

(2) 高齢者のためのスマート住空間整備に必要な要素に関する研究開発

戸田晴貴 福井克也 大森清博 太田智之 立川正真 開発学人 シュレスタスマン

1 はじめに

高齢化の進展に伴い、独居認知症高齢者世帯や老老介護世帯が増加している。住み慣れた自宅で長く暮らし続けるためには、支援機器の効果的な活用による物的な支援、介護サービスや介護予防等の介入といった人的な支援、これらを効果的に導入しながら暮らしやすくするための住空間の工夫が必要となる。しかしながら、これまでこれらの要素は個別に研究開発が行われてきた。したがって、対象者に適した支援機器を導入しようとしても住空間のレイアウト等が問題となって導入できないといった問題が生じた。そのため、支援機器の選定と住空間の設計は一体的に考慮し、進める必要がある。本研究では、“生活動作を阻害せずに対象者の日常的な動作や活動などを計測し、そのデータをもとに対象者の自立支援や遠隔からの見守りを行う住空間”を「スマート住空間」と定義する。そして、家族や介護者による対象者の見守りの負担の軽減や介護ロボット等の支援機器を導入しやすくするための空間整備要件、それ自体に計測機能を有するスマート家具・建材の開発、といった要素技術の研究開発を進める。

令和6年度は、立ち上がり方からフレイルのリスクを推定するフレイル評価椅子を自治体と連携し、公共施設等に常設して実証評価を行った。また可搬性を高めるため、折りたたみ版を制作し企業と連携して有効性の検証や事業化の可能性について検討した。介護ロボットの取り回し評価については、熟練者と初心者とのデータ計測や聞き取り調査を行い、情報の整理を行なった。これらの成果のうち、熟練者の姿勢動作データに基づく技術継承システムについて特許を取得した。

2 フレイル評価椅子を用いた地域でのフレイル予防事業の実践

超高齢社会において高齢者が健康でいきいきと暮らせるよう、介護予防やフレイル対策のために「将来的に介護が必要になるリスク」を評価することが望まれている。本研究では、このような課題に対し椅子型の運動機能評価システム（以下、フレイル評価椅子）の開発を進めてきた。令和6年度は、2自治体と連携してフレイル評価椅子を公共施設等に設置し、自身のフレイル評価を通じてフレイルに対する関心を高めてフレイル予防につなげることを目的とした実証評価を実施した。

2.1 フレイル評価椅子の改良

2.1.1 システム改良

フレイル椅子を長期的に安定して使用できるよう改良を行った。フレイル評価椅子に用いているToFセンサ（VL53L0X）は、ホコリ等により受光面が汚れるとセンサ前面に計測対象が無いときの測距値が不安定になり誤作動を引き起こすことがあった。そこで、センサ汚れや継続使用による劣化の程度を示す指標の構築を検討した。令和5年度まで実施した計測会等での使用実績を踏まえ、「対象物が無い状態で150回計測したときに測距値が8000以下となる回数」を外れ値と定義し、起動時にモニタ画面に表示できるようにした。その表示をもとにToFセンサの清掃や交換の目安とした。また、遠隔地に設置したフレイル評価椅子の使用実績や外れ値を簡便に確認できるよう、椅子内部にモバイルルータを組み込むとともにメール送信機能を追加した。

2.1.2 デザイン改良

公共施設等に常設することを想定し、施設利用者がフレイル評価椅子に気づきやすい、フレイ

ル評価に興味を持ってもらう、計測スタッフがいない場面でも一人で利用できる、ことを意識して下記のようにデザイン改良を実施した。

- ・誘目性を高めるため、椅子の基本色を青にした
- ・座り方にばらつきを減らすため、座った際に臀部の目安となる部分を黄色にした
- ・使用方法や結果の概要の理解しやすくするため、座面や背もたれ部に図示したシールを貼付した

また、評価結果が悪かった際に介入につなげるための連絡先（地域包括支援センター等）を各自治体と協議し、本事業の概要に関する説明パネルを制作してフレイル評価椅子とともに設置した（図1）。



図1 設置例（左：播磨町、右：吉野川市）

2.2 播磨町での取り組み

令和6年度「座って立つだけ！フレイル度チェック」事業として、令和6年4月28日からフレイル評価椅子を設置して運用を開始した。本事業を始めるに当たり、開始前日に開催された「はりま春風フェス」の中で佐伯播磨町長が本事業について紹介するとともに、播磨町のWebサイト等で広報が行われた。播磨町内の設置場所は、播磨町役場、コミュニティ施設6か所、福祉施設、スポーツ施設、播磨町社会福祉協議会、コープ播磨の合計11か所であった（図1左）。

各施設での使用回数を図2に示す。集計期間は、4月28日から9月11日まで（一部施設は12月3日まで、以下同様）であった。期間中の使用回数は24,338回で、1日あたりの平均使用回数が多かったのは、総合体育館（26.9回）、健康いきいきセンター（26.0回）、中央公民館（19.5回）だった。次に、施設別のフレイル評価結果を図3に示す。健康（フレイル評価値1）またはおおむね健康（フレイル評価値2）の割合は、各施設とも8割前後を占めていた。

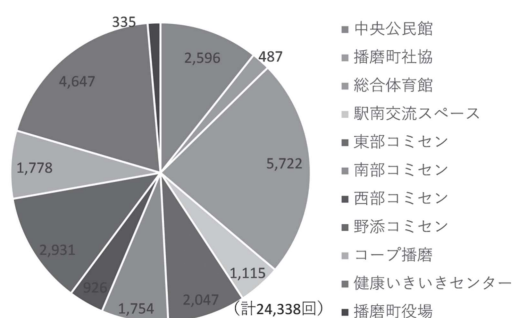


図2 播磨町における使用回数

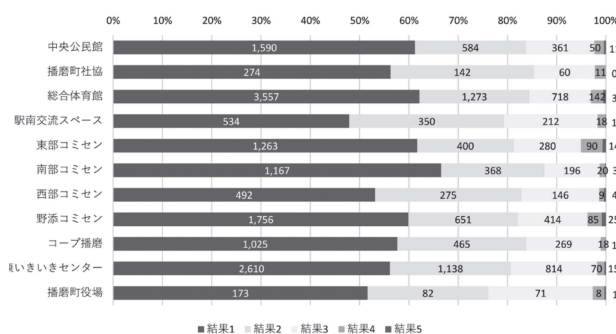


図3 施設ごとの評価結果

各施設の施設職員に使用状況について聞き取りを実施した結果、いずれも好意的に受け入れられており、友人などと複数人で使用されることが多いという施設が多かった。また、評価結果の1と2の違いを気にする利用者がいる、高齢者の中には計測開始音を聞き取りにくい人がいる、といった意見が得られた。

2.3 吉野川市での取り組み

徳島県吉野川市と吉野川市総合型地域スポーツクラブおえっこスポーツクラブ（以下、おえっこSC）との3者で、令和6年5月22日に連携協定を結び、令和6年度「気軽に！簡単！フレイルチェック」事業を開始した。事業の開始に当たり、協定式および本事業の取り組みを各種メディアで発信し、広報を行った。吉野川市役所およびおえっこSCに2台ずつ設置した（図1右）。吉野川市役所は、1階受付横に1台設置し、受付職員が来所者への声掛けや使用履歴の記録を行った。おえっこSCは、1台を事務所に設置し、もう1台を公民館での健康体操等の行事に持ち出して参加者のフレイル評価に活用した。

各椅子のフレイル評価結果を図4に示す。集計期間は、5月23日から9月24日までであった。期間中の使用回数は2,684回で、うち68.6%はおえっこSC常設椅子であった。健康またはおおむね健康の割合は、播磨町と同様8割であった。

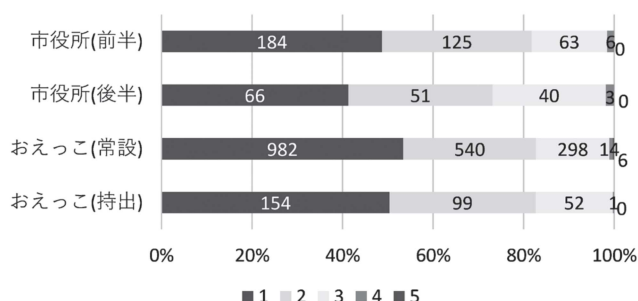


図4 施設ごとの評価結果

吉野川市役所の受付職員による使用履歴によると、利用者数284名（平均年齢63.7±14歳）で、のべ計測回数371回（一人あたり1～5回の計測）、であった。

2.4 可搬性を高めた折りたたみ版の制作

常設版フレイル評価椅子は安定して利用が可能な一方で、自宅など日常生活場面での使用は困難である。日常生活で気軽に使用できるようにするためには、市販の体重計などと同様に小型軽量で持ち運び可能な装置にする必要がある。そこで、保管運搬が容易かつ食卓椅子に設置して使用することを想定した折りたたみ版のフレイル評価椅子を制作した。

2.4.1 設計試作

試作した折りたたみ版計測椅子は、座面と可動する背板部にToFセンサを設置した（図5）。背板部のセンサは、座面からの高さが常設版と同じになるよう配置した。背板と座面のなす角度は、市販の食卓椅子を参考に100度とし、背板センサのレーザーが水平照射されるよう10度下向きに設置した。また座面センサにおける中心線からセンサまでの距離と、座面先端からセンサまでの奥行き長さも常設



図5 折りたたみ版フレイル評価椅子

版と同じになるよう配置した。素材はいくつかの種類で試作した結果、着座時のたわみや自重によるセンサ部の振動が少なく高精度の加工が可能なことからアクリル樹脂製を採用した。

2.4.2 常設版との比較およびプログラム改良

本機器により得られた結果が、常設版フレイル評価椅子により得られた結果とどの程度関連するかを検討した。5名の健常男性が参加し、異なる立ち方で計25回の計測を行った。その後、常設版フレイル椅子でフレイルリスク評価の指標に用いられている立ち上がり中の体幹屈曲角速度の最大値をそれぞれの椅子で算出した。各立ち上がり方で得られた値の平均値をグラフ化すると、両者の計測結果には線形関係が認められ、回帰式が得られた（図6）。よって、折りたたみ版を使用して得られたデータをこの回帰式を使用して補正することにより、常設版と同様にフレイルリスクを評価できることが示唆された。最終的に、この回帰式を解析アルゴリズムに組み込むプログラム改良を行なった。

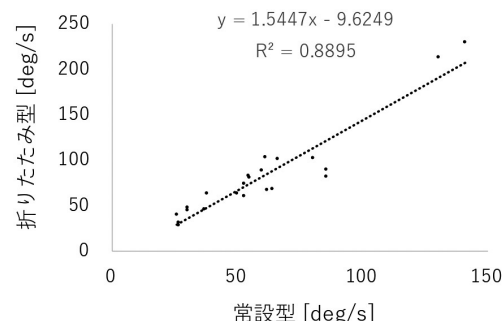


図6 折りたたみ版と常設版の関係

2.5 今後の進め方

本設置施設により使用回数の多少は見られるが、各事業とも概ね利用が定着している。令和7年1月から、播磨町ではフレイル評価椅子を5台追加して合計16台、吉野川市では8台追加して合計12台とし運用の拡張を進めている。

折りたたみ版に関しては、企業と活用方法の実践検討や事業化に向けた検討を開始した。

3 在宅及び小規模施設における介護ロボット等取り回し空間による作業姿勢評価

3.1 介護ロボット等取り回し空間における身体負荷評価

介護ロボットや福祉機器の適切な活用は、介護を必要とする個人および介護者の双方に対して、安全かつ安心なケアを提供するための重要な手段である。厚生労働省は、人口減少に伴う介護サービスの維持および人材確保の対策として、これらの技術の活用を推進している¹⁾。しかし、高齢者介護施設においては、リフト等の福祉用具が導入されているにもかかわらず、重度の腰痛が報告されるなど、無理な作業姿勢による健康被害が課題となっている²⁾。

3.1.1 介護ロボット等取り回し空間による作業姿勢評価

令和5年度に引き続き、介護ロボットを使用したトイレ介助中の作業姿勢に着目し、遮蔽空間での計測が可能な慣性計測装置（Inertial Measurement Unit; IMU）を用いて計測および分析を行った。特に、身体的負担が大きいとされる下衣操作の中でも、「脱衣介助」時の作業姿勢に注目した。計測環境としては、一般住戸や小規模施設のトイレ面積を想定し、0.75坪および0.5坪の間取り条件を設定した。また、0.5坪の間取りでは、3枚引き戸等を想定し間口を広げた「0.5W」という条件も含め、計3種類の条件下で実施した。介護ロボットには、前方サポート型の移乗支援機器（Hug L 1、FUJI）を採用した。対象者は、県内でノーリフティングケアの指導に関わる指導者12名（男性5名、女性7名）を「熟練者」、一般成人12名（男性9名、女性3名）を「非熟練

者」とした。

3.1.2 結果

熟練度と間取りの間に交互作用は認められなかった。一方で、熟練度は体幹動作に影響を与え、屈曲、側屈、回旋のすべての運動において熟練者において角度が小さかった。特に側屈および回旋において、熟練度がこれらの動作に及ぼす影響が顕著であることが明らかになった（図7）。

間取りが体幹動作に与える影響は限定的であったが、体幹回旋角度において、0.5Wにおいて回旋角度が0.5坪と比較して小さくなった。このことは、狭小な同一面積条件下における開口幅の広さが、回旋動作に与える影響を示唆した。

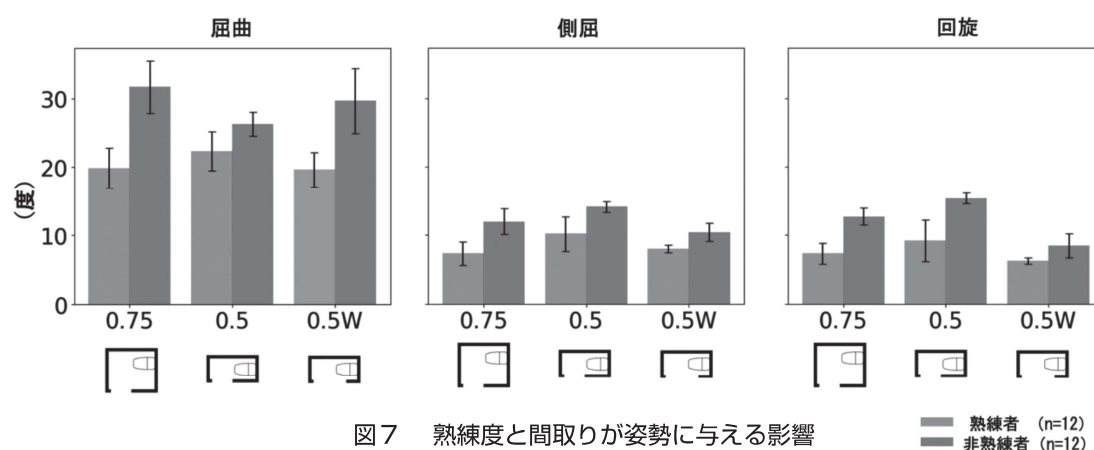


図7 熟練度と間取りが姿勢に与える影響

3.2 介護ロボット操作技能の定量化技術を用いた技能習得

介護現場における福祉用具等の効果的運用に関する検証は不足しており³⁾、臨床現場における経験則や主観的な判断に基づいた意思決定が課題となっている。特に、介護ロボット等の操作技能習得に関する効果検証不足は、「導入した機器を職員が適切に扱えるか不安」という理由で、介護ロボットの導入が見送られる要因となる⁴⁾。また、介護ロボット使用の熟達者から実技指導を受けるための集合研修への参加や、業務時間内でのOJT体制確保に係る調整コストが、小規模事業所を中心に無視できない負担となっている。このような背景から、介護ロボット使用の技能習得の定量化による効果検証は、根拠に基づく普及促進だけでなく、個別環境でのより効率的かつ効果的な研修計画の策定においても重要な示唆をもたらすものと考えられる。

3.2.1 移乗支援機器操作時における熟練者の技能要素の抽出

本研究では、介護ロボット等を活用した移乗介助動作における熟練者の技能要素と身体運動の特徴を明らかにし、技能習得プログラムの作成に向けた基礎情報を抽出することを目的とした。

県内でノーリフティングケアや介護ロボットの普及に関わる指導者5名（男性4名、女性1名）を対象者とし、床走式リフト（KQ-781：パラマウントベッド）とスリング（コンフォートローバック：ウェル・ネット研究所）を用いた、車椅子（REVO：ラックヘルスケア）からベッドへの移乗介助を遂行課題とし、IMUを用いて動作を計測した。さらに、定性的データを収集するために思



図8 計測・インタビュー場面

考発話法を用い、対象者が実際に一連の動作を遂行する際の思考過程に関する半構造化面接を実施した（図8）。

床走行式リフトを用いた車椅子からベッドへの移乗において、誰もが確実に操作すべき客観的項目を必須通過点とし、フェーズを7つに分け分析を実施した。各フェーズにおける熟練者の技能プロセスについては、インタビューで得られた定性的データをKJ法に準じて分析し、カテゴリ化した。また、動作姿勢に関する定量的データについては、体幹屈曲、側屈、回旋角度の平均値および標準偏差を算出し、時系列データとして可視化した。

3.2.2 移乗支援機器操作時における熟練者の技能要素の抽出

リフト移乗時の介助における熟練者技能に関する定量・定性的特徴を、フェーズごとに整理したものを図9に示す。各フェーズに共通する熟練者の技能要素として、利用者の安全性と快適性、作業効率を両立するための配慮が確認された。身体運動の特徴としては、利用者やリフトに対するスリングの脱着に関連するフェーズを中心にデータのばらつきが見られることから、これらのフェーズに関連する周辺動作は熟練度によって差が生じやすい可能性がある。今後、熟練度による違いをさらに検討する必要がある。

本研究によって抽出された熟練者の技能要素や身体運動の特徴は、初学者や中堅者を対象とした教育ツールの開発や、トレーニングプログラムの開発における閾値設定に応用できる。今後は、技能習得の効率化につながるプログラムの構築を目指す。なお、これらの熟練者の姿勢動作データに基づく技術継承システムについては、令和6年度に特許を取得した（特許7603879）。

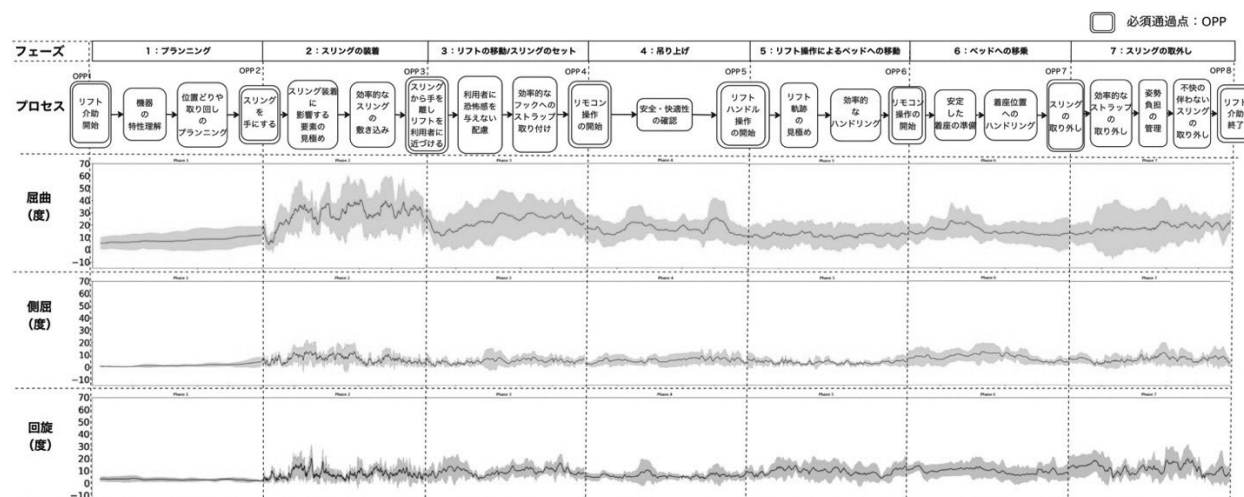


図9 リフト移乗時介助における操作プロセス技能の構造と身体運動

4 おわりに

令和6年度は、フレイル評価椅子を自治体と連携し公共施設に設置し、実証評価を行った。場所によって利用回数にばらつきはあるものの、一定程度活用していただいていることが明らかになった。また設置場所ごとの特徴も認められた。それと同時に、可搬型の折りたたみ版フレイル評価椅子を開発し、事業化の検討を行った。また住空間での介護ロボットの活用を行いやすくするために、間取りや習熟度によるユーザの身体負担の違いを検証し、特に初心者は身体負担が増加することが明らかになった。それに加えて、介護ロボット操作時の熟練者の技能要素の抽出と

身体運動の特徴を分析した。この技能習得を支援するためのシステムを開発し特許を取得した。

なお、本研究の一部は科研費22K04466と23K16508および全国老人福祉施設協議会の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 厚生労働省. 介護サービス事業における生産性向上に資するガイドライン改訂版 [Internet]. [参照 2025年1月8日]. Available from: http://www.mhlw.go.jp/content/12300000/Seisansei_kyotaku_Guide.pdf
- 2) 岩切一幸, 高橋正也, 外山みどり, 劉欣, 甲田茂樹. 福祉用具を導入した高齢者介護施設における介護者の腰痛発生要因. 産業衛生学雑誌. 2016;58 (4):130-142.
- 3) 白銀暁, 太田智之. 福祉用具・住宅改修と理学療法士の役割. 理学療法ジャーナル. 2022;56 (8):923-929.
- 4) 厚生労働省. 令和3年度介護報酬改定の効果検証及び調査研究に係る調査（令和4年度調査）（5）介護現場でのテクノロジー活用に関する調査研究事業報告書（結果概要） [Internet]. [参照 2025年1月8日]. Available from: <http://www.mhlw.go.jp/content/12300000/001073650.pdf>