

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02392

研究課題名（和文）技能伝承過程における作業者の生理的反応特性の変化に関する研究

研究課題名（英文）A study on changes in physiological response of workers during the skill transfer process

研究代表者

志田 敬介（SHIDA, KEISUKE）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：40365028

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、生理的反応特性の変化を機能的近赤外分光装置（functional Near Infraed Spectroscopy:NIRS）を用いて、脳の活性状態から作業者の習熟の程度の評価を試みた。その結果、作業の正確性などの質的な部分の習熟について、脳の活性状態から評価することができた。また、習熟を促進させるため、作業者へ声を掛けるタイミングを評価した結果、作業ミスが生じた直後に、声を掛けることで有効であるとの結果が得られた。さらに、作業者の習熟の程度を評価するために、深層学習を活用した作業解析システムを開発し、実際の工場で、その精度を評価したところ高い精度が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

作業者の習熟程度を評価する指標として、一般に、同一作業の繰り返しに伴い減少する作業時間が用いられる。しかし、実際の製造現場では、作業時間が十分に低減したのちも、作業ミスによって製品品質に影響を及ぼす問題が生じている。そのため、習熟程度を評価する方法として作業時間を用いるだけでは、十分であるとは言えない。本研究の作業習熟に関する研究は、ものづくりの品質維持向上に向けた基礎的な研究と言った社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study attempted to evaluate the level of skill acquisition of workers based on changes in physiological response characteristics using functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS), which measures brain activity states. As a result, it was possible to assess the qualitative aspects of skill acquisition, such as task accuracy, based on the brain's activity states. Furthermore, to promote skill acquisition, the timing of providing verbal cues to the workers was evaluated, and it was found that providing cues immediately after a task error occurred was effective. Additionally, in order to assess the level of skill acquisition of workers, a task analysis system utilizing deep learning was developed, and its effectiveness was confirmed in an actual factory.

研究分野：経営工学

キーワード：技能伝承 脳活性 作業習熟 認知科学

1. 研究開始当初の背景

我が国の製造業の強みは、多くの種類の製品を高い品質を維持した上で生産できる点にある。これは、開発、生産技術、製造が一体となって改善を続けてきた努力の成果であり、この点において、我が国は諸外国を大きくリードしている。しかし、その様な状況においても、現実には様々な問題を製造現場は抱えている。特に、作業者による手組作業を実施する工程では、作業者のヒューマンエラー、すなわち作業ミスに伴う品質問題が即座に上がる。

この作業ミスの問題に対して、その原因を作業者の習熟問題と捉え、習熟を促進させる教育方法の改善に問題解決の糸口を求める工場は少なくない。しかし、作業者教育は、一朝一夕には完成しない。特に、昨今、特定技能制度を利用した外国人作業者の増加、さらには、作業の委託、派遣、請負など、社外人材の活用が進み、多様化する労働環境は、従来以上に、作業者教育に関する問題解決を難しくしている。

一方で、納品先への品質保証として、作業ミスに対する現実的な問題解決が製造現場に求められた結果、検査作業の徹底が図られる。ダブルチェック、トリプルチェックと称して、検査工程が追加される。これで不良品の流出は短期的には減るが、検査工程の追加は、製造原価の悪化を招くと共に、追加した工程における検査員教育と言った新たな習熟問題を生じさせ、本質的な問題解決には至らない。

作業者の技能や習熟程度を評価する指標として、一般に、同一作業の繰り返しに伴い減少する作業時間が用いられる。ところが、実際の製造現場では、作業時間が十分に低減したのちも、作業ミスによって製品品質に影響を及ぼす問題が生じており、習熟程度を評価する方法として作業時間を用いるだけでは、十分であるとは言えない。そこで、本研究では作業習熟を評価する方法として、作業者の脳活性の変化に着目し、作業習熟の新たな評価方法について検討する。

2. 研究の目的

同一作業の繰り返しに伴い減少する作業時間を用いて作業者の技能や習熟程度が評価されてきたが、それを補完するために、作業者の脳活性の変化に着目し、機能的近赤外分光法装置 (functional Near Infrared Spectroscopy: fNIRS) を用いて、作業習熟に伴う作業者の脳活性の変化を評価し、脳活性の観点から作業習熟について検討した。さらに、作業習熟を促進する方法についても検討し、作業者訓練の効率化についても検討した。また、作業者の作業動作の映像を解析し、作業時間の評価や作業のパラッキなどを評価するシステムを開発し、作業の習熟程度を正確に判定する作業解析システムの開発も行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、作業への習熟の程度の相違を脳の高次脳活動と捉え、fNIRS を用いて計測する評価を実施した。

また、実際の作業工場において、作業習熟を評価するための深層学習を用いた作業解析システムの開発を実施した。

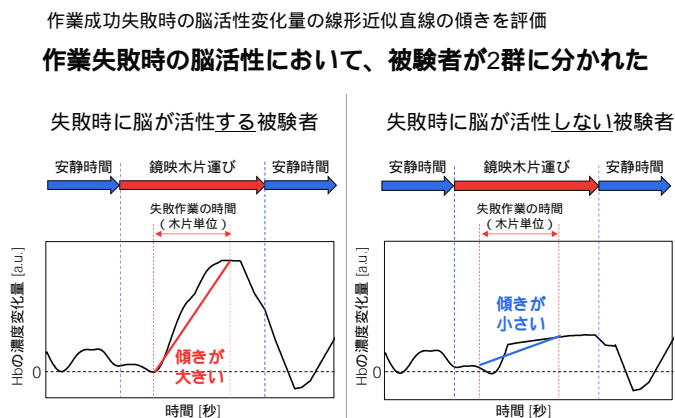
4. 研究成果

< 作業習熟と脳活性の評価 >

鏡映描写を使った、利き手を使い、箸で木片を掴む作業を用いて、作業の成否が脳活性に与える影響について評価した。作業成功時と失敗時の脳活性量に着目した。

図1に示すように、作業失敗時に脳が活性する被験者群と、脳が活性しない被験者群に分かれることが判明した。両群の習熟後の作業時間の变化について分析を行った結果、作業失敗時に脳活性がみられる被験者群の方が作業時間のばらつきが抑えられ、より習熟の効果が見られた。すなわち、失敗時の前頭前野の活性状態が習熟に影響を与えること推察される。

そこで、習熟難易度の高い非利き手で同様の実験を実施した。利き手の実験で作業失敗時に脳が認められなかった被験者群に脳活性を誘



発させる目的で、声掛けを行った結果、作業失敗時における前頭前野の活性が認められた。さらに、習熟後の作業時間の变化について検証した結果、作業時間のばらつきは減少し、習熟促進の効果が確認された。すなわち、声掛けによる前頭前野活性の効果と習熟促進との間には、何らかの関連性があること推察される。

技能の習得には、声掛けが有効であることが推察されたが、声を掛けるタイミングについての検証を「スティック・ドラム技能」で評価を実施した。この作業に必要な技能は、リズム感、左右の腕の動かし方などの暗黙的な要素が多く含まれる技能と考えたからである。声掛けのタイミングとしては、作業ミスが生じた直後に指導を行い、都度修正する方法と全体の流れによる習熟を狙いとして、1サイクル作業終了後に作業ミスの箇所の指導を行い、修正する方法を比較した。その結果、作業ミスが生じた直後に指導を行った方が、作業の習熟早く、テンポのズレなども小さく、作業の質が高いことが認められた。また、脳活性の状態についても、直後に指導を行った方が、早く活性が低い状態となり、習熟が促進されていることが推察される。

< 作業解析システム >

実際の製造工場の協力の下、作業を解析するシステムの評価実験を実施した。作業解析の概要を図2に示す。作業解析では、着目領域を動的に設定し、その領域内の特徴を分類して作業内容を推定する。具体的には、図2のような二つの作業範囲(A・B)がある作業では、作業範囲Aと作業範囲Bの二つの着目領域を設定し、各着目領域内の特徴から作業内容を推定する。本研究では、着目領域を設定するためにSingle ShotMultiBox Detector(以下、SSDと呼ぶ)を用いた。SSDは、小さい物体や画像内で密接・重複した物体も検出可能であるという特徴を持つことから利用した。また、着目領域内の特徴を分類し、作業内容を推定するためにXceptionを用いた。Xceptionは、学習効率が高く、分類精度が高いという特徴を持つことから利用した。

本システムを562台分の図2の自動車用部品の作業で分析した結果、合計4496作業(=562台×8要素作業)の分析に対し、23作業の誤った推定が発生し、その正答率は99.5%となり、高い精度で作業の推定が可能となった。

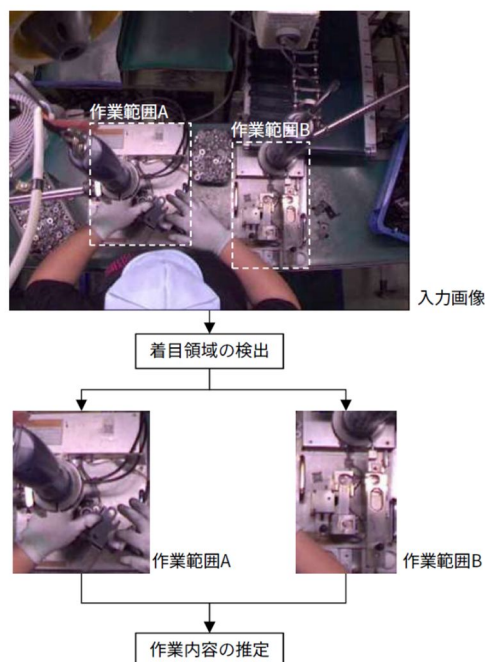


図2 . 作業外積の概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takumi NAKANO, Tomoaki YAMAZAKI, Keisuke SHIDA	4. 巻 71
2. 論文標題 Development of Automatic Work Analysis for Assembly Work using Motion Picture Analysis of Hand Position and Motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Jpn Ind Manage Assoc	6. 最初と最後の頁 233-240
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11221/jima.71.233	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野 匠, 志田 敬介
2. 発表標題 深層学習を用いた組立作業における作業データの収集とその応用に関する実証的研究
3. 学会等名 日本経営工学会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------