

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350272

研究課題名(和文) 実写と骨格映像を併用した全方向撮影動画による技能修得支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of a skill learning support system by taking a picture and the omnidirectional photography animation which used a bones picture

研究代表者

西 正明 (NISHI, Masaaki)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：50218103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：3次元距離センサーKINECTを用いて作業姿勢の修正方向と大きさを表示するようにした。木の板材を鋸引きする実践授業の結果、作業姿勢を正しくして切断面の垂直精度を向上するのに有効だった。また、このシステムは最初から使うよりも、数回の鋸引きをした後に用いる方が、技能修得の定着性に効果的だった。また、作品の3次元画像を閲覧するのに、3次元距離センサーLEAPを用いて、手指の動作で回転や拡大の操作ができるようにした。製作品の構想段階で、今までの作品例や使用例などを閲覧する授業実践をしたところ、回転・拡大の閲覧機能を活用して細部の組み立てを調べ、製作品を構想するのに効果的だった。

研究成果の概要(英文)：The way of the correction and the size of the working posture were indicated using distance sensor KINECT of three dimensions. It was effective to make the working posture right and improve the vertical precision of the section as a result of the class practice which sawed a wooden board. After doing several times of saw pull, the person who uses was more effective in the fixation of the skill acquisition than this system was used from the beginning. I made sure that a revolution and expansion can be operated by movement of a hand finger using distance sensor LEAP of three dimensions to read a three-dimensional picture of a work. When the class practice which observes the former work example and use example was done at the plan stage of the manufactured product, it was effective to plan a manufactured product to utilize the function of the revolution and the expansion and check a detail of assembly.

研究分野：教育工学

キーワード：教授学習支援システム 技能修得支援システム 自己確認学習 作品撮影・閲覧システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 小中学校で授業を進めるうえで、導入やまとめの際に学習カードがよく用いられる。これによって行われる振り返りや学習目標の確認は、学習の過程においてとても有効である。学習カードはポートフォリオの一種と考えることができ、そのような振り返り学習を行うための有効なツールとして、以前から用いられてきている。ポートフォリオは、評定を行う際にも参考にできる点で大いに利用価値がある。本研究では、Web 上で利用するデジタルポートフォリオを念頭においている。これまでのデジタルポートフォリオは個々の目的別に構築されることが多かった。あるいは、多機能のために大掛かりになってしまい、使いにくいということが多かった。そのためこれまでに、Web 上で手軽に操作することができるデジタルポートフォリオシステムを構築して検討してきた。このシステムでは、学習者は授業開始時に「今日の課題」を見て確認し、授業終了間際に学べたことを記入することができる。これを中学校技術科の情報（文書作成）の授業で活用した結果、学習経過を容易に記録することができ、学習指導などに活用するうえで有効であった。また、教師や他の学習者とのコミュニティの場を提供することで、さまざまな問題の解決支援にも使用することができた。

(2) 一方、あらゆる作業や動作または運動に関する技能修得学習に使用できるシステムとして、自分の作業や動作の様子を撮影して、すぐに模範の画面と見比べることができて、授業の中で自分の改善点を自分で見出せることを狙ったシステムを開発してきた。鋸挽き作業の例を図1に示す。図1に示すように、実際の作業の様子をさまざまな角度から撮影しておいて再生ボタンを押すことで、さまざまな角度から見た作業動作を即座にタイミングを同期させながら比較閲覧して、模範の作業動作と見比べることができる。学習者同士でのペア学習では行えない自己確認が可能となり、自分で納得しながら上達していけると期待できる。中学校技術科の木材加工（鋸挽き作業）の授業でこのシステムを利用した結果、従来の教師による模範演示やペア学習に比べて技術向上が有意に認められる結果が得られている。さらに、製作した作品



図1 鋸挽きの3方向動画比較画面

をターンテーブルに載せて回転しながらさまざまな角度から撮影して、すぐにWebブラウザ上で撮影した作品をマウスの移動操作で回転・静止させて全方向から見られるようにした装置を開発してきている。

(3) 以上に述べた作業の技能修得支援システムと製作作品の撮影閲覧システムをデジタルポートフォリオシステム内に統合して、汎用的なデジタルポートフォリオシステムとして構築してきた。使用するカメラは、USBカメラの他にデジカメ、マイクロスコープ等が使用でき、複数台のギガイーサネットカメラによる多視点同時撮影も可能としている。

2. 研究の目的

(1) 作業や運動などの技能修得のために、自分の動作を撮影して再生する映像だけでなく、骨格映像を併用して身体の傾きの向きと大きさを矢印の向きと大きさで表示するようにして、より客観的な目標を持って技能向上できるようなポートフォリオシステムを開発することが第1の目的である。

(2) 製作作品の撮影閲覧システムにおいて、作品をマウス操作によって回転させて閲覧しているが、パソコンを扱う機械的な感覚から抜け出せないで機械操作の方に気がいってしまい、肝心の作品を見ることに集中しにくいことがある。また、図2に示すようにマウスのカーソルが邪魔になってしまうことも問題である。そこで、本研究の第2の目的は、空中の手の動きによって、作品をより自然な感覚で回転や拡大ができて、細部までよく鑑賞できるようにすることである。

画像の上でマウスを動かして、いろんな方向から作品を見よう！



図2 製作作品の回転閲覧

(3) さらには、ポートフォリオシステムをさまざまな場面で多様に利用できるようにするために、iPad等のタブレットデバイスにも対応させていくことを考える。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、作業の技能修得支援システムと作品の撮影閲覧システムをポートフォリオに組み込んだ統合システムを対象としている。作業の技能修得支援システムにおい

て実写の映像に、3次元距離センサーKINECTを使用して骨格の映像を重ね合わせて表示する。このとき、骨格の座標値から、模範との差を角度と距離で数値評価して、点数表示する。同時に、姿勢を修正する方向と大きさを矢印などで表示し、それが修正された時の映像を仮想表示してイメージを具体的客観的につかめるようにする。それによる作業の技能修得支援効果を明らかにする。

KINECTによる骨格映像の映し出し
距離画像センサーKINECTによる骨格映像の表示を行う。これには、Visual C#を用いて開発する。KINECT自体では、既に多くのライブラリーが公開されている。例えば腕の検出、検出した腕の中心点を追跡する関数などがある。それらを用いて本研究の目的に沿ったシステムを開発していく。まず、骨格映像の映し出しとその操作方法を確認する。

実映像との重ね合わせ
実写の映像に、3次元距離センサーKINECTを使用して骨格の映像を重ね合わせて表示する。

骨格映像から角度などの算出と表示
KINECTからは身体各関節部位の座標を取り出すことができる。この座標値を用いて角度などの数値計算を行い、結果を表示できるようにする。逆に座標値データを読み取って映像を作り出して表示できるようにする。

姿勢の類似度と修正量の提示
模範映像の骨格座標と学習者の骨格座標からそれぞれの部位の角度を比較して、類似度を算出できるようにする。模範に近づけるための姿勢の修正方向と度合いを数値計算して、それを矢印の向きと長さで表示できるようにする。また学習者が模範に最も近付いた場合の映像を仮想表示して提示できるようにする。

(2) 作品の撮影閲覧システムにおいて、撮影した作品の閲覧を、マウス操作ではなく空中での手指の動作で回転や拡大の操作ができるようにする。これによる操作性と作品鑑賞の教育学習効果を明らかにする。また、身体に障害を持つ方にも使用できるかどうかも明らかにする。

LEAPによる画像表示の操作の検討
作品画像を閲覧する際に手指の動きで回転や拡大の操作を行うためには、精度の高いモーションキャプチャの機能が必要である。KINECTでも精度を高めるように開発が進められているが、現時点では、KINECTよりも精度の高いLEAPが有望である。LEAPではLEAP対応アプリ作成のためのプログラム開発環境SDKが無償提供されているが、LEAPにはあまり多くの公開データがないので、本研究の目的に沿ったシステム開発が難しい可能性がある。その場合には、検出領域を狭めてKINECTを応用することを考える。

作品の表示画像の操作機能の実装
カメラで撮影したデジタル画像の比較や作

品画像の閲覧を手指のジェスチャで操作できるようにする。距離画像センサーには、映像を精細に扱えるLEAPを用いる予定であるが、難しい場合にはKINECTセンサーを用いて開発する。

授業実践で評価
作品画像の表示を空中の手指の動きによって回転や拡大の操作を行う機能についての評価を、授業実践を通して行う。作品を鑑賞する場面と教師による作品評価場面でこの評価を行う。

(3) 上記の(1)(2)において、iPad等のタブレットデバイスにも対応させることで様々な方法で操作が可能になった場合の操作性と利便性を追求して、それによる教授学習支援効果を明らかにする。

iPad, Androidタブレットでの表示
平成27年度に実装した作品の撮影閲覧システムについて、カメラで撮影したデジタル画像の比較や作品画像の閲覧をiPad, Androidタブレットでも表示操作できるようにして利用場を拡大させる。

システム改善
この時点までに開発したシステムを授業実践での評価を踏まえて、使用しにくい部分や非効率的な機能等を洗い出して、システムの改善を行う。

授業実践で評価
開発してきたシステムの総合的な評価の枠組みを設定して、撮影閲覧端末にパソコンを用いた場合とiPad, Androidタブレットを用いた場合の比較評価を行い、iPad, Androidタブレットを用いた場合の可能性、距離画像センサーKINECTによる骨格映像の表示の効果、作品画像を閲覧する際の利便性などについて、実際の授業を通してトータルな評価を行う。

(4) 国内外の学会において成果の発表を行う。

4. 研究成果

(1) 作業の技能修得支援システムと作品の撮影閲覧システムをポートフォリオに組み込んだ統合システムにおいて、まず作業の技能修得支援システムについて、以下の研究成果を得た。

距離画像センサーKINECTによる骨格映像の表示をVisual C#を用いてプログラムを開発して可能とした。骨格映像の映し出し方法とその操作方法を確認して、KINECTによる骨格映像と実映像を重ね合わせて表示させることが実現できた。表示例を図3に示す。頭を中心から両肩、両腕、両足までの骨格が表示されている。

模範の作業映像の骨格座標と学習者の骨格座標からそれぞれの部位の角度を比較して、模範に近づけるための姿勢の修正方向とその大きさを、図3に示すように、カラー

バーの長さで表示できるようにできた。図3からは、カラーバーの左端に頭の位置がくるように姿勢を修正すればよいことが分かる。

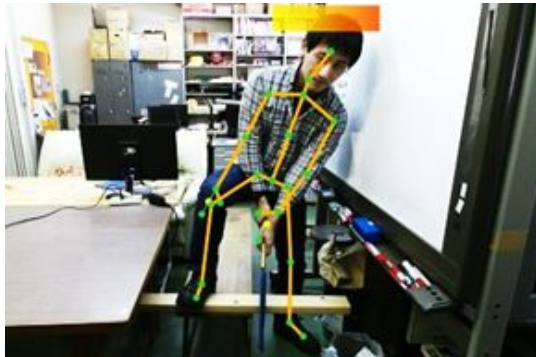


図3 姿勢の修正方向と大きさの表示

開発したシステムを使用せずに鋸挽きをした後でシステムを使用して鋸挽きを行うAパターンと、逆のBパターンをそれぞれ大学生8名ずつ行い、切断した木材の切断面角度を測定した。切断した木材の切断面角度の推移を図4に示す。A、B双方のパターンにおいてシステムを利用した場合はより90度

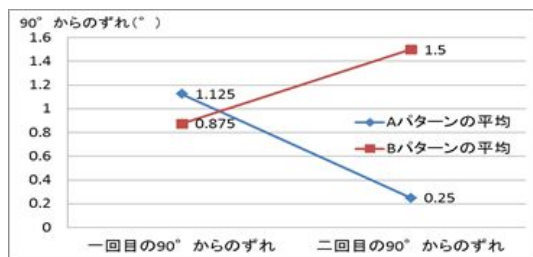


図4 木材の切断面角度の推移

に近い切断を行うことができていた。分散分析の結果、交互作用において $p=0.016$ となり、有意差が認められた。それぞれのパターンの一回目と二回目はt検定の結果、Aパターンは $p=0.041$ 、Bパターンは $p=0.049$ となり、それぞれ5%水準での有意差が確認された。

新型のKINECT v2を用いたことで、全身の関節の座標値をより精密に取得して保存で

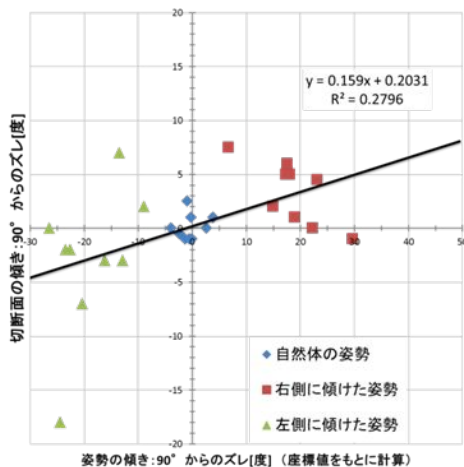


図5 姿勢の傾きと切断面の傾き

きるようにした。これによって、鋸挽きの姿勢をより精密に把握できるようになった。木材をクランプで固定して鋸挽きした場合について、KINECTで得た姿勢の傾きと切断面の傾きの関係を図5に示す。図5からわかるように、姿勢の傾きと切断面の角度には相関があることが確認された。

大学生4名に、1回目はシステムを使用しない、2回目でシステムを使用、3回目でシステムを使用しないで、それぞれ鋸挽きを行ってもらった。その時の切断面の傾き角度を図6に示す。図6に示すように、システムを使用していない1回目と比べてシステムを使用した2回目は90度に近い切断を行うことができ、3回目も1回目と比べて90度に近い切断を行うことができていた。姿勢の傾きについても1回目と比べて2回目、3回目の方がより垂直な姿勢で鋸挽きを行っていたことが確認された。

【90度からのズレ】

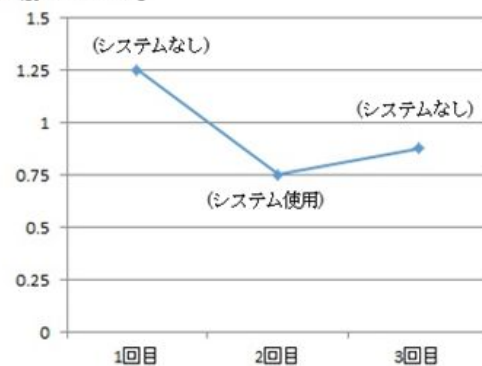


図6 システムの使用と切断面の傾き

作業後の姿勢確認のために、骨格アニメーション再生機能と作業姿勢の類似度算出機能を開発した。実践授業の結果、骨格アニメーション再生機能と作業姿勢の類似度算出機能について、興味度が高く、姿勢の違いや鋸を挽く角度・速さなどがよく理解できるという結果が得られた。また、技能修得支援システムを用いた鋸挽き作業の修得では、例えば5回の練習をするなら、最初から使用するよりも3回目以降の後半で使用する方が効果的であることが実践授業により明らかになった。さらに手本との類似度を動画とともに

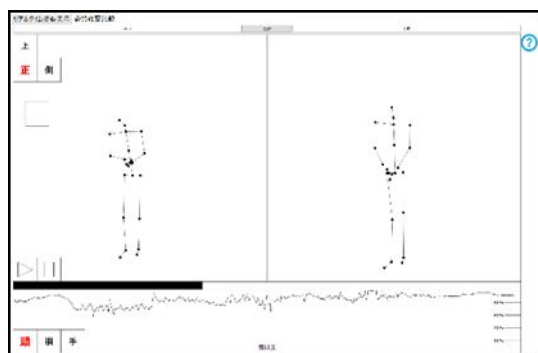


図7 骨格アニメーションと類似度の表示例

再生表示可能な機能を実現し、本システムを授業で活用できるシステムとしてまとめた。表示画面の例を図7に示す。図7では、視点を3方向に切り替えて表示することができ、2つの骨格画像を比較することができる。両者の類似度を時間の経過とともに下側に表示するようにしている。

(2) 作品の撮影閲覧システムについては以下の研究成果が得られた。

多視点画像表示のために必要な画像数は、3視点から1周12枚の36枚としている。作品をテーブルに乗せて回転させながらwebカメラで撮影している。撮影に使用したwebカメラは、USB2.0で使用すると、パソコン1台につき安定稼働台数は1台であった。撮影時間を短縮するために、作品を動画で撮影して静止画を抽出するようにしていた。USB3.0の規格で使用できれば、USB2.0の480Mbpsから約10倍以上の5120Mbpsの伝送速度になるため、使用しているwebカメラで30万画素の動画を30fpsでデータ転送する際の伝送速度は294.9Mbpsなので、計算上17台接続できることになる。実際には、USB3.0でパソコンと接続しても、30万画素カメラで安定に動作できたのは3台までだった。これはUSB3.0対応の安価なwebカメラが存在せず、USB2.0のwebカメラを使用せざるを得なかったためである。しかし、USB3.0接続で3方向を同時に撮影できるので、従来のUSB2.0を用いてwebカメラ1台で3回撮影する場合に比べて、撮影時間は1作品目ではほぼ同じ時間であるが、2作品目以降では1/3に短縮できることが分かった。

デジタルカメラを用いて撮影した画像を、オンラインフリーソフト「123D Catch」を用いて、3Dの画像ファイルの生成を試みたところ、提供した画像は全てが採用されて3Dファイルが生成できたが、画像数を70個程度に増やさないと表示画像が欠損した状態の3Dファイルになることがわかった。

作品画像を閲覧する際に非接触で手指の動きで回転や拡大の操作を行うためには、精度の高いモーションキャプチャの機能が必要であるが、LEAPを用いることで、カメラで撮影したデジタル画像の比較や作品画像の閲覧を手指のジェスチャーで操作できるようにできた。作品画像の表示を空中の手指の上下左右の動きで回転、手指の右回転で拡大、左回転で縮小となる操作について学生に対して評価を行った結果、操作性は普段から使っているマウスにかなわないが、手が汚れていて触れることができない場面や手袋をしている場合に有意性が見出された。

自分の製作する物をイメージ立案する場面で作品鑑賞を行う授業実践において、LEAPによる画像表示操作を評価する予定であったが、LEAPを用いた回転・拡大縮小の操作には僅かながらコツが要求されたため、これに比べて素手の状態で確実に操作できるマウ

スを用いた操作で、中学校技術科2年生を対象に授業実践を行った。その結果、製作する作品の構想を練る場面で構想の初期より中期の段階で細部に進行するにつれて、作品閲覧システムで作品の細部を拡大して見て調べるようになり、有効に活用されることが確認された。拡大表示機能については、『「多視点画像拡大表示」は作品の構想に役立ったか』のアンケート設問について、肯定的な評価が全体の89%を占めていた。

(3) 作品の撮影閲覧システムでは、カメラで撮影したデジタル画像の比較や作品画像の閲覧をweb上で行えるようにしているため、iPadやAndroidタブレット端末でもタッチパネル上の操作で難なく回転・拡大縮小の操作をして閲覧できることを確認した。また、タブレットの使用に当たり、学校現場においてこういった入力方法がよいのかを検討するために、大学生と高校生がキーボード入力とフリック入力のどちらが得意で、どのように感じているのかについて調査した。アルファベット混在の日本語の入力をしてもらったところ、大学生ではキーボード入力、高校生ではフリック入力の方が入力しやすいと考えており、実際に速く入力できていた。スマートフォンやタブレットで両手入力に向けた入力方法を提案し今後評価していくことにしている。

(4) 本研究で開発したシステムと得られた知見は、ものづくり・技術教育における情報通信技術利活用の先端に位置するものと考えられる。成果発表は、国内の学会（日本産業技術教育学会）において行っているが、引き続き本研究全体をまとめた成果報告を行っていく予定である。また、LEAPデバイスについては最近になってSDKの開発が進んで指の認識率が一段と高まってきているので、より実用的なシステムに発展できると考えている。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計14件)

佐久未佳, 西正明, 製作品使用例を含めた多視点拡大画像閲覧システムの効果, 日本産業技術教育学会第32回情報分科会研究発表会講演論文集, 新潟県上越ミュージゼ雪小町, 26, pp.69-70, 2017年2月19日

平岡駿, 西正明, ICT環境の違いによる高校生と大学生のキーボード入力速度の調査, 日本産業技術教育学会第32回情報分科会研究発表会講演論文集, 新潟県上越ミュージゼ雪小町, 18, pp.45-46, 2017年2月19日

浅沼直樹, 西正明, 技能学習における手本との類似度計算機能の開発, 日本産業技術教育学会第32回情報分科会研究発表会講演論文集, 新潟県上越ミュージゼ雪小町, 6, pp.13-14, 2017年2月18日

浅沼直樹, 西正明, Kinect v2を用いた姿

勢改善表示システムの使用時期と効果の検討，日本産業技術教育学会第 28 回北陸支部大会，福井大学，B-3，p10，2016 年 11 月 5 日

佐久未佳，西正明，構想段階における製作作品の多視点画像拡大表示の有効性，日本産業技術教育学会第 28 回北陸支部大会，福井大学，B-2，p9，2016 年 11 月 5 日

佐久未佳，佐々岡謙伍，西正明，製作作品鑑賞 3D システムの検討，日本産業技術教育学会第 31 回情報分科会研究発表会講演論文集，佐賀大学，17，pp.43-44，2016 年 2 月 28 日

浅沼直樹，西正明，Kinect v2 による鋸引き姿勢傾き計測と切断面との相関を踏まえた姿勢改善支援，日本産業技術教育学会第 31 回情報分科会研究発表会講演論文集，佐賀大学，7，pp.17-18，2016 年 2 月 27 日

佐久未佳，西正明，作品撮影装置における撮影カメラの多数化の試み，日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会 福井大学 B-3，p13，2015 年 11 月 7 日

佐々岡謙伍，西正明，製作作品鑑賞での Leap Motion による拡大縮小表示，日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会，福井大学，B-2，p12，2015 年 11 月 7 日

浅沼直樹，西正明，Kinect v2 を用いた鋸挽きにおける姿勢判定の高精度化 関節座標値保存 ，日本産業技術教育学会第 27 回北陸支部大会，福井大学，B-1，p11，2015 年 11 月 7 日

西正明，佐々岡謙伍，製作作品鑑賞への Leap Motion 利用の検討，日本産業技術教育学会第 58 回全国大会，愛媛大学，2B33，p87，2015 年 8 月 23 日

浅沼直樹，西正明，Kinect v2 を用いた姿勢改善表示システムの鋸挽き適用効果，日本産業技術教育学会第 30 回情報分科会研究発表会講演論文集，埼玉大学，20，pp.61-62，2015 年 3 月 15 日

石関秀伍，西正明，LEAP を用いた技能学習における作業の定量的評価，日本産業技術教育学会第 26 回北陸支部大会 信州大学 B-4，p15，2014 年 11 月 8 日

浅沼直樹，西正明，KINECT センサーを用いた技能学習における作業動作の姿勢改善表示システムの改良，日本産業技術教育学会第 26 回北陸支部大会，信州大学，B-3，p14，2014 年 11 月 8 日

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：交通信号灯

発明者：西正明，石関秀伍

権利者：信州大学

種類：特許

番号：特許願 2017-026588 号

出願年月日：2017 年 2 月 16 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.jmcNHNDm.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 正明 (NISHI, Masaaki)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：50218103