

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：34407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03190

研究課題名(和文) 熟練技術者の暗黙知抽出による自動車塗装調色の体験型教育システムの構築

研究課題名(英文) Construction of experience-based education system for car paint color mixing by extracting tacit knowledge of experts

研究代表者

高井 由佳 (Takai, Yuka)

大阪産業大学・デザイン工学部・講師

研究者番号：90626368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、調色における熟練技術者の暗黙知を形式知化し、調色のコツや勘を若手技術者に伝える体験型教育システムを構築することを目的とした。経験年数15年以上の調色の熟練者および、経験年数2年以下の非熟練者を対象とし、調色を行わせ、その間の動画撮影、視線計測、作業の理由を問うインタビューを行った。動画から作業分析を、視線計測から見ていた場所と注視時間を算出した。インタビューはテキストマイニングを行い頻出単語の傾向を明確化した。また、調色に使用した調色シートの測色を行った。これらの結果から、非熟練者は塗装後の色の判断が甘い事が明らかになったため、自動車ボディの塗色の判断力を養うARアプリを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車修理調色に関する研究は世界的にも数が少なく、属人的暗黙知が形式知化されていない。本研究成果により属人的暗黙知を形式知化し教材として利用する一つのスキームを示すことができた。また、技術継承が困難な分野であるため、アプリ教材は国内外で技術継承を助ける一つ的手段となる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop an experiential education system that formalizes the tacit knowledge of skilled technicians in color mixing and transfers the tacit knowledge to younger technicians.

Experienced color mixers with more than 15 years of experience and unskilled color mixers with less than 2 years of experience conducted the color mixing. During the color mixing process, video was taken, eye gaze was measured, and an interview was conducted to ask the reason for the work. Work analysis was conducted from the videos. Gazing time was calculated from gaze measurements. Text mining was conducted using the interview data to clarify the tendency of frequently occurring words. Colorimetry was performed on sheets of paint after toning. From these results, it became clear that non-skilled workers were poor judges of color after painting. Therefore, an AR application was developed to develop the ability to judge the paint color of car bodies.

研究分野：人間工学、感性工学、教育工学

キーワード：自動車修理 塗装 調色 行動分析 眼球運動解析 教育システム AR

1. 研究開始当初の背景

様々な手作業を伴う製造業において、熟練技術者の退職と若手技術者の減少による人手不足が深刻化している。この解決方法として、機械化やロボット化、AIの導入が検討されている。そのような中でも、最終的には人による微調整や判断が必要となる作業が数多く存在する。また、多くの作業が機械やロボットに置き換えられたとしても、機械やロボットに導入する最適な数値を決定するのは人であり、完成度の高いものづくりの感性を持つ熟練技術者の知識・知恵・技術・技能がロボットに導入する数値の決定には欠かせない。

多くのものづくり現場では、若手技術者への技術・技能伝承に腐心しており、若手技術者の習熟を早める教材を求める経営者は少なくない。このような背景の下、ものづくりにおける若手技術者への技術・技能伝承をどのように進めるかは、工学分野を初め、教育工学分野等で広く研究が進められてきた。大手企業がものづくりに関わる機械工学分野の中でも、属人的暗黙知の少ない機械操作を主とした作業においては、技能伝承のための教育システムが数多く開発、運用されている^{1,2)}。一方で、中小企業が主となり、属人的暗黙知の多い作業が主となる分野では、教育システムが導入されておらず、技能継承に困難を抱えている。自動車修理は後者の教育システム導入が進んでいない業界のひとつである。

自動車修理は二つとして同じ形状の損傷がなく、毎回異なる案件に対応しなければならないことから、機械化・ロボット化が難しい分野と言われている。さらに、自動車修理業は個人経営や中小企業が多くを占め、若手技術者への教育指導に時間や予算を割きにくいという現状が加わり、若手技術者への教育手法の改革の必要性を多くの熟練技術者が感じていながら、解決策が見出せない状況が続いている。

2. 研究の目的

自動車修理塗装は、凹みや擦れにより脱落した塗膜を元の状態にするため、スプレーガンにて塗料を吹き付け着色する作業である。修理塗装には「調色」という塗料の調合を行う工程がある。新車の車体は、日光の照射や風雨により徐々に色あせが起きる。修理塗装では、この色あせた車体の色に合わせて塗料の調合を行う必要がある。

調色の作業を図1に示す。調色は、①調色コード確認 ②配合データ検索 ③計量調色 ④塗料攪拌 ⑤試し塗り塗装 ⑥試し塗り乾燥 ⑦現車比較の7つの手順で進められる。⑦で色が一致しない場合は、微調整を行った後⑤から⑦を繰り返す。修理塗装のいくつかの作業の中でも調色は難易度が高く習熟に時間を要する工程であると熟練技術者は認識している³⁾。この理由として【1】2つとして同じ色がなく、毎回、車体の色を基準に調合する色を判断しなければならない【2】同じ色の塗料でもスプレーガンの種類やスプレーガンの扱いによって塗装後の色が異なって見えるため、塗装後の色を想定して塗料の色調整を進める必要がある、の2点が挙げられる。調色作業の難易度の高さや所要時間の多さを軽減するため、塗料メーカーは調色機や調色システムと呼ばれる、調色の補助機器を販売している。調色システムは、測色計、コンピュータ、計量秤により構成される。調色システムを使用することにより調色の手順①②を省略できる。修理する車体の色を測色計で計測すると、色データがコンピュータに取り込まれ、最適な塗料の配合比を表示してくれる。技術者は表示された配合比通りに塗料を計量すれば、車体の近似色を短時間で調整することができる。しかし、調色システムで得られる塗料色は、あくまで近似色でしかなく、スプレーガンによる塗装色の変化も見越した最終調整は技術者が行うしかない。

調色をマスターするには最低5年かかると言われている⁴⁾。自動車修理業界では、難易度の高い調色をこなせる技術者の育成を急務としているが、調色に関する教材は図1に示したような手順が書かれたもののみであり、コツ・勘に関わる教材はないため、経験により調色の暗黙知を属人的知識として身に付けるしかない。調色システムを発売するメーカーにおいても調色の暗黙知を形式知化した例はない。これは、調色という作業の有する暗黙知の多さに起因していると考えられる。「今ある色をどのように判断したのか」、「その色に近づけるためにどんな色の塗料をどのくらい混ぜたのか」といった判断の連続である調色は、作業の数値化が大変困難であるとされてきた。

本研究では、調色における熟練技術者の暗黙知を形式知化し、調色のコツや勘を若手技術者に伝える体験型教育システムを構築することを目的とする。視線計測、塗料の重量計測、測色による熟練技術者の作業の記録と解析データの抽出、熟練技術者からのヒアリングを行い、形式知化された熟練技術者のデータとVRを用いた調色の体験型教育システムを構築する。



図1 調色作業※3)を元に作成

3. 研究の方法

自動車修理工場に勤務する塗装技術者および自動車整備専門学校の学生を対象とし、我々の指示した条件にて調色を行わせた。この間の作業を動画にて記録するとともに技術者の視線をアイトラッカーにて計測した。同時に作業の意味や理由のヒアリングを行った。

本研究では修理塗装の実務経験が10年以上の技術者を熟練者と定義した。経験年数15年～40年の技術者5名を熟練者、経験年数1ヶ月～2年の技術者および学生の3名を非熟練者とした。

実験は実験参加者が勤務する工場または所属する専門学校にて実施した。塗料を計量する秤、塗装を行う調色シート、色の確認に用いるライト以外は、実験参加者が普段使用している道具を使用する事とした。秤（SPX1202JP、オーハウス製）は最小表示が0.01gのものを使用した。塗装を行う調色シート（調色テストシート、ビックツール株式会社製）は縦160mm×横110mmのプラスチック透明フィルムであった。色の確認用のライトはマルチファンクションランプ（3M製）を使用した。

調色の見本として、シルバーメタリック色（トヨタ1F7）およびピンクパール色（日産NBS）から意図的にずらした色で塗装を行った見本板（200mm×80mm）を2枚用意し、塗装後の調色シートの色が見本板と同じ色になるように調色を行うことを指示した。この際、調色の制限時間は1時間、調色シートの使用枚数は5枚までとした。

塗料および塗装に必要な材料も実験参加者の工場にあるものを使用するよう指示した。塗料は最初の割合で200gになるように計量するよう、塗装はクリヤー塗装まで行うよう指示した。作業の順番や指定した品以外の物品の使用は実験参加者に委ねた。

実験参加者の作業開始から作業終了までをビデオカメラ（FDR-AX45A、SONY製およびHERO8、GoPro製）にて撮影した。実験参加者には作業中に自身の作業を解説しながら作業を進めることを依頼した。さらに、作業の途中で作業の理由や意味のヒアリングを実施した。同時に実験参加者にウェアラブルアイトラッカーTobii Pro グラス2（Tobii製）を装着させ、視線計測を行った。

ビデオカメラで撮影した動画を元に、作業を項目ごとに分類し、作業時間を算出した。作業は、カラー見本帳と見本板の色の比較や、見本板と塗装した調色シートの色を比較を行う「比色」、塗料の計量や攪拌を行う「計量」、調色シートへの塗装を行う「塗装」、スプレーガンのエアータンクや乾燥炉を用いた調色シートの乾燥を行う「乾燥」の4つに分けた。これら4つのカテゴリーに当てはまらない作業は「その他」とした。

アイトラッキングにて得られたデータは視点解析ソフトウェア Tobii Pro Lab (version 1.61)を用いて解析を行った。視点の位置・注視時間については、作業動画から1フレームずつ視点位置の記録し、AOI (area of interest) にて注視している部分の分けを行った

4. 研究成果

作業分析より、経験年数が長いほど、比色の作業時間割合が長く、乾燥の作業時間割合が短い傾向が見られた。比色を調色作業開始直後および各調色シート仕上がり後に分け分析すると、作業開始直後に長い時間をかけている技術者と、比色の作業時間割合の変動が小さい技術者に大別できた。

視線計測より、熟練者の注視点は人により異なっていたが、同じ場所を見続けていることがわかった。非熟練者は、見ている場所が分散していた。

調色実験の結果より、非熟練者は調色の段取りが悪く、塗装後の色の良し悪しの判断力が熟練者よりも低い事が分かった。塗装後の色の良し悪しの判断は調色のみならず、塗装作業においても重要であるため、教育システムとしてARを用いた塗装色の判断クイズを行うアプリの開発を行った。

<引用文献>

- 1) 水口 朋和、中島 智也、川崎造船での機関艤装の技能伝承について、マリンエンジニアリング、Vol.41、No.6、2006、807-810
- 2) 下山 隆、白沢 勉、赤倉 貴子、技能を定量的に評価する機能を有するe-Learning Systemの開発と評価、日本教育工学会論文誌、Vol.31、Issue Suppl、2008、41-44
- 3) 株式会社プロトリオス、徹底図解丸ごとぜんぶ調色、株式会社プロトリオス、2014
- 4) 東京自動車大学校Webサイト、<https://www.taus.ac.jp/column/know-how/car-mechanic.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高井由佳、池元茂
2. 発表標題 シルバーマトリックの自動車修理調色における熟練技術者の作業工程
3. 学会等名 第37回塗料・塗装研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井由佳、池元茂
2. 発表標題 調色工程の比色作業における視線解析
3. 学会等名 第38回塗料・塗装研究発表会
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
研究協力者	池元 茂 (Ikemoto Shigeru)	ボデーガレージケモト・取締役社長	

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