

長寿医療研究開発費 2022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 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）

山田 陽滋 名古屋産業科学研究所（所員）

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

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4年度計画

1)在宅での活動量計測および移動支援ロボットの導入を行う。2)遠隔でのロボットを使った活動のモニターにより、痛みが無い状態で運動が可能になるか検証。3)開発企業と新しいタイプのバランス訓練ロボットの開発開始。4)健康増進コンテンツの部分の開発が終わった段階で、EUとの協同事業へ移行。5)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で音声認識の改善度を検証。6)音声認識システムを用いた音声トーンの分析、認知症患者の表情分析。7)杖ロボットによる高齢者の転倒不安の軽減と生活圏拡大の程度の検討。8)安全検証の過程を公表し、他のロボット開発を促進。9)組織損傷性の改善のシミュレーションと不快な感覚の発来程度の実測。10)表情評価のプロトコルを作成。

(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、試験的運用の結果、データ同期の煩雑さについては、NFC方式よりもBluetooth方式のウェアラブルデバイスのほうが臨床応用上、より確実性と利便性が高いと考えられた。また、歩数カウントの精度については、対象患者の歩行速度（0.4～1.0m/sec）でも高精度な市販機種を採用し、健側の足関節に装着することで対処可能であった。通所リハでは、Fitbit Inspire を対象者 5 名に用い平均装着日数は 140±78.4 日であり、平均歩数は Fitbit 導入時 2908±1169 歩、導入後 4188±1884 歩、平均で 1280±1499.5 歩増加した。他の評価（導入前/返却時）は TUG：14.4/13.5 秒、10m歩行：14.8/14.3 秒、6 分間歩行距離：240/194m、Frenchay Activity Index：9/12 点と変化した。
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。ADL で頻用される 1)歩行, 2)椅子座位からの立ち上がり動作, 3)床座位からの立ち上がり動作, 4)椅子座位での靴下着脱動作の解析を行った。その結果、床座位からの立ち上がり動作、椅子座位での靴下着脱動作では、3 台以上のカメラでの認識が不可となる特徴点が生じ、測定精度の低下を生じる可能性が指摘された。
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、86 例（個別運動療法群 29 例・運動指導群 28 例・BEAR 練習群 29 例）までエントリー完了し、そのうち 12 ヶ月評価までが完了しデータ入力されている 67 例（個別運動療法群 21 例・運動指導群 21 例・BEAR 練習群 25 例）を解析した結果、3 群全体での経時的変化では、介入前後で SPPB ($p=.012$)と膝伸展筋力($p=.002$)で有意な改善を認めた。しかし、12 カ月後のフォローでは有意に悪化し、ベースラインに近い値まで戻っていた。それ以外の身体機能面に大差はなかった。3 群間での比較は、経時的な変化を検討できるほどの十分な症例が集まっておらず統計学的処理は行っていない。
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、前年度までに実施した文献及び既存のアプリケーションの調査分析、さらに End user 及びステイクホルダーに対する Useability 調査を結果に基づき、Robot と会話を通じた AHA を目指すためのシナリオのドラフトが作成された。
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。作成したアルゴリズムで 4 台のカメラから胴体の中心の位置の推定を行い、その結果を統合することで、全方向の三次元位置

推定が可能であることを確認した。同時に開発を行っているインテリジェントケインでは、一定の速度指令を与えた際には補正により正面方向の壁に衝突する前に旋回し、衝突を回避することが確認された。

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識能力の評価と 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、当センターの外來リハに通院中の MCI 者 9 名および軽度・中等度 AD 者 12 名の計 21 名に対して、表情分析により感情値（怒り、軽蔑、嫌悪、恐怖、喜び、悲しみ、驚き）の中央値を算出し比較したところ、二重課題時において、AD 群は MCI 群よりも恐怖の感情値が有意に高いことがわかった。また、音響分析システムによる対象の位置検出（定位）の試験分析を行った結果、反響の多い室内環境において音源定位を行うのは難しいことが判明した。
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に関しては、アイトラッカーを用いて、階段を昇降する時歩行者はどこに視線を向けて歩行しているのかの確認を行うことで、顔の向き、首の角度、背中からの角度から歩行者の姿勢を推察し、歩行者は通常歩行、手すり歩行、ドローン歩行、杖歩行の順番で「より遠く」を見ることが分かった(上りではより上段、下りではより下段)。また、杖歩行では「より足元」を見る傾向があることが分かった。
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、山田陽滋が行い、今回考案したフィルタを使用することにより、パワースペクトルに基づいて混在する干渉力のノイズ成分を適切に低減し、歩行周期をカバーする周波数範囲を維持することに成功した。その結果、位相/周波数情報を抽出することができた。
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は根本哲也が行った。陰圧により皮膚表面を一定時間吸引、その後開放し、光を用いて吸引した皮膚の変位を測定するキュートメータを用いて、皮膚の粘弾性を測定した結果、若年層群に比べ高齢層群は、姿勢の影響をより受けやすくなっていることがわかった。

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、回復期リハビリテーション病棟においては、高齢者におけるウェアラブルデバイスの活用に関して極めて良好なコンプライアンスを得ることができた。また通所リハビリテーションにおいては、モニタリングされたデータと日常生活情報をもとに、実現可能な目標歩数や具体的な活動目標を共有したことで、歩数増加および IADL 向上が得られた。歩行が単なる身体活動から生活圏拡大の手段へと変化し、活動量および日

常生活機能が定着・安定した結果と考えられる。

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、測定が確実ではないことに対する改善策として、カメラの設置位置を調整する、カメラの台数を増やす、解析対象の動作を変更するなどが考えられた。
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では、3群全体での経時的変化の検討では、介入前後で SPPB ($p=.012$)と膝伸展筋力($p=.002$)で有意な改善を認めた。しかし、12カ月後のフォローでは有意に悪化し、ベースラインに近い値まで戻っていた。十分な運動指導を行っていても自主トレ継続は困難であり、定期的な運動指導が必要であることが考えられた。
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は、高齢者との対話を通じて、音声認識、人工知能、センサなどさまざまな形態の技術を複合して、個別性の高いコーチングとフィードバックを提供されることが考えられ。その核となるのは、よりエイジングを促進するための介入であり、その介入の具体性を増すためのシナリオを開発した。今後、開発したシナリオを実際の Robot に搭載し、検証・修正を加え、国際標準化のための原案作成を目指す予定である。
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、各カメラの平均誤差が $0.149m$ となっており、今後この複数のカメラからの出力の統合方法について、リビングラボでの検討を行う予定である。インテリジェントケインは、SLAM を用いることで静止障害物に衝突しない経路選択が可能となった。しかしながら、現在は周辺に障害物がある環境下ではユーザの認識精度が不十分なので、静止障害物をユーザ候補から除外する処理を導入することによって、ユーザに対する同伴性能を向上させることを目指して、さらなる改善を行う。
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、認知症状がある高齢者の表情分析に関して、AI 表情分析ソフトウェアにおいてニュートラルの表情を検出することが多く、表情分析による評価については定量性を担保することは困難である可能性があるが、今後、監視カメラなどの画像から、動線取得をすることと同時に特定の表情（笑顔等）の表出を検出できれば、施設全体で笑顔が増えるといった結果を得られるのではないかと考えられた。また施設介護者の動線の取得に関して、引き続き AI による解析も行っており、今後より簡便な存在場所の検出方法として、近年、省電力のブルートゥース (BLE) 機器を使ったものや、RFID を用いたものを新たに導入し実証室での検証を始めている。
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、ドローンを用いた歩行ではライトタッチ効果による重心動揺を減

小さめるだけでなく、階段における姿勢の正常化を助け、より安全な歩行を提供することが出来ると考えられた。

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の山田の結果から、周波数領域で相互作用力のパワースペクトルを分析することで、不良の周波数帯域を識別し、その影響が低減された。そして、低遅延を持つバンドストップフィルタを提案し、不良周波数帯域を入力信号から分離し、S/N比を向上させ、推定精度を向上させることができた。この新しい手法により、歩行トレーニングロボットは、トレーニングの効果を高めることができ、相互作用力に不良周波数帯域が含まれていても、より多くの被験者に使用できるようになると考えられた。
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、高齢層群はシワの存在や皮膚のハリ不足により、腕伸展時と屈曲時で皮膚のひずみの差が大きくなる可能性があり、粘弾性特性測定値が関節角度の変化に影響されやすいことが考えられた。ヒト皮膚粘弾性特性測定において、測定箇所周辺の関節角度が影響する可能性が明らかとなり、サービスを受ける際の姿勢によって皮膚の機械的性質に影響をおよぼすことがわかった。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

1. Ito K, Suzumura S, Kanada Y, Narukawa R, Sakurai H, Makino I, Abiko T, Oi S, Kondo I. The use of a companion robot to improve depression symptoms in a community-dwelling older adult during the coronavirus disease 2019 state of emergency. *Fujita Medical Journal*. <https://doi.org/10.20407/fmj.2021-023>. 2022
2. 近藤和泉. CHAPTER 5 転倒予防と安全管理. *リハベーシック 安全管理学・救急医療学*. 40-47, 2022.
3. 近藤和泉, 加藤健治, 高野映子, 鈴木彰太. ロボット, AI の活用. *総合リハビリテーション*, 50, 751-755. 2022
4. Suzumura S, Ito K, Narukawa R, Kawamura K, Kamiya M, Osawa A, Kondo I. Instructional Items and Continuation Rate of Post Discharge Self-Exercise Training for Patients with Cerebrovascular Disease. *Geriatr Gerontol Int*. 23, 251-252, <https://doi.org/10.1111/ggi.14564>. 2022.

2. 学会発表

1. 近藤和泉. 加齢に伴うバランス能力低下とフレイルに対するロボットの活用と効果. 第64回老年医学会, シンポジウム 26. 2022/6/4, 大阪市
2. 近藤和泉. 認知症ケアにおけるAI, ロボットの活用. 第23回日本認知症ケア学会大会, シンポジウム進化するテクノロジーにおける認知症ケア. 2022/6/18, WEB.
3. Izumi Kondo, Aiko Osawa, Minoru Yamada, Jun Matsumura, Keita Aimoto, Naoki Itoh, Shinichiro Maeshima, Hidenori Arai. Rasch analysis for novel ADL scale for older adults - NCGG-Practical ADL Scale (NCPA). ISPRM 2022, July 3-7, 2022. Lisboa, Portugal.

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