

長寿医療研究開発費 2024年度 総括研究報告

高齢者の質の高い生活を実現するためのロボット・ICT 開発研究（24－3）

主任研究者 近藤和泉 国立長寿医療研究センター

健康長寿支援ロボットセンター（センター長）

研究要旨

高齢化社会の中で、高齢者は様々な生活上の問題に直面している。その中で、重要な課題は、1)労働人口の都市集中に伴う地域の介護力の低下、2)総労働人口の減少と要介護人口の増大に伴う介護労働力の不足、3)独居が困難となり住み慣れた場所から離れることによる精神・認知機能の低下、4)家庭および社会でのストレスに伴うBPSDの発来とその結果として起こる認知機能低下、5)活動量と栄養摂取の低下によって引き起こされるフレイルなどであり、これらの課題を解決し、さらにその上に質の高い生活を構築するためには、高齢者を支えるロボット・ICT技術の開発が必要である。

これらの課題に取り組むためにロボットセンターでは、1)在宅での使用を見据えた介護ロボットの開発、2)高齢者の独居を支えるための見守りシステムと、特に必要度が高いトイレへの移動支援ロボットの開発、3)高齢者のライフログ取得のための非接触センサーとその情報処理のためのAIの開発、4)社会的なストレスの軽減と認知機能維持のための傾聴ロボットの開発とロボットの音声認識能力の不足に対する基礎的技術の開発、5)ロボットを使った高齢者のバランス能力の改善を通じた転倒とフレイル予防、6)バランス訓練ロボットのロコモフレイルセンターおよび慢性期心不全リハビリテーションへの導入、7)ロボットが人体に接触することによって起こる組織損傷および不快な感覚刺激の低減化へ取組などを行ってきた。さらに外部研究機関と協力して、杖ロボット、移動訓練ロボットの開発と安全性を考慮した移動支援ロボットの開発にも取り組んで来ている。

今後は、これらの開発研究のさらなる発展と介護ロボットと介護を支援するICT技術における課題の解決に取り組んでいくために、以下のようなトピックを設定し、新たな開発研究を行う所存である。

ただしこれらの課題を研発費のみで、実施するのは困難なので、外部研究費を積極的に導入し、全体のスムーズな進行に努める。

主任研究者

近藤 和泉 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター（センター長）

分担研究者

加藤 健治 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
ロボット臨床評価研究室（室長）

大高 恵莉 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
健康長寿テクノロジー応用研究室（室長）

大沢 愛子 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
認知症支援・ロボット応用研究室（室長）

尾崎 健一 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
介護ロボット応用研究室（室長）

塚原 淳 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
生活支援ロボット・人工知能開発研究室（室長）

高野 映子 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
生活支援ロボット・人工知能開発研究室(研究員)

吉見 立也 国立長寿医療研究センター 健康長寿支援ロボットセンター
ロボット臨床評価研究室（研究員）

大高 洋平 藤田医科大学（教授）

福田 敏男 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学（客員教授）

長谷川泰久 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学（教授）

根本 哲也 国立大学法人山梨大学山梨大学（特任教授）

A. 研究目的

本研究の目的は

- 1) センシング技術を組合せ、日常生活活動を定量化するシステムの構築
- 2) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発
- 3) スマートベッドシステムを用いた病院入院患者の離床・転倒解析
- 4) 高齢者の情報格差（デジタルデバイド）の実態調査とICTデバイスの適用
- 5) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発
- 6) 音声視線情報からの介護の質の分析
- 7) 杖ロボットを代表とする移動支援ロボットの開発とそれを使用した高齢者の生活圏拡大効果の検討
- 8) ロボットと人体の接触面に介在し、組織損傷性と不快な感覚の発来を低減化する素材の開発
- 9) 介護作業の負担軽減と効率化の評価のためのAIを使った動線解析技術の開発

これらは、未曾有の高齢化にさらされている日本の社会ではいずれも必要性の高い課

題であり、その進捗はそのまま、高齢者に対するロボット・ICTの適用の発展につながる。また独創的な発想に伴って設定された課題であることもある、先行的な研究は非常に少ない。

B. 研究方法

1) センシング技術を組合せ、日常生活活動を定量化するシステムの構築では、訪問系または通所系サービスを利用中の高齢者に対してセンシング技術を短期間試用し、運動強度や行動範囲等の情報を取得して、実践的かつ十分量の情報を取得可能な機器設定および現場で継続可能な運用フローを確立する。2) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発では、高齢者の脚運動を支援するソフトアシストスーツの開発とアシスト効果の検証では、筋収縮メカニズムを模範としたインフレータブルアクチュエータと弾性素材の無動力アクチュエータを組み合わせた着用型ソフトアシストスーツを開発する。3) スマートベッドシステムを用いた病院入院患者の離床・転倒解析研究は、転倒転落インシデントレポートとスマートベッドシステムの離床ログを照らし合わせ、離床センサーの反応の有無、離床センサーのセッティングの妥当性を検証する。4) 高齢者の情報格差（デジタルデバイド）の実態調査とICTデバイスの適用では、対象者に生活リズムに関するインタビュー調査を実施し、その内容をもとに個別に対話コンテンツをカスタマイズする。5) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発では、高齢者の社会活動促進のため小児ガンなど無菌室から出られない児童が、ロボットを用いて無菌室の外へ仮想散歩を行うロボットの操作インタフェースを、高齢者向けに、操作補助機能や自動帰還機能などを加える。6) 音声視線情報からの介護の質の分析では、介護場面（移乗、食事、着替え、歩行介助等）における熟練介護士の視線を取得し、まずは非熟練者との比較を行う。7) 杖ロボットを代表とする移動支援ロボットの開発とそれを使用した高齢者の生活圏拡大効果の検討では、インテリジェントケインを、廊下での歩行に対応できるように同伴アルゴリズムを変更を試みる。8) ロボットと人体の接触面に介在し、組織損傷性と不快な感覚の発生を低減化する素材の開発は、MBDを用いて、想定される作業によって生じる姿勢変化を求め、許容量を閾値とした接触可否判定を行うとともに、把持形態の調査を行い接触面の影響について検討する。接触面の皮膚表面変形はトラス構造計算（有限要素解析：FEM）に開発済みの数値モデルを組み込んだものを用いる。9) 介護作業の負担軽減と効率化の評価のためのAIを使った動線解析技術の開発では慣性センサを用いてユーザーの動きの意図を推定することで、ジョイスティックを使用せずに行うWHILLの制御を試みる。

(倫理面への配慮)

本研究を実施するにあたっては、国立研究開発法人国立長寿医療研究センターに設置されている倫理・利益相反委員会の承認を得た上で、「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」を遵守し、研究の内容や参加を拒否しても不利益にならないことなどを説明してインフォームドコンセントをとった上で実施する。データの取り扱いおよび管理に当たっても、研究対象者の不利益にならないような配慮を行う。

個人情報の保護についての対策と措置

計測によって得られたデータおよび個人情報は、連結可能匿名化を行い、キーファイルとデータファイルは別々の鍵のかかる保管庫に収納する。また、データ保存時には暗号化を行い個人情報の保護に努める。

本研究の計画内では、実験動物を使った研究は行わない。

C. 研究結果

1) センシング技術を組合せ日常生活活動を定量化するシステムの構築 大高恵莉

- ・ウェアラブルデバイスを用いた在宅要介護者における life-space 評価
および介入効果の定量化

当センター訪問リハビリテーション利用者 36 名（平均年齢 77.3 ± 10.4 歳、男性 13 名、女性 23 名）を対象に、1 週間のウェアラブルウォッチの装着を依頼した。要介護度の内訳は、要支援 1 が 1 名 (2.8%)、要支援 2 が 14 名 (38.9%)、要介護 1 が 7 名 (19.4%)、要介護 2 が 11 名 (30.6%)、要介護 3 が 1 名 (2.8%)、要介護 4 が 1 名 (2.8%)、要介護 5 が 1 名 (2.8%) であった。ウェアラブルウォッチから算出された外出回数と外出総時間、life-space の可視化を行い、予備解析の結果、高層建築物周辺などで GPS シグナルのノイズが見られる事例もあったが、多くの事例において手書き記録よりも GPS データの方が、記載から漏れている短時間の外出や外出時間をより正確に反映していた。

- ・マーカースモーションキャプチャ技術を活用した在宅要介護者の歩容の縦断的評価
および要介護度との関連検討

介護施設において、OpenCap システムを用いた 1 年間の経時的歩行計測を実施した。2025 年 3 月までに収集されたデータは 122 名（男性 45 名、女性 77 名、平均年齢 76.8 ± 8.2 歳）であり、要介護度の内訳は要支援 1 が 31 名 (25.4%)、要支援 2 が 28 名 (23.0%)、要介護 1 が 39 名 (32.0%)、要介護 2 が 10 名 (8.2%)、要介護 3 が 1 名 (0.8%)、要介護 4 が 3 名 (2.5%) であった。歩行評価の解析機能の拡充により、歩行速度や歩幅といった基本指標に加え、歩行周期変動や左右非対称性といった定量化された歩容パラメータが定期的 (3 ヶ月毎) に取得された。

2) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発 塚原 淳

- ・超柔軟収縮構造により膝関節動作を支援するソフトアシストスーツの開発

IfA（インフレータブルアクチュエータ）の下腿用サポーターに関しては、従来のウェアでは、IfA の収縮に伴って従来用の膝下固定バンドが上方にずれ、収縮力が十分に伝達されないという課題があった。今回、この問題に対処するため、下腿の形状を利用して上方の引張力に抵抗可能な設計の下腿用サポーターを採用した。さらに、ワイヤの長さを調節可能なダイヤル機構をサポーターに装着し、着用者の身体寸法に応じた収縮力の最適な伝達が可能となっている。膝サポータは、IfA からの収縮力を膝関節中心に適切に誘導するとともに、ワイヤによる膝部への局所的な圧迫力を軽減する構造とした。IfA は、各構成要素とスナップボタンで接続できる設計となっており、着脱性の簡便性にも配慮した。

・筋の収縮特性を規範としたソフトアクチュエータの開発

これまでに本研究で開発した IfA のアクチュエータの最大の特徴は、筋の収縮特性を模倣しつつ、アクチュエータ部を自在に変形・配置な超柔軟収縮構造を有する点である。一方で、アシストスーツとして実用化するためには、最大収縮力の向上が重要な課題として残されている。そこで、IfA の積層構造化および空気圧供給源としてポンプの追加を行い、IfA の積層構造化による収縮力向上に関する検証、ならびに筋活動に基づいて IfA の内圧を制御するための検証実験を実施した。実験の結果、従来型 IfA と比較して積層型 IfA の収縮力に、大幅な増加を確認することができた。さらに、今回新たに導入した積層型 IfA においても従来 IfA と同様、筋活動の変化量に応じて IfA の内圧を適切に制御可能であることを確認した。

3) スマートベッドシステムを用いた病院入院患者の離床・転倒解析

尾崎健一・大高洋平

Smart Bed SystemTM の離床ログ抽出データの検討を行い、一定期間(2023 年 10 月の 1 か月間)の転倒者の転倒日時と離床センサーログを組み合わせることで、転倒と離床通知の関係の可視化を試み、その結果、1 か月間に 248 患者に離床センサーを利用しており、転倒件数は 44 件であった。総通知数 46,287 件、患者 1 例あたりの通知数 17.8 件/日で転倒群・非転倒群で差を認めなかった。当センターで行っている TN 分類別の検討では、T 症例(認知機能が悪くない)では夜間通知が少なく、N 症例(認知機能低下)では日中夜間問わずに離床している傾向が明らかとなった。

さらに委託企業による長期間(2023 年 10 月から 2024 年 9 月の 1 年間)の転倒転落インシデントレポートと離床センサーログ解析を行い、転倒時間と行動意図を確認すると、転倒時間は満遍なく分布し、行動意図は排泄および不明(内、多くの割合で排泄と推測される)のものが多かった。

転倒者を患者特性に応じてクラスタ分けでは、認知身体機能低下・介護依存型(クラスタ 0)、自立志向型(クラスタ 1)、認知症・徘徊型(クラスタ 2)の 3 タイプが抽出された。病棟毎に分布を確認すると、内科系およびリハビリ病棟で自立志向型が多く、もの忘れ病棟で認知症・徘徊型が多い傾向であった。

4) 高齢者の情報格差（デジタルデバйд）の実態調査とICTデバイスの適用 高野映子

65 歳以上の地域在住高齢者 72 名（平均年齢 76.3 ± 5.9 歳、範囲 64～89 歳）が参加し、2024 年 11 月に東海市（n=35）および知多市（n=37）の保健福祉センターにて調査を実施した。

Technology Acceptance Model（TAM）に基づく 10 項目の質問紙の分析結果から、全体として「知覚された有用性」「知覚された使いやすさ」「使用意図」「利用態度」の各項目において中央値が「3（そう思う）」に集中し、対話型 AI に対しておおむね肯定的な評価が示された。特に、Q9（今後も使用したい）および Q10（他者に勧めたい）における継続利用意向および推奨意向が高く、今後の普及可能性が示唆された。一方、Q6（利用負担）では一部の参加者が負担感を示しており、操作性や導入時のサポート体制の重要性が浮き彫りとなった。また、Q3（効率性）に関しては男女間で評価にばらつきが見られ、男性の一部において効率性の認知が低い傾向が示された。

さらに日本語版 User Experience Questionnaire（UEQ）の結果に基づき、6 つの評価項目（見栄え、明快さ、効率、信頼性、刺激、ノベルティ）に関して平均スコアを算出し、公式ベンチマークと比較した。その結果、「楽しさ（刺激）」や「見た目の魅力（見栄え）」においては平均以上のスコアが得られた一方で、「効率」「信頼性」「明快さ」「ノベルティ」は低評価となり、操作応答のタイミングや直感的な UI 設計に改善の余地があることが示唆された。これらの結果から高齢者にとって本対話型 AI は一定の受容性を有しつつも、効率性や信頼性に対する期待には部分的に応えきれていない点が明らかとなった。

5) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発 長谷川泰久

- ・大規模言語モデル（Large Language Model: LLM）を用いた家事代行ロボット

複数の対象に対して、「置く・積む」、「開ける」、「テーブルの上を掃除する」、「リンゴを温める」、「リンゴを焼く」というロングホライズンタスクを与え、成功率、実行可能性、実現可能性を評価する実験を 25 回行った。HRC (Human-Robot Collaboration) の有無による同一タスクの作業全体の成功率が 82.5%であり、また、遠隔操作による動作教示(HRC)を行うことで、電子オープンや棚の扉を開ける動作が約 90%の成功率にて実現した。

- ・トイレ更衣支援ロボット

下衣操作アームの仕様を検討後、①グリッパーの上下移動速度:0.3m/s、②グリッパーの上下移動量:450mm、③グリッパーの発生力（上下方向）:40N、④グリッパーの服への押し付け力:10N、⑤歩行時にアームが使用者の脚と干渉しないこと(歩行時には外側へグリッパーが 3cm 移動)、⑥下衣の把持点はウエストゴムの直下、⑦ロボスネイルに取り付け可能なことを仕様として試作し、ロボスネイル(リョーエイ（株）製)へ搭載した。今後、衣服操作能力をリビングラボにて評価検証を行う予定としている。

- ・高齢者の社会活動促進

VPN による遠隔操作システム(VPN)と理想的な通信環境であるローカル環境(Local)での遠隔操作システムと比較した。映像の遅延については、VPN の条件では 1 秒以上かつ

通信遅延の幅が 1 秒以上 10 秒未満と非常に大きくばらついているのに対し、提案システムでは 0.5 秒以下の通信遅延となっており、遅延の幅も 0.2 秒以上 0.5 秒未満と非常に小さくなった。指令値の通信遅延については VPN の方が提案システムよりも通信遅延が小さくなったが、提案システムの指令値の通信遅延は 0.3 秒以上 0.5 秒未満となっているため、映像と指令値の通信遅延を合わせて考えると 1 秒以上の通信遅延の改善が確認された。操作性の評価については評価タスクとしてペットボトルを **Target1** に 20 秒以内に置くタスク(タスク 1)と、**Target2** に可能な限り速く置くタスク(タスク 2)を準備し、タスク 1 では **Target1** にどのくらい正確に置けているかの操作精度を、タスク 2 では置くためにかかったタスク完了時間を評価した。その結果、操作精度は VPN の条件より提案システムの方が大幅な向上し、タスク完了時間は、有意差は認められないものの、VPN の条件より提案システムの方がタスク完了時間の減少を確認した。このように提案システムではモバイルデータ通信に遠隔操作において、従来システムである VPN より低遅延かつ安定した遠隔操作が実現され、モバイルデータ通信での遠隔操作が可能であることを確認した。

6) 介護作業の負担軽減と効率化の評価のためのAIを使った動線解析技術の開発

加藤健治・吉見立也

音声視線情報について、健康状態と声の紐づけについて音声内の特定の周波数と震えについて解析中であり、これをデータベース化する方法を探っている。リハビリテーション科部と協力し、MCI および AD 者のリハビリテーション実施中の表情分析および主観的な評価についての論文を投稿した。トイレ移動支援ロボットについてのユーザビリティ調査を行った結果、同機器の使用に伴う転倒不安は一部健常高齢者については軽減されることがわかったが、通樹の歩行器の方が軽く使いやすいという意見も多かった。AI を使った動線解析技術の開発について、非接触センサーと小型のウェアラブルセンサーを併用し、総合的な活動量や生活活動、ADL 動作の有無を判定するシステムとして開発を行ってきた。数例の解析から、睡眠や生活リズムの特徴を抽出し健康状態を推定できる可能性が示唆された。日常生活活動を定量化するシステムの構築として、独居の高齢者に対してセンシング技術、および GPS 計測を適用し、活動を抽出した。この方法において、生活全般における活動状態を記録するトータルシステムを今後、提案する予定としている。

7) 杖ロボットを代表とする移動支援ロボットの開発とそれを使用した高齢者の生活圏拡大効果の検討 福田敏夫

CPS(Cyber Physical System)における VR 環境の構築に向けた基礎検証として、1 人称視点のシューティングゲーム (FPS) を題材とし、現実空間での使用者の動作 (上腕動作および屈伸動作) およびバイオメトリック情報 (脈拍数) を VR 空間に送信し、それに基づいて VR 空間内のアバターを制御するゲームシステムのプロトタイプを構築した。上腕の動きで弾を発射し、屈伸動作によって弾を再装填、さらにスマートデバイスから取得した心拍数に応じて弾の速度が変化する仕組みを実装した。現実空間における体動や心

拍数と、VR 空間におけるアバター動作との相互作用については、官能評価を用いて検証を行い、現在はその評価結果に基づき、より違和感の少ない VR・Real 空間の構築を目指し、ゲームシステムの改良を進めている。

CPS におけるバイオメトリック情報を用いた自己効力感向上の基礎検証としては、運動中に AI システムから提示される計算課題やしりとり、運動などのタスクを行い、心拍数の可視化や目標値への誘導、さらに心拍変動 (HRV) の安定化を図る AI プロトタイプを構築している。計算課題は論理的思考を要する内容であり、運動中の集中力を高めるとともに、心拍数および自律神経バランスの安定化を通じて自己効力感の維持・向上が期待される。本プロトタイプでは、2 桁の加減算を行い、正解・不正解に応じて解答時間を増減させることで、心拍数や自律神経バランスの変化を検証した。その結果、計算タスクの実施中に脈拍数が上昇し、自律神経の活動バランスにおいて交感神経の活性が優位になる傾向が確認された。さらに、脈拍数計測機能と負荷調節用のブレーキ機構を統合した歩行支援デバイスを用い、歩行中の脈拍数の変化から推定される運動強度に応じてブレーキをリアルタイムで自動調節するシステムを構築し、所望の運動強度 (有酸素運動状態: 40 ~ 60%) に誘導できることを確認した。また、バイオメトリック情報と身体データの CPS 連携を目的として、Web カメラとサイバー空間を活用し、仮想的な通路内において手首をマーカーとし、壁に接触しないように通路を進むゲームシステムを開発した。この取り組みにより、フィジカル空間における身体動作をサイバー空間に反映するプロトタイプシステムを構築できており、これに心拍数などのバイオメトリック情報を連動させた CPS による自己効力感評価システムの開発を進めている。

8) ロボットと人体の接触面に介在し、組織損傷性と不快な感覚の発来を低減化する素材の開発 根本哲也

- ・剛体モデルによる解析パラメータの作成および転落姿勢・転倒時の段差の高さによる頭部受傷値への影響調査

500[mm], 800[mm], 1100[mm]から落下させたときの加速度波形では、試験と解析で同様のパルスを計測することができた。実験値と解析値の相対誤差は、落下高さ 500[mm]の場合、衝撃加速度は 10.3%, HIC は 0.0073%, 落下高さ 800[mm]の場合、衝撃加速度は 4.1%, HIC は 0.24%, 落下高さ 1100[mm]の場合、衝撃加速度は 1.8%, HIC は 4.8%であった。

- ・外力が接触部に負荷されたことによる皮膚粘弾性特性評価への影響調査

全体として加圧による粘弾性特性が変化する傾向は見られず、年齢に関係なく測定前の 20kPa 程度の圧迫では粘弾性特性の測定に影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかし加圧前後で測定値が 20%程度増加している被験者もあり、加圧による粘弾性特性の変化は個人差があった。個人ごとに加圧に対する抵抗が異なると考えられ、褥瘡のような外力による創傷への抵抗が弱い人はより加圧の影響を受けやすいことが示唆された。

D. 考察と結論

1) センシング技術を組合せ日常生活活動を定量化するシステムの構築 大高恵莉

- ・ウェアラブルデバイスを用いた在宅要介護者における life-space 評価
および介入効果の定量化

予備解析の結果からは、アナログの記録方法では捉えられない外出行動をも検知している点において、recall bias を補完する客観的評価ツールとして有用と考えられる。今後は外出中の移動総距離や面積といった空間的指標を算出し、その臨床的有用性を検討するとともに、これらの life-space 評価に基づいたリハビリテーション介入によってその指標に改善がみられるかどうか検証を行っていく。マーカースレス技術を活用した歩容評価に関しては、通所介護サービスへの実装により、縦断的な歩行能力の変化を計測できている。今後はこれらの歩容パラメータと、要介護度の変化との関連を検討していく。

- ・マーカースレスモーションキャプチャ技術を活用した在宅要介護者の歩容の縦断的評価
および要介護度との関連検討

マーカースレス技術を活用した歩容評価に関しては、通所介護サービスへの実装により、縦断的な歩行能力の変化を計測できている。今後はこれらの歩容パラメータと、要介護度の変化との関連を検討していく。

このように活動の定量化システムを在宅医療・介護の現場に実装し、介入に活用していくことは、ひいては生活機能や活動量の向上に寄与し得ると期待されるため、引続き検証を進めていく予定である。

2) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発 塚原 淳

- ・超柔軟収縮構造により膝関節動作を支援するソフトアシストスーツの開発

下腿用サポーターには下腿形状を活かした設計とダイヤル式のワイヤ長調整機構を導入することで、収縮力の効率的な伝達と着用者への適合性を両立させた。また、膝サポーターにより収縮力の伝達経路を最適化するとともに、ワイヤによる局所的な圧迫を軽減し、装着快適性を向上させた。今後は、これらの構成要素が実際の動作支援中にどのように機能するかを定量的に評価し、長時間の使用における耐久性や装着感の変化についても検証していく必要がある。

- ・筋の収縮特性を規範としたソフトアクチュエータの開発

積層化によって構造的な特性が変化しても、IfA が本来有する生体信号との親和性や柔軟性を維持でき、今後のアクチュエータ応用展開において極めて有望である。積層型 IfA は、柔軟性や配置自由度を損なうことなく、収縮力の向上と生体信号に基づく制御の両立が可能であり、アシストスーツとしての実用性向上に貢献しうることが示唆された。

3) スマートベッドシステムを用いた病院入院患者の離床・転倒解析

尾崎健一・大高洋平

当センターでは、転倒転落ワーキンググループ(以下、WG)で毎月転倒事例の検証を行っているが、各転倒事例の対策の妥当性や教訓は生み出せても、患者特性を把握することは

困難であった。初期段階の手動解析において、転倒と離床の関係を可視化することで、転倒転落アセスメントの中で認知機能低下の有無で離床パターン(特に夜間離床)での違いが明らかとなった。今後は WG 内で転倒例における可視化された図を定期的に検証する仕組みを作成する予定である。大規模なデータを委託企業と解析も、現在進行途中ではある。当センターの転倒群のクラスタ分けでは、これまで明らかとなっていなかった病棟毎の転倒者の特性分類が可能となり、それぞれに対策することで転倒事象の減少につながる可能性がある。他の病院等でもクラスタ分け対策が一般化できるかは検証が必要である。現時点では眠りスキンのデータが有効活用できていない。これは当センターではもの忘れ病棟のみに実装されており、この病棟では徘徊等で Smart Bed SystemTM 対象外のところでの転倒が多いためであり、稟議書でスキャン移設を予定している。

4) 高齢者の情報格差(デジタルデバйд)の実態調査とICTデバイスの適用 高野映子

TAM および UEQ の量的評価においては全体的に肯定的な傾向が見られ、対話型 AI が高齢者の日常生活を支えるツールとして一定の可能性を有していることが示唆された。特に、「楽しさ」や「興味」、「継続利用意向」「他者への推奨意向」などの項目では高い評価が得られたことから、エンターテインメント性や感情的な価値の観点での受容性が高いことが明らかとなった。

一方で、「効率性」「明快さ」「信頼性」など操作性に関わる側面においては評価が相対的に低く、一部の参加者が操作負担や応答精度に課題を感じていることが示された。特に Q6 (使用に多くの努力が必要) への回答や UEQ ベンチマークでの効率性の位置づけは、UI 設計やガイド機能の見直しの必要性を示している。また、性別による評価差(特に効率性の評価において男性の方がばらつきが大きかった点)は、対象者の技術経験や利用文脈を考慮したペルソナ設計の必要性を示唆する。

以上の結果より、対話型シニア向け AI は高齢者にポジティブな感情を引き出す特性を有しており、孤独感の軽減や日常生活への関与を促す補助手段としての可能性が高い。一方で、今後の改良においては、効率性や操作負担への対応、信頼性向上を含む総合的な UI/UX 設計の見直しが不可欠である。

今後は、実使用環境下での実行可能性調査(Feasibility Study)や概念実証(Proof of Concept, PoC)を通じて、より個別化された対話内容の設計や生活支援機能の実装可能性を検討していく予定である。また、生活背景や心理的特性に応じたペルソナ設計を進めることで、多様な高齢者ニーズに対応した対話型 AI の社会実装を目指す。

5) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発 長谷川泰久

- ・大規模言語モデル(Large Language Model: LLM)を用いた家事代行ロボット

HRCの有無による同一タスクの作業全体の成功率が82.5%であり、また、遠隔操作による動作指示(HRC)を行うことで、電子オープンや棚の扉を開ける動作が約90%の成功率にて実現できたが、今後さらに成功率を向上できるように、開発を進めていく。

- ・トイレ更衣支援ロボット

現在、ロボスネイル搭載型の衣服操作アームには、①グripperが体の前後方向の移動ができないため、膝の伸張ができない患者の衣服を把持できない可能性があること、および②ズボンやパンツを履かせる際に、臀部で引っかかってしまい、履かせる動作を完了できないことなどの過大がある

①に対しては、膝が曲がっている患者にも使用することができるようにするため、グripperがパッシブに体の前後方向に移動できるような構造にすることを検討中である。また、②に対しては、従来通り左右の2つのグripperで把持した後、3Dプリントした(他の材質にする可能性もあり)爪を下衣と体の間に入れて広げることで、下衣を上げる際の摩擦を小さくし、臀部での引っかかりを解消することを検討している。爪の動きは2軸のDynamixelによって行う。爪の形に関しては実験を通して、今後最適化する予定である。

・高齢者の社会活動促進

提案システムである条件Proposalが理想的な遠隔操作である条件Localと比較して、操作精度や操作達成時間が悪化している。提案システムの操作性悪化の要因として、音声信号への指令値埋め込み手法による変換ノイズもしくはオンライン会議アプリケーション自体の通信遅延である700ms程度の通信遅延が考えられる。それらの要因の影響を特定するために、条件Localと条件Proposalに加えて、条件Localと同程度の遅延かつ音声によって指令値を送信した条件Audioと、音声信号は使用せず条件Proposalと同程度の遅延を付加した条件Delayの2つの条件を加えて同様のタスクの評価実験を再度行った。比較実験の結果、提案システムの音声への指令値の埋め込み手法によるノイズよりも、通信遅延の影響が大きいことが確認された。今後、通信技術の向上によりオンライン会議アプリケーション自体の通信遅延が軽減されれば、より提案システムの操作性が向上する可能性を示している。また、屋外での実証実験を行うと共に、残留した通信遅延への対応を行っていく予定である。

6) 介護作業の負担軽減と効率化の評価のためのAIを使った動線解析技術の開発

加藤健治・吉見立也

今回取得している音声情報については、高齢者だけでなく健常者に広げて健康状態と紐づけたデータベースを構築することにより、音声健康診断のできるシステムとして開発を行うことで、社会実装を進める。トイレ移動支援ロボットについて、引き続き開発の方向性として、使いやすく開発を進め、低価格化も推進することで、病院・施設等での複数台の運用についての実証を行っていく必要がある。非接触センサーと小型のウェアラブルセンサーにて、数例の解析から、睡眠や生活活動の特徴を抽出し健康状態を推定できる可能性が示唆された。このことより同センサセットによって、簡便に生活活動を類推できることが考えられる。今後、更にデータを取得し、AIを活用して生活活動の分類を行うことで、負担の有無等を検出できる。

上記システムに加え、複数の別システムにて、日常生活活動を定量化するシステムへの適用可能性を探っている。主に独居の高齢者に対してセンシング技術、およびGPS計測を適用して活動を抽出し、生活リズムとフレイリティとの関連に注目して解析を行う予定

である。本システムにおいても、生活全般における活動状態を記録するトータルシステムを提案する。

7) 杖ロボットを代表とする移動支援ロボットの開発とそれを使用した高齢者の生活圏拡大効果の検討 福田敏夫

自己効力感向上を支援する有効なシステムを確立するには、歩行者のバイオメトリック情報（脈拍数、自律神経バランスなど）および運動履歴に基づき、リアルタイムで適応する AI システムの構築が有効である。このようなシステムにより、同一の運動強度であっても疲労感の軽減やモチベーションの維持・向上が可能となり、リハビリテーションや高齢者の運動機能維持に貢献する新しいアプローチが提供できる。CPS の活用により、個々のユーザーに最適化された歩行プログラムを、バイオメトリック情報を用いてリアルタイムに調整し、歩行前後のデータから次回の歩行プランを自動的に提案するシステムの実現が期待される。これにより、歩行者の動作効率や安全性が向上し、日常生活での行動範囲の拡大にも寄与する。本研究の基礎として構築された VR-Real 空間における身体動作およびバイオメトリック情報の相互作用を反映するシステムは、今後の改良によってさらなる没入感を持つ訓練環境の提供を可能にし、歩行支援ロボットとの円滑な協働にも貢献する。加えて、歩行訓練以外のシナリオにも展開可能な自己効力感向上を支援する AI 技術の基盤が整備されつつある。マルチタスク処理や心拍数のフィードバックによる自己効力感維持のメカニズムを応用することで、リハビリテーション、フィットネストレーニング、さらには業務環境においても、効果的なモチベーション向上システムの開発に展開できる。

8) ロボットと人体の接触面に介在し、組織損傷性と不快な感覚の発生を低減化する素材の開発 根本哲也

- ・剛体モデルによる解析パラメータの作成および転落姿勢・転倒時の段差の高さによる頭部受傷値への影響調査

使用するダミーモデルは MADYMO のパッケージに含まれ、このモデルは実物の CRABI 12 モデルから各部位の条件などを設定された精度の高いダミーモデルである。接触条件は球体の落下シミュレーションで作成したパラメータを用いた。800[mm]の高さから 60[deg]傾けた姿勢で転落する場合のみにおいて HIC が 1 歳児の閾値となる 390 を上回っていた。一方で、角速度変化幅は 40[rad/s]を上回ると急性硬膜下血腫のような損傷が発生する可能性が高いといわれており、両方の落下高さにおいて角速度変化幅は 40[rad/s]を下回っていた。このことから、60[deg]傾けた姿勢で転落する場合を除き、頭蓋骨骨折や脳震盪、急性硬膜下血腫を発症する可能性が低いと考えられる。また、HIC が大きくなると角速度変化幅が小さくなるというように HIC と角速度変化幅は逆の変化を推移することも示された。これは HIC が低い場合において頭部よりも先に地面に肩や腕のような別の部位が衝突し、その影響で頭部が揺さぶられて角速度変化幅が大きくなったためであると考えられる。このことから転倒は身体挙動が大きく、落錘試験だけでは正確な頭

部受傷値が測定できないと考えられる。このため、身体的損傷を調査する際には身体挙動の考慮が重要であると示唆された。

・外力が接触部に負荷されたことによる皮膚粘弾性特性評価への影響調査

加圧後の時間経過により粘弾性が変化しなかったことから、皮膚の加圧による変化とその後のヒステリシスは認められなかった。高齢になると皮膚の性質が変化し、外力に影響されやすくなる可能性が示唆された。収縮期血圧や年齢と変化率の絶対値に関係がみられた原因として、使用した血圧計の最大圧迫圧力が収縮期血圧に依存する仕様のためであることと、収縮期血圧が高い高齢層群が圧迫の影響を受けやすいことの 2 つが考えられる。前者の原因が大きい場合は、より大きな圧力が加わった場合は粘弾性特性の測定に有意な影響を与える可能性が、後者の原因が大きい場合、より年齢が高い被験者では粘弾性特性の測定において、測定前の圧迫に有意な影響を受ける可能性が推定された。

以上、マルチボディダイナミクス (MBD) を用いて、姿勢変形が時系列的に外乱の介入のない転倒に注目してシミュレーションを行った結果、単純モデルによる実験からパラメータを計測し、そのパラメータを元にシミュレーションに至るまでの評価プロトコルを提案した。本結果では 2 種類の高さからの転落を初動とした転倒状態を再現したが、部位によって角速度の変化量が異なることが明らかとなった。また、接触時に付加される外力による皮膚の粘弾性特性の変化の影響についても検討を行った結果、加圧によって粘弾性特性が変化する傾向は見られず、年齢に関係なく測定前の 20kPa 程度の圧迫では粘弾性特性の測定に影響を及ぼさないが、収縮期血圧が高いほど加圧前後での変化率の絶対値が大きい傾向にあることがわかった。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Suzumura S, Takano E, Teranishi T, Ito K, Sakurai H, Kanada Y, Kondo I. Outcome measures for older adults in rehabilitation wards: a systematic review. F1000Research, 13,1120-1134.2024
- 2) Suzumura S, Kondo I. Differences in Finger Dexterity in Patients with Mild and Moderate Alzheimer's Disease ~ A Study of Cognitive Function by Severity Disease~. Brain and Behavior. 15: e70403 doi: <https://doi.org/10.1002/brb3.70403>

2. 学会発表

- 1) Kondo I. Wearable robot use neurorehabilitation in Japan. 12th Annual Conference for Indian Federation of Neurorehabilitation. Apr 13th, 2024. Tokyo

- 2) 相本啓太, 伊藤直樹, 加藤健治, 吉見立也, 近藤和泉. ロボット介護機器による起き上がり・移乗介助動作に対する効果. 第 32 回日本意識障害学会. 2024 年 7 月 26 日, 名古屋.
- 3) 近藤和泉. 病院から在宅へ—高齢者の転倒予防—. 日本転倒予防学会第 11 回学術集会 ランチョンセミナー2. 2024 年 11 月 24 日, 佐賀市.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし