

(2) 生活環境と動作モニタリングによる生活支援システムの開発

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、独居高齢者世帯は増加している。これらの高齢者に対して適切な介入を行うためには、居住する住環境及び自宅内での行動を把握する必要がある。しかし、住環境を図面化する見取り図の作成には多大な手間を要する。さらに、自宅内での行動把握は主として聞き取りに依存しており、客観的な評価を行うためにはカメラ設置などプライバシーへの配慮が求められる手法を用いざるを得ないという課題がある。

近年、スマートフォンやスマートウォッチに代表されるスマートデバイスは急速に普及し、日常生活において使用可能なデバイスとなっている。スマートフォンに搭載されたLiDAR機能を用いることで、撮影環境の三次元点群情報を取得できる。この技術を活用することで、従来はセラピストの労力や経験に依存していた住環境の見取り図作成や、環境に応じた介護ロボット・福祉用具の選定を簡便に行えると期待される。さらに、ユーザにスマートウォッチを装着しビーコンなどの屋内測位技術を組み合わせることで、プライバシーを損なうことなく自宅内での運動情報および位置情報を取得できる。これらのスマートデバイスを統合的に用いることで、ユーザが「いつ（時間）」「どこで（空間）」「何を（動作）」行っているかを示す住環境ライフログの取得が可能となる（図1）。さらに、得られたデータを分析することにより、転倒リスクの高い環境の把握や、認知症を有するユーザの異常行動に検知につながる。

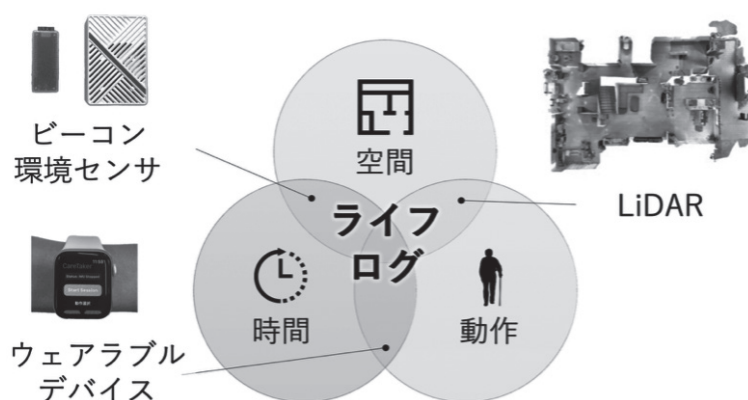


図1 本研究の概要

令和7年度は、住環境ライフログ取得のための基礎的な取り組みとして、LiDARを使用した見取り図作成の有効性の検証と慣性計測装置（Inertial Measurement Unit; IMU）と位置情報を組み合わせた動作認識AIの開発を行った。また令和6年度からの取り組みとして、フレイル評価椅子を用いたフレイル予防事業の成果のまとめ及び介護ロボット操作技能の技能習得支援に関する検証を実施した。

2 在宅における見取り図情報の取得・作成システムの検討

医療・介護分野の訪問支援において、対象者の生活環境や動線を把握するための見取り図は、リハビリテーション計画や退院支援の質を高める上で重要である。見取り図作成には、対象者や家族との面談技術、情報の優先順位を判断する臨床判断、空間を可視化する作図技能など、複数の能力が求められる¹⁾。

しかし、見取り図作成に関する体系的な教育・訓練は十分に整備されておらず、その習得は個人の経験に依存しているのが現状である。このため、業務負担の増大や技術の標準化、記録の再現性・一貫性の確保といった点に課題が生じている。特に作図に関する技術的要素は間接業務として臨床スタッフの負担となり、面談や臨床判断に割く時間を制限している。以上を踏まえ、本研究では入院時訪問指導における見取り図作成プロセスのうち作図に関する技術的要素に着目し、1) デジタル技術を活用した効率的かつ再現性の高い環境情報取得の可能性について検討すること、2) 改修工事業者の測量・設計・施工管理段階におけるLiDAR活用の可能性についての基礎的な知見を得ること、を目的とした。

2.1 作業効率の評価

2.1.1 評価方法

本検証には、在宅環境評価の経験を有するリハビリテーション専門職9人（作業療法士5人、理学療法士4人）が参加した。参加者の平均臨床経験年数は 16.7 ± 4.7 年であった。計測は、一般的な住宅レイアウトを想定して設計されたモデル住宅環境（ウェルフェアテクノハウス1階、約114㎡）において実施した。LiDARによるスキャンは、iPhone16 Proにスマートフォン用ハンドグリップを装着し（図2左）、間取りに対して右回り一筆書きで連続的に行った。計測には、Scaniverse - 3D Scanner (ver.5.1.0)を使用し、終了後3Dモデルを出力した（図2右）。従来手法による計測は、記録用紙、メジャー、カメラ及び動画撮影を用いて行い、その結果をもとに方眼紙上に見取り図を作成した。LiDAR及び従来手法の両方について、それぞれに要する時間、取得される情報量と正確性、ならびに作業負担感を評価した。手法の実施順序による影響を避けるため、各手法の実施順はランダム化した。

本研究では、LiDARによる計測で得られた3Dモデルを真上から2次元的に捉えた図を見取り図として扱った（図2右）。従来手法の所要時間は、計測から写真撮影及び見取り図作成までに要した時間について、作成者による自己申告に基づいて評価した。

2.1.2 比較結果

LiDARスキャンは、手作業による測定と比較して所要時間が有意に短かった（ 12.5 ± 4.2 分 vs. 77.2 ± 17.1 分、平均差 = 64.7分）。これは、家屋情報取得の作業時間が84%削減されたことを示した。また、見取り図作成時間もLiDARの方が有意に短かった（ 1.3 ± 0.3 分 vs. 157.8 ± 75.3 分、平均差 = 156.5分）。この結果は99.2%の時間削減に相当し、LiDARの使用により見取り図作成の大幅な省力化が見込める可能性が示された。

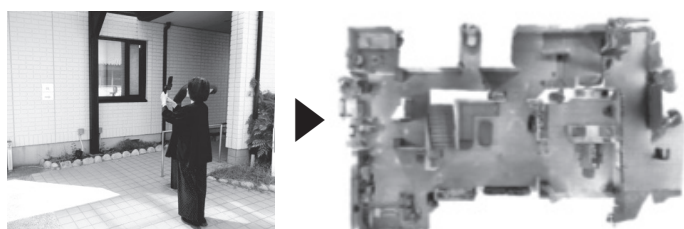


図2 計測場面

2.2 寸法精度の検証

2.2.1 比較結果

本検証には、2.1の参加者に加えて建築士1人が参加した。2.1においてセラピストが作成したLiDARによる見取り図及び従来手法による見取り図に加えて、建築士が作成した平面図を参照値平面図として用いた。参照値平面図は、建築士がモデル住宅環境にてメジャーを用いて手計測を行い、コンピュータ支援設計ソフトウェア（CAD、JW-CAD Ver.8.25a）を用いて作成した。

寸法精度の評価評価を行うために、LiDARによる見取り図及び従来手法の見取り図の両方を、

縮尺と方位を合わせた画像に変換しCAD上に取り込んだ（図3）。それらの見取り図と参照値平面図の位置誤差は、あらかじめ設定していた30ヵ所の測点においてユークリッド距離として算出した。寸法精度の比較には二乗平均平方根誤差を用いた。

2.2.2 結果

LiDARによる見取り図及び従来手法の見取り図と参照値平面図の二乗平均平方根誤差は、それぞれ247.9mmと743.0mmであった。よって、LiDARを用いて作成した見取り図は、メジャーを使用して作成される従来手法の見取り図より誤差が小さいことが確認された。本研究の結果から、LiDARを用いた見取り図作成は退院時の住環境評価や初期段階の改修検討に効率的に運用できることが示唆された。今後は、高さ方向を含めた精度検討や実住宅での検証、退院支援・改修業者との連携手法の模索が課題となる。

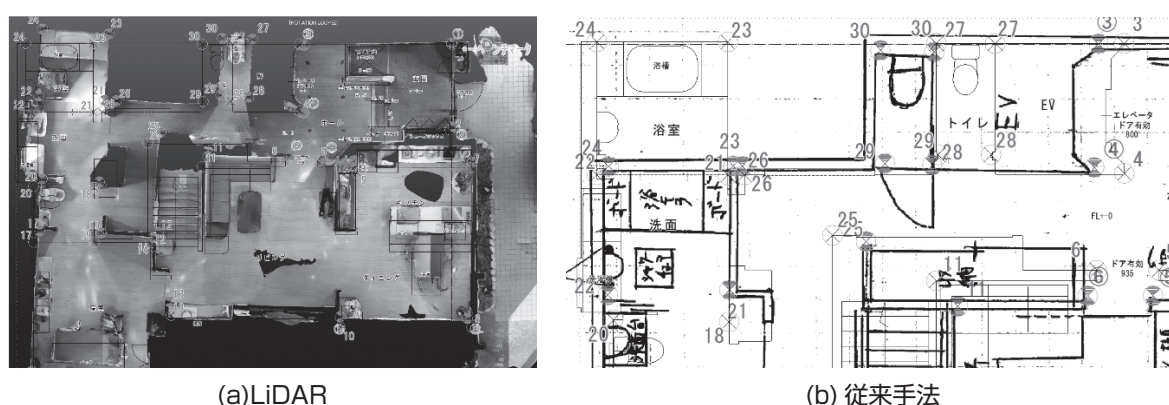


図3 参照値平面図との比較の例

3 IMUセンサと位置情報を活用した介護動作認識システムの開発

介護現場において、介護スタッフの負担軽減と業務効率化を行い、生産性を向上させることが求められている。これらを行うためには、介護動作の客観的なモニタリングが不可欠である。カメラ映像を用いた行動認識は、簡便に行動を取得できるがプライバシーの懸念から居室やトイレなどのプライベート空間への導入は困難である。一方で、IMUは介護者の身体に装着するためプライバシーを侵害する懸念はないが、センサ情報の粒度が粗く動作の特定には課題がある。そこで本研究では、手首に装着したIMUセンサの信号に加え、Bluetooth Low Energy (BLE) を用いた屋内測位システムによる「位置情報」を統合することで、プライバシーに配慮しつつ介護動作を高精度に認識するシステムの開発と評価を行った。

3.1 システムの概要

本システムは、スタッフの手首に装着するIMUセンサと施設内の各所に設置した位置検知用の受信機により構成される（図4）。IMUセンサで介護士の業務中の腕の加速度・角速度信号を取得すると同時に、現在どの部屋（居室、トイレ等）にいるかという位置情報を取得する。最終的に、それらのデータを統合し、装着している介護士がいつ、どの介護業務を行ったかを動作認識AIを使って分類する。

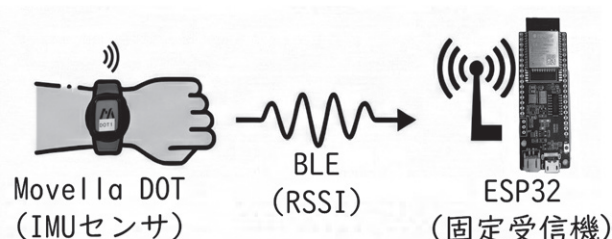


図4 システムの構成

分類する介護動作は、移乗介助、食事介助、トイレ介助、オムツ交換、記録業務、食事準備と

した。分類結果をもとに、AIが認識した結果を直感的に把握できるよう、スタッフの動きや業務内容を「見える化」する機能も実装した。

3.2 評価結果

「動作」と「位置」のデータを統合し、介護動作を自動で判別する動作認識AIを開発するために、兵庫県内の特別養護老人ホーム1ユニット(スタッフルーム、デイルーム、トイレ2か所、居室10室)にて、介護士の動作計測と業務内容の記録を行った。これらデータをもとにした動作認識AIは、位置情報を含むものと含まないものを作成し、比較することで位置情報取得の有効性を確認した。その結果、位置情報がない場合は分類精度58%に留まったものの、位置情報を統合した場合は分類精度92%と大幅に向上した。本研究成果の一部は、第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会にて報告し、優秀賞を受賞した。

4 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。当研究所ではこれまで、椅子型の運動機能評価システム（以下、フレイル評価椅子）を開発し、令和6年度より2自治体と連携してフレイル評価椅子を用いたフレイル予防事業を実践した。本年度はこの事業を継続するとともに、利用者向けアンケート調査と設置施設を対象とした利用状況調査を実施し、フレイル評価椅子の効果を検証した。

4.1 利用状況

兵庫県加古郡播磨町と徳島県吉野川市に設置している椅子の利用状況を図5、6に示す。各設置場所におけるフレイル評価椅子の利用回数は、それぞれ50,198回と13,732回で合計63,930回（1施設あたり5.9回／日）であった。施設間の利用回数にバラツキがみられるものの播磨町では体育館、健康いきいきセンター、中央公民館、吉野川市ではおえっこスポーツクラブでの利用回数が多かった。フレイル評価結果は1（健康）または2（おおむね健康）の割合が約8割だった。

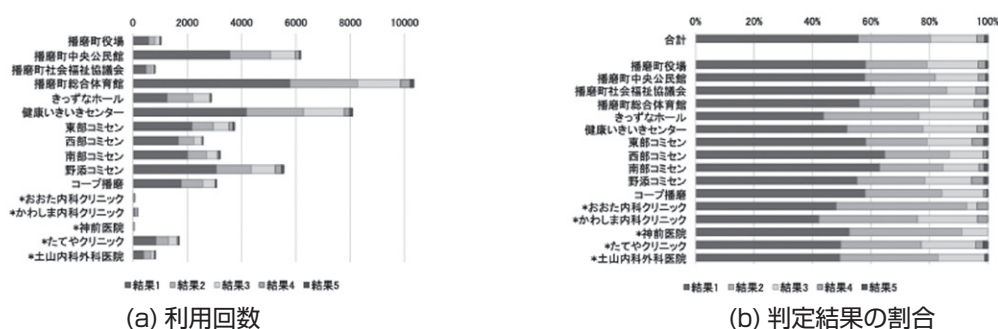


図5 兵庫県加古郡播磨町における利用結果

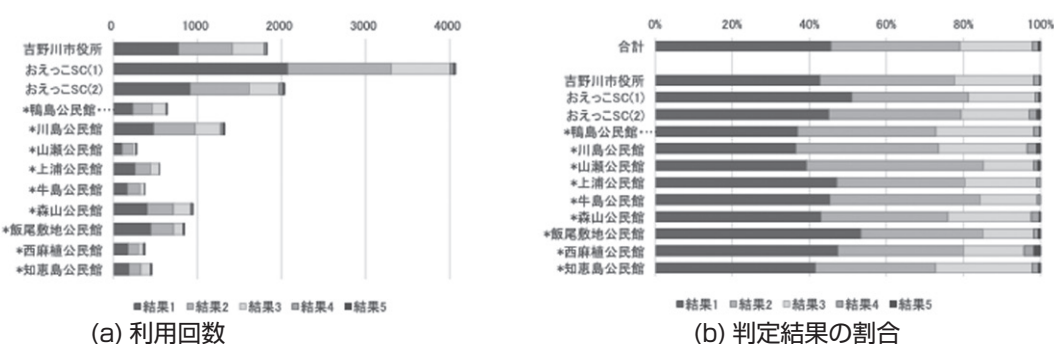


図 6 徳島県吉野川市における利用結果

4.2 利用におけるアンケート調査結果

4.2.1 利用者向け

令和7年4月26日に播磨町で開催された「はりま春風フェス」にフレイル評価椅子を展示し、来場者にフレイル椅子の設置・利用に関するアンケート調査を行った。回答者の年齢が20歳以上で欠損のないものを解析対象とした。統計解析では、フレイルの認知度（知らない／知っている）を従属変数、椅子認知度（知らない／知っている）・椅子使用経験（なし／あり）・ヘルスリテラシー（伝達の・批判的ヘルスリテラシー尺度、中央値未満／以上）を独立変数、年齢・性別・播磨町在住（なし／あり）・健診受診歴（なし／あり）を調整変数としてロジスティック回帰分析を行った。有意水準は5%未満とし、分析にはR4.5.0を用いた。

回答は267件得られ、そのうち211件を解析対象とした。回答者の平均年齢は 59.8 ± 16.8 歳であった。ロジスティック回帰分析の結果、椅子認知度のオッズ比は、ヘルスリテラシーに比べて高くフレイルの認知度に対する影響が大きかった。行動変容のためのヘルスコミュニケーションにおいて、知識偏重のコミュニケーションの限界が指摘されている。したがって、フレイル評価椅子を活用した取組は、フレイルの認知度向上に効果的であることが示唆された。

4.2.2 設置施設向け

播磨町と吉野川市のフレイル評価椅子を設置する27施設に対して利用状況調査をアンケートにて実施した。調査は、Googleフォームを利用し、令和7年7月に実施した。27施設中26施設（96%）より回答を得た。回答者は施設管理者18、フレイル評価椅子の管理担当4、その他4であった。結果を図7に示す。65%の施設が1人以上継続的に利用している人を把握していた。特に、播磨町のコミセンや吉野川町の公民館など利用回数が多い施設においても継続的に利用する人がいることが確認できた。

フレイル評価椅子設置の満足度については、非常に満足～やや満足と回答した施設が92%だった。満足度に関する意見（自由記述）では、健康意識向上、フレイル周知、気軽に利用可能、コミュニケーション促進について好意的な意見を得た。一方、不満、やや不満と回答した施設では、子どもが椅子で遊んでしまう、結果に時間が掛かりすぎるといった運用面での課題が指摘された。本研究成果の一部は、第28回日本福祉のまちづくり学会全国大会、第84回日本公衆衛生学会総会、第12回日本サルコペニア・フレイル学会にて報告した。

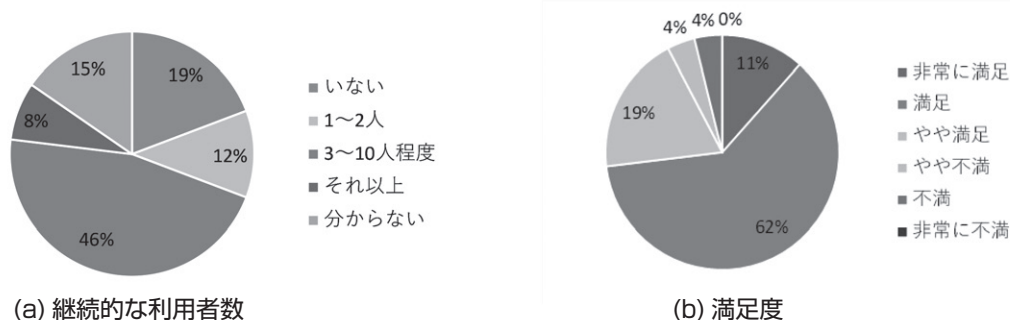


図7 設置施設向けのアンケート結果

5 介護ロボット操作技能の定量化技術を用いた技能習得に関する研究

要介護高齢者の増加と介護人材の不足が深刻化する中、介護ロボットや福祉機器の活用は重要な施策として位置づけられている。これらの機器は、介助を受ける側の安全性・快適性を確保するとともに、介護者の身体的負担を軽減することを目的に開発・導入が進められている。しかし、福祉用具の普及が進んでいる現場でも、依然として腰痛などの身体的負担が報告されており、機

器の取り扱い方法や設置環境、空間条件などが十分に最適化されていない現状が指摘されている。本ミッションでは昨年度までに、介護ロボットの活用場面における取り回し空間と技能の関係性を定量的・定性的に評価を行った。その結果、作業姿勢への影響は使用する機器と被介護者に加えて、これらの位置関係による空間適応的技能の現れとして解釈でき、熟練者は画一的な手順ではなく、状況に応じて身体的負荷を最小化するよう動作を調整していることが明らかとなった。これらの知見を踏まえ、令和7年度は兵庫県におけるノーリフティングケア実技研修の中でも、「床走行式リフトを用いた車椅子からベッドへの移乗」場面に着目し、受講者を対象に、バイオフィードバックシステムを開発・試用した。

5.1 バイオフィードバックシステム

5.1.1 システムの概要

加速度センサ及びジャイロセンサを搭載したM 5 Stack Fire (M 5 Stack社製)を用い、サンプリング周波数100Hzにてデータを取得した。昨年度の計測で得られた熟練者14人の介助動作における仙骨部の動きを基準とし、「熟練者の平均最大値+ 2標準偏差」を閾値として設定した(図8左)。この閾値を超えた動作が検知された場合、振動・音・ディスプレイ表示によりリアルタイムでフィードバックを行う仕組みとした。



図8 フィードバックシステム(左)と計測場面(右)

この閾値を超えた動作が検知された場合、振動・音・ディスプレイ表示によりリアルタイムでフィードバックを行う仕組みとした。

5.1.2 評価

研修受講者の仙骨部に本システムを装着し、自身の姿勢や動作を確認しながら熟練者の動作を模倣・習得できるよう実施した(図8右)。本システムを用いたトレーニング前後の比較の典型例を図9に示す。この参加者は、スリング装着時、床走行式リフトからベッドへの移乗、ベッド上でのスリング操作(スリングの取り外し)場面において不良姿勢が改善した。本研究成果の一部は、第39回リハ工学カンファレンスにて報告した。

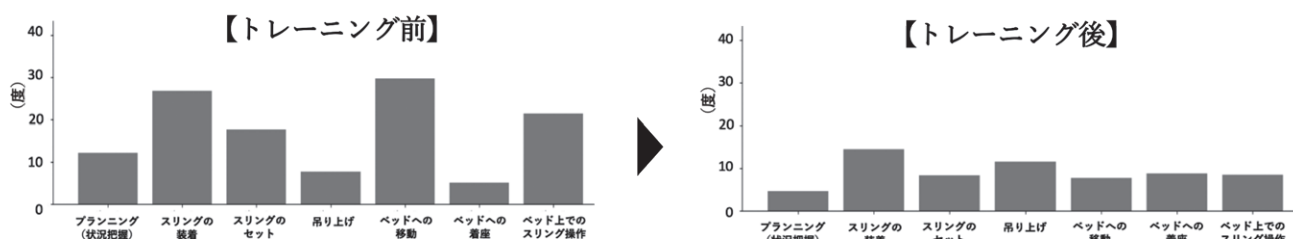


図9 バイオフィードバックを用いた研修における腰部前屈角度の前後比較の例 (n = 1)

5.1.3 自己チェックシート

これまで熟練者の技能は、文章等で紹介されることはあったが、習得度を系統的にセルフモニタリングできる仕組みは不足していた。令和6年度に実施した熟練者への半構造化面接により、熟練者の動作特性や判断プロセスを抽出・分析し、技能要素として整理した。まず、身体の動きを特徴づける7つのフェーズについて、それぞれの要素を文章化した。その後、熟練者による表現確認および修正を経て、自己評価をVAS (Visual Analog Scale) で行う形式の自己チェックシートを開発した(図10)。

今後は、バイオフィードバックシステムによる定量的評価と本チェックシートを組み合わせ、熟練者技能の要点を整理したセルフモニタリング可能な手法として、ノーリフティングケア研修受講者を対象とした実証評価を行い、研修効果の測定を進める予定である。

床走行式リフト操作技能 自己評価

本評価は、床走行式リフト介助時における利用者の安全・快適性と介助者の身体負担軽減を両立するための熟練技能から抽出した技能要素を自己評価するものです。各項目について、0～10（0＝全くできない、10＝常にできる）の横線上に、現在ご自身の自己評価に最もあてはまる位置に×印をご記入ください。

フェーズ1：プランニング（状況把握）

1. 利用者の座位能力・介助量を正確に判断できる
0 10 常にできる
全くできない
2. 介助開始時のベッド・リフト・車椅子の位置関係を最適化できる
0 10 常にできる
全くできない
3. 作業空間を適切に確保し、自分の立ち位置を決定できる
0 10 常にできる
全くできない
4. 声かけで協働動作を促し、本人の能力を活用できる
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ2：スリングの装着

5. 尾骨や背柱正中位置を意識し、正確にスリングを敷き込める
0 10 常にできる
全くできない
6. 膝立ち・下肢活用で安定したスリング装着時の姿勢を確保できる
0 10 常にできる
全くできない
7. 安定した姿勢でフットサポートや靴を安全に外すなど、作業をまとめることができる
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ3：リフトの移動・ハンガーへのスリングのセット

8. 利用者の不安に配慮しながらハンガー位置を適切に調整し、ストラップを確実にセットできる
0 10 常にできる
全くできない
9. 立ち位置や操作順序を工夫して無理なリーチを避けられる
0 10 常にできる
全くできない
10. 利用者・車椅子・リフトとの位置関係を最適に保つことができる
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ4：吊り上げ

11. スリングと皮膚の摩擦や接触リスクを最小化できる
0 10 常にできる
全くできない
12. ブレーキ管理と揺れ防止を確実に実行できる
0 10 常にできる
全くできない
13. スリングの引っかかりや、ハンガーフックからストラップが外れていないかを確認できる
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ5：リフト操作によるベッドへの移動

14. キャスター性能による軌跡やリフト重心の特性を理解し、効率的に操作ができる
0 10 常にできる
全くできない
15. 「持ち上げない」動作で足を引き出すなど、ベッド上に移動する際の負担を軽減できる
0 10 常にできる
全くできない
16. 踵など、リスク部位への摩擦やずれを最小限に抑える対応ができる
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ6：リフト操作によるベッドへの着座

17. 安定した姿勢で精度高くベッドに着座させられる
0 10 常にできる
全くできない
18. ハンガーフックからのストラップ取り外しを、無理な姿勢をとることなく行える
0 10 常にできる
全くできない

フェーズ7：ベッド上でのスリング操作

19. 本人の能力や身体構造を活かした寝返りを介助できる
0 10 常にできる
全くできない
20. スリングを効率よくまとめ、皮膚へのストレスを与えずに抜くことができる
0 10 常にできる
全くできない

図 10 自己チェックシート

6 おわりに

LiDARを使用した見取り図作成は、手作業で行っていた従来手法と比較し、簡便かつ高精度に行えることが明らかになった。それに加えて、IMUと位置情報を組み合わせることでユーザの動作を高精度に認識できるシステムの基盤技術も開発した。令和8年度はこれらの技術の統合を図り、住環境におけるライフログ取得システムの開発を進める。また令和6年度から実施していたフレイル評価椅子を用いたフレイル予防事業及び介護ロボット操作技能の技能習得支援に関する有効性を示すことができた。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) 浦橋久美子, 鈴木晃. 在宅ケアにおける対象者の生活把握の方法としての見取り図採取の効果. 保健婦雑誌. 1998;54 (6) : 492-499.