが、タイムウィンドウ幅を試行錯誤的に決めているのが実情であり、イベント相関解析を実プラントへ適用する際の課題となっている (Higuchi *et al.*, 2010). このような問題に対しては、運転ログデータのバイナリ変換時のタイムウィンドウ幅を拡大することで、タイムラグの分散が大きの場合にも、イベント発生パターン間の類似性を正しく判定できるイベント相関解析法 (Kurata *et al.*, 2011) が提案されている。

迷惑アラームの中でも特に連鎖アラームに着目し、連鎖アラームの効率的な削減を目的に、レーベンシュタイン距離 (Levenshtein, 1966) に基づく連鎖アラーム間の類似度評価法が提案されている (Akatsuka *et al.*, 2013). レーベンシュタイン距離は、一つの文字列を別の文字列に変形するのに必要な手順の最小コストとして定義され、二つの文字列間の類似度を評価するための指標として自然言語処理の分野で広く用いられている (Jurafsky and Martin, 2008). 最近では、DNA 配列同士の類似性の判断を目的にバイオインフォマティクスの分野でも応用されている。レーベンシュタイン距離を用いた類似度評価結果に基づき膨大な連鎖アラームをそれらの類似度に基づき少数のグループに集約すれば、連鎖アラームを効率的に削減できる。また、連鎖アラームの削減効果を定量的に把握できるため、費用対効果の観点から連鎖アラームの削減対策に優先順位をつけることもできる。

プラント運転ログデータのデータ解析は、プラントアラームシステムの質的な性能評価を可能にする。仕組みがシンプルであるため、現場のエンジニアにとって使いやすい手法と言える。今後、さまざまな化学プラントへの適用が進み、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。

結 言

ISA が提案するアラームマネジメントライフサイクルを実現するためには、プラントアラームシステムの変更管理を適切に実行するための BPM が必要である。プラントの変更管理における「変更のリスク管理の部分」の業務フローは、Plant-LCE の BPM 上でトレースできることが報告されている。プラントアラームシステムの変更管理は、プラントの変更管理の一部であることから、プラントアラームシステムの変更管理における「変更のリスク管理の部分」の業務フローも Plant-LCE の BPM 上でトレースできると考えられる。そこで、ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿うように Plant-LCE の BPM を拡張した上で、業務フローを適切に導出することができれば、ISA のアラームマネジメントライフサイクルに沿ったプラントアラームシステムの変更管理ができるようになる。拡張された BPM は、Plant-LCE の BPM をベースにしているため、プラントライフサイクル全体にわたって整合性を維持しながら、網羅的なプラントアラームシステムの変更管理の実現を期待できる。業務フローとして提示するには、業務を順番に列挙するだけでなく、その案件の業務で使用する情報を入手するタイミングやトリガー、使用するツールや手法なども明示する必要がある。本論文では、プラントアラームシステムの変更管理の BPM と業務フローのあり方、および、設計や性能監視に関する既存のツールや手法について概説した。

今後、プラントアラームシステムの変更管理の BPM にもとづき、さらなるツールや手法の開発・改良、およびそれらの結合や統合などによ

り、アラームマネジメントライフサイクルを適切に実行するための技術開発を推し進めることが望まれる。

Literature Cited

- Akatsuka, S., M. Noda and K. Sugimoto ; "Similarity Analysis of Sequential Alarms in Plant Operation Data by using Levenshtein Distance," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **39**, 352–358 (2013)
- Center for Chemical Process Safety (CCPS); Layer of Protection Analysis, American Institute of Chemical Engineers, New York (2001)
- Center for Chemical Process Safety (CCPS); Guidelines for Engineering Design for Process Safety 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New Jersey (2012)
- Engineering Equipment & Material Users' Association (EEMUA); ALARM SYSTEMS-A Guide to Design, Management and Procurement, EEMUA Publication No.191 2nd Edition, EEMUA, London (2007)
- Hamaguchi, T., K. Takeda, M. Noda and N. Kimura; "A Method of Designing Plant Alarm Systems with Hierarchical Cause-Effect Model," 11th International Symposium on Process Systems Engineering, 265–269 (2012)
- Higuchi, F., M. Noda and H. Nishitani ; "Alarm Reduction of Ethylene Plant using Event Correlation Analysis", *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **36**, 576–581 (2010)
- Hollifield, B. and E. Habibi; "The Alarm Management Handbook", PAS, Houston (2006)
- International Society of Automation (ISA); Management of Alarm Systems for the Process Industries, ANSI/ISA-18.2-2009, ISA, North Carolina (2009)
- Jurafsky, D. and J. H. Martin ; Speech and Language Processing 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey (2008)
- Kimura, N., T. Hamaguchi, K. Takeda and M. Noda ; "Determination of Alarm Setpoint for Alarm System Rationalization Using Performance Evaluation," *Lecture Notes in Computer Science*, **8017**, 507–514 (2013)
- Kondaveeti, S. R., S. L. Shah and I. Izadi; "Application of Multivariate Statistics for Efficient Alarm Generation," *Proceedings of 7th IFAC Symposium of Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes*, 657–662 (2009)
- Kurata, K., M. Noda, Y. Kikuchi and M. Hirao; "Extension of Event Correlation Analysis for Rationalization of Plant Alarm System," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **37**, 338–343 (2011)
- Lesot, M. J., M. Rifqi and H. Benhadda ; "Similarity Measures for binary and Numerical Data: A Survey," *International Journal of Knowledge Engineering and Soft Data Paradigms*, **1**, 63–84 (2009)
- Levenshtein, V. I.; "Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions, and Reversals," *Cybernetics and Control Theory*, **10**, 707–710 (1966)
- Nishiguchi, J. and T. Takai ; "IPL2 and 3 performance improvement method for process safety using event correlation analysis," *Comput. Chem. Engineer.*, **34**, 2007–2013 (2010)
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA); Process Safety Management of highly hazardous chemicals, 29 CFR 1910.119 Federal Register, February 24 (1992)
- Shimada Y., T. Kitajima, T. Fuchino and K. Takeda; "Disaster Management Based on Business Process Model Through the Plant Lifecycle," Approaches to Managing Disaster - Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts, InTech, 19–40 (2012)
- Takai, T., and Noda, M.; Performance Monitoring of Plant Alarm

- Systems by Event Correlation Analysis, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **37**, 539–545 (2011)
- Takeda K., Hamaguchi, T. and Noda, M.; “Plant Alarm System Design based on Cause-Effect Model,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **36**, 136–142 (2010a)
- Takeda K., Hamaguchi, T., Noda, M., Kimura, N. and Itoh, T.; “Plant Alarm Signal Selection Based on a Two-Layer Cause-Effect Model,” *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **36**, 582–588 (2010b)
- Takeda K., Saito, H., Shimada, Y., Kitajima, T., Fuchino, T. and Naka, Y.; “Overview for Management of Change based on Business Process Model of Plant Lifecycle”, *23th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering*, 607–612 (2013)
- Yang, F., Shah, S. L., Xiao, D., and Chen, T.; “Improved Correlation Analysis and Visualization of Industrial Alarm Data”, *ISA Transactions*, **51**, 499–506 (2012)

Management of change for plant alarm system based on business process model of plant lifecycle engineering

Kazuhiro TAKEDA¹, Takashi HAMAGUCHI², Naoki KIMURA³ and Masaru NODA⁴

¹ Graduate School of Engineering, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku Hamamatsu, 432–8561, Japan

² Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, 466–8555, Japan

³ Faculty of Engineering, Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819–0395, Japan

⁴ Department of Chemical Engineering, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, 814–0180, Japan

Keywords: Plant Alarm System; Alarm Management Lifecycle; Business Process Model; Management of Change.

The alarm management lifecycle model of ISA (International Society of Automation) establishes recommended processes for a plant alarm system. To realize the lifecycle, a BPM (business process model) for appropriate management of change in the plant alarm system is required. The following two-step approach will be effective to manage change in the plant alarm system. The first step is to construct a BPM in accordance with the lifecycle based on the BPM of plant lifecycle engineering. The second step is to develop a workflow for management of change in the plant alarm system. The BPM and the business flow should not only list activities of the BPM but also specify the information to be shared and exchanged between activities, the tools and methods to be used, and the requirements of additional tools and methods for design or performance monitoring of the plant alarm system. This paper introduces the proposed tools and methods for design and performance monitoring of a plant alarm system.