

審査の結果の要旨

氏名 デ・ソウザ・エスコバル・マテウス

「A STUDY ON DATA VISUALIZATION AND STATISTICAL PROCESS MONITORING FOR NONLINEAR SYSTEMS (非線形システムを対象にしたデータの可視化および統計的プロセス監視に関する研究)」と題した本論文は、ソフトセンサーおよびプロセス監視に関する問題点および課題点を対象として新規手法の開発に取り組んだ研究であり、全4章から構成される。

第1章は序論であり研究背景と研究目的を述べている。化学プラントにおける異常検出の重要性について記述した後に、化学プラントで測定されているデータに機械学習手法を活用することでプロセス変数間およびデータ間の関係性を解析でき、化学プラントの重要な特徴を把握できることを述べている。機械学習手法は教師ありおよび教師なし学習に分類でき、従来の異常検出では教師あり学習が活用されてきた。つまり、測定データの中で正常データが既知であることを前提にして異常検出モデルが開発されてきたわけである。本論文では、どのデータが正常か常に事前に分かるわけではないことを問題点として指摘し、事前知識がない状態でも全ての測定データから正常データを分類することを目的として設定している。また、測定が容易なプロセス変数の値から測定が困難なプロセス変数の値を推定するソフトセンサーについて、ソフトセンサーモデルが十分な予測性能を発揮できるデータ領域、つまりモデルの適用範囲に関して本論文では異常検出とモデルの適用範囲との関係についても言及し、新しいデータがモデルの適用範囲内にあるにもかかわらず、ソフトセンサーの推定誤差が大きい場合は対象のプロセス変数の異常と推定できることを示している。

第2章では Generative Topographic Mapping (GTM) と Graph Theory における Louvain Community Finding (LCF) とを組み合わせた教師なしの異常検出手法を述べている。文献レビューの後に提案手法の説明をしている。GTMにより既存のデータを二次元平面上に写像した後に、各データが二次元平面上に確率密度分布の形で表現できるという GTM の特徴に着目して、その分布に基づくデータ間の類似度を提案している。全データで計算される類似度行列に基

づき LCF によるクラスタリングを行う。一度のクラスタリングで正常データ内に異常データが混在する場合もあるため、GTM による写像および LCF によるクラスタリングを繰り返し行うことで正常データのクラスターを洗練する方法論も開発している。二種類の数値シミュレーションデータ、異常検出問題のベンチマークとして有名な Tennessee Eastman (TE) プロセスのデータ、そして三井化学における実プラントデータを使用して提案手法の有効性について検証している。既存の異常検出手法である Principal Component Analysis (PCA)、Dynamic PCA、Kernel PCA、GTM のそれぞれに基づく手法について教師あり学習および教師なし学習の両方と比較したところ、提案手法は教師なし学習であるにもかかわらず教師あり学習と同程度の精度での異常検出が可能であり、異常状態に応じた適切なクラスタリングも可能であるという新規な成果を述べている。また、提案手法によって判断された正常データを使用することで、教師あり学習により迅速な異常検出も可能であることも示している。

第 3 章ではソフトセンサーにおけるモデルの適用範囲の設定手法および異常検出について述べている。文献レビューの後に Genetic Algorithm (GA) に基づくモデルの適用範囲について説明している。ソフトセンサーの入力変数として使用するプロセス変数を GA により選択する際、GA は確率的な要素を含むためいつも同じ変数セットが得られるとは限らない。GA を行うたびに毎回異なる変数セットが得られ、それにより異なるソフトセンサーモデルが構築される。これらのモデルをすべて用いると新しいデータを入力することでモデルの数だけ推定値が得られる。推定値が一つのある値に収束しているほどその推定値の信頼性は高く、逆に推定値がばらついているほどその推定値の信頼性は低いと考えられることから、推定値の標準偏差によってモデルの適用範囲を設定している。従来手法の一つである PCA に基づく異常検出手法をモデルの適用範囲の設定に応用した場合と比較して、データの分割方法を様々に変化させたデータ解析によって適切な推定誤差の見積りが可能であることを確認している。推定値の標準偏差が小さく推定値を信頼できるにもかかわらず推定誤差が大きい場合は対象のプロセス変数の異常として検討可能であることを述べている。

第 4 章は結論と研究展望である。異常検出およびモデルの適用範囲について総括し、今回の研究を通して得られた成果をまとめるとともに今後の課題と展望について述べている。

本論文で開発された異常検出手法は、正常・異常の事前情報なしで的確に異常検出が行える点で従来手法にない有用性と新規性、そして様々な化学プラントへの応用性を持つ。化学プラント管理を行う上で安全で安定したプラント運転に寄与することから、プロセスシステム工学への貢献は大きいと判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。