

## 1 受託研究進捗状況

## モーションパラメータを活用した AI 技術開発

中村 豪 福井 克也 大森 清博 立川 正真  
安藤 悠 福元 正伸 本田雄一郎 相良 二郎 陳 隆明

## 1 はじめに

先行研究の「モーションパラメータ臨床技術開発」では、様々な計測技術や AI 技術を活用し、モーション、視線、筋電信号、音声などの様々な生体信号に基づく機器やデジタル空間でのシミュレーションに基づいたアプリケーションや支援機器などの開発を行った。特に、平成 30 年からは身体機能が低下した高齢者（以下、フレイル）対策や介護支援のための技術・機器開発に力を注いでおり、支援機器・用具の有効活用と普及促進を目的としたデジタル空間とデータベースの構築や高齢者の身体特性と支援機器・用具の設定、効果検証を行ってきた<sup>1,2)</sup>。その際、機器開発だけでなく評価した後に継続的な介入（トレーニング）を行うシステムの開発やそれに伴うパラメータの継続変化を解析、評価してきた(図 1)。

また、これまでに、臨床・介護現場との密な連携を通して培ったノウハウを活かし、臨床・介護現場において簡単かつ短時間に莫大なデータを収集するための数々の計測システムを実現した。そして、研究所に隣接する中央病院や、通所リハビリ施設、行政の健康教室などのフィールドを活かし、ビッグデータを構築してきた。さらに、得られたビッグデータ分析の結果に基づいて高齢者の衰えを早期に発見することが可能な運動能力評価システム Body-KIN<sup>®</sup>（ボディ筋）を活用し、通所リハ施設、兵庫県モデル市町、高齢者大学での測定を行い、Body-KIN<sup>®</sup>の得点と自立生活能力との関係性やリハビリ効果との関係性を明らかにした。また、衰えを発見した後に高齢者の身体能力を向上させるため、RoboWELL<sup>®</sup>体操という「準備運動」、「ストレッチ」、「筋力」、「バランス」、「認知」、「上肢」といった項目によって構成され各 15 分程度で手軽に行える体操を製作した。

Body-KIN<sup>®</sup>を初めとした健康評価システムや RoboWELL<sup>®</sup>体操、最先端のロボット機器の設定方法や活用した効果検証の結果やノウハウを組み合わせたロボット技術を用いた健康増進の仕組みである「RoboWELL<sup>®</sup>」の社会実装に向けて、課題となるのが定期的に実施される測定会の間の期間の高齢者の健康維持である。

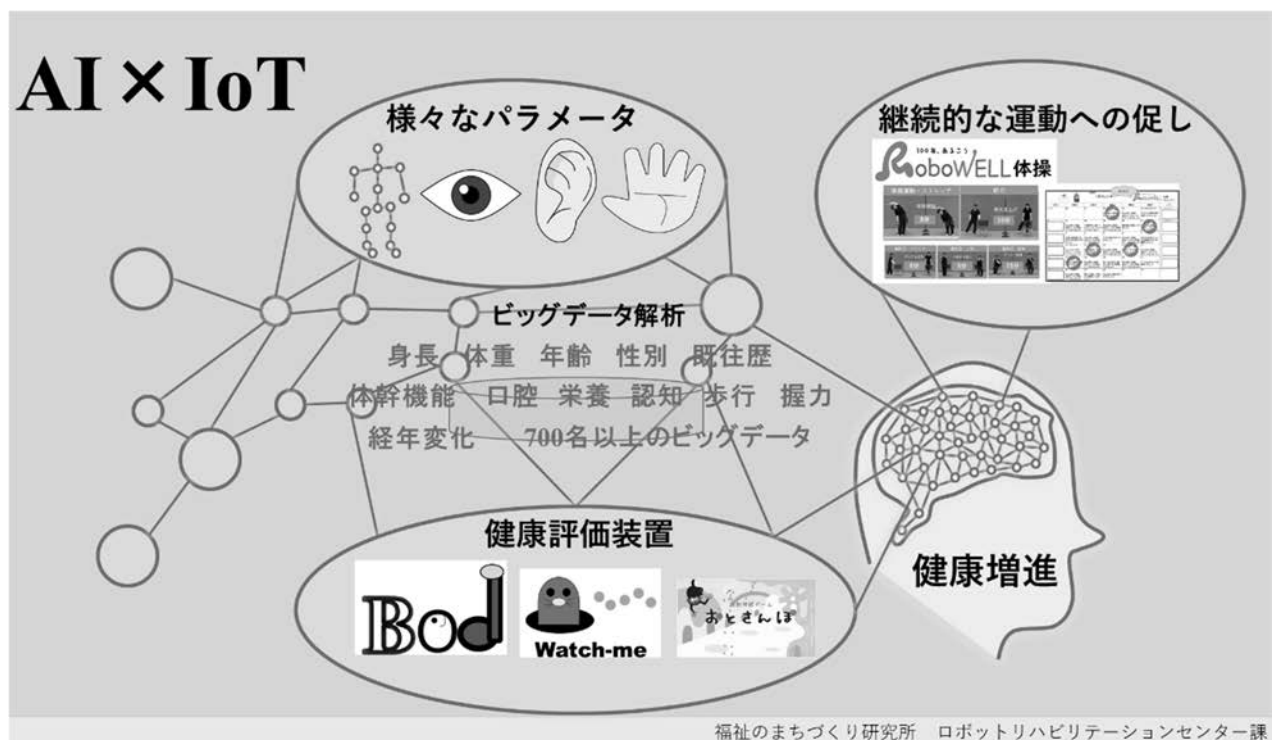


図1 本研究で取り扱っている生体信号とデジタル空間

そのため今年度から新たに、自宅で継続活用可能な DVD や冊子、YouTube など複数媒体での RoboWELL®体操の配布や、日常生活に変化を与えることでフレイルからの脱却を促すスクラッチカレンダーを新たに開発することで、自宅での継続的な運動を行い、定期的に測定会を行うことで衰えの変化を評価する実施システムを構築し、兵庫県と連携して県下市町で実施した（2章）。

また、新たに、視覚、聴覚、触覚への刺激に対する反応速度を測定することで、感覚器官の機能向上に繋がる、反射神経評価ゲーム「おとさんぽ」<sup>3)</sup>を開発し、しあわせの村でイベント「若活 RW」や、リハビリテーション・ケア合同研究大会兵庫 2021 において、試験活用、展示を行った（3章）。本研究で開発してきたフレイル対策のための健康評価システムなどは、通所リハビリテーション施設（以下、通所リハ）や兵庫県内の市町が実施している健康教室などで活用されている。これらの成果をさらに広めていくための今後の展望やこれまで蓄積したビッグデータを活用した、AI 健康占い装置の開発について紹介する（4章）。

## 2 RoboWELL®を活用したフレイル対策アプローチ

### 2.1 開発の目的と背景

高齢化が進む国々では、介護を要する高齢者が増加することが予想される。そこで、身体機能が低下した高齢者（フレイル）を早期発見し、適切なタイミングでリハビリ介入を行うことが重要となる。さらに、フレイル対策において、評価のみではなく、評価した後どのような介入（トレーニング）を行うかまでが重要である。図 2 は、RoboWELL®を活用した、評価装置による測定と継続運動のスキームである。評価装置で身体の衰えのリスクを測定し、評価の維持、改善に取り組み、次の評価結果を期待するポジティブな循環を続けることで健康維持を図る。これまで、RoboWELL®を活用した健康維持スキームの内、評価装置として、日常生活動作中の運動能力を定量的に評価できるシステム Body-KIN®（「運動能力評価システム」：特許第 6535778 号、「運動器作動力推定システム」：特許第 6873871 号）をはじめとして、嚥下能力の評価システム（「嚥下能力評価システム」：特許第 6727595 号）、認知能力の評価システム<sup>4)</sup>を開発してきた。また、評価装置で得られた点数の維持、改善として、高齢者の身体能力を確実に向上させる RoboWELL®体操を開発し、継続運動に対するアプローチも行ってきた。

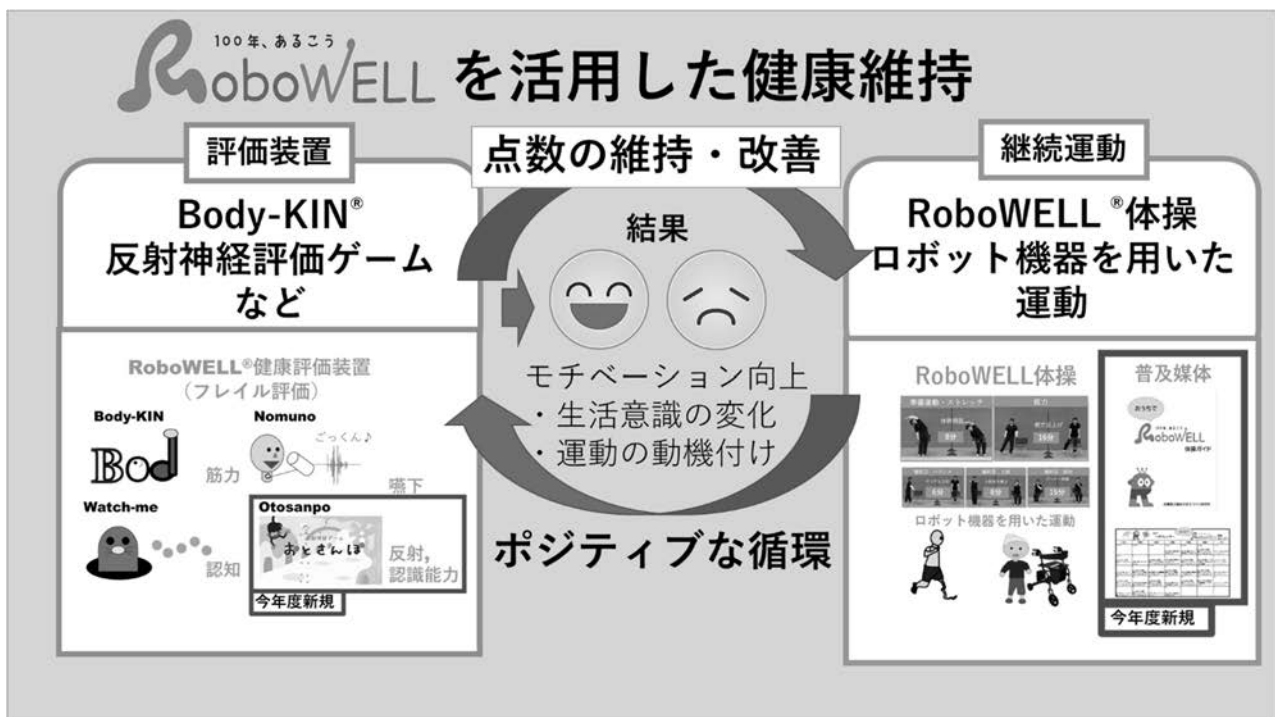


図 2 RoboWELL を活用した評価と継続運動の仕組み

本稿では、モデル市町での健康教室で活用した運動能力評価システム Body-KIN®と先行研究で開発した RoboWELL®体操をより継続的に活用可能な工夫や普及のためのツールを制作したので紹介する。RoboWELL®体操については、新たな普及媒体として体操ガイド冊子やDVDの開発、配布やYouTubeでの動画の配信を行った。さらに、高齢者が習慣的に運動を行うようになる工夫として、スクラッチを削るとその日によって様々なお題が書かれているスクラッチカレンダーを開発した。また、これらを活用したフレイル測定会を県下2市町に1カ月に1回程度の頻度で3カ月全3回に渡り実施したため、実施内容と効果についても紹介する。

## 2.2 運動能力評価システム Body-KIN®

先行研究で開発した Body-KIN®は類似のモーション計測システムと異なり、被験者の身体にセンサを装着したり、光学マーカを貼り付けたりする必要がないことが大きな特徴である。被験者に深度カメラの前で動いてもらうだけで、身体能力を推定し、高齢者の身体能力の衰えを簡便に評価できる。本システムに関して2件特許（「運動能力評価システム」：特許第6535778号、「運動器作動力推定システム」：特許第6873871号）取得済みである<sup>5,6)</sup>。

Body-KIN®は、これまで、通所リハ施設や兵庫県内の市町が実施している健康教室や高齢者大学などで活用されてきたが、計測を行う際の部品点数が多いという課題があった。そのため、運搬や設置の効率が悪く、計測スタッフへの負担も大きかった。

そこで、今年度は制御部、深度カメラ、ディスプレイ等の機器をスマート建材に一体化した Body-KIN®を開発した（図3）。これにより、運搬、設置の効率が大きく改善されただけでなく、部品を置くスペースも縮小され、より幅広い活用が可能となった。



図3 スマート建材を用いた Body-KIN®

## 2.3 RoboWELL®体操の普及媒体の開発

先行研究では、Body-KIN®によって高齢者の身体能力の低下を発見できるようになり、今後は発見した後にはいかにして高齢者の身体能力を向上させるかが重要となっていた。そこで、高齢者の身体能力を確実に向上させる体操を提案するため、ウェアラブル呼吸代謝計測システム（K5、COSMED社製）による運動強度の評価やモーションキャプチャによる動作分析を進め、RoboWELL®体操という「準備運動」、「筋力」、「バランス」、「認知」、「上肢」といった項目によって構成され各15分程度で手軽に行える体操を開発してきた。

今年度は、RoboWELL®体操のガイド冊子、DVD、YouTube®など様々な媒体（図4）を制作し、高齢者が自宅でも RoboWELL®体操を行うための取り組みや、運動だけでなく日常的に健康維持を意識づけるための体操スクラッチカレンダーの開発を行った。



図4 RoboWELL 体操の普及媒体

RoboWELL®体操ガイドやDVD、チラシなど様々な広報媒体にはQRコード®が添付されておりYouTube®へのアクセスが可能になっている。生活スタイルに合わせて、使いやすい媒体を選択して活用可能となっている(図5)。これにより、インターネット環境が無い高齢者や以前から体操を行っているがDVDデッキで体操を行っている自治体など限定的な閲覧手段しかないケースにも対応できるようになった。

体操スクラッチカレンダーは、高齢者が習慣的に運動を行うための促しとして制作し、スクラッチを削るとその日によって様々なお題が書かれている(図6)。対象者は毎日1コマずつスクラッチを削ることで、今日は何が出るだろうという楽しみを感じ、モチベーションの維持が期待できる。お題はセラピストの監修のもと、「今日はRoboWELL®体操の基本コースと認知コースを行いましょう」や「「パ・タ・カ・ラ」と大きな声で3回言いましょう」、「近くの公園まで行って深呼吸してみましょう」など、身体機能、口腔、閉じこもりへの促しの内容が含まれている。さらに、土日のお題を空欄にすることで、参加者自身が新たにお題を記入し、参加者同士で交換が可能になっている。他の参加者の日々の生活に掲げている目標や、ルーチンワークを知り、新たな目標を考えることを促す工夫を行った。



図5 QRコード®を活用したYouTubeへのアクセス



図6 RoboWELL®体操カレンダー

## 2.4 兵庫県モデル市町での RoboWELL®を活用した測定会モデルから得られた知見

兵庫県モデル市町2市町において、地域の健康教室に通う支援が不要な高齢者を対象に1ヵ月に1回程度の頻度で3ヵ月全3回に渡り、継続的にBody-KIN®の測定とRoboWELL®体操の実施を行った。初回は、兵庫県版フレイル対策評価シートに基づき、身長、体重、握力やふくらはぎ周囲長を測定し、アンケートを実施した。また、毎月、体操カレンダーとガイドを配布することで測定会以外でも日常的な運動の継続を促した。表1は、先行研究で実施した要支援1、2相当の方と通所リハ施設での測定、今年度のモデル市町の測定会の初回と最終回での測定におけるBody-KIN®の得点が80点以下の点数の割合である。3回全ての測定会に参加した参加者のうち、Body-KIN®の点数が80点以下の割合が初回12%程度であり、先行研究で計測した通所リハ施設より僅かに高い傾向があったが、健康な集団であることが示唆された。

Body-KIN®の得点によって、RoboWELL®を活用した測定会モデルの効果を確認できる傾向が見られたが、参加者計65名の内、約30%程度が2回目以降欠席しており、継続的な参加の促しについては改善の余地があると考えられる。

表1 高齢者によるBody-KIN®の得点と自立生活能力との関係性

	要支援1 (通所リハ通い)	要支援2 (通所リハ通い)	通所リハ施設	2021年度 モデル市町 測定会初回
80点以下の 割合	3割程度	5割程度	1割程度	1割程度

## 3 感覚器官の機能向上を目的とした反射神経評価ゲームを活用した高齢者アプローチと活用事例

### 3.1 開発の目的と背景

高齢者の加齢に伴い筋力、持久力、反応速度の低下と、それに伴うQOL（生活の質）の低下が起きる。加齢に伴う身体機能の低下を予防する手段として一般的なものは効果的な運動であるが、効果的な運動ができているかどうかを自分で判断するのは難しく、モチベーションの低下から運動が続かないことも多いため、センサによる数値的な評価や、ゲームを用いてモチベーションを高める方法が提案されている<sup>5)</sup>。一方で、加齢は運動機能や認知機能だけでなく感覚器にも影響を与えるため、視覚、聴覚、触覚などの刺激を適切に処理し、刺激に対する動作能力のトレーニングも重要である。しかし、感覚器官の機能向上に着目したトレーニングシステムは、まだ十分に検討されていない。そこで、運動活動と並行して複数の感覚刺激を提示し、感覚刺激に対する反応時間を測定する新しいモーションゲームシステムを提案した。日常生活に必要な活動である歩行（ステップタスク）中に、触覚（振動）、聴覚、視覚刺激を提示するゲームシステムを開発し、ユーザの行動と感覚刺激に対する反応時間を評価可能な装置となっている。

### 3.2 反射神経評価ゲーム

#### 3.2.1 システム構成

図7は装置の構成を示したものである。この装置は、装置制御部、モニター、深度カメラ（Azure Kinect DK, Microsoft社製）、振動子（M5STACK-U059, M5Stack社製）、振動子制御部（M5Stack GRAY, M5Stack社製）で構成される。そして、Body-KIN®と同様に類似のモーション計測システムと異なり、ユーザの身体にセンサを装着したり、光学マーカを貼り付ける必要がないことが大きな特徴である。これにより、ユーザに負担をかけることなく計測が行えるだけでなく、スマート建材への一体化も可能である。

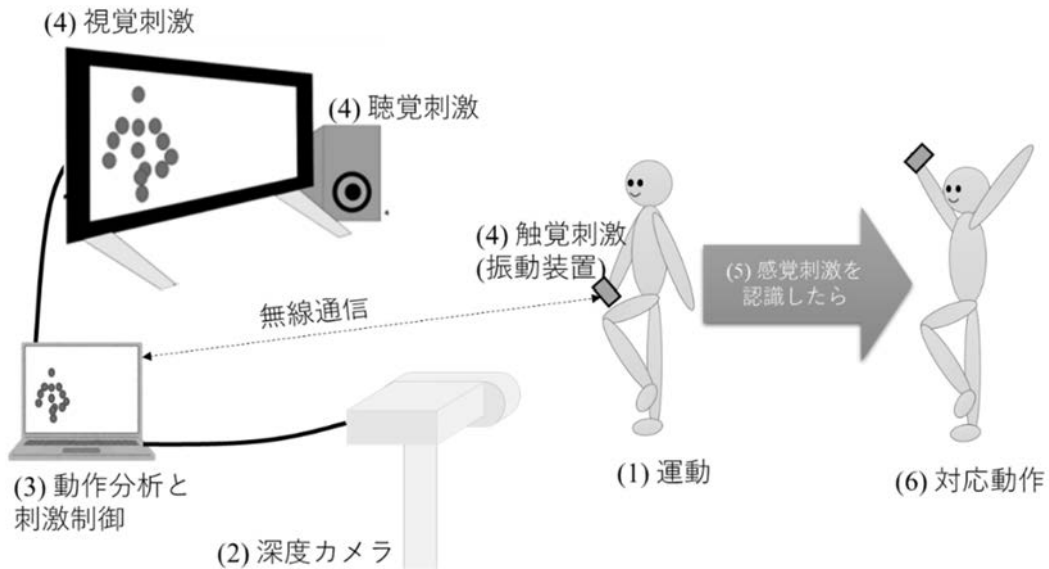


図7 反射神経評価ゲームの構成

ユーザは振動子と振動子制御部を手に持ち、深度カメラから2~3m離れて正対し、運動（手を振りながら足踏み）を行う。ユーザが動き出した時点で計測が開始され、深度カメラによって取得された骨格データはアバターとしてディスプレイに表示され、ユーザは自分の動きを確認しながらトレーニングを行うことができる。計測中、ランダムなタイミングで下記の視覚、聴覚、触覚（振動）の全部または一部の刺激を提示する。

- ・視覚刺激：青い円を画面上に表示する。
- ・聴覚刺激：「ピンポン」というSEを再生する。
- ・触覚刺激：振動子を振動させる。

触覚刺激は装置制御部と振動子制御部をWi-Fiを介してUDP (user datagram protocol) 通信で接続することで振動子を動作させた。ユーザに刺激を認識した際、動作切り替えの支持をすることで、信号を受け取ってからの反応時間や身体動作を測定する。今回は切り替えの動作として両手を上げ、すぐに降ろすことを指示した。図8は実際の測定中の様子である。図8(1)の開始と同時にユーザは足踏みを始め、図8(2)で画面上に視覚刺激が提示された。図8(3)で視覚刺激に反応し、両手を上げ、図8(4)で足踏みに戻った。これを計測が終了するまで繰り返す。

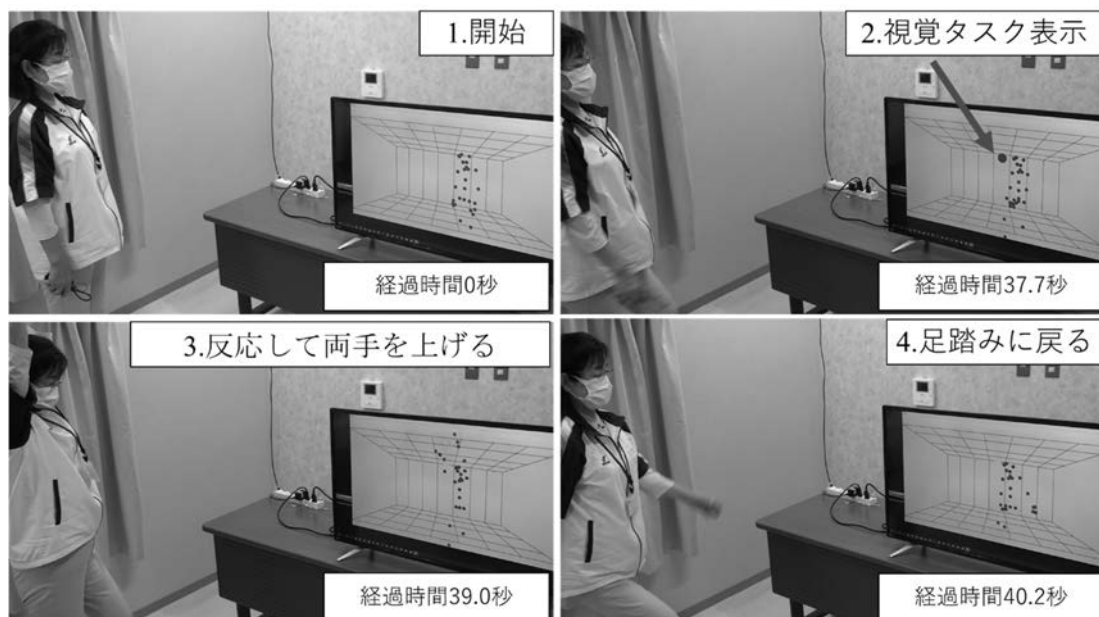


図8 感覚器官の機能向上を目的とした反射神経評価ゲーム

### 3.2.2 評価方法

視覚、聴覚、触覚それぞれの反応時間を3段階で評価し、結果を提示した。今回は、試験的に下記の3段階で設定した。

- ・良：刺激が提示されて1.2秒以内に両手が上がる。
- ・可：刺激が提示されて1.2秒以上2秒以内に両手が上がる。
- ・不可：刺激が提示されて2秒以上経過する。(認識できていない)

測定終了後、評価結果に応じた表情のマークが提示され、結果を確認することができる。

### 3.3 試験活用と今後の展開

この装置について、国際会議 IEEE (ICECET2021) にて報告を行い、リハビリテーション・ケア合同研究大会兵庫 2021 にて RoboWELL®体操と共に展示を行った(図9)。また、しあわせの村での健康改革イベント 健康改革「若活RW」にて地域の高齢者を対象に活用され、好評を得た。また、高齢者にとって継続的に利用していただくためデザインを改良した(図10)。

今後、予備的な実験回数を増やし、タスクの内容や評価の閾値を調整した上でより詳細な評価のためのデータ収集を進めていく。さらに並行して、半側無視の患者用モードといった機能の追加についても検討する。



図9 リハビリテーション・ケア合同研究大会兵庫 2021 での展示

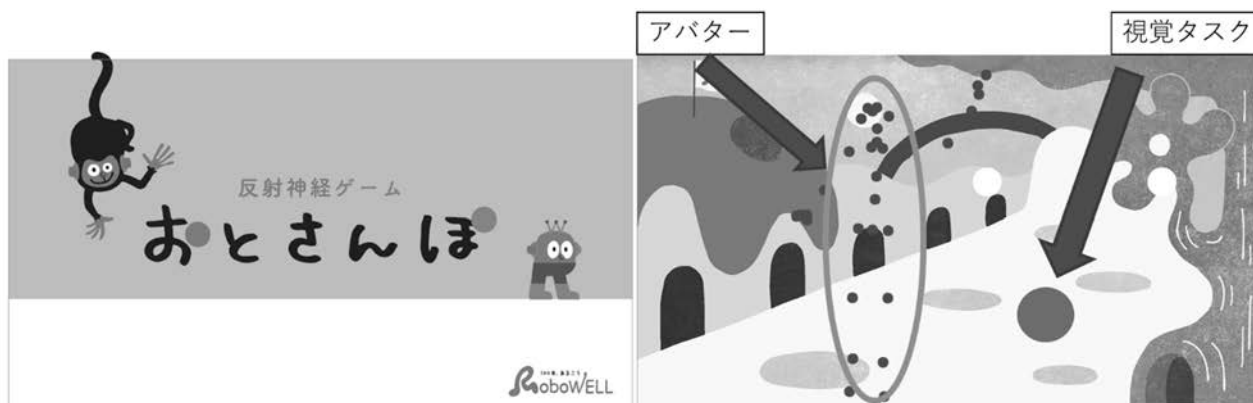


図10 反射神経評価ゲーム「おとさんぼ」

## 4 おわりに

2章で紹介した健康評価システム、RoboWELL®体操や反射神経評価システムを組み合わせ、ロボット技術を活用した健康増進の仕組みである「RoboWELL®」の社会実装を進めることができたため、今後はより長期スパンでの健康増進モデルを構築する予定である。

また、新たなサービスとして行政の健康教室で得られたビッグデータを基に、食べ物の好き嫌いからかかりやすい病気を予測する、AI健康評価装置を開発中である(図11)。この装置は、過去の健康教室で参加者から収集したデータを基に食べ物の好き嫌いに対して、将来的に発症しやすい病気を推定させる装置となる。これにより、食事習慣の評価や、改善への促しが可能になる可能性が高い。

なお、本研究の一部はJSPS 科研費 19K20411 の助成を受けて実施した。

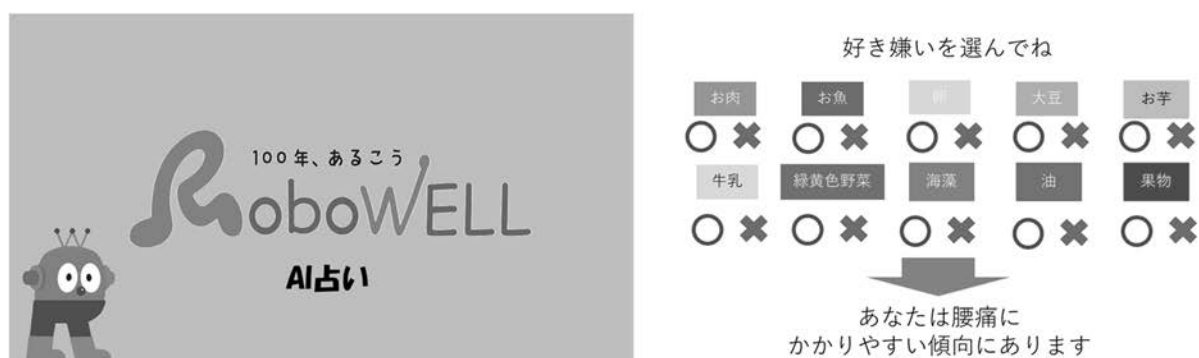


図11 AI健康評価装置の開発

### 参考文献

- 1) Go Nakamura et al.: Developing Preliminary System for Smart Welfare Interactive Service, The 7th International Conference on Serviceology (ICServ2020), Osaka, Japan, 13-15 March, 2020.
- 2) Go Nakamura et al.: The Effects of the Wearable Walking Support Device, The 14th International Convention on Rehabilitation Engineering and Technology (i-CREATE 2020), Taipei, Taiwan, 5-7 December 2020.
- 3) Shoma Tatsukawa et al.: Development of Motion Game for Elderly Based on Sensory Stimulus Presentation, The 2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Cape Town, South Africa (online) 5-7 December 2021.
- 4) Go Nakamura et al.: Development of a Higher-Brain Functions Assessment System Using a Gaze Measurement System, The 14th International Convention on Rehabilitation Engineering and Technology (i-CREATE 2020), Taipei, Taiwan, 5-7 December 2020.
- 5) M. G. Jørgensen, "Assessment of postural balance in communitydwelling older adults - Methodological aspects and effects of biofeedback-based Nintendo Wii training," Dan Med J., vol.61, no. 1, pp. 1-20, January 2014.