

## 1 受託研究推進状況

### (1) モーションパラメータを活用したAI技術開発

戸田晴貴 立川正真 開発学人 大森清博 福井克也

#### 1 はじめに

日本における65歳以上の高齢者が人口に占める割合である高齢化率は、令和4年時点で29.0%となつた<sup>1)</sup>。全ての人が健康で活動的な生活をより長く維持するためには、高齢者の健康寿命を延伸し要介護状態の期間をできるだけ短縮する必要がある。高齢者が要介護状態となる要因として代表的なものに、脳血管疾患や転倒による骨折がある<sup>1)</sup>。これらの疾患は、発症により急激に機能低下を起こす。一方で、加齢による衰弱、関節疾患や認知症<sup>1)</sup>は徐々に機能低下が進行する。したがって、身体機能や認知機能の低下を早期に発見し、適切な介入を行うことで健康な状態に戻すことが重要となる。そこで我々は、Robot技術を活用した健康増進を実現する仕組みとしてRoboWELL®という取り組みを行っている。図1は、RoboWELL®を活用した評価装置と運動支援のスキームを示している。評価装置を使用して身体機能の衰え（以下、フレイル）や認知機能低下のリスクを測定し、研究所が考案したRoboWELL®体操を用いて継続した運動を行いながら評価の維持、改善に取り組むことで、成果を実感していただきポジティブな循環を促し健康維持を図る。

本年度はRoboWELL®の取り組みとして、これまでに研究を進めてきたフレイル判定を支援する杖、反応時間を評価するゲーム「おとさんぽ」に関するデータ計測と改良を行った。さらに、本年度に新たに行われた擬似タッチパネルを用いた認知機能評価システムの開発を行つた。また、運動支援として提供しているRoboWELL®体操の広報も行ったので活用状況についても報告する。

## 2 RoboWELL® を活用したアプローチ

### 2.1 フレイル判定支援杖

T字杖は、高齢者や下肢に障害がある人が使用する頻度の高い歩行補助具の一つである。杖の使い方の特徴は、ユーザの歩行能力を反映している<sup>2)</sup>。日常的に使用されることの多い補助具である杖に装着したセンサの情報からフレイルを評価することができれば、ユーザ自身にセンサを取り付けることなく簡便に評価が可能になる。また屋外歩行など様々な場面での歩行の評価を実現する。

#### 2.1.1 システム構成

T字杖に小型のマイコン（M5StickC Plus）を取り付けているだけの構成となっている（図2）。

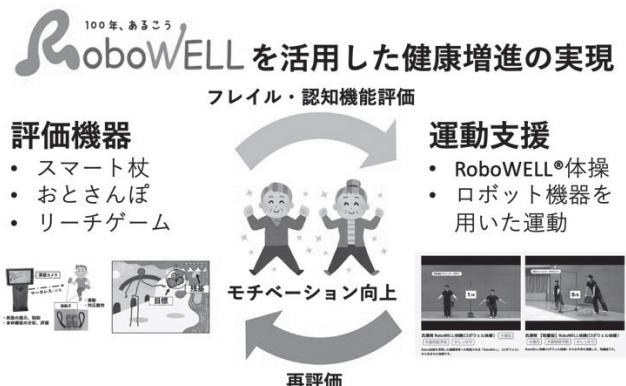


図1 RoboWELL® を活用した取り組みの概要



図2 フレイル判定支援杖

このマイコンに内蔵された慣性計測装置（Inertial Measurement Unit; IMU）を使用して、ユーザの杖使用中の加速度と角速度を計測し、加速度と角速度の大きさ、加速度の周波数特性、杖を付く時間間隔を算出する。それらの結果をもとに、機械学習を用いたアルゴリズムを用いてフレイルリスクの有無をマイコンの画面上に表示することができる。

### 2.1.2 評価結果

今年度は、機械学習を用いたフレイル予測アルゴリズム構築のために、リハビリテーション中央病院と連携し変形性関節症患者20名と地域在住高齢者48名を対象に計測を行った。計測は、5mの直線歩行路で普段通り杖についてもらひながら歩きやすい速度で歩行してもらった。併せて、フレイル基本チェックリストの評価も行った。チェックリストの内、身体機能に関わる5項目のうち3項目以上に該当したものをフレイルありと判定した。

杖に装着した加速度、角速度データからフレイルリスク有無を予測するために機械学習モデルの一つである決定木を使用した。その結果、精度74.4%、感度65.7%、特異度79.3%で分類できることができた。本システムに関しては、今年度特許を取得した（特許 7455263）。

## 2.2 反応時間評価ゲーム“おとさんぽ”

反応時間評価ゲーム“おとさんぽ”は、複数の感覚刺激に対する反応の衰えを評価するシステムである<sup>3,4)</sup>。高齢者は加齢により運動機能だけでなく、情報処理能力や注意機能が低下し、転倒リスクが増大する<sup>5)</sup>。それに伴い、感覚刺激に対する反応も低下する。既存の評価システムは、単一の感覚刺激に対する反応時間を評価しているものが多い<sup>6)</sup>。しかし、日常生活では複数の感覚情報に同時に反応する必要がある。そのため、“おとさんぽ”はランダムな順序で視覚、聴覚、触覚に刺激を提示し、対応する動作を実施するまでの時間を計測できるシステムとした。本年度は、開発したシステムを用いて年代別に各感覚刺激に対する反応時間の特徴を評価した。

### 2.2.1 システム構成

システムの概要を図3に示す。対象者は、無線の触覚提示用ユニットを両手に把持した状態で、深度カメラから2～3mの距離に位置して測定を行う。測定開始後、ランダムな順序で「右」「左」を意味する視覚、聴覚、触覚刺激を提示する。

- ・視覚刺激：「右」「左」と書かれた赤い四角形を画面上に表示
- ・聴覚刺激：「右」「左」という音声を再生
- ・触覚刺激：右手、左手に把持した触覚提示用ユニットを振動

対象者は、刺激を認知したらできるだけ早く対応する側の手を挙上する。刺激を提示してから手関節が頭の上に到達するまでの時間を反応時間として算出する。また、反応時間の測定は提示から2秒間までとし、それ以降は失敗と判定する。

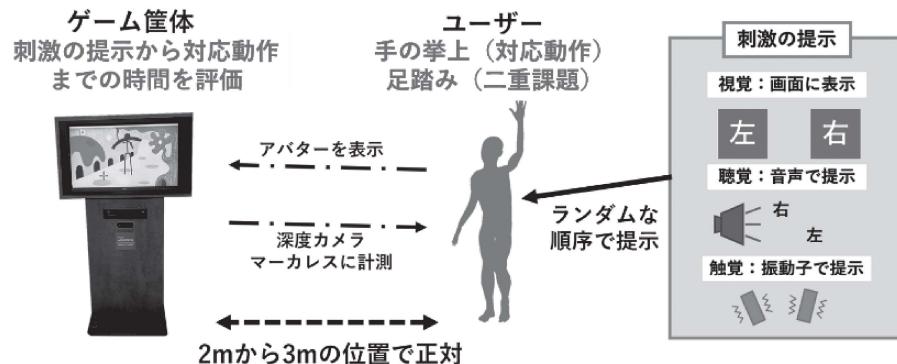


図3 反応時間評価システム  
“おとさんぽ”の構成

## 2.2.2 評価方法

このシステムを使用して、健常な20歳代から70歳代のリハビリテーションセンタースタッフおよびしあわせの村シルバーカレッジの学生合わせて138名を対象に計測を実施した。1回の測定につき、各感覚刺激を3回ずつ3秒ごとにランダムな順番で提示した。測定時間は、計30秒であった。高齢者は事前に音声が聴こえているか十分な確認を行い、必要があればヘッドセットを用いて計測した。反応時間の評価は、年齢を10歳ごとに区分し平均と標準偏差を算出した。課題の成功率も同様に、10歳ごとに区分し平均を算出した。

さらに、得られた反応時間から年齢に対する影響の大きい特徴量を抽出するため、機械学習手法の1つであるランダムフォレストを用いて若年群（20-30代）、中年群（40-50代）、高齢群（60代以降）の3クラス分類を実施した。それに加えて、中年群のデータが分類に及ぼす影響を検討するために、中年群を除いた若年群と高齢群の2クラス分類についても評価した。各感覚刺激に対する反応時間を説明変数とし、年代を目的変数とした。

## 2.2.3 結果

各年代における各感覚の反応時間を図4に、成功率を図5に示す。加齢に伴い、全ての感覚刺激に対して反応時間が延長し、成功率が低下する傾向にあった。特に、聴覚刺激に対する反応は、50代以降顕著に低下した。聴覚は他の刺激と比較した時、時間分解能など認知するために必要な機能が多い。したがって、加齢による反応の低下が顕著にみられたと推測した。

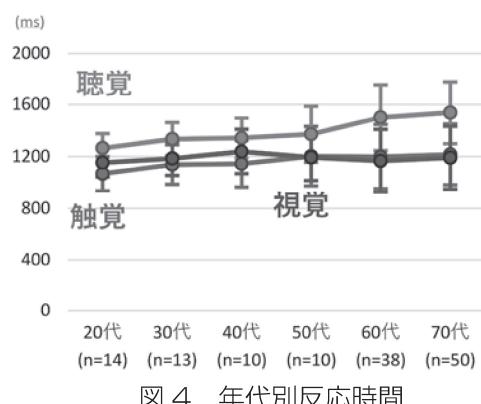


図4 年代別反応時間

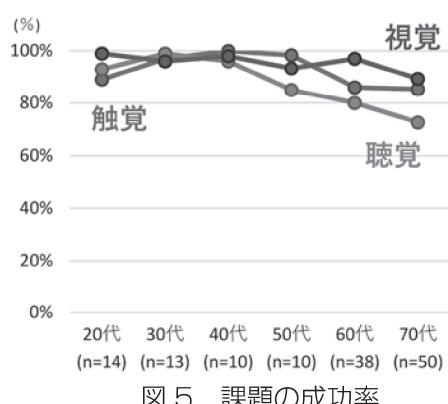


図5 課題の成功率

ランダムフォレストによる機械学習の結果を表1に示す。その結果、若年群、中年群、高齢群のクラス分類の分類精度は61.3%であった（表1(a)）。一方で、中年群を除いた若年群と高齢群の2クラス分類では分類精度85.2%となり、3クラス分類と比較して分類精度が向上した（表1(b)）。3クラス分類の説明変数の重要度を算出したところ聴覚の影響が最も大きく41.1%という結果が得られた。一方で、視覚、触覚刺激に対する反応時間の加齢変化は僅かではあったが、機械学習の分類では視覚、触覚刺激の重要度も小さくなかった。そのため、反応時間の加齢変化を評価するためには、聴覚刺激のみではなく視覚や触覚を含めた複数の刺激に対する反応時間の評価が重要であると示唆された。本研究の成果は、第24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（SI2023）にて報告した<sup>7)</sup>。

表1 ランダムフォレストによる分類の結果

(a) 3 クラス分類

	若年群	中年群	高齢群
感度 (%)	50.0	20.0	82.3
適合率 (%)	60.0	12.5	87.5
F 値	0.55	0.15	0.67

(b) 2 クラス分類

感度 (%)	71.4
特異度 (%)	100.0
F 値	0.83

## 2.3 擬似タッチパネルを用いた視覚探索課題中の上肢運動計測システム

近年、日本では高齢化が進んでおり、認知症の高齢者も増加しており、それに伴い認知症の前段階である軽度認知障害（MCI：Mild Cognitive Impairment）を有する高齢者も増加している。認知症への進行を予防するには、MCIの早期発見が重要である。MCI患者は、認知機能の低下に加えて認知課題中の上肢の協調性<sup>8)</sup>やバランス能力の低下<sup>9)</sup>を有している。本研究では、運動計測ができる擬似的なタッチパネル型システムを構築して、高齢者やMCI患者の課題遂行能力だけでなく上肢の協調性やバランス能力を含めた統合的な評価を行うことができるシステムの開発を目指す。今年度は、大型のスクリーンに実現した擬似的なタッチパネルに表示された数字やひらがなを順番に手で触れて取得する視覚探索課題中の上肢運動を計測できるシステムの開発を行った。

### 2.3.1 擬似タッチパネル式上肢運動計測システム

図6に擬似タッチパネル式上肢運動計測システムの概要を示す。このシステムのパネルは、タッチセンサは付いておらず、乳半色の大型のアクリル板を用いている。映像は、パネル背面に設置してある短焦点プロジェクタにより投影している。深度カメラを上部に取り付け、画面の中央の位置に立った人の両手の三次元座標を取得し、そのうちの二次元成分を画面内で使用することにより擬似的にタッチ操作を可能にしている。筐体も上部と下部で切り離すことができ、上部のスクリーンは中央で、下部も小さく折りたたむことが可能になっており、持ち運ぶことが可能である。

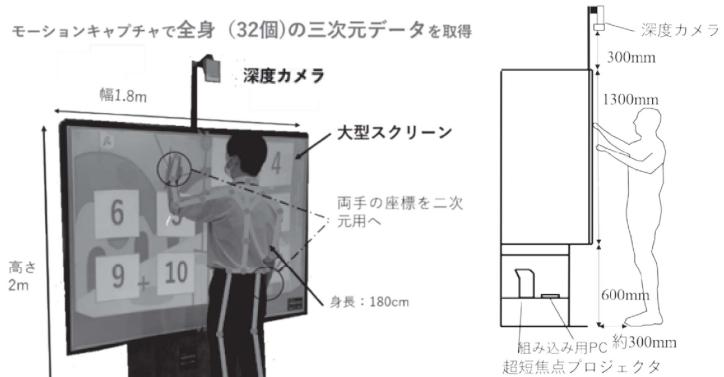


図6 擬似タッチパネル式上肢運動計測システムの概要

### 2.3.2 実験

開発したシステムを使用して、若年者と高齢者で表示する課題の内容によって所要時間の差異が認められるか検証するため、研究所内の若年者4名と高齢者1名で予備実験を行った。課題は、Trail Making Test (TMT) という神経心理学検査を参考にして作成した。TMTは、用紙に書かれた数やアルファベットを順序通りにペンを用いて繋げる視覚探索を用いた検査であり、ワーキングメモリや反応抑制、反応の切り替えを含む多数の能力の評価が可能である。課題の内容は、TMT日本語版を参考に数のみと数+ひらがなの2種類を設定した。一般的にTMTの表示の総数は25個である。本研究では、課題の提示手法として、一面に12個提示し全て取得し終えると、もう一面に続きの12個を提示する提示手法1と一面に5個ずつ一定数継続して提示し続ける提示手法2の2種類を定めた。

各課題の取得順序は、

数のみ : 1 → 2 → 3 → 4 → … → 21 → 22 → 23 → 24

数+ひらがな : 1 → あ → 2 → い → … → 11 → さ → 12 → し

とした。

これらの提示手法における画面表示の例を図7に示す。課題の数や文字の配置は、提示手法の範囲内でランダムとした。対象者間でタスクの取得方法に差が出ないよう、対象者には、画面の右半分は右手で、左半分は左手で課題に触れるように指示を与えた。対象者全員が課題を視認できること、足を踏み出すことなくすべての目標に両手が到達することを確認して実験を行った。

本システムでは、取得順における目標タスク以外は取得不可とした。また、被験者が目標以外に触れ続けている場合は、間違いを指摘した。

### 2.3.3 結果

若年者と高齢者の各提示方法における所要時間の結果を図8に示す。高齢者は、両方の提示手法において、数+ひらがなの所要時間が数のみに比べて長かった。これは、数+ひらがなを含めた認知課題がTMTと同様に高齢者にとって難易度が高かったためである。加えて、高齢者は提示手法1において数のみ、数+ひらがなの両方の課題内容で若年者の約2倍程度所要時間が長くなっている。提示手法1と2を比較した時、提示手法1において所要時間が長くなっていた。この理由として、提示手法1は提示数が多く視覚探索の難易度が高かったことと、一面のタスクを取得し終わると表示が一斉に切り替わるため最後に取得した数や文字を短期記憶しておく必要があること、が考えられる。これらの結果から、提示手法1における数+ひらがなが組み合わさった課題で高齢者にとって難易度が高くなり、若年者と高齢者で差が生じやすくなる傾向が認められた。本研究の成果は、第24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（SI2023）にて報告した<sup>10)</sup>。



図7 提示手法と課題内容

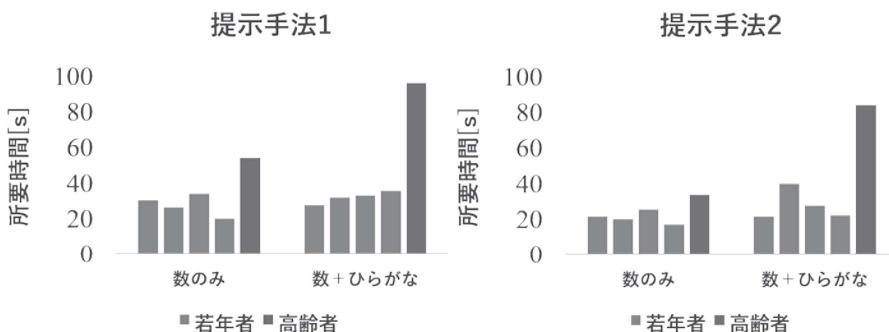


図8 提示手法による所要時間のグラフ

### 2.4 RoboWELL® 体操の普及について

これまで、当研究所で開発したRoboWELL® 体操の普及活動としてDVD、冊子ガイド、チラシを配布してきた。今年度は、RoboWELL® 体操の5コースを個別にした動画を公開した。さらに、RoboWELL® の紹介動画を作成し公開した。昨年度Youtube® で公開した動画の今年度の再生回数は、通常版1439回、短縮版2072回増加した。

また、今年度は西宮市立鳴尾図書館のブックフェア「おうちで運動！おうちでリフレッシュ！」にて関連書籍と並べてRoboWELL® 体操を紹介していただき、チラシやガイドを配布していただいた（図9左）。さらに、兵庫県揖保郡太子町での令和5年度「フレイル予防講演会」にて運動フレイルに関する講義とRoboWELL® 体操の実技指導を実施した（図9右）。

### 3 おわりに

本研究テーマでは、RoboWELL® を活用した健康維持スキームの評価装置として、「フレイル判定支援杖」、「擬似タッチパネル」、「おとさんぽ」の開発、改良を行った。今年度は地域在住高齢者を対象とした計測を積極的に行い、AIを用いた判定モデルなどを構築することができた。RoboWELL® 体操については、積極的に広報を行い、多くの方に活用していただくことができた。



図9 今年度のRoboWELL® の普及活動

今後は、モーションパラメータの取得技術を生かし、カメラやIMUなど簡便な装置を使用して運動評価できるシステムの開発を進めていく。それにより、フレイルだけでなく障害者のリハビリテーションに役立てるようにしていく。

## 参考文献

- 1) 内閣府. 令和5年度版高齢社会白書 [Internet]. 2023 [参照 2024年1月17日]. Available from: [https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/html/zenbun/s1\\_1\\_1.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/html/zenbun/s1_1_1.html).
- 2) 野原隆樹, et al. 歩行能力と慣性センサで検出可能な杖の動きの関係. 生体医工学. 2021;59(1):14-23.
- 3) Tatsukawa S, et al. Development of motion game for elderly based on sensory stimulus presentation. Paper presented at: The 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET); 2021 Dec; Cape Town, South Africa (Online).
- 4) Tatsukawa S, et al. Evaluation of reaction time using a game system with presenting multiple sensory stimulation: A preliminary study. Paper presented at: 15th International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology (i-CREAtE 2022); 2022 Aug; Hong Kong (Online).
- 5) McEwen SC, et al. Simultaneous aerobic exercise and memory training program in older adults with subjective memory impairments. J Alzheimers Dis. 2018;62:795-806.
- 6) 公益財団法人長寿科学振興財団. 全身反応測定の測定方法 [Internet]. 健康長寿ネット. 2023 [参照 2023年2月6日]. Available from: <https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/tairyoku-kiki/zenshin-tannou-soutei.html>.
- 7) 立川正真, 開発学人, 戸田晴貴. 多感覚刺激を提示するゲームシステムを用いた反応時間の年代別評価. Paper presented at: 第24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 (SI2023) ; pp3084-3088.
- 8) Nima T, et al. Upper-Extremity Dual-Task Function: An Innovative Method to Assess Cognitive Impairment in Older Adults. Front Aging Neurosci, 2016;8:1-12.
- 9) Bahureksa L, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. Gerontology. 2016;63:67-83.
- 10) 開発学人, 立川正真, 福井克也, 戸田晴貴. 擬似タッチパネルを用いた視覚探索課題中の上肢運動計測システムの開発. Paper presented at: 第24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 (SI2023) ; pp3089-3091.