

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24330255

研究課題名(和文)力覚・触覚疑似体験型のものづくり技能学習プログラムの開発

研究課題名(英文) A study of program the training and skills assessment of the manufacturing with haptic devices.

研究代表者

竹野 英敏 (TAKENO, Hidetoshi)

広島工業大学・情報学部・教授

研究者番号：80344828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究のねらいは、我が国を支えるイノベーターを育むことであり、現在、小学生・中学生には、ものづくり教育が必要である。しかし、その適切な学習プログラムはない。

そこで、われわれは、新しい視点によるものづくり学習プログラムの開発をした。形式知と暗黙知についての学習課題を構造化した。動画、静止画、力覚装置を用いて、高度熟練者を対象に、疑似体験型教材を開発した。ものづくり技能学習プログラムの有効性を検討し、有効性を得た。

研究成果の概要(英文)：An aim of this study is to bring up innovator supporting our country. A primary schoolchild, a junior high student needs manufacturing education now. However, there is not the appropriate learning program. Therefore we developed the manufacturing learning program by the new viewpoint. We structured a learning problem about form intellect and the tacit knowledge; for altitude experts. We developed the simulated experience type teaching materials; using animation, still image, and haptic devices. We examined the effectiveness of the manufacturing skill learning program.

研究分野：教科教育学

キーワード：教育学 技術科教育学 技能習得 力覚情報 疑似体験

1. 研究開始当初の背景

(1) 今日、我が国の小・中学生においてものづくり嫌いが増えている。その一因として不器用意識の高まりがある¹⁾。その原因に、指導者の不適切な指導によるけや失敗があり、ものづくり学習の場において、指導者の力量不足が挙げられる²⁾。その背景には、ものづくり技能学習の適切なプログラムが確立されていないことが考えられる。

(2) 近年、教員養成大学・学部では、「製品の製作技能」を習得していない理論研究者が実習指導もすることが多く、教員を目指す大学生に「製品の製作技能」の暗黙知を伝えることのできていない可能性が高い。その学生たちが小・中学校の教員となって子どもたちを指導するため、子どもたちに適切な知識と技能が身につかず、ものづくりが嫌いになっていくという「負の連鎖」が始まっている。その原因改善を図ることが我が国のイノベーションを支える人材育成の本質であると推察する。

(3) 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み、学んだ知識と技能を社会に役立てようとする意欲を高めるために、小・中学生の段階からものづくり教育の充実が求められる。しかし、そのための適切な学習プログラムはないため、新しい視点によるものづくり学習プログラムの開発が急務であるとする。

2. 研究の目的

(1) 高度熟練技能者の技能の形式知と暗黙知(勘やコツ)についての学習課題の構造化を図る。

(2) 視覚・聴覚情報と力覚フィードバック装置を用いた力覚情報を併用した疑似体験型の教材を開発・検証する。

(3) ものづくり技能学習プログラムの有効性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 力覚フィードバック装置やビデオ映像を用いて、熟練技能者の作業分析や、思考発話法によるプロトコル分析を行い、ものづくりを学習する上で必要な形式知と暗黙知について調査する。

(2) 熟練技能者の技能の運動解析とそのプロトコル分析等により、技能の言語化・文字化を図るとともに、熟練者のパフォーマンスを初学者でも再現できるようにデジタル動画像・静止画像・アニメーション化を図る。

(3) ものづくり技能学習プログラムと関連教材の評価は、眼球運動計測装置と思考発話法を用いた実験室研究を通して、その信頼性と有効性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 金属材料の表面を仕上げる作業の技能について、高度熟練技能者の作業を課題ごとに分析した結果の一部を示したものが図1で

①基準面を作る	基準面にする面を決める	
	基準面にする面に印を黒マシクをつける	
	万力にロッドを固定する	ハンドルの緩め方 ロッドの持ち方 口金へのあて方 ハンドルの締め方
	ロッドに光明丹を塗る	光明丹の塗り方
	やすりをかける	やすりの持ち方 姿勢 立ち位置 やすりのかけ方
	定盤に光明丹を塗る	光明丹の塗り方
	万力からロッドをはずす	ハンドルの緩め方 ロッドの持ち方 ハンドルの締め方
	定盤とすり合わせる	定盤とのすり合わせ方
	当たりをみる(赤当たり)	当たりの見方
	赤当たりがほぼなくなったことを確認	
繰り返し	ロッドに光明丹を塗る	光明丹の塗り方
	万力からロッドをはずす	ハンドルの緩め方 ロッドの持ち方 ハンドルの締め方
	定盤とすり合わせる	すり合わせ方
	当たりをみる(黒当たり)	当たりの見方
	万力にロッドを固定する	ハンドルの緩め方 ロッドの持ち方 口金へのあて方 ハンドルの締め方
	やすりをかける	やすりの持ち方 姿勢 立ち位置 やすりのかけ方
	ワイヤブラシをかける	ワイヤブラシの持ち方 ワイヤブラシのかけ方
	ほうきで削りくずを落とす	
	所定の位置にやすりを戻す	やすりの置き方 やすりの保管法
	万力からロッドをはずす	ハンドルの緩め方 ロッドの持ち方 ハンドルの締め方

図1 高度熟練技能者の作業分析結果(一部抜粋)

ある。この分析の結果、技能の形式知と暗黙知について、明らかにすることができた。

(2) 金属材料の表面を仕上げる作業に必要な技能を、学習できるコンテンツを作成した結果の一部を示したものが図2である。このコンテンツは、図1に示した作業分析に基づいて作成し、動画像・静止画像(イラスト)・

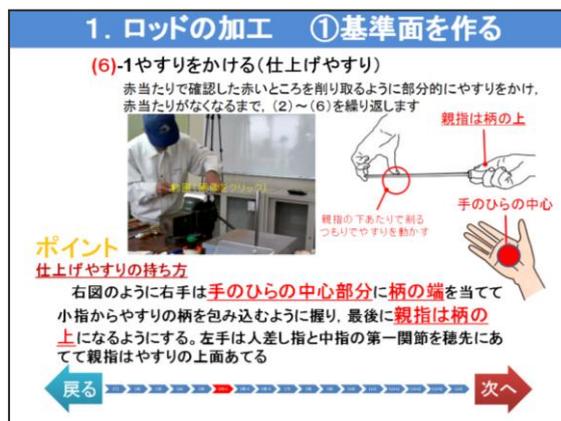


図2 作業分析結果に基づいた仕上げ作業学習支援コンテンツ(一部抜粋)

文字によって表現することができた。

また、熟練技能者の工具の動かし方を力覚フィードバック装置 (PHANTOM Omni) の位置センシング機能で 6 自由度で記録し、熟練技能者のパフォーマンスを 3 自由度 (XYZ) の反力で再現させる学習支援システムを開発し、そのシステム全体構成を示したものが図 3 である。そして、位置データ管理・表示部を示したものが図 4 である。

なお、位置データ管理・表示部については、熟練技能者との動かし方の一致度を点数化したり、動かし方を 6 自由度に分解してのアドバイスを示したりできる設計とした。



図 3 平面仕上げ技能学習支援システム

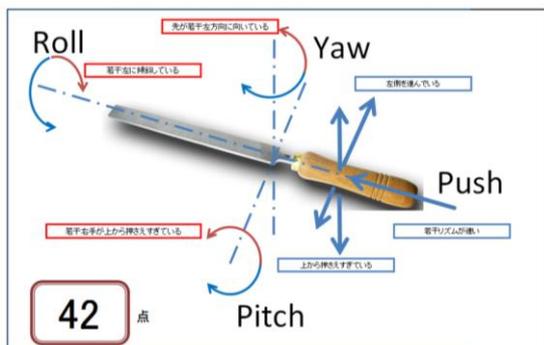


図 4 位置データ管理・表示部の表示例

しかし、点数化やアドバイスは、熟練技能者と学習者の差について、特徴的な差を示し、数値化やカテゴリー化をすることが必要である。ここでは、自己組織化特徴マップ (Self-Organizing Maps, 以後 SOM) を適用して、学習者の「クセ」、すなわち個人パターンの自動分類を試みた。「クセ」の可視化を意識した特徴量として、やすりがけ動作の主方向の速度変化に基づいた特徴量の抽出とその分類を試みた。

その結果、熟練者のパターンに対応するユニットは、マップ左上部に分布し、学習者のユニットはそれを囲むように分布していることがわかった。そして、学習者のパターンは、熟練者と同じユニットに発火しているものもあり、熟練工の動きをなぞる学習法の一定の効果が確認できた。また、手本の動きとは異なる個人のクセを表わすパターンは、

各々複数の類似性が高いパターンが同じユニットに発火し、およそのグループを形成させることができた (図 5)。

これらから、クセの可視化が明確な特徴量とすることができ、マップ端を拡張する SOM を用いて、これらの特徴量の分類性能を改善できることが示された。

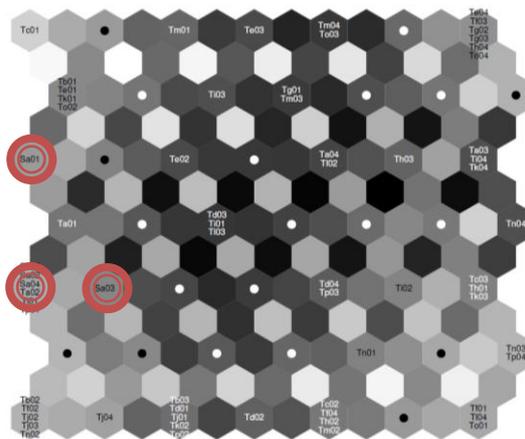


図 5 拡張後による方向押し動作の分類結果
Sa=熟練者, Ta-Tp=学習者

なお、これらのシステムは、多様な道具に応用することができる。例えば、刷毛塗り技能に応用した例を示したものが、図 6 である。刷毛塗り運行の記録をコンピュータ上で再生可能とするソフトウェア (図 7) を開発した。運行中の各自由度の傾きやすれを視覚的に確認できることが特徴である。

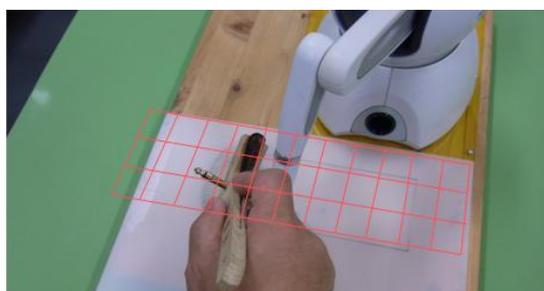


図 6 刷毛塗り技能学習支援システム

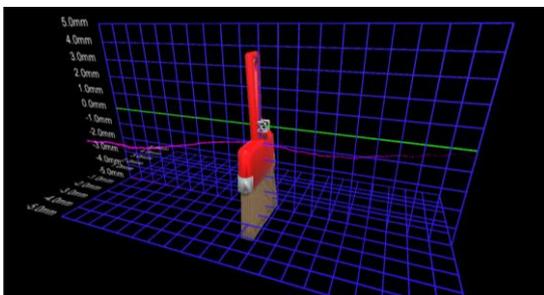


図 7 3次元運行軌道確認ソフトウェア

(3) ものづくり技能学習プログラムと開発したコンテンツの評価は、眼球運動計測装置と思考発話法を用いた実験室研究を通して、その信頼性と有効性を明らかにした。その結果、やすりによる仕上げ作業の学習を支援す

るコンテンツの学習成果として、まず視線の位置が一点に集中したことがわかる(図8)。次に、工具を持つ左手に変化が見られることがわかる(図9)。そして、切削部分が中央の●(黒丸)を削るようにやすりを平行に運行したことが、多くの調査協力者によって明らかにされた(図10)。

しかし、平行に運行させようと思っても、上下方向(Y軸)に揺れてしまうことは常である。その時の変動幅を示したものが図11である。学習前より、学習後の方が良い結果となったのは、4名のみであるが、学習後の方が結果にばらつきが少なく、誰もが同じ結果を出せたとも言え、基本動作を学習し、意識する重要性が明らかになった。



図8 コンテンツ学習後の視線の変化



図9 コンテンツ学習後の左手の変化

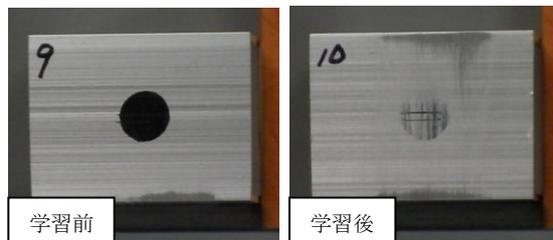


図10 コンテンツ学習後の切削部分の変化

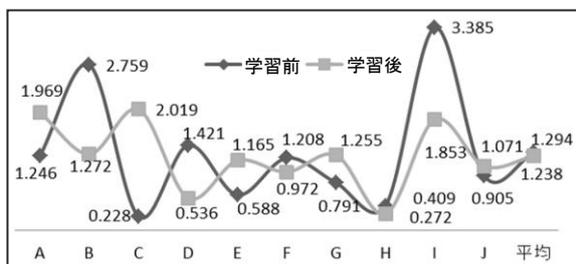


図11 やすり運行時の上下変動幅(mm)

また、刷毛塗り技能学習支援システムの学習成果を次に示す。

刷毛塗り作業をさせたとき、3次元運行軌道確認ソフトウェアを使用して、作業毎に自分が運行させた刷毛の軌道を提示し、修正行動を促した場合(図12)と、運行軌道を提示せ

ずに、修正行動を促した場合(図13)の結果を示したものである。

刷毛の運行軌道を提示した場合は、3回目、4回目と理想の運行との差が縮小し、1回目と比較して、t検定を行った結果、有意差($p < 0.05$)が認められ、3次元運行軌道確認ソフトウェアを使用した効果があった。一方、運行軌道について知らせず、独力で修正するようにした場合は、どこを修正すればよいかわからないために効果が現れなかったといえる。

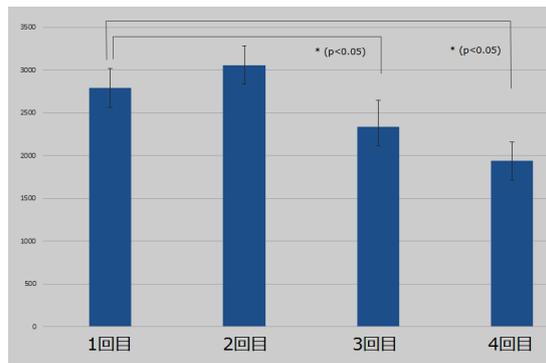


図12 3次元運行軌道確認ソフトウェアの効果

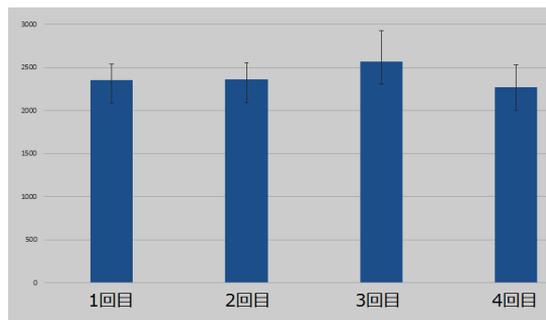


図13 独力で修正を促した場合の効果

<引用文献>

- 1) 小祝達郎他2名:初等教育における「ものづくり」の重要性に気づかせるための授業モデルの検討,日本産業技術教育学会全国大会講演論文集, p. 143(2010)
- 2) 竹野英敏:「ものづくり」のために科学技術リテラシーを育む,日本科学教育学会第35回年会論文集(2010)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

- ① Shimpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto, Masaru Teranishi, Hidetoshi Takeno, Tatsushi Tokuyasu: A brush coating skill training system for manufacturing education at Japanese elementary and junior high schools, Artificial Life and Robotics, 査読有 vol21, 69-78, 2015. DOI:10.1007/s10015-015-0243-8

[学会発表](計18件)

- ① M.Teranishi, S.Matsumoto, N.Fujimoto, H.Takeno: Personal Peculiarity Classification of Flat Finishing Motion for Skill Training by

- using Expanding Self-Organizing Maps, 13th International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 2016.6.3, University of Sevilla, Sevilla (Spain).
- ②寺西 大,松本慎平,藤本宣人,竹野英敏: 自己組織化特徴マップを用いた鉄工やすり平面仕上げ動作学習における個人特徴分類, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会, 2016.5.25, 京都テルサ(京都府京都市).
- ③穂井田翼,藤本宣人,松本慎平,寺西 大,竹野英敏: 非接触型モーションセンサデバイスを用いた刷毛塗技能訓練システムの開発, 教育システム情報学会学生研究発表会中国地区, 2016.2.29, 広島市立大学サテライトキャンパス(広島県広島市).
- ④ N.Fujimoto, S.Matsumoto, M.Teranishi, H.Takeno, T.Tokuyasu: Comparison of Learning Effectiveness in Computer Aided Brush Coating Skill Training System with the Difference of Instructional Methods, Proceedings of The 21nd International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2016.1.20, B-Con Plaza, Beppu, Japan.
- ⑤藤本宣人,松本慎平,寺西 大,竹野英敏,徳安達士: 技術教育指導者支援のための3次元動作再生システムの開発, 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2015.8.26, 長崎大学文教キャンパス(長崎県長崎市).
- ⑥寺西大,松本慎平,藤本宣人,竹野英敏: 平面仕上げ技能習得のためのやすりがけ動作の自己組織化特徴マップによる個人特徴分類, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2015.12.14, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市).
- ⑦寺西大,藤本宣人,松本慎平,竹野英敏: 技能習得のための自己組織化特徴マップを用いた鉄工やすり平面仕上げ動作の個人特徴分類: 速度変化にもとづく特徴量の検討, 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2015.8.26, 長崎大学文教キャンパス(長崎県長崎市).
- ⑧藤本宣人,松本慎平,寺西 大,竹野英敏,徳安達士: 初等・中等教育の技術指導を充実させるためのバーチャルリアリティに基づく技能訓練方式の検討, 2015 IEEE SMC Hiroshima Chapter, 2015.7.18, 広島市立大学(広島県広島市).
- ⑨M.Teranishi, S.Matsumoto, H.Takeno: Personal Perularity Classification of Flat Finishing Tool Motion by using Self-Organizing Maps for Skill Training, 10th Asian Control Conference, 2015.5.31, Kota Kinabalu, Sabah, MALAYSIA.
- ⑩寺西 大,藤本宣人,松本慎平,竹野英敏: 自己組織化マップを用いた鉄工やすり平面仕上げ動作の個人分類と可視化, 電気学会知覚情報研究会, 2015.4.24, 明電舎大崎会館(東京都品川区).
- ⑪松本慎平, 寺西 大, 竹野英敏: 刷毛塗り動作記録3次元再生ソフトウェアの使いやすさ

- 主観評価と技能修正行動の関係調査, 第10回日本感性工学会春季大会, 2015.3.28, 京都女子大学(京都府京都市).
- ⑫寺尾大輔, 藤本宣人, 松本慎平, 寺西 大, 竹野英敏: 筋交い刷毛の技能訓練支援ソフトウェアの開発, 教育システム情報学会学生研究発表会中国地区, 2015.2.28, 広島大学(広島県東広島市).
- ⑬松本慎平, 竹野英敏, 寺西 大, 青木真吾: 自己組織化マップを用いた筋交い刷毛の運行訓練支援システム, 第65回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 2014.10.25, 福山大学(広島県福山市).
- ⑭藤本宣人, 松本慎平, 竹野英敏, 寺西 大, 青木真吾: 力覚デバイス装置を用いた刷毛塗り技能操作訓練支援システムの開発, 第39回教育システム情報学会全国大会, 2014.9.10, 和歌山大学(和歌山県和歌山市).
- ⑮竹野英敏, 安藤明伸, 小祝達朗: 非熟練者の動作分析による小さな平面のやすり仕上げ技能指導に関する検討, 日本産業技術教育学会第57回全国大会, 2014.8.23, 熊本大学教育学部(熊本県熊本市).
- ⑯竹野英敏, 安藤明伸, 小祝達朗: 非熟練者の視覚・力覚情報分析による刷毛運行の技能指導に関する検討, 日本産業技術教育学会第57回全国大会, 2014.8.23, 熊本大学教育学部(熊本県熊本市).
- ⑰松本慎平, 竹野英敏, 寺西 大, 青木真吾: 筋交い刷毛の運行技能を評価するための計測システムの構築, 教育システム情報学会中国支部第14回研究発表会, 2014.7.12, YIC ビジネスアート専門学校(山口県山口市).
- ⑱竹野英敏, 安藤明伸: 力覚フィードバック装置を用いた平面仕上げ技能習得支援システムの開発, 日本産業技術教育学会第56回全国大会, 2013.8.24, 山口大学(山口県山口市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹野 英敏 (TAKENO, Hidetoshi)
 広島工業大学・情報学部・教授
 研究者番号: 80344828

(2) 研究分担者

松本 慎平 (MATSUMOTO, Shinpei)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 30455183

寺西 大 (TERANISHI, Masaru)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 50237004

青木 真吾 (AOKI, Shingo)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号: 80364042