

長寿医療研究開発費 2021年度 総括研究報告

高齢者の生活を支援するロボット・ICT 開発研究 (21-21)

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、高齢者が直面する様々な問題として、1)世帯および地域全体の介護力の低下、2)介護労働力の不足、3)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) BPSD の発来とその結果として起こるさらなる認知機能低下、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、6)フレイルによって引き起こされる介護期間の延長などがあり、それらを解決するために、ロボットセンターは全方位的な研究開発を行ってきたが、今後、そのさらなる発展と介護ロボットと介護を支援する ICT 技術に内在する課題を解決するために、1)回復期リハ病棟退院後の活動量の減少に伴う高齢者の機能低下、2)関節保護を前提にして痛みのない状況でのロコモティブシンドロームからの脱却、3)フレイル予防のための新たなバランス訓練ロボットの開発、4)高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発、5) ロボットの音声認識能力を向上させ、それを使用した MCI および初期認知症患者の認知機能維持、6)音声と表情分析を利用し高齢者の感情および周辺認識能力の評価、7)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、8)移動支援ロボットの安全検証方法の確立、9)ロボットと人体の接触面における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、10)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などを行う。本開発研究により、中長期計画中における (1) 担当領域の特性を踏まえた戦略的かつ重点的な研究・開発の推進、(2) 実用化を目指した研究・開発の推進及び基盤整備、(3) 医療政策の一環として、センターで実施すべき高度かつ専門的な医療、標準化に資する医療の提供などの課題における成果が得られるとともに、ロボット・ICT 技術を利用した高齢者の活動的かつ安寧な生活の実現という社会的な成果が期待される。

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

根本 哲也 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
生活支援ロボット・人工知能開発研究室（室長）

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）

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（特任研究員）

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 名城大学（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）

山田 陽滋 国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学（教授）

津田 英一 弘前大学（教授）

A. 研究目的

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世帯および地域全体の介護力の低下、2)総労働人口の減少と要介護人口の増大に伴う相対的介護労働力の不足、3)独居能力維持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)社会的なストレスに伴うBPSDの発来とその結果として起こるさらなる認知機能低下、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、6)フレイルによって引き起こされる介護期間の延長などであり、これらの課題を解決する一つの鍵となるのは、高齢者の生活を支えるロボット・ICT技術であり、その開発が急務となっている。これまでこれらの課題に取り組むためにロボットセンターでは、様々な開発研究を行ってきたが、今後は、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技術に内在する課題を解決するために、以下のようなトピックを設定し、新たな取組を行う。

1) 退院後の生活機能維持のための回復期リハビリテーション病棟の入院中と退院後の在

- 宅での活動量の計測システムの開発と介護ロボットの有効的な利用方法の検討
- 2) ロコモシンドロームに対応する関節保護と活動能力向上のためのロボットの開発と適用
 - 3) フレイル予防のためのバランス訓練ロボットの効果検証
 - 4) 非接触型センサーから得られるライフログからAIを介在させ高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発
 - 5) 音声認識能力を向上させたロボットを使用するMCIおよび初期認知症患者の認知機能維持の効果検討
 - 6) 音声情報から得られる会話トーンと表情分析を利用した高齢者の感情および周辺認識能力の評価
 - 7) 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
 - 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) 移動支援ロボットの安全検証と操作性向上への取り組み
 - 10) 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

B. 研究方法

(1) 全体計画

1) 退院後の生活機能維持のための回復期リハビリテーション病棟の入院中と退院後の在宅での活動量の計測システムの開発と介護ロボットの有効的な利用方法の検討では、大高恵莉が主体となり、まず回復期リハビリテーション病棟での計測システムの開発を行い、その後、在宅での活動量計測に移行する。2) ロコモシンドロームに対応する関節保護と活動能力向上のためのロボットの開発と適用は、津田英一が実施するが、当センターで開発されたロボットの使用も考慮し、遠隔でもロボットを使った活動のモニターができるかどうか併せて検証する。3) フレイル予防のためのバランス訓練ロボットの効果検証は、尾崎健一と大高洋平が行うが、これまで対象となってきたフレイル、大腿骨頸部骨折、心不全、めまいのデータを引き続き、備蓄していくとともに、開発企業と協力し、新たなタイプのロボットの開発を行う。4) 非接触型センサーから得られるライフログからAIを介在させ高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発に関しては、そのコンテンツの部分をノミナルグループディスカッションの形態で策定を行う。5) 音声認識能力を向上させたロボットを使用するMCIおよび初期認知症患者の認知機能維持の効果検討に関しては、現在、長谷川泰久が音源追従を行うロボットアームの開発をおこなっているが、その安定的な稼働が可能になった段階で、コミュニケーションロボットに成り代わった形での操作者と使用者の会話を行い、音声認識の改善度を検証する、6) 音声情報から得られる会話トーンと表情分析を利用した高齢者の感情

および周辺認識能力の評価は加藤健治と吉見立也が行うが、5)で開発を行う音声認識システムを用いた音声トーンの分析を行う他、リハビリテーション科部と協力し、認知症患者の表情分析を行う、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、福田敏男が行っている杖ロボットの上市を実現し、高齢者の転倒不安の軽減と生活圏拡大の程度を検討する。8)移動支援ロボットの安全検証と操作性向上への取り組みは、引き続き山田陽磁が行うが、安全検証の過程で開発された移動支援ロボットも7)での取組に投入する、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来を低減化する素材の開発は、これまで根本哲也が知見を重ねているが、今回は素材開発メーカーと協同し、ロボットアームの人体への接触面に使用する新しい素材を開発し、それによって組織損傷性と不快な感覚の発来程度がどの程度改善されるか検討する。10)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は加藤健治と吉見立也が行うが、表情評価のプロトコルを作成し、簡単に介護効率が計測出来るシステムの開発を目指す。

(2) 令和3年度計画

- 1) 回復期リハビリテーション病棟での計測システムの開発。
- 2) 遠隔でのロボットを使った活動のモニターシステムの開発。
- 3) フレイル、大腿骨頸部骨折、心不全、めまいのデータの備蓄。
- 4) 健康増進コンテンツをノミナルグループディスカッションの形態で策定。
- 5) 音源追従を行うロボットアームの安定的な稼働のためのブラッシュアップ。
- 6) 認知症患者の表情分析、7)杖ロボットの上市のための製造企業と契約を行い、早期の上市を目指す。
- 8) 移動支援ロボットの安全検証と操作性向上への取り組み。
- 9) 素材開発メーカーと協同し、ロボットアームの人体への接触面に使用する新しい素材を開発。
- 10) AMED 事業で開発された動線解析技術のブラッシュアップ。

(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. 退院後の生活機能維持のための回復期リハビリテーション病棟の入院中と退院後の在宅での活動量の計測システムの開発と介護ロボットの有効的な利用方法の検討は大高恵莉が行い、その在宅高齢者における活動量計測の実施可能性の検討の中で、高齢者介護施設においてはリストバンド型ウェアラブルデバイスの装着とともに環境センサを同時設置し、約3ヶ月間にわたり心拍数・消費カロリー・室温・室内照度・CO₂濃度・水使用量・会話量のデータ取得が可能であった。
2. ロコモシンドロームに対応する関節保護と活動能力向上のためのロボットの開発と適用は津田英一が行った。カメラおよびカメラの取り付けフレームの天井への設置が完了し、動画の撮影システムが整ったため、身体機能評価としてSPPB (Short Physical Performance Battery) などの撮影を行ったが立ち座り動作においては、特徴点の検出ができないことがあった。
3. フレイル予防のためのバランス訓練ロボットの効果の検証は、尾崎健一、大高洋平が実施したが、3ヶ月評価までが完了しデータ入力がされている52例（個別運動療法群19例・運動指導群16例・BEAR練習群17例）を対象とし、解析を行ったが、初回～3か月の期間では膝伸展筋力に有意な差がみられた ($p < 0.002$) それ以外の身体機能面に大差はなかった。
4. 非接触型センサーから得られるライフログからAIを介在させ高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発は、高野映子が行い、既存のアプリを、身体機能 (Physical Activity)、認知 (Cognition)、感情 (Emotion)、栄養 (Nutrition)、予防・健康の知識普及 (Prevention and Health Literacy)、社会参加 (Participation)、安全と安心 (Safety and Security) に分類し、最終的に66にまとめた。
5. 音声認識能力を向上させたロボットを使用してのMCIおよび初期認知症患者の認知機能維持の効果検討は、長谷川泰久が行い。屋内の人の頭部姿勢認識および歩行ロボットによる追従システムの開発と遠隔操作による家事支援を実現するシェアードコントロールの開発の結果、4台のカメラで顔の向きと口の位置の推定しそれを統合することで、全方向の顔の向きに対して4cm以内の位置精度で口の位置を推定可能であることを確認し、また家事支援に使用するロボットハンドの手先の位置・姿勢にインピーダンス制御を組み込むことにより、ロボットハンドに力が加わった時にその力を低減するような位置、姿勢に移動、回転するようにして、物体やロボットを破損する可能性を低減した。
6. 音声情報から得られる会話トーンと表情分析を利用した高齢者の感情および周辺認知能力の評価と7. 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は、加藤健治および吉見立也が行い、居室のベッド上での被介護者の表情と、機器を使用した移乗・移動時における表情、さらに介護者の視線・発話で、被介護者が家族と面談した場面において喜びの感情を検出した。

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は福田敏男が行い、階段昇降時のドローンを用いたライトタッチ効果に歩行の安定化効果を検討した。その結果、通常歩行とドローン歩行では、平均振幅が上りでは 0.032[m]程度、下りでは 0.032[m]程度、ドローン歩行の方が小さい値となり、有意差を認め、ドローンを用いた歩行において、ライトタッチ効果による歩行の安定化効果を確認することが出来た。
9. 移動支援ロボットの安全検証と操作性向上への取り組みは、山田陽滋と長谷川泰久がその一部で行い、山田の検討では、GPD 抵抗と一定抵抗でトレーニングした被験者では、快適な歩行速度が増加したが、比較群では実験期間中、快適な歩行速度はほとんど変わらなかった。EMG の計測では、抵抗がない状態でロボットによる歩行時に筋活動が低下するが、GPD 群、定抵抗群ではロボットによる歩行時に筋活動が増加することがわかった。長谷川は、ユーザーがロボットハンドに加えた力の方向と大きさに応じて、あるインピーダンス特性を持ってロボット台車が移動させ、リハビリコースに沿いながら、操作力で移動の速度や方向を微調整可能なシステムを実現した。ユーザーはロボットに僅かな接触を行いながら、リハビリコースを周回することができるため、今後これをリハビリテーション医療に応用していく。
10. 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は根本哲也が行った。ベッドで端坐位の患者を後方から抱きかかえする際に介助者は前腕部がろっ骨をささえた際のシミュレーションの結果、抱きかかえ動作における荷重分布は骨折に至るような過度な応力集中は見られず、徐々に荷重が増すような結果を得た。

D. 考察と結論

1. 退院後の生活機能維持のための回復期リハビリテーション病棟の入院中と退院後の在宅での活動量の計測システムの開発と介護ロボットの有効的な利用方法の検討では、活動量の計測とともに結果をフィードバックすることの重要性、および実用的な精度と通信方法を兼ね備えたデバイス選択の必要性が明らかとなり、今後、実用性の高い計測システムを構築するとともに、入院患者および在宅高齢者の活動量データと身体機能および能力の評価を後方視的に解析し、活動量と身体機能の維持向上に寄与すべく実証をすすめる予定である。
2. ロコモシンドロームに対応する関節保護と活動能力向上のためのロボットの開発と適用では、3次元動作解析システムの設置が完了し、対象者評価に使用する遠隔での活動モニターシステムの開発準備として、身体機能評価が解析可能かについての検討を進めている。
3. フレイル予防のためのバランス訓練ロボットの効果の検証では、身体的フレイルを有する3群に介入を行った結果、初回～3か月の期間では膝伸展筋力に有意な差がみら

れたものの、それ以外の身体機能面に大差はなかった。その原因として当院ロコモフレイル外来を受診する患者は整形以外の既往歴を持つ者が多いため、元々の身体機能の基準が低く、介入効果が反映されにくかったのではないかと考えられる。また平均年齢が78歳とやや高齢であるため、週2回の頻度で1回の介入時間60分で実施した訓練が、結果的に十分な運動時間の確保ができていなかったのではないかと考えた。今後、介入時間や頻度、期間の検討が必要であり、また、自主トレーニングの習慣化に関しては個々に対応したメニューの考案や途中でメニューを変更することで飽きさせない工夫と定期的に他者（セラピストや家族）の確認も重要であると考えられた。

4. 非接触型センサーから得られるライフログからAIを介在させ高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発で抽出された指標は、非接触型センサーから得られるライフログからAIを介在させ高齢者の健康と認知能力を保持するためのコミュニケーションコンテンツを含んだシステムの開発のためのベンチマークとなり、同時にコーチの開発において考慮すべきケアにおける既存のギャップを特定するものである。また、実際にこれらのアプリを実際にシステムとして統合して使用する場合は、ライセンスの問題とアプリケーションプログラミングインターフェースの利用可能性を明らかにする必要がある。具体的な高齢者向け対話システムを活用したコンテンツ開発は、次年度以降行う予定である。
5. 音声認識能力を向上させたロボットを使用してのMCIおよび初期認知症患者の認知機能維持の効果検討では、部屋の四方の壁に取り付けた四台のカメラシステムから取得する情報を用いたシステムで小型歩行ロボットを制御し、マイクを移動させるシステムでは、同時発話を含む雑音環境下において、雑音に対して使用者の発話を大きく集音し続けることができるため、高齢者とロボットの長期的な会話の継続に役立つと考えられる。最後の家事動作支援のシステムでは開き戸に限らず、精度の高い操作を求められる引き出しの出し入れなどの他のタスクに関しても、操作者の操作量と自律動作を統合した制御であるshared controlを組み込むことで、遠隔操作ロボットの操作に不慣れた操作者や、介護現場などの生活環境における様々なタスクを、安全かつ容易に行うことができるようになることを目指す。
6. 音声情報から得られる会話トーンと表情分析を利用した高齢者の感情および周辺認識能力の評価および、7.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、まず表情分析により、普段ネガティブな表情の多い被介護者において、1場面ではあるが喜びの感情を定量的に検出したことより、移乗支援のためのロボット介護機器を利用して面会の機会を増やせることはQOLの向上に繋がることがわかった。また動線解析技術に関しては、顕著な進捗はみられなかったが、特許申請を通じて本技術の有用性を再確認した。今後、本技術を元に対象者の範囲を増やすことで、多数対象の同時動線解析を可能としていく予定である。
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

大効果の検討では、浮遊物によってライトタッチ効果を起こすことで新しい歩行補助器具の提案を行った。ドローンを用いた場合、平面歩行または階段昇降時にライトタッチ効果による歩行の安定化効果を確認することが出来た。また、片脚にサポーターを装着して計測を行ったが、今後両足、全身と動きを制限することによって、より高齢者に近い状態とすることで歩行の安定化効果を実感することができると考える。

9. 移動支援ロボットの安全検証と操作性向上への取り組みの山田の結果から、筋活動の変化は、若い被験者を対象とした実験と同様であることがわかった。歩行器で加えられる抵抗は筋活動を増加させる。抵抗が大きいと足底屈筋の力が大きくなるため、足底屈筋の筋活動を高め、背屈筋の筋活動を低くすることで足関節に大きなトルクを発生させ、抵抗ゼロ群では足底屈筋の筋活動に有意差がないため、その効果が期待できないことがわかった。長谷川の検討では、今回開発したシステムで、体を十分に動かすことができない患者の買い物や物の運搬などの動作をロボットが代替することを計画している。
10. 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では、端坐位から移乗する際の抱きかかえ動作をロボットに代替させる場合には、荷重分散を有した素材開発が必要であると考えられた。また、皮膚に集中的に荷重が加わると変形量が増大し、加えて摩擦係数が低くなってしまう、その結果、介助作業を正しく行えない可能性があり、不快感を増大させる可能性があると考えられた。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 近藤和泉：認知症患者の日常生活をサポートする AI/ロボット技術. *Medical Practice*, 38, 1227-1230, 2021.

2. 学会発表

- 1) 近藤和泉, 尾崎健一：トレッドミルとの併用－Grail の使用経験－. 第 58 回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2021 年 6 月 10 日, 京都市.
- 2) Izumi Kondo, Aiko Osawa, Ikue Ueda, Keita Aimoto, Kenji Kato, Wataru Kaku: Development and first clinical validation of speaking robot for reminiscence exercise. *Virtual ISPRM 2021 Congress*, 12-15 June, 2021.

- 3) Izumi Kondo: Robot exercise for older adults with balance deficit. AOCNR2021 virtual conference, Aug 6th, 2021, India, held on online.
- 4) 近藤和泉：ロボット・次世代介護—移乗支援を中心に—。2021年度老年医学サマーセミナー, 2021年8月7日, 大府市.
- 5) 近藤和泉：医療・介護ロボット最前線—リハビリテーション医療および介護予防を中心に—。第21回糖尿病インフォマティクス学会, 2021年8月29日, WEB.
- 6) 近藤和泉, 尾崎健一：トレッドミルを使ったVR。第5回日本リハビリテーション医学会 秋季学術集会, 2021年11月13日, 名古屋市.
- 7) Izumi Kondo: Robot to Prevent Fall and Frailty. Nuerorehabilitation Webinar 2022, Mar 4th, 2022, Pakistan, held on online.

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