

氏 名	おう しゃこう 王 者興		
学 位 の 種 類	博士（工学）		
報 告 番 号	甲第 1697 号		
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 15 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当（課程博士）		
学 位 論 文 題 目	プラントアラームシステム適正化のためのプラント運転データ 解析		
論 文 審 査 委 員	（主 査） 福岡大学	教授	野田 賢
	（副 査） 福岡大学	教授	鈴川 一己
	九州大学	教授	柘植 義文

内 容 の 要 旨

経験や知識などに基づく人間の高度な認識や判断に委ねられるプラントオペレータの業務の一つに、アラームシステムを使ったプラントの異常検知や異常診断がある。アラームシステムは、プラント状態が正常範囲から逸脱したとき、プラント監視制御室内のアラームランプや警報音などによりオペレータにプラント異常の発生を早期に通知し、正常状態に戻すための適切な対応操作を要求する。近年のプラント監視制御システムの急速な高性能化は、低コストで大量の監視変数にアラームを設定できる環境を運転現場にもたらした。しかし、個々のアラームの必要性や管理範囲の妥当性が十分精査されないままアラームシステムが設計されている運転現場も多く、単一のプラント異常から複数のアラームが短時間に連鎖的に発生する連鎖アラームが運転現場で増加している。連鎖アラームはオペレータの重要アラームの見落としや異常診断ミスなどを招き、ヒューマンエラーによるプラント事故の主要な原因となっている。そこで本論文では、プラント運転データからの連鎖アラーム抽出法の提案を研究目的とする。

連鎖アラームは、連鎖アラームに含まれるアラームの種類、それらの発報順で特徴付けられる。本論文では、これらを連鎖アラームの発報パターンとよび、二つの連鎖アラームの発報パターンが同じであるとき二つの連鎖アラームは一致するという。同一のプラント異常を原因とする連鎖アラームの発報パターンは、互いに完全に一致すると期待される。プラント運転データの中に完全に一致するアラームの発報パターンが複数個見つければ、それらは連鎖アラームの可能性が高い。そこで本論文では、プラント運転データからの連鎖アラームの抽出問題を、プラント運転データ中のアラームの種類とそれらの発報順（発報パターン）が完全に一致する部分を抽出する問題に帰着した。

プラント運転データからの連鎖アラームの抽出には、ドットマトリックス解析を応用した。ドットマトリックス解析は、バイオインフォマティクス分野で、DNA やタンパク質

配列の配列アラインメント手法の一つとして広く用いられている。提案手法では、まずプラント運転データに記録された発報アラームを、それらの発報順に並べたアラーム配列に変換する。つぎに、ドットマトリックス解析により、アラーム配列中の発報パターンが一致する部分配列を特定し、それらを連鎖アラームとして抽出する。最後に、レーベンシュタイン距離に基づき類似する連鎖アラームをグルーピングする。提案手法を共沸蒸留プロセスの運転データに適用した結果、連鎖アラームを抽出することができた。また、連鎖アラームを構成するアラーム情報から、個々のアラームの管理範囲変更や削除などの方針を検討することができた。

現実のプラントでは、同じ異常を原因として発生した連鎖アラームであっても、そのときのプラントの状態によって連鎖アラームに含まれるアラームの種類やそれらの発報順に置換、挿入や削除といったノイズが入ることが多い。これまでに提案した手法では、連鎖アラーム中にアラームの置換、挿入や削除が発生した場合、その連鎖アラームを抽出することはできなかった。そこで、ノイズなプラント運転データにも適用できるように連鎖アラーム抽出法の改善を試みた。具体的には、プラント運転データのアラーム配列上にある幅を持つスライディングウィンドウを導入し、ウィンドウをスライディングさせながら二つのウィンドウに含まれるアラームの部分列同士の一致度を逐次評価していく。従来法のように個々のアラーム同士を比較するのではなくアラームの部分列同士を比較するため、連鎖アラーム内にノイズが含まれたとしても正しく連鎖アラームを抽出できる。改良したドットマトリックス解析法を共沸蒸留プロセスの運転データに適用した結果、従来法に比べて連鎖アラームをさらに集約できることを確認した。

最後に提案手法を、実際のエチレンプラントの運転データに適用し、手法の有効性を検証した。対象データは、ある1ヶ月間にエチレンプラントで発生したアラームデータで、発報したアラームの種類は914種類、アラームの総発報回数は15953回であった。ドットマトリックス解析の結果、1ヶ月間のプラント運転データから437種類の連鎖アラームが抽出され、さらにアラーム総発報回数の約24%が連鎖アラームであることが明らかになった。抽出されたすべての連鎖アラームを削減することができれば、オペレータの負荷を大幅に削減できるとともに、より安全なプラントオペレーションの実現につながると考えられる。

本論文では、プラント運転データから連鎖アラームを抽出するためのデータ解析手法を提案した。プラント運転データの中から連鎖アラームを抽出し、類似度に基づき少数のグループに集約すれば、連鎖アラームの効率的な削減に寄与できる。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。提案法はプラント情報が不要であるため、異なるプラントにもそのまま適用できる。今後、様々な化学プラントへの適用が進み、アラームシステムの適正化を通じた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。

以上

審査の結果の要旨

【審査の経過】

1. 博士論文事前審査委員会

平成 29 年 11 月 15 日に開催された博士論文事前審査委員会で、申請者は申請資格に定める「申請者が第一著者である査読付学術論文 1 編(冊)以上の研究業績を有する者」と確認されたので、審査の結果、申請資格の条件に適合する者であると判定された。

2. 学位論文類似度判定実施

福岡大学大学院学位論文の不正行為防止に関する規程に基づき、学位論文類似度判定ソフトウェアを利用して類似度判定を行った結果、学位論文として問題がないことが確認された。

3. 博士課程後期通常委員会

平成 29 年 11 月 29 日に開催された博士課程後期通常委員会で、主査予定者の野田賢から申請者の経歴、研究業績、論文名、論文の内容と副査予定者の説明を行い、審議の結果、申請論文の受理と審査委員が提案どおり承認された。

主査 野田 賢 教授

副査 鈴川一己 教授、九州大学大学院 柘植義文 教授

4. 審査会

(1) 第 1 回

日 時：平成 29 年 12 月 6 日 9：30～12：00

場 所：6 号館 4 階 化学システム工学科 会議室

申請者からの申請論文の内容説明に対して、審査委員から質疑並びに指摘があった。指摘事項に基づく学位論文の修正対応については主査が代表して確認した後に、個々の指摘事項に対する回答書とともに改訂論文を副査に送付することになった。また、学位論文の内容と審査会中の質疑応答から、申請者は、専門領域に関する十分な学識と研究能力を有すること、国際学術雑誌への投稿、国際会議での口頭発表などの実績から十分な英語能力を有することを認めた。以上を踏まえ、第 2 回の審査会は行わないこと、公聴会を開催することを全会一致で了承した。

5. 公聴会

日 時：平成 30 年 1 月 16 日 10：00～11：30

場 所：14 号館 4 階 1441 室

出席者：37 名（審査員 3 名を含む）

公聴会では申請者による約 60 分の発表後、出席者から 8 件の質疑があり、申請者はすべての質疑に対し的確に回答した。公聴会后、11:30～12:00 に 6 号館 630 室（野田教授室）において最終審査会を開催した。学位論文の内容、審査会および公聴会での質疑応答の内容を踏まえ、全会一致で当該学位論文を合格と判定した。

【審査委員会の結論】

当該学位論文に関する審査委員会の結論を以下に記す。

(1) 研究テーマの学術上の意義

近年のプラント監視制御システムの急速な高性能化は、低コストで大量の監視変数にアラームを設定できる環境を運転現場にもたらした。しかし、個々のアラームの必要性や管理範囲の妥当性が十分精査されないままアラームシステムが設計されている運転現場も多く、単一のプラント異常から複数のアラームが短時間に連鎖的に発生する連鎖アラームが運転現場で増加している。連鎖アラームは、オペレータの重要アラームの見落としや異常診断ミスなどを招き、ヒューマンエラーによるプラント事故の主要な原因となっている。このような背景の下、プラント監視制御システムに蓄積されている膨大なプラント運転データからデータ解析により連鎖アラームを抽出することで、プラントアラームシステムの適正化を促進するという本研究テーマの学術上の意義は大きい。

(2) 世界における関連分野の研究動向の把握及び研究成果の位置付けの的確さ

申請者は、第 1 章において、プラントアラームシステムの適正化を目的とした様々なプラント運転データ解析手法の特徴や問題点などの研究動向を網羅的に整理している。特に、アラームシステムマネジメントの国際標準（IEC62682）の評価指標は、アラームシステムのマクロなパフォーマンスは評価できるが連鎖アラームのミクロな解析ができず、また多くのデータ解析手法は解析時にプラント情報を基にカスタマイズする必要があり、運転現場で使いにくいという問題がある。本研究で提案するデータ解析手法は、プラント情報によるカスタマイズが不要であり、また連鎖アラームの発生時刻や連鎖アラームに含まれるアラームの種類と発報順まで特定できるという特徴を有することから、既往の研究に対する本研究成果の位置づけは的確であると認められる。

(3) 研究成果の新規性、信頼性及び有効性

連鎖アラームは、連鎖アラームに含まれるアラームの種類、それらの発報順で特徴付けられる。これらを連鎖アラームの発報パターンとよび、二つの連鎖アラームの発報パターンが同じであるとき二つの連鎖アラームは一致するという。本研究は、プラント運転データからの連鎖アラームの抽出問題を、プラント運転データ中のアラームの種類と

それらの発報順（発報パターン）が完全に一致する部分を抽出する問題に帰着した。このような問題は、一般に配列アライメント問題とよばれ、多くの解法が提案されている。プラント運転データからの連鎖アラーム抽出問題を一般的な配列アライメント問題に帰着した点が、本研究の新規性の一つである。

本研究では、プラント運転データからの連鎖アラームの抽出に、ドットマトリックス解析が適用された。ドットマトリックス解析は、バイオインフォマティクス分野で、DNAやタンパク質配列の配列アラインメント手法の一つとして広く用いられ、解析結果がグラフィカルに出力されるという特徴がある。本研究では、ドットマトリックス解析を用いることで、プラント運転データにどの程度の連鎖アラームが含まれているのか、またそれらがどの程度の長さであるのかを視覚的に把握できるため、現場のエンジニアが解析結果を理解しやすいというメリットがある。

現実のプラントでは、同じ異常を原因として発生した連鎖アラームであっても、そのときのプラントの状態によって連鎖アラームに含まれるアラームの種類やそれらの発報順に置換、挿入や削除といったノイズが入ることが多い。本研究では、このようなノイズを多く含むプラント運転データへの対策として、レーベンシュタイン距離を用いた連鎖アラームの集約法を提案した。また、より少ないパラメータで連鎖アラームを集約できるスライディングウィンドウを用いたドットマトリックス解析を提案した。このように、本研究は、現実のプラントで問題となるノイジーなプラント運転データへの対策法を提示しており、提案手法は信頼性の高い方法であるといえる。

最後に、提案手法は、エチレンプラントの1ヶ月分の運転データに適用され、一般的なデスクトップパソコンを用いて約10時間の計算時間で連鎖アラームを抽出できることが示された。エチレンプラントは大規模プラントの代表例であり、提案手法が実用的な手法であることが確認された。

以上の理由より、本研究は工学的な新規性、信頼性および有効性を有すると認める。

(4) 論文の形式や表記の適切性、論述の明確性等の論文作成能力

本論文は5章から構成され、第1章は研究背景と研究目的、第2章から第4章までは本論、第5章は研究総括となっている。学位論文として適切な章構成であり、またそれぞれの章において目的、方法、結果および考察などが明瞭かつ論理的に記述されている。学位論文審査会での指摘事項が学位論文に反映され、論述はより正確となった。以上の理由から、本論文の論述は適切かつ明確であり、申請者は十分な論文作成能力を有することを認める。

以上より、申請学位論文は工学研究科博士学位申請取扱細則第7条の審査基準に照らして学位論文に値すると判定した。

以上