

## 論文の内容の要旨

論文題目 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  
Design methodology of intelligent condition monitoring system based on digital triplet concept

氏 名 蛭田 智昭

本論文では、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。

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た。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た。これまで状態同定機能は、データサイエンティストによって設計されてきた。データドリブン型状態監視システムを実行するためには、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考えた。よって本論文の目的を、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、とした。

第2章では、知的状態監視システムの既存研究と状態同定機能設計の既存方法を調査し、本論文の課題とアプローチを明らかにした。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た。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た。この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た。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エンジニアリング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た。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た。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。提案した設計方法により、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た。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、既存の設計方法と比較し、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た。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、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明らかにすることができた、と結論付けた。