

氏名	平内 和樹
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第147号
学位授与の日付	令和3年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	異常検知手法を用いた作業姿勢や動作の人間工学評価
論文審査委員	主査 教授 瀬尾 明彦 委員 教授 長谷 和徳 委員 教授 藤江 裕道 委員 教授 梶原 康博

【論文の内容の要旨】

作業の快適性向上のためには、作業姿勢や身体負担に配慮した作業環境設計が重要である。そのため、作業姿勢や動作の記録や解析と身体負担に関する多くの人間工学評価法が開発されてきた。その代表的な手法が、作業者を目視で観察して大まかに姿勢の評点を付ける観察法と、モーションキャプチャシステムで測定した姿勢データをコンピュータ上に再現して身体負担推定を行う生体力学解析である。近年は計算機能力の向上で適用分野が拡大した機械学習を用い、普通のビデオカメラで録画された画像からマーカレスで作業者の姿勢や動作を測定する方法も開発が進んでいる。この方法は、特殊な計測機器が不要で、マーカ固定や測定場による制限あるいは筋電図の電極貼付による作業への拘束性もない。そのため、より広範な産業場面に導入して様々な作業で詳細な姿勢や動作を測定することが可能になりつつある。しかし近年の自動化が進む生産現場では、低負荷・高反復作業やメンテナンス作業など姿勢や動作の違いが把握しにくい場面が多い。したがってわずかな姿勢や動作の違いを検出・分析して作業評価を行うために、機械学習などの計算技術の更なる適用が試みられている。

現在の人間工学においても、機械学習のうちの教師あり学習の手法は、人間工学的に問題があるとされる定型的な姿勢の抽出や分類にその利用が試みられている。しかし作業姿勢や動作は、個人の身体特性や熟練度の違いで変化するなど、教師データの定義が困難である。そのため、教師なし学習の1つである異常検知手法を応用して、姿勢や動作の変化を異常度としてとらえ、わずかな姿勢や動作の違いを判別するといった手法の確立が期待されている。

そこで本研究は、異常検知手法を用いた姿勢や動作の判別に基づく評価法を開発する。

具体的には、実作業を想定したいくつかの作業場面の姿勢や身体負担について、従来の人間工学評価を行うとともに、作業場面に応じて選択・提案した異常検知手法の有用性を従来法との関係から実験的に明らかにすることを目的とする。

本論文は全7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景として、従来の人間工学評価法の特徴と課題および機械学習・異常検知関連手法の概要と人間工学評価への適用状況について概観し、本研究の目的を示している。

第2章および第3章では、作業姿勢の代表値として主に平均姿勢が得られる場面での問題点を検出するため、外れ値検知手法の1つである**One-Class Support Vector Machine**による評価の有用性を検討している。第2章では、関節角度や関節トルク比の変化は小さいものの、作業域が制限されて主観的な作業性に大きな影響のある作業の例として、身体近傍でのねじ締め作業に関する実験を実施している。第3章では、保守点検作業などで負荷の高い特殊な作業姿勢を強制される例として、障害物回避を伴う上肢到達タスクに関する実験を実施している。両実験とも、計測された作業姿勢データを**One-Class Support Vector Machine**を適用して姿勢分類を行い、その結果と主観評価など従来の人間工学評価法との比較に基づき、**One-Class Support Vector Machine**の有用性を検討している。結果として、**One-Class Support Vector Machine**を用いることで、従来の評価法では検出できない姿勢の違いを捉え、主観的な作業性の低下を異常スコアの増加という観点で評価できる可能性を示した。

第4章では、作業中に発生するミスなどによる突発的な姿勢変化の検出について、時系列異常検知手法の1つである特異スペクトル変換を適用した場合の有用性を明らかにしている。突発的な姿勢変化の誘発は、作業間隔の短縮をランダムに挿入することで発生させた。結果として、作業間隔が急に減少した時に特異スペクトル変換によって算出された異常スコアは、一定の間隔で作業する場合より大きく、作業全体の姿勢変化を検出できることを示した。

第5章では、反復作業中の疲労などに応じた姿勢のばらつきの経時変化の推定のため、特異スペクトル変換に基づく新しい異常スコアの計算法を提案している。提案手法の有用性を、従来の動作のばらつきの計算法や主観的負担感の推移との関係に基づいて明らかにしている。結果として、主観的負担感の推移といくつかの先行研究による知見との関係から、提案手法の有用性を示した。

第6章では、タスクや作業速度条件を変更した置き置き作業において、スパース構造学習および相関異常度の計算による関節間協調や姿勢の経時変化の評価を行い、その有用性を明らかにしている。結果として、スパース構造学習により主要な関節の協調関係を抽出できることや、姿勢の経時変化に最も寄与する関節角度を相関異常度の増加という観点で評価できたことから、スパース構造学習が人の動きにおける関節の協調関係や姿勢経時変化の検討に適用できる可能性を示した。

第 7 章では、総括として各章の結果をまとめ、異常検知手法を人間工学評価へ応用することによって、把握が困難であった作業姿勢や動作の違いを明らかにできることを述べている。さらに、実作業への展開や異常検知手法の技術的課題などについて論じている。