

## (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

### 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。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。

本年度は、立ち上がり方からフレイルのリスクを推定する運動機能評価システムを日常生活場面で使用してもらえるよう用途に合わせた椅子形状の検討や解析・表示プログラムの改良を行った。それに加えて、このシステムの応用としてトイレ版や離床センサの試作も行った。また間取りによる介護ロボット使用時の作業負荷について検討を行った。最後に、地域に在住の障害者の環境整備における困りごとに関して聞き取り調査を行い、情報の整理を行った。

### 2 立ち上がり方からフレイルのリスクを推定する運動機能評価システムの開発

一般的にフレイルの評価は、質問紙や計測機器を使用することにより行われる。したがって、日常生活場面において定期的に実施することが困難である。このような課題に対し、昨年度から椅子型の運動機能評価システム（以下、フレイル評価椅子）の開発を進めている。本年度は、①継続使用を想定したシステム改良、②日常生活場面への適用に向けた改良、③測距センサによる計測方法を応用した離床センサシステムの開発、を実施した。合わせて、④事業化および自治体との実践の検討も進めた。

#### 2.1 継続使用を想定したシステム改良

##### ① 計測結果の5段階表示

昨年度開発した椅子の結果表示は、機械学習モデルを使用して2段階で分類したものを用いていた<sup>1)</sup>。しかしながら、この方法では利用者が自発的に計測を継続するためのモチベーション向上、および計測結果に応じた細やかなフィードバック（例えば、軽度のフレイルであれば日々の運動、重度のフレイルであれば適切な支援機関の紹介など）ができない。今年度はこれらを行いやすくするために、結果表示を5段階に拡張した。計測結果をより直感的に理解できるよう視覚的に表示するよう改良した（図1）。



図1 計測結果の表示

## ② 新たな椅子形状の検討

昨年度製作したフレイル評価椅子は計測会での使用を想定し、搬入時の可搬性と設置後の安定性（椅子の重量を重くして不要な振動などを押さえる構造）を重視していた。しかし、このフレイル評価椅子はユーザが日常生活場面でフレイル評価を行うことを目指している。そこで、今年度は家庭向け・公共施設向けと2種類の場面での使用を想定し、各場面に適した形状の検討を進めた。

家庭向けフレイル評価椅子（図2左）は、使用頻度が高いと想定される食卓椅子を活用した。座面の高さと測距センサの設置仕様は、計測会用フレイル評価椅子と等しくなるよう製作した。

公共施設向けフレイル評価椅子（図2右）は、通りかかった人が気づきやすいよう誘目性を高めるとともに、表側の画面を一つだけにしたシンプルな構成、手をついても壊れない強度、計測の際にもたれ掛けかりにくい垂直な背もたれ形状、軽すぎない重量、などをコンセプトとして試作を進めた。



図2 椅子形状の検討(左:家庭向け、右:公共施設向け)

## 2.2 日常生活場面への適用に向けた改良 一トイレ便座への計測システム適用検討一

近年、家庭で簡単に使用できるICT機器を通じて、身体的な衰えを手軽に測定できるシステムへの需要が高まっている。しかし、機器の生活空間への適合が不十分なため、ICT機器の普及が阻害されている。この問題を解決するためには、家具や室内に溶け込むセンサを備えたデバイスの開発が必要である。これにより、日常生活活動に支障を来さずに測定が可能となる。そこで、昨年度開発した計測会用フレイル評価椅子を日常生活場面への適用できるよう応用し、トイレの便座にセンサを取り付けたものを作製した。トイレは、立ち上がり動作が頻回に行われ、家庭内での利用頻度が高く、常時電源が利用可能である。これらの特性をいかして、日常生活場面で立ち上がり動作を利用した運動機能評価が行えると考えた。

### ① 便座特有の形状により規定されるセンサ取り付け位置・角度に関する検討

便座においてセンサを取り付け可能な場所は、便座内と便座フタまたはトイレタンクがある。今回は、便座の便座フタの2か所に測距センサとマイコンを取り付けた。便座におけるセンサの取り付け位置は、通常と椅子とは異なり、座面形状や厚み、背面フタの大きさと角度により影響を受ける。今回、便座センサの取り付け位置は便座の縦中心線からのオフセット寸法と背中の測距センサを垂直に下した位置から座面センサ位置までの長さを計測して設置した。便座の場合、計測会用フレイル評価椅子と比して背中センサは90mm低く、30mm奥に離れて取り付けられ、10度の上向き角度をつけて設置する必要があった。また、便座のセンサは、計測会用フレイル評価椅子の座面センサ位置より40mm外側に変位した位置となった（図3）。



図3 製作したセンサ付測定便座

## ② センサ位置と角度の差異による計測結果への影響の検証

開発したセンサ付き便座の妥当性を確認するために、センサ付き便座のセンサ配置と計測会用フレイル評価椅子のセンサ配置の両方を組み込み可能な検証用椅子を用いて計測を行った。計測は、トイレベースを再現せず開放空間で実施した。

計測された距離データから、先行研究で用いたアルゴリズムを使用して大腿と水平面の角度（大腿角度）と、体幹と垂直面の角度（体幹角度）を算出した。センサ付き便座と計測会用フレイル評価椅子のセンサ配置により得られた大腿と体幹角度の時系列データの類似度を相関係数を用いて分析した。体幹角度は体幹が屈曲する屈曲相と伸展する伸展相に分けて分析を行った。

結果を表1に示す。大腿角度と体幹角度ともにセンサ付き便座と計測会用フレイル評価椅子で得られた角度の間に強い相関があった。特に、体幹角度は屈曲相において伸展相より強い相関を示した。よって、計測会用フレイル評価椅子の手法を応用したトイレ便座特有のセンサ位置においても計測会用フレイル評価椅子と同様にユーザの立ち上がりを評価できることが示唆された。

表1 センサ付き便座と計測会用フレイル評価椅子により得られた角度の相関係数

大腿角度	体幹角度		
	全体	屈曲相	伸展相
0.998	0.929	0.999	0.910

## 2.3 離床センサシステムの開発

高齢者施設での介助や見守り対象の一つに転倒転落がある。当事業団の運営する高齢者施設職員から、「見守り機器活用で個室のヒヤリハットは減少しているが、共有空間での転倒転落に困っている」という現場のニーズを得た。高齢者施設の共有空間には、職員の目が届きにくい場面がある、誰がどの椅子に座るのか決まっておらず見守り機器を活用しづらい、といった特徴がある。そのため、職員の気づかないうちに見守り対象者が共有空間にやってきて椅子に座って立ち上がりろうとして転倒してしまう。また、従来製品は立ち上がり時に臀部が座面から離れると警告をするものがほとんどである。転倒を予防するためには、立ち上がり動作が始まったタイミングでなるべく早く警告する必要がある。このような課題に対し、フレイル評価椅子で用いられた「測距センサによる立ち上がり動作の計測」手法を離床センサに応用できるのではないかと考え、離床センサシステムを試作し、高齢者施設職員への聞き取り調査を実施した。

試作システムを図4に示す。測距センサは、背面の1個とし、座る椅子やソファの背もたれに引っかけて上半身の動きを計測する方式とした。背もたれは傾斜がついていることが多いため、ケース内で測距センサが常に垂直になるよう振り子機構を設けて取り付けた。



図4 試作した離床センサシステム

次に、着座した人を識別するため、見守り対象者に「タグ」を持ってもらい、特定のタグを検知したときに計測を開始する仕様とした。使用したタグは、HF帯RFIDタグ（M 5 Stack用 WS1850S搭載RFID 2ユニット）を採用した。

立ち上がりの通知は、立ち上がりの予備動作を検知すると発報1、離席を検知すると発報2、の2段階で行うこととした。なお、試作システムの着座、立ち上がりの予備動作、および離席を判定する閾値は、それぞれ昨年度フレイル評価椅子を使用して計測した高齢者の立ち上がりデータをもとに開発担当者が任意に設定した。立ち上がりの予備動作判定の閾値を最適化することで、食事動作などの上半身の動作に反応せず、立ち上がり動作に反応することが可能になった。

試作システムをもとに、高齢者施設職員（特別養護老人ホーム万寿の家の各ユニットリーダを中心に7名）に聞き取りを実施した。特に、既存の座面設置型センサと棲み分けできる可能性があること、RFIDタグを用いた個人認証についてはより通信距離の長い方式が望まれることが確認できたので、今後の開発に活かしたい。

## 2.4 事業化および自治体との実証評価の検討

今年度は、国際フロンティア産業メッセ（2023年9月、神戸国際展示場）や国際福祉機器展（2023年9月、東京ビッグサイト）にフレイル評価椅子のデモ機を展示して情報発信を行った。また、新たなパートナー企業の募集など事業化の検討を進めた。来年度は、これまで計測会を実施してきた播磨町と共同で公共施設向けフレイル評価椅子（図2右）を使用して“フレイル評価椅子を活用したフレイル予防”という観点で実証評価を行う予定である。

## 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

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と介護者の双方にとって、安全かつ安心なケアを提供するための有力な手段となる。厚生労働省は、人口減少に伴う介護サービスの維持と人材確保の対処策として、介護ロボット等の活用を推進している<sup>2)</sup>。しかしながら、今後の活用が見込まれる在宅や小規模施設での間取を想定した介護ロボットの適用や運用の整理は未だ十分とは言い難い。そこで本研究では、介護ロボット等を用いた際の介助者の作業姿勢に着目し、間取による空間条件との関係について検証を行った。

### 3.1 介護ロボット等取り回し空間の設定・作業姿勢の計測

本研究では、身体的負担が大きいとされる「トイレでの脱衣介助」の下衣操作時の作業姿勢に着目した。計測は、遮蔽空間での計測が可能な慣性式モーションキャプチャを用いた。体幹角度として骨盤に対する胸郭の相対角度を算出した。計測環境は、一般住戸や小規模施設のトイレ面積を想定した、0.75坪、0.5坪の間取を対象とした。さらに、側方からのアプローチが可能な間取の場合、0.5坪では、3枚引き戸等で開口を広げる建築的改善手段も考えられるため、これを合わせた合計3種類の間取条件下とした。計測に用いる介護ロボットは、前方サポート型の移乗支援機器（Fuji：移乗サポートロボットHug. T1）を採用した。被介護者役の身体機能状態は、テクノエイド協会による簡易移乗介助選択シートに基づき、「座位を保つことやお尻を左右に傾けることはできる体重が重たい（介助負担が大きい）場合」を想定した<sup>3)</sup>。

### 3.2 空間条件・熟達度による作業姿勢の特徴

間取による空間条件と熟達度による作業姿勢との関係を図5に示す。熟達者の作業姿勢は間取による影響が少なかった。それに対して、初心者の作業姿勢の特徴は、前屈姿勢は空間が狭い0.5坪にて最小となる傾向が見られた（図5左）。反対に、側屈、回旋姿勢は、空間が狭い0.5坪において角度が増加する傾向が確認された（図5中央、右）。

作業姿勢に着目した計測結果から、0.5坪の狭小空間であっても、3枚引き戸等開口拡幅の建築的手段を用いることで、0.75坪と遜色のない介護ロボットの取り回し空間を再現できる可能性が示唆された。一方、空間的に余裕があっても一部の初心者には過度な前傾姿勢をとる傾向が確認され、介護ロボットを用いた介助動作の冗長性も伺うことができた。熟達者は、不良姿勢を取らないための立ち位置や、介護ロボット操作時の工夫が見られたことからも（図6）、空間的な要素に加え、環境に応じた介護ロボット等活用技術習得のための技能要素の検討と、これへの効果的な支援も併せて検討する必要があることが示唆された。

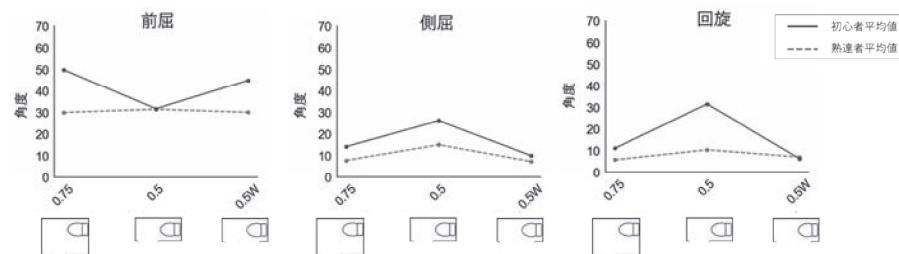


図5 空間条件と熟達度による作業姿勢の特徴。角度は試行内の最大値を抽出した。

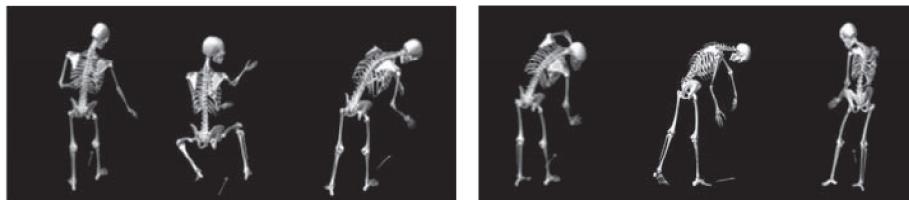


図6 空間条件と熟達度による作業姿勢との関係(左:熟達者、右:初心者)

#### 4 住環境整備支援における支援者の困りごとに関する調査

地域に在住する障害者の高齢化に伴い、高齢障害者の生活支援に対するニーズが高まっている。一方で、高齢障害者の住環境整備の質は、高齢障害者が抱える困りごとの実態や役に立つ技術が未整理なため、支援者個人の能力に依存しているのが現状である。そこで本研究では、高齢障害者の住環境整備支援における困りごとの特徴を明らかにすることを目的とし、その特徴について検討を行った。

##### 4.1 困りごとの抽出と分類

在宅在住の高齢障害者を支援する8名のセラピスト（理学療法士：6名、作業療法士：2名）を対象に、「住環境整備支援における困りごと」に関する半構造インタビューを行った。逐語録データを元とした形態素解析により、困りごとに関する出現語の特徴を確認した（図7）。続いて、語の使われ方に着目した困りごとを検討するため、階層的クラスター分析により困りごとをカテゴリー化し、インタビューより抽出された具体的な項目を対応させた。その結果、住環境整備支援において訪問セラピストが抱える8つのカテゴリーとこれに対応する55項目の困りごとが抽出された（図8）。

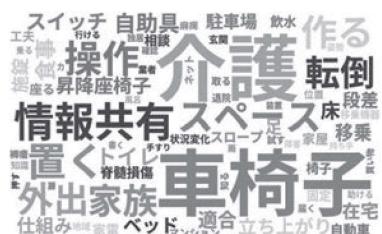


図7 困りごとに関する語の出現傾向

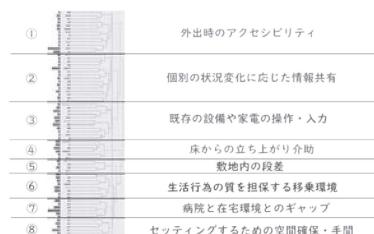


図8 階層クラスター分析の結果

## 4.2 直接支援・間接支援者間における困りの認識差

直接支援に従事するセラピスト（6名）、間接支援/指導等に関わるセラピスト（6名）の2群を対象に、各項目に対する困りの認識の程度を10件法で尋ね、中央値と四分位範囲を比較した。全55項目の困りごとのうち、移動や移乗、ICT支援を中心とした18項目については2群間の困りの程度に30%以上の乖離があり、いずれも直接支援に関わるセラピストにおいてその認識は深刻であった（表2）。住環境整備支援の困りに対する群間の認識差は、直接支援に関わるセラピストへの情報や技術的サポート提供の必要性を示している可能性がある。本調査で抽出された事項に対し、在宅にて住環境整備支援を提供する上での具体的な課題や技術的要素の開発による改善の可能性など、引き続き検討する必要があると考える。

表2 直接支援者と間接支援/指導者との間に認識差が認められた困りごと（※該当項目のみを抜粋）

カテゴリ	項目
外出時のアクセシビリティに関するニーズ (外出時のアクセシビリティ)	車椅子や歩行器を使って外出する際、必要なものを効率的に持ち運ぶ方法
玄関から公道(敷地内での)へのアクセスに関するニーズ (敷地内の段差)	敷地内にある大きな段差や、階段などの複数の段差を超える方法
屋内での転倒・転落に関するニーズ (床からの立ち上がり介助)	転倒した際に、床からの立ち上がりを補助する方法
様々な生活場面での移乗に関するニーズ (生活行為の質を担保する移乗環境)	おむつ交換などのベッド上ケア時に、体位保持を補助し、介助者の身体的負担を軽減する方法 安全に車の乗降ができるよう、シートへの移乗を補助する方法
情報の共有・活用、コミュニケーションに関するニーズ (個別の状況変化に応じた情報共有)	独居高齢者の安否確認と見守りの方法 適切なサービスを利用するため、介護保険や社会保障制度の理解を助ける方法 在宅でICTを活用した環境を整備するための方法
家庭用品や設備に関するニーズ (既存の設備や家電の操作・入力)	上肢の不自由によりスイッチを直接操作できない高齢障害者が、家電を活用する方法 上肢に不自由があっても、外出する際に一歩で簡単に施錠・解錠できる方法 車椅子ユーザーや歩行が不安定な高齢障害者が、一人でも安全に扉を開閉し通過できる方法 上肢に不自由であっても、家電をより使いやすくなるためのレイアウトや設置の方法
病棟と在宅環境とのギャップによって生じるニーズ (病院と在宅環境とのギャップ)	入院中に、住宅改修や空間に適した福祉用具を検討するため、より正確な在宅環境の情報を取得する方法 車椅子ユーザーが、褥瘡の発生リスクを管理できるよう、生活などのタイミングで皮膚ストレスが生じているかを把握する方法 退院後も塩分摂取量や栄養の管理を補助する方法 家族・本人双方にとって、心理的な負担が少ない夜間のトイレ環境を整備する方法 在宅の限られた環境で、ベッド上のケアや体位変換時の身体的負担を最小限にする方法 一人での服薬管理に不安がある高齢者が、薬を飲み忘れないよう、適切なタイミングで服薬を促す方法
持続可能な環境設定や管理、運用に関するニーズ (セッティングするための空間確保・手間)	飲水スリーパーやスイッチなど、介助者に確実な設定をしてもらえるよう、適切な位置に道具を固定する方法 スマートフォンやタブレットを操作するために、車椅子フレームにデバイスを固定する方法

## 5 おわりに

本年度は、フレイル評価椅子の実用化に向けて、使用用途に合わせて家庭用と公共施設用の開発を行った。これらの椅子を活用した実証を自治体と協力して来年度から開始できるよう準備を開始した。さらに、その応用としてトイレ版や離床センサの試作も行い妥当性の検証やテストを行った。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ーの身体負担の違いを検証し、特に初心者は間取りにより身体負荷が増加することが明らかになった。それに加えて、在宅で生活されている障害者の環境整備支援の困りごとを聴取した結果、機器導入やそのアクセシビリティ、情報共有の手法などにニーズを抱えていることがわかった。

今後は、フレイル評価椅子の活用による効果を自治体と協力して明らかにしていく。また在宅生活におけるニーズや機器導入の障壁に対して、これらの問題点を解決できるシステムの開発や解決策を提案できるようにしていく。

なお、本研究の一部は科研費22K04466と23K16508の助成を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) 陳隆明, et al. 身体的フレイルを評価する新しいシステムの開発. 総合リハビリテーション. 2023;51(9):995-998.
- 2) 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 2024年1月23日]. Available from: [http://www.mhlw.go.jp/content/12300000/Seisansei\\_kyotaku\\_Guide.pdf](http://www.mhlw.go.jp/content/12300000/Seisansei_kyotaku_Guide.pdf).
- 3) テクノエイド協会. 初めてのスタンディングリフト. 福祉用具シリーズVol23 [Internet]. [参照 2024年1月23日]. Available from: <https://www.techno-aids.or.jp/research/vol23.pdf>.