

# Kinect センサを利用した高齢者向けの体操支援システムの開発と社会実装に向けた実践的研究

代表研究者

澁澤 進

茨城大学 工学部 名誉教授

## 1 はじめに

2016年10月1日現在、日本の65歳以上の高齢者が総人口に占める割合は27%を超えている [1]。高齢化に伴い要介護者数も増加しており、高齢者が健康的で自立した生活を送るために、介護予防の重要性がより一層高まってきている。介護予防とは要介護状態の発生や悪化をできる限り防ぐまたは遅らせることである。

高齢者が要介護状態に陥る要因の一つに認知症がある。認知症は、記憶力や注意力の低下が服薬や生活習慣に影響し、身体的な疾患を合併することも多い。認知症の予防には生活習慣・食生活の改善、社会的活動、適切な運動が効果的であるとされている [2], [3]。また、運動機能課題と認知機能課題を合わせて行う手法は効果が高いことが報告されている [4], [5]。運動機能課題と認知機能課題を同時に行う認知症予防に向けた体操として、左右の上下肢で異なる動作を行う拮抗体操がある [6], [7]。この体操は、左右の手足で異なる動作をするために、思考と身体を同時に働かせて、脳と身体の双方を刺激することが期待されている。拮抗体操の効果を検討した研究は、この体操が認知機能の低下の予防に有用であることを示唆している [8]。

介護予防やリハビリテーションを行う場合、一般に理学療法士などの専門家の指導や補助のもとに行われる。近年になって理学療法士の数は増加しているが、2016年3月末の日本の理学療法士は10.2万人であり [9]、高齢者数に対して著しく不足している。このため専門家の負担が大きく、高齢者が自発的に体操を行うことで専門家の負担を減らす体操支援システムが求められている。介護予防などの健康活動は、継続的に行うことで効果を発揮するが、毎回同じ活動を行うことは精神的な苦痛を伴う。そのため、利用者が自発的に活動するようにゲーム性を取り入れて、利用者のモチベーションを維持する研究が行われている [10], [11], [12]。

他方、Microsoft社が開発したKinectは人間の姿勢や各関節の3次元座標を認識することができ、リハビリテーションのためにKinectを用いて手や足の運動を測定するシステムの研究が行われている [13], [14], [15]。近年、Kinectを用いたいくつかの商用リハビリテーションシステムが開発されてきた [16], [17], [18], [19], [20]。Kinectを用いた人の動作の検出と体操支援システムの設計への応用については、さらに定量的研究が必要とされている。

これまで、著者らは深度画像センサを用いた下肢の椅子体操支援システムの開発を行ってきた [21], [22]。また、拮抗体操が左右の上下肢で異なる動作を行う体操であり、深度画像センサを用いて手足の動作をよく検出できることに着目し、深度画像センサを用いた拮抗体操支援システムを開発してきた [23], [24]。本報告では、深度画像センサを用いた人の動作の検出と体操システムへの応用という観点から、深度画像センサを用いた拮抗体操支援システムの設計、実装とその評価について述べる。体操動作の検出には、深度センサから取得した体操者の関節情報を用い、体操動作の可否をリアルタイムで判定してフィードバックする。利用者の実映像と手本画像を提示しながら、音声と画像表示によって利用者に体操の手順を説明する。また、音楽に合わせて体操を行うリズムゲームの機能をもつ。本システムでは、「上下肢拮抗運動」、「上肢左右拮抗運動」、「両手両足じゃんけん」、「2拍子3拍子」の4種類の体操を用意している。

## 2 体操支援システムの設計

### 2-1 システムの概要

体力のない高齢者でも安全に体操が行えるように、椅子に座りながら左右の上下肢で異なる動作を行う拮抗体操支援システムを作成する。利用者が体操方法を理解しやすいように、本システムは、利用者自身のリアルタイム映像、体操の手本画像、音声によるガイド機能等をもつ。また、音楽に合わせて体操を行い、体操の評価結果をリアルタイムにフィードバックする機能をもつ。

システムの概要を図1に示す。本システムは椅子に座った利用者の正面にKinectとモニターを設置する。Kinectから得られる利用者の各関節の位置データより、利用者の各関節間の距離を求め、体操者の姿勢と手の状態を検出する。本システムの体操支援機能を表1に示す。

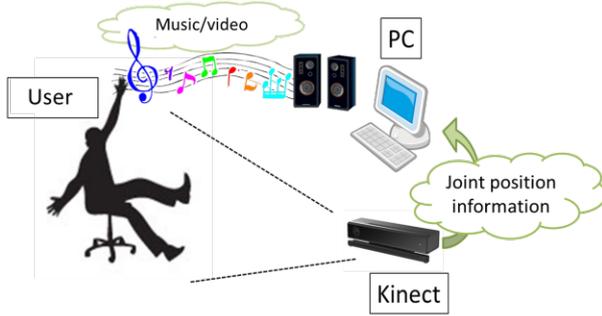


図1 システム概要図

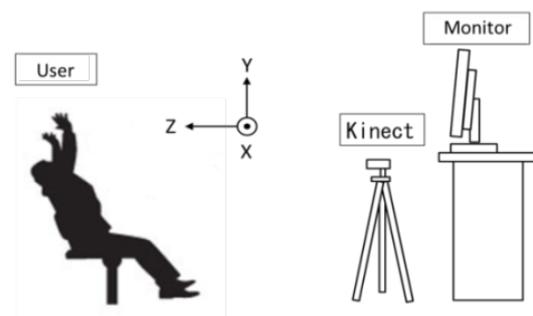


図2 Kinect と利用者の位置関係

表1 システムの体操支援機能

	機能	説明
(1)	体操者の映像表示機能	Kinectより取得した体操者のRGB画像をリアルタイムに鏡面表示する
(2)	体操のガイド機能	体操方法を手本画像・音声・テキストによって説明する
(3)	体操練習・同期体操機能	各体操の説明後、体操練習では、モニター画面に従って一定回数分、体操を練習する。同期体操では、一定のテンポの音に合わせて体操する
(4)	リズムゲーム機能	音楽と同期した映像に合わせて体操する
(5)	体操の評価	体操者が行った体操の関節位置と関節距離、及び体操のタイミングに応じて、各体操を評価し、評価結果をスコアとテキストで提示する
(6)	体操の記録保存	各体操の関節位置と関節距離のデータ、体操の評価結果を記録する

## 2-2 拮抗体操の動作検出

本システムは、「上下肢拮抗運動」、「上肢左右拮抗運動」、「両手両足じゃんけん」、「2拍子3拍子」の4種類の体操を含んでいる。拮抗体操の動作の検出には、Kinect から得られた体操者の手足の関節の三次元位置情報と、手の形状を用いる。各体操に対して、関節間の距離または関節の位置座標を利用する。Kinect と利用者の位置関係及び座標軸を図2に示す。

### (1) 体操動作の検出方法

拮抗体操には、手足を左右または前後に開閉する動作が多い。このような場合、関節間の距離を利用し、手足の開閉動作や突き出し動作を検出する。また、一部の体操では、体操者の手の位置座標を用いる。

他方、上肢左右拮抗運動と両手両足じゃんけんでは、手の開閉状態を検出する。Kinect による手の開閉状態は、Closed, Open, Lasso, Unknown の4種類がある。Closed は手を閉じている状態、Open は手を開いている状態、Lasso は2本指の状態、Unknown は上記3つ以外の状態である。これを利用し、Closed をグー、Open をパー、Lasso をチョキとしてじゃんけんを判別する。

Kinect により検出した手の開閉状態を  $H_{kinect}$ 、手を閉じたグーの状態を Rock、手を開いたパーの状態を Paper、2本指を出しているチョキの状態を Scissors とするとき、じゃんけんの状態  $H_{state}$  を次式で定義する。

$$H_{state} = \begin{cases} Rock & (H_{kinect} = Closed) \\ Paper & (H_{kinect} = Open) \\ Scissors & (H_{kinect} = Lasso) \end{cases} \quad (1)$$

### (2) 上下肢拮抗運動

上下肢拮抗運動は両手足の開閉運動を交互に行う体操である。体操順序は次のようである。(A1) 両手を横に大きく広げて、同時に足は閉じる。(A2) 両手を閉じて、同時に足を開く。(A1)と(A2)を繰り返す。図3に、体操の各ステップの姿勢を示す。図は Kinect から取得した鏡面画像である。図において、記号 Hl, Hr, Fl, Fr はそれぞれ左右の手足を表す。

図3より、上下肢拮抗運動の検出には、両手間の x 軸距離と両足間の x 軸距離を用いる。左右の手の x 座標と左右の足の x 座標をそれぞれ  $Hlx, Hrx, Flx, Frx$  とするとき、両手間の x 軸距離  $Hx = |Hlx - Hrx|$  と両足間の

x 軸距離  $F_x = |Fl_x - Fr_x|$  を求めて、手足の開閉を検出する。手足の開閉の組み合わせにより、状態(A1)と(A2)を実行したかどうかを判定する。

### (3) 上肢左右拮抗運動

上肢左右拮抗運動は両手で異なるじゃんけんの手を出しながら交互に手を前に突き出す体操である。体操順序は次のようである。(B1) 前に突き出す右手をグーにして肘は伸ばし、胸の前の左手はパーにする。(B2) (B1)とは逆に右手をパーにして胸元に、左手はグーにして前に突き出す。(B1)と(B2)を繰り返す。図4に体操の各ステップの姿勢を示す。図において、記号  $S_l, S_r$  はそれぞれ左右の肩を示す。

図4より、上肢左右拮抗運動では、肩と手のz軸距離を用いて、手を前に突き出している状態と手を胸の前に置いている状態を検出する。左右の肩のz座標と左右の手のz座標をそれぞれ  $Sl_z, Sr_z, Hl_z, Hr_z$  とするとき、右肩と右手のz軸距離  $Rz = |Sr_z - Hr_z|$ 、及び左肩と左手のz軸距離  $Lz = |Sl_z - Hl_z|$  を求めて、手を前に突き出している状態と手を胸の前に置いている状態を検出する。また、式(1)のじゃんけんの定義を用いて、手の形状のグーとパーを検出する。これらの組み合わせにより、状態(B1), (B2)を実行したかどうかを判定する。

### (4) 両手両足じゃんけん

両手両足じゃんけんは両手と両足でじゃんけんのグー、チョキ、パーを順番に出す体操である。体操順序は次のようである。(C1) 両手をグー、足を閉じてグー。(C2) 両手をチョキ、足を前後に開いてチョキ。(C3) 両手をパー、足を左右に開いてパー。(C1)~(C3)を繰り返す。図5に体操の各ステップの姿勢を示す。図において記号  $S$  はチョキを表す。

図5より、両手両足じゃんけんでは、足の動作と手の形状を検出する。足の動作の検出には、両足のx軸距離とz軸距離を用いる。足の動作のグーはx軸方向とz軸方向に足が閉じている状態、チョキはz軸方向のみ足が開いている状態、パーはx軸方向のみ足が開いている状態であり、これらを検出する。この足の開閉と手のじゃんけんの検出を組み合わせ、状態(C1)~(C3)を実行したかどうかを判定する。

### (5) 2拍子3拍子

2拍子3拍子は左手を2拍子、右手は3拍子でリズムを刻む体操である。体操順序は次のようである。(D1) 左手を上げて下げての2拍子。(D2) 右手を上げて下げて横に動かす三角形を描く動きで3拍子。(D1)と(D2)を同時に行う。

2拍子3拍子の6ステップを図6に示す。図の(d1)は両手を上げており、(d2)は両手を下げている。(d3)は右手を横に出して左手を上げており、(d4)は右手を上げて左手を下げている。(d5)は右手を下げて左手を上げており、(d6)は右手を横に出して左手を下げている。

この体操では、左右の手が肩より上か、脊椎中央より下かを検出する。左右の手の位置の検出を組み合わせ、状態(d1)~(d6)を実行したかどうかを判定する。

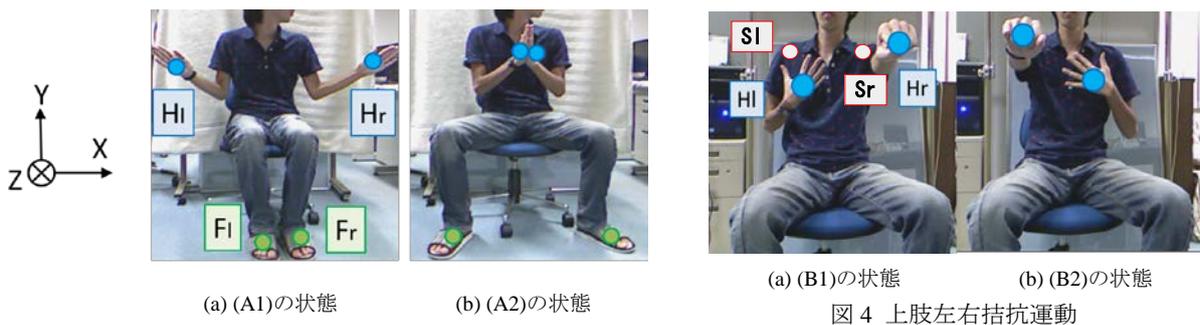


図3 上下肢拮抗運動

図4 上肢左右拮抗運動



(a)(C1)の状態 (b)(C2)の状態 (c)(C3)の状態  
図5 両手両足じゃんけん



(d1) (d2) (d3)



(d4) (d5) (d6)

図6 2拍子3拍子

### 2-3 体操動作の遷移

体操動作の姿勢を一定時間以上保持して、次の姿勢に移行したとき、保持した動作を実行したと定義する。体操の動作回数を数えて、利用者の体操の評価と関連付ける。

上下肢拮抗運動と上肢左右拮抗運動は、ともに2つの姿勢を遷移し、2状態の状態遷移図で表される。両手両足じゃんけんは3ステップより成り、3状態の状態遷移図で表される。両手両足じゃんけんの状態遷移図を図7に示す。図において、3状態R(グー)、S(チョキ)、P(パー)に対して、状態間の遷移の矢印につけた記号は、遷移元と遷移先の状態の頭文字を表す、count+は、その遷移のとき体操動作回数を1増やすことを示す。同じ状態への遷移では、その姿勢を保持する時間を計測する。両手両足じゃんけんは、グー→チョキ→パーの動作順とするが、体操者の動作の変化を尊重する。例えば、体操者がグー→パーに遷移した場合には、パーで姿勢の時間の計測を開始し、一定時間後にグーに遷移すれば、動作回数countを増加する。

6状態より成る2拍子3拍子の状態遷移図を図8に示す。図において、状態1, 2, ..., 6はそれぞれ図6の姿勢d1, d2, ..., d6に対応する。状態1, 2, ..., 6の順の体操動作を正順とし、図には動作回数を1増やす遷移のみ、遷移元と遷移先の状態の頭文字を付けてある。他の遷移の記号は図では省略してある、体操者は6つの姿勢の間を遷移する。

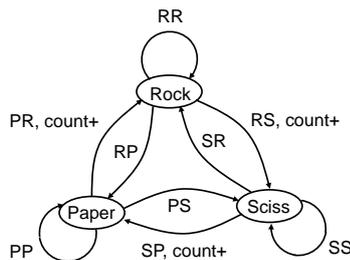


図7 両手両足じゃんけんの状態遷移図

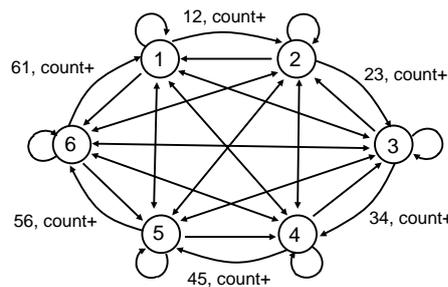


図8 2拍子3拍子の状態遷移図

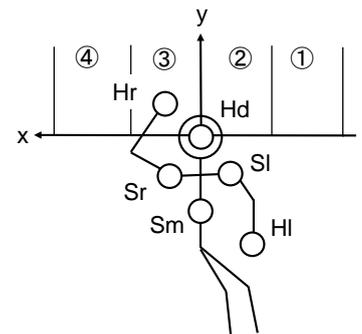


図9 体操選択の段階のジェスチャ

### 2-4 ジェスチャによる体操制御インタラクション

本システムは、利用者によるインタラクションを容易にするために、マウスやキーボードの使用を極力避け、利用者の動作のみで体操が行えるように設計する。そのために、Kinectを用いて利用者のジェスチャ動作を認識する。主なジェスチャとシステムの操作は次のようである。

- 体操者の実映像の数字領域に手をかざす：体操を選択する
- 右手を上げる：体操を継続し、次のステップに進む
- 左手を上げる：体操を終了する

体操選択の段階のジェスチャを図9に示す。図において、記号Hd, Smはそれぞれ頭部と脊椎中央を表す。

頭部より上の空間を4領域に分割し、各領域に体操番号を表示し、その領域に右手または左手をかざすと、対応する体操が選択できる。

### 3 体操支援システムの実装

#### 3-1 システム構成

本支援システムは、Windows 8.1 OS, Visual C++ 2013, OpenCV, Kinect for Windows SDK を用いて実装した。本システムの計算機環境は、Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU, 8 GB 主メモリである。実装したシステムは、大きな負荷を生じることなく動作する。

システムの処理の流れを図10に示す。本システムは大きく分けて、体操選択、体操の練習、同期体操、体操によるリズムゲーム、結果表示の5段階より構成する。体操選択では、利用者が行いたい体操を選択し、選択した体操を練習する。同期体操では一定間隔の拍に合わせて体操を行う。その後、リズムゲームでは音楽に合わせて体操を行い、最後に、ゲームスコアや総合評価を表示して体操を終了する。

体操の選択画面を図11に示す。まず利用者に同図左のようなリアルタイム映像と、図右のような4種類の体操メニューを提示する。左の映像内の番号と右の体操メニューの番号が対応しており、利用したい番号に手をかざして約2秒維持すると、番号に対応した体操が選択され、体操の説明が表示される。

体操を選択後、体操の練習ステップでは、体操の仕方を手本画像と音声で利用者に提示し、利用者は設定した回数の体操を行う。利用者の体操の練習が終了と同期体操に移る。同期体操では一定のリズムの拍の音を出し、その拍にタイミングを合わせて体操を行う。設定した回数の体操を行うと、リズムゲームに移る。

#### 3-2 リズムゲーム

リズムゲーム中の表示画面の例を図12に示す。リズムゲームの説明が行われた後、音楽と一定のテンポで鳴る音に合わせて体操を行う。図の右側にある円は体操のタイミングを合わせるための表示であり、音楽と同期している。最も外側の円から最も内側の円に向けて、3番目の円が時間とともに小さくなり、内側の円と重なったタイミングに合わせて体操を行う。収縮する円が内側の円と重なるタイミングと体操動作のタイミングのずれに応じて、ゲームスコアを計算し、内側の円の中にこれまでのスコアを加算した値を表示する。音楽が終了と、最終的なスコアとともに評価をS, A, B, Cの4段階で表示する。体操結果の表示画面の例を図13に示す。画面右に得点と評価結果、及びテキストメッセージを表示する。

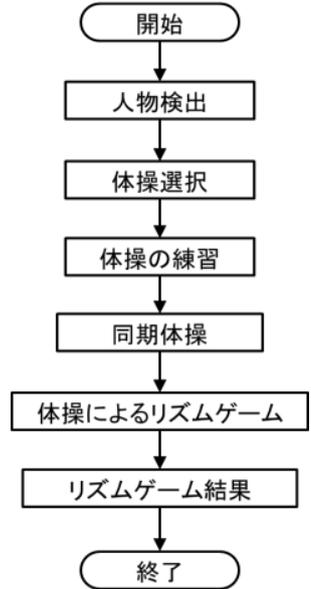


図10 システムの処理の流れ



図11 体操の選択画面

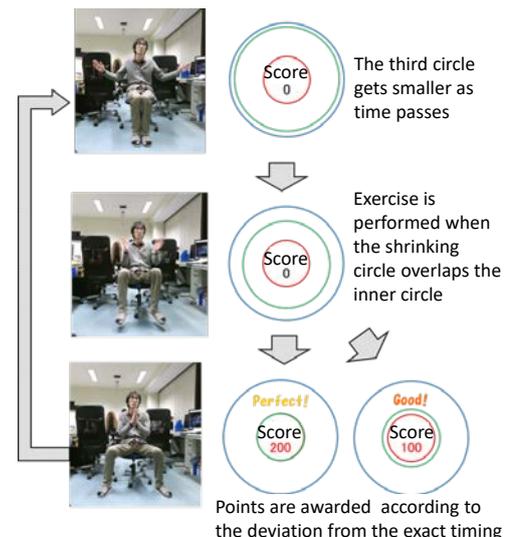


図12 リズムゲームの画面の例



図13 体操結果の表示画面の例

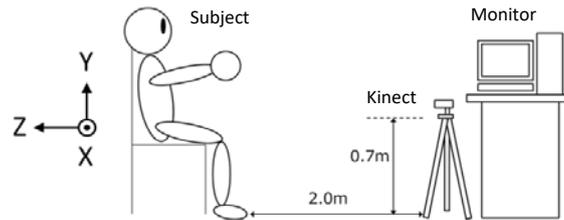


図 14 実験環境

## 4 実験と考察

本システムにおける拮抗体操の認識手法の有効性の評価のため、20代男性3名、及び70～90代の男性2名と女性5名に対して、認識精度実験を行った。また、高齢者の実験において体操中の様子を観察し、体操後にシステムの支援機能に関する聞き取り調査を行った。

### 4-1 実験方法

若者に対する認識精度実験では、被験者は拮抗体操4種類をそれぞれ5回行い、システムが被験者の体操動作を正しく検出した回数を調べる。体操は各動作を1回と数え、体操の動作を一通り行って体操1回とする。高齢者を対象にした認識精度実験では、被験者が実験の参加・不参加の選択、及び体操の中断ができるとし、参加する体操の種類を任意とした。

実験環境を図14に示す。Kinectは床から0.7mの高さ、被験者から2.0m離して設置した。口頭で体操とシステムの目的や効果を説明した後、実験を行った。本実験は、システムの3段階の体操のうち第2段階の同期体操を行っている際の精度を測定した。被験者が行った試行動作とシステムが認識した動作が一致した回数を、システムの動作認識回数とする。このとき、システムの認識率 $R$ を被験者の試行動作回数 $T$ に対するシステムの動作認識回数 $S$ の比で次のように定義する。

$$R = \frac{S}{T} \times 100 [\%] \quad (2)$$

### 4-2 認識実験の結果と考察

高齢者による実験参加を任意としたため、各体操によって参加人数が異なり、上下肢拮抗運動は4名、上肢左右拮抗運動は7名、両手両足じゃんけんは3名、2拍子3拍子は0名であった。2拍子3拍子の高齢者の参加者がいなかった理由は、この体操の難易度が高いことが原因と考えられる。

若者と高齢者の平均認識率を図15に示す。若者による各体操の平均認識率は、上下肢拮抗運動が90%、上肢左右拮抗運動が100%、両手両足じゃんけんが100%、2拍子3拍子が80%で、体操全体では93%であった。また、高齢者による各体操の平均認識率は、上下肢拮抗運動が75%、上肢左右拮抗運動が76%、両手両足じゃんけんが67%で、3種類の体操の平均は73%であった。

本システムでは、体操の練習時に体操の判定に用いる閾値を決定し、同期体操時に認識精度を測定している。その際、利用者の練習時の閾値の決定では、関節距離などの個人差に対応するよう調整をしている。体操の動作が安定している若者は、認識実験の際も体操の練習時と変わらず動作が安定しているため、認識率が高い。他方、動作が安定しない高齢者は、体操の練習時と認識実験時で異なる動作をする場合があり、認識率が低下することが考えられる。関節の変動が小さく、体操が安定していない利用者に対しても、認識率を高めるような手法の開発が必要である。

若者の2拍子3拍子の認識率が他の3つの体操に比べて低い理由は、動作の検出に用いる値が原因と考えられる。上下肢拮抗運動では両手両足のx軸距離、上肢左右拮抗運動では手と肩のz軸距離、両手両足じゃんけんでは両足のx軸距離とz軸距離を用いており、これらはすべて2つの座標値の相対値である。これに対して、2拍子3拍子の判定には左手のy軸位置、及び右手のx軸位置とy軸位置を用いている。関節間の相対的な距離の場合、体操中に利用者の関節位置が移動しても関節間距離の変化を計測できる。これに対して、座標値を用いる場合、閾値も座標値のため、利用者が座り直すなど利用者の位置が変化すると、システムは体操を正しく検出できないことがある。このような理由により、2拍子3拍子の認識率が他の3つの体操に比べて低かったと考えられる。2拍子3拍子の動作の検出にも相対的な関節距離を用いることで、認識率の改善が期待できる。

図15より、若者と高齢者の比較では、3種類の体操すべてにおいて高齢者の認識率が若者の認識率より低かった。認識率に差が出た原因として、体操動作の検出に用いる関節データの相違が考えられる。図16に上下肢拮抗運動の両足のx軸距離の変化を示す。図において、横軸は時間経過を表し、1フレームは約

34[msec]である。縦軸は両足の水平方向の距離を表す。図より、若者の両足の距離の変化がほぼ一定間隔で、変化の幅も0.05~0.9[m]程度と安定している。これに対して、高齢者の両足の距離の変化の幅は0.05~0.5[m]程度と小さく、その変化の幅も不安定である。

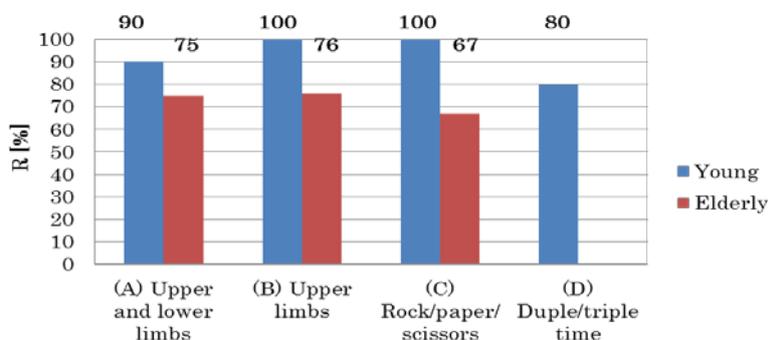


図 15 若者と高齢者の各体操の平均認識率

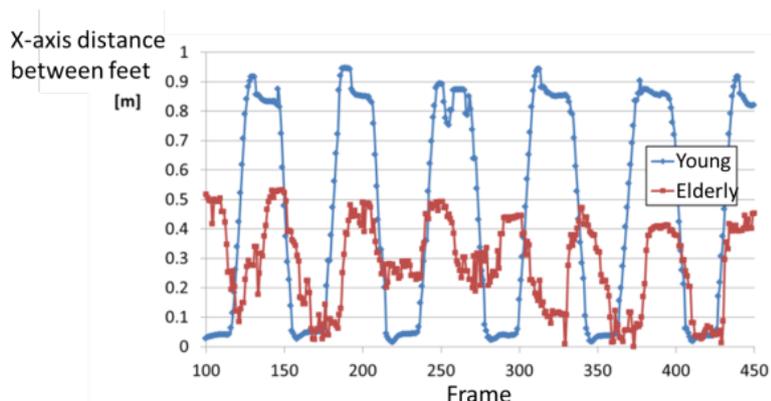


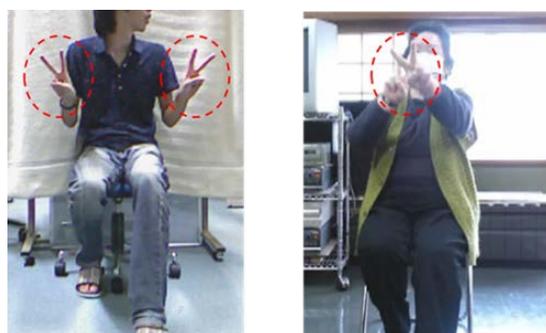
図 16 上下肢拮抗運動の両足の x 軸距離の変化

本システムでは、体操の練習時に体操の判定に用いる閾値を決定し、同期体操時に認識精度を測定している。その際、利用者の練習時の閾値の決定では、関節距離などの個人差に対応するよう調整をしている。体操の動作が安定している若者は、認識実験の際も体操の練習時と変わらず動作が安定しているため、認識率が高い。他方、動作が安定しない高齢者は、体操の練習時と認識実験時で異なる動作をする場合があり、認識率が低下することが考えられる。関節の変動が小さく、体操が安定していない利用者に対しても、認識率を高めるような手法の開発が必要である。

#### 4-3 高齢者の体操の観察と聞き取り調査

高齢者は2拍子3拍子の体操の難易度が高いと感じており、このため今回の実験ではこの体操の参加者がいなかった。拮抗体操は、上下肢の異なる動作をリズムカルに行うものであり、若者にとって簡単に理解し実行できるものでも、高齢者にとっては容易でないことがある。体操中、高齢者は若者と同様の姿勢にならないことがしばしばある。図 17 に両手両足じゃんけん姿勢 C2 の見本と高齢者による姿勢の例を示す。

図 19(a)より、見本では両手が左右に離れた状態でじゃんけんの手を出しており、システムはこの姿勢を正しく認識する。これに対して、図(b)では、チョキを出す手が前後になっているため、Kinect から片方の手が他の手に遮蔽されており、じゃんけんの手を検出でき



(a) 見本 (b) 高齢者

図 17 両手両足じゃんけん姿勢の見本と高齢者

ない。両手両足じゃんけんの姿勢 C2 は、両手でチョキを左右に出し、足を前後に開く姿勢であるが、図(b)の場合は、足の前後の姿勢につられて手も前後になり、手の遮蔽が起きている。

本実験では、1名の高齢者が代表してリズムゲームを行い、他の高齢者は代表者の体操を見ながら順番待ちをした。その際、順番待ちする高齢者に対して代表者とともに体操するように促すようなことはしなかった。高齢者グループに対する観察結果は以下のようである。

- 代表の高齢者は積極的に体操を行っていた
- 順番待ちの高齢者は、体操者とともに体操するように促されていないにもかかわらず、体操者とともに体操をしていた
- 順番待ちの高齢者は、互いにコミュニケーションをとりながら体操をしていた。高齢者の主な話題の一つは、体操の評価結果であった

最初の2つの観察から、本システムが多くの高齢者の興味を引いた。また、3番目の観察から、体操の評価結果は高齢者のコミュニケーションを促す要因の一つといえる。

## 5 おわりに

本研究では、深度センサを用いた拮抗体操支援システムを設計し、実装し、評価した。体操の判定には、深度センサから取得した体操者の関節情報を用い、体操者の体操を評価してリアルタイムにフィードバックしている。本システムは利用者に対して、音声と画像表示によって体操の手順を説明するとともに、利用者の実映像と手本画像を示している。また、音楽に合わせて体操を行うリズムゲームの機能をもつ。作成したシステムの評価のため、若者と高齢者による認識率実験を行うとともに、高齢者を対象とした観察と聞き取り調査を行った。

若者と高齢者を対象とした4種類の体操の認識実験では、若者の平均93%に対して、高齢者の平均が73%と、高齢者の認識率が若者より低かった。高齢者の動作が若者の動作に比べ小さいことや安定していないことが原因と考えられる。高齢者はシステムが提示する体操の動作と異なる動作をとることがあり、体操が安定していない利用者に対しても、動作の認識率を高めるような手法の開発が必要である。

今後の課題として、体操中の関節データの変化の割合に応じて閾値を自動的に調整するなど、認識手法の改善が必要である。また、利用者に対するシステムのインタラクション機能の向上とその定量的評価がさらに必要である。体操者の正しい動作と正しくない動作を判定して、正しくない動作を音声と映像でリアルタイムに指摘する機能は、人の動作を認識して応答するシステムへの発展として有益である。

**謝辞** 本研究の実施に際して研究助成していただきました電気通信普及財団に心より感謝いたします。

## 【参考文献】

- [1] 総務省統計局：人口推計，<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/new.htm> (accessed April 18, 2017).
- [2] 厚生労働省：認知症予防・支援マニュアル（改訂版），[http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1h\\_0001.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1h_0001.pdf) (accessed April 18, 2017).
- [3] Ritchie, K., Carrière, I., Ritchie, C. W., Berr, C., Artero, S., and Ancelin, M.-L.: Designing prevention programmes to reduce incidence of dementia: prospective cohort study of modifiable risk factors, *BMJ*, No.c3885 (2010).
- [4] 国立長寿医療研究センター：認知症予防マニュアル，<http://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-sankou7-1.pdf> (accessed April 18, 2017).
- [5] Theill, N., Schumacher, V., Adelsberger, R., Martin, M., and Jäncke, L.: Effects of simultaneously performed cognitive and physical training in older adults, *BMC Neuroscience*, Vol.14, No.103 (2013).
- [6] 長崎市高齢者すこやか支援課：認知症支援ハンドブック，<http://www.nagasaki.med.or.jp/n-city/mdt/nshb.pdf> (April 18, 2017).
- [7] 大分県：認知症予防プログラム（運動・レク編）運用手順，<http://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/199591.pdf> (accessed April 18, 2017).
- [8] 田平隆行，中村剛，磯直樹，佐賀里昭，平瀬達哉：高齢者の認知機能低下予防プログラム「拮抗体操」の開発—前頭前野に及ぼす影響に関する予備的研究—，作業療法，Vol.31, No.4, pp.353-362 (2012).
- [9] 日本理学療法士協会：資料・統計，<http://www.japanpt.or.jp/about/data/> (accessed April 18, 2017).
- [10] 松隈浩之，藤岡定，中島愛，金子晃介，梶原治朗，林田健太，服部文忠：起立-着席訓練のためのリハビリ

- リテーション用シリアスゲームの介護老人保健施設への導入, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.3, pp.1041-1049 (2012).
- [11] 北越大輔, 岡野卓矢, 鈴木雅人: コミュニケーションロボットとの対戦型ゲームにもとづく介護予防システムの提案, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol.J97-A, No.6, pp.406-410 (2014).
- [12] Bruckheimer, A. D. and Soares, A. V.: Dance2Rehab3D: A 3D virtual rehabilitation game, *14th Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp.182-190 (2012).
- [13] Mentiplay, B. F., Clark, R. A., Mullins, A., Bryant, A. L., Bartold, S., and Paterson, K.: Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture, *Journal of Foot and Ankle Research*, Vol.6, No.14, pp.6-14 (2013).
- [14] Metcalf, C. D., Robinson, R., Malpass, A. J., Bogle, T. P., Dell, T. A., Harris, C., and Demain, S. H.: Markerless motion capture and measurement of hand kinematics: validation and application to home-based upper limb rehabilitation, *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol.60, No.8, pp.2184-2192 (2013).
- [15] Erazo, O., Pino, J. A., Pino, R., and Fernández, C.: Magic mirror for neurorehabilitation of people with upper limb dysfunction using Kinect. *47th Hawaii Int. Conf. on System Science* (2014).
- [16] Jintronix, <http://www.jintronix.com/> (accessed April 18, 2017).
- [17] Patent WO 2013090554 A1: Method and system for evaluating a patient during a rehabilitation exercise, Publication date June 20, 2013. Patent US 20140371633 A1, Publication date Dec. 18, 2014.
- [18] Reflexion Health, <http://reflexionhealth.com/> (accessed April 18, 2017).
- [19] Virtualrehab, <http://www.virtualrehab.info/> (accessed April 18, 2017).
- [20] Seeme, <http://www.virtual-realityrehabilitation.com/products/seeme/what-is-seeme> (accessed April 18, 2017).
- [21] Watanabe, T., Ohtsuka, N., Shibusawa, S., Kamada, M., and Yonekura, T.: Design of lower limb chair exercise support system with depth sensor, *The 11th IEEE Int. Conf. on Ubiquitous Intelligence and Computing*, pp.104-111 (2014).
- [22] Watanabe, T., Ohtsuka, N., Shibusawa, S., Kamada, M., and Yonekura, T.: Design and development of lower limb chair exercise support system with depth sensor, *Trans. on Networks and Communications*, Vol.3, No.4, pp.30-45 (2015).
- [23] 鎌田和樹, 渡邊俊哉, 渋沢進: 深度画像センサを用いた拮抗体操支援システムの改良と評価, 情報処理学会第 163 回 HCI 研究会資料, Vol. 2015-HCI-163, No.13 (2015).
- [24] Hasan, S. A., Kamata, K., Watanabe, T., Shibusawa, S., Kamada, M., Yonekura, T., and Yamada, M.: Recognition of antagonistic exercise using a depth image sensor, *Int. Conf. on RIET*, pp.38-44 (2016).

### 〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Recognition of Antagonistic Exercise Using a Depth Image Sensor	Int. Journal of Advances in Electronics and Computer Science	2016年4月
Design of an Antagonistic Exercise Support System Using a Depth Image Sensor	Proc. of PervasiveHealth	2016年5月
Kinect センサを用いた椅子体操支援システム	地域ケアリング	2016年7月
Kinect を用いた下肢の椅子体操支援システム	地域ケアリング	2016年8月 (再掲載)
Development of an Antagonistic Exercise Support System Using a Depth Image Sensor	Proc. of the First Int. Workshop on Smart Sensing Systems	2016年11月
Recipe-Recommendation System Based on Physical-Characteristics Recognition Using a Depth Image Sensor	Proc. of Int. Conf. on Recent Innovations in Engineering and Technology	2017年1月