

審査の結果の要旨

氏名 蛭田 智昭

本論文は、「デジタル・トリプレット構想に基づく知的状態監視システムの設計方法論」と題するものであり、サーキュラー・エコノミーの実現に向けて、データドリブン型状態監視システムを設計するための課題を明らかにして、データから状態を把握する状態同定機能の設計方法を提案したものである。

第1章では、メンテナンスの1つである予防保全の重要性と、状態監視システムについて述べ、本論文の目的を述べている。本論文では状態同定機能を持つデータドリブン型状態監視システムに注目した。状態同定機能を、入力データから対象機器の異常の度合いを算出するデータの処理プロセスと定義している。これまでデータドリブン型の状態同定機能は、データサイエンティストによって設計されてきた。本来、エンジニアが状態同定機能を理解する必要があるが、データサイエンティストは、対象機器のエンジニアリング知識を持ち合わせていないため、エンジニアが解釈可能な状態同定機能を設計することは難しい。これが、データドリブン型状態監視システムの実用化の課題になると、よって本研究の目的を、サーキュラー・エコノミーの実現に向けて、データドリブン型状態監視システムを設計するための課題を明らかにして、データから状態を把握する状態同定機能の設計方法を提案することとしている。

第2章では、知的状態監視システム、状態同定機能設計の既存手法を調査し、本論文の課題とアプローチを明らかにしている。本論文の課題を、データドリブン型状態監視システムにおいて、状態同定機能のロバスト性と解釈性を高めることとした。本論文では、ロバスト性を、対象機械システムの過去起きていない未知の故障を扱えることと定義している。また解釈性を、状態監視システムの状態同定機能の中身をエンジニアが理解できることと定義している。これら課題を解決するために、データサイエンティストとエンジニアが共同で状態同定機能を設計し、エンジニアのエンジニアリング知識を活用する。具体的には、既存研究であるデジタル・トリプレット(D3)構想に従い、データとエンジニアリング知識を結びつけるアプローチをとる。

第3章では、D3 型状態同定機能設計方法を提案している。この設計方法の特徴は、データサイエンティストがエンジニアの知識を引き出して状態同定機能を設計することである。次に、D3 型状態同定機能設計方法の構成を提案して

いる。さらに D3 型状態同定機能設計方法におけるエンジニアのエンジニアリング知識を形式知と暗黙知に分類した。次に、モータ軸受の異常の兆候をとらえる状態同定機能を設計し、D3 型状態同定機能設計の構成が有効に機能することを確認した。

第 4 章では、エンジニアの形式知を活用した状態同定機能の設計方法を提案している。はじめに、エンジニアが物理モデルのモデリングとシミュレーションを実行し、データサイエンティストがシミュレーションデータと機械システムの蓄積データを取得する。次に、観測データとシミュレーションデータを状態空間上の状態平面に変換する。さらに、観測データの状態平面と、あらかじめ準備しておいたシミュレーションデータの状態平面を比較することで、対象機器の劣化の度合いを推定する。本手法により、エンジニアの形式知を物理モデル及びシミュレーションデータを介して、状態同定結果につなげることができる。さらにケーススタディとして、鉱山機械の重要部品である油圧ポンプを対象に、形式知を使った状態同定機能を設計し、油圧ポンプの劣化の度合いを推定した。

第 5 章では、エンジニアの暗黙知を活用した状態同定機能の設計方法を提案している。状態同定機能設計の課題として、データサイエンティストとエンジニアのバックグラウンドの違いによって、お互いのコミュニケーションが難しいこと、エンジニア自身が、エンジニアリング知識を引き出す方法を知らないことを明らかにした。これを解決するために、データサイエンティストがエンジニアに状態同定機能の仮説を示して、フィードバックを得ることで、エンジニアの暗黙知を引き出す設計方法を提案した。さらに設計支援手法として、**Two-plot linkage** 法、設計支援テーブル、状態抽出仮説生成手法を提案した。さらに状態同定機能の設計をサポートするためのエンジニアリングツールを開発した。その後、エンジニアリングツールで、状態同定機能の設計工数を短縮できることを確認した。

第 6 章では、既存手法と比較し、D3 型状態同定機能設計方法で、本論文の課題である状態同定機能のロバスト性と解釈性を高めることができたことを述べている。さらに形式知活用の設計方法と暗黙知活用の設計方法の使い分けの手順を述べた。さらに、形式知と暗黙知の両方を活用した状態同定機能の設計方法の概要を述べた。最後に、将来像としてデータドリブン型状態監視システムの成長プロセスについて述べた。

第 7 章では、データサイエンティストとエンジニアのギャップを埋めるために、状態同定機能のロバスト性と解釈性を高める課題を整理し、それに対する解決方法を提案することによって、データドリブン型状態監視システムの状態同定機能の設計方法を明らかにすることができた結論付けた。

以上により、本論文の目的であるデータドリブン型状態監視システムの状態同定機能の設計方法を提案し、それをシステム開発とケーススタディにより検証することができたと認められる。

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。