

主論文の要約

論文題目 患者の転倒転落リスク低減を目的とした自律移動ロボットのための深層学習器を用いた知的処理に関する研究
(A study on intelligent processing of autonomous mobile robots using deep learning for reducing patients' fall risks)

氏名 難波 孝彰

論文内容の要約

本研究では、医療の質・患者安全の向上に資するべく、とくに病院内で患者の転倒転落リスクを低減することを目的として、深層学習技術とロボット技術を医療現場で社会実装を果たすための基礎的な検討を行い、医療スタッフを支援するための見守り支援システムについて論ずる。具体的に病院内での転倒転落リスクの高い患者に関する一次スクリーニングを含む深層学習を用いた転倒転落リスクアセスメント方法、および深層強化学習を用いた転倒転落リスク低減方策の提示を自動的かつリアルタイムに行う知的処理を提案・開発した。

本論文は、以下の6章で構成される。第1章は、社会的背景として高齢者の転倒転落事故の傾向調査を行い、統計的な分析も含めて従来は確率的には十分考慮されていなかった転倒転落事故の発生確率の高い場所に関して考察した。また、本研究の学術的背景として、従来用いられてきた安全技術手法、および技術水準を明確にするとともに、それらの問題点について述べた。さらに、研究目的が病院内の患者の転倒転落事故の削減、および医療スタッフの負担の軽減であることを述べた。次に、取り組み方針として3つのステップによるアプローチについて述べた。これらのアプローチを実現するために必要となる課題を明らかにし、解決策として「深層学習を用いた病院内の患者の転倒転落リスクアセスメント自動化方法」「深層強化学習を用いた病院内の患者の転倒転落リスク低減方策決定支援方法」という2つの技術要件に取り組むことを述べた。そして、それぞれの要件に対して、

必要となる機能と理由を述べ、最後に本研究の優位性に言及した。

第 2 章では、転倒転落リスクアセスメントについて、外来・入院時に転倒転落ハイリスク患者をその外観から簡易に抽出する一次スクリーニングと、病院内に滞在中の患者とその周辺環境のリスクアセスメントに対して、それぞれに深層学習を用いてカテゴリと対応づけたリスク要因とそのトリガを検出し、リスク・スコアのプラス／マイナスを算出して総合的にリスクを評価、レベル分けすることで、自動化とリアルタイム化を実現する方法について検討を行い、提案した。

第 3 章では、転倒転落リスクアセスメントについて、第 2 章で述べたリアルタイム・ハイリスク患者一次スクリーニング自動化方法と、リアルタイム・リスクアセスメント自動化方法に対して、評価した結果・考察について述べ、結言を行った。まず、16,000 件の医療安全用データセットを作成し、人工知能を訓練・テストした学習モデルを生成した、そして従来医療スタッフにより行われている目視、ヒアリング、手作業でのアセスメント・チェックシートを用いたハイリスク患者一次スクリーニングおよびリスクアセスメントに対して提案する方法の、時間効率的、網羅的、および検出精度的に、優位性を確認し、医療スタッフへの支援の実現可能性を示した。また、多忙でありながら、それぞれの担当の場所で役割を果たさなければならない医療現場では実施することが困難な、多職種連携のリスクアセスメントによる認識・判断を可能にし、現場のエキスパートであるベテラン医療スタッフでも発見しにくい補助具の使用法の誤りなどのリスクを抽出できることを示した。

第 4 章では、転倒転落リスク低減方策決定支援について、深層強化学習を用いて医療スタッフに最適化行動として推奨する介入方法を提示する技術を検討、提案した。そこでは、深層強化学習のための準備として、様々なシーン・シナリオの設定が可能なシミュレーション環境を構築し、スケール変換された環境にも対応できるような学習カリキュラムを構築した。また、目的および適用対象ごとにノウハウがあり一般的には開示されないことが多い状態・行動・報酬定義の事例も示し、工学的に再現可能なものとした。さらに、従来は深層強化学習を行う際、人がその値を決めることで設計者の経験および能力に依存していた報酬定義を深層逆強化学習により自動化する方法を検討、提案した。

第 5 章では、第 4 章で述べた自動リアルタイム転倒転落リスク低減方策決定支援方法に対して、評価した結果・考察・結言について述べた。そこでは、第 2 章、第 3 章に記載した自動リアルタイム・リスクアセスメントの結果を入力の一部として用いた。また、医療スタッフを支援するエージェントとみなす自律移動ロボットが、患者の状態、その周辺環境、およびエージェント自身の状態を環境と見なして、医療現場のエキスパートであるベテラン医療スタッフの行動の背景にある戦略をニューラルネットワークで近似した報酬関数を用いて推定、報酬定義を自動化することで、適用効果として、事前に知識を与えていない「てこの原理の利活用」の発見など戦略を獲得しつつ、最適な方策としての推奨介入方法を決定でき、これらを通してベテラン医療スタッフの行動理解にもつながることをシ

ミュレーションで確認した。さらに、実際のベテラン医療スタッフの患者に対する動作とシミュレーション結果を比較、その違いの発見と原因に関する考察も行うことで、その適用限界と今後の展望について述べた。

第6章は、結論として、第2章、第3章に記載した自動リアルタイム転倒転落リスクアセスメント方法と第4章、第5章に記載した自動リアルタイム転倒転落リスク低減方策決定支援方法により構成される **End-to-End**（ここでは、両端を結ぶ経路全体という意味）での患者の見守り支援システムについて述べた。

本論文に記載する深層学習を用いた自動リアルタイム転倒転落リスクアセスメント、および深層強化学習を用いた自動リアルタイム転倒転落リスク低減方策自動決定方法は、医療安全分野では世界的にも未だほとんど例がなく、筆者らが先駆的に取り組んだものである。本論文の貢献は、病院における患者の転倒転落リスクの高さを事例から学習して、医療スタッフへ現在の状態に応じた情報提供をする見守り支援システムを作り、その有効性を確認した点にある。