

長寿医療研究開発費 2020年度 総括研究報告

健康長寿のためのロボットおよび ICT 開発研究（19-5）

主任研究者 近藤 和泉 国立長寿医療研究センター（副院長）
大沢 愛子 国立長寿医療研究センター リハビリテーション科部（医長）
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）
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）

研究要旨

高齢化に伴う労働資源の減少の中で、高齢者の生活を支え、健康長寿を実現するために、**gender free** および **age free** さらには外国人介護支援労働者の導入等、いろいろな施策が実施され始めている。一方で愛知県を中心とするロボットおよび ICT の開発の進行は著しく、これらの技術の高齢者の生活導入の可能性がより確実になりつつある。このため課題を「健康長寿のためのロボットおよび ICT 開発研究」として当該研究に取り組んだ。関連企業と協力した国立長寿医療研究センターの取り組みにより、フレイルの原因となるサルコペニアおよびバランス障害に対して、リハビリロボットによる介入が通常の訓練の数倍の効果を示す最初の知見が実証され、さらに **community** ベースの研究の準備を開始している。また、認知症に対する回想法を支援する傾聴ロボットの開発も進んでいる。さらに名城大学および名古屋大学との共同研究により、杖・歩行器ロボットの開発も進行中で、杖ロボットの使用で重心動揺が減少するという世界初めての知見の実証に取り組んだ。また、ロボットを含む生活装備品の **Iot** 化を通じて、高齢者の在宅生活を延伸化するシステムの開発を行い、移動支援に使われるロボットの完成を見ている。本研究では、これら的高齢者に特化したロボットおよび ICT 技術の効果実証を行い、安全基準の策定を同時進行で進めることで、その社会実装を飛躍的に早めることを目的とする。

主任研究者	近藤 和泉	国立長寿医療研究センター	副院長
分担研究者	大沢 愛子	国立長寿医療研究センター	リハビリテーション科部 (医長)
	尾崎 健一	国立長寿医療研究センター	リハビリテーション科部 (医師)
	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)
	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)
	大高 洋平	藤田医科大学	(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)
	福田 敏男	名城大学	(教授)

A. 研究目的

65歳以上の高齢者（以下、高齢者）人口は、1950年以降、一貫して増加し、2012年に3000万人を超え、2018年9月15日現在の推計では3557万人となっている。総人口に占める高齢者人口の割合は28.1%となり、前年（27.7%）と比較すると、0.4ポイント増え、過去最高となった。国立社会保障・人口問題研究所の推計によると、この割合は今後とも上昇を続け、第2次ベビーブーム期に生まれた世代が65歳以上となる2040年には、35.3%になると見込まれている。一方生産年齢人口は、2029年に6,951万人と7,000万人を割り、2065年には4,529万人となると推計されている。65歳以上の高齢者人口と15～64歳人口の比率は、1950年には1人の高齢者に対して12.1人の現役世代（15～64歳の者）がいたのに対して、2015年には高齢者1人に対して現役世代2.3人になっている。今後、さらに現役世代の割合は低下し、2065年には、1人の高齢者に対して1.3人の現役世代という比率になるとされている。このような急速な高齢化と生産年齢人口の減少は、高齢者医療費の上昇、社会保障給付の増加、さらには福祉人材の不足、様々な高齢者施策のための財源確保が困難となることなどの問題がさらに顕在化させると予想されている。このため、労働能力の代替のみならず、社会の様々な側面特に、介護分野ではロボット導入を促進していく必要がある。

一方、日本では現在約462万人の認知症患者が存在し、さらに2025年にはそれが約700万人に達すると推計されている。認知症患者全体の約5割を占めるアルツハイマー病は、その中核症状(認知障害、意欲・気力の障害など)以外に、周辺症状(幻覚・妄想などの精神症状や徘徊・異食などの行動異常、Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia 以下 BPSD)が出現する。アルツハイマー病を含む認知症患者のうち約80%がBPSDを有しているといわれており、特にアルツハイマー病ではその進行の早い時期から

BPSD が出現し、介護者と患者の QOL の低下およびストレスの増大など様々な問題を生じさせる。BPSD に対して、様々な薬物療法が試みられてきたが、その副作用のため認知機能や活動性を過度に失ってしまう高齢者も多く、薬物を使わない対処法が求められている。認知症に対する非薬物療法として、明確なエビデンスがあるのは回想法である。しかし効果的に回想法を実施するためには認知症患者の個人史の把握と、長時間の会話が前提となる。高齢化により介護のための労働資源が乏しくなりつつある現状では、家族を含めて介護担当者が認知症患者とゆっくり会話をする時間を持つことはできない。また一人の担当者が個別の高齢者の個人史を多数記憶して、回想法に導入していくことにも限界がある。このため、記憶能力を持ち、長時間の会話にも耐えられるロボットには、効果的な回想法を導入していく上で大きな利点がある。

認知症の発症に関わるとされている主な要因の中で、最近特に注目されているのは身体活動である。発症リスクに関わる要因の中で、老化に関係するものとして「身体活動の低下」がある。一方で発症を防ぐ要因の「活動」の中に身体的なものが含まれる。MCI へ身体活動をしてもらい、認知機能が低下していくかを検討した研究では、統計学的に意味がある効果があるとされており、これは身体活動が認知症の発症を遅らせる可能性があることを意味する。このため、老化に伴って AB が脳内にたまって、ロボットを使用し、生活上の身体活動を一定のレベルに保つことで、症状が出る時期を遅らせられる可能性が考えられる。その一方で生活上の身体活動データの取得は、高齢者の安全管理及び機能低下の予防にもつながるため、ロボットを含む生活に必要な機器の IoT 化とそれを通じたデータ取得および、データをクラウド上で管理することを通じてビッグデータ化し、活動量低下に対する有効な手段を考案するための材料とすることができると予想される。

B. 研究方法

(1) 全体計画

1) 傾聴ロボットの開発の回想法への応用、BPSD に対する対応、独居の高齢者の安全管理→大沢愛子・近藤和泉、2) バランストレーニングロボットの Community base での適用と大腿骨近位部骨折患者への適応→大高洋平・尾崎健一、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→山田陽磁・近藤和泉、4) 介護ロボットの IoT 化と動線のビッグデータ化→根本哲也・加藤健治、5) 杖ロボットの開発→福田敏男・近藤和泉、6) 歩行器ロボットによる身体活動の維持→長谷川泰久・近藤和泉、7) 開発・製作企業との連携調整、全体の総括→近藤和泉という分担・配分で研究を行う。

(2) 年度別計画

[2019 年度]

1) バランス訓練ロボットの Community base での適応→適応 Community の選定と基礎調査、2) 介護ロボットの IoT 化と生活データのデータベース構築→生活データの取得シ

システムの開発、3) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→開発段階からの安全検証教育とその効果、4) 傾聴ロボットの開発の回想法への応用→回想法コンテンツの策定、5) 杖ロボットの開発→杖ロボットによる歩行の安定化の検討、6) 歩行器ロボットによる身体活動の維持→歩行器ロボットの走行安定性の向上

[2020 年度]

1) バランス訓練ロボットの Community base での適応→大腿骨近位部骨折に対するバランス練習ロボットの効果検証、2) 歩行器ロボットによる身体活動の維持→介護ロボットの操作の簡便化、3) 傾聴ロボットの開発→傾聴ロボットの音源定位能力の向上、4) ロボット開発における安全検証とリスクコントロール→歩行支援機に搭載すべき停止技術に関する検討、5) 杖ロボットの開発→IP-Cane を用いた歩行の安定化の検証

[2021 年度]

開発費の支給方法の改訂が行われ、新しい枠組みで研究を継続するため、研究計画を改変した上で、あらためて開発費の申請を行った。

(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) 大腿骨近位部骨折に対するバランス練習ロボットの効果検証では、49 例(平均 80±7 歳、男:女=14:35、大腿骨近位部骨折受傷測 右:左=23:26)が訓練最終評価まで終了した。結果は歩行自立度($p=.012$)、歩行速度($p<.001$)、TUG ($p<.001$)、Berg balance scale (BBS, $p=.010$)、足関節底屈筋力の術側($p=.018$)および非術側($p=.017$)が有意に改善を認めた。Functional reach test (FRT)および股関節外転筋力、膝関節底屈筋力は改善傾向ではあるが有意差は認めなかった。Functional efficacy scale-international (FES-I)は有意差を認めず、前後評価のできた 35 例中 13 例で改善、22 例で悪化していた。SIDE も全体としては有意差を認めなかったが、転倒リスクのカットオフとなる

2a/2b 間を跨いで 8 例が改善を認めていた。

2) 介護ロボットの操作の簡便化では、同伴位置精度の向上のためには、使用者とロボットの相対位置推定精度の向上が必要であるが、従来の **Laser range finder (LRF)** (レーザ測距計) での脚部検出による位置計測には、使用者から通行人または脚部に類似した障害物を区別できない。さらに、使用者の両脚が検出できないと誤認識が生じるなどの欠点があり、周辺環境や使用者の動作に依らない位置推定システムが必要であると考え、身体装着型計測装置に **Inertia measurement unit (IMU)** を組み込み、使用者の加速度情報を得ることで相対位置を推定可能なシステムを構築した。この位置情報を元に使用者の存在する範囲を限定し、範囲外の通行人や障害物の影響を排除した上で、**LRF** と **IMU** の複数センサに基づく情報から使用者の相対位置を推定するアルゴリズムを開発した。これにより、通常時は従来に比べより高精度な位置推定が可能になり、使用者の両脚が完全に検出できない場合には **IMU** による慣性航法での推定位置を利用し連続的な使用者検知を可能にしている。

また **Wi-Fi** モジュールを用いて装着型計測装置・ロボット間の通信を無線化することで、従来の有線接続に比べ使用者の使用感と物理的な行動範囲の制限を改善した。さらに周辺環境の影響の軽減ならびに同伴位置精度の向上のため、**Simultaneous localization and mapping (SLAM)** (地図生成と自己位置推定) を利用した周辺環境の認識システムを構築した。これにより通行人や障害物をはじめとする周辺環境の認識が可能となり、衝突回避が期待される。

3) 傾聴ロボットの音源定位能力の向上では、環境音やロボットの発話から、使用者の音声を分離・取得するために、ロボットハンドに指向性の高いマイクを取り付けた。さらに姿勢推定ライブラリ **OpenPose** を用い、両目と鼻の位置を取得し、顔向きおよび口の位置を推定することで、マイクを使用者の顔の向きに正対させるアルゴリズムを研究開発した。実験において、本システムを使用した場合、話者の移動に伴う認識音声の減衰を低減できることを確認したが、他者が同時に存在する場合や単調な衣服を着た場合には顔追従のロバスト性が足りない問題が明らかになった。

4) 歩行支援機に搭載すべき停止技術に関する検討では、遊脚時間は転がり抵抗係数と有意な正の相関関係がみられ、タイヤの転がり抵抗係数と遊脚時間の増加割合には有意な正の相関が認められ、遊脚時間の増加により転倒リスク顕現状況下においても適切な転倒回避動作をとりやすくなることから、従来の危害の酷さの低減方法が有効であることを示唆する結果と考えられた。

5) **IP-Cane** を用いた歩行の安定化の検証では、歩行実験を行った結果、比較的単純なコース I では、ナビゲーション通りの順序で歩行することができた。被験者が方向転換、ナビゲーションの解釈にかかった時間は平均 1.63 秒であり、平均歩行速度は 0.96m/s であった。コース I と比べて少し複雑なコース II でも、ナビゲーション通りの順序で歩行することができた。被験者が方向転換、ナビゲーションの解釈にかかった時間は平均 2.88 秒であった。また、平均歩行速度は 0.71m/s とコース I と比べて遅い速度であった。実験参加

者に対するアンケートにおいて、①画像案内と音声案内を選んだ人からは、「画像と音声の両方があった方が分かりやすい」、「音声のみでは判断しづらい」という意見が多くみられたが、「イヤホンをしていると周りの音が聞こえにくくなるから心配」といった否定的な意見も見られた。③音声案内を選んだ人からは「スマートグラスに慣れない、重い」、「眼鏡の上からだると落ちそうになる」といったスマートグラスに関する否定的な意見もみられた。

D. 考察と結論

1) 大腿骨近位部骨折に対するバランス練習ロボットの効果検証では、TUG、BBS、足関節底屈筋力の術側および非術側が有意に改善した。これは報告者らが先行研究で行なった慢性期中枢神経障害患者および地域在住フレイル・プレフレイル高齢者への BEAR 介入と同様の結果であった。回復期入院期間の終盤であるが歩行再建中の者を対象としたため、歩行自立度、歩行速度といった歩行能力の変化も認めた。BEAR 介入の本来の効果を検証するためにはコントロール群との比較が必要である。今回、過去の回復期病棟データベースを用いて propensity score matching にてコントロール群を作成する予定であったが、症例数の問題と、選択バイアスにて年齢および認知機能が異なる群となってしまう比較困難であった。今後、データベースの拡充や手動マッチングを更に検討していく予定である。FES-I は改善例と悪化例を認めた。これは回復期から自宅へ退院する直前の時期の介入であり、バランス訓練で自信のついた者と、自己のバランス能力を理解しかえって不安を強めた者がいると推測された。本研究のメインアウトカムとなる退院後 1 年間の転倒の有無・頻度は、時期的に少数にしか聴取できておらず、今後新たな研究費研究の中で、検証していく予定である。

2) 介護ロボットの操作の簡便化では、高齢者の生活において円滑な移動動作やコミュニケーションを支援するロボットにおいて、ライトタッチ効果による歩行支援を目的とした杖型ロボットでは、本研究の期間内に、歩行中でもライトタッチ効果が発現することを、世界で初めて立証した。今後、新たな研究費の枠組みの中で、病院や家庭内において自由な移動が可能となる歩行支援の為、障害物回避機能を研究開発する予定である。

3) 傾聴ロボットの音源定位能力の向上では、高齢者に対するロバストな音声認識を補助するモバイルマニピュレーションロボットの一応の完成を見た。今後さらに騒音環境内においても高齢者の声を聞き取り、ロボットによる会話を長期的に継続するシステムとして、部屋壁に取り付けた複数のカメラシステムからの画像を用いて口位置・姿勢を検出するシステムを構築し、ロバストなシステムを目指す。両者において実環境における臨床的な実験を行うことで、本研究の提案する手法を評価し、社会実装に必要な技術を研究開発する予定としている。

4) 歩行支援機に搭載すべき停止技術に関する検討では、予想されるユーザーへの使用効

果を検証する前段階として、20代前半の健常若年者5名を対象に、歩行アシストカートのタイヤの転がり抵抗の大きさと遊脚時間の関係を明らかにし、タイヤの転がり抵抗を増加させるというリスクアセスメントの危害の酷さ低減方策の有効性を評価したが、当該対象においては、タイヤの転がり抵抗係数と遊脚時間の増加割合には有意な正の相関が認められ、測定した転がり抵抗係数の範囲では、最大で遊脚時間が7.46%増加した。歩行アシストカートのタイヤの転がり抵抗変化は、転倒リスク顕現状況下での危害の酷さ低減方策として有効であることが示唆され、今後より実際のユーザーに近い対象を選んで、検証を行っていく予定である。

5) IP-Cane を用いた歩行の安定化の検証では、コース I における平均歩行速度は、東京都長寿医療研究センターの2012年の調査で分かった、65～84歳の平均歩行速度0.92m/sと近い数値である。このことから、本研究のナビゲーションシステムは、高齢者のリハビリテーションの歩行に対応可能であることが分かった。コース II において歩行速度が低下した原因として、指示が複雑になったためだと考えられる。コース II では、右左折、停止など様々なナビゲーションがあるため、被験者が NFC タグを歩行しながら探すことが出来ない、それによって進行方向に自信が持てない、といったことが考えられる。そのため、NFC タグの認識性を高め、複雑なコースであっても分かりやすいナビゲーションを行う必要がある。

Radio frequency identification (RFID)受信機、スマートグラスを用いたナビゲーションシステムは画像案内と音声案内の両方を用いることでナビゲーションの質を高め、使用者の歩行をアシストすることが可能であることが分かった。しかし、スマートグラスの使用に対して否定的な意見も挙げられたため、誰が使用しても快適に使えるように改善していく必要がある。分かりやすさと共に快適性の向上も意識して、今後ナビゲーションシステムの開発を進めていかなければならない。将来的には、リハビリコースの案内だけでなく、駅のホームでの転落防止などの様々な場面での活用を目指したい。今後、対象者を高齢者の方に移行するが、そのためにも安全な実験が行えるように、IP-Cane2の安全性の向上や、使用者の転倒などの異常時に対応する動作を搭載していく必要がある。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 近藤和泉, 尾崎健一, 大沢愛子: 認知症に対するロボット・AIの適応. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, 57, 421-424, 2020.

- 2) Eiko Takano, Kenichi Ozaki, Kenji Satoh, Koki Kawamura, Mathieu Maltais, Izumi Kondo : Effects of a Balance Exercise Assist Robot on Older Patients with Hip Fracture: A Preliminary Study. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 40, 783–789, 2020.

2. 学会発表

- 1) 近藤和泉：認知症ケアにおける AI, ロボットの活用. 第 21 回日本認知症ケア学会大会, 2020 年 5 月 31 日, 仙台市.
- 2) 近藤和泉：VR を装備したトレッドミル GRAIL—高齢者のリハビリテーション医療への展開—. 第 57 回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2020 年 8 月 22 日, 京都市.
- 3) 近藤和泉, 尾崎健一, 堀博和, 平岡繁典, 大沢愛子：大腿骨近位部骨折患者に対するバランス訓練ロボット(Balance Exercise Assist Robot: BEAR)の効果, 第 47 回日本リハビリテーション医学会中部・東海地方会, 2020 年 8 月 29 日, WEB.

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