

学位被授与者氏名	張 晋 (Zhang Jin)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 7 4 号
学位授与年月日	2 0 2 5 年 9 月 1 7 日
論文題目	介護現場での外傷リスク軽減を目指した転倒検知および転倒防止システムに関する研究
論文題目 (英訳または和訳)	A Study on Fall Detection and Prevention Systems Aimed at Reducing Injury Risk in Care Settings
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 田嶋 拓也 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 宋 宇 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 藤岡 寛之 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 朱 世杰
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	近年の情報通信技術の進展により,転倒検出および予測技術が高度化し,それに伴い高齢者の生活の質の向上と介護現場の負担軽減が期待されている.特に,加齢に伴う身体機能の低下や環境要因によって生じる転倒は,高齢者にとって重大な健康リスクであり,骨折や頭部外傷のみならず,心理的ダメージや社会的孤立を招く要因ともなる.本研究は,内的要因および外的要因の両側面から転倒の兆候を捉え,高精度な検出・予測を実現することを目的とし,2つのシステムを構築した. 第1章では,研究の背景として日本社会における高齢化の進行と,それに伴う転倒事故の深刻化について述べた.従来の閾値ベースの転倒検出手法では誤報率が高いという問題点があり,これを補う手段として機械学習や深層学習を活用する新しいアプローチが注目されていることを紹介した. 第2章では,転倒の内的要因に注目し,歩行開始時の足底圧力分布を用いた転倒傾向分類システムの構築を試みた.まず,アンケート調査によって転倒に関する自覚的・経験的情報を収集し,その結果に基づいて歩行者を「転倒しやすいタイプ」と「転倒しにくいタイプ」を分類した.次に,圧力分布センサマットを用いた歩行実験を行い,得られたデータをCNNモデル(AlexNet)に入力することで分類性能を検証した.実験の結果,被験者ごとの分類正解率は最大で92.3%に達し,転倒リスクの高い個体を高精度に識別できる可能性を示した. 第3章では,転倒の外的要因,特につまずき型転倒に焦点を当てた模擬転倒実験を行った.安全装置を備えた実験環境下で被験者の自然な転倒動作を誘発し,胸部および腹部に装着した2つの加速度センサから時系列データを取得した.これらのデータを用いてLSTMモデルを構築し,転倒,転倒類似動作,通常歩行の三分類を行った結果,二重センサモデルでは正解率 92.0%,F1スコア 85.6%を達成し,高い識別性能を示した. 第4章では本論文の主要な結果を要約した.
論文内容の要旨 (英文)	Recently, with the development of Information and Communication Technology (ICT), fall detection and prediction systems have become increasingly sophisticated. These systems are expected to improve the quality of life for elderly individuals and reduce the burden on caregivers in care settings. Falls, often caused by physiological decline or environmental factors, can lead not only to serious physical injuries such as fractures and head trauma, but also to psychological trauma and social isolation. This study aims to construct high-precision detection and prevention systems by analyzing both internal and external indicators of falls. In the first chapter, the background of the study is presented, including the rising trend of an aging population in Japan and the growing incidence of fall-related injuries. The limitations of traditional threshold-based detection methods are discussed, and the advantages of machine learning and deep learning approaches are introduced. In the second chapter, internal factors related to fall tendencies are analyzed. A foot pressure sensor mat is used to collect gait data at the start of walking. Based on questionnaire results, participants are classified into fall-prone and non-fall-

	prone groups. These data are processed using a convolutional neural network (CNN), and the proposed system demonstrates a subject-level classification accuracy of up to 92.3%, suggesting its effectiveness in identifying individuals at higher risk of falling. In the third chapter, external factors, particularly trip-induced falls, are addressed through a custom-designed fall simulation experiment. A fall-protection device ensures participant safety while allowing natural fall movements. Dual acceleration sensors placed on the chest and abdomen collect time-series motion data, which are classified using a Long Short-Term Memory (LSTM) model. The dual-sensor model achieves an accuracy of 92.0% and an F1-score of 85.6%, confirming the feasibility of the system. In the fourth chapter the main results of our research are summarized.
論文審査結果	本論文は高齢者を主な対象とし、その内的要因および外的要因の両側面から転倒の兆候を捉え、転倒の高精度な検出・予測を実現することを目的とした2つのシステムについてまとめたものである。本論文は第1章では序論、第2章では転倒属性分類システム、第3章では転倒兆候検知システム、最後に結論の4つの章で構成されている。 序論では、研究の背景として日本社会における高齢化の進行と、それに伴う転倒事故の深刻化について述べられた。さらに本研究の先行研究として、従来の閾値ベースの転倒検出手法では誤報率が高いという問題点があり、これを補う手段として機械学習や深層学習を活用する新しいアプローチが注目されていることが紹介された。 次章では転倒の内的要因識別を実現する転倒属性分類システムについて述べられた。このシステムは被験者を「転倒しやすいタイプ」と「転倒しにくいタイプ」の2種類の転倒属性に分類することを目的としたものである。本システムでは圧力分布センサを用いて歩行データを取得し、得られたデータを画像データに変換し、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の1つである AlexNet に入力することで転倒属性を分類・識別するものである。実験の結果から、被験者ごとの分類精度は最大で 92.3%に達することが明らかになり、既存研究ではアンケート結果から主観的に判断していた転倒リスクの高い個人を高精度に識別できることが示された。 第3章では転倒の兆候検出に関するシステムについて述べられた。このシステムは転倒の外的要因を分類・識別することを目的としており、本論文では特につまずき型転倒に焦点を当て、模擬転倒実験を行った。本研究では被験者の胸部と腹部の2箇所に取り付けられた加速度センサ (TSND151) から得られる加速度および角速度の時系列データと、時系列データの解析に特化した深層学習モデルであり、リカレントニューラルネットワーク (RNN) の一種である LSTM (Long Short-Term Memory) を用いたシステムを開発した。転倒と3種類の転倒類似動作 (着座: 座位、就床: 臥位、前屈) および通常歩行についての識別実験を行った結果、Accuracy 92.0%、F1 スコア 85.6%を達成することが判り、転倒の兆候、つまり転倒へ繋がる身体状態や行動を高い精度で識別できることが明らかにされた。 結論として、本研究により工学的な観点から転倒に関する内的要因と外的要因の両側面を分析できるようになり、転倒を原因とした外傷を軽減する転倒検知および転倒防止システムの基礎的システムの一端が実現できたことが示された。また、今後は本研究を通じて、さらなる福祉工学分野、特に本論文で目指した高齢者福祉に資するより実用的なシステムへの進化や派生研究が期待できる。 本研究の成果は、氏の博士後期課程在学期間において学術論文1編 (第一著者1編)、国際会議2編 (第一著者2編) となっている。 学位論文審査において公聴会を実施し、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが確認された。

	以上の結果から、学位論文審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。
主な研究業績	参考論文 1 編 1 冊 査読付き学術論文 1 “A Study on Detection Method of Falling Symptoms: Fall-prone Classification by Analyzing the Steps of Starting to Walk Using a Pressure Distribution Sensor Mat ”, 日本福祉工学会誌, Vol.25, No.1, pp.29-34 (2023) Authors: Jin ZHANG, Takuya TAJIMA, Takehiko ABE 国際会議 2 編 1 Jin ZHANG, Takuya TAJIMA, Takehiko ABE: “A Study on Detection Method of Falling Symptoms: Fall Prediction in the Behavioral Patterns of Elderly People by LSTM Using Accelerometers” , 2023 Asian Conference of Management Science and Applications, NO.16, 沖縄, 2023 年 12 月. 2 Jin ZHANG, Takuya TAJIMA, Takehiko ABE: “A Study on Detection Methods of Fall Symptoms: Injury Prevention System for Falls with Fall Prediction Using Accelerometers and LSTM and False Alarm Reduction via EEG Detection” , International Conference on Innovations in Engineering and Social Science (ICIESS) 2024, NO.130, 福岡, 2024 年 10 月.