

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K02810

研究課題名(和文)人工知能技術と開放型MR装置を用いた低コストなものづくり技能学習システムの開発

研究課題名(英文)Development of low cost skill training system enhanced by AI and MR technology

研究代表者

寺西 大(Teranishi, Masaru)

広島工業大学・情報学部・准教授

研究者番号：50237004

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：技能学習を対象に、運動情報と感覚情報の可視化や、クセやコツの暗黙知を伝達できる学習支援システムについて、(1)学習者の技能動作時の脳波計測から暗黙知に関する基礎知見を得た。(2)AI技術である球面SOMによる暗黙知の抽出・可視化・分類の改良を行い、分類結果からファジィクラスタリングによる技能習熟の得点化を試みた。(3)暗黙知の各種情報を安価なディスプレイ装置を用いて開放型MR型で表示する方式について基礎検討した。(4)学習に適した解説エージェントの効果検証として、視覚障がいをもつ物理現象学習者の物理現象学習における音声ガイドエージェントの実装効果について検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イノベーターの資質を育む技術教育の充実を目指し技能力量認定水準に到達させるための技能学習システムには、技能向上に重要な暗黙知や学習者のクセ・気付きの可視化、追体験性の機能が必要である。本研究ではこの機能を実現すべく、(1)現実のものづくり作業環境との違和感を低減しつつ、効果的に暗黙知を追体験できる混合現実(MR)提示手法、(2)ものづくり技術の形式知と暗黙知を効果的に可視化、分類する人工知能手法、(3)ものづくり技能修得での解説エージェントの、開放型MRに適した情報提示内容・方法の開発、ならびに(4)これらの実装の低コスト化に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：We are developing new learner adaptive skill training systems. The systems aim to present the learner tacit knowledge of skill based on sensory or motion information. We have investigated and have improved our systems in the following functions: (1) Basic information about tacit knowledge of filing skill from EEG measurement of learners filing motions. (2) scoring method based on fuzzy clustering for peculiarity pattern of filing motion has been implemented. (3) Low-cost implementation methods of tacit knowledge display systems in open type Mixed Reality way are designed. (4) An audio guide agent system for low-vision learners has been implemented in the case of physical phenomena materials.

研究分野：機械学習

キーワード：技能学習 技能伝承 技術教育 自己組織化特徴マップ クラスタリング 力覚フィードバック xR 解説エージェント

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(学術的背景)イノベーターとしての資質が育まれる技術教育の充実が叫ばれ、近年、技術教育の学術団体はその力量認定を始めた。しかしその認定水準に到達させるための技能学習システムは未だ開発されていない。その開発が困難な理由に、製品製作の技能の向上に重要な暗黙知や学習者のクセ・気付きの可視化の未開発、従来の静止画・動画による教材の迫体験性の欠乏などがある。そこで道具の操作において、運動情報と感覚情報の統合処理が不可欠である研究結果を踏まえ、運動情報と感覚情報を可視化・拡張現実化する技能学習システム開発が考えられる。この目的で現在、力覚・触覚情報を入力する力覚フィードバック装置が開発され、シミュレータによる医療訓練やスポーツ訓練などに用いられているが、これらの装置は高価であることと、没入感を優先するために現実視界を遮蔽し、そのことが学習者にとっては実際の道具操作に違和感を与えてしまい、同装置の技能修得効果を低下させる原因となる。つまり既存のAR/VR技術をそのままの転用では導入コスト・提示効果の面でAR/VRの持つ没入感と価格が、ものづくり教育現場への広い普及を難しくしており、より現実空間に近く、かつ安価な実装化が急務である。さらに、プログラミング教育において学習者に形式知・暗黙知の気付きを促進するための解説エージェント導入の有効性が報告されている。また、不特定多数の学習者技能のクセの傾向のように、先見情報が不明なパターン認識・分類に対する人工知能の有効性も報告されているが、技能伝承分野での報告例は極めて少ない。

(学術的「問い」) 上記の背景・問題から研究課題が解決すべき問いは以下4点に要約される。

1. 現実のものづくり作業環境との違和感を低減しつつ、効果的に暗黙知を迫体験できる混合現実(MR)提示手法とは?
2. ものづくり技術の形式知と暗黙知を効果的に可視化、分類する人工知能手法とは?
3. ものづくり技能修得での解説エージェントの、開放式MRに適した情報提示内容・方法は?
4. これらの機能の低コスト化実装をどう工夫するか?

### 2. 研究の目的

○初学者のための開放式MR型ものづくり技能学習システムを開発する初の研究

従来の研究では、技能の暗黙知は、技能者等の作業分析を通して図解などによるマニュアル化を図る方法が一般的であり、これらはエキスパート(熟練者)や、ある程度経験した者でないと理解できない実態があった。この度の学習支援システムは、開放式混合現実(MR)を活用して熟練技能者の力覚・触覚を疑似体験させ、人工知能技術およびエージェントシステムを用いて自分の技能との違いの気付きを促し、技能の形式知と暗黙知を総合的・統合的に初学者でも習得できる先進的な学習モデルである。このシステムの効果についての検証を通して、これまでにない技能学習方法を提案できる。その結果は、「製品の製作技能」を習得していないすべての者のトレーニングに利用できる。特に初学者の小・中学生が、このシステムを利用することにより、さまざまな視点からの気付きで暗黙知の技能を高め、自信に満ちた製品の製作ができるようになれば、ものづくりに対する不器用意識が減少すると推察され、ひいては我が国の技術者養成を支えるイノベーターとしての資質を育むことが期待される。

○教育現場への普及を意識した低コスト技能学習システムの開発研究

力覚フィードバック装置をはじめとするAR、VRデバイスの技能教育への普及の大きな問題点は、その高価格にある。本研究は力覚フィードバック装置を加速度センサ内蔵の廉価な組み込み機器で、VRゴーグルによるAR表示を既存のLCDディスプレイで置き換えた開放式MRシステムを構築してAR/VR装置の計測精度・表現機能を十分維持しつつ、それらに代わる低コストなシステム実現に取り組む。

### 3. 研究の方法

本研究では上記の目的を達成するために、解決すべき下記の4つの課題に取り組む。

#### 課題(1) 初学者用開放式MR型ものづくり技能学習システムの開発と検証

「ものづくり技能の集積と伝承の必要性」の専門分野は、切削・研磨、組立加工、板金加工、計測・測定が重要(経済産業省大阪経済産業局 2007)であることを踏まえ、これら4分野のものづくり技能を対象に、非接触型モーションセンサなどを用いて「暗黙知」を伝達できる開放式MR型の学習支援システムを開発し、初学者を対象にシステムの有効性を検証する。

#### 課題(2) 暗黙知・形式知の抽出・可視化・分類のための人工知能技術の開発と検証

研究代表者らは先行研究において、上記(1)で開発するシステム機能の基礎となる、やすりがけ(切削・研磨)技能に特化した暗黙知の抽出・可視化・分類を行う人工知能技術の開発を始めている。本研究ではこの技術を改良し、組み立てや板金加工など他の技能へ適用する。

#### 課題(3) ものづくり技能学習、開放式MRに適した解説エージェントの開発と検証

プログラミング教育に利用される解説エージェント機能を同システムに活用するために、ものづくり学習に適した解説コンテンツ、ならびに開放式MRに適した提示手法の開発を行う。

#### 課題(4)ものづくり技能学習システムの低コスト実装

上記(1)で開発したシステムを容易に教育現場へ導入・普及できるように、現場ですでに導入されている PC などの教育現状の既存設備を最大限利用した低コスト実装に取り組む。具体的には、Excel などの Office ソフトウェアで標準的に利用できる VBA 言語によりシステム実装する。開発したシステムは実践を通してその有効性を検証するとともに、改善を図る。

#### 4. 研究成果

##### 課題(1)初学者用開放式 MR 型ものづくり技能学習システムの開発と検証

ものづくり技能の集積と伝承の必要性の高い、切削・研磨組立加工、板金加工、計測・測定 of 4 分野の一つであるやすりがけ技能を対象に、開放式 MR 型の学習支援システムについて、計測部を従来の接触型デバイスから非接触型モーションセンサへの置換に取り組んだ。また、動作特徴などの提示方法について、従来型の MR 装置の基礎実験から MR 表示機能の知見を得た。

また、はけ塗り技能を対象に開放式 MR 型の学習支援システムについて、塗布面に接触するはけの形状を直接画像で捉え、それを用いて塗布状態を仮想化して、実際の面に重畳表示する方式について、試作検討した。さらにはけ塗り、やすりがけ技能の開放式 MR 型の学習支援システムについて、暗黙知に基づくガイド表示を実際の操作部分に MR で重畳表示する方式を検討した。しかし、いずれの実装手法においても、従来の MR 表示方式に匹敵する表示効果を得るには至っていない。

##### 課題(2)暗黙知・形式知の抽出・可視化・分類のための人工知能技術の開発と検証

先行研究のやすりがけ(切削・研磨)技能に特化した暗黙知の抽出・可視化・分類を行う球面自己組織化特徴マップ(SOM)の改良に取り組んだ。具体的には、(1)従来設置数が離散的で限定されていた特徴マップのノードをより任意な数に設置できる配置アルゴリズムについて調査検討した。(2)処理に最も時間を要する自己組織化計算を高速化するための GPGPU での計算実装に取り組んだ。また、球面 SOM で得られた分類結果からファジィクラスタリングにより、学習者の習得度の数値化を試みた(図1)。この結果から、実測データから学習者の熟達を模擬した数値シミュレーションにより、習熟度得点の増加がどのようであるかの知見を得た。また、鉄工やすりによる平面仕上げにおける非熟練者の脳活動の計測を通じた知見を得た。

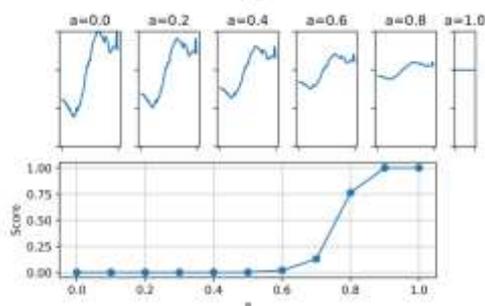


図1. 学習者の熟達を模擬した数値シミュレーション(上)による習熟度得点の変化(下)

##### 課題(3)ものづくり技能学習、開放式 MR に適した解説エージェントの開発と検証

解説エージェントを用いた教材提示において、従来の動画教材のほかに、さらにデータ量を軽減できる PowerPoint スライドでの教材提示においても、動画と同等以上の学習効果が得られることを確認し、教材提示方式の開発を進めた。また、解説エージェントの音声ガイド方式の視覚障がい学習者の物理学習支援システムへの適用に取り組んだ(図2)。その結果、触覚だけでは知覚しづらい事柄、例えば、物理量の値を音の周波数で表わすなどして可聴化し、触体験しながら音を聴くことでより鮮明な物理現象のイメージが形成できることが明らかになった。

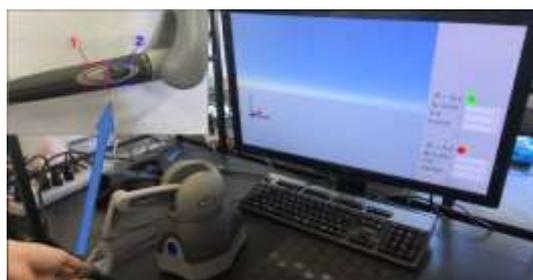


図2. 視覚障がい学習者のための音声解説エージェントと力覚デバイスを併用した物理現象学習システム

#### 課題(4)ものづくり技能学習システムの低コスト実装

PC などの教育現状の既存設備を最大限利用した低コスト実装として、球面 SOM の表示ソフトウェアについて、導入が容易な JavaScript による実装を行った(図 3)。また、上記課題(1)のはけ塗り動作ならびにやすりがけ動作に対する切削・塗布状態や工具操作指示表示などの情報提示における開放式 MR の可能性について、基礎検討を行った。各種情報の現実空間への重畳表示の提示方法について、曲面ディスプレイ、小型プロジェクタ、底面・側面設置 LCD による簡易型提示の試作に取り組んだ。また比較対象としての従来型の MR 装置の基礎検討から、MR 表示についての基礎知見を得た。

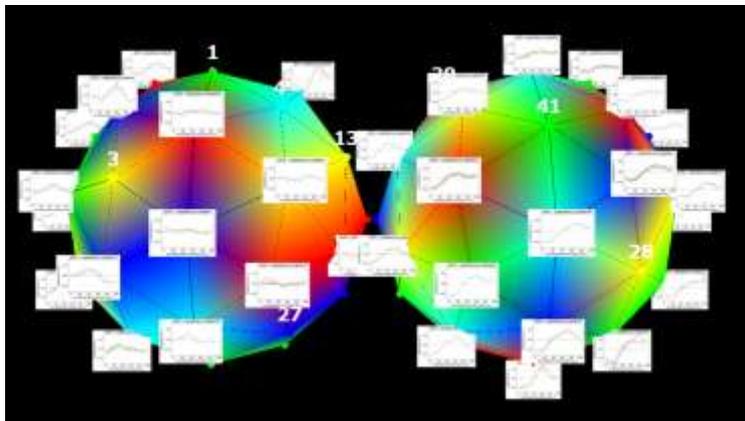


図 3. 球面 SOM 表示の JavaScript による実装

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 寺西 大, 松本慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 ファジィクラスタリングを用いた 鉄工やすり平面仕上げ動作の分類と得点化
3. 学会等名 2022 年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山廉, 松本慎平, 寺西大, 鈴木貴
2. 発表標題 三次元触覚デバイスを用いた視覚障がい者のための可聴化機能を有する物理学習支援システムの構築
3. 学会等名 教育システム情報学会2022年度学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山廉, 前田暉正, 松本慎平, 寺西大, 鈴木貴
2. 発表標題 三次元触覚デバイスを用いた視覚障がい者のための物理学習支援システムの構築
3. 学会等名 令和4年度(第73回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本慎平, 寺西大, 竹野英敏, 鈴木貴
2. 発表標題 力覚デバイスを用いた学習支援システム
3. 学会等名 2022年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹野英敏
2. 発表標題 NIRSを用いた鉄工やすりにより平面仕上げ非熟練者における脳活動の評価
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第64回全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松本 慎平 (Matsumoto Shimpei)  (30455183)	広島工業大学・情報学部・教授  (35403)	
研究分担者	竹野 英敏 (Takeno Hidetoshi)  (80344828)	広島工業大学・情報学部・教授  (35403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------