

## 長寿医療研究開発費 2025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 加賀谷 斉 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行くために、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

加賀谷 斉 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  
健康長寿テクノロジー応用研究室（主任研究員）

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）

丸山 央峰 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学（准教授）

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) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発
- 5) 音声視線情報からの介護の質の分析
- 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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

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から、先行的研究は非常に少ない。

## B. 研究方法

1) 高齢者の脚運動を支援する着用型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、開発したソフトアシストスーツの有効性を評価するために、リハビリテーション科部と協力し、高齢者に対するアシスト性能の検証実験を行う。2) 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眠りスキンのログを用い、転倒事例における転倒時／非転倒時（センサーでキャッチされ転倒に至らなかった場合）の覚醒状況と離床センサーのセッティングを検証し、転倒に関連する睡眠・覚醒パターンを明らかにする。3) 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、対象者の生活リズムに合わせて個別に対話プログラムをカスタマイズした会話ロボットを使用し、介入前後で対象者の孤独感について比較検討する。4) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発では、ロボットハンドおよび高伸縮アームおよび移動台車を組み合わせ、高齢者の後ろをアームを搭載した移動台車が自動でトイレまで着いて行き、トイレにて衣服の操作支援を開発する。5) 音声視線情報からの介護の質の分析では、熟練介護士のデータについて、ある箇所（例えば被介護者の顔、あるいは腕）を注視している時間を取得し、どこに大きな違いがあるかを解析する。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では、インターフェイスを WHILL などに応用し、音楽にあわせた身体表現やダンスができる機会創出を目指す。7) 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、高齢者を対象に介入対象とすべき活動の種別（移動、排泄等）が同定できるか検証する。8) 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、ロボスネイル OVER のユーザビリティ調査にて問題点の指摘された部分を改良し、量産化への足がかりとする。9) 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、山梨県甲府・富士五湖地区の住民を対象に皮膚の材料強度測定を実施する。得られたデータから許容量を推定し、ロボット作業時の外力における皮膚への負荷状態を明らかにする。作業時の外力は、既知の抱きかかえ動作時の外力環境データを用いる。また、MBD モデルの製作も行う。

### （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) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発

IfA の配置の違いによって、大腿四頭筋の筋活動バランスおよび膝関節外旋角度に異なる変化が生じることが確認された。アシスト力の大きさが主な影響因子であった。

一方、大腿部固定点と下腿部固定点を内外側方向にずらし、アクチュエータを斜めに走行させた配置では、筋負担軽減効果と SHM 誘導効果に明確な差が認められた。特に、大腿部内側から下腿部外側へ走行させると大腿四頭筋の筋活性度低下が大きく、大腿部外側から下腿部内側へ走行させると膝関節外旋角度の増加量が大きかった。

また、解剖学的な筋走行に沿った配置では、外側広筋の走行に沿うと膝関節外旋角度の増加量が大きく、内側広筋の走行に沿うと端座位膝伸展動作において広筋群の筋活性度が大きく低下した。これらの結果から、IfA の配置は、筋負担軽減効果と SHM 誘導効果を変化させる重要な設計因子であり、目的とする支援効果や使用者の身体特性に応じて配置を調整することの有効性が示唆された。

### 2) 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

Smart Bed System™ の離床ログ抽出データの検討を行った。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。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。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では離床センサー対応下の総転倒患者数は 319 名で、総転倒件数は 526 件であった。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）が多かった。転倒者の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。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。回復期病棟における離床・転倒傾向の解析では、病棟 1 日あたり 225.7 件の離床通知があった。通知の種類は非転倒群で離床が多く、転倒群で起き上がりが多い結果となった。また、時間毎にヒストグラムを作成すると、夜間の離床および転倒がともに 28%程となることが明らかとなった。

### 3) 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

65 歳以上の地域在住高齢者 51 名が参加し、MDPQ-J 総得点の平均は  $24.3 \pm 8.4$  点（8-

38 点)であった。サブスケール別では、「モバイル機器の操作」が最も高く ( $4.0 \pm 0.9$  点)、「データとファイル操作」が最も低かった ( $2.2 \pm 1.4$  点)。在宅利用実態について、実利用日数は  $15.4 \pm 6.5$  日 (1-38 日)、1 日あたりの利用回数は  $2.4 \pm 2.6$  回 ( $0.2-12.5$  回)、1 セッションあたりのユーザー発話回数は  $22.3 \pm 29.6$  回 ( $0.4-167.4$  回)であった。1 回あたりの平均利用時間は 33 分 52 秒であり、最短 19 秒、最長 13 時間 15 分 05 秒であった。LAES 総得点は  $55.2 \pm 9.2$  点 (40-72 点)であった。デジタルリテラシー、利用実態、および主観的体験との関連を検討した結果、MDPQ-J 総得点と実利用日数、1 回あたりの利用時間、LAES 総得点との間には有意な相関は認められなかった。一方、実利用日数と 1 回あたりの利用時間との間には有意な正の相関が認められた。質的分析では、使用初期の印象・操作性、音声対話・アバターとの関わり、コンテンツ、見た目・デザイン・環境要因、全体的な満足度と改善点に関する発言が抽出された。タブレット画面の見やすさ、タッチ操作の分かりやすさ、体操・カラオケ・クイズの楽しさ、アバターの声や話し方の丁寧さは肯定的に評価された。一方、マイク操作、起動・通信の不安定さ、応答遅延、会話の噛み合いにくさ、曲数や体操内容の不足、世代に合ったコンテンツ拡充、進行制御機能、説明・サポート体制、データ保護に関する分かりやすい説明が改善点として挙げられた。

#### 4) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発

提案システムの有効性を検証するため、計算機性能試験および被験者 6 名による主観評価実験を実施した。計算機性能の評価において、システム全体の平均処理時間は約 7.8ms を記録し、没入型システムにおける知覚許容閾値である 27ms を大幅に下回るリアルタイム性を確認した。3D Gaussian Splatting (pixelSplat) に対して約 20 倍、Transformer ベースの手法に対しては約 386 倍の高速化に相当し、実時間操作における優位性が示された。次に、生成映像の品質を定量的に評価するため、LPIPS、SSIM、PSNR の各指標を用いた客観的画質評価を行った。提案手法は幾何学的なアプローチでありながら、膨大な計算コストを要する学習ベース手法と同等以上の知覚的類似度を確認した。被験者実験では、通信遅延を模した 200ms のシステム遅延下において、提案手法と補正を行わない従来条件 (Normal) の比較を行った。提案手法は深度判別タスクの応答時間を約 13%短縮させ、NASA-TLX を用いた精神的負荷の評価においてもワークロードを約 35%低減させた。これらの結果は、大きな遅延環境下においても提案システムが操作パフォーマンスを維持し、知覚的な課題を効果的に緩和できることを確認している。

評価実験では走査速度が 70 mm/s では検出率 87%、着衣支援の成功率は 80%と高い成功率を示した。検出が失敗した試行は、衣服と皮膚との境目が検出できず、アーム可動域の下限に到達した場合と、位置検出精度が低く把持位置が既定の領域を外れてしまった場合に分けられた。また、位置検出が発生した試行において、走査速度が高くなるにつれ検出高さが下方向へ分散し、検出精度が低くなっていることが確認された。

- 5) 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
- 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
- 7) 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

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、データベース化する方法を検討中である。ロボスネイル（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から、本機器の社会実装が重要であることがわかり、開発企業と検討中である。また、杖型ロボットの健常者における実証の結果、更に開発が必要であることがわかった。今後、高齢者にて評価が必要である。AI を使った動線解析技術の開発について、特許内容の論文を執筆中である。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 計測にて活動を抽出した結果、高齢者の生活範囲を同定することが可能となった。睡眠センサーと小型のウェアラブルセンサーから、ADL 動作を判定するシステムについては、健常高齢者 20 名、施設入居者 17 名からデータを取得し、解析中である。

- 8) 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

- ・移動支援ロボットとバイオフィードバック（脈拍数）を用いた運動強度誘導

本研究成果では、高齢者の歩行・足踏み運動を対象として、生理的内部負荷をリアルタイムに計測し、個人の応答特性に応じて運動強度を誘導するロボット・ICT 基盤を構築した。より汎用的な運動誘導アルゴリズムへ展開するため、ステッパ、胸部装着型心拍センサ、制御用 PC から成る Human-in-the-loop 型の足踏み運動強度誘導システムを構築した。ステッパは家庭や高齢者施設にも導入しやすい小型機器であり、リズム音に合わせた足踏み速度を操作量とすることで、トレッドミルやエルゴメータに比べて低コストかつ転倒リスクの小さい運動負荷提示が可能である。運動強度の目標値は、安静時心拍数と年齢推定最大心拍数を用いるカルボーネン法により設定した。ステップ運動時の心拍応答を二次遅れ+むだ時間モデルとして表現し、PRBS 信号を用いて個人ごとの定常ゲイン、速い時定数、遅い時定数、むだ時間を同定した。さらに、得られた個人パラメータから SIMC 則に基づいて PI ゲインを設計し、目標心拍数との偏差に応じて指令ピッチを調節する PI 制御系を構成した。これにより、単なる脈拍モニタリングに留まらず、個人の心拍ダイナミクスを考慮した説明可能な白箱型制御として、安全性を重視した運動誘導を実現した点が重要である。また、心拍数だけでは把握できない疲労や自律神経状態を評価するため、DFA  $\alpha 1$  をリアルタイム算出する機能も実装した。リアルタイム表示は運動状態の自覚を促す補助指標として有用であり、試験後解析では 5 秒更新の方が推移把握に適していることが示された。以上より、本成果は、歩行支援ロボットやロボスネイル OVER、市販歩行器、ステッパなどに展開可能な、個人適応型の運動強度誘導・リスク見守り基盤を構築したものと位置づけられる。

#### ・VR/AR-Real 空間での運動支援システムの改良

本研究開発項目では、高齢者の歩行や運動支援において VR/AR 技術を活用し、自己効力感と安全性を向上させるための現実空間連動型システムの開発と検証を進めている。モーショントラッキングに関しては、高齢者特有の関節可動域の制限を考慮し、正しいフォームで安全に運動が行えているかを検出することに重点を置いた。誤ったフォームは効果の低下や怪我のリスクにつながるため、正しい姿勢を維持できる支援が重要である。実証例として、手首位置をトラッキングし、迷路の入口から出口まで移動させる試作ゲームを開発した。ウェブカメラを用いて関節の動きを計測し、迷路接触回数や経過時間から運動精度を定量的に評価できる仕組みを導入した。また、脈拍数に応じて迷路の幅を変化させる設計により、興奮時には難易度が上昇し、落ち着いた状態では通過しやすくなるなど、臨場感を高める工夫を行った。このシステムはリストバンド型 PPG センサとウェブカメラで簡易に構築可能であり、基礎検証段階として有効に機能している。さらに、課題を段階的に難化させる仕組みや、迷路以外の運動課題（例：習字課題等の線描課題、スクワットにおける関節角度の正確性評価など）への応用も進めている。これにより、安全かつ効果的なトレーニングを実現し、高齢者の運動意欲と自己効力感を継続的に高めるシステムの開発を目指している。この技術を応用し、より直接的にリハビリテーションやフレイル予防に接続しやすいスクワット運動へ展開し、MediaPipe による骨格検出、心拍センサによる内部負荷評価、視覚・聴覚フィードバックを統合したトレーニング誘導システムとして発展させた。本年度は、カメラ画像から取得した骨格座標を体格差に応じて正規化し、フォームエラーを医学的リスクに応じて重み付け評価するとともに、平均心拍数を参照して次セットの負荷レベルを更新するアルゴリズムを構築した。VR/AR-Real 空間での訓練支援において、情報提示を単なる演出ではなく、安全制約付きの運動制御インタフェースとして機能させる点に意義がある。健常若年男性 5 名を対象とした基礎評価では、誘導なし条件でフォーム失敗率が高かった被験者において、誘導あり条件により失敗率が大きく低下した。以上より、本成果は、生体情報フィードバック、マーカーレス動作解析、ゲーム・VR/AR 提示を統合し、高齢者の運動支援における「安全性」と「継続性」を同時に扱う基盤技術を構築したものと位置づけられる。

#### 9) 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

歩行時、作業時、車椅子乗車時、臥床時における転倒・転落による床接触部位およびその事象数は臀部から床に接触する事例が大半を占めることが明らかとなった。この結果から、歩行による転倒では、臀部を損傷しやすいことが示唆された。一方、膝部が床接触部位となった事例では、前傾姿勢のままバランスを崩し、タンスに頭部を一次接触した後、床へ膝部から接触した。作業時に発生した転倒において、床接触部位は臀部が 8 件、膝部が 2 件、頭部が 2 件、腰部が 1 件（全 12 件）であり歩行時と同様の傾向が見られた。前

傾姿勢を伴う動作（靴紐を結ぶ、おむつの交換、衣服を整える）では、いずれも床接触部位は臀部であった。車椅子乗車時に発生した転倒において、床接触部位は臀部が 2 件、膝部が 1 件（全 3 件）であった。全事例において、タイヤロックが使用されていない様子が確認された。臥床時に発生した転落において、床接触部位は頭部が 4 件、肩部が 1 件（全 4 件）であった。また、歩行時および作業時において立位であった場合、床接触部位は臀部が 18 件、膝部が 2 件、腰部が 1 件であった。立位からの転倒では、頭部が床接触部位として確認された事例はなかった。

#### D. 考察と結論

##### 1) 脚運動を支援する着用型ソフトアシストスーツの開発

上下方向の固定点位置の違いは、筋負担軽減効果や SHM 誘導効果に大きく影響しないと考えられる。一方、アクチュエータの走行方向が重要な設計因子であることが示唆された。筋負担軽減効果と SHM 誘導効果にはトレードオフが存在すると考えられる。また、筋走行に沿った配置は、特定の筋群や膝関節回旋に選択的な影響を及ぼす可能性が示された。以上より、IfA の配置を使用者の身体特性や支援目的に応じて調整することは、筋負担軽減と SHM 誘導を両立する個別適応型支援の実現に有効であると考えられる。

##### 2) 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

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。転倒群のクラスタ分けにより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。回復期病棟での通知設定において、非転倒群で離床設定が多く、転倒群で起き上がり設定が多いという結果は、病棟で転びそうな患者を TN 分類で抽出できていることが原因と考えられた。しかし、通知総数は 200 件/日を超えており、病棟業務負担軽減のためにより適切な通知設定のアルゴリズム作成が必要と考えられる。

##### 3) 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

デジタル習熟度は、継続利用、1 回あたりの利用時間、主観的体験と明確な関連を示さず、MDPQ-J 高低群においても利用実態および主観的体験に差は認められなかった。この結果は、本サービスが、従来の画面操作や文字入力に依存するデジタル機器と比較して、デジタル習熟度の差に大きく左右されず、在宅高齢者に受容されうる可能性を示している。一方、実利用日数と 1 回あたりの利用時間に正の関連が認められたことから、単に利用を開始できるだけでなく、継続的に利用したくなる体験設計が重要であると考えられる。質

的分析では、体操やカラオケなどのコンテンツ、アバターとの会話、褒めや共感的反応が、自宅での活動や情緒的支援に寄与しうることが示された。特に、朝の体操が生活リズムになる、テレビ視聴時間が減る、返却時に寂しさを感じるなどの発言は、音声対話型サービスが高齢者の日常生活に一定程度入り込みうることを示すものである。ただし、社会実装に向けては、応答速度、音声認識、会話の噛み合い、文脈理解といった音声対話機能の改善が不可欠である。以上より、本サービスは、高齢者の ICT アクセシビリティを高め、在宅での健康づくり、余暇活動、情緒的支援に寄与するデジタル健康支援ツールとして展開しうる可能性がある。

#### 4) 家事代行、トイレ更衣支援ロボット開発

球面レンダリングとビューモーフィングを統合した幾何学的アプローチにより、未知の環境においても事前学習を介さず、低遅延かつ高精度に運動視差を提示するシステムを提案した。本手法の最大の優位性は、知覚的な画質を維持しながら、最新の学習ベース手法に対して約20倍から386倍という高速化を達成した点にあり、学習ベース手法が未学習の物体やテクスチャの少ない環境において視覚的破綻を招きやすいのに対し、本研究の幾何学的処理は環境に依存しない頑健性を備えていると言える。被験者実験の結果からは、提案システムが視覚と運動の不一致によって生じる知覚的課題を効果的に解消し、操作者の空間認識を支援することを確認した。今後の課題としては、深度が不連続な境界部分において生じるテクスチャの伸びや二重像の抑制が挙げられる。今後は、本手法のリアルタイム性を維持しつつ、学習ベースのインペインティング技術を部分的に融合させることで、より複雑で動的な環境においても、さらなる視覚的品質の向上と快適な操作環境の実現を目指す。検出成功時における着衣操作の成功率の高さおよび検出位置が想定領域から外れた場合には着衣支援の成功がないことから、位置検出精度に本システムの課題が残存していると思われる。走査速度を速めた際の検出成功率を高めるためには、時間軸上の高い精度が求められる。時間的な検出タイミングの遅れやばらつきが発生する要因として、センサー信号のサチュレーションと、サチュレーションが発生する時間的なばらつきが要因であると考えられる。センサーのFOVの分離と差動接続によって、高温から低温へ移動する際には、上側に取り付けられた素子のFOVに先に低温熱源が侵入することで、電圧が低下しその後下側の素子のFOVに低温熱源が侵入し上側の素子のFOVから離脱することで、急速に出力電圧が上昇する。出力電圧の飽和が観測される時間は物体との距離や動作速度、動作速度、室温、衣服と皮膚温度などの条件による変化を受ける。物体との距離や動作速度に対しては補正していたが、温度条件が一定ではなかった。そのため、補正用データ取得時と実験時の温度条件の差や、実験中の温度条件の変化などによりばらつきや遅れが発生していたと考えられる。しかし、実際の使用環境においても季節や基礎体温の違いなどから温度条件を一定にそろえることは難しく、温度条件に対するロバスト性が必要である。以上の議論から、温度条件に対して補正や感度調整を行うか、センサー出力電圧の飽和に対してロバストな検出タイミングの

判定アルゴリズムに改良する必要があると考えられる。

- 5) 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
- 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
- 7) 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

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、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。杖型ロボットについては更に開発が必要である。独居の高齢者に対して非接触センサーと小型のウェアラブルセンサーを使用して10数例の解析を行い、睡眠や生活活動の特徴を抽出した。同センサセットによって、簡便に生活活動・生活範囲を推定できることが示された。本システムは、本格的な見守りシステムとして実証・開発を行っていく予定である。別のセンサシステム（睡眠センサーと小型のウェアラブルセンサー）を使用して、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。本システムは、総合的な活動量や生活活動、ADL動作を判定するシステムとして開発を行っていく予定である。本技術は汎化することで、高齢者のみならず健常者一般に対してライフログの計測に応用が可能である。

- 8) 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

本年度の成果は、移動支援ロボットや運動支援 ICT を、単なる補助機器から、個人の状態を計測しながら安全側に運動を誘導する知能化支援システムへ発展させるための基盤を示した点に意義がある。脈拍連動型負荷制御では、心拍ダイナミクスを明示的に扱うことで、遅れを考慮しない単純制御の課題を整理できた。フォーム支援では、身体認知のずれを視覚・音声フィードバックで補正し、運動フォームの安全性を高める可能性を示した。ただし、いずれの研究も現時点では若年健常者を中心とした基礎検証であり、高齢者、疾患既往者、歩行不安を有する利用者に対しては、倫理的配慮のもとで段階的な評価が必要である。また、今後の実験を効率的かつ再現性高く実施するためには、計測、制御、ログ保存、解析を統合した実験システムの整備が必要である。今後は、ロボスネイル OVER や市販歩行器への実装、高齢者施設・在宅環境でのユーザビリティ評価、主観指標を含む自己効力感評価を進めることで、高齢者の生活圏拡大とフレイル予防に資する実用的支援システムへ展開する。

9) 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

高齢者の行動別（歩行時、作業時、車椅子乗車時、臥床時）における転倒・転落傾向について、転倒時の受傷リスク定量評価をMBDを用いて、初期姿勢、初速度等のパラメータを調整を行い再現性の高い受傷リスク評価を試みた。実転倒に即した解析を行うため、既存動画データから転倒速度を算出する手法について検討した。見守りカメラは天井付近に設置されており、撮影映像には遠近による画角歪みを含んでいる。そのため、画面上の画素長さと実空間における距離との対応関係は、画面内の位置によって異なる問題点がある。次に転倒速度変化を動画から求めるために転倒発生位置における距離スケールを簡易的に補正するための単位スケールを用いて、転倒した時と同様の居室、カメラ条件下で撮影して補正した。動画を撮影したカメラ映像の奥行き方向に遠近のひずみを補正した後にフレームレートを単位時間として転倒速度を算出した。以上から姿勢および速度や荷重などの初期条件を動画由来にて取得することが可能となった。来年度は作業時の受傷リスクを評価する予定である。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Shimotori D, Aimoto K, Otaka E, Matsumura J, Tanaka S, Kagaya H, Kondo I. Influence of treadmill speed selection on gait parameters compared to overground walking in subacute rehabilitation patients. J Phys Ther Sci. 2025 Feb;37(2):89-94.
- 2) Fujimura K, Kagaya H, Suzuki T, Tanikawa H, Tsuchiyama K, Maeda H. Repetitive peripheral magnetic stimulation for hemiparetic hand edema in stroke patients: A randomized crossover trial. Hong Kong J Occup Ther. 2025 May 15:15691861251341483.
- 3) Suzumura S, Osawa A, Sugioka J, Kamiya M, Sano Y, Kandori A, Mizuguchi T, Uchida Y, Kagaya H, Kondo I. Differences in Finger Dexterity in Patients With Mild and Moderate Alzheimer's Disease-A Study of Cognitive Function by Disease Severity. Brain Behav. 2025 Mar;15(3):e70403.
- 4) Suzumura S, Sugioka J, Sakurai K, Osawa A, Matsubayashi T, Kamiya M, Sano Y, Kandori A, Mizuguchi T, Uchida Y, Kagaya H, Kondo I. Finger motor skills and related brain regions in patients with cognitive disorder. J Alzheimers Dis. 2025 Jul;106(2):634-645.

- 5) Kamiya M, Osawa A, Otaka E, Kato K, Yoshimi T, Kagaya H, Kondo I. Exploring emotion recognition in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's dementia undergoing a rehabilitation program. PLoS One. 2025 Apr 24;20(4):e0322213.
- 6) Mori E, Ishii H, Matsuura H, Kono Y, Aoyagi Y, Shimizu R, Hiratsuka T, Sobue Y, Watanabe E, Kagaya H. Effect of Introducing a Mini-Ergometer to the Ward Due to the COVID-19 Pandemic-Imposed Restrictions on Rehabilitation Centers on Physical Function: Cardiac Rehabilitation of Patients with Heart Failure. J Clin Med. 2025 Aug 22;14(17):5922.

## 2. 学会発表

- 1) 加賀谷 斉. 先端機器を用いたニューロリハビリテーションの普及. 第17回日本ニューロリハビリテーション学会. 2026.2.27. 名古屋市.

## 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