

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：14701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26560119

研究課題名(和文) 拡張現実感による動作CGアニメーションを利用した非利き側動作の学習支援環境

研究課題名(英文) A Motion Skill Learning Support Environment for Non-dominant Side of Body using CG Animation with AR

研究代表者

曽我 真人(SOGA, Masato)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：60252839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、主に非利き側の動作をどのように学習支援するかについて、方法論の開発とそれに基づいた学習支援システムの構築を行うことを最終目的とする。本研究では要素技術の開発として、熟練者の動作をARアニメーションを利用して3次元で表示する技術を開発した。さらに、複数の熟練者の動作データをあらかじめ取得してポーンデータとしてアーカイブ保存する動作データベースを構築する。その動作データベース内の熟練者の動作について、VR空間において、左右を反転して表示する機能、学習者の動作との差分を可視化する機能、学習者の動作に合わせて熟練者の動作を提示する機能、熟練者の動作スピードを変える機能などを設けた。

研究成果の概要(英文)：The final research goal of this project is to develop a method to assist skill learning for non-dominant part of the body and to develop prototype systems based on the method. Actually, we developed elemental technics for the goal as follows. One is that we developed a system which displays target expert's motion by 3D AR animation. The other is that we developed a system which can store several target experts' motions as archived data and displays one of expert's motions in the VR space. The system supports several functions such as the function for motion synchronization, the function for changing speed, the function for physique accordance, the function for selecting target expert's motion, the function for showing target joints' next trajectories, the function for showing learner's error bones, the function for according both waist positions, the function for reversing target motion horizontally.

研究分野：教育工学

キーワード：スキル 学習支援 技能 インタラクション 動作 スポーツ

## 1. 研究開始当初の背景

身体動作の学習支援の研究は、以前からいくつ研究事例がある。しかし、非利き側の動作の学習支援を行う研究はほとんどなかった。

人間は、利き側では容易に行うことができる動作であっても、非利き側では困難であることが多い。たとえば、投球動作は、利き側では正確なフォームで投げることができ、かつ、目標地点にボールを到達させることができる学習者は多い。しかし、そのような学習者であっても、非利き側で投球動作を行うと、フォームが不完全であったり、崩れてしまったりし、目標地点にボールを到達させることが困難である。

## 2. 研究の目的

研究の背景をふまえて、本研究では、主に非利き側の動作をどのように学習支援するかについて、方法論の開発とそれに基づいた学習支援システムの構築を行うこととした。

また、そのための要素技術の開発として、熟練者の動作を AR アニメーションを利用して 3 次元で表示する技術を開発する。

さらに、複数の熟練者の動作データをあらかじめ取得してボーンデータとしてアーカイブ保存する動作データベースを構築する。その動作データベース内の熟練者の動作について、VR 空間において、左右を反転して表示する機能、学習者の動作との差分を可視化する機能、学習者の動作に合わせて熟練者の動作を提示する機能などを設ける。

## 3. 研究の方法

本章では、構築した 2 つのシステムについて述べる。一方は AR を用いたシステムで、3.1 節において解説する。もう一方は VR を用いたシステムで、3.2 節において解説する。

### 3.1 熟練者の動作の 3 次元 AR 表示システムの開発

#### 3.1.1. 概要

本サブプロジェクトの目的は、立体視による姿勢動作の三次元軌道提示システムを構築、またそれに伴い三次元軌道提示システムで使用可能なデータを生成するシステムを構築することである。これにより、ヘッドマウントディスプレイを通して見る映像が立体的に見ることができ、先行研究ではできなかった距離感を掴むことが可能となる。また、従来の学習方法との比較において本システムの有用性を検証すること、軌道表示を行った場合の学習者の軌道変化への影響に対する検証を行うことも目的に含む。

#### 3.1.2 システム構成

本システムではデータ取得時とデータ提示時で使用する機材・システムが異なる。データ取得時では PC, Kinect, ウェブカメラ、

AR マーカを使用する。データ提示時の場合、PC, 立体視用ヘッドマウントディスプレイ、立体視用ウェブカメラ、AR マーカで構成される。

#### 3.1.3 動作データ取得システム

本サブプロジェクトでは、動作の三次元軌道を表示するシステムを開発する際に、システム処理を円滑にするために独自の形式で動作データを取得することにした。そこで、三次元軌道表示システムと同時に動作データ取得システムの開発を行った。動作データ取得システムは、Kinect を用いて動作データを取得するもので、各関節の空間座標をデータとして保存する。また、AR マーカを用いることで道具の角度情報を取得できるようにした。これにより、道具の位置が明解である動作に限り、道具を用いた動作に対応できるようになる。

#### 3.1.4 三次元軌道表示システム

本システムは、動作データ取得システムで取得した各関節の空間座標データを元に CG アニメーションを作成している。本システムでは、AR を実現するために立体視用ウェブカメラを使用しており、2 つのカメラから取得したそれぞれの映像に CG アニメーションを重ね合わせている。CG アニメーションはあらかじめ視差に応じてシステム内で視点をずらしており、また立体視用ヘッドマウントディスプレイにはヘッドトラッキング機能が内蔵されているため、頭部の回転によるアニメーションの回転は内蔵センサのデータを元に行っている。

道具の使用に関しては前節の通り、道具の位置が明解である動作に限り対応が可能である。

#### 3.1.5 AR マーカを用いたシステム内部の視点位置補正機能

本サブプロジェクトでは、AR マーカを用いたシステム内部の視点位置を補正する機能を実装することで頭部の移動の制限を緩和させることを試みた。視点位置補正機能を実装するために AR マーカを使用した。AR マーカから取得したマーカの位置情報と頭部の回転情報を元に CG アニメーションを移動することでシステム利用者が移動をしても利用者からみた CG アニメーションの現実世界における位置関係が変わらなくなる。また、システムにはあらかじめ AR マーカの位置情報を設定しているが、動作が利用者の思惑に反する位置に表示されていた場合に AR マーカをシステムで設定した位置から移動させることで視点位置の微調整が可能となる。

#### 3.1.6 システムの機能

本システムでは、姿勢動作の三次元軌道を表示する以外にも学習の補助となり得る機能や、システム利用者の負担を軽減するため

の機能を加えた。

### 3.1.6.1 先行・残像表示機能

本システムでは、動作の三次元軌道表示を球によるグラデーション表示で行っており、先行部分は赤のグラデーション、残像部分は黒のグラデーションで表示している。また、システム利用者に視覚的にわかりやすくするため、軌道上の現在位置から離れるにしたがって過度を高くしている。軌道を表示する部位はあらかじめシステム内部に入力する。本研究では対象動作を書道とするので、右手の軌道を表示する。

### 3.1.6.2 マーカによる文字情報表示機能

本システムでは、軌道表示だけでは伝えることができない情報について、AR マーカによる文字情報表示の機能を加えた。これにより、ヘッドマウントディスプレイを装着した状態で AR マーカを任意のタイミングで視野に入れるだけで文字による学習の補助となる情報を得ることができる。

### 3.1.6.3 視点方向校正機能

本システムでは、ヘッドマウントディスプレイに内蔵されているセンサによって頭部の向きを取得しているが、システム起動時にセンサ側が初期の頭部の向きを決定してしまうため、開始時の方向が誤っている場合にそのままシステムの使用を継続することが困難である。その問題に対応するため、頭部の向きを初期化する機能を実装した。本機能は、システムの利便性を図るため、マウスクリック操作のみで実行可能なものとなっている。

## 3.2 熟練者の動作データベースの構築と VR 空間における学習者の動作とのリアルタイム比較学習支援環境

本システムは、複数の熟練者の動作データをデータベースに蓄積しておき、学習者がそれらの熟練者の動作データの中から、必要なものを選び出し、VR 空間にて、学習者の動作をリアルタイムに熟練者の動作に重ね表示しながら、比較学習を可能にするものである。

### 3.2.1 システムの概要

提案するシステムの概要を述べる。まず、操作手順についてであるが、学習者が行なう操作は、以下の①～③のとおりである。システム起動後、この順序で操作画面が提示され、学習者はシステムの指示に従って操作する。

- ① 体格のキャリブレーション
- ② 手本動作の選択
- ③ 動作の重ね合わせ学習

体格のキャリブレーションは、学習者が Kinect v2 の前に正対することによって自動で行なわれる。学習者が全身を Kinect v2 に映した状態で 3 秒間静止すると、キャリブレーションは完了する。

手本動作の選択は、学習者が複数の熟練者動作のうち 1 つを任意に選択することによって行なう。このとき、熟練者動作は体格類似順に並び替えられた状態で提示される。

動作の重ね合わせ学習は、学習者が仮想空間内の自分の骨格を手本動作の骨格に重ね合わせることによって行なう。このとき、画面下部の操作パネルからスピード同期機能を含む各種機能を利用することが可能である。また、仮想カメラを移動させて視点を変えたり、画面上部のスライダーを調節して任意のタイミングまで動作を動かしたりすることも可能である。

### 3.2.2 システムの機能

主機能としてスピード同期機能をもつほか、スピード変更機能、体格一致機能、手本動作選択機能、サポート線表示機能、誤りマーク機能、位置一致機能、手本鏡転機能などを具える。また、体格を一致しながらサポート線を表示したり、スピードを同期しながら誤りをマークしたりするなど、複数の機能を組み合わせて利用することも可能である。

#### 3.2.2.1 スピード同期機能

本節では、提案システムの主機能であるスピード同期機能について述べる。

手本動作が学習者の動作に自動でシンクロする機能である。すなわち、学習者の動作スピードが手本動作よりも速い場合は、手本動作のスピードもまた学習者に合わせて速くなり、学習者の動作スピードが手本動作よりも遅い場合は、手本動作のスピードもまた学習者に合わせて遅くなる。また、学習者が任意の時点で身体を静止した場合、手本動作もその対応時点の姿勢を維持したまま一時停止状態となる。以上の処理はリアルタイムに行なわれ、一連の動作の中に速い期間と遅い期間とが交互に現れたとしても対応可能である。さらに、簡単な動きから構成された対象動作ならば、学習者が現在姿勢からそのまま逆再生のように過去の姿勢に戻るだけで、手本動作も連動して該当時点まで巻き戻り、その時点からのやり直しが可能である。利用場面として、各タイミングにおける姿勢の学習をするために利用することを想定している。従来、学習者は所与の手本動作を追従することによって学習を行っていたが、この機能では手本動作のほうで学習者のスピードに合わせてやってくるため、各タイミングにおける姿勢の学習が容易であるといえる。

問題点として、学習者が支離滅裂な動作を行なった場合、時系列のマッチングが破綻してしまうおそれがある。また、機能の仕様上、動作の間合いやタイミングを学習する場面には適さない。このほか、複雑な動きから構成される対象動作を精度よくスピード同期するためには、後述するアルゴリズム内において重みづけ係数のチューニングや無視す

べき関節の設定などが必要になる場合がある。

### 3.2.2.2 スピード変更機能

手本動作の再生速度を任意に変更することができる機能である。再生速度は、速くすることも遅くすることも可能である。利用場面として、動作に不慣れな初心者が0.5倍速や0.8倍速の手本動作を参考にするために利用することを想定している。問題点として、動き方が速度に依存するような動作に対してこの機能を適用した場合、不適切な手本を提示することになるおそれがある。

### 3.2.2.3 体格一致機能

手本動作の体格が学習者の体格に合うように、自動一致処理を施す機能である。つまり、手本動作の各骨の長さを学習者の各骨の長さに応じて拡大または縮小し、両者の全身の体格が一致するように加工する仕組みである。

利用場面として、学習者が自身の動作と手本動作とを容易に比較するために利用することを想定している。従来、学習者は手本動作として体格の異なる熟練者の動作を参考にすることがあったが、その場合、たとえ同じ姿勢をとったとしても、自分と手本とで各関節の位置や角度が異なってしまうという問題点があった。本機能はその問題点を解消し、動作の容易な比較を支援している。

問題点として、各骨の拡張処理のためにオリジナルの動作の均整が崩されてしまい、不適切な手本を提示することになるおそれがある。

### 3.2.2.4 手本動作選択機能

複数の熟練者の動作データの中から、学習に利用する手本動作を1つ設定する機能である。システムは各熟練者データの体格と学習者の体格とを自動で比較し、体格が類似している順にデータを自動で並べ替えて提示する。学習者は容易に自分の体格に近い動作データを手本動作として設定することが可能である。前述した体格一致機能が熟練者の体格を加工して学習者の体格に自動一致するものであるのに対し、この機能は既存の熟練者データの中から学習者の体格に類似しているものを選出し、オリジナルの体格のまま手本動作として利用する仕様である。したがって、前述した体格一致機能の問題点は、この機能においては発生しない。

利用場面として、学習者が自身の体格に適した動作を学ぶために利用することを想定している。また、複数の熟練者動作を参考にすることで、同じ対象動作であっても正しい身体の動きには曖昧性があることを学ぶことも可能である。

問題点として、必ずしも学習者の体格に近いデータが見つかるとは限らない点が挙げ

られる。

### 3.2.2.5 サポート線表示機能

手本動作の各関節から線を伸ばし、次にとるべき動きの流れを視覚的に指示する機能である。

利用場面として、動きの流れを十分に把握していない初心者が動作をスムーズに行うために利用することを想定している。

### 3.2.2.6 誤りマーク機能

手本動作との差異が大きい部位を色付けして示す機能である。色の濃さは差異の大きさに応じて変わる。

利用場面として、学習者が自身の動作と手本動作との差異を一目で把握するために利用することを想定している。

問題点として、部位によっては小さな差異が重大な意味を持つ場合や、たとえ差異が大きくても重大視する必要のない場合があるが、それらが色付けに考慮されないおそれがある。

### 3.2.2.7 位置一致機能

腰の座標を基準として、手本動作と学習者動作の全身としての位置を常に一致する機能である。

利用場面として、学習者が現在立っている位置に依存せず、自身の動作と手本動作との差異を把握するために利用することを想定している。

問題点として、各タイミングでの立ち位置や全身の移動が動作の中で重要な意味を持つ場合には適さない。

### 3.2.2.8 手本鏡転機能

手本動作を左右反転する機能である。利用場面として、利き手や利き足によって動きや姿勢が反転するような場合、手本動作の利き側を自分の利き側に合せて学習することを想定している。

## 4. 研究成果

本章では、3章にて説明した2つのシステムの評価実験について述べる。4.1節ではARを用いたシステムの評価実験について述べ、4.2節ではVRを用いたシステムの評価実験について述べる。

### 4.1 熟練者の動作の3次元AR表示システムの評価実験

ARを用いたシステムについては、2つの評価実験を行った。従来の学習方法との比較実験と、軌道追従に関する検証実験である。

#### 4.1.1 従来の学習方法との比較実験

比較実験では、対象動作を「書道」に設定して21~24歳の本学学生14名を対象に従来の学習方法（統制群）と本システムを使った学習法（実験群）の比較を行った。本実験に

おける従来の学習方法とは、テキストによる学習のことを指す。今回の実験に用いたテキストは実験群の手本動作となる熟練者が学習に用いたテキストを参考にまとめたものである。主観評価アンケートは実験協力者全員にシステムを使用してもらった後に行った。

本実験では、実験協力者全員に事前テストとして学習していない状態で「永」という文字を書いてもらった。その後、実験群にはシステム、統制群にはテキストを用いて学習を行ってもらい、事後テストに再度「永」という文字を書いてもらった。実験協力者は、事後テスト終了後にもう一方の群の学習方法を一通り体験した後、アンケートに回答した。

#### 4.1.2 軌道追従に関する検証実験

この検証実験では、比較実験と同じ動作で21~24歳の本学学生12名を対象に三次元軌道表示による学習者の軌道修正の度合いの検証を行った。また、テキストを用いて学習した統制群との比較も行った。これは三次元の軌道表示に対して学習者が実際に熟練者のデータが提示したとおりの動作をすることができているのかを検証するものである。統制群では、テキストの内容を腕の動かし方に重点を置いたものに変更した。

#### 4.1.3 実験結果

両実験結果については、本稿末尾に掲載されている[雑誌論文]の(8)を参照されたい。

### 4.2 VR空間における学習者の動作とのリアルタイム比較学習支援環境の評価実験

熟練者の動作データベースの構築とVR空間における学習者の動作とのリアルタイム比較学習支援環境の有用性を評価するために、スキル向上値の定量評価およびアンケートを実施した。

#### 4.2.1 実験方法の概要

スキル向上値の定量評価では、被験者を実験群と統制群に分け、それぞれスピード同期機能のあるシステム(システムA)とスピード同期機能のないシステム(システムB)で学習させることにより、スピード同期機能が動作学習に与える影響を定量的に調査した。なお、両システムはスピード同期機能の有無以外に相違点はなく、インタフェースや操作方法は共通である。

アンケートは、被験者が両システムおよびスピード同期機能を含む各機能を主観評価することによって行なった。

#### 4.2.2 実験方法の詳細

被験者は12人とし、学習時間は30分程度、対象動作は弓道の弓を引く一連の動作(射法八節)とした。

実験群は以下①~⑥の順に、統制群はこのうち③と⑤を入れ替えた順によって実験を

行なった。

- ① 動作の簡易レクチャー
- ② BVH形式による事前動作の取得
- ③ システムAの操作
- ④ BVH形式による事後動作取得
- ⑤ システムBの操作
- ⑥ アンケート

#### 4.2.3 実験結果

統制群と実験群とを比較した場合、定量的なスキル向上値に有意な差は現れなかったが、アンケートにおいては、スピード同期機能は全体的に肯定的な評価を獲得した。詳しくは、本稿末尾に掲載されている[雑誌論文]の(1)~(4)を参照されたい。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計11件)

- (1) 吉永 稔弘, 曾我 真人, 自動動作に参照動作が自動追従する動作比較学習支援環境, 教育システム情報学会全国大会, pp. 249-250, 2017, 査読無
- (2) 曾我真人, 吉永稔弘, 実世界での動作に参照動作がリアルタイムに自動追従する動作比較学習支援環境, VR学会大会, 1-4, 2017, 査読無
- (3) 吉永稔弘, 曾我真人, 手本動作の速さを学習者に合わせる動作学習支援システムの構築, 情報処理学会シンポジウム・インタラクティブ2017, 265-268, 査読有
- (4) 吉永稔弘, 曾我真人, 手本動作のスピードがリアルタイムに学習者の動作スピードと同期する動作学習支援システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告[教育工学], Vol. 108, No. 470, 37-42, 2017, 査読無
- (5) 高良貴博, 曾我真人, 動作の左右反転による非利き側動作学習システムの設計, 第41回教育システム情報学会全国大会論文集, 113-114, 2016, 査読無
- (6) 吉永稔弘, 曾我真人, 多様な手本動作をリアルタイムに提示する動作学習支援システムの提案と構築, 教育システム情報学会第4回研究会報告, Vol. 31, no. 4, 33-36, 2016, 査読無
- (7) 高良 貴博, 曾我 真人, KINECT を用いた非利き側動作学習支援環境の設計, 電子情報通信学会技術研究報告 vol. 115(444), pp. 7-10, 2016, 査読無
- (8) 佐藤優太, 曾我真人, 立体視を用いた姿勢動作の三次元軌道表示システムの構築, 教育システム情報学会研究報告, Vol. 30(7), pp. 149-154, 2016, 査読無
- (9) 廣田一樹, 曾我真人, 瀧寛和, Kinect を利用した左右反転動作で気付きを与える動作学習支援環境の構築, 教育システム情

報学会 2014 年度特集論文研究会,  
pp. 9-14, 2015, 査読無

- (10) 佐藤優太, 曾我真人, 瀧寛和, 全身動作と  
手指動作を統合表示したモーショ  
ンナビゲータ II の開発, 第 39 回教育シ  
ステム情報学会全国大会, pp. 211-212, 2014,  
査読無
- (11) 佐藤優太, 曾我真人, 瀧寛和, 手指動作と  
全身動作を統合表示したモーショ  
ンナビゲータ II の構築, 信学技報, vol. 114,  
no. 305, pp. 7-12, 2014, 査読無

[学会発表] (計 11 件)

- (1) 曾我真人, 吉永稔弘, 実世界での動作に  
参照動作がリアルタイムに自動追従する  
動作比較学習支援環境, 第 22 回バーチャ  
ルリアリティ学会大会, 徳島大学, 2017  
年 9 月 27~29 日
- (2) 吉永 稔弘, 曾我 真人, 自動作に参照動  
作が自動追従する動作比較学習支援環境,  
教育システム情報学会全国大会, 北九州  
国際会議場, 2017 年 8 月 23~25 日
- (3) 吉永稔弘, 曾我真人, 手本動作のスピー  
ドがリアルタイムに学習者の動作スピー  
ドと同期する動作学習支援システムの構  
築, 電子情報通信学会技術研究報告[教育  
工学], 新居浜高専, 2017 年 3 月 10 日
- (4) 吉永稔弘, 曾我真人, 手本動作の速さを  
学習者に合わせる動作学習支援システ  
ムの構築, 情報処理学会シンポジウム・イ  
ンタラクシオン 2017, 明治大学, 2017 年  
3 月 2~4 日
- (5) 吉永稔弘, 曾我真人, 多様な手本動作を  
リアルタイムに提示する動作学習支援シ  
ステムの提案と構築, 教育システム情報  
学会第 4 回研究会, 近畿大学東大阪キャン  
パス, 2016 年 12 月 10 日
- (6) 高良貴博, 曾我真人, 動作の左右反転に  
よる非利き側動作学習システムの設計,  
第 41 回教育システム情報学会全国大会,  
帝京大学宇都宮キャンパス, 2016 年 8 月  
29~31 日
- (7) 佐藤優太, 曾我真人, 立体視を用いた姿  
勢動作の三次元軌道表示システムの構築,  
教育システム情報学会特集論文研究会,  
東京工芸大学, 2016 年 3 月 19 日
- (8) 高良 貴博, 曾我 真人, KINECT を用い  
た非利き側動作学習支援環境の設計, 電  
子情報通信学会教育工学研究会, 関西大  
学 2016 年 1 月 30 日
- (9) 廣田一樹, 曾我真人, 瀧寛和, Kinect を利  
用した左右反転動作で気付きを与える動  
作学習支援環境の構築, 教育システム情  
報学会 2014 年度特集論文研究会, 香川大  
学, 2015 年 3 月 21 日
- (10) 佐藤優太, 曾我真人, 瀧寛和, 手指動作と  
全身動作を統合表示したモーショ  
ンナビゲータ II の構築, 電子情報通信学会教

育工学研究会, 大阪府立大学中百舌鳥キ  
ャンパス, 2014 年 11 月 14 日

- (11) 佐藤優太, 曾我真人, 瀧寛和, 全身動  
作と手指動作を統合表示したモーショ  
ンナビゲータ II の開発, 第 39 回教育シ  
ステム情報学会全国大会, 和歌山大学,  
2014 年 9 月 10~12 日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

曾我 真人 (SOGA, Masato)  
和歌山大学・システム工学部・准教授  
研究者番号: 60252839

### (2) 研究分担者 (平成 26 年度のみ)

瀧 寛和 (TAKI, Hirokazu)  
和歌山大学・学内共同利用施設等・学長  
研究者番号: 10304180

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

### (4) 研究協力者

( )